

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG (EN) EBERTH FONTENELLE LÔBO

A GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA EM PLATAFORMAS MILITARES
Um Estudo Comparativo entre Forças Armadas Estrangeiras e a
Marinha do Brasil

Rio de Janeiro

2025

CMG (EN) EBERTH FONTENELLE LÔBO

A GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA EM PLATAFORMAS MILITARES
Um Estudo Comparativo entre Forças Armadas Estrangeiras e a
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) LEONARDO
COUTINHO

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2025

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto ao que tenho de mais valioso: minha família.

À minha esposa Mariana e aos meus filhos, Davi e Sofia, pelo apoio incondicional ao longo desta jornada. Nos momentos de ausência e sacrifício, encontrei em vocês a força e o sentido para seguir adiante. Esta conquista é nossa. Amo vocês.

À minha mãe, Tininha, exemplo de amor, coragem e resiliência. Os valores que me transmitiu e o apoio inabalável me sustentaram em todas as etapas da vida. A ela devo não apenas este trabalho, mas grande parte do que sou.

Dedico, ainda, à memória de meu pai, Antônio Elísio, cuja presença sinto em cada passo da minha caminhada. Seu exemplo de dedicação, sacrifício e superação permanece como inspiração diária em minha vida.

AGRADECIMENTO

A Deus, razão maior de todas as coisas, guia e farol permanente em cada ato e pensamento da minha vida.

Ao meu orientador, CMG (RM-1) Leonardo Coutinho, pela disponibilidade e pelas orientações valiosas que, como bússola segura, direcionaram este trabalho. Suas contribuições e correções foram alicerces decisivos para a conclusão desta tese.

Ao CF (RM-1) Nagashima, pelo suporte fundamental na montagem do projeto desta tese, que tornou mais ágil e consistente o seu desenvolvimento.

À turma do C-PEM/2025, pelo companheirismo, pela amizade e pela troca de ideias que proporcionaram sólido embasamento nos momentos em que precisei.

Por fim, agradeço à Escola de Guerra Naval, a seus oficiais e praças, por me proporcionarem toda a estrutura e o apoio necessários ao meu crescimento profissional e intelectual, ao longo do Curso de Política e Estratégia Marítimas de 2025.

RESUMO

A obsolescência constitui um desafio inevitável em sistemas militares complexos, cujos ciclos de vida operacional superam em décadas os ciclos industriais de fornecimento de componentes. Esse descompasso gera riscos significativos à disponibilidade, confiabilidade e efetividade operacional, sobretudo em forças armadas submetidas a severas restrições orçamentárias. Neste contexto, a Gestão da Obsolescência (GO), estruturada segundo normas internacionais como a IEC 62402 desponta como ferramenta essencial para mitigar impactos logísticos e estratégicos ao longo do ciclo de vida dos meios. O presente trabalho analisa comparativamente experiências internacionais e nacionais de GO em meios militares de grande relevância estratégica, visando identificar práticas eficazes e extrair lições aplicáveis à realidade da Marinha do Brasil. A análise revela que a maioria dos casos internacionais demonstram maior maturidade institucional da GO, caracterizada pela aplicação de metodologias de análise de risco, integração com o ciclo de vida (CV) e uso de ferramentas digitais de monitoramento. No âmbito nacional, a experiência da MB apresenta uma transição: enquanto as Fragatas Classe Niterói e o NT Almirante Gastão Motta ilustram os limites de estratégias reativas e de modernizações pontuais, as Fragatas Classe Tamandaré incorporam, desde a concepção, práticas de GO modernas, com ênfase em modularidade, integração tecnológica e suporte logístico digital. Os resultados permitem concluir que a eficácia da GO depende de sua institucionalização como política de longo prazo, da integração com a gestão do CV e do uso consistente de ferramentas de análise de risco e dependabilidade. Para a MB, o aprendizado internacional e as práticas emergentes em seus novos programas navais oferecem base sólida para aprimorar processos, reduzir vulnerabilidades e assegurar maior sustentabilidade operacional diante de restrições orçamentárias e dependência tecnológica.

Palavras-chave: Gestão da Obsolescência. Ciclo de Vida. Dependabilidade. Marinha do Brasil. Sistemas de Defesa

ABSTRACT

Obsolescence Management in Military Platforms – A Comparative Study of Foreign Armed Forces and the Brazilian Navy

Obsolescence constitutes an inevitable challenge in complex military systems, whose operational life cycles extend for decades beyond the industrial component supply cycles. This mismatch generates significant risks to availability, reliability, and operational effectiveness, especially for armed forces under severe budgetary constraints. In this context, Obsolescence Management (OM), structured according to international standards such as IEC 62402, emerges as an essential tool to mitigate logistical and strategic impacts throughout the life cycle of military assets. This work comparatively analyzes international and national experiences of OM in military systems of great strategic relevance, aiming to identify effective practices and extract lessons applicable to the reality of the Brazilian Navy. The analysis reveals that most international cases demonstrate greater institutional maturity in OM, characterized by the application of risk analysis methodologies, integration with the life cycle (LC), and the use of digital monitoring tools. At the national level, the experience of the Brazilian Navy reflects a transitional stage: while the Niterói-class frigates and the replenishment oiler Almirante Gastão Motta illustrate the limits of reactive strategies and punctual modernizations, the Tamandaré-class frigates incorporate, from their conception, modern OM practices, emphasizing modularity, technological integration, and digital logistical support. The results indicate that the effectiveness of OM depends on its institutionalization as a long-term policy, integration with life cycle management, and consistent use of risk analysis and dependability tools. For the Brazilian Navy, international lessons learned and emerging practices in its new naval programs provide a solid basis for improving processes, reducing vulnerabilities, and ensuring greater operational sustainability in the face of budgetary constraints and technological dependence.

Keywords: Obsolescence Management. Life Cycle. Dependability. Brazilian Navy. Defense Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva da Obsolescência	13
Figura 2 - Matriz de Risco	17
Figura 3 - Fases do Ciclo de Vida	19
Figura 4 - USS Nimitz (CVN-68).....	23
Figura 5 - Submarino Classe Los Angeles (SSN-688)	26
Figura 6 - Evolução proposta do programa ARCI.....	28
Figura 7 - ARA San Juan (S-42).....	31
Figura 8 - HMS Lancaster (F229).....	34
Figura 9 - A-10C Thunderbolt II ("Warthog")	39
Figura 10 - Expansão do Programa HOG UP entre 1999 e 2003	41
Figura 11 - Fragata Constituição (F42)	47
Figura 12 – NT Gastão Motta (G23).....	54
Figura 13 – Cerimônia de lançamento da fragata F200 Tamandaré.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APB	-	Advanced Processing Builds
ARCI	-	Acoustic Rapid COTS Insertion
ASW	-	Anti-submarine Warfare
AVCOM	-	Advanced Component Obsolescence Management
BID	-	Base Industrial de Defesa
CCV	-	Custo de Ciclo de Vida
CEO	-	Chief Executive Officer
CMS	-	Combat Management System
COTS	-	Commercial Off-the-Shelf
CV	-	Ciclo de Vida
DMS	-	Dependability Management System
DMSMS	-	Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages
DoD	-	Department of Defense
EMGEPRON	-	Empresa Gerencial de Projetos Navais
EOL	-	End-of-Life
FCN	-	Fragatas Classe Niterói
FCT	-	Fragatas Classe Tamandaré
GCV	-	Gestão do Ciclo de Vida
GIDEP	-	Government-Industry Data Exchange Program
GO	-	Gestão da Obsolescência
GPS	-	Global Positioning System
IEC	-	International Electrotechnical Commission
IPMS	-	Integrated Platform Management System
ITOM	-	Integrated Obsolescence Management
LCC	-	Life Cycle Cost
LIFEX	-	Life Extension Programme
LTB	-	Lifetime Buy
OCM	-	Original Component Manufacturer
OEM	-	Original Equipment Manufacturer
OMIS	-	Obsolescence Management Information System

P2P	-	Performance to Plan
PCN	-	Product Change Notice
PDN	-	Product Discontinuance Notice
PGMU	-	Power Generation Machinery Upgrade
PGO	-	Plano de Gerenciamento de Obsolescência
PIA	-	Planned Incremental Availability
PMG	-	Período de Manutenção Geral
PMP	-	Program Management Plan
RCOH	-	Refueling/Complex Overhaul
SIGMAN	-	Sistema de Gerenciamento da Manutenção
SMP	-	Sistema de Manutenção Planejada
SPE	-	Sociedade de Propósito Específico
SRM	-	Sistema de Reabastecimento no Mar
TCO	-	Total Cost of Ownership
USAF	-	United States Air Force

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	8
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	9
1.3 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS	9
1.4 METODOLOGIA.....	9
1.4.1 Tipo de investigação.....	9
1.4.2 Critérios de seleção dos casos.....	10
1.5 DIMENSÕES DE ANÁLISE COMPARATIVA.....	11
1.6 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS	11
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 OBSOLESCÊNCIA.....	13
2.2 GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA.....	15
2.3 CICLO DE VIDA	18
2.4 GESTÃO DO CICLO DE VIDA.....	19
2.5 DEPENDABILIDADE (<i>DEPENDABILITY</i>)	20
2.6 DIMINISHING MANUFACTURING SOURCES AND MATERIAL SHORTAGES (DMSMS).....	21
3 ANÁLISE DA GESTÃO DE OBSOLESCÊNCIA DE MEIOS MILITARES.....	23
3.1 USS NIMITZ (CVN-68) – MARINHA DOS EUA	23
3.1.1 Visão Geral do Navio.....	23
3.1.2 Estratégias de Gestão da Obsolescência.....	24
3.2 SUBMARINOS CLASSE LOS ANGELES (SSN-688) – MARINHA DOS EUA....	26
3.2.1 Visão Geral dos Submarinos.....	26
3.2.2 Estratégias da Gestão da Obsolescência.....	27
3.2.3 Desafios e Exemplos Relevantes.....	30
3.3 SUBMARINO ARA SAN JUAN – MARINHA DA ARGENTINA	30
3.3.1 Introdução	30
3.3.2. Histórico de Modernização e Obsolescência.....	31
3.3.3. Análise de Riscos e Gestão de Obsolescência	31
3.4 FRAGATAS TYPE 23 – MARINHA DO REINO UNIDO	33

3.4.1 Visão Geral dos Navios	33
3.4.2 Estratégias de Gestão de Obsolescência.....	34
3.4.2.1. Planejamento e Execução do LIFEX.....	34
3.4.2.2. Contratos e Logística.....	36
3.4.2.3. Desafios e Limitações	36
3.4.3 Exemplos de Ações Proativas e Reativas no âmbito da GO.....	37
3.4.3.1. Ações Proativas	37
3.4.3.2. Ações Reativas	37
3.5 A-10 THUNDERBOLT II – FORÇA AÉREA DOS EUA	39
3.5.1 Visão geral da aeronave e relevância para a USAF.....	39
3.5.2 Estratégias de extensão da vida útil e análise de risco	40
3.5.3 Ações realizadas: estratégias proativas e reativas.....	42
3.6 Conclusões parciais	44
4 ANÁLISE DA GESTÃO DE OBSOLESCÊNCIA EM MEIOS DA MB.....	46
4.1 FRAGATAS CLASSE NITERÓI	46
4.1.1 Visão Geral da Classe.....	46
4.1.2 Desafios de Obsolescência.....	47
4.1.3 Ações de GO.....	48
4.1.4 Aspectos vulneráveis na GO das FCN.....	49
4.1.5 Desfazimento	53
4.2 NAVIO TANQUE ALMIRANTE GASTÃO MOTTA	53
4.2.1 Visão Geral da Classe.....	53
4.2.2 Desafios de Obsolescência.....	54
4.2.3 Ações de Gestão de Obsolescência (GO) no G-23.....	57
4.2.3.1 Medidas Reativas	57
4.2.3.2 Medidas Proativas.....	59
4.2.3.3 Impactos Financeiros e na Disponibilidade Operacional.....	61
4.3 FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ - MARINHA DO BRASIL.....	63
4.3.1 Visão Geral da Classe.....	63
4.3.2 Planejamento da Obsolescência	64
4.3.3 Impactos da GO no Desenvolvimento e Projeto das FCT (até 2025).....	67
4.4 Conclusões parciais	71
5 ANÁLISES COMPARATIVAS	73

5.1 SÍNTESE COMPARATIVA INTERNACIONAL	73
5.2 SÍNTESE COMPARATIVA NACIONAL (MARINHA DO BRASIL).....	74
5.3 ANÁLISE INTEGRADA DOS CASOS	76
5.4 CONCLUSÃO PARCIAL	77
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
6.1 Síntese das análises	80
6.2 Recomendações para a Marinha do Brasil.....	81
6.2.1 Implementar uma Política Proativa e Formal de GO:	81
6.2.2 Adotar Ferramentas e Melhores Práticas DMSMS:.....	81
6.2.3 Fortalecer a Análise de Risco e a Prioridade de Ações:	82
6.2.4 Integrar Engenharia Logística nos Programas de Modernização:.....	83
6.2.5 Buscar Apoio Externo e Cooperação Internacional:	84
6.2.6 Equacionar Recursos e Sensibilizar para o Custo de Inação:.....	84
6.3 Considerações finais	85
REFERÊNCIAS.....	87
APÊNDICE A – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GO DOS MEIOS DE FORÇAS ARMADAS ESTRANGEIRAS	96
APÊNDICE B – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GO DOS MEIOS NAVAIS DA MB.....	98

1 INTRODUÇÃO

A obsolescência é um fenômeno inevitável em sistemas complexos, especialmente em plataformas militares de longa duração, cuja vida útil pode ultrapassar em décadas os ciclos comerciais de componentes e tecnologias. Esse descompasso entre o tempo de emprego operacional e o ciclo de renovação industrial traz desafios crescentes para as Forças Armadas, sobretudo quando os orçamentos são restritivos e a base industrial de defesa carece de autonomia tecnológica.

No cenário naval, a obsolescência adquire caráter crítico, pois impacta diretamente a disponibilidade, a confiabilidade e a eficácia operacional dos meios, restringindo a prontidão da força e afetando a capacidade de resposta a crises. Por esse motivo, diversas marinhas ao redor do mundo estruturaram programas formais de Gestão da Obsolescência (GO), apoiados em normas como a IEC 62402, a fim de integrar ações preventivas e corretivas ao longo do ciclo de vida dos sistemas.

No caso da Marinha do Brasil (MB), a problemática assume relevância estratégica. Suas fragatas, submarinos e navios de apoio atravessam ciclos de emprego superiores a 40 anos, convivendo com restrições severas de orçamento e limitações de fornecimento da Base Industrial de Defesa (BID). A ausência de políticas robustas e sistemáticas de GO acentua os riscos de perda de capacidade operacional e de dependência externa, comprometendo a autonomia nacional em defesa.

Diante desse contexto, neste trabalho busca-se analisar comparativamente experiências internacionais e nacionais de Gestão da Obsolescência, com o intuito de propor reflexões e recomendações aplicáveis à realidade brasileira.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão central que orienta esta investigação é:

Como diferentes forças armadas estruturaram seus processos de Gestão da Obsolescência e quais práticas, estratégias e ferramentas podem ser adaptadas para fortalecer a prontidão operacional da Marinha do Brasil?

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Analisar a gestão da obsolescência em sistemas militares complexos de diferentes forças armadas estrangeiras e propor recomendações para a evolução dos processos de GO na Marinha do Brasil, considerando as limitações orçamentárias e a necessidade de fortalecimento da BID.

1.3 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS

Revisar o referencial teórico sobre obsolescência, gestão do ciclo de vida e dependabilidade, identificando as principais normas, conceitos e abordagens metodológicas.

Examinar estudos de caso internacionais (EUA, Reino Unido e Argentina), descrevendo as estratégias de GO adotadas em plataformas de diferentes naturezas (navios, submarinos e aeronaves).

Analisar a experiência da MB em meios navais específicos, com foco nas Fragatas Classe “Niterói”, Navio-Tanque Almirante Gastão Motta e Fragatas Classe “Tamandaré”, destacando ações de modernização, desafios enfrentados e resultados obtidos no contexto da GO.

Comparar dimensões-chave de GO entre os casos internacionais e nacionais, identificando padrões de sucesso, falhas recorrentes e elementos transferíveis.

Propor recomendações técnicas e estratégicas que subsidiem a formulação de políticas de GO na MB, alinhadas às boas práticas internacionais e às restrições orçamentárias da MB.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Tipo de investigação

Para o estudo, adota-se uma abordagem qualitativa, exploratória e comparativa. É qualitativa porque busca compreender a dinâmica da gestão da obsolescência a partir da análise de experiências documentadas, relatórios técnicos e literatura especializada, em vez de medir fenômenos quantitativos. É exploratória,

pois investiga um campo ainda pouco consolidado no Brasil, com escassa produção acadêmica sistematizada sobre GO em meios militares. Por fim, é comparativa, já que se apoia na análise de múltiplos estudos de caso, cotejando práticas internacionais e nacionais para extrair inferências e recomendações.

O foco deste trabalho é a análise comparativa de casos, aplicada a plataformas militares que enfrentaram diferentes níveis de obsolescência, o que permite identificar semelhanças e contrastes entre contextos, estratégias e resultados, destacando fatores críticos de sucesso ou de fracasso na gestão da obsolescência.

1.4.2 Critérios de seleção dos casos

Os casos internacionais e nacionais foram selecionados segundo quatro critérios principais:

Relevância operacional – plataformas de impacto estratégico em suas respectivas forças (porta-aviões, submarinos, fragatas, aeronaves de ataque).

Diversidade tipológica – inclusão de diferentes tipos de meios (navios de superfície, submarinos e aeronaves) para abranger múltiplos contextos logísticos.

Amplitude temporal – plataformas com longo ciclo de vida (30–50 anos), permitindo observar como a GO evoluiu ao longo do tempo.

Disponibilidade de documentação – casos com literatura acessível, relatórios oficiais e análises acadêmicas que permitam uma investigação fundamentada.

Com base nesses critérios, foram selecionados:

Internacionais: USS Nimitz (porta-aviões nuclear), submarinos Classe Los Angeles, submarino argentino ARA San Juan, fragatas Type 23 e aeronave A-10 Thunderbolt II.

Nacionais: Fragatas Classe Niterói, Navio-Tanque Almirante Gastão Motta e Fragatas Classe Tamandaré.

1.5 DIMENSÕES DE ANÁLISE COMPARATIVA

A comparação entre os casos seguirá cinco dimensões principais, derivadas da literatura de GO e do referencial teórico discutido no capítulo 2:

Contexto operacional e logístico – cenário estratégico, idade dos meios e restrições orçamentárias.

Estratégias proativas de GO – planejamento antecipado, modernização, modularidade, compras programadas, monitoramento de risco.

Estratégias reativas de GO – canibalização, substituições emergenciais, improvisações técnicas.

Principais desafios enfrentados – indisponibilidade de sobressalentes, limitações de fornecedores, perda de mão de obra qualificada, custos excessivos.

Resultados e lições aprendidas – impacto sobre a disponibilidade operacional, custo-benefício das ações e sustentabilidade da frota.

Essas dimensões serão utilizadas para sistematizar os resultados na forma de quadros comparativos constantes dos Apêndices A e B, possibilitando uma visão transversal das práticas analisadas.

1.6 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

O estudo enfrenta limitações inerentes ao acesso restrito a dados técnicos de defesa, principalmente em casos recentes e em sistemas classificados. Para mitigar esse limite, priorizou-se o uso de documentos oficiais disponíveis ao público, literatura especializada e relatórios de auditoria ou investigação (como no caso do ARA San Juan). Ainda assim, reconhece-se que algumas análises permanecem condicionadas à disponibilidade de informação pública.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em quatro capítulos principais:

- Capítulo 1 – Introdução, objetivos, questão de pesquisa e metodologia;

- Capítulo 2 – Referencial teórico: conceitos de obsolescência, ciclo de vida, dependabilidade e normas internacionais;
- Capítulo 3 – Análise de casos internacionais, com síntese comparativa;
- Capítulo 4 – Análise de casos nacionais, com síntese comparativa;
- Capítulo 5 – Análise comparativa entre os casos internacionais e nacionais; e
- Conclusão – Recomendações estratégicas para a evolução da GO na MB.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

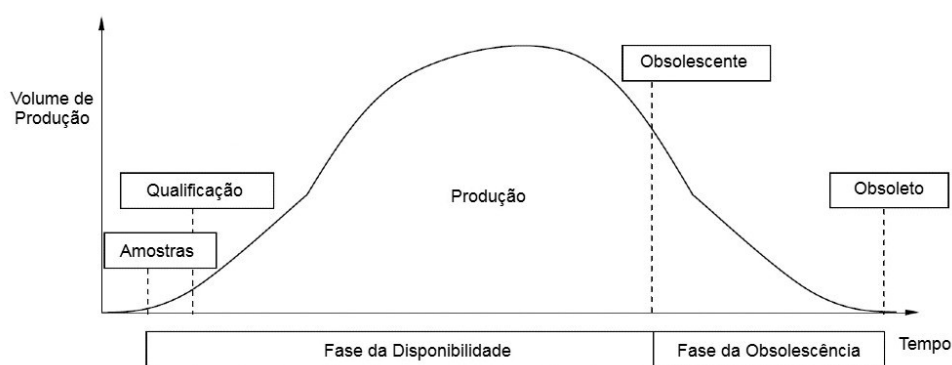
Objetiva-se neste presente capítulo fornecer de maneira breve para o leitor os conceitos que norteiam as investigações deste trabalho, e que servem como referência para o aprofundamento teórico àqueles que se interessarem pelo assunto.

2.1 OBSOLESCÊNCIA

De acordo com a definição da *Defense Acquisition University* (DAU), obsolescência é a falta de disponibilidade de um item ou matéria-prima decorrente de alterações estatutárias, de processos ou de novos projetos. A obsolescência lida com o processo ou condição pela qual um equipamento deixa de ser útil, ou suas características de forma e função não estão mais atuais ou disponíveis para produção ou reparo. A implementação de novas tecnologias faz com que tecnologias mais antigas se tornem menos suportáveis, devido à disponibilidade reduzida de peças e fornecedores (DAU ACQUIPEDIA, [s.d.]a).

Como princípio geral, a fase de obsolescência de um produto começa imediatamente após a divulgação da informação sobre sua descontinuação e o produto é considerado como obsoleto, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Curva da Obsolescência



Fonte: Adaptado de IEC (2007)

A informação sobre a mudança para a fase obsolescente costuma vir na forma de um aviso de descontinuação de produto (PDN, "*Product Discontinuance Notice*"), notificação de fim de vida (EOL, "*End-of-Life*") ou notificação de compra vitalícia (LTB,

“Lifetime Buy”)¹. Um aviso de alteração de produto (PCN, “*Product Change Notice*”) também pode fazer com que um produto entre na fase de obsolescência para determinados fabricantes (OCM, “*Original Component Manufacturer*” ou OEM, “*Original Equipment Manufacturer*”).

Um produto pode ser considerado obsoleto quando não está mais disponível pelo fabricante original, mesmo que ainda haja unidades na cadeia de fornecimento.

No cenário militar, a obsolescência é a redução progressiva da vida útil de um determinado Sistema de Defesa² (SD), com impactos na degradação da confiabilidade e disponibilidade e, por conseguinte, na redução da capacidade do respectivo Elemento de Força aos quais esses SD pertençam, e segundo MARINHA DO BRASIL (2025) pode ser classificada como:

- a. Obsolescência Doutrinária: Decorrente da evolução dos fundamentos de emprego ou da necessidade de otimização do emprego de determinado SD nas Operações Navais;
- b. Obsolescência Técnica ou Funcional: decorrente da defasagem tecnológica; e;
- c. Obsolescência Econômica ou Logística: decorrente da descontinuidade da linha de fornecimento de itens sobressalentes e de serviços com impactos diretos na sua disponibilidade, distribuição e armazenamento.

