

# Sistemas Computacionais Aplicados À Gestão De Ciclo De Vida De Meios Navais

**Autoria:** C-ApA-IM-2024 – DGEPM – 30

## RESUMO

A aplicação de sistemas computacionais avançados à gestão do ciclo de vida facilita o monitoramento contínuo do desempenho técnico e logístico dos meios navais. Isso garante que os sistemas operacionais estejam sempre prontos para emprego e que o custo de operação e manutenção seja mantido dentro de limites aceitáveis. A Gestão do Ciclo de Vida (GCV) consolidou-se como uma metodologia vital para o gerenciamento de Sistemas de Defesa (SD), especialmente em setores estratégicos como os meios navais da Marinha do Brasil (MB). Essa abordagem compreende todas as fases, desde a concepção até o desfazimento, incluindo atividades de aquisição, operação e manutenção. No contexto da MB, permite uma administração precisa dos recursos e assegura a manutenção contínua da operacionalidade e disponibilidade das embarcações. A pesquisa explora a eficácia desses sistemas computacionais na gestão de meios navais estratégicos da MB, analisando sua contribuição para o planejamento e controle das atividades de manutenção ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Os resultados apontam que possuem potencial para aprimorar a gestão do ciclo de vida dos meios navais da MB. Os dados revelaram que esses sistemas computacionais são eficazes na manutenção preditiva e no controle de falhas. Outro ponto a ser destacado é a importância de um investimento contínuo em capacitação e na atualização dos sistemas para acompanhar a evolução tecnológica dos SD. As adaptações realizadas até o momento demonstraram resultados positivos na durabilidade e funcionalidade dos meios, mas reforçam a necessidade de um aprimoramento contínuo da GCV para garantir que a MB alcance sua independência tecnológica e operativa em longo prazo.

**Palavras-chave:** Sistemas Computacionais, Gestão de Ciclo De Vida, Apoio Logístico Integrado.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas computacionais aplicados à gestão do ciclo de vida de meios navais consistiram em plataformas tecnológicas voltadas para o monitoramento e controle de todas as fases da vida útil de ativos militares. Esse conceito abrangeu o uso de ferramentas de software que integraram dados operacionais, logísticos e de manutenção, oferecendo uma visão abrangente das condições dos meios e permitindo que decisões estratégicas fossem tomadas de maneira embasada e em tempo real. Walden (2023) considera que a aplicação desses sistemas possibilitou uma gestão mais eficaz de recursos, garantindo que as operações militares se mantivessem dentro dos limites de custo e disponibilidade, além de promover a automação de tarefas administrativas e técnicas, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e otimizando o suporte

Para Ozorio et al (2021), gestão do ciclo de vida dos sistemas navais, fundamentada em sistemas computacionais avançados, oferece uma abordagem essencial para otimizar a relação custo-efetividade, assegurando a máxima eficiência operacional. A introdução de sistemas de gerenciamento destaca-se como uma inovação crítica no suporte às fases de operação e apoio, ao interligar dados operacionais e logísticos em tempo real. Esses sistemas computacionais integram o ciclo de vida completo dos meios navais, desde a concepção e desenvolvimento até a manutenção e desativação, promovendo uma gestão inteligente e proativa.

O uso desses sistemas computacionais também possibilita uma análise detalhada do custo do ciclo de vida (CCV), o que é essencial para otimizar o investimento em tecnologia e manutenção. Com dados integrados sobre a performance técnica e os custos operacionais, a Marinha pode tomar decisões mais informadas sobre a viabilidade de prolongar a vida útil de determinados sistemas ou de investir em novas aquisições. Os sistemas computacionais oferecem a capacidade de simular diferentes cenários operacionais, permitindo que a gestão antecipe problemas potenciais e adote medidas preventivas de forma eficaz.

