

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG ANTONIO CARLOS CAMBRA

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE:

Uma proposta de aprimoramento da manutenção dos meios navais da Marinha  
do Brasil

Rio de Janeiro

2016

CMG ANTONIO CARLOS CAMBRA

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE:

Uma proposta de aprimoramento da manutenção dos meios navais da Marinha  
do Brasil

Tese apresentada à Escola de Guerra Naval,  
como requisito parcial para a conclusão do Curso  
de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Marcos Luiz Portela

Rio de Janeiro

Escola de Guerra Naval

2016

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa Andréa e à minha filha Amanda, agradeço pelo amor, carinho e incentivo, iluminando meus passos em todos os momentos.

Aos meus queridos pais Antonio e Naiza, pelos exemplos de correção, força de vontade e pelo apoio ao longo de minha vida.

Ao Capitão de Mar e Guerra Marcos Luiz Portela, pela orientação, paciência e confiança ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos Capitães de Mar e Guerra Paulo Antonio Cheriff dos Santos e Cláudio Marin Rodrigues, pelo apoio na obtenção de informações e na elaboração do projeto de pesquisa.

À Escola de Guerra Naval, pelos ensinamentos transmitidos no Curso de Política e Estratégia Marítimas de 2016, que são de grande importância para o meu aprimoramento profissional.

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa é verificar a aplicabilidade da Manutenção Centrada na Confiabilidade na elaboração e revisão dos programas de manutenção dos navios e na solução dos desafios enfrentados pela Marinha do Brasil na logística de manutenção. Foi conduzida uma pesquisa exploratória e descritiva, buscando identificar o referencial teórico, analisar os resultados da manutenção dos navios da Marinha do Brasil e analisar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade, tanto na abordagem clássica quanto na versão simplificada, denominada de *Backfit* pela marinha norte-americana. A Manutenção Centrada na Confiabilidade surgiu ao final da década de 1960, fruto dos estudos elaborados pela indústria aeronáutica norte-americana e tem sido empregada pelas principais empresas e marinhas, com efeitos significativos na melhoria da disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e na redução de custos. A marinha dos Estados Unidos da América passou a adotá-la em 1978 e, atualmente, utiliza-a na estruturação e reavaliação dos programas de manutenção de todos os seus navios. O pleno conhecimento do processo da Manutenção Centrada na Confiabilidade é fundamental no momento em que a Marinha do Brasil enfrenta dificuldades para manter seus meios navais, em decorrência do incremento nos custos e da insustentabilidade dos programas de manutenção predominantemente preventivos, fatores potencializados pela restrição orçamentária, a idade avançada dos navios e a diminuição da capacidade própria de reparo. A resposta a tais problemas passa pela evolução da política de manutenção, sendo que as mudanças em grandes organizações geram, normalmente, resistências em seus integrantes e, assim, as ações inovadoras devem ser coordenadas entre os diversos setores e implantadas de forma gradual, a fim de permitir a avaliação dos resultados e a absorção de experiência e conhecimento por aqueles envolvidos no processo. A Manutenção Centrada na Confiabilidade pode atuar como protagonista da mudança da política de manutenção da Marinha do Brasil e do aprimoramento do apoio logístico.

Palavras-chave: logística, manutenção, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Apoio Logístico Integrado.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research is to verify the applicability of Reliability Centered Maintenance in ships' maintenance programs development and review, and in the solution of the challenges faced by the Brazilian Navy in the maintenance logistics. An exploratory and descriptive research was conducted, aiming to identify the theoretical frame of reference, to analyze the Brazilian navy ships' maintenance results and to analyze the methodology of the Reliability Centered Maintenance, both in the classic approach and in the simplified version, called Backfit by the United States Navy. This methodology emerged at the end of the 1960s, as the result of studies conducted by the United States airline industry, and has been used by the main companies and navies, with significant effects on improvement of availability, reliability, maintainability and reducing costs. The United States Navy began to adopt it in 1978 and currently uses it in structuring and re-evaluation of the maintenance programs of all its ships. The knowledge of the Reliability-Centered Maintenance process is fundamental at the time the Brazilian Navy is struggling to maintain its naval assets, due to the increase in costs and the non sustainability of essentially preventive maintenance programs, factors aggravated by budget constraints, aging vessels and decreased own repair capability. The answer to these problems is the development of the maintenance policy, but changes in large organizations usually generate resistance in its members and thus the innovative actions should be coordinated among various sectors and implemented gradually in order to allow assessment of the results and the absorption of knowledge and experience for those involved in the process. The Reliability-Centered Maintenance can act as a protagonist for transformation in maintenance policy of the Brazilian Navy and the improvement of logistic support.

Key words: logistics, maintenance, Reliability-Centered Maintenance, Integrated Logistic Support.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Padrões de probabilidade de falha.....	50
Figura 2 –	Curva de falha potencial e falha funcional no tempo.....	58
Figura 3 –	Comparação entre a MCC Clássica e a MCC <i>Backfit</i> .....	71
Figura 4 –	Principais etapas do processo de Apoio Logístico Integrado.....	85
Figura 5 –	Etapas do processo <i>Integrated Product Support</i> .....	89
Figura 6 –	Etapas do processo <i>Product Support Management</i> .....	91
Figura 7 –	Etapas do processo <i>Maintenance Task Analysis</i> .....	101
Figura 8 –	Diagrama de processo da Manutenção Centrada na Confiabilidade.....	106
Figura 9 –	Diagrama de seleção de funções significantes.....	107
Figura 10 –	Organograma do <i>Naval Sea Systems Command</i> (NAVSEA).....	108

## **LISTA DE TABELAS**

1 – Distribuição das rotinas de SMP por tipos de manutenção.....	37
2 – Distribuição percentual de itens por padrões de probabilidade de falha.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3-M –	<i>Maintenance and Material Management System</i>
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADETA –	<i>Automated Diesel Engine Trend Analysis</i>
ALI –	Apoio Logístico Integrado
AMRJ –	Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
ATENDI –	Sistema de Análise de Tendências de Motores Diesel
CCI –	Corveta da Classe Inhaúma
ComForSup –	Comando da Força de Superfície
ComOpNav –	Comando de Operações Navais
CMMS –	<i>Computerized Maintenance Management System</i> (Sistema Computadorizado de Gerenciamento da Manutenção)
CONDEF –	Condição de Eficiência
CPN –	Centro de Projetos de Navios
DE –	Diretoria Especializada
DEN –	Diretoria de Engenharia Naval
DGMM –	Diretoria-Geral do Material da Marinha
DoD –	<i>Department of Defense</i> (Ministério da Defesa dos EUA)
ELEsq –	Escritório de Ligação do Abastecimento junto à Esquadra
EMA –	Estado-Maior da Armada
EUA –	Estados Unidos da América
FAA –	<i>Federal Aviation Agency</i>
FCG –	Fragata da Classe Grenhalgh
FCN –	Fragata da Classe Niterói
FLEETMER –	<i>Fleet Maintenance Effectiveness Review</i>

FMEA –	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise de Efeito e Modo de Falha)
ICS –	<i>Interim Contractor Support</i> (Contrato de Apoio Temporário)
InspPrev –	Inspeção Preventiva
IPS –	<i>Integrated Product Support</i> (Apoio Integrado ao Produto)
KPP –	<i>Key Performance Parameter</i> (Parâmetro Chave de Performance)
LCC –	<i>Life Cycle Cost</i> (Custo do Ciclo de Vida)
LCSP –	<i>Life Cycle Sustaining Plan</i> (Plano de Sustentação do Ciclo de Vida)
LORA –	<i>Level of Repair Analysis</i> (Análise de Escalão de Reparo)
LUBE –	Sistema de Análise Químico/Metálico de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel
MB –	Marinha do Brasil
MBC –	Manutenção Baseada na Condição
MC –	Manutenção Corretiva
MCC –	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MD –	Manutenção Detectiva
MDS –	<i>Maintenance Data System</i>
MDT –	<i>Mean Down Time</i> (TMP)
MP –	Manutenção Preventiva
MPR –	Manutenção Preditiva
MSDP –	<i>Maintenance System Development Program</i>
MTBF –	<i>Mean Time Between Failure</i> (TMEF)
MTBM –	<i>Mean Time Between Maintenance</i> (MTBM)
MTTR –	<i>Mean Time to Repair</i> (MTTR)
NAVSEA –	<i>Naval Sea Systems Command</i>
OM –	Organização Militar
OMPS-I –	Organizações Militares Prestadoras de Serviço Industriais

PBL –	<i>Performance-Based Logistics</i> (Logística Baseada em Desempenho)
PDE –	Período de Docagem Extraordinário
PM –	Período de Manutenção
PME –	Período de Manutenção Extraordinário
PMG –	Período de Manutenção Geral
PMS –	<i>Planned Maintenance System</i>
PPP –	Parceria Público-Privada
PROGEM –	Programa Geral de Manutenção
PSM –	<i>Product Support Management</i> (Gestão de Apoio ao Produto)
RANS –	Requisito de Alto Nível de Sistema
RCM –	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (MCC)
REM –	Requisito de Estado-Maior
RestPrev –	Restauração Preventiva
RMC –	Regional Maintenance Center
RN –	<i>Royal Navy</i> (Marinha do Reino Unido)
SAD-LOG –	Sistema de Apoio à Decisão Logística
SAVMAQ –	Sistema de Análise de Vibração de Máquinas Rotativas
SbtPrev –	Substituição Preventiva
SISALI –	Sistema de Informações do Apoio Logístico Integrado
SMP –	Sistema de Manutenção Planejada
SN-BR –	Submarino de Propulsão Nuclear Brasileiro
SUBMEPP –	<i>Submarine Maintenance Engineering, Planning and Procurement</i>
TMEF –	Tempo Médio entre Falhas
TMEM –	Tempo Médio entre Manutenções
TMP –	Tempo Médio de Paralisação

TMPR –	Tempo Médio para Reparo
UAL –	<i>United Airlines</i>
UK –	<i>United Kingdom</i> (Reino Unido)
USN –	<i>United States Navy</i> (Marinha dos EUA)
USS –	<i>United States Ship</i> (Navio da Marinha dos EUA)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1	Conceito de manutenção.....	19
2.2	Tipos de manutenção.....	21
2.2.1	Manutenção corretiva.....	21
2.2.2	Manutenção preventiva.....	22
2.2.3	Manutenção preditiva.....	23
2.2.4	Manutenção detectiva.....	25
2.3	Manutenção centrada na confiabilidade.....	26
2.4	Confiabilidade.....	28
2.5	Manutenibilidade.....	29
2.6	Disponibilidade.....	30
<b>3</b>	<b>MANUTENÇÃO NA MARINHA DO BRASIL.....</b>	<b>32</b>
3.1	Tipos de manutenção empregados na MB.....	34
3.2	Os desafios da manutenção preventiva.....	38
3.3	Manutenção centrada na confiabilidade e apoio logístico integrado.....	41
<b>4</b>	<b>MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....</b>	<b>44</b>
4.1	Principais conceitos.....	46
4.1.1	Probabilidade e consequências das falhas.....	48
4.1.2	Componentes simples e complexos.....	53
4.1.3	Falhas ocultas.....	54
4.1.4	Aperfeiçoamento dos programas de manutenção.....	55
4.1.5	Aplicabilidade e efetividade.....	56
4.2	Metodologia.....	58
4.3	Estratégias de implantação.....	59
4.4	Vantagens e desvantagens.....	61
<b>5</b>	<b>MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE USN.....</b>	<b>63</b>
5.1	Política de Manutenção.....	65
5.1.1	Sistema de gerenciamento.....	66
5.1.2	Revisão dos programas de manutenção.....	67
5.2	MCC <i>Backfit</i> .....	70
5.3	MCC e logística baseada em desempenho.....	73
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, os requisitos de confiabilidade e disponibilidade vêm ganhando cada vez mais importância, sobretudo para os sistemas e equipamentos complexos e de alto valor agregado, cujas avarias podem interromper a sua operação, causar graves danos à integridade física das pessoas ou meio ambiente e impactar os resultados financeiros das organizações. Segundo Moubray (1997, p. 7), o estudo e o gerenciamento de falhas foram os fatores motivadores para o surgimento da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Consoante Kardec e Nascif (2015, p. 2), a manutenção é a atividade gerencial que mais se desenvolveu nos últimos 70 anos, destacando a sua importância como uma função estratégica para a competitividade das organizações.

Na visão de Moubray (1997, p. 2 a 6), a manutenção tem experimentado uma constante evolução, cujas fases foram marcadas pela predominância dos tipos de manutenção e pelo desenvolvimento de técnicas gerenciais de aumento da eficiência da atividade.

Até o início da Segunda Guerra Mundial, a indústria foi caracterizada pela intensividade em mão de obra e por equipamentos menos complexos, com predomínio da Manutenção Corretiva (MC) não planejada. Para a Marinha do Brasil (MB), esta fase se estendeu até o início da década de 1970 com a aquisição, no Reino Unido, das Fragatas Classe Niterói (FCN) e dos submarinos da classe Humaitá.

A segunda fase se estendeu do início da Segunda Guerra Mundial até a década de 1970 e foi marcada pela necessidade das indústrias reduzirem o tempo de parada dos equipamentos em decorrência de falhas e pela predominância do emprego da Manutenção Preventiva (MP) com a adoção posterior de sistemas de planejamento e controle da manutenção. Kardec e Nascif (2015, p. 3) reforçam que, neste período, as organizações passaram a experimentar uma elevação considerável dos custos de manutenção, levando-as à

investigação de alternativas de aprimoramento dos processos.

A partir da década de 1970, teve início a terceira fase, assinalada pelas seguintes características:

- a) importância conferida à confiabilidade e disponibilidade, com o início da aplicação da MCC nas indústrias e nas forças armadas dos Estados Unidos da América (EUA);
- b) necessidade de redução dos custos de manutenção para aumentar a competitividade das empresas;
- c) desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o monitoramento da condição, com o surgimento da Manutenção Preditiva (MPR);
- d) ampliação do escopo da função logística manutenção com o conceito de Apoio Logístico Integrado (ALI).

Desde o início do século XXI, na visão de Kardec e Nascif (2015, p. 4 e 5), têm sido observados novos avanços com um considerável emprego da MCC e MPR na esteira do desenvolvimento de modernos instrumentos de teste e métodos de monitoramento da condição. Surgiram novas estratégias gerenciais como a gestão do custo do ciclo de vida (LCC), a gestão de ativos e a terceirização dos serviços de manutenção baseada na contratação de resultados, denominada Logística Baseada no Desempenho (PBL)<sup>1</sup>.

A MB, com a aquisição das FCN, construídas no Reino Unido e no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) na década de 1970, experimentou uma evolução do tipo de manutenção empregado em seus navios, passando a priorizar a MP em relação à MC. O programa de manutenção das FCN, composto sobretudo por rotinas preventivas, serviu de base para o das corvetas da classe Inhaúma (CCI), navios projetados e construídos no Brasil ao final da década de 1980, sem que a MB experimentasse os mesmos progressos da função

---

<sup>1</sup> Do inglês *Performance-Based Logistics* (PBL).

logística manutenção observados nas indústrias e nas marinhas mais avançadas, como a Marinha dos EUA (USN).

Dentre aqueles avanços, além da MCC, podem ser destacados o ALI, o LCC e a aplicação de sistemas computadorizados de gerenciamento da manutenção (CMMS), o que leva este autor a considerar os processos de manutenção dos meios navais da MB coerentes com a década de 1980, demonstrando um considerável grau de atraso.

Segundo Moubray (1997, p. 133 a 135), a MP é executada com base na premissa do aumento da probabilidade de ocorrência de falha com o tempo de funcionamento. Entretanto, os estudos desenvolvidos pela indústria aeronáutica norte-americana, ao final da década de 1960 e que se constituíram no marco inicial do desenvolvimento da MCC, contestaram aquela premissa da MP ao verificar que a maioria dos itens componentes das aeronaves apresentava comportamento aleatório de probabilidade de falha, sem relação de causalidade com o tempo de funcionamento.

Em geral, programas de manutenção com predominância de rotinas preventivas apresentam uma tendência de intervenções excessivas e, como resultado, um incremento significativo nos custos de manutenção. A partir dos estudos da MCC e do desenvolvimento tecnológico na década de 1970, surgiram processos de medição e acompanhamento de parâmetros indicativos da condição dos equipamentos, servindo de ponto de partida para o aprimoramento da MPR.

Ao final dos anos 1980 e início da década de 1990, foi conduzida no âmbito da MB a primeira tentativa de implantação da MPR, englobando três programas para a medição de vibração de máquinas rotativas, a análise de parâmetros de motores e a espectrometria de óleo lubrificante. No entanto, eles não atingiram os resultados esperados de evolução da política de manutenção e do Sistema de Manutenção Planejada (SMP) dos navios.

Nos últimos 20 anos, a idade avançada dos meios navais, a redução dos recursos

destinados ao Programa Geral de Manutenção (PROGEM) e a perda de capacidade técnica e gerencial das Organizações Militares Prestadoras de Serviços Industriais (OMPS-I) vêm impactando de forma relevante a manutenção na MB. Nesse contexto, o pressuposto básico da MP de executar a manutenção pelo tempo de funcionamento foi sendo comprometido, levando ao retorno do emprego considerável da MC, passando a marinha a experimentar um ciclo vicioso de elevação dos custos de manutenção e redução da confiabilidade e disponibilidade de seus navios.

Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 158), a MCC tem como propósito a elaboração e a revisão de programas de manutenção e tem apresentado, desde o início de sua aplicação, excelentes resultados na confiabilidade, disponibilidade e custos de manutenção de equipamentos de vários tipos, desde instalações industriais simples até plantas geradoras de energia nuclear. Em 1978, a USN empregou a MCC em um projeto-piloto a bordo da fragata USS Roark e, mais tarde, oficializou a utilização da metodologia em sua política de manutenção. Em conjunto com a MCC, a USN passou a priorizar a manutenção preditiva.

Ao estudar a aplicação da MCC na USN, cabe identificar e apresentar o desenvolvimento de uma versão simplificada, denominada MCC *Backfit*, que emprega, principalmente, os dados históricos e gerenciais de manutenção e a experiência de operadores e mantenedores com o objetivo de conduzir a revisão periódica e o aprimoramento contínuo do SMP dos navios.

Este autor concentrou a pesquisa na verificação da aplicabilidade da MCC nos navios da MB, em virtude da existência de dados históricos aceitáveis para diagnosticar o problema, da possibilidade de maior retorno para a instituição e na sua experiência profissional. No entanto, ressalta-se que os conceitos apresentados sobre a MCC e as conclusões deste trabalho podem ser empregados nos demais meios da MB, quer sejam aeronavais ou de fuzileiros navais.

Esta pesquisa tem como propósito responder ao seguinte questionamento: a Manutenção Centrada na Confiabilidade é aplicável aos processos de elaboração e revisão dos programas de manutenção dos navios da Marinha do Brasil?

A manutenção dos meios navais da MB vem enfrentando sérios desafios, os quais podem ser respondidos em parte pela adoção de uma sistemática que resulte no uso eficiente dos diversos tipos de manutenção. Dessa forma, é oportuno investigar a aplicabilidade<sup>2</sup> da MCC como uma das ferramentas para o aprimoramento da manutenção na MB.

Os problemas enfrentados pela instituição demandam soluções inovadoras, dentre as quais surge a MCC, ferramenta já testada com sucesso por outras marinhas, como a USN, postura empreendedora que se alinha às Orientações do Comandante da Marinha

Permanece o imperativo da busca por soluções e ações inovadoras que contribuam para recuperar, manter e alavancar o Poder Naval. Algo que demande postura empreendedora, dinâmica e aberta a novas abordagens para as questões fundamentais que afetam o preparo e a aplicação do Poder Naval. A busca pela racionalização, eficácia e otimização dos meios deve nortear, permanentemente, os processos decisórios na MB (BRASIL, 2016, p. 4).

Em face da situação orçamentária da MB, é relevante a elaboração de uma pesquisa cujo objetivo está relacionado à redução dos custos de manutenção e ao aumento da confiabilidade e disponibilidade dos navios, em especial quando surgem oportunidades de reestruturação do Setor do Material e perspectivas futuras de aquisição e construção de novos navios. Adicionalmente, a MCC como metodologia de elaboração de programas de manutenção é parte integrante do processo de ALI e serve de apoio às estratégias modernas de terceirização da manutenção, ora em estudo no âmbito da MB, como a PBL.

Para responder ao questionamento formulado, busca-se atingir, ao final da pesquisa, o objetivo principal de verificar a aplicabilidade da MCC na elaboração e revisão dos programas de manutenção dos navios da MB e na solução dos desafios enfrentados pela

---

<sup>2</sup> Este autor considera aplicabilidade como a característica do que se consegue aplicar, empregar ou colocar em prática; que possua viabilidade e utilidade, isto é, que seja relevante para a solução de um problema ou desafio.

instituição. Para atingir tal propósito, foram definidos os seguintes objetivos estruturantes:

- a) descrever o referencial teórico sobre a função logística manutenção;
- b) analisar a situação atual da manutenção dos meios navais da MB e as possibilidades de aprimoramento;
- c) analisar a metodologia da MCC e os seus impactos na elaboração de programas de manutenção;
- d) analisar a MCC *Backfit* aplicada na USN e os seus impactos na revisão de programas de manutenção.

A tese está baseada na pesquisa bibliográfica da literatura especializada sobre manutenção e nas normas da MB, da USN e do Ministério da Defesa dos EUA (DoD). Para a análise da situação da manutenção na MB, foram consultados dados da Diretoria de Engenharia Naval (DEN), do Comando da Força de Superfície (ComForSup) e do Sistema de Apoio à Decisão Logística (SAD-LOG)<sup>3</sup>, gerenciado pelo Comando de Operações Navais (ComOpNav). Para atingir os objetivos e responder ao questionamento formulado, a pesquisa está estruturada nos seguintes capítulos:

- a) introdução;
- b) referencial teórico, no qual são identificados os principais conceitos sobre manutenção, os tipos de manutenção e as variáveis disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade;
- c) a manutenção na MB, que inclui a identificação e análise dos tipos de manutenção empregados nos navios, dos óbices decorrentes do emprego excessivo da MP e do relacionamento entre os processos MCC e ALI;
- d) a manutenção centrada na confiabilidade, no qual são identificados e analisados o histórico e os pressupostos da MCC, o processo de elaboração de programas

---

<sup>3</sup> Sistema em ambiente intranet que registra e apresenta os dados e estudos sobre condição de eficiência dos meios operativos (CONDEF), incluindo disponibilidade e confiabilidade.

de manutenção, as estratégias utilizadas na implantação da MCC e as suas vantagens e desvantagens;

- e) a manutenção centrada na confiabilidade na USN, que abrange a descrição e análise do histórico da MCC na USN, do processo de revisão de programas de manutenção a partir da MCC *Backfit* e da importância da MCC para a PBL;
- f) Conclusão, na qual é verificada a aplicabilidade da MCC para a elaboração e a revisão dos programas de manutenção dos navios da MB, incluindo as propostas de ações necessárias para a implantação do processo na MB.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma melhor compreensão do tema, é apresentado o referencial teórico da função logística<sup>4</sup> manutenção, a partir dos principais conceitos mencionados na literatura especializada, normas técnicas e publicações da MB e da USN. A USN foi escolhida por este autor como um dos referenciais teóricos da pesquisa pela sua importância como a principal marinha da atualidade, sua experiência no emprego da MCC e pela sua vasta bibliografia de normas sobre manutenção de domínio público.

### 2.1 Conceito de Manutenção

Na MB, manutenção é definida na publicação EMA-420 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, 2002b, p. 3-1).

Para Kardec e Nascif (2015, p. 26), o propósito da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, atendendo a um processo-fim de produção com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

Já a norma técnica NBR 5462, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994, p. 12), apresenta a manutenção como o conjunto de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, com vistas a manter ou recolocar um item<sup>5</sup> em uma situação que possa desempenhar sua função requerida<sup>6</sup>.