¹ LTB refere-se a “Lifetime Buy” (IEC, 2007) ou também a “Last Time Buy” (compra de última oportunidade), com a diferença que uma “Last Time Buy” é uma compra única de um produto ou componente antes de sua descontinuação, com o objetivo de atender a necessidades futuras por um período limitado (VIEIRA, 2020). Uma lifetime buy (compra para toda a vida útil) é uma compra maior, geralmente única, destinada a suprir todas as necessidades previstas para toda a vida útil de um produto ou sistema, mesmo que essa vida útil se estenda por décadas. Apesar da IEC-62402 utilizar a expressão “Lifetime Buy”, a expressão também é usada no conceito de obsolescência, como sendo uma compra de um estoque suficiente para sustentar o produto “até a próxima mudança tecnológica planejada”. A escolha entre uma opção e outra depende do nível de planejamento, criticidade do sistema, custos e risco de obsolescência.

² Sistema de Defesa: Conjunto inter-relacionado ou interativo de elementos, que podem ser ou não considerados Produtos de Defesa (PRODE), que atenda a uma finalidade específica para atingir uma determinada capacidade militar (Marinha do Brasil, 2025).

2.2 GESTÃO DA OBSOLESCÊNCIA

À medida que a vida útil de um produto ou serviço se estende além do ciclo de vida (definido no item 2.3 abaixo), da tecnologia planejada no projeto, surgem problemas com obsolescência e escassez das fontes de fabricação e de materiais. Tanto o mercado de defesa quanto o comercial devem encontrar maneiras de planejar e gerenciar a obsolescência, pois todo produto ou serviço estão sujeitos aos seus efeitos.

A obsolescência é inevitável e não pode ser evitada, mas um planejamento cuidadosamente antecipado pode minimizar o seu impacto e os seus potenciais custos elevados. O objetivo do gerenciamento ou gestão da obsolescência é garantir que a obsolescência seja tratada como parte integrante do projeto, desenvolvimento, produção e suporte em serviço visando minimizar os custos e os impactos prejudiciais ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço.

De acordo com a norma IEC-62402 (IEC, 2007), a GO é essencial para atingir a melhor relação de custo-efetividade³ ao longo do ciclo de vida de um produto. O planejamento de um processo de GO com boa relação de custo-efetividade, deve levar em conta fatores essenciais para garantir que os custos do ciclo de vida⁴ (CCV ou LCC, “Life cost cycle”) do produto sejam considerados e postos em prática.

O processo de GO abrange diversas etapas que devem ser iniciadas desde a concepção do sistema e mantidas ativas durante todas as fases do ciclo de vida, incluindo (IEC, 2007):

- a) planejamento e estruturação organizacional, com definição clara de responsabilidades, recursos e prioridades;

³ Avaliações de custo-efetividade comparam os custos em termos monetários com os impactos positivos e benefícios gerados pelo programa. Destaca-se que estes últimos não são necessariamente monetários (OLIVEIRA, 2022).

⁴ Custo de Ciclo de Vida (CCV): O CCV/LCC consiste no somatório de todos os custos diretos mais os custos variáveis indiretos associados à concepção, ao desenvolvimento, à produção, à aquisição, à operação e ao apoio e desfazimento de um novo equipamento ou capacidade e deverá, preferencialmente, ser empregado para a análises de alternativas e econômicas. (Ministério da Defesa, 2019).

- b) monitoramento contínuo de riscos de obsolescência, principalmente de itens críticos e de longo prazo de fornecimento (LLI, “*Long Lead Items*”);
- c) adoção de estratégias de mitigação, reativas ou proativas; e
- d) revisão periódica da eficácia das ações adotadas, com base em indicadores de risco, desempenho e custo.

Conforme item (c) supracitado, segundo IEC (2007), destacam-se dois grandes grupos de estratégia:

- a) Estratégias reativas: adotadas somente após a ocorrência da obsolescência e tendem a ser mais onerosas e emergenciais, como a substituição de um componente descontinuado ou a busca por fornecedores alternativos.
- b) Estratégias proativas: visam antecipar os riscos e evitá-los ou reduzi-los por meio de medidas como “compra final programada” ou “compra de última oportunidade” (LTB), desenvolvimento de substitutos qualificados, uso de arquitetura modular e monitoramento de ciclo de vida de fornecedores e peças.

A elaboração de um Plano de Gestão da Obsolescência (OMP, “Obsolescence Management Plan”) é recomendada, devendo conter a identificação e priorização de itens suscetíveis à obsolescência, as ações planejadas para cada cenário de risco identificado, os critérios para tomada de decisão (inclusive econômicos) e os mecanismos de atualização e controle documental.

A realização de uma análise estruturada de risco é fundamental para a GO e deve subsidiar a escolha entre estratégias proativas ou reativas, conforme estabelecido pela norma IEC (2007) e pela diretriz brasileira EMA-420 (Marinha do Brasil, 2025). A tomada de decisão orientada pelo risco permite racionalizar recursos e priorizar intervenções de maior impacto no ciclo de vida dos sistemas.

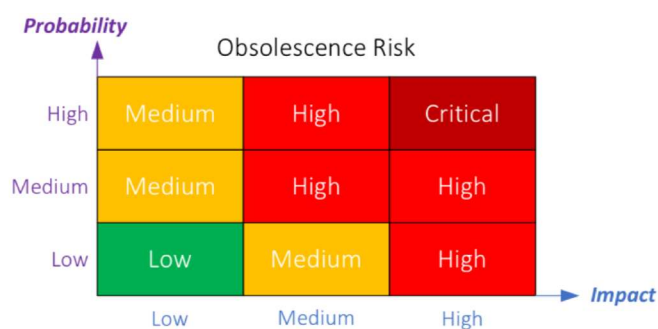
Essa análise de risco⁵ baseia-se, principalmente, nos seguintes critérios:

⁵ Para o estabelecimento dos níveis de aceitabilidade do risco, utiliza-se normalmente o método analítico “*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*” (FMECA, Análise dos Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas) (Brasil, [s.d.])

- a) Criticidade do item: quanto maior o impacto da indisponibilidade do componente sobre a capacidade operacional do meio, maior a urgência de medidas preventivas;
- b) Probabilidade de obsolescência: definida a partir do ciclo de vida comercial do item, histórico de suporte, notificações do tipo End of Life (EOL) e disponibilidade de fornecedores;
- c) Tempo necessário para substituição: componentes cujo tempo de aquisição ou desenvolvimento seja elevado impõem maior risco logístico se não forem geridos proativamente;
- d) Custo ao longo do ciclo de vida (CCV): ainda que ações proativas possam requerer maior investimento inicial, geralmente reduzem o custo total e evitam interrupções de operação;
- e) Capacidade de improvisação técnica ou canibalização: componentes não críticos e com disponibilidade em outros sistemas podem ser tratados com soluções reativas pontuais.

Com base nesses fatores, constrói-se uma matriz de risco que orienta tecnicamente a decisão sobre o tipo de ação a ser adotada. A criticidade (impacto) e a probabilidade de obsolescência são cruzadas para indicar o nível de risco envolvido e o nível de resposta necessário (IEC, 2007), conforme Figura 2.

Figura 2 - Matriz de Risco



Fonte: VIEIRA, 2020

Em cenários de alto risco (alta criticidade + alta probabilidade), impõe-se a adoção de ações proativas, tais como: LTB, uso de arquiteturas modulares, cláusulas

contratuais de suporte logístico, ou desenvolvimento nacional de substitutos. Já em contextos de baixo risco, pode-se adotar ações reativas, como a canibalização de peças, compras pontuais em estoques remanescentes ou reengenharia sob demanda.

Essa metodologia permite alinhar a gestão da obsolescência aos princípios de disponibilidade operacional, gestão eficiente de recursos públicos e otimização do ciclo de vida dos meios navais.

A abordagem da GO deve ser flexível e integrada com os demais processos de apoio logístico, aquisição e engenharia de sistemas, de modo a assegurar que o suporte ao longo do ciclo de vida ocorra com o menor impacto possível ao desempenho e ao orçamento.

2.3 CICLO DE VIDA

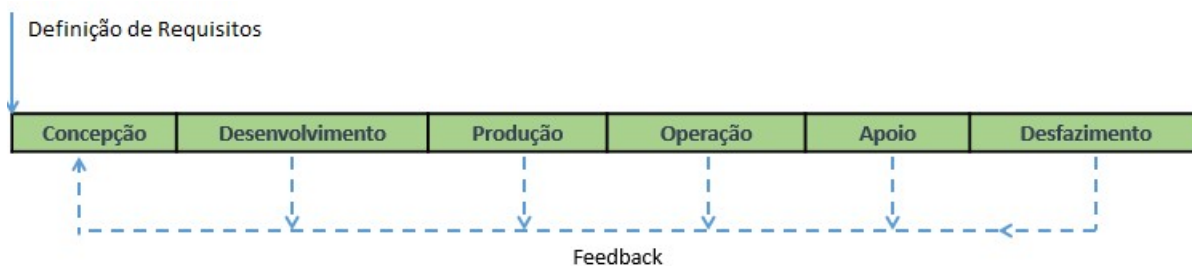
De acordo com o MD40-M-01 - Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa (Ministério da Defesa, 2019), a definição de Ciclo de Vida engloba a evolução de um sistema, produto, serviço, projeto ou outra entidade desenvolvida por humanos, desde a concepção até o desfazimento. O Ciclo de Vida também pode ser definido como um conjunto de procedimentos que vai desde a detecção da necessidade operacional, seu pleno atendimento por intermédio de um Sistema ou Material, a confrontação deste com os requisitos estabelecidos, o seu emprego, a avaliação operacional, a sua oportuna modernização ou revitalização até a sua desativação.

O Ciclo de Vida inclui todo o espectro de atividade de um determinado Sistema de Interesse⁶ (SI), iniciando com a identificação da necessidade e estendendo-se através do projeto e desenvolvimento do sistema, da produção e/ou construção, do seu emprego operacional e apoio de manutenção e do desfazimento do material.

Como as atividades de cada fase do Ciclo de Vida interagem com as atividades de outras fases, conforme ilustrado na Figura 3, é essencial considerar o ciclo de vida total ao abordar questões em nível sistêmico, especialmente se o propósito for avaliação de riscos, associados, como um todo, ao processo de tomada de decisão.

⁶ Sistema de Interesse (SI): Sistema cujo ciclo de vida é considerado de acordo com o contexto de norma específica (Ministério da Defesa, 2019).

Figura 3 - Fases do Ciclo de Vida



Fonte: MINISTÉRIO DA DEFESA (2019)

2.4 GESTÃO DO CICLO DE VIDA

Aplicação de atividades sistemáticas e coordenadas, através da qual uma organização realiza a gestão, de forma otimizada e sustentável, de seus ativos e seu desempenho associado, riscos e custos ao longo do seu Ciclo de Vida com o objetivo de alcançar o seu planejamento estratégico.

O objetivo da Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa⁷ (SD) é planejar, obter, manter e otimizar as Capacidades Militares de Defesa considerando desempenho, segurança, qualidade e custo ao longo de todo o CV.

Para atingir o objetivo da GCV de SD, devem ser empreendidas ações para:

- a. Mitigar riscos, reduzir tempos de obtenção, assegurar que os SD obtidos cumpram sua finalidade, identificar, quantificar e controlar os Custos do Ciclo de Vida; e
- b. Garantir que os processos usados ao longo dos programas/projetos de obtenção de Sistemas de Defesa sejam consistentes, harmonizados, e que haja compartilhamento de recursos, informação e tecnologias de maneira efetiva e sustentável.

O exemplo de ciclo de vida apresentado na Figura 3 é composto por seis fases: concepção, desenvolvimento, produção, operação, apoio e desfazimento. As fases refletem uma abordagem sequencial mais genérica. Para cada SD, em função das peculiaridades técnicas do SI, podem ser realizados ajustes no modelo de CV.

⁷ Sistema de Defesa: Conjunto inter-relacionado ou interativo de Produto de Defesa de que atenda a uma finalidade específica (Ministério da Defesa, 2019).

Para atingir o propósito de cada fase do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa são processadas informações iniciais, as entradas (input) e, para a geração de informações finais, as saídas (outputs). As saídas podem ser geradas em qualquer momento ao longo da realização de uma dada fase.

O modelo (flexível) de fases do CV prevê, em Ministério da Defesa (2019), a presença da GO nos seguintes níveis:

- a) Fase de Concepção (saída);
- b) Fase de Desenvolvimento (entrada e saída); e
- c) Fase de Apoio (entrada)

Dessa forma, as ações de GO são essenciais para a GCV de um SD, desde a concepção (para evitar escolhas tecnológicas propensas à rápida obsolescência) até o desfazimento (para avaliar se a obsolescência justifica a desativação do sistema ou do meio)

2.5 DEPENDABILIDADE (*DEPENDABILITY*)

Segundo Laprie (1992), o conceito de dependabilidade abrange atributos como confiabilidade (*reliability*), disponibilidade (*availability*), manutenibilidade (*maintainability*) e segurança (*safety*), integrando práticas destinadas a assegurar que os sistemas continuem desempenhando suas funções previstas, mesmo diante de condições adversas, tais como obsolescência, falhas ou degradação de desempenho.

A GO em sistemas complexos, como os meios navais militares, demanda não apenas o monitoramento da vida útil dos componentes, mas também a garantia de que esses sistemas permaneçam confiáveis, disponíveis, seguros e manuteníveis ao longo do tempo. Nesse contexto, destaca-se a aplicação de um Sistema de Gerenciamento da Dependabilidade (DMS, “*Dependability Management System*”).

Assim, o DMS é um sistema estruturado de gestão que combina os atributos de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança, para garantir a continuidade operacional de sistemas críticos.

No âmbito da GO, a função principal do DMS é antecipar riscos que possam comprometer a operacionalidade dos meios navais, permitindo ações proativas como LTB, o retrofit⁸ de sistemas, a atualização de softwares ou, quando necessário, a substituição planejada de equipamentos obsoletos. Dessa forma, evita-se que a indisponibilidade de peças ou tecnologias impacte adversamente a capacidade operacional.

A implementação de um DMS permite:

- Identificar componentes e sistemas críticos vulneráveis à obsolescência;
- Monitorar o ciclo de vida útil e as taxas de falha dos principais subsistemas;
- Implementar medidas corretivas ou preventivas com antecedência, reduzindo o impacto financeiro e operacional;
- Integrar a gestão de confiabilidade com as estratégias de manutenção e suporte logístico.

A incorporação dessa abordagem é essencial para garantir que os meios navais mantenham sua efetividade ao longo de sua vida útil projetada, mesmo em ambientes orçamentários restritivos, como ocorre frequentemente nas forças armadas brasileiras.

2.6 DIMINISHING MANUFACTURING SOURCES AND MATERIAL SHORTAGES (DMSMS)

DMSMS (“Redução de Fontes de Fabricação e Escassez de Materiais”, em tradução literal) é um conjunto de políticas, processos, guias e instruções internas do Departamento de Defesa dos EUA (DoD), desenvolvido independentemente e anteriormente à IEC (2007).

⁸ Retrofit: refere-se à atualização de softwares ou sistemas, adaptando-os a novas funcionalidades ou padrões, ou à substituição de peças de hardware por versões mais recentes. É uma alternativa à substituição total, buscando aprimorar o que já existe, seja por razões técnicas, econômicas ou de sustentabilidade (FIEMG LAB, [s.d.])

Ele foca na perda ou iminente perda de fabricantes/fornecedores de materiais, peças, softwares ou matérias-primas que sustentam sistemas militares, ou seja, DMSMS é um domínio de aplicação da GO, com forte ênfase logística, de suprimentos e cadeia de fornecimento.

O DoD trabalha com guias como *Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages: A Guidebook of Best Practices and Tools for Implementing a DMSMS Management Program*.(SD-22) (DSP, 2009) e instruções específicas do *Defense Logistics Agency* (DLA) e do *Naval Sea Systems Command* (NAVSEA), que constituem um framework próprio do DoD para tratar da obsolescência, mas não equivalem à IEC 62402.

Entretanto, segundo Kobren (2020), nos últimos anos, houve um movimento de harmonização conceitual: o DMSMS, embora autônomo, incorpora práticas que convergem com a IEC 62402, tais como abordagem proativa (identificação antecipada de riscos), avaliação de impacto no ciclo de vida e estratégias de mitigação (estoque, substituição, *redesign*).

Devido à importância dos Sistemas de Defesa dos EUA na consolidação das boas práticas da GO nos estudos de caso analisados, é importante citar a existência do DMSMS como guia conceitual dentro desse contexto.

Os conceitos abordados neste capítulo estabelecem as bases teóricas fundamentais para a análise da gestão da obsolescência em meios militares, cujos casos práticos serão examinados nos capítulos subsequentes

3 ANÁLISE DA GESTÃO DE OBSOLESCÊNCIA DE MEIOS MILITARES

No presente capítulo, reúnem-se estudos de caso de diferentes meios militares empregados por marinhas e forças aéreas estrangeiras, selecionados por sua relevância na aplicação prática de estratégias de Gestão de Obsolescência (GO). A amostra contempla o porta-aviões USS *Nimitz* (CVN-68), os submarinos da Classe *Los Angeles* (SSN-688) e o submarino argentino ARA *San Juan* (S-42), além das fragatas britânicas Classe *Type 23* e da aeronave A-10 *Thunderbolt II* da Força Aérea dos Estados Unidos.

A análise busca identificar como cada força conduz o planejamento e a execução de ações proativas e reativas de GO, correlacionando as práticas adotadas com a maturidade de seus sistemas logísticos e a disponibilidade de recursos. A diversidade de contextos operacionais e tecnológicos observados permite uma avaliação comparativa abrangente, contribuindo para o entendimento das diferentes abordagens empregadas na mitigação da obsolescência em plataformas complexas.

3.1 USS NIMITZ (CVN-68) – MARINHA DOS EUA

3.1.1 Visão Geral do Navio

O USS *Nimitz* (CVN-68) (Figura 4), comissionado em 1975, é o navio líder da classe “*Nimitz*” e um dos porta-aviões nucleares mais antigos em operação na Marinha dos Estados Unidos.

Figura 4 - USS *Nimitz* (CVN-68)



Fonte: SEAFORCES ([s.d.])a)

Possui uma tripulação de 6 mil militares, velocidade máxima de 30 nós e deslocamento carregado de aproximadamente 100 mil toneladas, distribuídas por 317 metros de comprimento. Tem capacidade de levar até 90 aeronaves (SEAFORCES, [s.d.])a).

3.1.2 Estratégias de Gestão da Obsolescência

O Ciclo de Vida da classe foi projetado para uma vida útil de aproximadamente 50 anos e, dessa forma, muitos dos seus sistemas tornar-se-iam obsoletos ou incompatíveis com os requisitos modernos de guerra naval sem uma adequada GO.

Assim, no planejamento do seu Ciclo de Vida, a GO foi crucial para que o Nimitz passasse por diversas atualizações e manutenções para prolongar sua operacionalidade, principalmente no tocante ao seu “Programa de Modernização de Meia Idade”, visto que a manutenção de um navio dessa magnitude requer investimentos significativos (GAO, 1997). Atualmente o navio está com o desfazimento previsto para 2026.

A abordagem da Marinha dos EUA para a GO do USS Nimitz foi fundamentada em uma estrutura de planejamento robusta, que integrou diversos programas e planos ao longo do ciclo de vida do navio. Esses instrumentos permitiram a identificação antecipada de necessidades de modernização e a implementação de ações corretivas e preventivas de forma coordenada.

Os porta-aviões nucleares da Marinha dos EUA passam por um Programa de Modernização de Meia Idade (“Midlife Modernization Period”), onde é realizada a complexa e custosa tarefa de reabastecimento do reator nuclear (RCOH, “*Refueling/Complex Overhaul*”), que possui validade de 25 anos. Além do RCOH, existem também períodos menores de manutenções programadas (normalmente seis a oito meses) denominados Disponibilidades Incrementais Planejadas (PIA, “*Planned Incremental Availability*”).

As fases nas quais a Gestão de Obsolescência causa impactos mais relevantes durante o Ciclo de Vida dos porta-aviões da classe “Nimitz” são:

a) Reabastecimento e Revisão Complexa (RCOH)

The midlife refueling/complex overhaul (RCOH) of a nuclear aircraft carrier may be the most challenging engineering and industrial task undertaken anywhere. In addition to refueling the onboard reactor, a variety of maintenance and repair actions must also be undertaken, all while the entire ship is being modernized. (Schank et al., 2002)

Após um planejamento de cinco anos, processo que incluiu a análise de risco de obsolescência dos sistemas e componentes críticos do USS Nimitz, o RCOH durou entre 1998 e 2001, e incluiu:

- Reabastecimento dos reatores nucleares;
- Atualizações significativas nos sistemas de combate, radar e comunicações;
- Modificações estruturais para acomodar novas tecnologias.

Esse processo de RCOH foi o primeiro realizado em um meio da classe “Nimitz”, e a análise de sua execução e planejamento serviu como base para identificar melhorias para as futuras revisões dos outros nove porta-aviões da classe (Schank et al., 2002).

b) Disponibilidades Incrementais Planejadas (PIA, “Planned Incremental Availability”)

As Disponibilidades Incrementais Planejadas constituem um componente essencial na estratégia de manutenção e modernização do USS Nimitz, evidenciando uma abordagem proativa na Gestão da Obsolescência (GO). Essas manutenções programadas, realizadas em intervalos regulares com duração de 6 a 8 meses, permitem a identificação e substituição de componentes antes que se tornem obsoletos ou falhem, garantindo a continuidade operacional do navio.

Durante a última PIA iniciada em janeiro de 2024, o USS Nimitz passou por uma série de atualizações significativas, incluindo melhorias no convés de voo, elevadores de aeronaves, sistemas de combate e áreas de alojamento. Esse processo envolveu mais de 2,8 milhões de homens-hora, com a participação conjunta de civis, contratados e a tripulação do navio, demonstrando um esforço colaborativo para manter o navio em condições ideais para futuras missões (Mc Cutcheon; Mc Haddad, 2024).

A implementação das PIAs reflete uma estratégia de manutenção baseada no Ciclo de Vida, conforme delineado na norma IEC 62402, que enfatiza a importância

de ações planejadas e sistemáticas para mitigar os riscos de obsolescência ao longo da vida útil de sistemas complexos. Além disso, essas manutenções contribuem para a Dependabilidade do navio, assegurando sua confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, elementos cruciais para a eficácia operacional contínua.

Durante o planejamento do RCOH do USS Nimitz, foi elaborado um “Program Management Plan” (PMP) que delineou as diretrizes para o planejamento e execução das atividades de modernização e manutenção do navio, incluindo avaliações de risco para priorizar ações de modernização e/ou substituição de sistemas obsoletos (Schank et al., 2002).

3.2 SUBMARINOS CLASSE LOS ANGELES (SSN-688) – MARINHA DOS EUA

3.2.1 Visão Geral dos Submarinos

A Classe “Los Angeles”, composta originalmente por 62 submarinos nucleares de ataque (Figura 5), começou a ser comissionada em 1976.

Figura 5 - Submarino Classe Los Angeles (SSN-688)



Fonte: SEAFORCES ([s.d.])b

Eles foram desenvolvidos durante a Guerra Fria, com foco em missões de superioridade antissubmarino, inteligência e dissuasão estratégica. Dada a sua longa vida útil (muitos com mais de 30 anos de operação), os submarinos enfrentaram crescentes desafios de obsolescência tecnológica e logística ao longo do tempo.

Apesar da idade, os submarinos da classe “Los Angeles” representam uma parcela significativa da força submarina atual da Marinha dos EUA, e serão substituídos gradualmente por submarinos da classe “Virginia”.