Conforme a norma da USN, NAVSEA S9081-AB-GIB-010, manutenção é o

<sup>4</sup> Função logística é a reunião, sob uma única designação, de um conjunto de atividades logísticas afins, correlatas ou de mesma natureza. Na MB, são reconhecidas as seguintes funções logísticas: recursos humanos, saúde, suprimento, manutenção, engenharia, transporte e salvamento (BRASIL, 2003b, p.2-1).

<sup>5</sup> Item é qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente (ABNT, 1994, p. 2).

<sup>6</sup> Função requerida é uma função ou combinação de funções de um item que são consideradas necessárias para prover um dado serviço (ABNT, 1994, p. 2).

“conjunto de medidas adotadas para garantir que os sistemas, equipamentos e componentes executem as funções requeridas quando necessário” (EUA, 2007, p. 3-1, tradução nossa)<sup>7</sup>.

As definições apresentadas permitem as seguintes conclusões parciais:

- a) a manutenção está diretamente relacionada aos parâmetros de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, na medida em que busca manter um item pronto para desempenhar sua função requerida de forma confiável e, no caso de uma avaria, reconduzi-lo à condição operacional;
- b) a segurança das pessoas, da instalação e do meio ambiente são objetivos dos programas de manutenção;
- c) a manutenção não é uma atividade-fim, mas sim de apoio a um objetivo da organização, como a produção nas empresas privadas e, nas forças navais, o cumprimento da missão. No entanto, cabe destacar a sua função estratégica na melhoria dos resultados financeiros e operacionais das organizações.

A política de manutenção é um documento importante para as forças armadas e organizações produtivas, públicas ou privadas, ao apresentar as diretrizes, programas e objetivos, a prioridade dos tipos de manutenção, a responsabilidade dos níveis organizacionais e os indicadores de controle e acompanhamento. Na USN, a política de manutenção para os navios prioriza a aplicação da MCC e da MPR na elaboração e revisão dos programas de manutenção (EUA, 2010, p. 4).

A propósito, Kardec e Nascif (2015, p. 39) reforçam a importância das organizações estabelecerem um documento de alto nível organizacional que esclareça a política de manutenção dos seus ativos, incluindo a prioridade do tipo de manutenção.

Na MB, não há um documento denominado política de manutenção. As duas publicações normativas do Estado-Maior da Armada que tratam do tema são o EMA-400

---

<sup>7</sup> Idioma inglês.

(Manual de Logística da Marinha) e EMA-420 (Normas de Logística de Material), que não abordam aspectos importantes sobre a função logística manutenção como, por exemplo, a metodologia de elaboração do SMP e a prioridade dos tipos de manutenção.

## **2.2 Tipos de Manutenção**

Os tipos de manutenção são identificados de acordo com a natureza dos parâmetros de planejamento ou o momento de execução das rotinas de manutenção.

### *2.2.1 Manutenção Corretiva*

De acordo com a norma técnica NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 13), manutenção corretiva é aquela executada após a ocorrência de uma falha, com o objetivo de recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Na MB, existem diferenças entre as definições constantes das normas sobre logística e manutenção. Para o EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), MC é a manutenção que se propõe a reparar ou recuperar o material danificado para repô-lo em condições de uso. O EMA-400 (BRASIL, 2003b, p. 4-6) acrescenta uma distinção entre os conceitos de MC planejada e não planejada, estando este mais coerente com a literatura especializada. Embora ambas reforcem o caráter reativo da MC, isto é, executada após a ocorrência da falha, ela pode ser executada de forma programada.

A propósito, Kardec e Nascif (2015, p. 31 e 52) ressaltam que a MC não planejada consiste na correção de forma reativa e emergencial após a ocorrência de uma falha e sem um planejamento prévio, incorrendo, assim, em maior custo e menor disponibilidade. Esse tipo de manutenção impacta negativamente a eficiência do programa de manutenção, devendo os

planejadores tomar as medidas necessárias para reduzir o seu emprego.

Já a MC planejada consiste na correção de uma falha identificada com antecedência por meio da medição e controle de parâmetros indicadores da condição de um item. Ela é conduzida de forma programada, viabilizando o planejamento de serviços e a aquisição de sobressalentes, resultando na diminuição de tempo e custo em relação à MC não planejada. Um dos conceitos a ser incluído na política de manutenção da MB é que a MC planejada pode fazer parte do SMP, a partir de uma decisão lógica da MCC.

### *2.2.2 Manutenção Preventiva*

Manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos definidos e de acordo com critérios preestabelecidos, visando reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT, 1994, p. 13).

Na MB, conforme o EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), a MP é planejada com antecedência para reduzir ou evitar falhas, diminuição de desempenho ou possibilidade de avarias, por meio da manutenção ou a substituição do item. Ela é executada em intervalos de tempo determinados e apresenta, em geral, bons resultados na segurança do pessoal e das instalações.

Por outro lado, Kardec e Nascif (2015, p. 87) relacionam como fatores negativos da MP a redução da disponibilidade devido ao maior tempo de parada e excesso de intervenções e uma maior probabilidade de falha após as revisões em razão do fenômeno da “mortalidade infantil”<sup>8</sup>, causado, normalmente, por erros de projeto, fabricação, montagem, falha humana ou peças defeituosas.

A tentativa de prevenir todas as falhas sobrecarrega o SMP, levando ao aumento

---

<sup>8</sup> O fenômeno da “mortalidade infantil” é analisado no subitem 4.1.1 desta pesquisa.

dos gastos com mão de obra, serviços e sobressalentes. Além disso, as intervenções mais frequentes não significam resultados garantidos de aumento de confiabilidade.

A norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 3-7) reforça que a premissa deste tipo de manutenção é atuar antes que o equipamento atinja uma idade em que haverá aumento da probabilidade de falha. Em resumo, a MP é aplicada aos itens que se desgastam consideravelmente com o tempo. Na subseção 4.1, são analisados os padrões de confiabilidade no tempo e as situações em que o emprego da MP traz melhores resultados.

Desde a década de 1970, a MP vem perdendo participação nos programas de manutenção em virtude de suas desvantagens comparativas em relação à MPR, em especial nas questões relativas a custos. Kardec e Nascif (2015, p. 32) verificam, pela análise de diversas empresas, que o emprego corrente da MP se restringe a algumas situações:

- a) impossibilidade de aplicar a MPR pela ausência de parâmetros ou métodos de medição que indiquem a condição física e operacional de um item;
- b) a maioria da amostragem de um item exibe aumento considerável da taxa de falha a partir de uma idade definida;
- c) máxima prioridade aos requisitos de segurança pessoal e ambiental. Como exemplo ilustrativo, cita-se a manutenção de usinas nucleares e do futuro submarino de propulsão nuclear brasileiro (SN-BR).

### *2.2.3 Manutenção Preditiva*

A norma técnica NBR 5462 define manutenção preditiva como aquela que pretende “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” (ABNT,

1994, p. 13).

De acordo com o EMA-420 (BRASIL, 2002b, p. 3-3), a MPR abrange um conjunto de tarefas realizadas a partir da medição e acompanhamento de parâmetros de desempenho, objetivando caracterizar, acompanhar, diagnosticar e analisar a evolução do estado de sistemas e equipamentos. Ela orienta o planejamento e a execução das ações de manutenção quando forem necessárias, prevenindo a ocorrência de falhas e aumentando a disponibilidade ao permitir a operação continuada do item pelo maior tempo possível.

Com base nas definições, os seguintes aspectos podem ser destacados:

- a) a MPR é vital para a redução do emprego da MP e da MC não planejada;
- b) necessidade de acompanhamento sistemático de parâmetros indicadores da condição dos equipamentos;
- c) efeito positivo no aumento da disponibilidade.

Na opinião de Kardec e Nascif (2015, p. 62), o monitoramento e a análise da condição do equipamento são conduzidos por meio de técnicas preditivas e da comparação com padrões pré-estabelecidos, definindo-se o momento de parada do equipamento e de execução da MC planejada para restaurar o item à sua condição operacional.

Nos últimos 30 anos, tem sido observada uma maior participação da MPR nos programas de manutenção, devido aos avanços tecnológicos e ao desenvolvimento de novos instrumentos de teste e de métodos para o monitoramento da condição<sup>9</sup>. Considerando o nível de complexidade dos instrumentos e das técnicas preditivas, é vital que as organizações invistam na formação e no treinamento dos planejadores, gerentes e mantenedores.

Pelas características de projeto dos equipamentos e o nível tecnológico dos

---

<sup>9</sup> Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 269 a 272), podem ser citadas as técnicas de análise de lubrificantes (espectrometria, ferrografia, cromatografia e viscosimetria), análise vibracional, medição de parâmetros elétricos, análise termográfica, ensaios não destrutivos (raios x, ultrassom, partículas magnéticas, líquidos penetrantes e ensaios acústicos), ensaio visual (endoscopia), medição de pulsos de choque, teste de estanqueidade e diagnose de motores.

instrumentos de teste à disposição, a MPR não pode ser aplicada a todos os itens e, para que seja eficiente, algumas condições devem estar presentes (KARDEC e NASCIF, 2015, p. 63):

- a) as características físicas do item permitem o monitoramento da condição, isto é, apresenta algum parâmetro que possa ser medido com precisão;
- b) os parâmetros selecionados viabilizam a previsão da ocorrência de falhas, devendo, para isso, existir um banco de dados de manutenção que concentre as informações históricas e permita a análise de tendência;
- c) é possível estabelecer um valor padrão para a análise comparativa e a definição de limites que servem de base para a decisão de parada do item;
- d) o monitoramento é realizado em intervalos de tempo definidos ou de forma contínua, neste caso medidores e alarmes permanentemente instalados.

#### *2.2.4 Manutenção Detectiva*

A manutenção detectiva (MD) não está referenciada na norma técnica NBR 5462 e na MB. Até os anos 2000, as tarefas detectivas eram classificadas como preventivas. As publicações técnicas atualizadas sobre manutenção, em especial aquelas relacionadas à MCC, passaram a considerar como parte da MD uma série de testes e inspeções voltados para a descoberta de falhas ocultas.

Conforme Kardec e Nascif (2015, p. 65), a MD é baseada na verificação das funções dos sistemas e equipamentos, com a realização de testes funcionais de dispositivos de proteção, comando e controle, a fim de detectar as falhas que estejam ocultas, ou melhor, não evidentes aos operadores e mantenedores. A MD tem um papel muito importante, em conjunto com a MPR, 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. Após a descoberta da falha, o mantenedor conduz a MC planejada necessária ao retorno do item à sua condição operacional.

De acordo com a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 3-8), a MD está baseada em tarefas de descoberta de falhas e na avaliação das funções não perceptíveis aos operadores, sendo vinculada a equipamentos muito importantes para a segurança, com funcionamento intermitente e que devem estar disponíveis para executar suas funções requeridas quando necessário. A norma em referência inclui na definição os dispositivos de proteção e controle e os sistemas de armamento de navios.

Na visão de Kardec e Nascif (2015, p. 54), o conjunto formado pela MC planejada, a MPR e a MD é denominado Manutenção Baseada na Condição (MBC), que busca corrigir um desempenho menor que o de projeto, permitindo operar um item até este atingir parâmetros limites de condição física e operacional pré-definidos. A programação das intervenções pode, também, ser conduzida de acordo com índices de controle relacionados à confiabilidade, como o tempo médio entre falhas (TMEF)<sup>10</sup> ou à manutenibilidade, como o tempo médio para reparo (TMPR)<sup>11</sup>.

### **2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade**

O capítulo 4 desta pesquisa é dedicado à análise detalhada da MCC. A norma técnica SAE JA1011 a define como o

Processo específico utilizado para identificar as políticas que devem ser implantadas para o gerenciamento dos modos de falha que podem causar uma falha funcional de qualquer ativo físico em um contexto operacional específico (SAE INTERNATIONAL, 2009, p. 1-1).

Na MB, não há menção à MCC nas normas EMA-400 e EMA-420. O assunto é abordado no âmbito da Diretoria-Geral do Material da Marinha (DGMM), nas publicações

---

<sup>10</sup> Do inglês *Mean Time Between Failure* (MTBF).

<sup>11</sup> Do inglês *Mean Time to Repair* (MTTR).

sobre Apoio Logístico Integrado (ALI), MATERIALMARINST 33-01 e DGMM-0130.

A instrução MATERIALMARINST 33-01 (BRASIL, 2010, p. 2) define MCC como uma análise do projeto de um sistema, visando identificar a manutenção que deve ser realizada de forma programada para preservar a confiabilidade e evitar avarias. Já a norma DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 5-1) apresenta a MCC como uma das fases do ALI e um processo estruturado para selecionar atividades de manutenção nos projetos de aquisição e de construção de meios.

Adicionalmente, o processo de ALI prevê o emprego da MCC na fase de projeto e para a elaboração dos programas de manutenção, não mencionando a sua importância na revisão contínua do SMP, o que fortalece parte do objetivo principal desta pesquisa de verificar a aplicabilidade da MCC na revisão de planos de manutenção. O relacionamento entre a MCC e o ALI, na visão da MB, está detalhado no Apêndice A.

Ressalta-se que a MCC é muito pouco conhecida pelos integrantes da MB por diversas razões, dentre as quais este autor destaca:

- a) ausência de menção da MCC nas normas de alto nível sobre a função logística manutenção elaboradas pelo Estado-Maior da Armada;
- b) deficiência da formação de Oficiais e praças nos assuntos relativos à gerência de manutenção, em especial os processos modernos, como a MCC e a MPR;
- c) a despeito dos conceitos estarem presentes nas normas da DGMM, não há registro da aplicação da MCC na formulação e revisão de programas de manutenção no âmbito da MB, que permitisse a divulgação de resultados. Este fato ressalta a importância deste trabalho em dar ênfase à aplicabilidade da MCC na elaboração dos programas de manutenção.

No contexto da USN, a norma MIL-STD-3034A (EUA, 2014a, p. 8) define

MCC<sup>12</sup> como um método para a determinação dos requisitos de manutenção com base na análise da probabilidade funcional de falhas que possuam impacto significativo na segurança, nas operações e no custo do ciclo de vida, resultando no emprego mais efetivo e eficiente dos tipos de manutenção. Cabe ressaltar que a USN desenvolveu um processo simplificado, denominado *MCC Backfit*<sup>13</sup>, que facilitou a revisão contínua dos programas de manutenção dos navios.

Para uma melhor compreensão dos fundamentos da MCC, são abordados alguns aspectos relativos às principais variáveis de controle e acompanhamento dos processos e programas de manutenção, quais sejam confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

## 2.4 Confiabilidade

De acordo com a NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 4), confiabilidade é a capacidade de um item executar a sua função requerida durante um intervalo de tempo e em condições específicas de emprego definidas na fase de projeto. A confiabilidade está relacionada ao parâmetro TMEF.

A MATERIALMARINST 33-01 (BRASIL, 2010, p. 2) define confiabilidade como a probabilidade de um item funcionar de acordo com o desejado caso esteja sendo empregado nas condições para as quais ele foi projetado.

Nota-se que a manutenção pode restaurar ou manter, no máximo, a confiabilidade de projeto de um item, denominada de confiabilidade inerente. Caso os requisitos não atendam às necessidades do utilizador, deve-se buscar o desenvolvimento de um novo item ou a sua modernização (KARDEC e NASCIF, 2015, p. 126).

A confiabilidade é a variável sobre a qual os planejadores de manutenção podem

---

<sup>12</sup> Em inglês, a MCC é denominada *Reliability-Centered Maintenance* (RCM).

<sup>13</sup> A *MCC Backfit* é objeto de análise do capítulo 5 desta pesquisa.

atuar de forma direta, desde a fase de concepção, para alcançar os requisitos de disponibilidade e segurança e reduzir os custos ao longo da vida útil do item.

## **2.5 Manutenibilidade**

A NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 4) utiliza o termo “manutenibilidade” e a define como a capacidade de um item ser mantido ou restituído às condições operacionais para executar a sua função requerida.

Na MATERIALMARINST 33-01 (BRASIL, 2010, p. 2), manutenibilidade é a probabilidade de um item ser reparado, após a ocorrência de uma falha, em um determinado período de tempo, retornando à sua condição operacional. A manutenibilidade está relacionada ao parâmetro TMPR.

Para Kardec e Nascif (2015, p. 136), diversos fatores podem contribuir para a melhoria da manutenibilidade, os quais devem ser planejados desde a fase de concepção do projeto, como a padronização de equipamentos, uniformização e disponibilidade de sobressalentes, acessibilidade ao equipamento e qualificação dos mantenedores em todos os escalões.

Do mesmo modo, o tipo de manutenção tem impacto na manutenibilidade. Por exemplo, a MC não planejada implica normalmente em reparos mais extensos em função do seu caráter emergencial. Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 119), a MPR é aquela que proporciona os melhores índices de manutenibilidade, uma vez que o monitoramento contínuo ou periódico da condição de um item permite ao setor de manutenção prever a necessidade da intervenção e realizá-la de forma planejada e coordenada em termos de mão de obra, serviços e sobressalentes, reduzindo, assim, o tempo de reparo.

## **2.6 Disponibilidade**

A norma NBR 5462 define disponibilidade como a

Capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (ABNT, 1994, p. 4).

A disponibilidade é função direta das variáveis confiabilidade e manutenibilidade.

Melhores índices de confiabilidade advêm da diminuição da taxa de falhas, permanecendo o item, por conseguinte, mais tempo disponível. Além disso, uma vez ocorrida a falha, quanto menor o tempo de reparo do item, maior a manutenibilidade e, conseqüentemente, a disponibilidade.

Do ponto de vista de Capetti (2005, p. 54), os parâmetros de confiabilidade e de manutenibilidade são planejados ao início do projeto, em especial a manutenibilidade que está relacionada à estratégia de manutenção e ao sistema de apoio logístico. Uma vez iniciada a vida útil do item, o aumento da disponibilidade é obtido de forma mais rápida pela atuação dos gerentes e planejadores na variável confiabilidade.

Kardec e Nascif (2015, p. 130) apresentam variações de cálculo do valor de disponibilidade de acordo com os dados de confiabilidade e manutenibilidade utilizados.

$$\text{a) Disponibilidade inerente (\%)} = [(TMEF) / (TMEF + TMPR)] \times 100 \quad (1)$$

Este conceito leva em conta o tempo de reparo corretivo (TMPR), excluindo os períodos de atraso por sobressalentes, logística e outros aspectos;

$$\text{b) Disponibilidade operacional (\%)} = [(TMEM)^{14} / (TMEM + TMP)^{15}] \times 100 \quad (2)$$

Reflete a disponibilidade com mais precisão, ao considerar a manutenção corretiva, preventiva e preditiva (TMEM) e o tempo completo de paralisação, incluindo mão de obra, reparo, transporte e sobressalentes (TMP).

<sup>14</sup> Tempo Médio entre Manutenções, do inglês *Mean Time Between Maintenance* (MTBM).

<sup>15</sup> Tempo Médio de Paralisação, do inglês *Mean Down Time* (MDT).

Analisando as fórmulas (1) e (2), conclui-se que para atingir melhores resultados de disponibilidade, o setor de manutenção de uma organização pode atuar no aprimoramento tanto da manutenibilidade, reduzindo o tempo de parada (TMPR e TMP) quanto da confiabilidade, aumentando o tempo médio entre falhas e manutenções (TMEF e TMEM).

Ao finalizar o referencial teórico, buscou-se identificar os principais conceitos sobre a atividade de manutenção e, assim, facilitar o entendimento e fundamentar os demais passos da pesquisa. No próximo capítulo, a situação atual da manutenção dos navios da MB é analisada com foco no emprego dos tipos de manutenção.

### 3 MANUTENÇÃO NA MARINHA DO BRASIL

Neste capítulo, são identificados os principais aspectos da evolução da manutenção na MB e os desafios enfrentados nos últimos anos, principalmente aqueles relacionados ao emprego dos tipos de manutenção.

A função logística manutenção experimentou um grande desenvolvimento a partir de 1967, com a aprovação do Programa Decenal de Renovação dos Meios Flutuantes e a posterior construção de navios no AMRJ, em estaleiros privados nacionais, na Alemanha e no Reino Unido, destacando-se, neste último, os submarinos da classe Humaitá e as FCN, as quais ainda se encontram operacionais e constituem os principais navios de escolta da Esquadra brasileira.

Antes daquele período, o Acordo de Assistência Militar Brasil-EUA, assinado em 1952, viabilizou o recebimento de navios da USN remanescentes da Segunda Guerra Mundial, além de grande quantidade de sobressalentes. Na opinião de Barboza (2004, p. 110), o acordo desestimulou os empreendimentos de construção naval militar no país e o desenvolvimento da atividade de manutenção que, pela falta de um sistema planejado e a grande disponibilidade de peças de reposição, era caracterizada, sobretudo, pela corretiva não planejada.

Com a chegada das FCN, houve dois grandes aprimoramentos na atividade de manutenção na MB:

- a) estabelecimento de um conjunto integrado de rotinas de manutenção com procedimentos, periodicidade, qualificação de mantenedores e sobressalentes definidos, formando o SMP<sup>16</sup>;
- b) emprego da MP por meio de rotinas executadas a partir do tempo de

<sup>16</sup> Segundo o EMA-420, o SMP é constituído pela 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, 2002b, p. 3-6).

funcionamento dos equipamentos com objetivo de prevenir as falhas. Ela estava baseada na manutenção conduzida nos navios da marinha do Reino Unido (RN)<sup>17</sup> ao final da década de 1960.

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:

- a) reduzir o risco de falhas no início da vida útil, tentando evitar o fenômeno da “mortalidade infantil” e, dessa forma, os gastos com garantias contratuais;
- b) aumentar o lucro, sugerindo a manutenção em função do tempo e não da condição dos equipamentos e estabelecendo uma dependência com base na necessidade constante de sobressalentes, mão de obra e serviços especializados.

Não se pretende criticar os fabricantes por privilegiarem a adoção da MP, mas realçar que a MB vem incorrendo na mesma situação vivida pela RN, conforme explicitado na norma ENGENALMARINST 85-18 (BRASIL, 2003a, p. 1-2). Mesmo caracterizando uma evolução da manutenção corretiva, a MP sugerida por fabricantes apresenta maior custo de manutenção sem a devida contrapartida em disponibilidade e confiabilidade.

Conforme Siqueira (2014, p. 15 e 57), as recomendações dos fabricantes devem ser avaliadas e aceitas pelo planejador da manutenção nas situações em que sejam aplicáveis e efetivas de acordo com os critérios estabelecidos pela MCC. Para o estabelecimento de programas de manutenção, o mesmo autor prioriza o uso das informações históricas de falhas obtidas pela própria organização, em detrimento daquelas fornecidas pelos fabricantes.

A propósito, Kardec e Nascif (2015, p. 107) confirmam que as empresas têm utilizado, cada vez mais, sistemas computacionais de planejamento e controle da manutenção.

---

<sup>17</sup> A RN foi citada por ser a origem do projeto das FCN e cujo modelo de manutenção preventiva serviu de base para a MB. Adicionalmente, a RN é citada por ter apresentado uma evolução de sua política de manutenção, priorizando o emprego da manutenção preditiva. No entanto, a RN não foi utilizada por este autor como modelo ou referência do emprego da metodologia da manutenção centrada na confiabilidade.

A USN emprega o *Maintenance Data System* (MDS) que registra as informações gerenciais de manutenção e falhas e permite a obtenção de dados sobre disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e custos, que são imprescindíveis não só para a condução da MCC como para a gestão da manutenção.

O SMP das FCN tornou-se, para a MB, o modelo de como conduzir a manutenção dos navios, não sendo observados grandes aprimoramentos nos últimos 40 anos. Por outro lado, a atividade de manutenção nas indústrias e nas marinhas tecnologicamente mais avançadas, como a USN e a RN, apresentou, no mesmo período, uma evolução significativa.

Ao final da década de 1970, a RN experimentou uma majoração dos custos de manutenção em função de intervenções desnecessárias com base no tempo de funcionamento. Adicionalmente, constatou-se a necessidade de elevar os índices de disponibilidade e confiabilidade dos seus meios navais em função dos compromissos operativos. Dessa forma, a RN buscou uma alternativa à sua dependência dos fabricantes, desenvolvendo conhecimento próprio e aumentando a participação da manutenção preditiva.

Ressalta-se 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. Nessas marinhas, as mudanças se deram a partir de decisões da alta administração com a reformulação das políticas de manutenção, priorizando a utilização da MPR e da MCC e conduzindo-se projetos-piloto para a verificação dos resultados de disponibilidade e custos, além do reforço na formação do pessoal em gerência de manutenção, MCC e MPR.

### **3.1 Tipos de Manutenção empregados na MB**

O SMP das FCN serviu de base para as corvetas da classe Inhaúma (CCI) e

corveta Barroso, meios navais projetados e construídos no Brasil, mantendo-se a predominância da manutenção preventiva. Para analisar o emprego dos tipos de manutenção na MB, foi conduzida uma pesquisa no banco de dados SisSMP<sup>18</sup>, com foco nas FCN, CCI e corveta Barroso e, para fins comparativos, foram avaliadas as rotinas de manutenção das fragatas da classe Greenhalgh (FCG), navios que entraram em serviço na RN a partir de 1979 e foram adquiridos pela MB em 1996.

A pesquisa incluiu 12.046 rotinas de manutenção que foram classificadas de acordo com o referencial teórico apresentado na seção 2, possibilitando a análise da composição percentual do SMP, cujos resultados estão apresentados na TAB. 1.

A MP abrangeu as rotinas compreendidas nas seguintes categorias:

- a) inspeção preventiva (InspPrev): verificações conduzidas sem a medição de parâmetros de monitoramento da condição;
- b) restauração preventiva (RestPrev): revisões programadas que pressupõem gastos de material, mão de obra especializada ou contratação de serviços;
- c) substituição preventiva (SbtPrev): substituição completa do item com base no tempo de funcionamento.

A MPR incluiu as ações de medição e acompanhamento da condição, como a medição de vibração de equipamentos rotativos, diagnose de motores, acompanhamento da qualidade de lubrificantes e controle de parâmetros elétricos.

Na categoria MD, foram incluídos os testes de descoberta de falhas ocultas em dispositivos de controle e proteção de equipamentos e sistemas de armas.

Cerca de 10 e 20 anos separam as FCN das CCI e da Corveta Barroso e o percentual de MP manteve-se constante na faixa de 70%. Assim sendo, fica comprovado o predomínio da manutenção preventiva baseada no tempo de funcionamento, em especial a

---

<sup>18</sup> Programa em ambiente web intranet da Diretoria de Engenharia Naval denominado SisSMP, encontrado em [www.den.mb](http://www.den.mb), que concentra todas as rotinas de manutenção dos navios da MB.

restauração preventiva composta por revisões programadas de custos elevados.

O SMP das FCG, por sua vez, incorporou os avanços iniciais da política de manutenção da RN após 1970. Nota-se um percentual maior de manutenção preditiva e detectiva em detrimento da manutenção preventiva.

TABELA 1  
Distribuição das rotinas de SMP por tipos de manutenção - Brasil - 2016

Classe Navio	Total de rotinas	MP				MD	MPR
		InspPrev	RestPrev	SbtPrev	Total MP		
FCN <i>1972</i>	3.847	1.096 (28,5)	1.301 (33,8)	249 (6,5)	<b>2.646</b> <b>(68,8)</b>	<b>969</b> <b>(25,2)</b>	<b>232</b> <b>(6)</b>
CCI <i>1983</i>	2.554	613 (24)	1.052 (41,2)	168 (6,6)	<b>1.833</b> <b>(71,8)</b>	<b>576</b> <b>(22,5)</b>	<b>145</b> <b>(5,7)</b>
Cv Barroso <i>1994</i>	2.001	469 (23,4)	763 (38,1)	165 (8,2)	<b>1.397</b> <b>(69,7)</b>	<b>500</b> <b>(25)</b>	<b>104</b> <b>(5,3)</b>
FCG <i>1975</i>	3.644	991 (27,2)	979 (26,8)	189 (5,2)	<b>2.159</b> <b>(59,2)</b>	<b>1.126</b> <b>(30,9)</b>	<b>359</b> <b>(9,9)</b>

Fonte: Banco de dados SisSMP da Diretoria de Engenharia Naval, 2016.

Nota: a) valores entre parênteses representam a distribuição percentual dos tipos de manutenção pelas classes de navios;  
b) valores em itálico correspondem ao ano de início da construção do navio ou do primeiro navio da classe.

Para permitir uma comparação dos índices praticados na MB, o setor industrial nacional apresenta a seguinte distribuição de tipos de manutenção: 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, p. 72 a 75) afirmam que as empresas mais competitivas mundiais apresentam uma distribuição de 52% de manutenção preditiva, 31% de preventiva e 10% de manutenção corretiva. Como pode ser constatado, os índices de utilização da manutenção preventiva pela MB estão muito acima das práticas atuais no país e no exterior, onde se verifica uma maior participação da MPR.

Segundo Barboza (2004, p. 118), as rotinas preditivas constituem uma parcela muito pequena do SMP dos meios navais da MB e a maioria delas é proveniente de iniciativas tomadas ao final da década de 1980 e início da década de 1990, que incluíram a medição de

vibração de equipamentos rotativos, a análise de parâmetros de motores e de lubrificantes.

O Sistema de Análise de Vibração de Máquinas Rotativas (SAVMAQ), iniciado em 1986, incluiu a medição e o acompanhamento da vibração de equipamentos rotativos. Desde então, essas atividades são realizadas pelo Centro de Projetos de Navios (CPN). Entretanto, as equipes do CPN são acionadas de acordo com a iniciativa de cada navio e não periodicamente como parte do SMP. Ao mesmo tempo, seria importante questionar se as tarefas de medição de vibração deveriam estar a cargo do CPN, organização cuja missão é conduzir projetos de construção naval.

Dessa forma, surge a necessidade de reavaliar a organização militar (OM) responsável pelo apoio direto de manutenção preditiva aos meios operativos, além de reforçar a importância da qualificação das tripulações dos navios em MPR.

O Sistema de Análise de Tendências de Motores Diesel (ATENDI) era direcionado para o acompanhamento e a análise de parâmetros de motores. Sua implantação foi decorrente do conhecimento adquirido sobre o sistema ADETA<sup>19</sup>, a partir da aquisição pela MB, ao final da década de 1980, dos contratorpedeiros da classe Pará e do navio de desembarque de carros de combate Matoso Maia, todos pertencentes anteriormente à USN.

Por último, o Sistema de Análise Químico/Metálico de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel (LUBE) permitia o acompanhamento da condição de motores pela análise espectrométrica do óleo lubrificante, na qual se determinava o percentual e o tipo de partículas metálicas presentes no óleo, viabilizando a identificação das partes do motor que apresentavam desgaste acima do normal.

Tais iniciativas não foram acompanhadas de decisões complementares e coordenadas de evolução da política de manutenção da MB e da prioridade necessária para sua implantação. Em vista disso, com exceção das equipes de monitoramento de vibração do

---

<sup>19</sup> *Automated Diesel Engine Trend Analysis*, programa empregado pela USN na manutenção preditiva de motores diesel.

CPN, os demais programas não tiveram continuidade nem obtiveram os resultados esperados. Na opinião de Barboza (2004, p. 115), alguns fatores são indispensáveis para o êxito dos processos de evolução da manutenção e de implantação da MPR:

- a) qualificação das tripulações dos navios nos métodos e instrumentos de monitoramento;
- b) utilização de banco de dados de manutenção que permita a avaliação rápida e fidedigna dos dados de confiabilidade e disponibilidade;
- c) implantação de forma planejada e gradual da MCC e da MPR, selecionando-se os meios navais, sistemas e equipamentos cujos resultados iniciais podem servir de estímulo para a continuidade do processo de evolução da manutenção.

### **3.2 Os Desafios da Manutenção Preventiva**

O SMP essencialmente preventivo e a ausência de um banco de dados históricos de manutenção são aspectos que ressaltam o distanciamento da função logística manutenção empregada na MB e em outras forças navais mais avançadas, como a USN que privilegia o emprego do manutenção preditiva apoiada pelo MDS, um tipo de sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção.

A MP, quando predominante, promove a realização de um número elevado de ações de manutenção em períodos curtos, nem sempre compensadas pelo aumento da confiabilidade e disponibilidade. Dessa forma, nos últimos anos a sustentabilidade de programas de manutenção preventiva tem sido questionada, pois os custos, ao longo da vida útil<sup>20</sup> dos meios, têm superado a capacidade orçamentária de algumas organizações, como a MB.

---

<sup>20</sup> Compreende o período que vai desde a incorporação do meio à MB até a sua baixa. É composto pelos vários ciclos de atividades de um meio (BRASIL, 2002b, p. 3-1).

Dessa forma, reforça-se a necessidade da evolução contínua dos programas de manutenção à medida que os meios vão se tornando mais antigos. Essa evolução deve ser conduzida por meio de uma metodologia, a qual a USN denominou MCC *Backfit*, que será objeto de análise no capítulo 5 desta pesquisa.

Kardec e Nascif (2015, p. 71) analisaram os custos de manutenção com base em dados extraídos de empresas transnacionais líderes em seus setores e verificaram que a MPR apresenta custos 50% menores que a MP. Dessa forma, as organizações devem privilegiar, quando aplicável, o emprego de rotinas preditivas.

A MB tem experimentado, desde o final da década de 1990, uma série de dificuldades na manutenção dos seus meios, dentre as quais se destacam:

- a) perda gradual da capacidade técnica e gerencial das OMPS-I;
- b) meios navais com idade avançada e acima da vida útil de projeto;
- c) restrições orçamentárias, que impactam a disponibilidade de recursos para cumprimento do PROGEM<sup>21</sup>.

Outrossim, algumas evidências passaram a colocar em dúvida a viabilidade dos programas de manutenção dos navios da MB<sup>22</sup>:

- a) não atendimento dos ciclos de atividades<sup>23</sup>, com a extensão do intervalo de tempo entre períodos de manutenção geral (PMG)<sup>24</sup>;
- b) aumento da duração dos PMG, impactando, também, nos ciclos de atividades;
- c) utilização dos equipamentos além da vida útil, acarretando uma elevação

<sup>21</sup> Documento de planejamento elaborado pelo Setor Operativo, de acordo com o Ciclo de Atividades de cada meio, para um período de quatro anos, e que tem como propósito propiciar aos meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais a plena capacidade operativa (BRASIL, 2002b, p. 3-2).

<sup>22</sup> As análises realizadas por este autor nesta parte da pesquisa estão fundamentadas em dados obtidos junto ao Comando de Operações Navais e ao Comando da Força de Superfície. Devido ao grau de sigilo, os dados não foram explicitados no texto, permitindo que a pesquisa possa ser conhecida por um maior número de leitores.

<sup>23</sup> Ciclo composto de um Período Operativo e de um Período de Manutenção de longa duração. Tem início com a operação do meio, após sua incorporação à MB ou após o encerramento de um PM de longa duração, e termina ao se concluir o PM de longa duração seguinte (BRASIL, 2002b, p. 3-1).

<sup>24</sup> Período em que são executadas de forma programada as ações de manutenção planejada preventiva e preditiva necessárias a reconduzir ou manter o material em suas especificações técnicas (BRASIL, 2002b, p. 3-4).

considerável dos custos de manutenção.

Para comprovar a extensão do intervalo de tempo entre PMG, este autor constatou que, desde a década de 1980, o intervalo médio de tempo entre PMG das seis FCN teve um acréscimo de 171% e, a partir do final da década de 1990, o valor ultrapassou o preconizado no projeto desta classe de navios.

Prosseguindo no estudo, verificou-se que, desde a década de 1980, houve um aumento de 360% no tempo médio de duração de PMG das seis FCN, extrapolando, da mesma forma, o período definido no projeto dessa classe de navios.

A partir da análise conduzida, confirma-se a dificuldade de cumprimento do SMP preventivo dos navios da MB, sobretudo quando o fundamento do programa de manutenção não é atendido, que no caso é o tempo de funcionamento. Conclui-se que os desafios, ora enfrentados pela MB, de redução da disponibilidade e confiabilidade dos meios e de aumento de custo resultam, em parte, da predominância da MP na composição do SMP dos navios.

Os efeitos negativos do não atendimento aos prazos da MP foram acentuados pela reduzida participação de rotinas preditivas, as quais possibilitariam o acompanhamento das condições de funcionamento dos equipamentos, aumentando o grau de segurança na operação e viabilizando a parada dos meios navais ou equipamentos específicos antes da ocorrência de falhas graves.

Os reflexos dos problemas enfrentados pela MB na função logística manutenção foram mais notados a partir dos anos 2000, quando os navios e equipamentos passaram a apresentar uma maior taxa de falhas e, portanto, uma redução da confiabilidade e da disponibilidade.

Com o não atendimento da premissa da MP de conduzir a manutenção com base no tempo de funcionamento e a baixa utilização de rotinas preditivas, houve um incremento do emprego da MC, agravando ainda mais o quadro financeiro. Comprova-se tal afirmação

pelos dados de realização de Períodos de Manutenção e de Docagem Extraordinários (PME / PDE)<sup>25</sup> das FCN, os quais são destinados à execução de grandes manutenções corretivas nos navios, tendo sido constatada, desde a década de 1980, uma elevação de 228% no número de PME/PDE.

Conclui-se, dessa forma, a necessidade da MB reformular a sua política de manutenção, destacando-se os seguintes aspectos:

- a) aplicar a MCC para a elaboração e revisão de programas de manutenção;
- b) evoluir de um sistema eminentemente preventivo para um modelo de SMP com melhor distribuição dos tipos de manutenção, privilegiando a preditiva;
- c) revisar, continuamente, os programas de manutenção ao longo do ciclo de vida dos meios, buscando a redução de custos e o aumento de confiabilidade.

Um programa de manutenção estabelecido na fase de concepção do meio pode e deve ser constantemente avaliado, com base em dados confiáveis de gerenciamento da manutenção obtidos pela própria instituição.

### **3.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade e Apoio Logístico Integrado**

No âmbito da MB, a MCC está citada na publicação DGMM-0130, Manual do Apoio Logístico Integrado, que não possui finalidade normativa. Ressalta-se que o conceito da MCC não consta das normas de alto nível para a função logística manutenção, EMA-400 e EMA-420 nem faz parte do currículo de cursos de formação e aperfeiçoamento, restringindo o conhecimento da metodologia.

Os principais conceitos apresentados nesta pesquisa estão alinhados com os da

---

<sup>25</sup> Período de Manutenção Extraordinário (PME): período em que são executadas ações de manutenção corretiva para atender a uma necessidade eventual específica. Período de Docagem Extraordinário (PDE): período em que são executadas ações de manutenção corretiva, que necessitem de docagem, para atender a uma necessidade eventual específica (BRASIL, 2002b, p. 3-4).

publicação DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 1-3), a qual considera a MCC como um dos processos constituintes do ALI com o objetivo de selecionar as atividades de manutenção. O relacionamento entre a MCC e o ALI, tanto no âmbito da MB quanto do Ministério da Defesa dos EUA (DoD), está detalhado no Apêndice A.

Na concepção do processo de ALI na MB, está previsto o desenvolvimento e a operação do Sistema de Informações para Apoio Logístico Integrado (SISALI) para o gerenciamento da função logística manutenção, o qual se aproxima de modelos de CMMS empregados por outras organizações. No entanto, o SISALI, decorridos dez anos desde o início de sua concepção, ainda não foi desenvolvido e implantado.

É importante ressaltar a imprescindibilidade da MB contar com um CMMS que apresente, no mínimo, as seguintes funcionalidades:

- a) controlar a execução do SMP e os custos de manutenção;
- b) possibilitar a obtenção de dados para o cálculo e acompanhamento dos indicadores de avaliação da função logística manutenção;
- c) fornecer dados de modo de falha, causas, consequências, criticidade, TMEF, TMPR, TMEF e TMP;
- d) permitir análise de tendência de parâmetros de condição na MPR.

Um CMMS permite, também, a integração entre as funções logísticas manutenção e suprimento<sup>26</sup> ao prover dados de demanda de sobressalentes (BRASIL, 2003b, p. 2-2). Dessa forma, conclui-se que a implantação do sistema contribuirá para a solução dos desafios da MB na função logística manutenção.

Atualmente, não há um CMMS implantado que atenda a todos os escalões de manutenção e com as funcionalidades acima citadas. No âmbito do ComOpNav, o SAD-LOG

---

<sup>26</sup> Segundo o EMA-400 (BRASIL, 2003B, p. 4-1), função logística suprimento é o conjunto de atividades que trata da previsão e provisão do material, de todas as classes, necessário às organizações e forças apoiadas. Na MB, a função logística Suprimento, juntamente com parte da função logística Transporte, integra-se ao conceito mais abrangente de Abastecimento, cujo propósito é promover o fluxo adequado do material necessário, desde as fontes de obtenção até as OM consumidoras.

apresenta os dados de disponibilidade e confiabilidade dos principais sistemas e equipamentos com base nas informações de condição de eficiência (CONDEF) dos navios, mas não se configura em um CMMS.

O registro detalhado das falhas dos equipamentos dos navios ainda é realizado de forma escritural nos livros históricos, o que dificulta a extração e a análise dos dados, prejudicando, desse modo, o controle e o aprimoramento da atividade de manutenção.

O diagnóstico apresentado sobre a manutenção na MB evidencia a necessidade premente de reformulação da política de manutenção, que venha a promover o eficiente balanceamento dos tipos de manutenção, com foco no aumento da confiabilidade e disponibilidade dos sistemas e equipamentos dos navios e na redução do custo de manutenção. No próximo capítulo é conduzida a análise da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade como uma das respostas àquele desafio.

#### 4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Nesta seção, são analisados os principais conceitos, estratégias de implantação, vantagens e desvantagens da Manutenção Centrada na Confiabilidade como uma ferramenta de apoio para a elaboração e o aprimoramento do SMP ora em vigor na MB.

Do ponto de vista de Kardec e Nascif (2015, p. 19), dentre as tendências modernas da função logística manutenção, destacam-se algumas práticas e conceitos que reforçam a aplicação da MCC nas organizações, tais como:

- a) baixa aceitabilidade da parada da instalação decorrente de falhas e da utilização da MC não planejada, com impactos nos resultados das empresas;
- b) mudança na cultura de manutenção, antes focada no reparo de avarias para um modelo de ações proativas de prevenção, previsão e detecção de falhas;
- c) estabelecimento de métodos de acompanhamento das variáveis confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

Além disso, Siqueira (2014, p.16) reforça esses conceitos ao acrescentar os seguintes propósitos complementares da MCC:

- a) preservar ou restaurar as funções e a segurança da operação dos equipamentos;
- b) minimizar o custo do ciclo de vida, que inclui todos os recursos empregados no desenvolvimento, manutenção, operação e alienação de um item;
- c) planejar as ações de manutenção considerando as consequências das falhas.

Na visão de Moubray (1997, p. 318), os métodos lógicos orientados para a elaboração de programas de manutenção tiveram início na década de 1960, fruto da maior confiabilidade dos dados históricos de falhas e do aumento significativo dos custos de manutenção. O setor industrial aeronáutico sentiu a necessidade de se aumentar a confiabilidade dos sistemas e equipamentos componentes das aeronaves a jato, recém-introduzidas no serviço de transporte de passageiros, com o propósito de reduzir o índice de

acidentes e atender aos requisitos de certificação da *Federal Aviation Agency* (FAA)<sup>27</sup>.

Em 1967, engenheiros da indústria aeronáutica norte-americana e representantes da FAA conduziram a verificação dos resultados de rotinas preventivas na garantia dos níveis de confiabilidade dos sistemas e equipamentos das aeronaves para identificar as tarefas de manutenção mais efetivas. Estava em discussão o argumento do emprego da MP, isto é a redução da confiabilidade de um item ao longo do tempo de utilização. O grupo de trabalho<sup>28</sup> aplicou um processo de tomada de decisão para seleção de tarefas de manutenção, que seria, posteriormente, denominado Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Os resultados promissores alcançados pelo MSG-1 estimularam, a partir de 1968, a aplicação da metodologia no desenvolvimento dos programas de manutenção das aeronaves Boeing 747 e 767, facilitando a certificação junto à FAA. Os estudos da indústria de aviação promoveram um avanço significativo da função logística manutenção, em especial ao constatarem que “se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade e para muitos itens, a prática da manutenção preventiva não é eficaz” (KARDEC e NASCIF, 2015, p. 123).

Em 1969, um novo grupo de trabalho<sup>29</sup> foi constituído para elaborar os programas de manutenção das aeronaves Lockheed 1011 e Douglas DC-10, objetivando atingir a máxima confiabilidade a um custo mínimo. Moubray (1997, p. 320) apresenta os resultados do MSG-2 a partir da comparação entre gerações diferentes de aeronaves:

- a) o programa de manutenção da aeronave Douglas DC-8, cujo primeiro voo ocorreu em 1958, previa revisões periódicas de 339 itens;
- b) a aeronave Douglas DC-10, cujo primeiro voo ocorreu em 1970, teve o programa de manutenção elaborado a partir da nova metodologia e previa revisões periódicas de apenas sete itens, com redução de 50% nos gastos de

<sup>27</sup> Agência reguladora de aviação dos EUA.

<sup>28</sup> Este grupo foi denominado *Maintenance Steering Group 1* (MSG-1).

<sup>29</sup> Este grupo foi denominado *Maintenance Steering Group 2* (MSG-2).

mão de obra e sobressalentes, e aumento do emprego da MPR e da MD.

Em 1974, o DoD contratou a empresa United Airlines (UAL) para preparar um estudo sobre os processos empregados pela indústria de aviação civil na elaboração dos programas de manutenção das aeronaves. O relatório foi apresentado em 1978, no qual foi empregada, pela primeira vez, a expressão Manutenção Centrada na Confiabilidade. O ano de 1978 representou, também, o marco inicial da MCC na marinha dos EUA.

De acordo com Siqueira (2014, p. 9), os resultados positivos na confiabilidade, disponibilidade e custos encorajaram a expansão da MCC, a partir de 1985, para as plantas nucleares de geração de energia elétrica motivado pelo grave acidente com a usina de *Three Mile Island* em 1979 e, posteriormente, para outros setores industriais e militares.

#### 4.1 Principais conceitos

Consoante Moubrey (1997, p. 7); Kardec e Nascif (2015, p. 159); e a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 1-3), a MCC compreende um processo lógico de elaboração e revisão de programas de manutenção, que procura responder aos seguintes questionamentos:

- a) quais são as funções e padrões de desempenho de um item?
- b) quais falhas funcionais<sup>30</sup> podem ocorrer, isto é, de que forma o item pode deixar de cumprir as funções para as quais foi projetado?
- c) quais as causas das falhas funcionais?
- d) quais falhas funcionais são prováveis de ocorrer?
- e) são as falhas funcionais evidentes ou não para os operadores e mantenedores?
- f) qual o risco relativo da falha, em termos de probabilidade e impacto no

---

<sup>30</sup> Falha funcional é definida pela incapacidade de um item desempenhar uma função específica dentro dos limites desejados de desempenho (SIQUEIRA, 2014, p.54).

funcionamento do sistema, isto é, o grau de severidade?

g) caso possível, o que pode ser executado para prevenir ou prever as falhas prováveis?

h) qual o custo de se tentar prevenir ou prever as falhas?

i) o que pode ser planejado caso não se possa prevenir ou prever as falhas?

De acordo com a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 1-3), a MCC estabelece as tarefas para manter ou restaurar os níveis de confiabilidade inerente. Cabe notar que a atividade de manutenção não é capaz de proporcionar níveis superiores à confiabilidade inerente, sendo necessário, para esse fim, a modernização ou o projeto de um novo item com características de confiabilidade que atendam às expectativas do utilizador.

Na opinião de Capetti (2005, p. 52 e 53), a preservação dos níveis de confiabilidade inerente é exequível, caso sejam respeitados os limites de vida útil e as condições operacionais para as quais o item foi projetado. Ultrapassados esses marcos, os custos de manutenção apresentam uma tendência clara de crescimento e impactam, de modo direto, o planejamento orçamentário da organização. Nessa situação, os itens passam a exibir índices de confiabilidade cada vez menores a despeito dos esforços de manutenção.