3.2.2 Estratégias da Gestão da Obsolescência

À medida que chegam ao fim de sua vida útil, A Marinha e o Congresso dos EUA há muito expressam preocupação com um déficit iminente de submarinos de ataque da frota, visto que os submarinos “Los Angeles” serão retirados de serviço mais rapidamente do que os novos submarinos da classe “Virginia” podem ser adicionados. (Osborn, 2024). O Pentágono tem como requisito um quantitativo de submarinos de ataque rápido com 66 unidades, uma métrica que a Marinha dos EUA tem lutado para atingir. O planejamento de construção naval de longo prazo mais recente indicou que há 50 submarinos em serviço atualmente e, mesmo nos cenários mais otimistas, esse número não chegará a 66 até o início da década de 2050. Essa estatística torna cada extensão de vida útil concluída pela Marinha particularmente valiosa para o Pentágono como um todo (Katz, 2023).

A Marinha dos EUA adotou, então, uma combinação de estratégias proativas e reativas para lidar com a obsolescência da classe “Los Angeles”, com foco em estender a vida útil das versões mais recentes da classe, mesmo com a canibalização das unidades mais antigas. Algumas estratégias são mostradas a seguir:

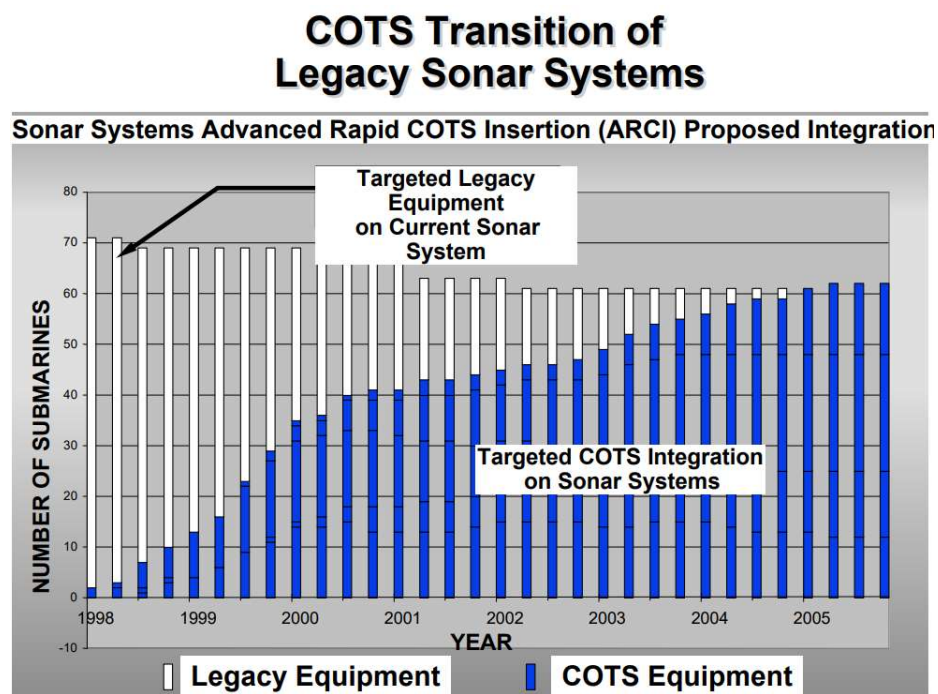
a) Modernização por meio da inserção de tecnologia (TI, “*Technology Insertion*”)

A modernização por meio da inserção de tecnologia envolve a atualização ou modernização de sistemas e processos existentes para incorporar novas tecnologias e práticas, e é uma das estratégias proativas de GO. Desde os anos 1990, a Marinha dos EUA implementou modernizações parciais em vários submarinos da classe, focadas em:

- Substituição de sonares e sistemas de combate obsoletos: face à obsolescência e limitações tecnológicas dos sonares da classe Los Angeles, foi aprovado o programa ARCI (“*Acoustic Rapid COTS Insertion*”) para substituir rapidamente os sistemas de sonar existentes por hardware COTS

(*Commercial Off-the-Shelf*), utilizando arquitetura aberta (Figura 6), e o programa APB (*Advanced Processing Builds*) para implementar um processo para desenvolvimento de software independente de hardware para permitir o desenvolvimento mais rápido e menos dispendioso de novos algoritmos de detecção. Os programas foram financiados em grande parte com verbas já orçadas para a manutenção dos sistemas de sonar legados, resultando num aumento drástico na capacidade de processamento dos sonares da classe Los Angeles. (Schuster, [s.d.])

Figura 6 - Evolução proposta do programa ARCI



Fonte: Young (2000)

- Integração de painéis digitais e estações de controle automatizadas;
- Redução do número de tripulantes, com automação de processos logísticos e de controle.

Esse processo foi possível devido a planos de inserção tecnológica gradual, coordenados com fornecedores industriais e centros de engenharia naval, alinhados a planos de ciclo de vida específicos para cada unidade da classe (SHIPALT, *“Ship Alteration Record”*).

b) Programa *Shipyard P2P*⁹ (“*Performance to Plan*”)

O Programa estabelece reuniões semestrais para que os grupos envolvidos na manutenção dos submarinos tratem as questões relacionadas a peças e sobressalentes. Quando problemas com peças e materiais não podem ser resolvidos, os navios podem recorrer à canibalização. A Marinha, então, rastreia a canibalização por meio de um sistema eletrônico para determinar quais peças são mais canibalizadas (eCANNAB)¹⁰ e, em seguida, tenta resolver o problema com o sistema de suprimentos da Marinha, melhorando as previsões para o número de peças necessárias e localizando fontes de suprimentos (fornecedores). (GAO, 2022)

A escolha entre ações proativas e reativas nos casos da Classe “Los Angeles” foi orientada por análises estruturadas de risco, conforme boas práticas descritas na norma IEC 62402. Essas análises envolviam a avaliação da criticidade dos componentes (com impacto direto na disponibilidade operacional do submarino) e da probabilidade de obsolescência (com base em dados de ciclo de vida, suporte de fornecedor e disponibilidade no mercado). Elementos com alta criticidade e longa cadeia logística, como os sistemas sonar e de propulsão auxiliar, foram priorizados em programas de modernização e substituição gradual. Já itens menos críticos ou com substitutos viáveis eram tratados reativamente, com suporte de ferramentas de rastreamento logístico e bancos de dados de canibalização. Esse modelo de priorização baseado em risco foi fundamental para a extensão de vida útil de unidades selecionadas da classe. (SILICONEXPERT TECHNOLOGIES, 2020)

⁹ Em 2019, a Marinha dos EUA iniciou uma iniciativa para aprimorar a prontidão de navios de superfície, submarinos e aviação, denominada *Performance to Plan* (P2P), designando cargos de comando responsáveis por aprimorar o desempenho da manutenção de navios em estaleiros públicos e privados. A NAVSEA se refere a essa iniciativa como a iniciativa “*Shipyard P2P*”, que inclui esforços relacionados a porta-aviões e submarinos.

¹⁰ eCANNAB: ferramenta web desenvolvida pelo *Naval Surface Warfare Center, Corona Division* (NSWC Corona), com o propósito de gerenciar de forma centralizada a canibalização de materiais em embarcações da Marinha dos EUA. Por meio dessa plataforma, é possível processar, rastrear e relatar canibalizações em toda a frota — uma ação típica de gestão reativa da obsolescência, especialmente em contextos de falta de peças ou interrupções na cadeia de suprimento (VILARREAL, 2021).

3.2.3 Desafios e Exemplos Relevantes

Alguns submarinos da classe sofreram descontinuidades ou restrições operacionais por motivos associados à obsolescência, tais como:

- Limitada disponibilidade de peças para os sistemas de propulsão auxiliares;
- Obsolescência de componentes eletrônicos e sensores sem suporte de mercado, tais como partes do sistema de geração de oxigênio, levando à canibalização de alguns meios;
- Dificuldades no treinamento e na reposição de operadores experientes para sistemas legados.

Apesar desses desafios, vários submarinos da Classe Los Angeles conseguiram manter sua operacionalidade até a desativação formal. O USS Dallas (SSN-700), inicialmente programado para ser desativado em 2014, teve sua desativação postergada até 2017 por decisão logística da Marinha dos EUA (TACTICAL LIFE STAFF, 2014). Já o USS Bremerton (SSN-698), comissionado em 1981, operou até 2018, tornando-se o submarino nuclear mais antigo da frota americana no momento de sua retirada de serviço (Griffin, 2018).

3.3 SUBMARINO ARA SAN JUAN – MARINHA DA ARGENTINA

3.3.1 Introdução

O submarino ARA San Juan (S-42), da classe TR-1700, construído na Alemanha (Thyssen Nordseewerke) em 1982, foi incorporado à Armada Argentina em 1985.

O ARA San Juan possuía características que incluíam alta velocidade subaquática, grande autonomia (para um submarino diesel) e capacidade de sobrevivência (Figura 7). Os quatro motores diesel MTU, quatro geradores e o motor elétrico da Siemens podiam impulsioná-lo a velocidades de até 25 nós (Galante, 2017a).

Figura 7 - ARA San Juan (S-42)



Fonte: Agência Brasil (2018)

Em novembro de 2017, durante uma missão no Atlântico Sul, a embarcação desapareceu tragicamente com 44 tripulantes a bordo. Antes de seu desaparecimento, o San Juan já enfrentava graves problemas relacionados à obsolescência de seus sistemas e à manutenção inadequada, reflexo de anos de restrições orçamentárias e dificuldades estruturais das Forças Armadas argentinas (Klipphan, 2018a).

3.3.2. Histórico de Modernização e Obsolescência

Entre 2008 e 2013, o ARA San Juan passou por uma "modernização de meia vida" no Complexo Industrial Naval Argentino (CINAR), que incluiu a substituição dos motores diesel MTU, das 960 células de baterias e a revisão completa do casco e dos sistemas elétricos (Galante, 2017b). Apesar dessas atualizações, a embarcação continuava a operar com sistemas e componentes que enfrentavam desafios de obsolescência, agravados por limitações orçamentárias e ausência de investimentos contínuos (Memolo, 2017).

3.3.3. Análise de Riscos e Gestão de Obsolescência

A GO eficaz requer uma análise de riscos que considere a criticidade dos sistemas e a probabilidade de falhas. No caso do ARA San Juan, não há evidências de que uma matriz de criticidade tenha sido formalmente aplicada na definição das manutenções e substituições dos sistemas e equipamentos do S-42.

Relatórios de investigação após o desaparecimento do S-42 indicam que em 14 de novembro de 2017, um dia antes de sua última comunicação com terra, o submarino apresentou falhas no sistema de snorkel, permitindo a entrada de água na

praça de baterias, o que causou um curto-circuito e princípio de incêndio. Tal falha não era inédita e já havia ocorrido em navegação ocorrida entre 1º e 19 de julho daquele ano (Klipphan, 2018b), e pode ter decorrido de falha de manutenção ou, alternativamente, de uma gestão inadequada da obsolescência (como a não substituição preventiva de vedações críticas do sistema de snorkel, como válvulas de rede), ainda que não haja dados conclusivos que confirmem a causa.

Além disso, conforme documentos da auditoria interna da Armada Argentina de dezembro de 2016, tornados públicos durante a investigação judicial pós-acidente (Klipphan, 2018b), o submarino encontrava-se na seguinte situação operativa:

- 95% dos filtros de ar (“canisters”, que absorvem o dióxido de carbono e tornam o ar respirável dentro do submarino) estavam vencidos, alguns desde 2014, e havia cerca de 600 unidades a menos que o necessário a bordo.
- o submarino contava com apenas 24 dispositivos geradores de oxigênio de emergência OR-3000, frente à dotação de 100 unidades recomendada pelo fabricante.
- as duas balizas de comunicação do navio, capazes de subir à superfície, caso ele estivesse submerso, para emitir sinais de localização, eram consideradas “obsoletas”, pois operavam em “frequência de emissão incompatível com o atual sistema de comunicação” da Armada Argentina.

Esses dados configuram um forte indício de falhas sistemáticas na gestão da obsolescência de itens críticos dos sistemas de suporte à vida, com implicações diretas na segurança da tripulação.

A própria modernização de meia-vida do submarino, ocorrida entre 2008 e 2013, foi alvo de um informe da Marinha Argentina, de 26 de dezembro de 2016, que esclarecia que “materiais inadequados ou de baixa qualidade foram usados em sistemas submetidos à ação da água do mar e da pressão hidrostática”, e que “o submarino apresenta limitação da vida útil das baterias” (Galante, 2017c).

Esses incidentes sugerem que os riscos associados à obsolescência dos sistemas e componentes do meio podem não ter sido adequadamente analisados.

Após o desaparecimento, foi realizada uma operação internacional de busca e resgate, com participação de diversos países e o uso de tecnologias avançadas, como veículos subaquáticos não tripulados. A empresa Ocean Infinity localizou os destroços do submarino em novembro de 2018, a 907 metros de profundidade (UOL, 2018).

Os relatórios periciais são inconclusivos sobre a verdadeira causa do acidente, diante da precariedade das informações obtidas e a impossibilidade de realizar perícias àquela profundidade onde foram achados os destroços. Mas tudo indica que houve uma sequência de eventos, iniciados pela entrada de água no sistema de snorkel, que causou um incêndio no compartimento de baterias e, posteriormente, gerou um acúmulo de hidrogênio no ambiente, que culminou com a implosão repentina do casco resistente do S-42. Não há como determinar os motivos pelos quais as contramedidas não foram tomadas adequadamente (Porfilio, 2019).

3.4 FRAGATAS TYPE 23 – MARINHA DO REINO UNIDO

3.4.1 Visão Geral dos Navios

A fragata Type 23, “classe *Duke*”, foi projetada no final da década de 1970 para ser uma fragata leve de guerra antissubmarino (ASW), com o objetivo de substituir as fragatas Leander e Type 21 como o principal meio de defesa contra submarinos soviéticos no Atlântico Norte (Figura 8). O projeto evoluiu após as lições aprendidas na Guerra das Malvinas, incorporando o sistema de mísseis *Sea Wolf* de lançamento vertical e, posteriormente, mísseis anti-superfície Harpoon e um canhão de 4,5 polegadas, tornando-se uma embarcação de uso geral, capaz de enfrentar múltiplas ameaças (Defense Advancement, [s.d.]).

Figura 8 - HMS Lancaster (F229)



Fonte: SEAFORCES ([s.d.])c

O primeiro navio da classe, HMS Norfolk, entrou em serviço em 1989, seguido por mais 15 unidades sendo comissionadas até 2002. As fragatas Type 23 passaram a formar o núcleo da frota de superfície da Royal Navy, desempenhando funções de guerra antissubmarino, operações de escolta, patrulha marítima, missões de paz e segurança global (Padilha, 2019).

3.4.2 Estratégias de Gestão de Obsolescência

A gestão de obsolescência das fragatas Type 23 da Royal Navy é um processo multifacetado, que envolve ações estruturadas e contínuas para garantir a operacionalidade dos navios além de sua expectativa original de vida útil, inicialmente de 18 anos, até a entrada em serviço das novas fragatas Type 26 e Type 31, cujos cronogramas de construção excederam o planejamento inicial. O principal eixo dessas estratégias de GO é o programa LIFEX (*“Life Extension Programme”*), iniciado em 2015, que visa tanto a modernização de sistemas quanto a renovação estrutural dos navios (Padilha, 2020).

3.4.2.1. Planejamento e Execução do LIFEX

O LIFEX é coordenado pela *Surface Ship Support Alliance*, composta pelo Ministério da Defesa britânico, Babcock International e BAE Systems (NAVY LOOKOUT, 2018). O programa e seus apensos, tal como o CSP (*“Capability*

Sustainement Programme”), proporcionará economia de custos ao colocar equipamentos em serviço nas Fragatas Tipo 23 antes da transição para o Type 26, tais como os mísseis *Sea Ceptors* e o radar *Artisan 997*, reduzindo os custos de adaptação de novas tecnologias.

As intervenções realizadas através das diretrizes do programa permitiram que essas embarcações atingissem patamares superiores a 30 anos de serviço ativo, em alguns casos chegando a 35 anos (NAVY LOOKOUT, 2019). O programa LIFEX inclui:

- Inspeção e reparo estrutural: Cada navio passa por um levantamento completo do casco, soldas e superestrutura. Problemas de corrosão e fadiga estrutural são identificados e tratados, frequentemente demandando substituição de seções inteiras do casco e reforço de áreas críticas (Padilha, 2020).
- Atualização de sistemas de combate: Após estudo para análise de alternativas ao *SeaWolf*, face à sua obsolescência técnica, o míssil *SeaWolf* foi substituído pelo *Sea Ceptor*, que oferece maior alcance e capacidade de engajamento simultâneo de múltiplos alvos. O radar *Artisan 997* foi instalado para substituir sistemas obsoletos, melhorando a detecção aérea e de superfície. Sistemas de gerenciamento de combate (DNA2) e sensores, como o sonar 2150, também foram modernizados (SEAFORCES, [s.d.]; ZONA MILITAR, 2025).
- Modernização da propulsão e geração de energia: Um dos maiores desafios era a obsolescência dos geradores a diesel originais, com tecnologia dos anos 1970. O programa *Power Generation Machinery Upgrade* (PGMU) substituiu os quatro geradores por modelos MTU mais eficientes, aumentando a confiabilidade, a potência disponível e a eficiência energética (Padilha, 2020).
- Melhorias em habitabilidade e infraestrutura: Foram implementadas reformas nos alojamentos, sistemas de climatização, instalações

sanitárias e áreas de convívio, visando adequar os navios ao padrão de conforto e segurança exigido atualmente (Padilha, 2019).

- Gestão de dados e integração de sistemas: A atualização dos sistemas de distribuição de dados (como o *Platform Data Management*) permite integrar novas tecnologias digitais, mantendo compatibilidade com interfaces legadas e reduzindo custos de manutenção ao longo da vida útil do navio (NAVAL NEWS, 2021).

Essas intervenções representam ações diretas de mitigação da obsolescência crítica, diante da escassez crescente de peças, suporte técnico e fornecedores originais.

3.4.2.2. Contratos e Logística

A partir de 2024, a Babcock assumiu a responsabilidade integral pela manutenção e renovação das Type 23, centralizando as atividades no Devonport Royal Dockyard. Isso permitiu otimizar recursos, liberar pessoal da Royal Navy para operações de linha de frente e criar equipes técnicas especializadas em manutenção de fragatas. O contrato também previu resposta rápida a defeitos emergentes e a execução de projetos de modernização sob demanda (Thomas, 2024).

3.4.2.3. Desafios e Limitações

Apesar dos avanços, o programa enfrentou desafios significativos:

- Aumento do tempo de doca: O tempo médio de reforma aumentou de 12-36 meses (2011-2017) para 37-49 meses em alguns casos após 2018, devido à complexidade crescente dos reparos e à escassez de mão de obra especializada (NAVY LOOKOUT, 2019).
- Custo elevado: O custo de reforma de um único navio pode superar £100 milhões, tornando a relação custo-benefício um ponto crítico de debate. O custo acumulado de manutenção e modernização ultrapassou £1 bilhão desde 2014, tornando a operação cada vez menos sustentável financeiramente (FORÇAS DE DEFESA, 2025a).

Custo-benefício de atualizações tardias: Investimentos em navios próximos da desativação, como a HMS Iron Duke, mostraram-se de valor questionável, sugerindo que a priorização de recursos deve considerar o tempo remanescente de serviço (Padilha, 2020).

- Limitações técnicas: Em alguns casos, a deterioração estrutural ou a indisponibilidade de peças levou à antecipação da retirada de serviço de certas fragatas (Thomas, 2024).

3.4.3 Exemplos de Ações Proativas e Reativas no âmbito da GO

3.4.3.1. Ações Proativas

- Atualização de sistemas críticos antes da falha: A substituição dos geradores diesel pelo PGMU foi planejada para evitar falhas catastróficas e garantir energia suficiente para os novos sistemas oriundos da modernização (MINISTRY OF DEFENCE, 2015).
- Modernização modular: A integração de sistemas como o *Sea Ceptor* e o *Artisan* 997 foi feita de modo a permitir futuras atualizações com impacto mínimo na estrutura do navio, preparando as fragatas para interoperabilidade com futuras plataformas, como a Type 26 (Thomas, 2024).
- Gestão preditiva de manutenção: O uso de ferramentas digitais e análise de dados para prever falhas em componentes críticos permitiu a programação de reparos antes que problemas se tornassem graves, reduzindo o risco de indisponibilidade operacional (ULTRA, 2021).
- Aprimoramento da habitabilidade: Reformas nos alojamentos e instalações dos navios, antecipando demandas de bem-estar da tripulação, foram implementadas como parte do escopo do LIFEX (Padilha, 2019).

3.4.3.2. Ações Reativas

- Reparos emergenciais durante reformas: Descobertas inesperadas, como corrosão severa em áreas estruturais, exigiram intervenções não planejadas,

com substituição de grandes seções do casco e reforço de soldas (Padilha, 2020).

- Redirecionamento de recursos: Diante de atrasos ou dificuldades técnicas, equipes e materiais foram realocados para garantir a conclusão das reformas prioritárias, como ocorreu na HMS St Albans (F83, décimo sexto e último navio da classe), entregue três meses antes do previsto após replanejamento logístico (Foxwell, 2024).
- Retirada antecipada de navios: Em casos de deterioração além do previsto, algumas fragatas tiveram sua desativação antecipada para evitar custos excessivos e riscos operacionais (Thomas, 2024).
- Adaptação de soluções técnicas: Em situações de indisponibilidade de peças originais, foram utilizados materiais reaproveitados de outros navios ou adaptados de plataformas similares, garantindo a continuidade operacional mesmo diante de obstáculos logísticos (NAVY LOOKOUT, 2019).

O HMS Argyll, primeiro navio a passar pelo LIFEX em 2015, tornou-se modelo para as demais fragatas, após superar desafios como a migração simultânea de múltiplos sistemas legados e a necessidade de reforços estruturais imprevistos. O sucesso da operação permitiu a extensão de sua vida útil por mais cinco anos além do previsto, servindo como referência para o segundo ciclo de reformas das Type 23 (ADS ADVANCE, 2015).

Outro exemplo, o HMS St Albans, passou por mais de 1,2 milhão de horas de trabalho, com cerca de 350 melhorias estruturais, substituição de todos os geradores, reforma completa dos motores principais e atualização dos sistemas de armas e sensores, evidenciando o grau de complexidade e a combinação de ações proativas e reativas necessárias para manter a frota operacional (Foxwell, 2024).

Em síntese, o processo de gestão de obsolescência das Type 23 foi adequado em termos de garantir a continuidade operacional dos meios de escolta da Royal Navy durante o período de transição para as novas fragatas Type 26 e Type 31, mas revelou limitações de eficiência, custo e planejamento estratégico. O caso reforça a

necessidade de políticas proativas de renovação de frota, integração de tecnologia modular e gestão rigorosa de riscos e custos ao longo do ciclo de vida dos meios navais.

3.5 A-10 THUNDERBOLT II – FORÇA AÉREA DOS EUA

3.5.1 Visão geral da aeronave e relevância para a USAF

O A-10 Thunderbolt II, popularmente conhecido como *Warthog* (“javali”), é uma aeronave de apoio aéreo aproximado (CAS, “*Close Air Support*”) desenvolvida pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) nos anos 1970 (Figura 9). Seu projeto foi motivado pelas deficiências identificadas em conflitos anteriores, como a Guerra do Vietnã, nos quais faltava uma plataforma dedicada, robusta e de baixo custo para missões de ataque a alvos blindados no campo de batalha.

Figura 9 - A-10C Thunderbolt II ("Warthog")



Fonte: Jacques; Strouble (2010)

Inicialmente, sua vida útil operacional foi estimada em cerca de 20 anos, com desativação prevista para o início da década de 1990. No entanto, o excelente desempenho operacional em missões críticas, como a Operação “Tempestade no Deserto” (1991) e operações subsequentes no Iraque, Afeganistão e Balcãs, comprovou seu valor insubstituível para o portfólio de capacidades da USAF. Essa relevância estratégica impulsionou decisões sucessivas de extensão de sua vida útil, transformando um vetor concebido para atuar até meados dos anos 1990 em uma

plataforma que deverá permanecer operacional até pelo menos 2028, com possibilidade de expansão para além de 2030 (Jacques; Strouble, 2010).