Esse conceito ressalta um dos maiores desafios atuais da MB, uma vez que a falta de recursos para investimento, dentre outros fatores, tem levado os meios navais serem empregados além do limite da vida útil de projeto com impactos diretos na confiabilidade, disponibilidade e no custo de manutenção. O efeito dos planos de manutenção na extensão da vida útil de equipamentos, mesmo que corretamente executados, é limitado.

A fim de fundamentar a metodologia da MCC, são apresentados os principais conceitos da norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-1):

a) probabilidade e consequências das falhas;

b) componentes simples e complexos;

- c) falhas ocultas;
- d) aperfeiçoamento dos programas de manutenção;
- e) aplicabilidade e efetividade.

#### 4.1.1 *Probabilidade e Consequências das Falhas*

De acordo com a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-3), a probabilidade de falha de um item é sempre diferente de zero, o que pressupõe para os planejadores de manutenção duas abordagens:

- a) a inexecutabilidade de programas de manutenção que busquem eliminar todas as falhas;
- b) os programas de manutenção devem estar pautados em gerenciamento de risco, balanceando a probabilidade de ocorrência e as consequências das falhas.

A tentativa de prevenir todas as falhas resulta, usualmente, no estabelecimento de programas de manutenção que não atingem os objetivos esperados de confiabilidade e custos, o que os tornam insustentáveis em longo prazo. Além disso, a não comprovação do relacionamento entre a confiabilidade e o tempo de funcionamento impulsionou o emprego da MCC e a revisão dos programas de manutenção majoritariamente preventivos.

O Setor de manutenção da UAL, a partir do contrato com o DoD em 1974, analisou 139 componentes de aeronaves. Esse estudo resultou no levantamento das curvas de probabilidade de falha em função do tempo, tendo sido constatados seis padrões distintos que estão apresentados nos gráficos da FIG.1. Nestes, o eixo das ordenadas corresponde à probabilidade de falha e o das abscissas, ao tempo de funcionamento.

Kardec e Nascif (2015, p. 164) relatam as principais características dos padrões de confiabilidade apresentados:

- a) padrão A: até a década de 1970, a comunidade envolvida com a atividade de manutenção tinha a crença de que todos os itens apresentavam este padrão de confiabilidade que, pelo seu formato, é denominado de “curva da banheira”. Observa-se uma elevada probabilidade de falha no início da vida útil, fenômeno conhecido por “mortalidade infantil”<sup>31</sup>, seguido de um período de estabilidade e a partir de uma idade definida mais próxima do final da vida útil um acréscimo significativo da probabilidade de falha, característica esta definida como desgaste;
- b) padrão B: apresenta probabilidade constante com desgaste ao final da vida útil;
- c) padrão C: aumento lento e gradual da probabilidade de falha;
- d) padrão D: probabilidade de falha reduzida no início da vida útil com uma elevação abrupta e, posteriormente, um padrão constante;

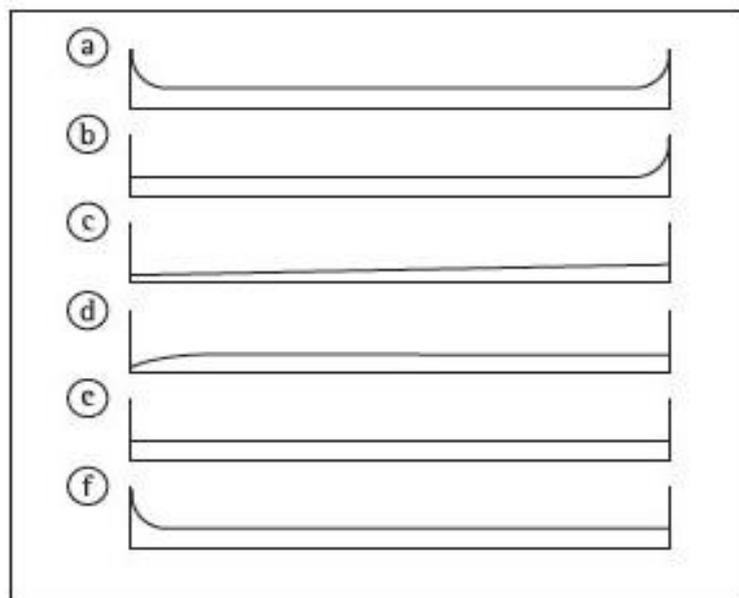


Figura 1- Padrões de Probabilidade de Falha.  
Fonte: MOUBRAY, 1997, p.12.

- e) padrão E: probabilidade de falha constante, característica denominada de falha aleatória;

<sup>31</sup> Segundo Siqueira (2014, p. 84), o fenômeno da “mortalidade infantil” é causado por defeitos introduzidos por erros nas fases de especificação, projeto, fabricação, controle de qualidade, montagem ou comissionamento.

f) padrão F: apresenta o fenômeno da “mortalidade infantil” com posterior estabilidade da probabilidade de falha até o fim da vida útil.

Após o estudo da UAL, outras análises foram desenvolvidas, permitindo uma maior consistência estatística quanto às características de confiabilidade para diferentes setores industriais, sistemas ou equipamentos.

A TAB. 2 apresenta a distribuição percentual entre os seis padrões de probabilidade de falha para itens aplicados nos seguintes meios e setores:

- a) aeronaves, conforme o estudo conduzido pela UAL entre 1974 e 1978;
- b) navios da USN, a partir do *Maintenance System Development Program* (MSDP)<sup>32</sup> conduzido em 1982;
- c) sistemas e equipamentos não nucleares de submarinos da USN, conforme o estudo do *Submarine Maintenance Engineering, Planning and Procurement* (SUBMEPP)<sup>33</sup> realizado em 2001.

TABELA 2  
Distribuição percentual de itens por padrões de probabilidade de falha

Padrão de Probabilidade de Falha	UAL 1978 (%)	MSDP 1982 (%)	SUBMEPP 2001 (%)
A	4	3	2
B	2	17	10
C	5	3	17
D	7	6	9
E	14	42	56
F	68	29	6

Fonte: NUÑEZ et. al., 2015, p. 815.

Os resultados apresentados permitem verificar que:

- a) os itens que se desgastam, isto é, apresentam padrões de confiabilidade de

<sup>32</sup> O MSDP foi um programa estabelecido, em 1977, no âmbito do *Naval Sea Systems Command* (NAVSEA) com o propósito de aprimorar a manutenção dos navios quanto aos resultados de disponibilidade e custo. Em 1982, com base em dados históricos de manutenção, o MSDP viabilizou a elaboração das curvas de confiabilidade no tempo para os sistemas e equipamentos dos navios da USN (BROWN, 1982, p. 122).

<sup>33</sup> O SUBMEPP é um órgão componente da estrutura do NAVSEA responsável pela manutenção dos sistemas e equipamentos não nucleares instalados nos submarinos da USN. Com base nos dados históricos do *Maintenance Data System* (MDS), foi conduzido um estudo de verificação das curvas de confiabilidade no tempo cujos resultados foram publicados em 2001 (<https://www.submepp.navy.mil>).

crescimento da probabilidade de falha no tempo (A, B e C), representam a minoria dos componentes de aeronaves (UAL – 11%), navios (MSDP – 23%) e submarinos (SUBMEPP – 29%);

b) os itens com padrões de probabilidade de falha relativamente constante ao longo do tempo (D, E e F), isto é, que apresentam características de falhas aleatórias, retratam a grande maioria dos componentes de aeronaves (UAL – 89%), navios (MSDP – 77%) e submarinos (SUBMEPP – 71%);

c) os itens cujos padrões de confiabilidade apresentam o fenômeno da “mortalidade infantil” (A e F) representam a grande maioria dos componentes de aeronaves (UAL – 72%) e a minoria daqueles instalados em submarinos (SUBMEPP – 8%). Quanto aos navios, o fenômeno da “mortalidade infantil” não pode ser desprezado, pois está presente em 32% dos componentes (MSDP).

Adicionalmente, os estudos indicaram que os itens com padrões de confiabilidade A, B e C são mais simples tecnologicamente e têm propensão a se desgastarem com o tempo. Já os itens com características D, E e F são mais complexos e apresentam um comportamento aleatório de probabilidade condicional de falha (EUA, 2007, p. 2-3).

Em resumo, a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-3 e 2-4) apresenta as seguintes conclusões:

- a) falhas aleatórias predominam sobre aquelas relacionadas ao tempo de utilização;
- b) o fenômeno da “mortalidade infantil” não pode ser desprezado, sendo causador do incremento do número de avarias no início da vida útil ou após as revisões gerais que demandam a desmontagem do equipamento;
- c) as tarefas preventivas podem ser aplicadas aos itens com padrões de confiabilidade A, B e C, os quais apresentam desgaste ao longo do tempo e

uma idade específica a partir da qual se constata um aumento considerável da probabilidade de falha. Para os demais itens, é mais efetivo priorizar a manutenção preditiva, que permite o monitoramento da condição e a realização da manutenção quando necessária. Assim, quando não há evidência de desgaste, os programas de manutenção com excesso de rotinas preventivas não atendem aos requisitos de confiabilidade.

Adicionalmente, o planejador de manutenção deve sempre considerar as consequências das falhas para a organização. Na visão de Siqueira (2014, p. 17), a MCC apresenta uma classificação das falhas de acordo com o grau de severidade, considerando seus efeitos na segurança do pessoal, no meio ambiente, na capacidade de produção ou, no caso militar, na capacidade de cumprimento da missão e quanto aos prejuízos econômicos resultantes.

Como antes visto, o risco da falha é composto pela probabilidade de ocorrência e o grau de severidade, sendo este último fator abordado na análise das consequências das falhas. Segundo a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-6), qualquer equívoco do planejador em não considerar os aspectos relacionados ao grau de severidade das falhas pode trazer graves implicações para a segurança do pessoal e o meio ambiente ou a perda de uma capacidade crítica do navio para cumprir a missão.

Outro conceito importante é o modo de falha, entendido, no dizer de Siqueira (2014, p. 69), como um evento ou condição que leva a uma falha funcional. Dessa forma, modo de falha dominante é aquele que apresenta grande percentual de ocorrência no número total de falhas (probabilidade) ou o que resulta em graves consequências (severidade).

Pela norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-7), os modos de falhas dominantes são aqueles para os quais o planejador de manutenção deve voltar a sua atenção. As falhas que porventura resultem em riscos à segurança de pessoal ou ao meio

ambiente devem sempre ser gerenciadas, não obstante a probabilidade de ocorrência. Para os modos de falhas relacionados à continuidade do funcionamento da instalação, à capacidade de cumprimento da missão ou aos prejuízos econômicos, o planejador deve considerar o nível de risco à luz dos custos de manutenção.

A análise das consequências tem influência direta na seleção das tarefas de manutenção planejada. A MCC “reconhece que a única razão de se conduzir qualquer tipo de manutenção proativa<sup>34</sup> não está em evitar as falhas, mas sim em anular ou ao menos reduzir as suas consequências” (MOUBRAY, 1997, p. 10)<sup>35</sup>.

Para Siqueira (2014, p. 57), as principais fontes de dados para a definição dos modos de falhas, em ordem de prioridade para o planejador, são a experiência dos operadores e mantenedores da organização, o histórico de falhas elaborado pela organização e o estudo de modos de falhas elaborado pelos fabricantes.

Por conseguinte, ressalta-se a importância da MB implantar um sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção que inclua um banco de dados de falhas, facilitando a revisão do SMP e a elaboração de programas de manutenção mais eficientes, sem a necessidade de recorrer exclusivamente às recomendações dos fabricantes.

#### 4.1.2 Componentes Simples e Complexos

De acordo com a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 2-8), os estudos de confiabilidade apresentados na TAB. 2 demonstraram, por meio de dados estatísticos, que os componentes simples (A, B e C) apresentam um aumento da probabilidade de falha a partir de um determinado momento, provendo, assim, evidências físicas que permitem antever uma falha funcional.

<sup>34</sup> Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 55 e 76), manutenção proativa é um conjunto coordenado de processos para atuação antes da ocorrência da falha, englobando a MC planejada, MP, MPR e MD.

<sup>35</sup> Idioma inglês.

O instante a partir do qual os indícios de desgaste são passíveis de determinação pelos processos e métodos de monitoramento da condição é denominado de falha potencial<sup>36</sup>. Para esses componentes, o planejador da manutenção pode definir ações preditivas com a finalidade de identificar a falha potencial a tempo de se realizar uma ação corretiva antes da ocorrência da falha funcional, cujas consequências são mais graves e onerosas.

Os equipamentos mais complexos (D, E e F) apresentam modos aleatórios de falha por serem formados, em geral, por diversos itens com padrões de confiabilidade distintos. Nesse caso, o estabelecimento do modo dominante de falha é mais difícil, visto que não se consegue observar, claramente, um relacionamento entre a probabilidade de falha e o tempo de funcionamento. Para esses itens, a aplicação da MP resulta em programas de manutenção de custos elevados que não são compensados em termos de confiabilidade e disponibilidade.

#### 4.1.3 *Falhas Ocultas*

Segundo Kardec e Nascif (2015, p. 162), as falhas podem ser classificadas em ocultas ou evidentes de acordo com o grau de percepção pelos operadores dos equipamentos. Do ponto de vista do planejador da manutenção, deve ser atribuída uma atenção especial às falhas ocultas, para as quais são estabelecidos e programados testes e inspeções que fazem parte da manutenção detectiva (MD). O propósito desses procedimentos é encontrar as falhas ocultas antes que suas consequências tragam múltiplos impactos a uma instalação.

As falhas ocultas dificultam o estabelecimento de tarefas preventivas ou preditivas, pela dificuldade de se medir a taxa de falha em relação ao tempo de funcionamento ou pela ausência de parâmetros que permitam o acompanhamento da condição.

---

<sup>36</sup> Segundo Siqueira (2014, p. 54), falha potencial é definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

A norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 3-8) cita como exemplos de falhas ocultas aquelas relacionadas a itens com funcionamento intermitente e que devem estar prontos, quando necessário, a executar as funções para as quais foram projetados, conforme observado nos dispositivos de proteção por baixa pressão e alta temperatura de lubrificação de motores e nos sistemas de armas e detecção instalados nos navios.

#### 4.1.4 *Aperfeiçoamento dos Programas de Manutenção*

Os programas de manutenção devem ser constantemente avaliados e aprimorados quanto aos resultados obtidos e à aplicação dos recursos disponíveis. Na opinião de Kardec e Nascif (2015, p. 38), alguns avanços da atividade de manutenção nos últimos anos evidenciam a necessidade de reavaliação do SMP, por exemplo:

- a) revisão contínua dos programas de manutenção em especial os essencialmente preventivos, visando ao aperfeiçoamento da periodicidade e dos procedimentos das rotinas;
- b) evolução da manutenção preditiva com novas técnicas de medição e análise, visando aumentar a disponibilidade dos equipamentos;
- c) eliminação de tarefas desnecessárias, levando à economia de recursos gerenciais, financeiros, de pessoal e de material;
- d) substituição, quando possível, da manutenção preventiva pela preditiva;
- e) incremento da periodicidade das tarefas de manutenção com base na análise de informações históricas, na experiência de operadores e mantenedores e no julgamento técnico dos fabricantes e do setor de engenharia da empresa.

Na maioria das organizações, os recursos disponíveis para manutenção são escassos, devendo os planejadores, mantenedores e operadores utilizá-los da forma mais

eficiente. Os planejadores devem levar em conta que suas decisões possuem um custo de oportunidade, pois a alocação de recursos em tarefas desnecessárias pode ocasionar o adiamento daquelas consideradas prioritárias, ou seja, as que previnem as falhas mais prováveis ou com maior grau de severidade.

#### 4.1.5 Aplicabilidade e Efetividade

Algumas ações de manutenção apresentam um efeito nulo ou até mesmo adverso na confiabilidade de um item. A norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 4-3) registra que as ações de manutenção definidas pelo planejador devem ser capazes de reduzir o impacto dos modos de falhas na instalação. Para atingir esse objetivo, o processo da MCC estabelece algumas regras para determinação da aplicabilidade<sup>37</sup>.

A MP é aplicável caso a probabilidade de falha aumente a partir de um momento definido e não haja possibilidade de empregar a manutenção preditiva.

Para a MPR, a aplicabilidade está relacionada à existência de um ou mais parâmetros que indiquem o momento da falha potencial e que possam ser medidos com precisão e regularidade como, por exemplo, temperatura e vibração. Além disso, o intervalo de tempo entre a falha potencial e funcional (P - F) deve garantir a exequibilidade das ações de manutenção corretiva planejada. Na FIG. 2, o ponto P representa o momento da falha potencial, que é determinado pela comparação do parâmetro de controle com um valor limite definido pelo planejador e o ponto F representa o instante da falha funcional.

A manutenção detectiva é aplicável às situações em que a falha funcional está oculta ao operador e na impossibilidade de emprego da MPR ou MP.

Conforme a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 4-6), as tarefas

---

<sup>37</sup> Segundo Siqueira (2014, p. 121 e 122), uma atividade de manutenção para ser aplicável deve ser capaz de prevenir modos de falhas, detectar a evolução de falhas, descobrir falhas ocultas, reparar o item após a falha ou reduzir a taxa de deterioração.

de manutenção além de aplicáveis devem ser efetivas, ou seja apresentarem uma relação favorável de custo de manutenção e benefícios em termos de limitação dos efeitos das falhas. A USN estabelece critérios para priorizar as tarefas de manutenção com base na efetividade.

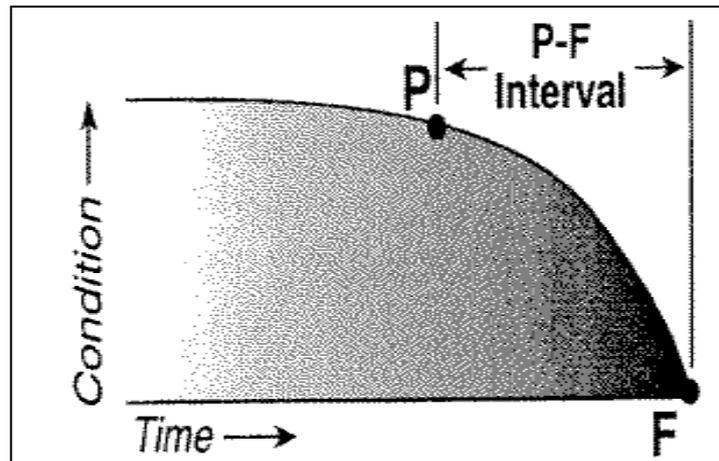


Figura 2- Curva de Falha Potencial e Falha Funcional no tempo.  
Fonte: MOUBRAY, 1997, p.145.

As ações prioritárias são aquelas que previnem as falhas com consequências para a segurança do pessoal ou o meio ambiente. De acordo com Kardec e Nascif (2015, p. 169), elas têm sentido se conseguem eliminar ou reduzir o risco de falha a um nível mínimo. O planejador, na ausência de uma tarefa viável para esta finalidade, pode indicar a necessidade de modernização ou substituição do item, que incorporem requisitos superiores de confiabilidade de projeto.

Em seguida, são avaliadas as tarefas relacionadas às falhas que degradam a capacidade de produção, ou no caso militar, a capacidade de se cumprir a missão. Na visão de Kardec e Nascif (2015, p. 169), a MP ou a MPR são efetivas caso apresentem viabilidade econômica, isto é, o custo da ação de prevenção ou previsão deve ser menor que o custo do reparo da avaria somado ao custo da consequência da falha.

Por último, as tarefas de manutenção indicadas para as falhas de consequências menos graves devem ser analisadas, exclusivamente, pelos critérios de economicidade. De acordo com a metodologia da MCC, o planejador tem a alternativa de decidir, inclusive, pela não realização da manutenção programada segundo critérios operacionais ou financeiros,

utilizando o equipamento até o momento da falha para, então, efetuar a manutenção corretiva.

As organizações, sobretudo as empresas líderes em seus setores, passaram a considerar os recursos aplicados em manutenção como um investimento que deve gerar retorno em termos de disponibilidade, confiabilidade, redução de custos associados às falhas, controle de risco à segurança do pessoal e ao meio ambiente e melhoria da qualidade de produção. A MCC é uma ferramenta gerencial que pode potencializar o retorno sobre o investimento em manutenção.

## 4.2 Metodologia

Na visão de Moubrey (1997, p. 17), a aplicação da MCC envolve planejamento, preparação e formação de equipes multidisciplinares compostas por operadores e mantenedores, devendo estar focada nos sistemas e equipamentos que proporcionem maior retorno à organização. Ao final do processo da MCC, espera-se atingir resultados concretos, como um programa de manutenção consolidado e procedimentos operacionais revisados. Esse processo emprega uma sequência lógica de sete passos.<sup>38</sup>

Inicialmente, o planejador conduz a seleção do sistema e a coleta de informações, com o objetivo de identificar e explicar o funcionamento, caracterizar as fronteiras físicas e as relações de dependência com outros sistemas.

A segunda etapa é caracterizada pela Análise de Efeito de Modos de Falha<sup>39</sup>(FMEA), um dos principais estágios do processo, no qual são identificadas e explicitadas as funções, os modos de falhas e suas consequências para a instalação. Segundo a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 5-2), o processo FMEA permite a avaliação de risco das falhas funcionais, em termos de probabilidade e severidade, oferecendo

---

<sup>38</sup> As etapas da metodologia da MCC podem ser visualizadas no Anexo A.

<sup>39</sup> Do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA).

as condições necessárias para se priorizar as rotinas de manutenção. O processo FMEA é também utilizado na fase de concepção e de desenvolvimento de projetos, buscando

Identificar todos os modos de falha catastróficos ou críticos para que sejam eliminados ou minimizados no estágio inicial do desenvolvimento do sistema. Em instalações militares americanas, este estudo já é normalizado e obrigatório para projetos bélicos (SIQUEIRA, 2014, p. 64).

A terceira etapa consiste na seleção das funções significantes, servindo de base para a priorização das tarefas a partir das consequências das falhas para a segurança do pessoal e meio ambiente, o cumprimento da missão e os aspectos econômicos<sup>40</sup>.

Na fase seguinte, o planejador elege as tarefas aplicáveis por meio do método da árvore lógica de decisão, verificando quais rotinas de manutenção preventiva, preditiva ou detectiva podem ser tecnicamente empregadas na correção dos modos de falhas, evidentes ou ocultas. A aplicabilidade das tarefas de manutenção está relacionada ao seu efeito na eliminação ou na redução dos impactos das falhas.

Na quinta etapa, as tarefas são avaliadas pelo critério da efetividade, considerando os recursos disponíveis para sua implantação e o retorno esperado para a organização. Conforme Siqueira (2014, p. 153), para a determinação da efetividade são analisados os critérios de possibilidade técnica de aplicação, viabilidade econômica à luz dos recursos disponíveis e exequibilidade de cumprimento no prazo máximo determinado pelo planejador.

Na sexta fase, são selecionadas as tarefas aplicáveis e efetivas para cada modo de falha e, por último, o planejador define a periodicidade das rotinas, concluindo o programa de manutenção.

### **4.3 Estratégias de Implantação**

De acordo com o grau de eficiência gerencial, o estágio em que se encontra a

---

<sup>40</sup> A fase de seleção de funções significantes pode ser observada no diagrama do Anexo B.

atividade de manutenção e o prazo no qual a organização espera alcançar resultados, Moubray (1997, p. 278-283) apresenta três estratégias distintas para implantação da MCC: força tarefa, seletiva e abrangente.

A estratégia de força tarefa é recomendada para as organizações com sérios problemas na atividade de manutenção. A MCC é aplicada a todos os sistemas e equipamentos por meio de um único grupo multidisciplinar que atua em regime de dedicação integral até a elaboração do relatório final com as recomendações de aprimoramento do programa de manutenção. Dentre as vantagens observadas, destacam-se os resultados no curto prazo, gerenciamento mais simples e baixo custo de implantação. Por outro lado, como desvantagem destaca-se a falta de comprometimento com a implantação continuada da MCC nos demais setores da organização, fazendo com que os resultados positivos iniciais desapareçam ao longo do tempo.