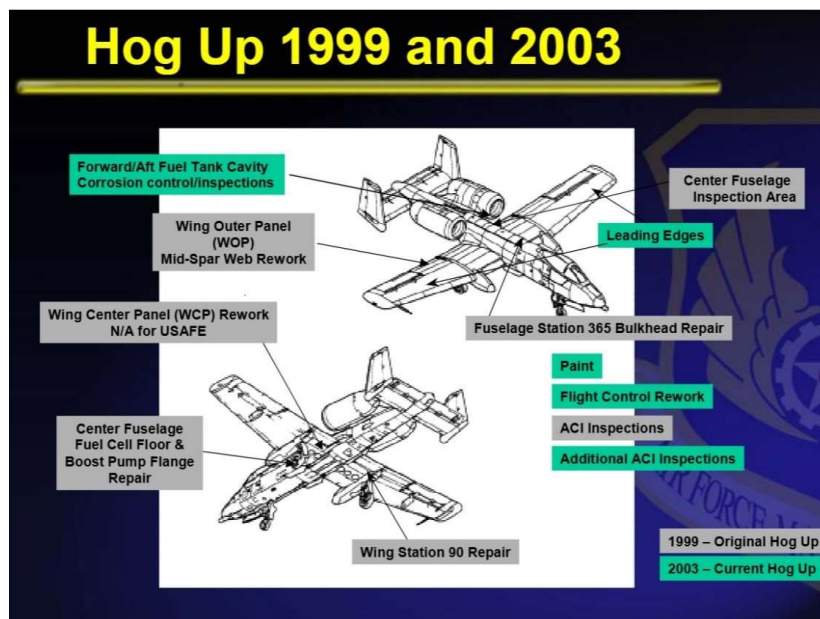
3.5.2 Estratégias de extensão da vida útil e análise de risco

Para tornar viável o prolongamento da vida ativa do A-10, foi necessário implementar um conjunto de estratégias coerentes de Gestão de Obsolescência, amparadas por uma análise de risco sistemática. A experiência com o A-10 demonstra uma evolução das estratégias de GO: inicialmente, a abordagem era predominantemente reativa, dependendo de canibalização e reparos emergenciais. Progressivamente, a USAF implementou estratégias mais proativas, incluindo planejamento antecipado de substituição de componentes críticos, implementação de sistemas digitais para substituir componentes analógicos obsoletos, dentre outros.

Com o prolongamento da vida útil para acima dos 50 anos, há um decréscimo natural da relação custo-efetividade, e já existem atualmente muitas projeções sobre a indisponibilidade futura da frota. Já em 2021, análises do “Project on Government Oversight” (POGO) indicavam que “[...] 63% da frota A-10 poderia estar indisponível para operações em 2023 devido à escassez de peças [...]”, levando a uma controversa substituição futura da frota por modernos F-35 Lightning II (Wolfe, 2021, tradução nossa).

No contexto evolutivo da GO do A-10, a USAF desenvolveu programas como o HOG UP, iniciado em 1999, cujo foco inicial foi a resolução dos problemas de fadiga estrutural para permitir a extensão da vida útil da aeronave até 2028. Posteriormente, o HOG UP expandiu o escopo e avaliações de vários subsistemas críticos foram realizadas para embasar decisões técnicas subsequentes. A Figura 10 mostra a expansão do Programa HOG UP entre 1999 e 2003, e todos os novos sistemas envolvidos.

Figura 10 - Expansão do Programa HOG UP entre 1999 e 2003



Fonte: JACQUES; STROUBLE, 2010

Com a evolução do programa HOG UP, os testes mostraram que o problema de fadiga estrutural das asas era muito maior que o previsto anteriormente. Estudos de viabilidade econômica e análise de riscos orçamentários (LCC) foram conduzidos para definir a melhor linha de ação para solucionar o problema estrutural, e se tal escolha era justificável frente a alternativa de desfazimento e substituição por novas aeronaves. Dos três orçamentos derivados da análise do LCC estimado, venceu a proposta que previu a substituição de 242 asas para recompor as falhas estruturais, no montante de 1,72 bilhão de dólares. Ressalta-se que a avaliação estrutural original havia detectado problemas nas asas de apenas 35 aeronaves. (Jacques; Strouble, 2010)

A norma IEC 62402:2007 recomenda que a gestão da obsolescência seja implementada ao longo do ciclo de vida do equipamento e que fatores como contratos, suprimentos e capacidades técnicas sejam considerados. A aplicação desta norma em uma estratégia de extensão de vida útil implica, por inferência, o estabelecimento de revisões periódicas desses elementos.

Atualmente, é muito difícil obter peças de reposição para o A-10. A maioria dos fornecedores subcontratados faliram e descartaram os desenhos técnicos de projeto de suas peças. Dessa forma, a Força Aérea frequentemente precisa redesenhar,

reequipar e remanufaturar as próprias peças do A-10 quando os sistemas originais falham (GLOBAL SECURITY, [s.d.]).

3.5.3 Ações realizadas: estratégias proativas e reativas

a) Ações proativas:

Com base na análise de risco e no planejamento estruturado, foram implementadas diversas ações proativas, alinhadas às boas práticas do planejamento da obsolescência da IEC 62402:

- Monitoramento do ciclo de vida estrutural: O programa HOG UP, iniciado em 1999, foi desenvolvido para mapear o desgaste progressivo dos conjuntos das asas centrais e externas do A-10. Incluiu inspeções detalhadas, ensaios de fadiga acelerada e modelagem computacional, permitindo prever pontos críticos de falhas estruturais. Essa prática possibilitou a programação de manutenções preventivas e reduziu a probabilidade de falhas inesperadas (Jacques; Strouble, 2010).
- Utilização de ferramentas específicas para tratar a obsolescência: a equipe de suporte do A-10 utiliza o programa AVCOM (*“Advanced Component Obsolescence Management”*), da BAE Systems, que é uma ferramenta preditiva de manutenção dentro do programa DMSMS. O objetivo é melhorar previsões de obsolescência, planejar redesigns e gerenciar problemas de documentação técnica (Keller, 2016). É considerada uma solução *web-enabled* robusta, com banco de dados com mais de 100 milhões de componentes e funcionalidades personalizáveis para diferentes necessidades e escalas de programas de obsolescência.
- Aquisição antecipada de peças críticas (LTB): a USAF realizou compras estratégicas de peças cuja produção seria descontinuada, assegurando estoques suficientes para toda a vida útil estendida da frota. Essa abordagem mitigou riscos de desabastecimento, sobretudo para itens específicos de baixa rotatividade.

- Modernização tecnológica (versão A-10C): Outro vetor proativo relevante foi o programa de atualização para a configuração A-10C, realizado entre 2005 e 2011. Essa modernização incorporou aviônicos digitais, displays digitais multifuncionais no lugar dos analógicos (“glass cockpit”), integração de *datalink* seguro e GPS avançado. Essa medida garantiu compatibilidade com armamentos guiados e manteve a relevância tática da plataforma frente às exigências operacionais contemporâneas (Jacques; Strouble, 2010).

b) Ações reativas:

- Canibalização de células inativas, detalhando procedimentos para retirada, verificação e reaproveitamento de componentes em boas condições para evitar indisponibilidade imediata.
- Redesenho emergencial de peças COTS descontinuadas, envolvendo engenharia reversa, testes de compatibilidade e certificação para garantir continuidade operacional.
- Reprojeto de itens com atraso: a frota dos A-10 enfrentou problemas significativos com o “*Attitude Direction Indicator*” (ADI), com inúmeras falhas reportadas. As investigações demoraram para identificar que o ADI necessitava ser substituído, e quando os pilotos começaram a reportar as falhas em número suficiente para sinalizar um problema, o tempo de aquisição e instalação de um substituto adequado demandou mais tempo do que a USAF inicialmente planejava, culminando em um acidente fatal no ano de 2000, com a perda do piloto e aeronave, onde o mau funcionamento do ADI foi considerado o principal suspeito (GLOBAL SECURITY, [s.d.]).

O balanço entre estratégias proativas e reativas evidencia o ciclo PDCA¹¹ adaptado para GO, conforme a IEC 62402.

¹¹ Ciclo PDCA no GO: acordo IEC-62402, é uma ferramenta de gestão utilizada para a melhoria contínua de processos, baseada em quatro etapas: “PLAN for obsolescence / DESIGN for obsolescence / CHECK for obsolescence / ACT as planned”. É um método iterativo, onde cada ciclo visa aprimorar o anterior, buscando resultados cada vez melhores.

3.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

A análise dos casos internacionais evidencia que a eficácia da GO está diretamente vinculada à aplicação de metodologias estruturadas de avaliação de risco, conforme preconizado pela IEC 62402. No USS Nimitz, a adoção sistemática de matrizes de risco durante o RCOH e as PIAs possibilitou decisões proativas, alinhando substituições críticas ao CV planejado do porta-aviões. Os submarinos Classe Los Angeles, por sua vez, combinaram ferramentas como o eCANNAB e programas de inserção tecnológica, permitindo um equilíbrio entre estratégias reativas e proativas, sempre guiados pela criticidade e disponibilidade logística dos itens.

O contraste é notório com o ARA San Juan, cuja ausência de uma metodologia de risco formal, agravada por severas restrições orçamentárias e lacunas no planejamento de suporte, resultou em respostas predominantemente reativas e vulnerabilidades críticas nos sistemas de suporte à vida. Já as fragatas Type 23 mostraram uma institucionalização progressiva da gestão de risco com o programa LIFEX, adotando soluções modulares e de modernização antecipada, mas ainda enfrentando limitações de custo e atrasos de execução. O caso do A-10 Thunderbolt II ilustra a aplicação madura de matrizes de risco e da dependabilidade: o programa HOG UP, auxiliado pela integração de ferramentas digitais (como AVCOM), vinculou a análise estrutural a decisões de ciclo de vida, conciliando custos e disponibilidade.

Esses exemplos revelam que a integração entre análise de risco, dependabilidade e ciclo de vida é o fator determinante para distinguir iniciativas pontuais de estratégias sustentáveis de GO. Quando a dependabilidade é utilizada como eixo integrador, a obsolescência deixa de ser apenas um problema logístico e passa a ser um vetor de decisão estratégica.

Esses casos também revelam que o sucesso na gestão da obsolescência está fortemente ligado à existência de políticas estruturadas, integração com o planejamento do ciclo de vida, ferramentas de monitoramento¹² e disponibilidade de

¹² Existem várias outras ferramentas de monitoramento e controle da obsolescência utilizadas em sistemas de Defesa em todo o mundo, como TACTech/TACTRAC (MCHALE, 2000) , ferramentas analíticas da SiliconExpert Technologies (SILICON EXPERT, 2020) , muitas delas focadas em componentes eletrônicos, que possuem ciclos de obsolescência mais curtos, atuando em conjunto com bases de dados governamentais como GIDEP (Government-Industry Data Exchange Program) (GIDEP, [s.d.]), mas que não são o foco principal de análise deste estudo.

recursos. Também demonstram que soluções reativas, isoladas e desvinculadas de uma política institucional clara tendem a acumular riscos operacionais e financeiros, e consequente redução do ciclo de vida dos meios.

4 ANÁLISE DA GESTÃO DE OBSOLESCÊNCIA EM MEIOS DA MB

Neste capítulo apresenta-se a análise da Gestão de Obsolescência (GO) aplicada a três meios navais da Marinha do Brasil: as Fragatas Classe Niterói, o Navio-Tanque Almirante Gastão Motta e as Fragatas Classe Tamandaré. Esses casos ilustram diferentes estágios de maturidade da GO na MB: enquanto as FCN representam um exemplo de prolongamento de vida de uma frota envelhecida sob forte obsolescência, o NT Gastão Motta mostra os limites de um esforço de extensão com recursos restritos, e as FCT configuram um marco de incorporação de práticas modernas de GO desde a fase de concepção e projeto.

Dessa forma, a análise busca compreender como a MB tratou a obsolescência em meios legados e como se prepara para mitigá-la de forma proativa em plataformas de nova geração, fornecendo subsídios para uma visão mais ampla sobre os avanços e lacunas existentes no seu processo de gestão de ciclo de vida.

4.1 FRAGATAS CLASSE NITERÓI

4.1.1 Visão Geral da Classe

A Classe “Niterói”, composta por seis fragatas incorporadas à Armada Brasileira entre 1976 e 1980, representou um marco de avanço tecnológico para a Marinha do Brasil em termos de sistemas de combate e manutenção, como parte do “Programa Decenal de Renovação e Ampliação de Meios Flutuantes da Marinha”, aprovado em 1967.

Uma diretriz fundamental do Programa Decenal era a nacionalização dos meios ou a diminuição do nível de dependência na manutenção e reparos, através da fabricação local de componentes e sobressalentes e, com base nessa diretriz, optou-se por construir as duas últimas Fragatas Classe Niterói (FCN) no Brasil. Dessa forma, as quatro primeiras da classe foram construídas no estaleiro britânico *Vosper Thornycroft*, e as Fragatas “Independência” e “União” foram inteiramente construídas no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, após a transferência de tecnologia.

Figura 11 - Fragata Constituição (F42)



Fonte: Marinha do Brasil, [s.d.]a

O Modelo escolhido foi o Mk10, de cerca de 3.700 toneladas (Figura 11), concebido como uma plataforma multifuncional com alguma ênfase em guerra antissubmarino, inspirado no modelo Mk 21, utilizado na Marinha do Reino Unido (Wiltgen, 2020).

Projetadas para operar em ambientes de ameaça restrita ou múltipla, com ênfase na proteção de forças navais e comboios contra ameaças submarinas, essas fragatas foram concebidas para uma vida útil longa (Santana, 2021).

4.1.2 Desafios de Obsolescência

A Marinha do Brasil possui um Sistema de Manutenção Planejada (SMP) consolidado desde os anos 1970, baseado na manutenção preventiva. A construção das Fragatas Classe Niterói foi um marco para a política de manutenção da MB, estabelecendo parâmetros e aprimoramentos como a formação do próprio SMP e o emprego da manutenção preventiva com base no tempo de funcionamento (Santos, 2017).

Apesar de seu avanço tecnológico inicial, as Fragatas Classe Niterói, ao longo de sua extensa vida útil, atingiram um "nível crítico de obsolescência" (Santana, 2021). Isso se manifestou na necessidade de modernizar sua capacidade de defesa contra mísseis e ataques aéreos, bem como na obsolescência de sistemas e equipamentos originais. O projeto MODFRAG, cujos estudos se iniciaram em 1993 sob a gerência

da EMGEPRON (Empresa Gerencial de Projetos Navais), foi um esforço abrangente para atualizar as capacidades das fragatas.

Apesar das dificuldades e do sucesso parcial na execução de todas as atualizações planejadas, o MODFRAG foi considerado satisfatório, contribuindo para a melhoria do apoio logístico e a extensão da vida útil das fragatas (Canuto Filho, 2023).

De acordo com Santana (2021), a experiência com a Classe “Niterói” serviu como um exemplo e lição aprendida para projetos de longa duração como as Fragatas Classe “Tamandaré”, destacando a inevitabilidade da obsolescência em sistemas navais de longa vida.

4.1.3 Ações de GO

Modernização de Meia-Vida (Ação Reativa/Proativa): Essa modernização, ocorrida dentro do escopo do programa MODFRAG, abrangeu principalmente o período de 1998 a 2005, e embora seja considerada uma ação reativa da GO no que tange ao nível de obsolescência já presente à época, também pode ser considerada proativa, no sentido de que houve um planejamento - mesmo tardio - para a execução de um grande programa de modernização, com o intuito de estender a vida operacional e manter a relevância dos navios da classe.

Em 1998, o Senado Federal autorizou operações de crédito externo para financiar parcialmente o Projeto de Modernização das Fragatas Classe “Niterói”, no âmbito do PRM - Programa de Reaparelhamento da Marinha¹³ (Agência Senado, 1998). Essa modernização visava ampliar a capacidade de atuação contra ameaças aéreas e prolongar a vida útil dos navios da classe (Santana, 2021), cujo nível de obsolescência já impactava na disponibilidade operacional dos meios.

¹³ Programa de Reaparelhamento da Marinha (PRM): Atualmente integrado ao Plano de Articulação e Equipamento de Defesa (PAED), que consolida os projetos estratégicos das Forças Armadas que visam atender às demandas de articulação e de equipamento necessárias para o cumprimento de sua destinação constitucional, conforme preconizado na Estratégia Nacional de Defesa (END) (Brasil, 2020).

A modernização incluiu a instalação de novos sensores de bordo, o sistema de mísseis antiaéreos Aspide SAM, canhões de 40mm Mk3 e a substituição do Sistema de Controle Tático originário da Inglaterra pelo SICONTA MKII, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas da Marinha (Santos, 2017). Contratos foram firmados com diversas empresas internacionais para fornecimento de sistemas de mísseis, engenharia, reabilitação de equipamentos, sistemas de radar, sobressalentes eletrônicos para radares, dentre outros (Agência Senado, 1998). Também relevante no combate à obsolescência foi a substituição do antigo e analógico SCMPA (Sistema de Controle e Monitoração da Propulsão e das Máquinas Auxiliares) para um novo sistema digital.

Projeto “*Phoenix*”: Após novo processo de obsolescência com o passar dos anos, em 2013 a empresa CONSUB Defesa e Tecnologia foi contratada para a elaboração do projeto “*Phoenix*”, com escopo de modernização bem menor que o projeto MODFRAG – pois não houve atualização de sonares, propulsão ou novos armamentos. O contrato previu o upgrade do Sistema de Controle Tático SICONTA MKII Mod1, integração completa dos sensores (radares, sonares), armas (canhões de 4,5” e 40 mm e mísseis Aspide) e sistemas de comando e controle, melhoria da interface tática e capacidade de tomada de decisão em combate, e inclusão de versões do novo sistema no Centro de Treinamento Almirante Marques de Leão e no Laboratório de Manutenção de Software da Marinha (FORÇAS DE DEFESA, 2022). As atualizações do Projeto “*Phoenix*” abrangeram apenas três das seis fragatas da classe, mas atenderam aos objetivos de retomada da capacidade operacional desses meios, até a chegada de seus substitutos da classe “Tamandaré”.

4.1.4 Aspectos vulneráveis na GO das FCN

Apesar dos esforços de modernização, a obsolescência das FCN enfrenta obstáculos que impactam diretamente na eficiência da sua GO:

- Envelhecimento da Frota: As fragatas têm mais de 40 anos de serviço, superando significativamente sua vida operacional projetada (Santos, 2017).

- **Manutenção Reativa e Custos Elevados:** A política de manutenção da classe não evoluiu significativamente nos últimos 40 anos, permanecendo alinhada aos conceitos da "segunda geração" de manutenção (anos 1960). Essa dependência excessiva da manutenção preventiva (70% das rotinas) resulta em alto consumo de mão de obra e sobressalentes, e, consequentemente, em custos elevados (Santos, 2017). Um programa de modernização, embora estenda a vida útil de uma plataforma, pode inadvertidamente introduzir novos vetores de obsolescência se não for acompanhado por uma estratégia abrangente de GO. Os componentes digitais introduzidos nos anos 90, embora avançados para a época, têm ciclos de vida comercial muito mais curtos do que o casco do navio. Isso cria uma "armadilha da modernização", onde as atualizações iniciais apenas adiam, ou até aceleram, problemas futuros de obsolescência para os próprios sistemas atualizados, levando a um ciclo contínuo de intervenções reativas e dispendiosas, em vez de uma prontidão operacional sustentável. A falta de uma política de manutenção e combate à obsolescência mais evoluída exacerbou essa situação.
- **Disponibilidade de Sobressalentes:** A redução na disponibilidade de sobressalentes e o desgaste acelerado de componentes, como radares e sistemas de armas, são desafios críticos para a manutenção da frota (Santos, 2017).
- **Perda de Força de Trabalho Especializada:** segundo Santos (2017), a redução da força de trabalho especializada no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ) - resultante de fatores como aposentadoria, desligamentos sem reposição adequada (devido, inclusive, à limitação de concursos públicos) e limitações orçamentárias - e a consequente degradação da gestão do conhecimento sobre equipamentos e sistemas navais, prejudicou a capacidade de realizar manutenções complexas, tornando os períodos de manutenção mais longos e impossibilitando a realização de Períodos de Manutenção Geral (PMG) de duas fragatas simultaneamente, contribuindo assim para a aceleração da obsolescência dos meios e falta de prontidão operacional.

- Ausência de um Banco de Dados Integrado de Obsolescência: não há nenhum sistema de TI para apoiar a GO. É essencial a utilização de uma ferramenta que mantenha registros de peças, monitore componentes, forneça previsões preditivas de obsolescência e ferramentas para análise de compensação (“*trade-off*”) entre custo e impacto, tal como o sistema OMIS (“*Obsolescence Management Information System*”) utilizado na *US Navy* (NAVSEA, [s.d.]). Tal sistema permitiria uma visibilidade abrangente de peças em diferentes sistemas e plataformas, aprimorando a identificação e mitigação de problemas em todos os níveis de obsolescência, através de avaliações qualitativas.

Nesse contexto, cabe ressaltar que a MB possui uma ferramenta em estágio avançado de detalhamento e aquisição, denominada “Sistema de Gerenciamento da Manutenção” (SIGMAN), cujo objetivo primário é padronizar informações e processos de manutenção, com um foco crescente na manutenção preditiva por meio do uso de sensores e análise de dados (Paes, 2024). O SIGMAN deverá possuir parâmetros que permitam atribuir um grau de obsolescência a um sistema, subsistema, equipamento e/ou componente de um ativo (naval, aeronaval ou de Fuzileiros Navais) e poderá, quando implementado, funcionar como interface de sistemas dedicados à Gestão de obsolescência, como o ITOM (“*Integrated Obsolescence Management*”, Gestão Integrada da Obsolescência) das Fragatas Classe Tamandaré, que será detalhado no item 4.3.3 deste estudo.

- Limitações Orçamentárias: As restrições orçamentárias têm sido um desafio constante para a Marinha do Brasil, prejudicando a evolução de projetos e o fortalecimento da Base Industrial de Defesa (Marinha do Brasil, 2024). O próprio programa MODFRAG teve sucesso parcial devido a recursos limitados, o que resultou em cancelamentos de atualizações planejadas e retrabalhos em processos de seleção de equipamentos e processos licitatórios, segundo Canuto Filho (2023).

Os impactos financeiros da obsolescência para as Fragatas Classe Niterói são substanciais, manifestando-se em altos custos de manutenção,

períodos de inatividade prolongados e a necessidade de investimentos emergenciais. A abordagem reativa não elimina custos, mas os amplifica, resultando em um Custo Total de Propriedade (TCO)¹⁴ mais elevado.

A obsolescência não é um problema técnico isolado, mas um desafio multifacetado profundamente interligado com restrições financeiras e capital humano. Orçamento insuficiente impacta diretamente a capacidade de adquirir peças em fase de obsolescência ou investir em outras soluções de GO (como compra final programada (LTB) ou reprojeto). Uma força de trabalho especializada que esteja em declínio significa que, mesmo que as peças ou sistemas estejam disponíveis, a expertise para instalá-los ou mantê-los pode ser insuficiente, afetando ainda mais a disponibilidade. Isso cria um ciclo vicioso onde os cortes orçamentários levam ao aumento da obsolescência, que por sua vez eleva os custos de manutenção e reduz a prontidão operacional, exigindo, em última instância, ainda mais orçamento para correção ou levando ao descomissionamento prematuro. Isso destaca a necessidade de uma abordagem holística que considere os aspectos financeiros, humanos e tecnológicos.

- Falta de uma Política Formal de GO Proativa Integrada: Embora a MB reconheça a obsolescência como um desafio (Agência Marinha de Notícias, 2025) e mencione a GO como um aspecto essencial na Gestão do Ciclo de Vida (GCV), não há evidências claras de uma política formal e abrangente de GO proativa em todas as fases do ciclo de vida para as FCN, conforme os requisitos da IEC 62402. A abordagem parece ser mais reativa, focada na resolução de problemas à medida em que surgem, em vez da adoção de estratégias proativas.