A estratégia seletiva pode ser aplicada pelas organizações que estejam experimentando desafios em sistemas e equipamentos críticos, relacionados à baixa disponibilidade, custos elevados de manutenção ou problemas de segurança e impactos ambientais. Os ganhos observados são retornos econômicos mais rápidos, fácil gerenciamento e baixo custo. Dentre os fatores negativos, sobressai o foco restrito a um setor da instalação, preterindo a correção dos problemas estruturais da atividade de manutenção.

Na estratégia abrangente, busca-se o aprimoramento global da organização com foco no conhecimento sobre a MCC e na motivação de operadores e mantenedores. Em geral, são empregados diversos grupos multidisciplinares, obtendo-se um impacto maior nos processos e resultados mais prolongados. Ao mesmo tempo, ela demanda mais recursos e tempo de implantação, além da dificuldade de gerenciamento.

Analisando as estratégias de implantação da MCC propostas por Moubray quanto à aplicabilidade na MB, este autor destaca os seguintes aspectos:

- a) na fase inicial, empregar a estratégia seletiva por meio de projetos-piloto para verificação dos resultados da MCC e obtenção de experiência;
- b) na fase posterior, utilizar a estratégia por força tarefa, com a consolidação da equipe de implantação e prosseguimento da implantação da MCC aos demais meios navais;
- c) a abordagem abrangente, em decorrência dos custos envolvidos e necessidades maiores de pessoal, não é adequada para utilização pela MB.

Independente da estratégia empregada, alguns fatores são decisivos para o sucesso da implantação da MCC como os apresentados pela norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 6-1); e Moubray (1997, p. 284 a 289):

- a) condução de projetos-piloto para que as equipes adquiram experiência na aplicação da MCC e a Alta Administração possa analisar os resultados e decidir pela continuidade da estratégia ou corrigir os desvios de planejamento;
- b) apoio da Alta Administração na alocação de recursos financeiros e de pessoal para a implantação da MCC, ressaltando que

Implantar a MCC em uma empresa representa uma decisão estratégica, devendo constar dos objetivos e metas estabelecidos no planejamento empresarial da organização. Desta decisão decorrerão mudanças profundas na cultura e métodos utilizados na manutenção (SIQUEIRA, 2014, p. 259).

- c) divulgação dos conceitos da MCC aos integrantes da organização;
- d) emprego de equipes multidisciplinares com operadores, mantenedores, pessoas qualificadas na MCC e apoio de empresas especializadas;
- e) conhecimento e experiência da própria organização, não confiando exclusivamente nos fabricantes dos equipamentos.

#### **4.4 Vantagens e Desvantagens**

Moubray (1997, p. 19); e Kardec e Nascif (2015, p. 171) apontam as seguintes

vantagens e desvantagens da MCC:

a) vantagens:

- melhoria dos índices de segurança do pessoal e ambiental;
- incentivo à operacionalização de um banco de dados de manutenção;
- desenvolvimento conjunto dos setores operacional e de manutenção;
- melhor relação custo x eficiência das ações de manutenção;
- apoio à implantação de processos de apoio logístico, como ALI e PBL;
- elevação dos índices de disponibilidade e confiabilidade.

b) desvantagens:

- tendência de participação exclusiva do setor de manutenção na MCC;
- necessidade de programas de qualificação de pessoal;
- tempo excessivo para a aplicação da MCC, em especial na fase FMEA;
- dependência de dados históricos de operação e manutenção, nem sempre disponíveis, para alcançar melhores resultados da análise.

Analisando as vantagens e desvantagens apresentadas e as conclusões parciais apresentadas nesta seção, pode-se verificar a aplicabilidade da MCC para a elaboração dos programas de manutenção dos meios navais da MB, em especial quanto ao potencial da metodologia em proporcionar um SMP mais efetivo, com melhores índices de confiabilidade e disponibilidade e menores custos de manutenção.

## 5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE NA USN

No capítulo 4, foram analisados os principais conceitos, a metodologia, os processos de implantação e as vantagens e desvantagens da MCC. Para atingir o objetivo principal deste trabalho, cabe investigar a utilização da sistemática pela principal força naval da atualidade, a USN. Busca-se identificar o histórico de implantação e analisar o método desenvolvido para o aprimoramento contínuo de programas de manutenção.

A escolha da USN como referência é justificada por se tratar da força armada que primeiro empregou a metodologia, que a tem utilizado continuamente na revisão do SMP de seus navios e que possui uma vasta bibliografia de domínio público, a qual pode ser analisada considerando-se as diferenças culturais e organizacionais entre aquela marinha e a MB.

Conforme a evolução da MCC, apresentada no capítulo 4, os progressos obtidos pela indústria aeronáutica na atividade de manutenção atraíram, no início dos anos 1970, a atenção do DoD. Em 1978, a empresa United Airlines (UAL) publicou um estudo detalhando a metodologia. Este trabalho serviu de base para a elaboração de uma norma pelo *Naval Sea Systems Command* (NAVSEA)<sup>41</sup>, sendo a marinha a pioneira no emprego da MCC entre as Forças Armadas dos EUA.

O processo de implantação da MCC na USN foi iniciado a partir de um projeto-piloto conduzido, em 1978, a bordo da Fragata USS<sup>42</sup> Roark, com o propósito de reavaliar o programa de manutenção utilizado pelo navio, o qual era constituído por rotinas corretivas e preventivas baseadas no tempo de funcionamento. A USN, a partir dos resultados obtidos de redução do emprego de mão de obra, serviços e material, estendeu a utilização da MCC, no mesmo ano, para mais quatro fragatas da classe Knox.

Considerando as mudanças na política e cultura de manutenção advindas do

---

<sup>41</sup> Organização da USN similar à DEN na MB, cujo organograma pode ser visto no Anexo C.

<sup>42</sup> Do inglês *United States Ship*, designação de todos os navios da USN.

emprego da MCC, conclui-se que a condução gradual do processo de implantação, por meio da estratégia seletiva de implantação e projetos-piloto, é a mais vantajosa para grandes organizações, como a USN ou a MB, uma vez que permite o acúmulo de conhecimento pelas equipes multidisciplinares. Os resultados observados servem, também, como fatores de avaliação e apoio à decisão da Alta Administração quanto ao prosseguimento da implantação do processo nos demais navios.

A partir de 1980, a política de manutenção da USN determinou a utilização da MCC no desenvolvimento das tarefas de manutenção planejada para todos os seus navios, além de priorizar o emprego da MPR.

Com a experiência adquirida na implantação da MCC, a USN constatou que a revisão dos programas de manutenção já existentes requeria muito tempo, em virtude da complexidade da metodologia original, a qual passou a ser denominada MCC Clássica e foi objeto de análise no capítulo 4 desta pesquisa. As etapas da MCC Clássica que mais exigiam tempo das equipes de revisão do SMP eram o levantamento dos dados de confiabilidade dos equipamentos e a FMEA. Por conseguinte, a USN iniciou um processo de simplificação da metodologia para empregá-la de forma expedita no aprimoramento dos programas de manutenção já em vigor.

Em 1996, o NAVSEA desenvolveu uma versão reduzida da MCC, priorizando a utilização dos dados históricos de operação e de manutenção relacionados aos modos de falhas. Esta nova versão foi denominada de MCC *Backfit*, a qual passou a ser indicada para a reavaliação e o aprimoramento dos programas de manutenção dos navios em serviço, permanecendo a MCC Clássica para a elaboração de programas de manutenção para novos projetos.

Segundo a norma NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (EUA, 2007, p. 1-2), a primeira aplicação da MCC *Backfit* foi conduzida a bordo do cruzador USS Yorktown, que acarretou a

redução de 46,7% da carga de trabalho do programa de manutenção original. Ao mesmo tempo, não foram observados impactos negativos na segurança do pessoal, no meio ambiente ou na capacidade do navio em cumprir a missão.

Desde 1996, segundo Borkowsky (2008), o processo de revisão periódica dos programas de manutenção dos navios da USN, empregando-se a MCC *Backfit*, obteve uma redução média de 50% no esforço de manutenção, com impacto direto nos custos do ciclo de vida. Adicionalmente, o autor ressalta os impactos na padronização dos procedimentos de manutenção dos navios.

### **5.1 Política de manutenção**

Como descrito no subitem 2.1 desta pesquisa, a política de manutenção dos navios da USN constante da norma OPNAVINST 4700.7L (EUA, 2010, p. 2), preconiza o emprego da MCC para a elaboração e a revisão dos programas de manutenção e estabelece como objetivos das ações de manutenção a garantia da segurança da tripulação e da instalação e o atingimento de níveis desejados de disponibilidade operacional ao menor custo possível.

Cabe destacar os seguintes pontos de convergência entre a MCC e as diretrizes da política de manutenção da USN:

- a) prioridade conferida aos aspectos de segurança, viabilizando a identificação e a análise da probabilidade e do grau de severidade das falhas;
- b) foco no aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos com a redução da taxa de falhas;
- c) simplificação das tarefas de manutenção com melhores índices de manutenibilidade dos sistemas e equipamentos, obtendo-se, da mesma forma, um incremento na disponibilidade operacional;

d) emprego da MCC para priorizar a manutenção preditiva em relação à preventiva e corretiva.

Outro fator importante decorrente da política de manutenção dos navios da USN é o custo de manutenção, que envolve os dispêndios com mão de obra, sobressalentes, ferramentas, serviços, medições, material de consumo e demais atividades gerenciais. Um sistema de manutenção, para ser efetivo e eficiente, deve buscar o menor custo à medida que cumpre os requisitos de segurança, confiabilidade e disponibilidade.

### 5.1.1 Sistema de Gerenciamento

A USN estrutura a manutenção dos seus navios, desde 1963, por meio do sistema 3-M (*Maintenance and Material Management*), o qual é formado por dois subsistemas:

a) *Maintenance Data System* (MDS)<sup>43</sup>, que fornece dados gerenciais de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, com objetivo de

Prover os gerentes de manutenção e de material em toda a Marinha com os meios para planejar, adquirir, organizar, conduzir, controlar e avaliar os recursos de pessoal e material necessários ao apoio à manutenção, [...] permitindo o acesso aos dados relativos às ações de manutenção e aqueles necessários à avaliação e ao incremento da prontidão, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade dos meios navais (NAVSEAINST 4790.8C, 2013, p. 105, tradução nossa)<sup>44</sup>;

b) *Planned Maintenance System* (PMS)<sup>45</sup>, que abrange as tarefas de manutenção para cada navio, sistema ou equipamento.

Os gerentes do PMS, a bordo dos navios e das organizações de apoio logístico de 2º e 3º escalões<sup>46</sup>, registram no MDS as informações relativas à manutenção, inserindo dados de demanda de sobressalentes, custo, condição operacional dos equipamentos, execução das

<sup>43</sup> O MDS não tem um sistema equivalente em funcionamento na MB. O mais próximo seria o Sistema de Informações de Apoio Logístico Integrado (SISALI) ainda não operacional.

<sup>44</sup> Idioma inglês.

<sup>45</sup> O PMS é equivalente ao Sistema de Manutenção Planejada (SMP) na MB.

<sup>46</sup> Segundo o EMA-420 (BRASIL, 2002B, p. 3-3), escalão de manutenção é uma classificação da atividade baseada na complexidade dos serviços a serem executados, a capacitação técnica do mantenedor e os tipos de manutenção.

rotinas, tempo de parada e falhas ocorridas, permitindo o acompanhamento dos índices de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade.

O MDS é um componente primordial do gerenciamento da manutenção na USN e, segundo a norma NAVSEAINST 4790.8C (EUA, 2015b, p. 203), os dados consolidados nesse sistema servem de base para diversos processos, dentre os quais se destacam a análise logística e de engenharia, o apoio à decisão da Alta Administração, o planejamento e a alocação de recursos para o apoio logístico, a análise de confiabilidade em apoio à MCC, a avaliação dos custos de ciclo de vida e a análise de demanda, aquisição e estoque de sobressalentes. Desse modo, o sistema 3-M proporciona à USN a administração integrada das funções logísticas manutenção e suprimento, com ganhos significativos na disponibilidade, prontidão para o combate e redução do custo do ciclo de vida.

#### 5.1.2 *Revisão dos programas de manutenção*

Como mencionado no subitem 4.1.4, os programas de manutenção devem ser submetidos, periodicamente, a um processo de revisão. De acordo com a norma NAVSEAINST 4790.8C (EUA, 2015b, p. 173), o processo de verificação da eficiência dos programas de manutenção da USN é denominado *Fleet Maintenance Effectiveness Review* (FLEETMER), que visa aprimorar a confiabilidade e a disponibilidade operacional dos navios e reduzir os custos de manutenção.

O FLEETMER emprega a metodologia da MCC *Backfit* com foco nos sistemas e equipamentos que apresentam problemas de confiabilidade, custos excessivos de manutenção ou aqueles instalados em um maior número de navios, cujas revisões dos programas de manutenção proporcionam maiores retornos à USN.

O FLEETMER é planejado no ano anterior com base nos dados do MDS e

conduzido, a cada ciclo de atividade para cada navio nas principais bases navais da USN. O planejamento do processo é realizado pelos Centros Regionais de Manutenção (RMC)<sup>47</sup> que relacionam os meios, sistemas e equipamentos cujos programas de manutenção devem ser reavaliados, em virtude de resultados indesejados de disponibilidade, confiabilidade ou custo de manutenção.

As equipes multidisciplinares que conduzem o FLEETMER incluem engenheiros da USN e dos fabricantes dos sistemas e equipamentos, mantenedores e especialistas dos navios e das organizações de apoio logístico. Outro fator de apoio à USN são as empresas especializadas na condução de MCC e revisão de programas de manutenção, como por exemplo, a CACI Internacional Inc. com sede na cidade de Arlington, VA, EUA.

As recomendações de mudanças nas rotinas de manutenção são analisadas periodicamente para verificar o atendimento dos resultados planejados. Os RMC, para os quais não há organização similar na MB, têm uma atuação destacada ao proporcionar uma aproximação do setor de engenharia da USN com os navios e prestar o apoio necessário ao aprimoramento da manutenção.

Cabe destacar que os RMC exercem um papel fundamental não somente para a implantação da MCC, mas, também, no aprimoramento do apoio logístico de manutenção aos navios. Na MB, a função logística suprimento já possui uma organização que faz esse papel de conexão entre o setor técnico e os utilizadores, o Escritório de Ligação do Abastecimento junto à Esquadra (ELEsq), voltado para o atendimento das necessidades e o aumento da disponibilidade dos meios navais.

A criação de um Centro de Manutenção da Esquadra, organização esta que concentra os principais meios navais da MB, poderia trazer resultados positivos para a

---

<sup>47</sup> Os *Regional Maintenance Centers* (RMC) são parte da estrutura do NAVSEA e responsáveis por supervisionar a manutenção e a modernização dos navios da USN. Eles estão instalados em três Bases Navais nos EUA, Norfolk, Mayport e San Diego e em Nápoles, na Itália, este último RMC com destacamentos no Bahrein e na Espanha (<http://www.navsea.navy.mil/Home/RMC/CNRMC/About-Us/>).

implantação da MCC, a priorização da manutenção preditiva e a solução dos desafios da instituição. Além disso, tal ação está alinhada com o EMA-400 (BRASIL, 2003b, p. 4-5) que preconiza o estreito relacionamento entre as Diretorias Especializadas (DE) e o Setor Operativo. Dentre as vantagens projetadas a partir da criação desse centro, destacam-se:

- a) aproximação dos engenheiros das DE com os mantenedores dos navios, provendo soluções técnicas, gerenciais e de treinamento;
- b) contribuição para a implantação da MCC e a revisão do SMP dos navios;
- c) apoio técnico na manutenção preditiva; e
- d) apoio ao gerenciamento e avaliação da manutenção, com acompanhamento dos dados pelo CMMS em conjunto com as tripulações dos navios e os comandos superiores.

Dentre as possíveis desvantagens, este autor destaca:

- a) há a possibilidade das tripulações dos navios reduzirem sua atuação na manutenção dos navios, sobrecarregando o Centro de Manutenção. Para evitar este óbice, as tripulações devem ser envolvidas diretamente no processo de aprimoramento do SMP;
- b) óbices na Alta Administração da MB, cuja diretriz é evitar a criação de novas organizações e aumentar o efetivo de pessoal.

Com o trabalho junto aos navios, o Centro de Manutenção passará a conhecer em detalhe as deficiências de manutenção e os problemas técnicos específicos de cada navio, provendo, certamente, as soluções mais rápidas e apropriadas para cada situação. Sugere-se a elaboração de estudos para a criação dessa OM, os quais não são objeto específico desta pesquisa. No entanto, à luz da pesquisa efetuada, este autor apresenta algumas considerações a respeito de um futuro Centro de Manutenção da Esquadra:

- a) ele estaria inserido na estrutura do Setor do Material, subordinado ao setor de

manutenção da Diretoria de Gestão de Programas Estratégicos (DGePEM);

b) o centro seria multidisciplinar, contando com representantes da Diretoria de Engenharia Naval (DEN), Diretoria de Sistema de Armas da Marinha (DSAM) e Diretoria de Comunicações e Tecnologia de Informação da Marinha (DCTIM);

c) esta organização contaria, ainda, com as equipes de medição de vibração ora trabalhando no CPN e com militares com experiência em manutenção de equipamentos embarcados.

## **5.2 MCC *Backfit***

As análises realizadas a partir da MCC *Backfit* podem resultar na reavaliação, validação ou aprimoramento das tarefas de manutenção em termos de escopo ou periodicidade de execução. A sistemática está baseada em dados históricos e na experiência operacional para verificar os resultados da MCC Clássica, conduzida por ocasião do desenvolvimento do programa de manutenção na fase de projeto do navio.

A comparação entre as abordagens MCC Clássica e MCC *Backfit* pode ser visualizada na FIG. 3, destacando-se os seguintes aspectos:

- a) a fase inicial de seleção do sistema utiliza os dados obtidos no processo da MCC Clássica por ocasião da fase de projeto;
- b) a etapa de “Degradação por Idade” é exclusiva da MCC *Backfit* e tem por propósito a validação ou a revisão das decisões tomadas na fase FMEA da MCC Clássica, utilizando os dados históricos de falhas para confirmar ou não a degradação da confiabilidade de um item em relação ao tempo de funcionamento. Caso essa condição não esteja presente, as rotinas preventivas podem ser convertidas em preditivas ou até mesmo canceladas;

c) as análises de aplicabilidade e efetividade buscam verificar o impacto das tarefas de manutenção no controle dos modos de falhas e o seu valor econômico pela comparação do custo de manutenção com os gastos relativos ao reparo das avarias e às consequências das falhas.

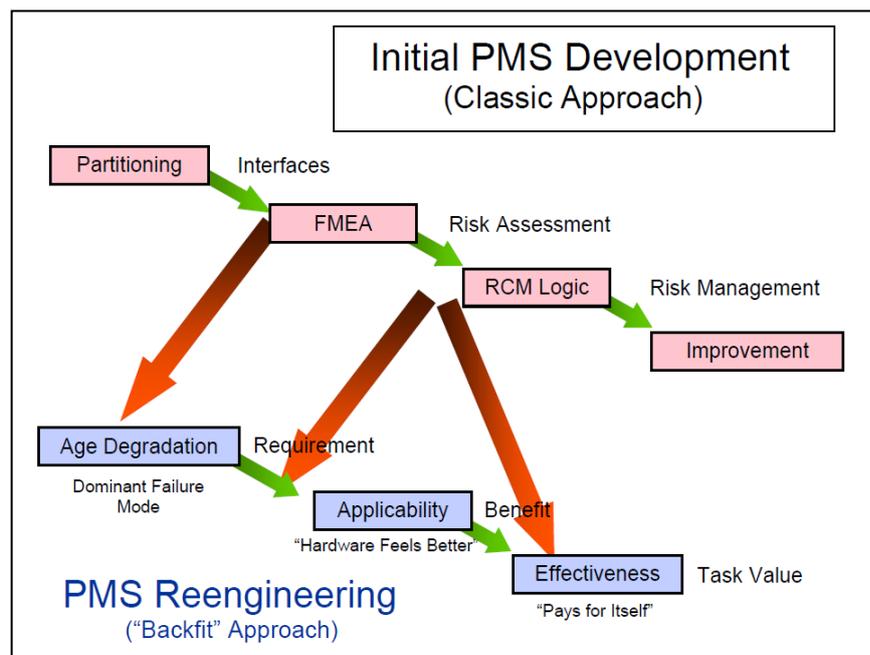


Figura 3 - Comparação entre a MCC Clássica e a MCC *Backfit*.  
Fonte: NAVSEA S9081-AB-GIB-010, 2007, p. 5-1.

De acordo com as normas NAVSEA S9081-AB-GIB-010 (2007, p. 7-3) e DoD MIL-STD-3034A (2014a, p. 87), a MCC *Backfit* é conduzida, à semelhança da MCC Clássica, em sete etapas:

- Etapa 1 – identificação dos modos de falhas, utilizando os dados históricos de operação e manutenção;
- Etapa 2 – verificação da degradação da confiabilidade em função do tempo de funcionamento;
- Etapa 3 – identificação e classificação dos tipos de manutenção para os modos de falha;
- Etapa 4 – Aplicabilidade. Análise do efeito da tarefa de manutenção na confiabilidade de um item, sendo utilizados os mesmos critérios descritos no

subitem 4.1.5. Na MCC *Backfit*, seleciona-se, sempre que possível, as tarefas preditivas;

- e) Etapa 5 – identificação das consequências das falhas para a segurança do pessoal, o meio ambiente e a capacidade do navio em cumprir a missão;
- f) Etapa 6 – analisa-se a efetividade da manutenção, traduzida nos custos relativos de manutenção, segundo os critérios já descritos no subitem 4.1.5;
- g) Etapa 7 – não obstante uma tarefa de manutenção ter sido considerada aplicável e efetiva, ela pode ser ainda mais aprimorada. Um dos processos empregados pela USN é denominado Exploração de Idade<sup>48</sup>, no qual o planejador de manutenção aumenta, de forma gradativa, o intervalo de tempo entre as manutenções, conduzindo um balanceamento do risco de falha com base na experiência operacional e nos dados históricos de confiabilidade. Segundo o DoD, Exploração de Idade é definida por

Uma técnica empírica que envolve aumentar o intervalo inicial da tarefa por um percentual (por exemplo, 10 por cento), a partir de uma inspeção completa que não indique quaisquer sinais de desgaste pelo tempo[...]. O processo de exploração de idade pode revelar a necessidade de estender, reduzir, estabelecer ou eliminar tarefas proativas (EUA, MIL-STD-3034A, 2014a, p. 5)<sup>49</sup>.

A Exploração de Idade requer o conhecimento sobre a relação entre a confiabilidade de um item e o tempo de funcionamento, permitindo ao planejador aperfeiçoar o intervalo entre as ações de manutenção. Os dados de confiabilidade obtidos a partir do MDS podem ser utilizados para estimar os valores de TMEF, TMEF, TMEF e TMP, os quais são essenciais para se definir a periodicidade mais eficiente das ações de manutenção, bem como estimar os momentos de falha potencial e funcional.

Ao final do processo da MCC *Backfit*, espera-se alcançar um programa de manutenção mais efetivo, por meio de alterações do tipo de manutenção, do procedimento ou

<sup>48</sup> Do inglês *Age Exploration*.

<sup>49</sup> Idioma inglês.

da periodicidade entre as ações de manutenção.

A MCC, pela sua complexidade, demanda o conhecimento do método por todos aqueles envolvidos no desenvolvimento ou na revisão de programas de manutenção. Para isso, a USN estabeleceu um programa de treinamento e certificação de engenheiros e mantenedores, sob a responsabilidade do NAVSEA e dividido em três níveis de complexidade, correspondentes ao grau de responsabilidade das pessoas envolvidas no processo.

### **5.3. MCC e Logística Baseada em Desempenho**

A partir dos anos 2000, fruto dos desafios experimentados na manutenção dos seus meios, o DoD e as Forças Armadas dos EUA passaram a empregar, preferencialmente, a Logística Baseada em Desempenho (PBL) para o gerenciamento do ciclo de vida dos seus meios. Os detalhes sobre esta estratégia de contratação de apoio logístico, conforme a visão do DoD, estão no Apêndice A.