¹⁴ Custo Total de Propriedade (TCO – *Total Cost of Ownership*): metodologia que calcula a soma de todos os custos incorridos pelo proprietário de um ativo desde a sua aquisição até o fim de sua posse, incluindo operação, manutenção, atualizações e descarte quando aplicável. Diferencia-se do *Life Cycle Cost* (LCC) por este abranger todos os custos do sistema ao longo de todo o seu ciclo de vida — desde a concepção e desenvolvimento até a desativação, incluindo fases anteriores e posteriores ao período de propriedade (IEC, 2017).

4.1.5 Desfazimento

Apesar dos esforços de modernização, a Fragata "Niterói" (F-40), a primeira da classe, foi desativada em 28 de junho de 2019, após quase 43 anos de serviço ativo (Marinha Do Brasil, 2019). O desfazimento das unidades da Classe Niterói continuará, com a Marinha planejando substituí-las gradualmente pelas novas Fragatas Classe "Tamandaré", cuja entrega se inicia em 2025 (Teles, 2024). O desfazimento ocorre geralmente quando o custo-benefício de sua manutenção não é mais justificável (Meireles, 2024).

A análise da GO das Fragatas Classe Niterói da Marinha do Brasil, sob a ótica da norma IEC 62402, revela um cenário complexo, caracterizado por uma frota envelhecida, esforços de modernização passados e desafios persistentes. As fragatas, que foram um marco tecnológico e pilar da força de superfície da MB por décadas, enfrentam hoje limitações significativas em sua disponibilidade operacional e custos crescentes devido à obsolescência de seus sistemas e componentes.

4.2 NAVIO TANQUE ALMIRANTE GASTÃO MOTTA

4.2.1 Visão Geral da Classe

O Navio-Tanque (NT) Almirante Gastão Motta (G-23) foi construído pelo estaleiro Ishikawajima do Brasil (ISHIBRAS) no Rio de Janeiro, sendo lançado ao mar em 1990 e incorporado à Marinha do Brasil em 26 de novembro de 1991 (Galante, 2011). Com 135 metros de comprimento, 19 m de boca e deslocamento de cerca de 10.300 toneladas carregado (Figura 12), o G-23 possui capacidade de carga de aproximadamente 4.400 toneladas de combustível (cerca de 5,6 milhões de litros, somando diesel naval e combustível de aviação) e 200 toneladas de suprimentos diversos, contando com estações para transferência de combustível em ambos os bordos, além de estações para transferência de carga leve e pessoal (Souza, 2024). Essas características fazem do Alte. Gastão Motta o principal meio de reabastecimento logístico da Esquadra brasileira desde a década de 1990, responsável por permitir que fragatas, corvetas e outras embarcações operem longe de portos por períodos prolongados.

Figura 12 – NT Gastão Motta (G23)



Fonte: Souza, 2024

Com o descomissionamento do NT Marajó (G-27) em 2016, o Gastão Motta passou a ser o único navio-tanque de apoio oceânico da Marinha do Brasil, o que elevou ainda mais a criticidade de sua disponibilidade operacional (Caiafa, 2023).

4.2.2 Desafios de Obsolescência

Segundo Caiafa (2023), a concepção original do *Gastão Motta* data dos anos 1980 e apresenta limitações inerentes. O navio possui casco simples (“*single-hull*”), padrão que atendia às normas da época de sua construção, mas que se tornou obsoleto diante das atuais exigências internacionais de segurança ambiental para navios-tanque de petróleo e reabastecedores logísticos – hoje é mandatório o emprego de casco duplo para prevenir vazamentos em caso de avarias. Em função disso, o G-23 opera com restrições ambientais e operacionais severas, não podendo, por exemplo, participar de certas operações internacionais em áreas ecologicamente sensíveis ou em frotas multinacionais, a menos que apoio de navios-tanque de outras marinhas esteja disponível. Essas limitações de projeto, somadas ao avançado tempo de serviço (mais de 30 anos em 2025), contribuíram para desafios significativos de manutenção e de obsolescência de seus sistemas ao longo de sua vida útil.

A Marinha do Brasil normalmente executa Períodos de Manutenção Geral (PMG) em seus navios após determinados anos de operação, visando realizar grandes revisões, reparos acumulados e eventuais modernizações. No caso do NT Almirante Gastão Motta, até meados dos anos 2010, as intervenções parecem ter se limitado à manutenção corretiva e preventiva necessária para mantê-lo em condições operativas, sem upgrades tecnológicos significativos nos seus sistemas principais.

Esse cenário começou a mudar conforme o navio ultrapassou 20 anos de serviço e certas deficiências estruturais e sistêmicas tornaram-se evidentes.

Entre 2012 e 2016, o navio passou por um extenso PMG no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), passando por ampla revisão após um incêndio por pane elétrica ocorrido na Praça de Máquinas, durante a operação VENBRÁS-2012 (MONTEDO, 2012). O PMG também se destinou a sanar desgastes estruturais e revisar sistemas após mais de 20 anos de operação, como estrutura do casco, propulsão e auxiliares. Em julho de 2016, realizou provas de máquinas após quase 4 anos parado (Galante, 2016). Essas ações restauraram a integridade estrutural e a confiabilidade básica da propulsão. O navio pôde, enfim, retornar à Esquadra em 2017.

Em 2019, foi realizada a última manutenção significativa antes do grande PMG mais recente (Souza, 2024), tendo sido instalados novos Motores de Combustão Auxiliar (MCA) – moto-geradores à diesel que alimentam os sistemas de bordo – em substituição aos modelos antigos, obsoletos por descontinuidade de suporte logístico, pois muitos componentes datavam de 1991 (FORÇAS DE DEFESA, 2023), evidenciando mais uma ação reativa de combate à obsolescência.

Além disso, outros sistemas de menor porte receberam manutenção emergencial ao longo da década para contornar dificuldades de suporte – por exemplo, sistemas de comunicação e navegação tiveram componentes substituídos conforme necessário, ainda que sem um programa estruturado de modernização abrangente.

Em 2021, inspeções detalhadas apontaram a necessidade de reparos estruturais extensos no casco e em alguns tanques do G-23, devido ao desgaste acumulado e à corrosão em compartimentos importantes, problemas oriundos da década anterior. Em especial, um relatório da Diretoria de Engenharia Naval (DEN) avaliou a condição estrutural do *Gastão Motta* como “ruim”, representando risco à segurança do navio. Entretanto, o mesmo relatório concluiu que os sistemas de geração elétrica instalados em 2019 e tanques de óleo combustível (os maiores de bordo) estavam em boas condições. (FORÇAS DE DEFESA, 2023). Com base em uma análise de risco, a Marinha tomou a decisão de prosseguir com a revitalização

do meio; assim, essa decisão exemplifica a aplicação dos critérios da IEC 62402: avaliação do custo-benefício de continuar o suporte a um meio antigo (incluindo impactos operacionais e financeiros) versus adquirir um novo navio. Optou-se pela estratégia proativa de extensão de vida de um navio vital, mitigando obsolescências conhecidas (via substituições e upgrades planejados) ao invés da opção drástica de desativação e tentativa de obtenção de novo navio – que seria muito mais onerosa e demorada.

Dessa forma, em 2023-2024, diante do agravamento de problemas estruturais e da necessidade de estender a vida do *Gastão Motta* por mais 10 anos (Souza, 2024), até que novos navios tanque fossem adquiridos, a Marinha do Brasil lançou um amplo projeto de revitalização do G-23, configurado como um PMG dividido em três fases, sob coordenação da EMGEPRON (de Martini, 2024). Esse PMG foi composto por vários serviços, como reparos de componentes vitais da propulsão (linha de eixo, hélice de passo controlado (HPC), engrenagem redutora), além de serviços relacionados com a obsolescência dos componentes e sistemas, tais como:

- Preparação do casco para instalação de novo ecobatímetro (sonar de fundo): Substituição do sistema eletrônico de navegação por motivo de obsolescência tecnológica e funcional, após aprovação de modificação técnica, respeitando critérios da IEC (análise de risco e atualização).
- Substituição do sistema de proteção catódica: tais sistemas usualmente sofrem de obsolescência logística (anodos ou fontes de corrente fora de fabricação).
- Revisão geral dos motores de combustão principal (MCP): os motores de mais de 30 anos serão submetidos a revisão completa e possível retrofit de componentes, pois embora robustos, sofrem com dificuldade de obtenção de peças originais e tecnologia de controle obsoleta em comparação a motores modernos – uma clara questão de obsolescência logística e tecnológica.
- Modernização do Sistema de Reabastecimento no Mar (SRM): substituição de materiais e interfaces para mangotes, bomba e controle, para assegurar

compatibilidade com requisitos modernos de reabastecimento, já que o atual sistema opera com restrições, devido à obsolescência funcional: o sistema ainda existe, porém não atende plenamente às necessidades atuais.

Uma possível terceira fase do PMG, indicada no planejamento, envolveria quaisquer itens remanescentes necessários para completar a revitalização, incluindo testes de mar e eventuais modernizações complementares em eletrônica, comunicações ou habitabilidade. Ao final, o NT *Gastão Motta* deverá retornar ao serviço plenamente revitalizado, apto a cumprir sua função pelos anos adicionais previstos, até a aquisição de novos meios substitutos.

4.2.3 Ações de Gestão de Obsolescência (GO) no G-23

4.2.3.1 Medidas Reativas

Durante grande parte da vida do G-23, a Marinha adotou medidas reativas para lidar com problemas conforme eles surgiam, uma vez que não havia um programa estruturado de modernização contínua. Entre essas ações, destacam-se:

- Reparos emergenciais e ajustes temporários: Sempre que um equipamento falhou devido à idade (por exemplo, uma bomba de combustível ou um radar de navegação), a tripulação e os arsenais navais buscaram soluções temporárias, como consertos pontuais, remanufatura de peças danificadas ou substituições por componentes similares disponíveis no mercado. Tais reparos permitiram manter o navio operando, ainda que sem recuperar totalmente a performance original. Ao longo dos anos, o NT *Gastão Motta* passou por intervenções periódicas de manutenção corretiva e preventiva. Contudo, apenas em 2024 foi realizado um novo PMG formal com escopo abrangente, estruturado em fases e envolvendo ações coordenadas entre a Marinha, a EMGEPRON e estaleiros privados (EMGEPRON, 2024).
- Canibalização e aproveitamento de peças: Embora o NT *Gastão Motta* não tivesse a companhia de outro navio da mesma classe, a Marinha possuía outros navios com equipamentos parcialmente compatíveis. Em

contextos de restrição, componentes como válvulas, instrumentos e até partes mecânicas poderiam ser retirados de navios fora de serviço ou em reserva. A prática de canibalização é comum para suprir sobressalentes escassos – as Forças Armadas brasileiras frequentemente ressentem-se da obsolescência e dependência externa, recorrendo a essas táticas (Carneiro Junior, 2023). No caso do G-23, é possível que o antigo NT Marajó (desativado em 2016) tenha fornecido alguns itens aproveitáveis, ou que sistemas genéricos tenham sido realocados para suprir falhas no NT Gastão Motta. Cada vez que isso ocorreu, trata-se de uma gestão reativa de obsolescência, resolvendo uma falta imediata de peça para colocar o navio de volta à condição de uso.

- Redução de capacidade (“desclassificação” de sistemas): Frente à impossibilidade de consertar ou substituir um equipamento obsoleto, outra medida reativa é desativá-lo permanentemente ou operá-lo com limitações. Alguns sistemas do G-23 foram declarados “com restrições” antes da modernização, tais como o SRM e o sistema de propulsão. Essa redução de capacidade é uma forma de tolerar a obsolescência, aceitando perda de redundância ou de eficiência. Enquanto temporariamente viável, a somatória dessas perdas ao longo dos anos poderia comprometer a segurança ou a missão, o que acabou motivando a intervenção mais abrangente em 2024.
- Atraso na modernização planejada: Uma consequência indireta da gestão reativa foi o acúmulo de necessidades não atendidas. Entre os diagnósticos realizados na década anterior e da assinatura do contrato de PMG em 2023, houve atraso de alguns anos para iniciar efetivamente a modernização, provavelmente movido por questões orçamentárias. Como resultado, o navio operou limitado por problemas estruturais e de desempenho, mitigados por reparos paliativos. Essa situação evidenciou a falta de uma abordagem proativa antecipada, o que quase levou à baixa prematura ou à indisponibilidade prolongada do G-23.

4.2.3.2 Medidas Proativas

Nos anos recentes, diante da criticidade da situação, observaram-se também ações proativas de gestão de obsolescência voltadas ao *Gastão Motta*. Essas medidas buscaram antecipar problemas e preparar soluções de longo prazo, em alinhamento com princípios da norma IEC 62402 e com as melhores práticas DMSMS. Entre as ações proativas, podemos citar:

- **Planejamento do Período de Manutenção Geral (PMG) e Revitalização:** A decisão de investir na revitalização do único navio-tanque ao invés de desativá-lo foi em si uma estratégia de GO de nível estratégico (Maia, 2024). Esse planejamento incluiu estudos de viabilidade, inspeções detalhadas (ex.: relatório da DEN de 2021) e alocação de recursos financeiros, considerando o custo do ciclo de vida (LCC) residual do navio. Trata-se de uma medida proativa pois, mesmo antes de falha catastrófica, decidiu-se realizar, após estudos de risco, uma manutenção estendida e modernização para prevenir a perda total do meio e garantir sua operacionalidade até que novos meios entrem em serviço.
- **Substituição de Equipamentos Obsoletos:** Dentro do PMG 2024, houve identificação e listagem de diversos equipamentos a serem substituídos por novos. A Marinha explicitamente incluiu no escopo do projeto a “substituição de equipamentos obsoletos” do navio (Souza, 2024). Isso abrangeu itens como o sistema de proteção catódica e o ecobatímetro, dentre outros. Ao integrar os novos dispositivos, a MB seguiu recomendações da IEC 62402 de mitigação antecipada: identificou os componentes sem suporte futuro e providenciou substitutos antes que eles causassem falhas críticas. Esse esforço teve apoio da EMGEPRON, que atuou na prospecção de fornecedores nacionais e internacionais capazes de fornecer os novos sistemas ou peças necessárias (EMGEPRON, 2024).
- **Atualizações Tecnológicas e *Retrofit*:** A modernização do sistema de reabastecimento no mar, prevista para a segunda fase do PMG, é um exemplo de *retrofit* tecnológico planejado (Padilha, 2024). Ao invés de apenas manter o sistema antigo funcionando, a Marinha optou por reprojetá-

lo parcialmente, incorporando tecnologias atuais (bombas, mangueiras, controles) alinhadas a padrões internacionais. Isso não só resolve a obsolescência, mas eleva a capacidade do navio aos patamares contemporâneos, algo recomendado em gestão proativa de obsolescência – aproveitar a necessidade de substituição para melhorar performance e confiabilidade (Carneiro Junior, 2023). De modo similar, qualquer melhoria implementada nos sistemas de navegação (como novos sensores ou sistemas digitais integrados) contribuirá para prolongar a relevância operacional do G-23 na próxima década, evitando que ele se torne incapaz de interagir com as novas embarcações e sistemas de comando e controle.

- **Treinamento e Transferência de Conhecimento:** Uma dimensão às vezes esquecida da GO é preparar pessoal e processos para lidar com equipamentos fora de linha. Segundo Carneiro Junior (2023), a MB carece ainda de normatização interna sobre obsolescência, mas busca mitigar lacunas via capacitação e projetos de modernização local. No PMG de 2024 do G-23, o envolvimento de engenheiros da EMGEPRON e do AMRJ na fiscalização e execução permitiu acumular conhecimento técnico sobre os novos sistemas instalados (EMGEPRON, 2024), satisfazendo um dos itens do planejamento da GO da IEC 62402, que é a “manutenção dos conjuntos básicos de conhecimentos e habilidades relevantes”. Isso é importante para que, futuramente, a própria Marinha consiga apoiar logisticamente o navio sem depender integralmente de terceiros, tornando a gestão de obsolescência mais autônoma.

Em suma, as ações de GO no NT Almirante Gastão Motta evoluíram de um patamar reativo – em que se remediavam avarias e se preenchiam lacunas conforme surgiam, na tentativa de prolongar a vida do navio – para um patamar mais proativo somente a partir desta década, com um plano abrangente de extensão da vida útil. Esse plano, dividido em fases, combinou substituição de sistemas obsoletos, reforço estrutural e atualização de capacidade, buscando alinhar o navio a requisitos mínimos contemporâneos. Tais medidas seguem princípios da IEC 62402 ao planejar o ciclo de vida residual do navio, e refletem práticas DMSMS ao identificar fontes

decrecentes e abordar os riscos antes que resultem em falha total (Carneiro Junior, 2023).

4.2.3.3 Impactos Financeiros e na Disponibilidade Operacional

A implementação de ações de gestão de obsolescência no NT Gastão Motta tem impactos significativos tanto em termos de custos quanto de disponibilidade operacional – aspectos cruciais em qualquer programa de manutenção de meios navais.

Impactos Financeiros: O esforço de revitalização do G-23 envolveu investimentos elevados, especialmente desafiadores num contexto de restrição orçamentária da Marinha (de Martini, 2024). Os números envolvidos devem ser comparados ao custo de alternativas: a aquisição de um novo navio-tanque moderno poderia facilmente ultrapassar US\$ 50–100 milhões (Caiafa, 2023), valor muito superior aos custos do PMG de 2024/2025, além de todos os novos desafios logísticos inerentes à aquisição. Assim, do ponto de vista financeiro, a gestão de obsolescência via extensão de vida mostrou-se a única via viável no curto prazo para a Marinha – um compromisso de investir algumas dezenas de milhões de reais para preservar uma capacidade estratégica, evitando um hiato operacional até a chegada de navios novos.

Em termos de custo-benefício, o planejamento da GO do G-23 busca um equilíbrio: por aproximadamente 1/4 ou 1/3 do preço de um navio novo, garante-se mais 10 anos de serviço do meio atual. Economicamente, essa extensão pode ser vista como eficiente, desde que os reparos tenham sucesso e evitem manutenções corretivas de grande monta nesses 10 anos. Contudo, há riscos: qualquer extensão de vida pode implicar custos adicionais inesperados se novos problemas surgirem. O monitoramento pós-PMG é essencial para evitar que investimentos adicionais escalem além do previsto – um desafio comum em programas de SLEP (*“Service Life Extension Program”*)¹⁵.

¹⁵ SLEP (*“Service Life Extension Program”*): é o tipo de programa que envolve a determinação de riscos e os custos do ciclo de vida (LCC) decorrentes da continuação do uso do produto ou serviço, em comparação ao custo de um sistema substituto. O uso de uma abordagem proativa que preveja cenários futuros permite que o SLEP possa ser concluído antes que o sistema não atenda aos seus requisitos operacionais, e antes que os custos de operação e suporte subam acima dos limites aceitáveis (DAU ACQUIPEDIA, [s.d.])b).

Impactos na Disponibilidade Operacional: Após o desfazimento do NT Marajó em 2016, qualquer intervalo para a realização de períodos de manutenção deixou a Marinha sem nenhum navio-tanque oceânico em operação. Em missões reais, isso é um fator limitante: por exemplo, em exercícios combinados ou deslocamentos de longa duração, precisa-se contar com reabastecimentos em portos ou apoio de aliados, reduzindo a autonomia da Esquadra.

Espera-se que até meados de 2025 essa disponibilidade seja recuperada, estendendo-se então por mais uma década de uso.

No longo prazo, os impactos na disponibilidade serão positivos caso o programa de revitalização atinja seus objetivos: com sistemas atualizados e estrutura reforçada, o *Gastão Motta* deverá apresentar maior confiabilidade e menos tempo de docagens corretivas nos próximos anos. A substituição de equipamentos obsoletos, aliada a um provável reforço no estoque de sobressalentes, deve reduzir a quantidade de panes e indisponibilidades imprevistas. Assim, a gestão de obsolescência bem executada resulta em melhoria do índice de disponibilidade técnica do meio. Por outro lado, caso alguma falha de obsolescência não tenha sido abordada (por exemplo, se um sistema crítico não foi modernizado por restrições orçamentárias), esse poderá se tornar o “calcanhar de Aquiles” que volte a imobilizar o navio no futuro. Um indicador a ser observado será a taxa de dias em manutenção corretiva versus dias disponíveis por ano do G-23 após 2025 – espera-se que seja melhor do que a do período 2012-2023, quando o navio passou por frequentes reparos e manutenções.

No horizonte, enquanto o NT *Almirante Gastão Motta* cumpre seus anos finais de serviço ao término da revitalização, espera-se que o conhecimento adquirido em sua GO oriente tanto a aquisição de novos navios-tanque (especificando requisitos que facilitem futuras modernizações) quanto o cuidado com outras embarcações veteranas da Esquadra. Afinal, fragatas e submarinos contemporâneos ao G-23 enfrentam desafios de obsolescência similares, e as soluções proativas recentes aplicadas no NT *Gastão Motta* – como planejamento antecipado para a substituição de equipamentos obsoletos, parcerias com a indústria e reforço da capacidade nacional de reparo – poderão servir de referência. Em última instância, garantir a disponibilidade e eficiência de meios navais legados por meio da GO é parte integrante da manutenção da prontidão da Força Naval e da soberania no mar com os recursos

disponíveis (Caiafa, 2023). O *Gastão Motta* reflete essa realidade: um navio veterano, revitalizado pelo engenho e esforço nacionais, prolongando sua vigência para que “a Esquadra possa ir mais longe” – como diz seu lema – até que a próxima geração de navios-tanque assuma esse importante encargo.

4.3 FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ - MARINHA DO BRASIL

4.3.1 Visão Geral da Classe

Com o objetivo de promover a renovação da Esquadra, a Marinha do Brasil vem conduzindo o Programa Fragatas Classe "Tamandaré" (FCT) desde 2017, composto da construção de quatro navios modernos, de alta complexidade tecnológica (Figura 13), construídos no País pela Sociedade de Propósito Específico (SPE) “Águas Azuis”, composta pelas empresas ThyssenKrupp Marine Systems, Atech e Embraer Defesa e Segurança, com previsão de entrega para o período entre 2025-2029. O projeto e construção são gerenciados pela Empresa Gerencial de Projetos Navais (EMGEPRON).

Figura 13 – Cerimônia de lançamento da fragata F200 Tamandaré.



Fonte: Ministério da Defesa, 2024

As quatro fragatas inicialmente previstas serão escoltas versáteis e de significativo poder combatente, capazes de se contraporem a múltiplas ameaças e destinadas à proteção do tráfego marítimo, podendo realizar missões de defesa, aproximada ou afastada, do litoral brasileiro. Poderão ser empregadas na proteção às unidades componentes do Corpo Principal de Forças Navais, bem como em áreas

afastadas, compondo Grupos de Ação de Superfície ou como Unidades de Busca e Ataque a submarinos (Marinha do Brasil, [s.d.]b).

4.3.2 Planejamento da Obsolescência

A gestão de obsolescência (GO) foi considerada um elemento essencial desde as fases iniciais do projeto das Fragatas Classe *Tamandaré*. Na indústria de defesa moderna, reconhece-se que a obsolescência de componentes e sistemas é um fenômeno inevitável, que pode ocorrer em qualquer fase do ciclo de vida do produto, não apenas durante a operação. Por isso, a IEC (2007) recomenda que a GO seja incorporada desde a concepção do projeto, de forma sistemática e proativa. De acordo com a norma, a obsolescência deve ser tratada como um fator estratégico de longo prazo, envolvendo planejamento já na fase de *design* e contratação do sistema. Na prática, isso significa que já nos documentos de requisito e no contrato de construção das FCT, houve preocupações explícitas com obsolescência, alinhadas à norma.