De acordo com as normas DoD Instruction 5000.02 (EUA, 2015a, p. 13); e Performance-Based Logistics Guidebook (EUA, 2016b, p. 10), a PBL é definida como uma forma de terceirização<sup>50</sup> em que o objeto do contrato é o desempenho de um meio, sistema ou equipamento. Ela visa atender a requisitos definidos pelos utilizadores e incentivar as empresas contratadas a reduzirem os custos. Ressalta-se que na PBL o pagamento à empresa contratada não é efetuado a cada serviço ou material fornecido, mas sim de forma global com base no desempenho alcançado.

Alinhada com as novas tendências mundiais relacionadas à atividade de manutenção, a MB deu início, recentemente, aos estudos de verificação da aplicabilidade da PBL na manutenção de seus meios e as vantagens e desvantagens desta sistemática inovadora

---

<sup>50</sup> Terceirização é a transferência para terceiros de atividades que agregam competitividade empresarial, baseada numa relação de parceria (KARDEC e NASCIF, 2015, P. 233).

de contratação. Dessa forma, torna-se importante identificar o papel da MCC na implantação da PBL.

Para Kardec e Nascif (2015, p. 241), há três categorias de contratos de terceirização na atividade de manutenção:

- a) contratação por mão de obra, na qual a remuneração é baseada na disponibilização de mão de obra para a organização contratante;
- b) contratação de serviços, cujo objeto do contrato é a prestação de serviços com a atribuição de responsabilidade técnica à empresa contratada;
- c) contratação por resultados, equivalente à PBL, na qual o objeto é um resultado de disponibilidade operacional. O contrato inclui cláusulas de multa e incentivo, sendo esta a forma de terceirização empregada preferencialmente pelos países mais avançados na atividade de manutenção.

Na PBL, a empresa contratada necessita adotar as melhores práticas de manutenção para manter ou até mesmo aumentar o nível de disponibilidade exigido no contrato. A MCC tem sido aplicada neste modelo de contratação, uma vez que resulta no incremento da confiabilidade e da disponibilidade, na redução do custo de manutenção e no acompanhamento das métricas de desempenho do contrato. Com o emprego da MCC, tanto a contratada quanto a contratante obtém ganhos financeiros pelas cláusulas de incentivo de aumento da disponibilidade e pela redução do custo da manutenção.

De acordo com a norma do DoD 4151.22-M (EUA, 2011a, p. 18), além dos índices de disponibilidade contratados, são estabelecidos parâmetros de controle de confiabilidade, manutenibilidade e custos que, uma vez atingidos, garantem ao contratante e ao contratado o atendimento dos objetivos planejados de emprego da PBL.

## 6 CONCLUSÃO

A Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma metodologia cujas origens remontam o ano de 1967 com os estudos da indústria aeronáutica norte-americana. Posteriormente, a MCC passou a ser adotada por forças armadas mais desenvolvidas, destacando-se a marinha norte-americana, com resultados positivos na confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas e na redução dos custos de manutenção.

No âmbito da MB, em que pese sua citação em publicações da Diretoria-Geral do Material da Marinha, a MCC não vem sendo aplicada na elaboração e revisão dos programas de manutenção dos navios. Nota-se, também, um desconhecimento dos demais setores da MB sobre a metodologia, fruto, em especial, de deficiências do processo de instrução do pessoal em gerenciamento e técnicas modernas de manutenção.

A MB, desde os anos 2000, tem enfrentado sérios problemas na manutenção dos seus meios navais, destacando-se a redução da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas e equipamentos, em decorrência de restrições orçamentárias, idade avançada dos navios, da falta de gestão do ciclo de vida e, conforme analisado durante a pesquisa, da não sustentabilidade dos programas de manutenção essencialmente preventivos.

As dificuldades técnicas e gerenciais por que passam as OMPS-I, em especial o AMRJ, impactaram na manutenibilidade e, conseqüentemente, na disponibilidade meios pelo não atendimento da premissa fundamental da MP de realizar a manutenção com base no tempo de funcionamento. O aumento da duração e do intervalo entre PMG levaram ao não cumprimento das rotinas preventivas e ao emprego crescente da manutenção corretiva, com impacto significativo nos custos de manutenção.

Por outro lado, o emprego da MCC, a reestruturação do Setor do Material e as futuras obtenções de meios navais, sistemas e equipamentos constituem-se em oportunidades

e fatores de motivação para a MB reformular a sua política de manutenção. Ressalta-se que a implantação da MCC não é atribuição exclusiva do Corpo de Engenheiros da Marinha, mas envolve todos os integrantes da instituição relacionados à atividade de manutenção. Além disso, é relevante destacar a importância de uma maior aproximação entre o Setor do Material e o Setor Operativo, promovendo um apoio técnico e gerencial mais eficiente aos navios.

A MCC é uma metodologia que poderá contribuir para a solução dos desafios enfrentados pela MB, proporcionando o emprego equilibrado dos tipos de manutenção. Ao mesmo tempo, ela privilegia a utilização da manutenção preditiva, a qual apresenta melhores resultados de custo e disponibilidade.

A MCC pode ser empregada tanto na elaboração de programas de manutenção de novos meios, adotando-se o modelo da MCC Clássica, quanto na revisão contínua do SMP dos navios, por meio da MCC *Backfit*. A metodologia contribuirá, também, para a implantação pela MB de processos modernos de planejamento logístico como o Apoio Logístico Integrado e a Logística Baseada em Desempenho.

Para consolidar a relevância deste trabalho, são apresentadas propostas de ações de curto, médio e longo prazos para a implantação gradual da Manutenção Centrada na Confiabilidade na MB, que permita a verificação dos resultados e o acúmulo de experiência:

**No curto prazo (até cinco anos):**

- a) aprimorar e consolidar a política de manutenção em uma única publicação normativa, no âmbito do Estado-Maior da Armada, que priorize o emprego da MCC e da MPR na elaboração e na revisão contínua dos programas de manutenção dos navios;
- b) estruturar o processo de revisão contínua e periódica do SMP dos navios, a cada ciclo de atividade, utilizando a MCC *Backfit*;
- c) obter um sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção, por

- desenvolvimento ou aquisição no mercado, que permita o acompanhamento e controle da atividade de manutenção a partir do registro e análise das rotinas e ocorrências de falhas e que disponibilize as informações de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e custos;
- d) capacitar equipe de implantação multidisciplinar de MCC para conduzir a revisão do programa de manutenção de meios, sistemas ou equipamentos selecionados em projetos-piloto, podendo contar com apoio de empresa especializada contratada;
- e) promover a aplicação da manutenção preditiva no SMP de 1º escalão, utilizando as técnicas já conhecidas da MB de medição de vibração, diagnose de motores e análise de lubrificantes, sendo necessários a qualificação dos mantenedores dos navios e a aquisição de instrumentos e softwares de monitoramento;
- f) incluir nos currículos dos cursos de formação, especialização e aperfeiçoamento os assuntos relativos à gestão da manutenção, com foco nos processos modernos de MCC e MPR;
- g) iniciar os estudos sobre a criação de um Centro de Manutenção da Esquadra, a fim de prover um apoio técnico e gerencial mais eficiente aos navios, quanto ao cumprimento e a revisão periódica do SMP à luz da MCC *Backfit*;

**No médio prazo (5 a 10 anos):**

- a) ativar o Centro de Manutenção da Esquadra;
- b) iniciar a implantação da MCC *Backfit* e a revisão do SMP dos navios da Esquadra, utilizando a abordagem seletiva e projetos-piloto. Sugere-se para seleção como projetos-piloto os seguintes meios, sistemas e equipamentos:
- Corveta Barroso, Fragatas classe “Niterói” e Corvetas classe “Inhaúma”;

- motores de propulsão e geração de energia, motores elétricos, bombas hidráulicas, sensores, armamentos e sistemas de combate.
- c) ampliar o emprego da manutenção preditiva com a implantação de novas técnicas de monitoramento e controle da condição dos equipamentos;
- d) ampliar a capacitação em MCC para os engenheiros das DE que trabalham na elaboração do SMP;
- e) implantar a MCC Clássica na elaboração do SMP da Corveta classe “Tamandaré”.

**No longo prazo (após 10 anos):**

- a) com base nos resultados dos projetos-piloto e com a experiência e conhecimento adquiridos na abordagem seletiva, expandir a aplicação da MCC *Backfit* a todos os meios, sistemas e equipamentos, da Esquadra e Distritais;
- b) consolidar o processo de revisão contínua do SMP;
- c) consolidar a MCC Clássica para novas obtenções da MB.

A mudança de políticas e de cultura em grandes organizações sofre, normalmente, grande resistência por parte dos seus integrantes. O sucesso da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade dependerá, de forma direta, da decisão e do apoio da Alta Administração da MB e da divulgação dos conceitos e dos resultados positivos da aplicação da metodologia. Esse foi o caminho adotado pelas principais indústrias e forças navais, como a USN, e, certamente, contribuirá, sobremaneira, para o aprimoramento da manutenção dos meios navais da Marinha do Brasil.

## REFERÊNCIAS

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

BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução das Falhas**. 2011. 103 f. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Universidade de Tecnologia Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1450/3/PG\\_CEGIPM\\_VII\\_2011\\_12.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1450/3/PG_CEGIPM_VII_2011_12.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2016.

BARBOZA, T. L. A logística de manutenção na MB e a influência da filosofia de manutenção de outras marinhas no seu desenvolvimento. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 124, n. 4/6, p. 107-131, abr./jun. 2004.

BORKOWSKI, M. **Common Maintenance Planning Working Group**. DoD MAINTENANCE SYMPOSIUM, 2008. SAE International, 2008. Disponível em: <<http://www.sae.org/events/dod/presentations/2008marcborkowski.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRASIL. Comando de Operações navais. **COMOPNAVINST N° 21-02**: ciclo de atividades dos meios operativos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Apoio à Decisão Logística - SAD-LOG**. Acesso em: 29 jul. 2016.

BRASIL. Diretoria de Administração da Marinha. **Anuário Estatístico da Marinha**. Rio de Janeiro, 2014. vol.1. 42 ed.

BRASIL. Diretoria de Engenharia Naval. **ENGENALMARINST 05-12**: medição e análise da vibração autoexcitada de equipamentos rotativos ou alternativos. Rio de Janeiro, 2002a.

\_\_\_\_\_. **ENGENALMARINST 85-02**: avaliação de estado dos motores de combustão principal (MCP) das Fragatas Classe "Niterói" e Corvetas Classe "Inhaúma". Rio de Janeiro, 2000a.

\_\_\_\_\_. **ENGENALMARINST 85-03**: avaliação de estado dos motores de combustão auxiliar (MCA) das Fragatas Classe "Niterói". Rio de Janeiro, 2000b.

\_\_\_\_\_. **ENGENALMARINST 85-18**: sistema de manutenção planejada. Rio de Janeiro, 2003a.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Manutenção Planejada - SisSMP**. Acesso em: 15 mar. 2016.

BRASIL. Diretoria-Geral do Material da Marinha. **DGMM 0130**: manual do apoio logístico integrado. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **MATERIALMARINST 33-01**: apoio logístico integrado. Rio de Janeiro, 2010.

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

\_\_\_\_\_. **EMA-410**: plano de desenvolvimento científico e tecnológico da Marinha. Brasília, DF, 2001. rev. 3.

\_\_\_\_\_. **EMA-420**: normas para logística do material. Brasília, DF, 2002b. rev. 2. mod. 1.

BRASIL. Marinha do Brasil. **Orientações do Comandante da Marinha**: ORCOM 2016. Brasília, DF, 2016.

BROWN, N. E. **Improving the Electronic Repair Capabilities in the Fleet**. 1982. 179 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Manutenção) - Naval Postgraduate School, Monterey, 1982. Disponível em: <<http://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/20206/improvingelectr000brow.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

CAPETTI, R. B. Aprimoramento da gerência de manutenção na marinha brasileira. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 125, n.07/09, p. 49-83, jul./set. 2005.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 242 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 28., 2013, Salvador. **Documento Nacional 2013**: a situação da manutenção no Brasil. Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos - ABRAMAN, 2013. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional/resultado-2013>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance**: a modern approach. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002. 222 p.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Department of Defense. **DoD Instruction 4151.22**: condition based maintenance plus for material maintenance. Washington, D.C., 2012. 10 p. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/415122p.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **DoD Instruction 5000.02**: operation of the Defense Acquisition System. Washington, D.C., 2015a. 154 p. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500002p.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **DoD Manual 4151.22-M**: reliability centered maintenance (RCM). Washington, D.C., 2011a. 25 p. Disponível em: <<http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/415122m.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **DoD MIL-STD-3034A**: reliability-centered maintenance process. Washington, D.C., 2014a. 115 p. Disponível em: <[http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-3000-9999/MIL-STD-3034A\\_50797/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-3000-9999/MIL-STD-3034A_50797/)>. Acesso em: 9 maio 2016.

\_\_\_\_\_. **Integrated Product Support Element Guidebook.** Washington, D.C., 2011b. 575 p. Disponível em: <[https://acc.dau.mil/adl/en-US/486198/file/74709/IPS\\_Element\\_Guidebook\\_final\\_Dec%202011.pdf](https://acc.dau.mil/adl/en-US/486198/file/74709/IPS_Element_Guidebook_final_Dec%202011.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Operating and Support Cost Management Guidebook.** Washington, D.C., 2016a. 158 p. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/adl/en-US/738996/file/81700/OS%20Cost%20Guidebook%20-%20February%202016.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Performance-Based Logistics Guidebook:** a guide to developing performance-based arrangements. Washington, D.C., 2016b. 221 p. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/adl/en-US/706766/file/82036/PBL%20Guidebook%20-%20Release%20April%202016%20Final.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2016.

\_\_\_\_\_. **Product Support Management Guidebook.** Washington, D.C., 2016c. 129 p. Disponível em: <[https://acc.dau.mil/adl/en-US/440507/file/82239/PSM%20Guidebook%20Update%202016%20\(6-24-16\).pdf](https://acc.dau.mil/adl/en-US/440507/file/82239/PSM%20Guidebook%20Update%202016%20(6-24-16).pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Department of the Navy. **MIL-P-24534A:** planned maintenance system: development of maintenance requirement cards, maintenance index pages, and Associated Documentation. Washington, D.C., 1991. 151 p. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/adl/en-US/151908/file/28901/MIL-P-24534A%5B1%5D.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **NAVSEAINST 4790.8C:** ships' maintenance and material management (3-M) manual. Washington, D.C., 2015b. 585p. rev. 1. Disponível em: <<http://www.navybmr.com/study%20material/NAVSEAINST%204790.8C.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **NAVSEA Manual S9081-AB-GIB-010:** reliability-centered maintenance (RCM) handbook. Washington, D.C., 2007. 105 p. rev. 1. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/adl/en-US/152397/file/28935/NAVSEA%20RCM%20Handbook%20DTD%2018%20April%202007.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **OPNAVINST 4700.7L:** maintenance policy for United States navy ships. Washington, D.C., 2010. 65 p. Disponível em: <<https://doni.daps.dla.mil/Directives/04000%20Logistical%20Support%20and%20Services/04-700%20General%20Maintenance%20and%20Construction%20Support/4700.7L.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **OPNAVINST 4790.4F:** ship's maintenance and material management system policy. Washington, D.C., 2014b.7 p. Disponível em: <<https://doni.daps.dla.mil/Directives/04000%20Logistical%20Support%20and%20Services/04-700%20General%20Maintenance%20and%20Construction%20Support/4790.4F.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. **OPNAVINST 4790.16B:** condition-based maintenance and condition-based maintenance plus policy. Washington, D.C., 2015c. 11 p. Disponível em: <<https://doni.daps.dla.mil/Directives/04000%20Logistical%20Support%20and%20Services/04-700%20General%20Maintenance%20and%20Construction%20Support/4790.16B.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

\_\_\_\_\_. **OPNAVNOTE 4700:** representative intervals, durations, and repair mandays for depot level maintenance availabilities of U.S. navy ships. Washington, D.C., 2014c. 28 p.

Disponível em: <<http://www.portengineerprogram.org/References/OPNAVNOTE%204700%20POM-16%208-28-2014.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

FERNANDES, S. R. **Comando de Operações Navais**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Palestra proferida para o C-PEM, Escola de Guerra Naval, 15 jul. 2016.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. de. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 8.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 255p.

GUSMÃO, L. G. S. **Diretoria-Geral do Material da Marinha**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Palestra proferida para o C-PEM, Escola de Guerra Naval, 22 jun. 2016.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Application of RCM to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants**. Viena, 2007a. Disponível em: <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1590\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1590_web.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Implementation Strategies and Tools for Condition Based Maintenance at Nuclear Power Plants**. Viena, 2007b. Disponível em: <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1551\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1551_web.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

JACOBS, K. **RCM/CBM: realizing inherent reliability at lowest total life-cycle cost**. DoD MAINTENANCE SYMPOSIUM, 2005. SAE International, 2006. Disponível em: <<http://www.sae.org/events/dod/presentations/2005kennethjacobs.pdf>>. Acesso em 22 jun. 2016.

KARDEC, A. **Gestão Estratégica de Ativos Físicos**. SEMINÁRIO AMAZONENSE DE MANUTENÇÃO, 2., 2012, Manaus. Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos - ABRAMAN, 2013. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/bibliotecas-e-publicacoes/apostilas-artigos-boletins-e-trabalhos-tecnicos/ii-seminario-amazonense-de-manutencao>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

KARDEC, A.; NASCIF, J. A. **Manutenção: função estratégica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2015. 440 p.

LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7.ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2013. 225p.

LIMA, C. C. R.; MARCORIN, W. R. Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. **Revista de Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v.11, n. 22, p. 35-42, 2003. Disponível em: <<ftp://www.cefetes.br/cursos/Eletritecnica/Cassoli/Manuten%20e%20Eletrotecnica/artigos%20tecnicos/artigo%20Analise%20dos%20custos%20de%20manuten%20e%20nao%20manuten%20e%20nao.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

MENDES, A. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: uma abordagem quantitativa**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29050/000774312.pdf?...1>>. Acesso em: 19 maio 2016.

MOBLEY, K. R.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, D. J. (Ed.). **Maintenance Engineering Handbook**. 7. ed. New York: McGraw Hill, 2008. 1244 p. Disponível em: <[http://www.niti-a-den.com/pic/books/EL/compressors/Maintenance%20Engineering%20Handbook%207th%20Ed,%20Mc%20GrawHill%20\(2008\)%20-%2000071546464.pdf](http://www.niti-a-den.com/pic/books/EL/compressors/Maintenance%20Engineering%20Handbook%207th%20Ed,%20Mc%20GrawHill%20(2008)%20-%2000071546464.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2016.

MOUBRAY, J. **RCM II: reliability centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press Inc, 1997. 423 p. Disponível em: <<https://tpm4u.files.wordpress.com/2011/03/reliability-centred-maintenance-ii.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

NUÑEZ, J. E. et. al. Failure profiles for maintenance in industrial facilities. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING, 2., 2015, London. **Proceedings...** London: [s.n.], 2015. p. 814-819. Disponível em: <[http://www.iaeng.org/publication/WCE2015/WCE2015\\_pp814-819.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2015/WCE2015_pp814-819.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

OTANI, M.; MACHADO, W. A proposta de desenvolvimento de gestão de manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/4794064-A-proposta-de-desenvolvimento-de-gestao-da-manutencao-industrial-na-busca-da-excelencia-ou-classe-mundial.html>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

PINTO FILHO, J. T. **O Orçamento e seus reflexos nas Atividades do Ministério da Defesa e da Marinha do Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Palestra proferida para o C-PEM, Escola de Guerra Naval, 29 mar. 2016.

SAE INTERNATIONAL. **SAE JA1011: critérios de avaliação para processos de manutenção centrada na confiabilidade**. Pittsburgh, 2009.

SANTOS, A. C. R. **Aplicação da Engenharia de Confiabilidade no Aprimoramento da Manutenção de Meios Militares: um estudo de caso**. 2007. 176 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckov da Fonseca, 2007. Disponível em: <[http://dippg.cefet-rj.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=718&Itemid=168](http://dippg.cefet-rj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=718&Itemid=168)>. Acesso em: 18 maio 2016.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014. 408 p.

TYNSLEY, P. United States Navy reduces shipboard planned maintenance with SURFMER program. **Maritime Reports and Engineering News**, New York, v. 62, n. 3, p. 20, mar. 2000. Disponível em: <[www.magazines.marinelink.com](http://www.magazines.marinelink.com)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

WALKER, N. **Queen Elizabeth Class Aircraft Carriers Maintenance Plan**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Palestra proferida para o C-PEM, Escola de Guerra Naval, 11 maio 2016.

## **APÊNDICE A**

### **A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE E OS PROCESSOS DE APOIO LOGÍSTICO INTEGRADO E LOGÍSTICA BASEADA NO DESEMPENHO**

#### **1 A Manutenção Centrada na Confiabilidade e o Apoio Logístico Integrado na MB**

De acordo com a publicação DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 1-1), Apoio Logístico Integrado (ALI) é “um processo utilizado para planejar e dirigir as atividades associadas à implantação do apoio logístico para os meios e sistemas”. Ele envolve diversos setores da MB para a elaboração das especificações técnicas de um sistema e os custos associados.

O ALI tem como metas principais (BRASIL, 2013, p. 1-8):

- a) influenciar o projeto, nas fases iniciais do processo de obtenção, para atender aos requisitos de apoio logístico ao longo do ciclo de vida;
- b) identificar os recursos para atender aos requisitos de apoio logístico;
- c) conceber e preparar a estrutura de apoio para que esteja disponível no início da vida útil do meio;
- d) projetar e manter uma sistemática de acompanhamento e controle dos resultados do apoio logístico, comparando os valores de custo de manutenção com os definidos no projeto.

Em resumo, o ALI busca alcançar a máxima confiabilidade e disponibilidade de um item com um custo mínimo de operação e manutenção ao longo da vida útil e, dessa forma, busca influenciar o desenvolvimento de um meio, sistema e equipamento desde o início do processo de obtenção, nas fases de concepção e projeto.

O processo visa atender aos requisitos de projeto estabelecidos pelo EMA por

meio dos Requisitos de Estado-Maior (REM) e à capacidade operativa definida pelo ComOpNav através dos Requisitos de Alto Nível de Sistemas (RANS), os quais estabelecem os requisitos de desempenho, a filosofia de manutenção e o apoio logístico necessário.

O ALI na MB é formado por nove elementos, que podem ser acompanhados no diagrama da FIG. 4:

- a) Engenharia de Manutenção - processo central da fase de Análise de Apoio Logístico (AAL). O resultado desse processo é o plano de manutenção, que abrange os procedimentos e a periodicidade das rotinas de manutenção, o nível de treinamento dos mantenedores e a lista de sobressalentes e ferramentas. A partir do plano de manutenção, podem ser estabelecidos as dotações e níveis de estoque para a função logística suprimento. Nessa etapa, a MCC tem um papel fundamental na elaboração do plano de manutenção;

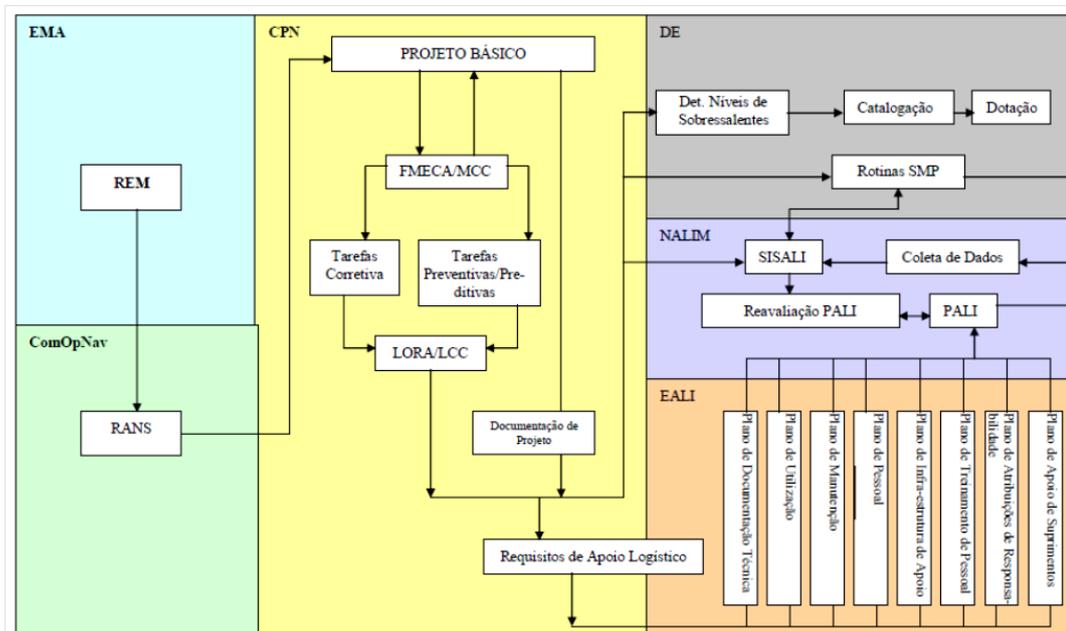


Figura 4 - Principais etapas do processo de Apoio Logístico Integrado.