A Marinha, ao conceber o Programa Fragatas Classe *Tamandaré* (PFCT) em 2017, buscou projetar navios tecnologicamente modernos e atualizáveis, justamente para mitigar problemas futuros de obsolescência (Marinha do Brasil, [s.d.]b). Nesse sentido, a gestão da obsolescência foi estimulada já nos processos iniciais de desenvolvimento do projeto, seguindo a orientação de que um planejamento cuidadoso e precoce minimiza riscos e custos posteriores (Santana, 2021). Em outras palavras, desde a fase de definição dos sistemas das FCT, considerou-se a necessidade de suporte e atualização contínua dos equipamentos ao longo de décadas de serviço.

Uma evidência concreta dessa preocupação inicial é a inclusão de cláusulas contratuais e planos específicos de gerenciamento de obsolescência nos acordos firmados com os fornecedores. No projeto das FCT, foram inseridas nos contratos exigências para que os fabricantes notifiquem prontamente a Marinha sobre eventuais descontinuações de componentes, atualizações de tecnologia ou necessidade de substituições no futuro. Essas cláusulas asseguram que a MB seja informada através de *End of Life* (EOL) de peças e sistemas, podendo assim planejar aquisições de lote final (*LTB*), estoques estratégicos ou substituições por modelos novos antes que a obsolescência cause impacto na operacionalidade. Além disso, o contrato do

consórcio Águas Azuis – responsável pelo projeto e construção das FCT – provê um Plano de Gerenciamento de Obsolescência (PGO) abrangendo todo o ciclo de vida esperado das fragatas. Esse plano atende às orientações da IEC 62402 no sentido de estabelecer responsabilidades claras tanto para a equipe de projeto da Marinha quanto para os contratados, definindo processos de monitoramento contínuo da obsolescência e ações de mitigação ao longo do tempo. O PGO abordará cada um dos seguintes pontos-chave de obsolescência, para definir e coordenar as estratégias proativas ou reativas a serem implementadas:

- Capacidade contínua de suporte ao equipamento;
- Estratégias para identificar e mitigar os efeitos da obsolescência durante todo o ciclo de vida das FCT;
- Avaliação e documentação do risco inicial e subsequente de obsolescência. Os fatores-chave a serem avaliados são:
 - Probabilidade de ocorrência da obsolescência (baseada em número de fabricantes, anos até o fim da vida útil e o índice de disponibilidade de estoque (SA) x taxa de consumo (CR)¹⁶);
 - Criticidade do impacto operacional: impacto da obsolescência na funcionalidade e no desempenho do sistema, representando uma potencial perda de capacidade e/ou disponibilidade;

Após classificação do risco, deverão ser definidas as estratégias proativas e reativas através dos respectivos relatórios: Relatório de GO Proativo: emitido a cada 12 meses, contendo informações sobre as ameaças de obsolescência identificadas, opções de mitigação e informações sobre a disponibilidade real ou estimada do equipamento, de acordo com o fornecedor; e Relatório de GO Reativo: emitido sob demanda, contendo informações sobre os casos de obsolescência identificados, o impacto nos sistemas do navio e informações sobre produtos substitutos ou alternativos identificados, se disponíveis.

¹⁶ SA: “Stock availability” (disponibilidade de estoque); CR: “Consumption rate” (taxa de consumo): previsão dos itens de suprimento que serão necessários até a data estimada de obsolescência.

- Minimização do custo de propriedade (TCO);
- Flexibilidade para futuras inserções, melhorias ou atualizações tecnológicas;
- Planejamento financeiro; e
- Identificação, monitoramento e reporte de questões de obsolescência.

Em resumo, a GO foi contemplada desde a concepção do projeto das FCT através de planejamento formal, inserção de requisitos contratuais específicos e adoção das “boas práticas” normativas internacionais sobre o tema. Um ponto importante a ser analisado é que o monitoramento e o *feedback* do PGO só serão realizados até a assinatura do TERD (Termo de Recebimento Definitivo) da última FCT, prevista para ser entregue em 2029. Na data deste evento, a MB deverá ter decidido sobre a continuidade ou substituição do PGO até então vigente.

Todos os principais Sistemas de Defesa (SD) das FCT – sensores, armamentos, sistemas de combate e plataforma – passaram por escrutínio quanto à sua vida útil prevista e disponibilidade futura no mercado. Aqueles sistemas baseados em eletrônica de ponta, reconhecidamente sujeitos a ciclos tecnológicos rápidos, receberam classificação de risco mais elevada, demandando estratégias proativas. Por exemplo, componentes de computação do *Combat Management System* (CMS) ou equipamentos de comunicação via satélite, que podem se tornar obsoletos em poucos anos, foram tratados já no projeto com planos de atualização incremental de *software* e possibilidade de troca de módulos de hardware, sem necessidade de reprojeto de todo o navio.

Vale destacar que a IEC (2007) também menciona uma abordagem “estratégica” de gerenciamento da obsolescência, aplicável principalmente a sistemas de defesa de longa vida. Essa abordagem estratégica envolve o uso de informações de tendências de mercado e tecnologia, dados de fornecedores e planejamento de longo prazo para atualizações programadas do sistema. Em outras palavras, além de ações reativas ou pontualmente proativas, recomenda-se que os gestores do projeto elaborem um plano de evolução tecnológica do meio, prevendo em quais marcos do ciclo de vida serão necessários aperfeiçoamentos ou substituições maiores de

equipamentos. No caso das FCT, essa estratégia de longo prazo se traduz, por exemplo, em já considerar uma futura modernização de meia-vida (*Mid-Life Upgrade*) por volta de 15 a 20 anos após o comissionamento, momento em que diversos sistemas estarão obsoletos (Santana, 2021)

4.3.3 Impactos da GO no Desenvolvimento e Projeto das FCT (até 2025)

Até o momento do comissionamento da primeira Fragata *Tamandaré* em 2025, a preocupação com obsolescência já influenciou de forma notável diversas decisões de desenvolvimento e projeto. O *design* e a gestão do programa incorporaram medidas concretas para lidar com a rápida evolução tecnológica e garantir a longevidade desses navios que terão vida útil prevista de 30 anos ou mais. Conforme citado anteriormente, mesmo os sistemas de última geração escolhidos no projeto irão gradualmente se desatualizar – estima-se que alguns equipamentos eletrônicos embarcados em 2025 estarão obsoletos na metade da vida útil das fragatas, exigindo atualizações significativas (Santana, 2021). Ciente disso, a MB desde já incorpora lições aprendidas de navios antecessores (como as fragatas Classe *Niterói*, que passaram por modernizações custosas devido à obsolescência) e adota uma postura preventiva e proativa. A seguir, destacam-se as principais formas pelas quais a GO influenciou o projeto e desenvolvimento das FCT até o presente:

- Utilização de uma ferramenta específica para o controle da obsolescência: a MB adotou, juntamente com a SPE, já na fase de concepção do CV das FCT, uma ferramenta específica para gerir a obsolescência dos meios em construção, denominada ITOM (*“Integrated Obsolescence Management”, Gestão Integrada da Obsolescência*). A ITOM é uma ferramenta interna responsável por integrar as informações necessárias para monitorar e apoiar decisões rápidas quando um item é declarado obsoleto. A informação recebida e gerada ao longo do processo de Gestão de Obsolescência é registrada e gerida continuamente por meio da ferramenta. A ITOM possui as seguintes funções principais:
 - Monitoramento de componentes usando variáveis de impacto e previsão (*impact* e *forecast*), permitindo priorizar os itens que se tornarão obsoletos e avaliar seu impacto na operação do cliente.

- Apoio à decisão: gerencia informações para decisões como última compra (*last purchase*), viabilidade de reparo, análises de impacto e alternativas de solução.
- Base de dados centralizada: registra todos os itens identificados como obsoletos, incluindo:
 - Dados utilizados na análise;
 - A solução adotada para cada caso (ex.: substituição, modernização, descontinuidade);
 - Histórico para consulta futura.

Assim, o ITOM atua tanto como sistema de acompanhamento preventivo (identificando ameaças antes que comprometam a disponibilidade) quanto como repositório histórico para embasar a gestão da obsolescência ao longo do processo decisório.

- Arquitetura modular e aberta (conceito MEKO): As Fragatas *Tamandaré* foram baseadas no projeto alemão MEKO A-100, que utiliza uma arquitetura modular de sistemas e armamentos. Essa decisão de projeto facilita futuras trocas e upgrades de equipamentos, pois módulos inteiros podem ser substituídos ou atualizados sem modificações estruturais profundas no navio. O design modular MEKO permite atualizações tecnológicas com relativa facilidade, reduzindo custos de manutenção e modernização ao longo do ciclo de vida de 25–30 anos (VIDA MILITAR, 2025). Por exemplo, caso surja um novo radar ou míssil mais avançado durante a vida das FCT, a interface padronizada dos módulos MEKO viabilizará a integração do novo componente, mitigando a obsolescência do sistema original. Essa flexibilidade arquitetural foi um requisito de projeto influenciado diretamente pela necessidade de gerenciar obsolescência de forma proativa.
- Transferência de tecnologia e nacionalização de sistemas: O programa *Tamandaré* enfatizou acordos de ToT (“*Transfer of Technology*”, transferência de tecnologia) com os desenvolvedores estrangeiros,

especialmente nos sistemas de combate e de gerenciamento da plataforma. Empresas brasileiras (Embraer Defesa, Atech) participam do desenvolvimento do *Combat Management System* (CMS) e do *Integrated Platform Management System* (IPMS) das fragatas, em parceria com as empresas originais (Atlas Elektronik e L3Harris) (FORÇAS DE DEFESA, 2025b). Essa cooperação garante que o *know-how* sobre os *softwares* e *hardwares* críticos resida no Brasil, permitindo à MB e à indústria local realizar manutenções evolutivas e atualizações futuras sem depender totalmente de fornecedores externos. Segundo Fernando Queiroz, CEO da SPE Águas Azuis, essa nacionalização dará independência ao Brasil para gerar atualizações de *software* dos sistemas de combate e plataforma ao longo da vida das fragatas (Marinha do Brasil, [s.d.]). Em suma, a capacitação doméstica obtida com a transferência de tecnologia é uma salvaguarda contra a obsolescência: caso um fornecedor no exterior deixe de suportar determinado sistema, a MB terá condições de adaptar ou substituir o sistema internamente, prolongando sua vida útil.

- Envolvimento da Base Industrial de Defesa na sustentação: Em complemento ao item anterior, o desenvolvimento dos principais sistemas das FCT envolveu diretamente a indústria nacional, que agora detém parcela da propriedade intelectual e capacidades de atualização. A Atech, por exemplo, tornou-se co-desenvolvedora do CMS e IPMS, o que representa um marco tecnológico para o Brasil e efetivamente prepara o país para suportar e evoluir esses sistemas (FORÇAS DE DEFESA, 2025b). Assim, já durante a fase final de construção do primeiro navio, equipes brasileiras estão adquirindo experiência prática na integração e teste dos sistemas – conhecimento que será fundamental para identificar precocemente sinais de obsolescência nos componentes e buscar soluções locais. A influência disso no projeto é a criação de uma cadeia de suporte local: laboratórios e oficinas no Brasil capazes de reparar ou modernizar equipamentos obsoletos das FCT, algo não existente em programas anteriores onde tudo vinha do exterior. Essa estrutura de apoio local, fomentada pelo programa Tamandaré, certamente aprimora a capacidade de reação da MB frente à obsolescência ao longo das próximas décadas.

- Planejamento de atualizações e ciclo de vida futuro: A gestão de obsolescência nas FCT também se refletiu em um planejamento de longo prazo para a classe. Já na fase de projeto, a MB delineou uma perspectiva de modernização de meia-vida para as fragatas, estimando quais sistemas provavelmente precisarão de substituição ou upgrade entre 2035 e 2040 (metade da vida útil). Itens como sistemas de comando e controle, guerra eletrônica e mesmo motores poderão até lá ter versões mais modernas disponíveis, e o planejamento atual prevê alocar recursos futuros para implementar essas melhorias. Dessa forma, a abordagem modular do projeto MEKO A-100 facilita as atualizações dessas melhorias ao longo do ciclo de vida. Adicionalmente, o consórcio construtor das FCT deve fornecer documentação técnica completa e treinamento à MB, facilitando que no futuro terceiros ou a própria Marinha realizem integrações de novos sistemas. Em síntese, pensar nas “fragatas do futuro” desde agora é uma forma pela qual a GO orientou o desenvolvimento – evitando amarras que impeçam a incorporação de tecnologias emergentes e reservando margem de crescimento aos navios.
- Políticas de aquisição e cláusulas de suporte logístico: Por fim, outra influência significativa da GO no projeto Tamandaré foi a adoção de políticas contratuais contemporâneas visando a sustentação de longo prazo. A MB, em alinhamento com práticas do Ministério da Defesa, passou a exigir nos contratos que os fornecedores assumam compromissos de suporte estendido, incluindo a disponibilidade de sobressalentes por um período mínimo e a atualização de *firmwares/softwares* embarcados durante a vida inicial do navio. Essas exigências forçam os fabricantes a considerarem a obsolescência de seus produtos e planejar lotes extras de produção ou evoluções compatíveis. Além disso, o Programa Tamandaré conta com a participação da EMGEPRON na gestão do projeto, o que permite uma visão de longo prazo sobre custos de ciclo de vida e necessidade de apoio logístico. Embora o Tribunal de Contas da União (TCU) tenha apontado deficiências na estimativa de custos do ciclo de vida das FCT – indicando que alguns requisitos normativos de planejamento de sustentação não foram plenamente atendidos na fase inicial –, medidas corretivas estão

sendo tomadas para aperfeiçoar essa estimativa, incluindo os custos de mitigação de obsolescência. A consciência sobre esses gaps reforçou ainda mais a importância de integrar a GO às práticas de Apoio Logístico Integrado (ALI) do projeto, garantindo que custos de futuras substituições e modernizações sejam contabilizados adequadamente no orçamento desde já (FORÇAS DE DEFESA, 2024).

4.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Nos casos da Marinha do Brasil, observa-se que a aplicação da Gestão de Obsolescência ainda carece da sistematização vista em marinhas de maior porte, mas há sinais de evolução. As Fragatas Classe Niterói, com o MODFRAG e posteriormente o Projeto Phoenix, ilustraram uma abordagem híbrida: respostas inicialmente reativas diante de obsolescência crítica foram gradualmente incorporadas a um planejamento mais proativo, embora limitado pela falta de institucionalização plena da matriz de risco. O Navio-Tanque Almirante Gastão Motta, ao ultrapassar quatro décadas de serviço, evidenciou a necessidade de estratégias adaptativas de GO, com forte dependência de improvisações e substituições pontuais, mas também de programas de revitalização alinhados a janelas críticas de seu ciclo de vida. A análise dos meios legados evidencia capacidade técnica para executar intervenções complexas e potencial para evolução rumo a um modelo mais proativo, desde que haja priorização de recursos e consolidação de um sistema formal de GO.

O caso das Fragatas Classe Tamandaré (FCT) marca um ponto de inflexão: sua concepção incorporou princípios de modularidade e planejamento de ciclo de vida desde a sua concepção, evidenciando uma visão mais próxima das boas práticas internacionais. Ao incluir a GO ainda na fase de projeto, a MB busca reduzir riscos futuros de indisponibilidade e custos excessivos, alinhando-se às diretrizes da IEC 62402 e do EMA-420.

Em síntese, os casos nacionais refletem uma trajetória em transição: de uma gestão predominantemente reativa e contingencial (FCN e Gastão Motta) para uma perspectiva mais integrada e preventiva (FCT). A evolução evidencia que o alinhamento entre análise de risco, dependabilidade e ciclo de vida é indispensável

para que a MB fortaleça a disponibilidade operacional de sua frota diante de restrições orçamentárias.

5 ANÁLISES COMPARATIVAS

Neste capítulo tem-se por objetivo sistematizar e comparar os estudos de caso apresentados, tanto no âmbito internacional quanto no nacional, a partir das dimensões analíticas definidas na metodologia: contexto operacional e logístico, estratégias proativas, estratégias reativas, principais desafios e resultados/ lições aprendidas. A análise busca integrar os conceitos discutidos no referencial teórico — como dependabilidade, matriz de risco e estratégias de Gestão da Obsolescência (GO) — à realidade empírica observada, permitindo identificar padrões de sucesso, falhas recorrentes e especificidades do contexto da Marinha do Brasil (MB).

A estrutura do capítulo está organizada em três partes. Na primeira faz-se uma síntese dos principais achados dos casos internacionais, destacando boas práticas e limitações. Já na seção 5.2 analisam-se as experiências da MB em lançando um olhar sobre plataformas selecionadas, enfatizando os impactos das restrições orçamentárias e da ausência de políticas consolidadas de GO e, finalmente, na terceira (5.3) apresenta-se uma discussão integrada, confrontando os resultados nacionais e estrangeiros

5.1 SÍNTESE COMPARATIVA INTERNACIONAL

A análise dos casos internacionais evidencia como diferentes forças navais e aéreas estruturaram suas políticas e práticas de Gestão da Obsolescência (GO), revelando uma diversidade de abordagens condicionadas por fatores como orçamento, maturidade tecnológica e relevância estratégica dos meios.

Nos Estados Unidos, observa-se uma clara predominância de estratégias proativas de GO, embasadas por normas institucionais (como DMSMS) e pela cultura de planejamento de ciclo de vida. O USS Nimitz, por exemplo, incorporou processos de *Refueling/Complex Overhaul* (RCOH) e *Planned Incremental Availabilities* (PIAs) como mecanismos de renovação programada, alinhados a uma matriz de risco que prioriza sistemas de alta criticidade. De forma semelhante, a modernização dos submarinos Classe Los Angeles, com programas como o ARCI/APB, reforça o emprego de inserção tecnológica contínua (Technology Insertion), característica típica de estratégias proativas. Entretanto, também se observa a utilização de estratégias

reativas quando necessário, como a canibalização de unidades desativadas, demonstrando que mesmo marinhas com recursos robustos recorrem a soluções emergenciais diante de restrições de tempo ou custo.

No caso da Royal Navy, as Fragatas Type 23 constituem um exemplo emblemático de combinação entre estratégias proativas e reativas. O programa LIFEX e o PGMU buscaram integrar modularidade e previsibilidade de manutenção, enquanto problemas de corrosão estrutural inesperada exigiram intervenções emergenciais, evidenciando o limite do planejamento.

Em contraste, a experiência do ARA San Juan (Armada Argentina) ilustra as consequências da ausência de uma política de GO consolidada. Apesar da tentativa de modernização de meia-vida, prevaleceu uma gestão reativa, com reposições pontuais e defasadas, sem apoio em matriz de risco ou avaliação sistemática de dependabilidade. A tragédia de 2017 tornou-se um marco negativo do impacto da obsolescência não controlada sobre a segurança e a disponibilidade operacional.

Por fim, o caso do A-10 Thunderbolt II da USAF demonstra que a gestão eficaz da obsolescência pode prolongar significativamente a vida útil de sistemas concebidos para um CV predominantemente mais curto. O programa HOG UP e a transformação digital para o padrão A-10C foram ações proativas que garantiram a manutenibilidade e a confiabilidade da frota. Ainda assim, dificuldades na reposição de asas e sistemas legados levaram a soluções reativas, como redesign emergencial de peças, com impacto significativo nos custos.

De forma geral, os casos internacionais reforçam a correlação entre a aplicação de estratégias proativas estruturadas, apoiadas em políticas institucionais e ferramentas normativas, e a maior eficácia na mitigação da obsolescência.

5.2 SÍNTESE COMPARATIVA NACIONAL (MARINHA DO BRASIL)

No contexto da Marinha do Brasil (MB), os casos analisados revelam um predomínio de estratégias reativas, associadas a restrições orçamentárias e à ausência de políticas institucionais de GO formalizadas.

Fragatas Classe Niterói, incorporadas entre 1976 e 1980, passaram por esforços de modernização (MODFRAG e Projeto *Phoenix*) que caracterizam tentativas de estratégias proativas. Entretanto, a inserção de sistemas digitais de ciclo de vida curto, sem suporte de matriz de risco ou banco de dados de obsolescência, gerou novas vulnerabilidades. A dependabilidade das plataformas foi afetada pela indisponibilidade de sobressalentes e pela perda de mão de obra especializada, forçando a adoção de medidas reativas, como adaptações improvisadas e aquisições emergenciais.

O Navio-Tanque Almirante Gastão Motta apresenta um quadro semelhante. Apesar da implementação de programas de manutenção preventiva, a gestão da obsolescência ocorreu majoritariamente de forma reativa, com adaptações pontuais para manter a disponibilidade de sistemas de propulsão e apoio logístico. O caráter único da unidade na frota aumentou sua vulnerabilidade estratégica, demonstrando os riscos da ausência de redundância operacional.

As Fragatas Classe Tamandaré (FCT) representam um marco distinto. Diferentemente dos meios legados, as FCT foram concebidas com a Gestão da Obsolescência incorporada desde o projeto, por meio de um Plano de Gerenciamento de Obsolescência (PGO) formalizado, arquitetura modular e contratos que incluem suporte logístico integrado e transferência de tecnologia (ToT). Essa abordagem preventiva reforça a aplicação das diretrizes da IEC 62402 e da EMA-420, garantindo que a análise de risco, a dependabilidade e o ciclo de vida sejam considerados desde a fase inicial.

Com isso, enquanto os meios legados analisados ilustram as limitações de uma GO predominantemente reativa, as FCT sinalizam uma evolução significativa: a transição para uma gestão proativa, institucionalizada e sustentável, além da integração com a BID. Essa diferença demonstra que a MB já internaliza boas práticas internacionais em seus novos programas, ainda que precise consolidar mecanismos de acompanhamento para garantir sua plena efetividade no longo prazo.

5.3 ANÁLISE INTEGRADA DOS CASOS

Ao se levar a cabo a comparação entre os casos internacionais e nacionais permite-se identificar padrões de sucesso e falhas recorrentes na gestão da obsolescência:

Políticas institucionais estruturadas favorecem estratégias proativas – Nos EUA e Reino Unido, a existência de normas e bancos de dados dedicados à GO (como o OMIS e o DMSMS) possibilitou planejamento de longo prazo e mitigação de riscos críticos. A ausência majoritária dessas estruturas na MB e na Armada Argentina resultou em gestão reativa e maior exposição a riscos.

Integração com a matriz de risco é fator crítico – As marinhas que utilizam ferramentas formais de análise (criticidade × probabilidade) conseguem priorizar recursos de forma mais eficiente, evitando que sistemas de suporte à vida ou de combate entrem em colapso. A falta desse instrumento foi determinante no ARA San Juan e nas FCN, mas tudo indica que fará diferença no CV das FCT, que se utiliza dessa metodologia de análise de risco desde a fase de concepção.

Dependabilidade como indicador central – As experiências demonstram que ações de GO afetam diretamente atributos de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. A incorporação desse conceito no processo decisório, como ocorreu no USS Nimitz, é essencial para manter a prontidão operacional em plataformas envelhecidas.

Equilíbrio entre estratégias proativas e reativas – Mesmo marinhas com alto orçamento recorrem a medidas reativas em situações emergenciais. A diferença fundamental é que, nos casos de sucesso, essas medidas são exceções dentro de um planejamento estruturado, e não a regra, como observado na MB.

Importância da Base Industrial de Defesa (BID) – A existência de fornecedores nacionais capazes de produzir substitutos, realizar *redesign* e apoiar programas de modernização foi um diferencial para os casos de maior êxito. A dependência externa, ao contrário, intensificou os riscos.

Ao se integrar os resultados, nota-se que os meios legados da MB (FCN e NT Gastão Motta) permanecem presos a uma lógica reativa, impactados pela ausência de políticas institucionais de GO e pela falta de ferramentas como bancos de dados de obsolescência e matrizes de risco aplicadas. Em contraste, as Fragatas Classe Tamandaré marcam a adoção de uma abordagem proativa de ciclo de vida, já alinhada a normas internacionais e apoiada em mecanismos de dependabilidade desde a concepção.

5.4 CONCLUSÃO PARCIAL

A análise comparativa desenvolvida neste capítulo demonstra que a Gestão da Obsolescência é um determinante direto da disponibilidade e da confiabilidade de sistemas militares complexos. Nos casos internacionais, sobretudo nos EUA e no Reino Unido, verificou-se que a adoção de estratégias proativas, apoiadas em políticas institucionais robustas e no uso sistemático de matrizes de risco, resultou em maior capacidade de prolongar a vida útil das plataformas sem comprometer sua dependabilidade. Ainda que medidas reativas também tenham sido empregadas, estas se apresentaram como complementares, e não como eixo central da gestão da obsolescência.

Nos casos dos meios legados da Marinha do Brasil, por outro lado, prevaleceu uma gestão predominantemente reativa, limitada por recursos financeiros escassos e pela ausência de um banco de dados consolidado de obsolescência e de ferramentas de análise que aprimorem a tomada de decisão. Isso se traduziu em maior vulnerabilidade a riscos técnicos e logísticos, dependência de fornecedores externos e perda de mão de obra especializada. A experiência nacional dos meios legados aproxima-se mais do caso argentino (ARA San Juan) do que das marinhas que estruturaram políticas sólidas de GO, ainda que a MB tenha obtido, até então, avanços pontuais por meio de programas de modernização. Entretanto, o contexto atual do programa das FCT, que já incorpora matriz de risco, dependabilidade e planejamento de ciclo de vida desde a fase de concepção, evidencia que a MB se encontra em um estágio de transição: ainda depende de improvisações e substituições emergenciais em meios antigos, mas começa a consolidar boas práticas em novos projetos, que podem servir de referência para estruturar políticas de GO aplicáveis a toda a frota.

De forma integrada, pode-se afirmar que a diferença fundamental entre os casos de sucesso e os de fracasso não reside apenas nos níveis de orçamento, mas na existência (ou ausência) de uma política institucionalizada de GO, capaz de orientar ações ao longo de todo o ciclo de vida. Essa constatação reforça a pertinência da questão de pesquisa proposta e fundamenta a formulação de recomendações no capítulo seguinte, voltadas ao fortalecimento da GO na Marinha do Brasil e à integração com a Base Industrial de Defesa.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa partiu do reconhecimento de que a obsolescência de sistemas militares complexos representa um desafio crescente para a disponibilidade e a prontidão operacional das forças armadas. No caso da Marinha do Brasil (MB), o prolongado ciclo de vida de seus meios navais, aliado a restrições orçamentárias e à limitada capacidade da Base Industrial de Defesa (BID), acentua a necessidade de compreender e aplicar práticas consolidadas de Gestão da Obsolescência (GO).

Para responder a essa problemática, o trabalho foi estruturado em três eixos principais: um referencial teórico, que apresentou conceitos de ciclo de vida, dependabilidade, matriz de risco e estratégias de GO; a análise de casos internacionais, que evidenciou boas práticas e fragilidades em diferentes forças armadas estrangeiras; e a análise de casos nacionais, que mostrou os desafios enfrentados pela MB em plataformas representativas.

A partir desses eixos, desenvolveu-se uma análise comparativa, que permitiu identificar padrões de sucesso em marinhas que adotam estratégias proativas e políticas institucionais de GO, em contraste com os riscos enfrentados por aquelas que permanecem restritas a soluções reativas. Essa comparação forneceu insumos valiosos para refletir sobre a realidade brasileira e extrair lições aplicáveis à MB.

Diante desse percurso, neste capítulo apresentam-se as conclusões e recomendações da pesquisa, retomando a questão central, sintetizando os principais achados, destacando as contribuições metodológicas e propondo diretrizes que podem orientar a evolução da GO na Marinha do Brasil.

Para tal esse trabalho foi orientado pela seguinte questão central: Como diferentes marinhas estruturaram seus processos de Gestão da Obsolescência (GO) e quais práticas, estratégias e ferramentas podem ser adaptadas para fortalecer a prontidão operacional da Marinha do Brasil?

Para tal a investigação buscou analisar experiências internacionais (EUA, Reino Unido e Argentina) e compará-las com casos nacionais (Fragatas Classes Niterói e Tamandaré, além do Navio-Tanque Almirante Gastão Motta), à luz do referencial teórico sobre ciclo de vida, dependabilidade, matriz de risco e estratégias

de GO (proativas e reativas). Durante o processo investigativo os objetivos intermediários foram cumpridos da seguinte forma:

- Revisão teórica – consolidou-se um marco conceitual sobre obsolescência, ciclo de vida e dependabilidade, alinhado a normas como a IEC 62402 e a literatura de DMSMS.
- Casos internacionais – foram descritas práticas de GO em diferentes plataformas, identificando mecanismos de planejamento e mitigação.
- Casos nacionais – analisou-se a experiência da MB em meios críticos, revelando predominância de medidas reativas.
- Dimensões comparativas – os casos foram cotejados segundo contexto, estratégias proativas/reativas, desafios e resultados.
- Proposição de recomendações – derivadas da análise comparativa, aplicáveis à realidade brasileira.

6.1 SÍNTESE DAS ANÁLISES

A análise demonstrou que a eficácia da Gestão da Obsolescência não depende apenas do nível de orçamento disponível, mas, sobretudo, da existência de uma política institucional estruturada, apoiada em normas, processos e ferramentas de análise de risco.

Nos casos internacionais, os exemplos bem-sucedidos (USS Nimitz, submarinos Los Angeles, fragatas Type 23, A-10 Thunderbolt II) tiveram como denominador comum o emprego de estratégias proativas, como planejamento de ciclo de vida, modularidade, inserção tecnológica e bancos de dados de sobressalentes. As medidas reativas existiram, mas desempenharam papel complementar.

Em contraste, o caso do ARA San Juan e os meios analisados da MB revelaram uma predominância de estratégias reativas, com substituições pontuais e improvisadas, ausência de matriz de risco e baixa integração com a Base Industrial de Defesa (BID). Essa postura resultou em maior exposição a riscos técnicos, logísticos e operacionais, além de custos crescentes a longo prazo.

Dessa forma, a principal conclusão é que a MB necessita institucionalizar a GO como política estratégica, integrando-a ao ciclo de vida de todos os meios navais, de modo a reduzir riscos de indisponibilidade, prolongar a vida útil das plataformas e fortalecer a autonomia nacional em defesa.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA A MARINHA DO BRASIL

Com base nos achados, recomenda-se que a MB adote as seguintes medidas:

6.2.1 Implementar uma Política Proativa e Formal de GO:

A MB deve evoluir de uma postura reativa para uma política institucional de GO proativa. Isso significa elaborar um Plano de Gestão de Obsolescência (PGO) abrangendo toda a frota, conforme recomendado pela norma IEC (2007) e já praticado em outras marinhas. O PGO adotado pela SPE no contrato das FCT respeita essas diretrizes e demonstra uma mudança clara de visão da MB sobre o conceito, e provavelmente uma quebra de paradigma para aquisições posteriores. Os planos estabelecidos deverão identificar os itens críticos suscetíveis à obsolescência, definir responsáveis, processos de monitoramento e ações de mitigação antecipadas. A ausência de uma política formal de GO foi destacada como fraqueza nas Fragatas Niterói e no NT Gastão Motta; portanto, criá-la é passo fundamental. Também é necessário o alinhamento da política de GO com a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) do respectivo meio naval – inserindo a GO desde a fase de concepção (evitar adquirir tecnologias sem suporte futuro) até o desfazimento (planejar retiradas de serviço quando a obsolescência tornar o custo proibitivo). A lição aqui é clara: obsolescência deve ser tratada como parte integrante de toda gestão de material militar, não um inconveniente pontual.

6.2.2 Adotar Ferramentas e Melhores Práticas DMSMS:

É recomendável que a MB invista em ferramentas dedicadas à gestão de obsolescência. A implementação de um sistema nos moldes do OMIS (usado pela marinha americana) ou ITOM (contratado pela MB para as FCT) fornece uma visão centralizada de peças e componentes em diversas plataformas, alertando para itens sem fornecedor, no fim de vida anunciado (EOL), etc. Com isso, a Marinha poderia planejar compras de estoque estratégico (LTB) de forma oportuna – procedimento já

orientado pela IEC 62402 e pelo Departamento de Defesa dos EUA. Além disso, integrar-se a redes análogas à GIDEP (Government-Industry Data Exchange Program) ou outras bases nacionais e internacionais permitiria à MB receber notificações de obsolescência de componentes eletrônicos e mecânicos amplamente utilizados em toda a frota.

Embora o desenvolvimento do SIGMAN seja um passo positivo para modernizar a manutenção, seu foco principal parece ser em falhas operacionais e na antecipação de problemas de desempenho. Isso é distinto da GO, que lida com a indisponibilidade de peças e suporte, problemas oriundos da cadeia de suprimentos, independentemente do status operacional atual. O SIGMAN, em sua forma atual, é um componente valioso para uma estratégia mais ampla de GCV, mas não é uma ferramenta abrangente de GO. Ele precisa ser integrado a sistemas dedicados de apoio à decisão, que permitam prever e resolver questões de obsolescência – tais como ITOM ou OMIS - para atingir uma abordagem verdadeiramente proativa no tocante à GO.

A lição observada é que o uso de ferramentas automatizadas e inteligência de dados é hoje indispensável para gerenciar a obsolescência de forma eficiente, especialmente com a enorme variedade de componentes existentes nos navios militares.

6.2.3 Fortalecer a Análise de Risco e a Prioridade de Ações:

Diante de recursos limitados, a MB deve aplicar um enfoque de gerenciamento de risco para obsolescência, similar ao empregado nos submarinos Los Angeles ou nas aeronaves A-10. Ou seja, mapear criticidade vs. probabilidade de obsolescência para cada sistema dos navios. Itens de alta criticidade (aqueles que tiram o navio de operação se falharem, ou que representam risco à segurança) e com alta probabilidade de obsolescência (fornecedor único, tecnologia antiquada etc.) devem ter prioridade máxima em ações proativas – substituição, modernização ou LTB. Já itens de baixa criticidade ou fácil substituição podem receber estratégia reativa ou paliativa até sua desativação. Essa abordagem garante o uso ótimo dos recursos: foca-se onde o impacto na disponibilidade e segurança é maior.

Para aprimorar a tomada de decisão, a adoção de ferramentas de análise de risco que permitam a criação e visualização de matrizes de risco é fundamental. Essas ferramentas auxiliam na priorização de ações e na seleção das estratégias de mitigação mais adequadas.

Atualmente na MB, a identificação e monitoramento dos níveis de obsolescência dos sistemas legados frequentemente se baseiam nos critérios estabelecidos nos manuais fornecidos pelos fabricantes. Contudo, a avaliação da obsolescência é, em muitos casos, descrita como empírica e dependente do "feeling" (percepção) do avaliador, o que indica uma notável falta de metodologia padronizada. Essa dependência de conhecimento tácito e individual, em vez de dados estruturados e processos formais, é uma limitação significativa.

Dessa forma, mais uma vez destaca-se a ferramenta ITOM implementada no PGO das FCT, que compõe as análises de risco e definição das estratégias de mitigação da GO da classe. Entretanto, a manutenção da efetividade do modelo adotado depende da garantia da execução orçamentária para as atualizações planejadas e da continuidade do monitoramento e da análise de risco ao longo do CV da classe. É mister ressaltar a necessidade de a MB decidir oportunamente sobre a continuidade do PGO após a entrega da última FCT, já que o contrato com a SPE prevê a utilização das ferramentas para o monitoramento da GO somente até a assinatura do último Termo de Recebimento Definitivo (TERD) da classe.

6.2.4 Integrar Engenharia Logística nos Programas de Modernização:

As melhores práticas mostraram que engenharia e logística trabalhando juntas desde cedo produzem resultados positivos. A MB deve assegurar que, em cada programa de modernização ou construção de navio novo, exista uma equipe de Apoio Logístico Integrado (ALI) focada em Gestão de Obsolescência. Essa equipe cuidaria de prever sobressalentes necessários por toda a vida útil do meio, acordos com fornecedores para suporte estendido e estratégia de atualizações modulares. No caso das fragatas Tamandaré, a decisão de incorporar requisitos de modularidade e arquitetura aberta – conforme recomendado nos estudos – foi crucial para facilitar futuras modernizações e trocas de componentes obsoletos sem grandes retrabalhos. Além disso, a MB pode internalizar a prática de revisões periódicas de ciclo de vida –

por exemplo, a cada 5 anos, um comitê de engenharia logística revisaria cada classe de navio para identificar problemas emergentes de obsolescência e propor soluções (seja inserir no próximo PMG, seja propor baixa do meio caso insustentável). Formalizar esses ciclos de revisão evitaria surpresas e alinharia a expectativa de vida útil com a realidade.

6.2.5 Buscar Apoio Externo e Cooperação Internacional:

Dado que as Marinhas de países aliados enfrentam desafios semelhantes, a MB pode se beneficiar de cooperação em gestão de obsolescência. Isso pode incluir participar de fóruns ou grupos de trabalho da OTAN (mesmo como observadora) sobre DMSMS, firmar acordos com marinhas que operam equipamentos similares para troca de sobressalentes, ou ainda contratar consultorias especializadas que já assessoraram, por exemplo, a Royal Navy ou a US Navy. Por exemplo, o Reino Unido ao fazer o LIFEX das Type 23 contratou empresas com expertise específica – a MB poderia avaliar parcerias com essas empresas para estender a vida de seus navios veteranos, enquanto desenvolve sua própria maturidade em GO.

6.2.6 Equacionar Recursos e Sensibilizar para o Custo de Inação:

Por fim, talvez a lição mais importante é reconhecer que obsolescência é um problema estratégico que impacta diretamente a prontidão e a soberania, e que investir na sua gestão é imperativo, não opcional. Muitas vezes, convencer as áreas orçamentárias e de comando a alocar verbas para “manutenção” ou “modernização de algo velho” é difícil, frente ao apelo de adquirir algo novo. Porém, os casos mostram que ignorar a obsolescência cobra seu preço, seja financeiro (custos emergenciais amplificados) seja operacional (meios incapazes de cumprir missão, ou pior, acidentes). A MB deve, portanto, usar esses exemplos para sensibilizar a alta administração de que programas de GO têm excelente relação custo-benefício. Por exemplo, a modernização do *Gastão Motta* – embora custosa – é fundamental para não deixar a Esquadra sem um navio reabastecedor, algo que impactaria todas as operações navais. Da mesma forma, manter as FCN funcionando até as FCT estarem prontas é crucial; isso requer investimentos em obsolescência agora. Ou seja, a distribuição de recursos deve levar em conta o equilíbrio entre a compra de novas plataformas e a manutenção da relevância operacional das atualmente existentes. A

lição aprendida da marinha britânica de que adiar substituições gerou um aumento substancial de custos e riscos deve servir de alerta à MB, para que planeje a renovação da frota de forma realista – se as fragatas Tamandaré atrasarem, é importante já existirem linhas de ação de combate à obsolescência para estender com segurança as FCN remanescentes, por exemplo.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a análise comparativa dos meios evidencia que a Gestão de Obsolescência, quando bem aplicada, é um multiplicador de disponibilidade e fator de economia a longo prazo, permitindo que ativos militares ultrapassem suas expectativas de serviço sem perda substancial de capacidade operacional. Para a Marinha do Brasil, incorporar as melhores práticas – planejamento proativo, uso de ferramentas DMSMS, análise de risco estruturada, integração logística/engenharia, parcerias e conscientização estratégica – poderá não apenas mitigar os problemas atuais em seus meios legados, mas também preparar a força para um futuro em que cada investimento em defesa tenha seu ciclo de vida otimizado ao máximo.

As FCT consolidam um padrão contemporâneo de GO na MB (processos, ferramenta e arquitetura), cuja adoção ampliada tende a reduzir riscos de indisponibilidade e custos totais de ciclo de vida. Trata-se, em última instância, de assegurar que a MB possa cumprir sua missão com meios confiáveis e seguros, extraíndo “mais quilometragem” do material já pago pelo contribuinte, sem comprometer a eficiência ou a segurança – uma necessidade imperiosa diante das restrições orçamentárias e dos desafios operacionais do cenário atual.

Em síntese, a pesquisa confirmou que a Gestão da Obsolescência deve ser entendida como um instrumento estratégico de soberania. A MB encontra-se diante de uma oportunidade crítica: ou institucionaliza políticas robustas de GO, integrando-as ao ciclo de vida e à BID, ou continuará dependente de soluções reativas, com alto custo operacional e risco de indisponibilidade.

Assim, o trabalho contribui não apenas para o campo acadêmico da logística militar, mas também para a formulação de políticas públicas de defesa, ao oferecer

recomendações alinhadas às boas práticas internacionais e adaptadas à realidade brasileira.

REFERÊNCIAS

ADS ADVANCE. **HMS Argyll upkeep marks start of Type 23 life extension.** ADS Advance, 16 jun. 2015. Disponível em: <https://www.adsadvance.co.uk/hms-argyll-upkeep-marks-start-of-type-23-life-extension.html>. Acesso em: 23 ago. 2025.

AGÊNCIA BRASIL (EBC). **Submarino argentino é encontrado um ano e um dia após desaparecimento.** Agência Brasil, 17 nov. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2018-11/submarino-argentino-e-encontrado-um-ano-e-um-dia-apos-desaparecimento>. Acesso em: 21 ago. 2025

AGÊNCIA MARINHA DE NOTÍCIAS. **Relatório de gestão da Marinha do Brasil aponta avanços e desafios para a soberania no mar.** Agência Marinha de Notícias, 8 abr. 2025. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/especial/relatorio-de-gestao-da-marinha-do-brasil-aponta-avancos-e-desafios-para-soberania-no-mar>. Acesso em: 24 ago. 2025.

AGÊNCIA SENADO. **Marinha modernizará fragatas da classe Niterói.** Agência Senado, 17 mar. 1998. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/1998/03/17/marinha-modernizara-fragatas-da-classe-niteroi>. Acesso em: 24 ago. 2025.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria-Geral do Material da Marinha. **DGMM-0130 – Manual do ALI: Manual do Apoio Logístico Integrado.** Rio de Janeiro: DGMM, [s.d.].

BRASIL. **Livro Branco de Defesa Nacional.** Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/livro_branco_congresso_nacional.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025

CAIAFA, Roberto. **Marinha do Brasil deverá desativar 40 % de seus meios até 2028.** Infodefensa (versão em português), 16 maio 2023. Disponível em: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4291806/marinha-do-brasil-devera-desativar-40-seus-meios-ate-2028>. Acesso em: 24 ago. 2025.

CANUTO FILHO, Renato Gomes. **Aparelhamento, reaparelhamento e manutenção de meios navais: o processo de modernização das Fragatas Classe “Niterói” sob a ótica dos fundamentos do Apoio Logístico Integrado.** Dissertação (C-Estado-Maior) — Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://www.repositorio.mar.mil.br/bitstream/ripcmb/846814/1/CEMOS_2023_CANUTO.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

CARNEIRO JUNIOR, Gilson Barbosa. **Gestão da obsolescência de componentes, sistemas e meios: conceitos e aplicabilidade na gestão de manutenção da aeronave AF-1 Skyhawk, de 1998 a 2023.** Dissertação (Curso de Estado-Maior) — Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:

https://www.repositorio.mar.mil.br/bitstream/ripcmb/846833/1/CEMOS_2023_GILSON.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

DAU ACQUIPEDIA. **Obsolescence Management**. [s.d.]a. Acquipedia, Defense Acquisition University. Disponível em: <https://www.dau.edu/acquipedia-article/obsolescence-management>. Acesso em: 21 ago. 2025.

DAU ACQUIPEDIA. **Service Life Extension Program (SLEP)**, [s.d.]b. Acquipedia, Defense Acquisition University. Disponível em: <https://www.dau.edu/acquipedia-article/service-life-extension-program-slep>. Acesso em: 21 ago. 2025

DE MARTINI, Fernando "Nunão". **Primeira fase do PMG do NT Gastão Motta deverá começar em junho, após meses de indefinição**. Poder Naval, 22 maio 2024. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2024/05/22/primeira-fase-do-pmg-do-nt-gastao-motta-devera-comecar-em-junho-apos-meses-de-indefinicao/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

DEFENSE ADVANCEMENT. **Type 23 Frigate (Duke Class)**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.defenseadvancement.com/projects/type-23-frigate-duke-class/>. Acesso em: 20 ago. 2025..

DSP - DEFENSE STANDARDIZATION PROGRAM OFFICE. **Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages: A Guidebook of Best Practices and Tools for Implementing a DMSMS Management Program**. (SD-22) Fort Belvoir, VA: Defense Standardization Program Office, September 2009. Disponível em: https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/LandAndMaritime/V/VA/PSMC/LM_SD22_FINAL_151030.PDF. Acesso em: 21 ago. 2025.

EMGEPRON. **EMGEPRON encerra etapa do Programa de Manutenção do Navio Tanque Almirante Gastão Motta em parceria com RENAVE**. EMGEPRON — Empresa Gerencial de Projetos Navais, 4 dez. 2024. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/emgepron/pt-br/emgepron-encerra-etapa-do-programa-de-manutencao-do-navio-tanque-almirante-gastao-motta-em-parceria>. Acesso em: 24 ago. 2025.

FIEMG LAB. **Retrofit na indústria**. Fiemg Lab, [s.d.]. Disponível em: <https://fiemglab.com.br/retrofit-na-industria/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

FORÇAS DE DEFESA. **VÍDEO: Projeto Fênix – Fragata União faz teste de sistema de armas**. Naval.com.br, 10 maio 2022. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/05/10/video-projeto-fenix-fragata-uniao-faz-teste-de-sistema-de-armas/>. Acesso em: 24 ago. 2025

FORÇAS DE DEFESA. **Lista inicial de reparos do NT Almirante Gastão Motta, único navio tanque da MB**, 21 ago. 2023. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2023/08/21/lista-inicial-de-reparos-do-nt-almirante-gastao-motta-unico-navio-tanque-da-mb/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

FORÇAS DE DEFESA. **Precificação deficiente do Programa Fragatas Classe Tamandaré compromete análise de viabilidade.** Brasília, DF, 7 dez. 2024.

Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2024/12/07/precificacao-deficiente-do-programa-fragatas-classe-tamandare-compromete-analise-de-viabilidade/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

FORÇAS DE DEFESA. **Fragatas Type 23 do Reino Unido acumulam conta de manutenção de mais de um bilhão de libras desde 2014.** Naval.com.br, 20 mar. 2025a. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2025/03/20/fragatas-type-23-do-reino-unido-acumulam-conta-de-manutencao-de-mais-de-um-bilhao-de-libras-desde-2014/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

FORÇAS DE DEFESA. **Fragata Tamandaré inicia fase final de construção com instalação dos sistemas integradores.** Brasília, DF, 11 jun. 2025b. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2025/06/11/fragata-tamandare-inicia-fase-final-de-construcao-com-instalacao-dos-sistemas-integradores/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

FOXWELL, David. **St Albans returns to sea as Type 23 'LIFEX' programme approaches completion.** Warship Technology – RINA, 10 maio 2024. Disponível em: <https://rina.org.uk/publications/warship-technology/st-albans-returns-to-sea-as-type-23-lifex-programme-approaches-completion/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

GALANTE, Alexandre. **NT ‘Alte Gastão Motta’ completa 20 anos.** Poder Naval, 26 nov. 2011. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2011/11/26/nt-alte-gastao-motta-completa-20-anos-2/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

GALANTE, Alexandre. **Navio Tanque ‘Almirante Gastão Motta’ realiza experiência de máquinas.** Poder Naval, 30 jul. 2016. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2016/07/30/navio-tanque-almirante-gastao-motta-realiza-experiencia-de-maquinas/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

GALANTE, Fernando. **ARA San Juan: conheça a classe TR-1700 de submarinos da Argentina.** Naval.com.br, 18 nov. 2017a. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2017/11/18/ara-san-juan-conheca-classe-tr-1700-de-submarinos-da-argentina/>. Acesso em: 21 ago. 2025

GALANTE, Alexandre. **ARA San Juan: modernização de meia vida.** Naval.com.br, 18 nov. 2017b. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2017/11/18/ara-san-juan-modernizacao-de-meia-vida/>. Acesso em: 21 ago. 2025

GALANTE, Alexandre. **ARA San Juan: 6ª feira negra deixa Armada Argentina sem os seus chefes e de reputação abalada.** Naval.com.br, 17 dez. 2017c. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2017/12/17/ara-san-juan-6a-feira-negra-deixa-armada-argentina-sem-os-seus-chefes-e-de-reputacao-abalada/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

GAO - UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE. **Navy Aircraft Carriers: Cost-Effectiveness of Conventionally and Nuclear-Powered Carriers.** Washington, D.C.: GAO, 27 ago. 1998. (GAO/NSIAD-98-1). Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/nsiad-98-1.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

GAO - UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE. **Navy Ship Maintenance: Actions Needed to Monitor and Address the Performance of Intermediate Maintenance Periods.** Washington, D.C.: GAO, 8 fev. 2022. (GAO22104510). Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/720/719183.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

GIDEP - GOVERNMENT-INDUSTRY DATA EXCHANGE PROGRAM. **GIDEP homepage.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.gidep.org/home>. Acesso em: 16 ago. 2025.