Fonte: BRASIL, 2013, p. 1-5.

- b) Força de Trabalho e Pessoal - voltado para identificar a força de trabalho necessária para a operação e o cumprimento do SMP em todos os escalões de manutenção, tanto a bordo quanto nas OMPS-I. Adicionalmente, o processo

descreve os níveis de habilidade técnica dos operadores e mantenedores, servindo de base para o Sistema de Ensino Naval (SEN) estabelecer os cursos de qualificação necessários;

- c) Apoio ao Abastecimento - voltado para a determinação dos níveis de estoque de sobressalentes;
- d) Equipamentos de Apoio e Teste - com objetivo de identificar as necessidades de instrumentos de teste e equipamentos necessários à condução do programa de manutenção;
- e) Treinamento e Equipamentos para Treinamento - com propósito de descrever as necessidades de cursos de treinamento, alterações de currículos do SEN e equipamentos de treinamento, com vistas à qualificação dos operadores e mantenedores de todos os escalões;
- f) Documentação Técnica - busca a identificação e a elaboração de documentos técnicos, como manuais, necessários à instalação, operação e apoio logístico ao longo do ciclo de vida;
- g) Recursos Computacionais - voltado para determinar as necessidades de hardware e software de sistemas críticos do projeto;
- h) Acondicionamento, Manuseio, Armazenagem e Transporte - conduzido para que o item seja entregue nas condições especificadas no projeto e no momento correto de acordo com o planejamento;
- i) Instalações de Apoio - abrange a identificação das instalações para a condução das atividades previstas pelo ALI, como operação, manutenção e treinamento.

Durante a determinação dos elementos do ALI, são empregadas ferramentas que auxiliam na condução das diversas análises necessárias à elaboração do Plano de Apoio Logístico Integrado (PALI). A publicação DGMM-0130 (BRASIL, 2013, p. 1-4) cita como

exemplos:

- a) Análise de Apoio Logístico (AAL), que consiste em um processo de coordenação de todas as etapas do ALI;
- b) Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA), processos que são utilizados para elaborar e selecionar as tarefas de manutenção do item. A FMEA consiste em uma das etapas da MCC. Conclui-se que a MCC é um parte integrante e fundamental para a implantação do ALI na MB;
- c) Análise de Escalão de Reparo<sup>51</sup> (LORA) e Análise do Custo do Ciclo de Vida<sup>52</sup> (LCC). O processo LORA visa identificar o escalão de reparo para cada tarefa de manutenção, considerando a habilidade e a capacidade técnica necessárias e o custo da manutenção. A LCC é uma ferramenta que visa prever o custo do item ao longo da vida útil, abrangendo os gastos com projeto, obtenção, apoio logístico, operação e descarte.

O processo de Apoio Logístico Integrado é vital para o sucesso dos programas de obtenção de meios na MB. Na continuidade da pesquisa, verifica-se que o ALI na MB é um processo mais simples do que o empregado no âmbito do Departamento de Defesa dos EUA (DoD), estando aquele mais focado nas funções logísticas manutenção e suprimento. O processo no DoD é mais complexo, formado por um número maior de etapas e apoiado por ferramentas mais focadas na suportabilidade do projeto ao longo do ciclo de vida.

De qualquer forma, conclui-se que a metodologia da MCC é essencial para a condução do processo do ALI, permitindo a elaboração de programas de manutenção que privilegiem a máxima confiabilidade e disponibilidade ao menor custo possível.

---

<sup>51</sup> Do inglês *Level of Repair Analysis* (LORA).

<sup>52</sup> Do inglês *Life Cycle Cost* (LCC).

## 2 A Manutenção Centrada na Confiabilidade e o Apoio Logístico Integrado no DoD

Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 27), o processo de Apoio Logístico Integrado utilizado pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD) é denominado de Apoio Integrado ao Produto<sup>53</sup> (IPS). O IPS é conduzido através de 12 passos com a finalidade de planejar e gerenciar o ciclo de vida dos meios, desde a fase de concepção e projeto até a alienação. Em resumo, o processo visa garantir os parâmetros projetados de disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade, sustentabilidade e custos. As etapas do IPS podem ser visualizadas na FIG. 5 e são descritas como:

- a) Gestão de Apoio ao Produto<sup>54</sup> (PSM);
- b) Interface de Projeto;
- c) Engenharia de Apoio Logístico;
- d) Apoio de Suprimento;
- e) Planejamento e Gestão de Manutenção;
- f) Embalagem, Movimentação, Armazenagem e Transporte;
- g) Dados Técnicos;
- h) Equipamento de Apoio;
- i) Apoio de Treinamento;
- j) Força de Trabalho e Pessoal;
- k) Instalações e Infraestrutura;
- l) Recursos Computacionais.

Dentre os processos apresentados, destaca-se a participação da MCC na Gestão de Apoio ao Produto, Interface de Projeto, Engenharia de Apoio Logístico e no Planejamento e Gestão da Manutenção.

---

<sup>53</sup> Do inglês *Integrated Product Support* (IPS).

<sup>54</sup> Do inglês *Product Support Management* (PSM).

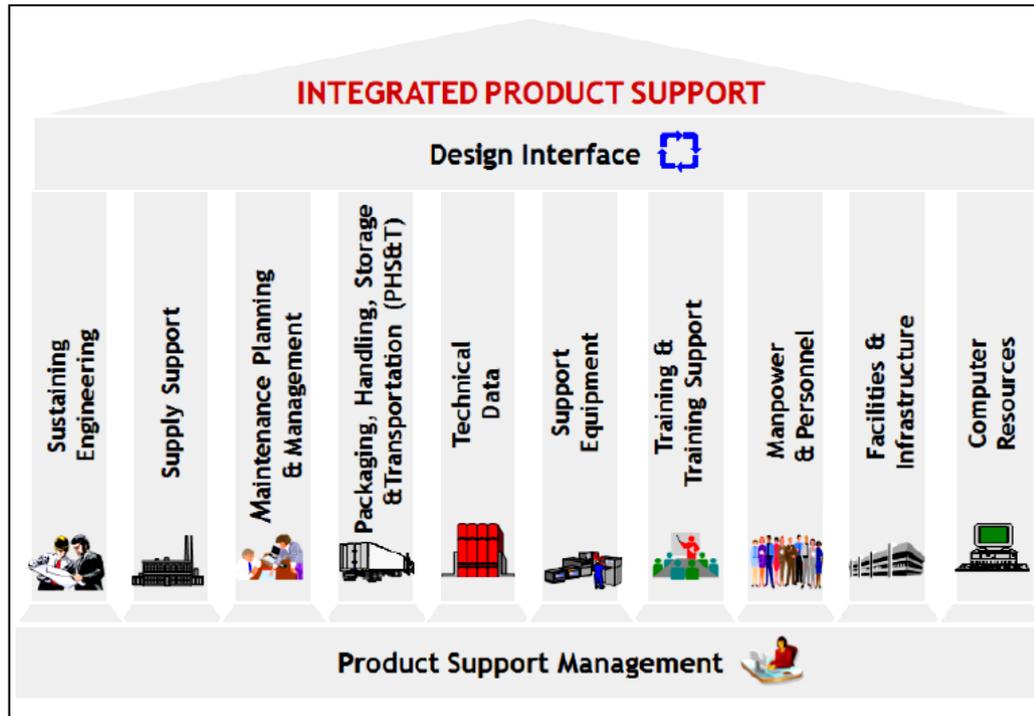


Figura 5 - Etapas do processo *Integrated Product Support*.

Fonte: EUA, 2011b, p. 1.

## 2.1 Gestão de Apoio ao Produto

Os objetivos do processo PSM são planejar e gerenciar o custo e o desempenho do meio desde o projeto até a alienação. Ele consiste no desenvolvimento e na implantação de estratégias de apoio logístico para garantir a suportabilidade ao longo do ciclo de vida, por meio do aprimoramento e da gestão de resultados críticos de desempenho, normalmente descritos em termos de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade ou custo total de posse<sup>55</sup>.

No âmbito do DoD, são empregadas estratégias de apoio logístico que definem a filosofia e a infraestrutura de suporte ao longo do ciclo de vida com os objetivos de atender aos requisitos de prontidão e desempenho estabelecidos pelo Setor Operativo, reduzir o custo total de posse e os riscos de projeto e evitar os impactos na segurança do pessoal e no meio

<sup>55</sup> De acordo com o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 65), o custo total de posse inclui os custos do ciclo de vida e aqueles relacionados à infraestrutura de apoio logístico e aos processos gerenciais. O custo do ciclo de vida abrange os gastos com pesquisa e desenvolvimento e os investimentos relativos à produção, entrega, operação, apoio logístico e descarte.

ambiente. As estratégias são diferenciadas pelo objeto de contrato e a capacidade de apoio logístico a ser empregada, orgânica da própria Força Armada ou terceirizada.

O IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 43) relaciona as seguintes estratégias de apoio logístico:

- a) Contrato de Apoio Provisório<sup>56</sup> (ICS) - permite à Força Armada adiar os investimentos necessários ao estabelecimento dos recursos e da infraestrutura de apoio logístico, enquanto aquela desenvolve sua capacidade própria de apoio ou seleciona, em caráter definitivo, a empresa que prestará o apoio logístico ao longo do ciclo de vida;
- b) Logística Baseada no Desempenho (PBL) - estratégia com objetivo de aprimorar a prontidão do sistema e atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pelo Setor Operativo, através de contratos de longo prazo com claras definições de autoridade e responsabilidade entre contratante e contratado. A PBL está detalhada na seção 3 deste apêndice;
- c) Apoio Baseado em Transações, caracterizada por contratos tradicionais de terceirização com escopo definido e pagamento a cada transação, como a contratação de mão de obra, serviço ou material;
- d) Estratégia Híbrida, que consiste na composição entre a PBL e o Apoio Baseado em Transações, uma vez que, para a maioria dos meios, a estratégia PBL dificilmente pode ser aplicada a todos os sistemas e equipamentos componentes. Adicionalmente, ela pode refletir uma composição entre a capacidade própria da Força Armada e a das empresas contratadas, dependendo das possibilidades de cada organização e dos custos associados. A Parceria Público-Privada (PPP) é um exemplo desse tipo de estratégia de apoio

---

<sup>56</sup> Do inglês *Interim Contractor Support* (ICS).

logístico. O IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 49) estabelece como objetivos das PPP para as Forças Armadas:

- balancear o emprego das capacidades próprias de reparo de 2º e 3º escalão,
- reduzir o custo total de posse de instalações e infraestrutura própria de manutenção,
- promover a integração das capacidades públicas e privadas.

O processo de Gestão de Apoio ao Produto é muito complexo e se traduz na principal etapa do IPS. De acordo com o PSM Guidebook (EUA, 2016c, p. 28), ele é conduzido, também, em 12 passos, os quais podem ser visualizados na FIG. 6. O resultado final do processo PSM é o Plano de Sustentação do Ciclo de Vida<sup>57</sup> (LCSP).

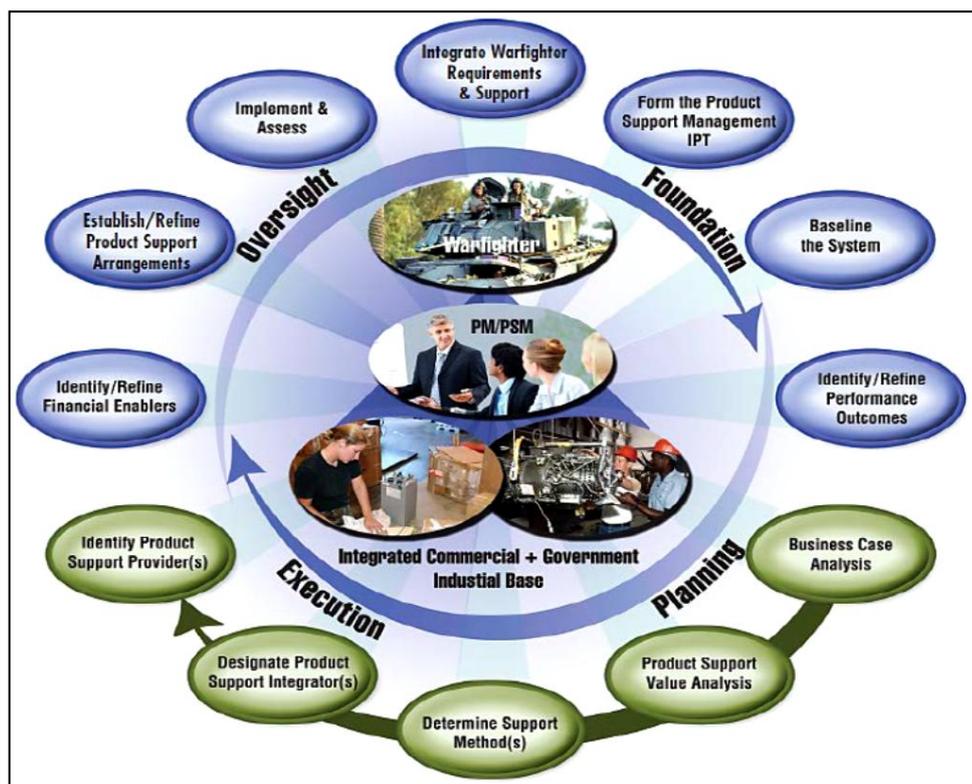


Figura 6 - Etapas do processo *Product Support Management*.  
Fonte: EUA, 2016c, p.27.

- a) Integração entre Requisitos Operativos e Apoio Logístico - consiste em atender aos requisitos operativos do sistema por meio de uma estratégia de apoio

<sup>57</sup> Do inglês *Life Cycle Sustainment Plan* (LCSP).

logístico, buscando o menor custo total de posse. Os requisitos operativos são definidos em termos de capacidade através do processo denominado Desenvolvimento e Integração de Capacidades Conjuntas<sup>58</sup> (JCID), que é conduzido no âmbito do Estado-Maior das Forças Armadas dos EUA. Na MB, são utilizados os REM e RANS estabelecidos de forma singular pela própria Força;

- b) Formação da Equipe Integrada de Projeto<sup>59</sup> (IPT) - que será responsável pelo desenvolvimento, implantação e gerenciamento do apoio logístico ao longo do ciclo de vida;
- c) Informações Básicas do Sistema - que envolve a coleta de dados necessários à decisão de apoio logístico, incluindo os resultados da Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- d) Identificação e Refinamento dos Resultados de Desempenho - com foco na descrição dos requisitos críticos de desempenho e de custo e no estabelecimento da metodologia de medição, acompanhamento e controle desses indicadores, em especial aqueles relacionados à disponibilidade, confiabilidade e custo total de posse;
- e) Análise do Plano de Negócios<sup>60</sup> (BCA) - no qual se conduz uma análise mais detalhada de custo e benefício para se determinar a melhor linha de ação para o apoio logístico. Nessa etapa, conduz-se a avaliação de como as estratégias de apoio (transações, PBL e híbrida) podem cumprir os objetivos do programa e os requisitos operativos, isto é, qual das alternativas resulta em melhor cumprimento da missão ao menor custo possível. Adicionalmente, o IPT analisa se o apoio logístico será realizada por meio de infraestrutura e

---

<sup>58</sup> Do inglês *Joint Capabilities Integration and Development System* (JCIDS).

<sup>59</sup> Do inglês *Integrated Project Team* (IPT).

<sup>60</sup> Do inglês *Business Case Analysis* (BCA).

- capacidades da Força Armada, de empresas contratadas ou por meio de PPP;
- f) Análise de Valor de Apoio ao Produto - etapa que aborda os escalões de apoio logístico, a estratégia de gerenciamento da cadeia de suprimento, a alocação de força de trabalho para o programa, a gestão de dados de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, o custo do ciclo de vida e o gerenciamento de riscos do programa;
- g) Determinação do Método de Apoio - define se o apoio logístico pode ser adquirido por meio de PBL, transações ou estratégia híbrida. Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 46), a estratégia escolhida não altera a condução do processo de IPS, mas sim como o apoio ao produto é adquirido e providenciado pela organização contratada;
- h) Designação do Integrador de Apoio ao Produto<sup>61</sup> (PSI) - o PSI pode ser uma organização governamental ou empresa, normalmente o fabricante do produto ou grandes conglomerados de defesa. Ele é o agente responsável pela integração de todas as fontes de apoio logístico, públicas ou privadas, para prover os resultados contratados;
- i) Identificação dos Provedores de Apoio Logístico - prevê a seleção dos provedores de apoio logístico, públicos ou privados, com base nas capacidades, custo e qualidade dos serviços;
- j) Identificação dos Aspectos Financeiros do Contrato - que engloba a definição dos tipos e valores de multas e incentivos a serem incluídos nos contratos, com o objetivo de motivar os participantes do programa a atingirem os resultados contratados. Por exemplo, na estratégia PBL, são estabelecidos, normalmente, incentivos contratuais a fim de motivar o contratado a atingir resultados

---

<sup>61</sup> Do inglês *Product Support Integrator* (PSI).

superiores de desempenho. Os incentivos contratuais podem ser definidos em termos de cláusulas de prêmio ou incentivo financeiro, de prolongamento do prazo contratual e de compartilhamento de custo com o contratante.

k) Estabelecimento de Acordos e Contratos;

l) Implantação e Avaliação, no qual os resultados da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade e a avaliação contínua do Sistema de Manutenção Planejada têm papel importante no acompanhamento e controle dos indicadores de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e custos.

Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 68 e 108), um dos pontos importantes para a implantação do IPS, em especial quando a estratégia escolhida for a PBL, é a especificação dos indicadores de contrato. No âmbito do DoD, são definidas quatro métricas principais de sustentabilidade de um meio ao longo do ciclo de vida: disponibilidade, confiabilidade, custo total de posse e tempo médio de paralisação, este último relacionado à manutenibilidade.

Durante o ciclo de vida, a Manutenção Centrada na Confiabilidade possui, também, um papel muito importante no processo de Gerenciamento da Configuração. Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 88), o processo permite manter os sistemas e equipamentos atualizados tecnologicamente de forma a manter ou incrementar o desempenho operacional requerido pelo Setor Operativo. Para isso, a MCC atua aprimorando os indicadores de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e custo. A revisão periódica do SMP por meio da metodologia da MCC permite identificar e analisar os itens que necessitam de modernização ou de substituição. Outro fator importante para o sucesso do Gerenciamento da Configuração é a existência de um sistema de gestão da manutenção, contendo um banco de dados com histórico de falhas.

## 2.2 Interface de Projeto

De acordo com o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 148), o objetivo desse processo é influenciar o projeto do item desde a concepção e ao longo do ciclo de vida, para incrementar a suportabilidade, disponibilidade, confiabilidade, eficiência e a capacidade operacional ao menor custo total de posse.

Ele promove a integração das características de projeto relacionadas à engenharia de sistemas com os processos do IPS. Na etapa Interface de Projeto, os seguintes parâmetros devem ser considerados: adequabilidade, confiabilidade, manutenibilidade, suportabilidade, acessibilidade financeira, Gerenciamento de Configuração, requisitos de segurança de pessoal e meio ambiente, habitabilidade, alienação e requisitos legais.

Adequabilidade de projeto é a medida da capacidade de um item ser apoiado logisticamente no seu contexto operacional, estando normalmente relacionada à disponibilidade operacional e, dessa forma, à confiabilidade, manutenibilidade e estrutura de apoio logístico.

Confiabilidade é “a capacidade de um sistema ou componente executar as suas funções requeridas nas condições de projeto e durante um período específico de tempo. Normalmente, ela é medida em termos de probabilidade de falha”<sup>62</sup> (EUA, 2011b, p. 149). O DoD emprega a metodologia da MCC e o seu processo de identificação de modos de falhas, a FMEA, para o gerenciamento da variável confiabilidade.

Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 149), disponibilidade é função da frequência de falhas, da duração da manutenção corretiva, preventiva e preditiva e da rapidez como as falhas são identificadas e reparadas, fatores que contribuem para a paralisação de um item. No âmbito do DoD, a disponibilidade é designada como Parâmetro Chave de

---

<sup>62</sup> Idioma inglês.

Desempenho<sup>63</sup> (KPP).

A disponibilidade pode ser dividida em dois outros parâmetros denominados Disponibilidade Material e Disponibilidade Operacional:

- a) Disponibilidade Material é definida como o percentual do inventário de uma classe de meio, sistema ou equipamento capaz de executar a missão em um período de tempo. Ela confere uma medida da eficiência global de um programa ao prover uma determinada capacidade operacional ao Setor Operativo;
- b) Disponibilidade Operacional é o percentual de tempo no qual um item está disponível para emprego, indicando a probabilidade de um sistema ou equipamento operar satisfatoriamente quando utilizado no contexto operacional para o qual foi projetado.

Manutenibilidade é a capacidade de um item ser reparado e retornar a à condição operacional.

Acessibilidade está relacionada à exequibilidade do custo do ciclo de vida, consoante com o planejamento orçamentário do DoD. O IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 151) estabelece alguns procedimentos para se atingir o grau de acessibilidade:

- a) os programas devem estar de acordo com o planejamento estratégico das Forças e baseados em projeções orçamentárias reais;
- b) a análise de acessibilidade deve ser iniciada nas fases de concepção e projeto, estando incluídos os custos dos programas de manutenção derivados da metodologia da MCC;
- c) a fase de engenharia e produção pode ser iniciada desde que haja recursos suficientes, incluindo aqueles necessários para prover a força de trabalho

---

<sup>63</sup> Do inglês *Key Performance Parameter* (KPP).

envolvida no desenvolvimento, operação e manutenção do meio.

### 2.3 Engenharia de Apoio Logístico

Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 181), o objetivo desse processo é apoiar um determinado sistema em serviço no seu contexto operacional, abrangendo tarefas técnicas como engenharia e logística, garantindo a operação sustentável, a manutenção e o gerenciamento de risco. Ele inclui, dentre outras, as seguintes ações:

- a) coleta e seleção de dados operacionais e de manutenção;
- b) análise de riscos de segurança, causas e efeitos de falhas, tendência de valores de confiabilidade e manutenibilidade e as mudanças no perfil de emprego operacional;
- c) verificação das causas de riscos operacionais, deficiências de desempenho, obsolescência e degradação da confiabilidade.

A análise de Engenharia de Apoio Logístico inclui atividades técnicas de gerenciamento que são aplicadas, também, na estratégia PBL, avaliando as alternativas de apoio logístico para satisfazer os requisitos técnicos e os objetivos do programa, além de estabelecer a base para a seleção dos requisitos de desempenho e de projeto. As atividades incluem:

- a) Análise de Perfil Operacional, que estabelece o perfil de utilização do meio em termos de horas por missão, missões por ano ou outras métricas. Essa etapa permite ao IPT compreender a razão de utilização, o modo como o meio é empregado e as condições operacionais sob as quais cumprem as missões;
- b) Análise de Falha, que compreende os processos de coleta e análise de dados para determinação das causas das falhas, destacando-se a MCC, FMEA e

Análise de Causa Raiz<sup>64</sup> (RCA). Elas permitem ao IPT se antecipar às falhas prováveis, e identificar as causas principais e tomar as ações necessárias de gerenciamento de risco. As causas principais estão relacionadas, normalmente, a erros operacionais, obsolescência de itens e degradação da confiabilidade.

Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 185), as principais causas da degradação da confiabilidade são:

- mudança no conceito ou no ambiente de operação, quando um sistema é empregado de forma diferente do projeto, levando à ocorrência de novos modos de falha e ao aumento da frequência de falhas,
- treinamento inadequado da força de trabalho, aumentando o número de avarias em virtude de erros de operação ou manutenção,
- desgaste do item e análise inadequada no processo de MCC. À medida que o sistema vai avançando em seu ciclo de vida, há um aumento da frequência de falhas para os itens que apresentam desgaste com o tempo, sendo necessário o estabelecimento de rotinas de revisão ou substituição preventiva,
- mudança de provedores de apoio logístico ao longo do ciclo de vida,
- controle problemático da configuração, a partir da tendência de substituição de itens originais por peças sobressalentes de menor custo. Apesar do preço de aquisição menor, pode ocorrer aumento do custo de ciclo de vida e impacto na prontidão operacional,
- deficiências de construção, sendo necessário um processo contínuo de controle de qualidade,
- recursos orçamentários insuficientes, podendo afetar o fornecimento de peças sobressalentes e equipamentos de apoio e treinamento, com impactos

---

<sup>64</sup> Do inglês *Root Cause Analysis* (RCA).

significativos na confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

O IPT, coordenado pelo Gerente de Programa, deve balancear as características de frequência de falha, desempenho e custo do ciclo de vida. Algumas opções estão disponíveis para se aumentar a confiabilidade e atingir os índices desejados de disponibilidade, como a inclusão de margem de segurança no projeto, redundância, dispositivos de segurança e a própria metodologia da MCC.

c) Avaliação da Manutenção, que inclui os processos de implantação e controle da atividade de manutenção. Dentre eles, destaca-se o Sistema de Manutenção Planejada 3-M da USN, que provê os meios de execução, gerenciamento e integração das funções logísticas manutenção e suprimento, objetivando a máxima disponibilidade do material ao menor custo possível. Segundo o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 191), o sistema 3-M provê as seguintes funcionalidades:

- padronização das atividades de manutenção,
- eficiência no emprego da força de trabalho e infraestrutura de apoio logístico,
- registro de informações sobre a execução da manutenção e incidência de falhas, viabilizando a elaboração e revisão de programas de manutenção por meio da MCC,
- análise de fatores para o aumento da confiabilidade e a manutenibilidade de sistemas e equipamentos e a redução do custo total de posse,
- gerenciamento da configuração do meio pelo registro de modificações dos equipamentos instalados,
- programação da manutenção.

d) Manutenção Centrada na Confiabilidade, processo voltado para a elaboração de programas de manutenção que permitam o gerenciamento de risco relacionado

aos modos de falhas. Essa metodologia resulta na identificação e redução do impacto ou na eliminação dos modos de falhas que podem causar riscos à segurança pessoal e ambiental ou à capacidade do meio executar a missão. Em conjunto com a MCC, outras ações podem ser conduzidas visando ao aumento da confiabilidade:

- acompanhamento contínuo dos indicadores confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e custo total de posse,
- seleção da estratégia de apoio logístico que viabilize o correto balanceamento entre os KPP de confiabilidade, disponibilidade e custo total de posse.

## 2.4 Planejamento e Gestão da Manutenção

De acordo com o IPS Handbook (EUA, 2011b, p. 261), o objetivo é identificar, planejar, prover os recursos e implantar o programa de manutenção para garantir a disponibilidade de um item ao menor custo total de posse, especificando o conceito de manutenção, os recursos necessários, procedimentos, responsabilidade pela execução e a periodicidade. O processo de Planejamento e Gestão da Manutenção está intrinsecamente relacionado à sustentabilidade do meio ao longo do ciclo de vida e inclui diversas etapas:

- a) análise de escalões de reparo (LORA);
- b) periodicidade das tarefas de manutenção;
- c) requisitos de equipamentos e infraestrutura de apoio à manutenção;
- d) treinamento e definição de habilidades técnicas dos mantenedores;
- e) desenvolvimento do programa de manutenção com base na MCC;
- f) Manutenção Baseada na Condição;
- g) Planejamento da PBL.

O processo emprega a MCC para o estabelecimento do programa de manutenção. Uma vez definido o programa da manutenção, são utilizados os processos de Análise de Escalão de Reparo (LORA) e Análise de Tarefa de Manutenção<sup>65</sup> (MTA).

LORA é um método de planejamento utilizado para se determinar o escalão e a organização de apoio logístico onde um item pode ser reparado, substituído ou descartado, com base no custo total de posse e nos requisitos de prontidão operacional. Devem ser considerados a experiência e a qualificação dos mantenedores, ferramentas e equipamentos de teste necessários e a infraestrutura de apoio à manutenção.

O processo MTA consiste na identificação do tempo de execução, procedimentos, sobressalentes, ferramentas, equipamento de apoio e habilidade dos mantenedores para conduzir uma tarefa de reparo. Ele é aplicado a todos os tipos de manutenção e representa a conclusão dos resultados da MCC e da LORA, resultando no programa de manutenção completo. O relacionamento entre os processos MTA, LORA e MCC consta da FIG. 7.

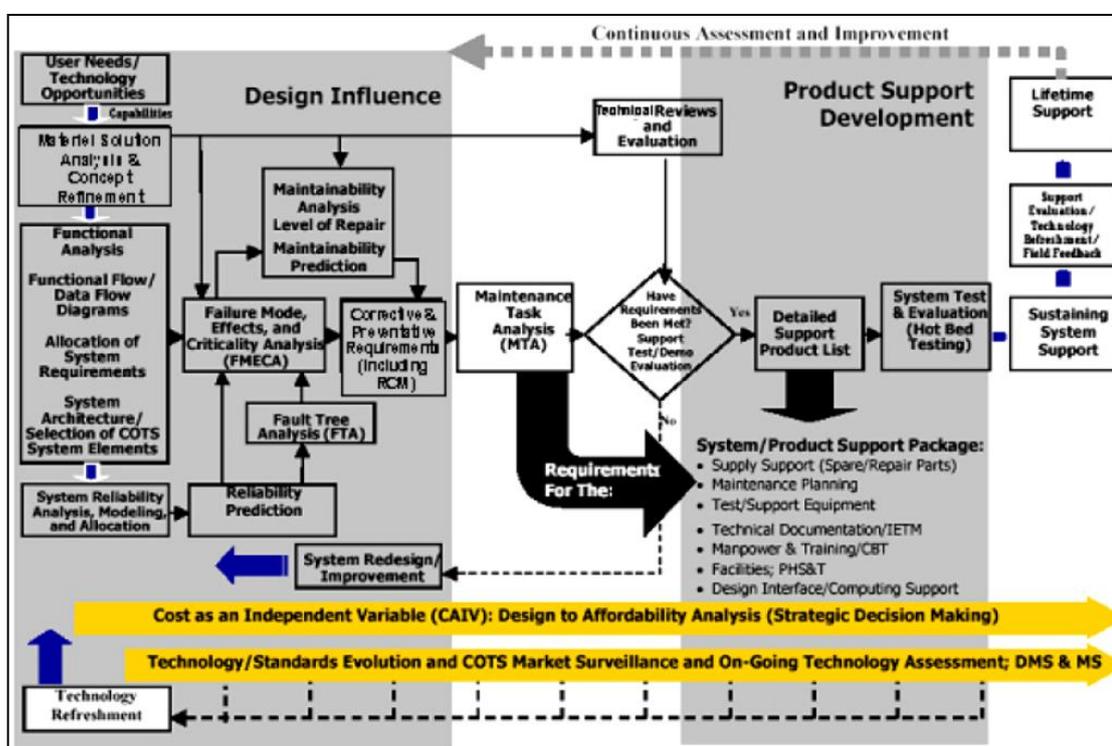


Figura 7 - Etapas do processo *Maintenance Task Analysis*.

Fonte: EUA, 2011b, p. 296.

<sup>65</sup> Do inglês *Maintenance Task Analysis* (MTA).

### 3 Logística Baseada em Desempenho

Segundo o PBL Guidebook (EUA, 2016b, p. 10), a Logística Baseada em Desempenho é uma estratégia de apoio ao ciclo de vida cujos resultados são obtidos por meio de contratos de longo prazo baseados em desempenho. O objetivo da PBL é prover os requisitos definidos pelo usuário final do produto, no caso da MB o Setor Operativo, utilizando ferramentas de incentivos contratuais que motivem a redução dos custos pelos provedores de apoio logístico. No âmbito do DoD, a PBL é implantada por meio do processo de Gestão de Apoio ao Produto (PSM), detalhado no subitem 2.1 deste apêndice e cujas etapas podem ser visualizadas na FIG. 6.

A PBL se diferencia das formas tradicionais de terceirização ao definir o objeto de contrato por meio de resultados de desempenho, que são normalmente descritos em termos de disponibilidade e confiabilidade. Como uma estratégia de apoio logístico, ela permite a integração de todas as etapas e processos componentes do IPS. O contrato baseado em desempenho é, normalmente, estabelecido em prazos maiores, permitindo o retorno dos investimentos efetuados pela organização contratada, pública ou privada, sendo o pagamento efetuado de acordo com os resultados alcançados.

O PBL Guidebook (EUA, 2016b, p. 11) identifica algumas premissas a serem empregadas nos contratos de PBL:

- a) descrever os requisitos em termos de resultados e não “como” devem ser atingidos. Os requisitos devem ser explicitados de forma clara e por meio de variáveis quantificáveis que podem ser acompanhadas e avaliadas, como a disponibilidade e a confiabilidade;
- b) estabelecer multas financeiras caso os resultados não sejam atingidas e, ao mesmo tempo, incentivos financeiros ou de extensão do contrato, que

reconheçam a obtenção índices superiores aos contratados.

Para se alcançar as metas de disponibilidade e confiabilidade contratadas, a MCC tem sido amplamente empregada por organizações públicas e privadas. Como observado, a PBL tem como um dos objetivos principais a redução do custo total de posse por meio da melhoria dos processos de apoio logístico, dentre eles, a Manutenção Centrada na Confiabilidade. De acordo com o PBL Guidebook (EUA, 2016b, p. 14), a PBL pode contribuir de outras formas para a redução de custos globais do DoD:

- a) com o aumento da disponibilidade, é possível reduzir-se o inventário de meios sem prejuízo para o cumprimento das necessidades operacionais;
- b) a utilização das capacidades de empresas privadas, total ou parcialmente, evita o gasto de investimento em capacidades orgânicas de apoio logístico.

Os incentivos contratuais exercem um papel fundamental na estratégia da PBL, viabilizando resultados superiores de desempenho e, principalmente, possibilitando a redução de custos. Na PBL, tanto o contratante quanto o contratado atingem melhores resultados financeiros com o aumento da confiabilidade do item, a redução da taxa de falhas e, dessa forma, o aumento da disponibilidade.

Na estratégia baseada em transações, quer seja de mão de obra, serviços ou material, o DoD efetua o pagamento à medida que cada transação é finalizada, sem compromisso com um resultado global de desempenho. Segundo o PBL Handbook (EUA, 2016b, p.15), o contratado não possui incentivo nem interesse em aumentar a confiabilidade e reduzir as necessidades de reparo, uma vez que seu lucro aumenta em relação direta com a taxa de falhas.

A PBL, teoricamente, corrige tal distorção, pois os custos de manutenção do item ficam a cargo do contratado, isto é, ele é motivado a reduzir tanto o número de reparos, por meio do aumento da confiabilidade através da MCC quanto o custo das peças sobressalentes e

da mão de obra. Adicionalmente, as cláusulas de multa e incentivo influenciam a empresa contratada a reduzir o tempo médio de paralisação do item, aumentando a disponibilidade.

De acordo com o PBL Guidebook (EUA, 2016b, p. 26), algumas situações favorecem a adoção da estratégia PBL de apoio logístico, destacando-se:

- a) a disponibilidade do item não atende aos requisitos do Setor Operativo;
- b) quando o custo de manutenção de um item apresenta valores estáveis que permite ao DoD comparar as alternativas de estratégia de apoio logístico;
- c) o número de potenciais provedores de apoio logístico permite a concorrência entre eles possibilitando a redução do valor do contrato;
- d) o item encontra-se na fase inicial de sua vida útil, viabilizando o retorno do investimento efetuado pela empresa contratada;
- e) o inventário do item permite o ganho de escala e a redução do valor contratado;
- f) existência de uma política de manutenção no âmbito da Força Armada que privilegie o aumento da confiabilidade e da disponibilidade e a redução de custos, destacando-se o emprego da MCC e da manutenção preditiva;
- g) o custo total de posse do meio ultrapassa as estimativas e a dotação orçamentária do estabelecidos na fase de projeto.

O PBL Guidebook (EUA, 2016b, p. 110) estabelece como atributos de sucesso para os contratos de desempenho:

- a) objetos de contrato claramente definidos por meio de indicadores mensuráveis e relacionados ao desempenho do item;
- b) duração apropriada do contrato que permita o retorno do investimento efetuado pela empresa contratada;
- c) dotação orçamentária constante que permita o cumprimento de contratos de longo prazo;

- d) incentivos contratuais que motivem resultados superiores e a redução de custo;
- e) compartilhamento de risco entre as organizações públicas e privadas;
- f) atuação constante do gerente do projeto junto ao contratado e, principalmente, o acompanhamento dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e custo total de posse;
- g) estabelecimento de uma hierarquia de métricas que permita o controle dos resultados contratados.

## ANEXO A

## DIAGRAMA DE PROCESSO DA MCC CLÁSSICA

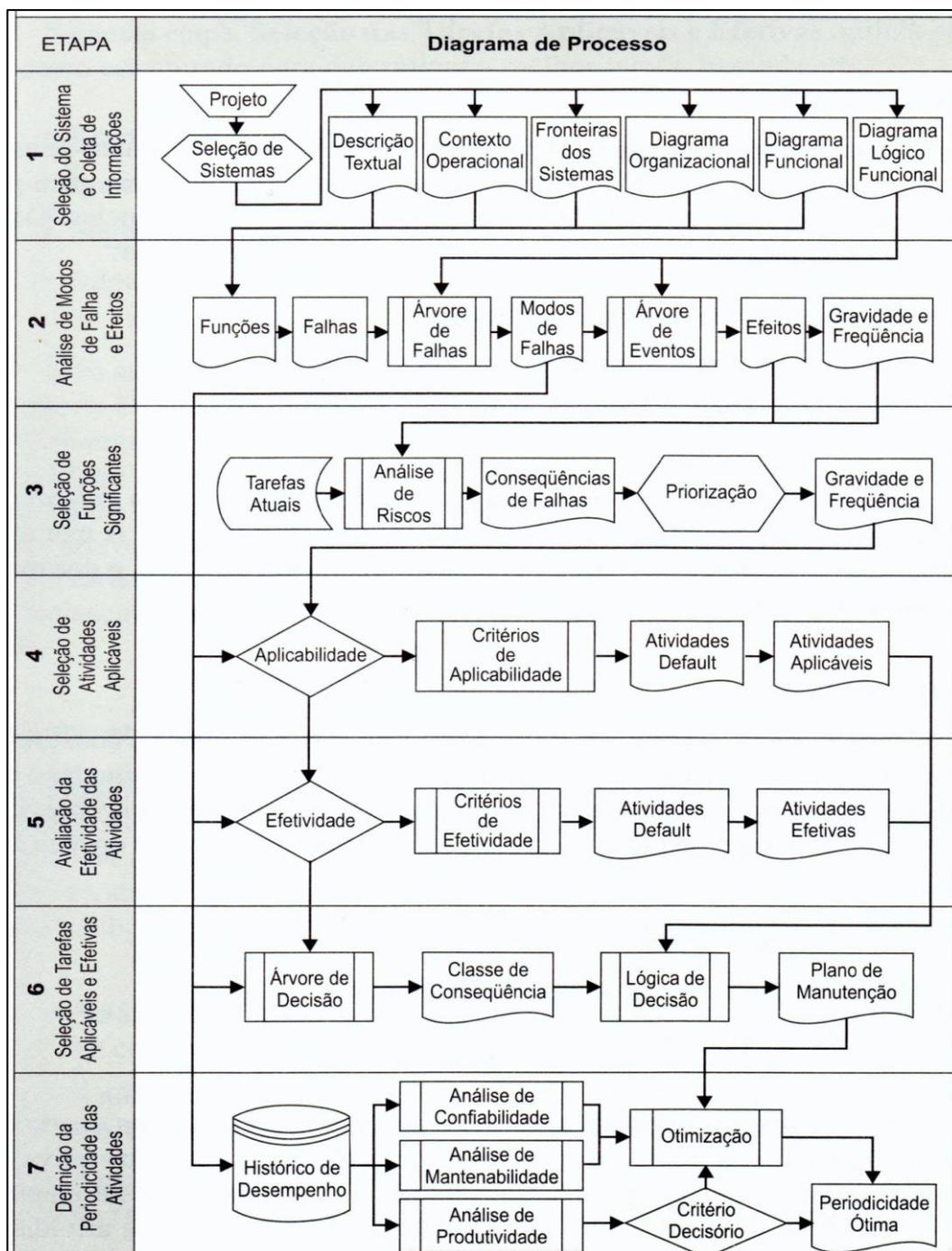


Figura 8 - Diagrama de processo da manutenção centrada na confiabilidade.  
 Fonte: SIQUEIRA, 2014, p. 21.

## ANEXO B

## DIAGRAMA DE SELEÇÃO DE FUNÇÕES SIGNIFICANTES

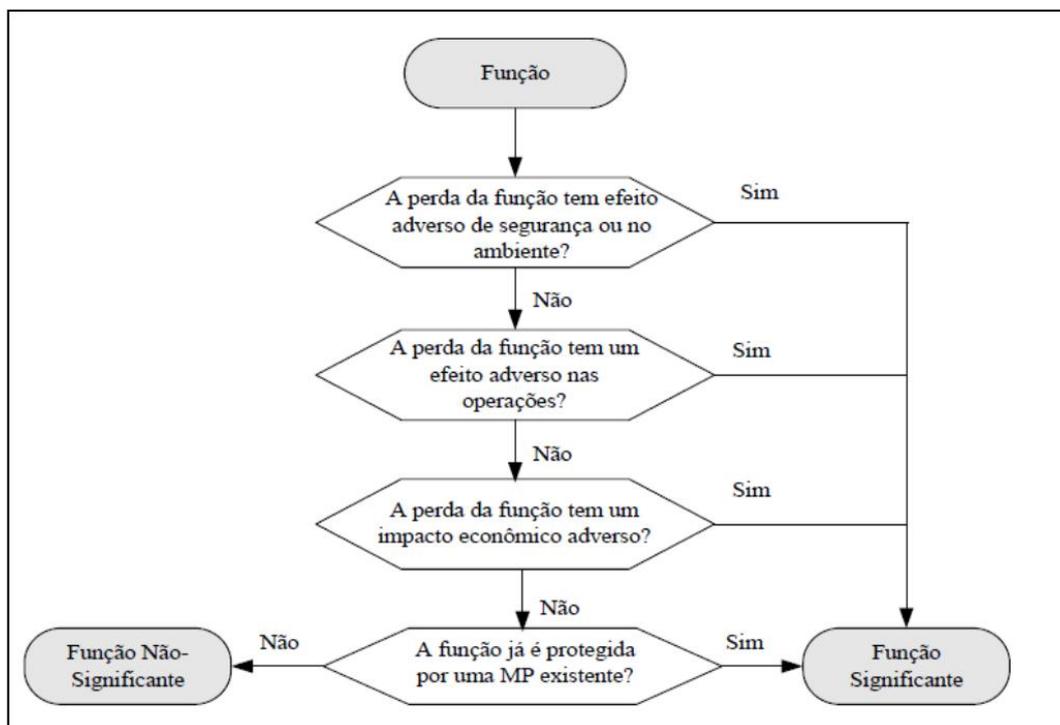


Figura 9 - Diagrama de seleção de funções significantes.

Fonte: BRASIL, 2013, p. 5-3; e SIQUEIRA, 2014, p. 112.

ANEXO C

ORGANOGRAMA DO NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND

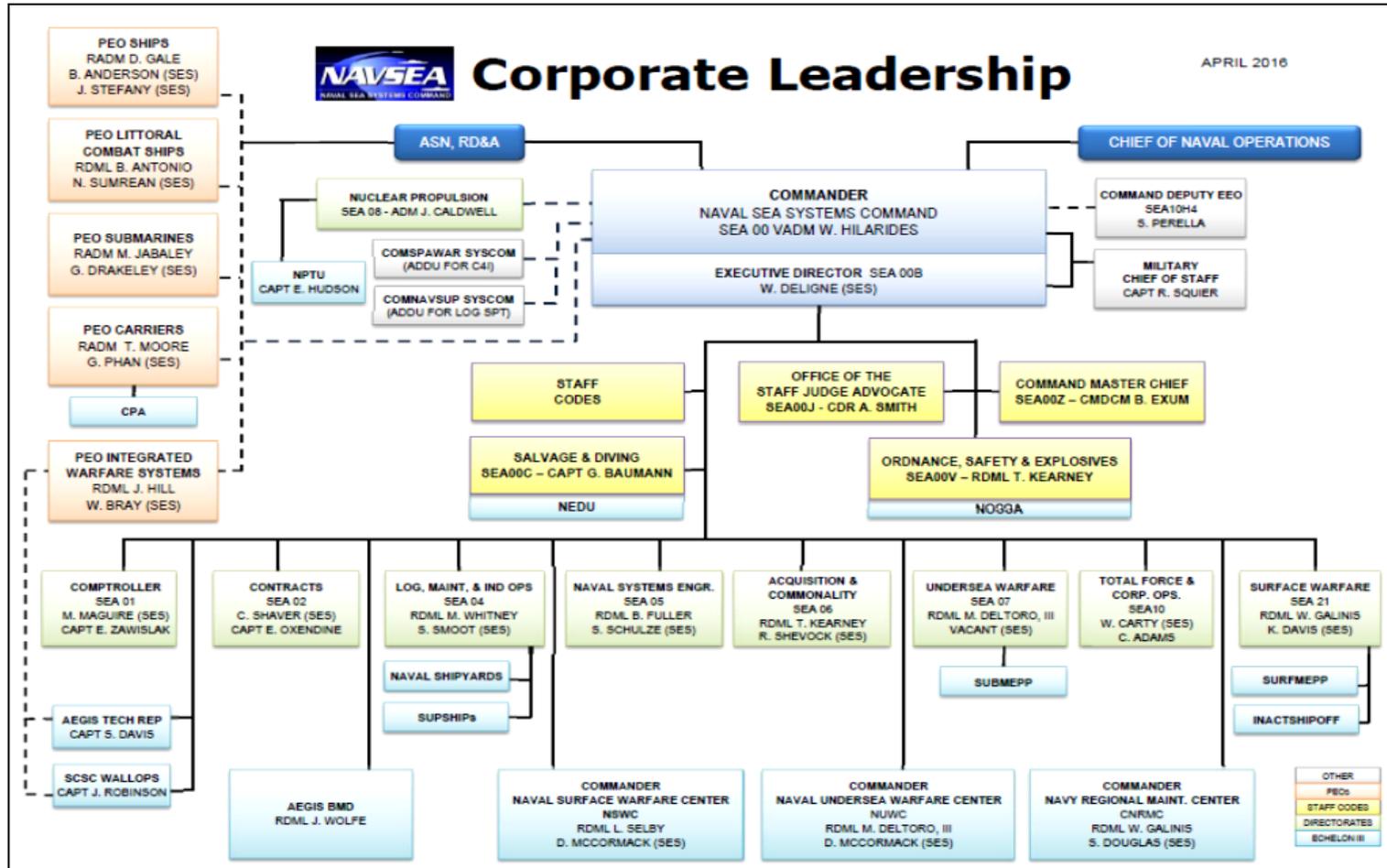


Figura 10 - Organograma do *Naval Sea Systems Command* (NAVSEA).  
Fonte: <http://www.navsea.navy.mil/Who-We-Are/Headquarters/>.