GLOBAL SECURITY. **A-10 Maintenance**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/a-10-maintenance.htm>. Acesso em: 8 jul. 2025.

GRIFFIN, Shaun. **USS Bremerton Departs Pearl Harbor for Final Time.** Commander, Submarine Force, U.S. Pacific Fleet, 20 abr. 2018. Disponível em: <https://www.csp.navy.mil/Media/News-Admin/Article/1501144/uss-bremerton-departs-pearl-harbor-for-final-time/>. Acesso em: 21 ago. 2025

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62402 – Obsolescence management – Application guide.** 1st ed. Geneva: IEC, 2007.

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60300-3-3: Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing.** 3.^a ed. Genebra: IEC, 2017.

JACQUES, D. R.; STROUBLE, D. D. A-10 Thunderbolt II (Warthog) Systems Engineering Case Study. Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Institute of Technology, 2010.

KATZ, Justin. **Navy attack sub Alexandria gets 3year life extension, Scranton next on the list.** Breaking Defense, 27 abr. 2023. Disponível em: <https://breakingdefense.com/2023/04/navy-attack-sub-alexandria-gets-3-year-life-extension-scranton-next-on-the-list/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

KELLER, J. **BAE Systems to enhance obsolescence predictive maintenance to keep Air Force planes flying.** Military Aerospace Electronics, 18 nov. 2016. Disponível em: <https://www.militaryaerospace.com/commercial-aerospace/article/14229115/bae-systems-to-enhance-obsolescence-predictive-maintenance-to-keep-air-force-planes-flying>. Acesso em: 15 ago. 2025.

KLIPPHAN, Andrés. **Exclusivo: el sumario interno de la Armada reconoció graves anomalías en el submarino antes de zarpar.** Infobae, 3 mar. 2018a. Disponível em: <https://www.infobae.com/sociedad/2018/03/03/exclusivo-ara-san-juan-el-sumario-interno-de-la-armada-reconocio-graves-anomalias-en-el-submarino-antes-de-zarpar/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

KLIPPHAN, Andrés. **Exclusivo: el oxígeno de emergencia del ARA San Juan era insuficiente, había víveres vencidos y hasta pan en mal estado.** Infobae, 26 maio 2018b. Disponível em: <https://www.infobae.com/sociedad/2018/05/26/exclusivo-el->

oxigeno-de-emergencia-del-ara-san-juan-era-insuficiente-habia-viveres-vencidos-y-hasta-pan-en-mal-estado/. Acesso em: 21 ago. 2025.

KOBREN, Bill. **Adoption of New Obsolescence Management Standard**. Estados Unidos, 5 mai. 2020. Disponível em: <https://www.dau.edu/blogs/adoption-new-obsolescence-management-standard>. Acesso em: 24 ago. 2025.

LAPRIE, Jean-Claude (ed.). **Dependability: basic concepts and terminology**. Vienna: Springer-Verlag, 1992. (Dependable Computing and Fault-Tolerant Systems, v. 5)

MAIA, Paulo. **O Diretor-Geral do Material da Marinha fala à Tecnologia & Defesa**. Tecnologia & Defesa, 10 mar. 2024. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/o-diretor-geral-de-material-da-marinha-fala-a-tecnologia-defesa/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MARINHA DO BRASIL. **Fragatas Classe Niterói**. Marinha do Brasil, [s.d.]a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais/fragatas-classe-niteroi>. Acesso em: 24 ago. 2025

MARINHA DO BRASIL. **Programa Fragatas Classe “Tamandaré”**. Brasília, DF, [s.d.]b. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/programa-classe-tamandare>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MARINHA DO BRASIL. **Programa Fragatas “Classe Tamandaré”**. Brasília, DF, [s.d.]c. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/hotsites/construcao-naval/fragata.html>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MARINHA DO BRASIL. **Fragata “Niterói” encerra atividade no Setor Operativo da Marinha**. Marinha do Brasil, 2 jul. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/noticias/fragata-niteroi-encerra-atividade-no-setor-operativo-da-marinha>. Acesso em: 24 ago. 2025

MARINHA DO BRASIL. **Estado-Maior da Armada**. EMA-420: Diretrizes para gestão de sistemas de defesa e embarcações de apoio. 3. rev. Brasília, DF, 2025.

MC CUTCHEON, Caylen; MC HADDAD, Peter. **USS Nimitz Completes Planned Incremental Availability**. Naval Aviation News, 13 set. 2024. Disponível em: <https://navalaviationnews.navy.mil/editorial-staff-tools/article-submission/article/3898758/uss-nimitz-completes-planned-incremental-availability/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MCHALE, John. **TacTech provides program offices with early warning system for obsolescence**. Brasília, DF, 1 fev. 2000. Disponível em: <https://www.militaryaerospace.com/home/article/16706606/tactech-provides-program-offices-with-early-warning-system-for-obsolescence>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MEIRELES, Daniela. **Ministério da Defesa e Forças Armadas defendem previsibilidade orçamentária na Câmara dos Deputados**. Agência Marinha de

Notícias, 17 abr. 2024. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/defesa-naval/ministerio-da-defesa-e-forcas-armadas-defendem-previsibilidade-orcamentaria-na-camara>. Acesso em: 24 ago. 2025

MEMOLO, Jack. **Praetorianism and Argentina's Missing Submarine**. Council on Hemispheric Affairs (COHA), 30 nov. 2017. Disponível em: <https://coha.org/praeorianism-and-argentinass-missing-submarine/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas**. Manual de boas práticas para a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa – MD40-M-01. 1. ed. Brasília, DF: Ministério da Defesa, Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/caslode/pt-br/gestao-do-ciclo-de-vida-de-sistemas-de-defesa/MD40M01.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Lançamento da 1ª Fragata Classe Tamandaré gera 23 mil empregos e impulsiona a indústria naval**. Brasília, DF, 27 ago. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/lancamento-da-1a-fragata-classe-tamandare-gera-23-mil-empregos-e-impulsiona-a-industria-naval>. Acesso em: 12 ago. 2025.

MINISTRY OF DEFENCE. **Contracts give Royal Navy Frigates a power boost**. GOV.UK, 6 ago. 2015. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/news/contracts-give-royal-navy-frigates-a-power-boost>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MONTEDO. **Incêndio atinge navio-tanque da Marinha**. Montedo.com.br, 14 ago. 2012. Disponível em: <https://www.montedo.com.br/2012/08/14/incendio-atinge-navio-tanque-da-marinha/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

NAVAL NEWS. **Ultra updates platform data system on Royal Navy's Type 23 Frigates**. Naval News, 24 nov. 2021. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2021/11/ultra-updates-platform-data-system-on-royal-navys-type-23-frigates/>. Acesso em: 21 ago. 2025

NAVSEA - NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND. **NUWC Keyport's Obsolescence Management Capability**. NAVSEA – Naval Undersea Warfare Center Division Keyport, [s.d.]. Disponível em: <https://www.navsea.navy.mil/Home/Warfare-Centers/NUWC-Keyport/What-We-Do/Obsolescence-Management/>. Acesso em: 24 ago. 2025

NAVY LOOKOUT. **New engines for the Royal Navy's Type 23 Frigates**. Navy Lookout, 27 jun. 2018. Disponível em: <https://www.navylookout.com/new-engines-for-the-royal-navys-type-23-frigates/>. Acesso em: 21 ago. 2025

NAVY LOOKOUT. **Progress on extending the life of the Royal Navy's Type 23 frigates**. Navy Lookout, 31 jan. 2019. Disponível em: <https://www.navylookout.com/progress-on-extending-the-life-of-the-royal-navys-type-23-frigates/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

OLIVEIRA, Bruno Pantaleão de. **Avaliações de custo-efetividade e custo-benefício: ferramentas essenciais para a tomada de decisão.** São Paulo, 2 ago. 2022. Disponível em: <https://fgvclear.org/avaliacoes-de-custo-efetividade-e-custo-beneficio-ferramentas-essenciais-para-a-tomada-decisao/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

OSBORN, Kris. **Los AngelesClass Submarines: Backbone of the US Navy's Undersea Power.** National Security Journal, 7 jul. 2024. Disponível em: <https://nationalsecurityjournal.org/los-angeles-class-submarines-backbone-of-the-us-navys-undersea-power/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PORFÍLIO, Gabriel. **The ARA San Juan crew died in 30 milliseconds due to a hydrogen explosion.** Infodefensa.com, 9 out. 2019. Disponível em: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3128646/the-ara-san-juan-crew-died-in-30-milliseconds-due-to-hydrogen-explosion>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PADILHA, Luiz. **Fragatas Type 23 – O Cavalo de Batalha da Frota.** Defesa Aérea & Naval, 12 nov. 2019. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/fragatas-type-23-o-cavalo-de-batalha-da-frota>. Acesso em: 20 ago. 2025.

PADILHA, Luiz. **Estendendo a vida das fragatas Type 23 da Royal Navy.** Defesa Aérea & Naval, 9 nov. 2020. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/estendendo-a-vida-das-fragatas-type-23-da-royal-navy>. Acesso em: 20 ago. 2025.

PAES, Cecília. **Gestão do Ciclo de Vida: uma abordagem estratégica para a Marinha do Brasil.** Agência Marinha de Notícias, 9 ago. 2024. Disponível em: <https://www.agencia.marinha.mil.br/especial/gestao-do-ciclo-de-vida-uma-abordagem-estrategica-para-marinha-do-brasil>. Acesso em: 24 ago. 2025.

SANTANA, Auro José Alves de. **Gestão do Ciclo de Vida – Aplicação na MB: A gestão da obsolescência dos Sistemas de Defesa (SD) empregada nas Fragatas Classe “Tamandaré” durante as fases de operação e apoio do ciclo de vida.** Tese (C-PEM) — Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/egn/sites/www.marinha.mil.br/egn/files/012%20CPEM2021_TESEFINAL_AURO.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

SANTOS, Roberto Henrique Assad dos. **Política de Manutenção de Meios Navais: Conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicados às Fragatas Classe Niterói.** Tese (C-PEM) — Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/egn/sites/www.marinha.mil.br/egn/files/CPEM033%20TESE%20CMG%20HENRIQUE%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

SCHANK, John F.; ARENA, Mark V.; RUSHWORTH, Denis; BIRKLER, John; CHIESA, James. **Refueling and Complex Overhaul of the USS Nimitz (CVN-68): Lessons for the Future.** Santa Monica, CA: RAND Corporation, Apr. 2002. (Rand Monograph Report, MR-1632-NAVY). Disponível em:

https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1632.html. Acesso em: 21 ago. 2025.

SCHUSTER, John. **Recent Progress in Submarine Sonar: ... and Future Challenges in ASW**. [s.d.]. Disponível em:

<https://acoustics.mit.edu/dyerparty/Ira%20Dyer%20talk%20rev%201.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025

SEAFORCES. **Nimitz-class aircraft carrier – CVN US Navy**. [s.d.]a. Disponível em: <https://www.seaforces.org/usnships/cvn/Nimitz-class.htm>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SEAFORCES. **USS Los Angeles (SSN688) – Los Angelesclass attack submarine**. [s.d.]b. Disponível em: <https://www.seaforces.org/usnships/ssn/SSN-688-USS-Los-Angeles.htm>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SEAFORCES. **Type 23 Duke class Guided Missile Frigate – Royal Navy**. [s.d.]c. Disponível em: <https://www.seaforces.org/marint/Royal-Navy/Frigate/Duke-Type-23-class.htm>. Acesso em: 20 ago. 2025.

SILICONEXPERT TECHNOLOGIES. **Proactive vs. Reactive Approaches to Obsolescence Management**, 2020. Disponível em: <https://www.siliconexpert.com/wp-content/uploads/2020/10/SiliconExpert-White-Paper-Proactive-vs-Reactive-Approaches-to-Obsolescence-Management.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025

SOUZA, Thaís. **Marinha do Brasil realiza reparos e modernização da frota naval brasileira: manutenção do navio-tanque Almirante Gastão Motta promete estender sua vida útil por mais 10 anos, reforçando a defesa brasileira**. Revista Sociedade Militar, 8 jul. 2024. Disponível em: <https://www.sociedademilitar.com.br/2024/07/marinha-do-brasil-realiza-reparos-da-frota-naval-brasileira-manutencao-do-navio-tanque-almirante-gastao-motta-promete-estender-sua-vida-util-por-mais-10-anos-reforcando-a-defesa-brasileira-thz.html>. Acesso em: 24 ago. 2025.

TACTICAL LIFE STAFF. **Navy Swaps Inactivation Dates for USS Dallas, USS Norfolk**. Athlon Outdoors, 2 jun. 2014. Disponível em: <https://athlonoutdoors.com/article/navy-swaps-inactivation-dates-uss-dallas-uss-norfolk/>. Acesso em: 21 ago. 2025

TELES, Bruno. **Em uma movimentação surpreendente, a Marinha do Brasil anunciou planos de desmobilizar 70 % de sua frota até 2028, visando uma profunda modernização diante da obsolescência e limitações orçamentárias**. Click Petróleo e Gás, 4 mai. 2024. Disponível em: <https://clickpetroleoeogas.com.br/em-uma-movimentacao-surpreendente-a-marinha-do-brasil-anunciou-planos-de-desmobilizar-70-de-sua-frota-ate-2028-visando-uma-profunda-modernizacao-diante-da-obsolencia-e-limitacoes-orcamentarias/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

THOMAS, Richard. **UK Type 23 frigate upkeep responsibility falls to Babcock**. Naval Technology, 25 abr. 2024. Disponível em: <https://www.naval->

technology.com/news/uk-type-23-frigate-upkeep-responsibility-falls-to-babcock/. Acesso em: 21 ago. 2025.

ULTRA. **Ultra successfully updates platform data system on Type 23 Royal Navy Frigates.** Ultra Group, 22 nov. 2021. Disponível em: <https://www.ultra.group/us/our-global-footprint/ultra-news/ultra-successfully-updates-platform-data-system-on-type-23-royal-navy-frigates/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

UOL. **Submarino argentino desaparecido há um ano é localizado.** UOL Notícias, 17 nov. 2018. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2018/11/17/submarino-argentino-desaparecido-ha-um-ano-e-encontrado.htm>. Acesso em: 21 ago. 2025.

VIDA MILITAR. **Fragatas Classe Tamandaré: um marco na modernização da Marinha do Brasil.** Brasília, DF, 23 abr. 2025. Disponível em: <https://vidamilitar.com.br/as-fragatas-classe-tamandare-um-marco-na-modernizacao-da-marinha-do-brasil>. Acesso em: 24 ago. 2025.

VIEIRA, Felipe Francisco. **Gestão proativa de obsolescência: uma abordagem capaz de estender o ciclo de vida de sistemas complexos em operação.** 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30141/1/Gest%c3%a3oProativaObsol%c3%aascencia.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

VILLARREAL, Candice. **Corona Lab Revolutionizes Material Cannibalization with eCANNAB Web Tool.** Naval Surface Warfare Center Corona Corporate Communications, 6 jul. 2021. Disponível em: <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article/2683571/corona-lab-revolutionizes-material-cannibalization-with-ecannab-web-tool/>. Acesso em: 21 ago. 2025

WILTGEN, Guilherme. **Ordem do Dia alusiva aos 40 anos de incorporação da Fragata União (F-45).** Defesa Aérea & Naval, 12 set. 2020. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/ordem-do-dia-alusiva-aos-40-anos-de-incorporacao-da-fragata-uniao-f-45>. Acesso em: 14 jul. 2025

WOLFE, Frank. **POGO Analysis Points To Possible Unavailability Of 63 Percent Of A-10s By 2023.** Defense Daily, 2021. Disponível em: <https://www.defensedaily.com/pogo-analysis-points-to-possible-unavailability-of-63-percent-of-a-10s-by-2023/air-force/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

YOUNG, Charles B. **The Importance of Obsolescence Mitigation on the U.S. Navy,** 2000. Disponível em: <https://smapcenter.uah.edu/smap-center/conferences/dsms2k/presentations/young.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ZONA MILITAR. **The life-extension and modernization work on the last Type 23 frigate of the Royal Navy has been completed.** Brasília, DF, 4 fev. 2025. Disponível em: <https://www.zona-militar.com/en/2025/02/04/the-life-extension-and->

modernization-work-on-the-last-type-23-frigate-of-the-royal-navy-has-been-completed/. Acesso em: 24 ago. 2025.

APÊNDICE A – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GO DOS MEIOS DE FORÇAS ARMADAS ESTRANGEIRAS

Tabela A-1 – Quadro comparativo da Gestão de Obsolescência de forças armadas estrangeiras

MEIO ANALISADO	CONTEXTO OPERACIONAL E LOGÍSTICO	ESTRATÉGIAS PROATIVAS DE GO	ESTRATÉGIAS REATIVAS DE GO	PRINCIPAIS DESAFIOS ENFRENTADOS	RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS
USS NIMITZ (CVN-68) – US NAVY	Porta-aviões nuclear (~50 anos). Alta prioridade estratégica; logística complexa; orçamento plurianual.	RCOH (Refueling And Complex Overhaul); PIAS (Planned Incremental Availabilities); SHIPALT; priorização por risco integrada ao PMP/GCV.	Canibalização pontual e substituições emergenciais entre janelas de doca; ajustes de integração.	Integração de novos sistemas sem perda de prontidão (tempo longo de modernização); coordenação de múltiplos fornecedores/estaleiros.	Disponibilidade operacional sustentada por décadas; demonstra valor de GO proativa, governança e planejamento de ciclo de vida.
SUBMARINOS CLASSE LOS ANGELES (SSN-688) - US NAVY	Frota nuclear em envelhecimento até transição para classe Virginia; necessidade de manter capacidade numérica de submarinos de ataque.	ARCI/APB (inserções tecnológicas modulares); planejamento em estaleiro (SHIPYARD P2P); OMIS (base de dados e gerenciamento); priorização por criticidade.	Canibalização de unidades em baixa; correções e adaptações de campo quando necessário.	Obsolescência de sensores; cadeia de suprimentos limitada; perda de mão de obra experiente.	Extensões de vida com disponibilidade adequada; combinação proativa+reativa mitigou lacunas até a substituição da classe.
ARA SAN JUAN (S-42) – ARMADA ARGENTINA	Submarino convencional; severas restrições orçamentárias; infraestrutura logística limitada.	Reforma de meia-vida (modernizações parciais) sem PGO e sem continuidade sistemática.	Improvisações técnicas; substituições não padronizadas.	Consumíveis vencidos; deficiências de manutenção e documentação; falta de sobressalentes críticos.	Risco operacional elevado culminando na tragédia; lição sobre riscos da ausência de GO estruturada.

(continua)

MEIO ANALISADO	CONTEXTO OPERACIONAL E LOGÍSTICO	ESTRATÉGIAS PROATIVAS DE GO	ESTRATÉGIAS REATIVAS DE GO	PRINCIPAIS DESAFIOS ENFRENTADOS	RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS
FRAGATAS TYPE 23 - ROYAL NAVY	Mais de 30 anos de uso (expectativa de projeto: 18 anos); ponte de transição para as Type 26/31; forte pressão de prazos e custos.	LIFEX (Life Extension Programme); modularidade; Sea Ceptor; radar Artisan 997; PGMU; planejamento padronizado de upgrades.	Reparos estruturais não previstos; canibalização limitada e remanejamento de recursos.	Corrosão/fadiga estrutural; extensas janelas de docagem; custos crescentes e restrições de fornecedores.	Vida útil estendida (30–35 anos); modularidade e padronização mostram melhor custo-benefício apesar de cronogramas extensos.
A-10 THUNDERBOLT II - USAF	Aeronave da década de 1970, (operativa há mais de 50 anos); demanda operacional elevada; disputa orçamentária; oferta escassa de peças.	HOG-UP (monitoramento/gestão estrutural de asas); modernização a-10c (aviônicos digitais); LTB; práticas DMSMS/LCC.	Canibalização controlada; engenharia reversa; ajustes em campo para manter disponibilidade.	Descontinuação de fabricantes; documentação incompleta; obsolescência de aviônicos/armas.	Em serviço há mais de 50 anos; decisões baseadas em risco e LCC; eficácia de go proativa e de estoques estratégicos (LTB).

(conclusão)

Fonte: elaboração própria

APÊNDICE B – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS GO DOS MEIOS NAVAIS DA MB

Tabela B-2 – Quadro comparativo da Gestão de Obsolescência de meios navais da MB

MEIO ANALISADO	CONTEXTO OPERACIONAL E LOGÍSTICO	ESTRATÉGIAS PROATIVAS DE GO	ESTRATÉGIAS REATIVAS DE GO	PRINCIPAIS DESAFIOS ENFRENTADOS	RESULTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS
FRAGATAS CLASSE NITERÓI - MB	Meios com mais de 40 anos; orçamento restrito; transição para as FCT.	MODFRAG (1998–2005); Projeto “ <i>Phoenix</i> ”; atualização de sensores/CMS; SMP como base de manutenção.	Manutenções corretivas pontuais e substituições emergenciais, sem um PGO estruturado.	Obsolescência de armamentos/sensores; perda de fornecedores; envelhecimento estrutural; restrições de recursos e pessoal especializado.	Extensão limitada da vida útil; evidencia a necessidade de PGO institucionalizado, ciclos menores de atualização e métricas de risco.
NT ALMIRANTE GASTÃO MOTTA - MB	Único Navio Tanque e crítico à Esquadra; revitalização recente (PMG) para prolongar emprego (possui mais de 30 anos de serviço).	PMG 2024/25 com foco na extensão da vida útil; integração da gestão de conhecimento EMGEPRON/AMRJ.	Manutenção corretiva e ajustes não planejados quando necessário; remanejamento de sobressalentes e canibalização.	Capacidade industrial e janelas de docagem; orçamento restrito; risco de indisponibilidade prolongada.	Disponibilidade recuperada após revitalização; reforça a importância da GO numa classe de navio único e sem substituto na MB.
FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ (FCT) – MB	Classe nova (2025–2029); foco em soberania e modularidade; orçamento dedicado ao ciclo de vida.	PGO pensado desde a concepção; arquitetura MEKO A-100 (modular/aberta); requisitos contratuais EOL/PCN; ALI/GCV integrados.	Ainda incipiente até a fase de operação; respostas reativas mitigadas por contrato, cadeia qualificada e estoques planejados.	Transferência de tecnologia (TOT); governança e dados de ciclo de vida; assegurar fornecedores/BID nacional.	Nova concepção de GO na MB; expectativa de menor LCC, maior disponibilidade e facilidade de upgrades ao longo do CV.

Fonte: elaboração própria