A Gestão do Ciclo de Vida (GCV) é uma abordagem essencial para a Marinha do Brasil (MB), cobrindo desde a concepção até o desfazimento, equilibrando custos e eficácia operacional. Essa metodologia permite à MB decidir de forma estratégica entre a construção ou aquisição de novos meios, com base na análise de custos e durabilidade dos equipamentos ao longo de seu ciclo de vida. A estruturação e a implementação dessa abordagem envolvem processos de aquisição, manutenção e gestão de riscos, promovidos pela Diretoria de Gestão de Programas da Marinha (DGePM), que busca integrar os sistemas e capacitar suas equipes, facilitando o atendimento às demandas operacionais e criando uma base de conhecimento sólido.

Quando da aplicação o desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento da Manutenção (SIGMAN) permitirá antecipar falhas por meio da manutenção preditiva, com o uso do Apoio Logístico Integrado (ALI) para facilitar o controle e a manutenção ao longo do tempo, aumentando a eficiência e disponibilidade operacional.

A pesquisa proposta visa investigar os potenciais impactos dos sistemas computacionais, como o SIGMAN e o Sistema de Informações Gerenciais do Abastecimento- Gestão do Ciclo de Vida dos Meios Navais (Singra-GCV), que atualmente estão em desenvolvimento pela Marinha do Brasil (MB). A temática principal é a eficiência operacional e a otimização de recursos, investigando como

esses sistemas, ainda em produção, poderão contribuir para o planejamento e o controle das atividades de manutenção ao longo do ciclo de vida dos meios navais. A análise propõe uma observação prospectiva sobre a funcionalidade desses sistemas e antecipa os possíveis efeitos sobre a operacionalidade, a redução de custos e o aumento da durabilidade dos equipamentos, uma vez que sejam plenamente implementados e integrados nas operações da MB.

A problematização desta pesquisa situa-se na necessidade de avaliação crítica da implementação dos sistemas computacionais que a acompanham, questionando se, de fato, promovem a eficiência e a redução de custos almejadas pela MB. A problemática envolve a identificação dos fatores que influenciam a eficácia desses sistemas e como suas limitações ou pontos fortes interferem na operacionalidade dos meios navais. Dessa forma, observa-se que uma análise minuciosa da interação é essencial para determinar o sucesso da gestão do ciclo de vida no ambiente naval.

O problema central reside na adequação e funcionalidade dos sistemas SIGMAN e Singra-GCV para atender às demandas operacionais e logísticas da MB, considerando os desafios impostos pelas especificidades dos SD. A caracterização do problema enfatiza a complexidade da integração de sistemas e a necessidade de manutenção eficaz em tempo real.

As hipóteses levantadas partem da premissa de que a integração de sistemas ao longo do ciclo de vida das embarcações potencializa a eficiência no uso dos recursos e aumenta a durabilidade dos meios. Espera-se que esses sistemas computacionais proporcionem um controle aprimorado das atividades de manutenção, contribuindo para uma gestão de recursos mais eficaz. Outra premissa é que, por meio desses sistemas, a MB consegue mitigar riscos de obsolescência.

O objetivo principal desta pesquisa é investigar a eficácia de sistemas na gestão dos meios navais da MB, avaliando os impactos desses sistemas na operacionalidade e na economia de recursos. Especificamente, busca-se compreender como esses sistemas influenciam o planejamento e controle das manutenções e a redução dos custos associados ao ciclo de vida das embarcações.

Os procedimentos metodológicos adotados consistiram em uma pesquisa exploratória de caráter bibliográfico, com abordagem qualitativa e método dedutivo. A análise de documentos oficiais, relatórios técnicos da MB e bases de dados especializadas foram essenciais para a coleta de informações. Os critérios de inclusão contemplaram dados relativos a sistemas de defesa e metodologias de gestão de ciclo

de vida em países com contextos similares. Para a análise dos dados, utilizou-se a análise comparativa, visando identificar práticas internacionais que pudessem complementar a abordagem.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

De acordo com Vergara (2016), o referencial teórico serve para mapear uma área de estudo, incluindo uma análise profunda das pesquisas já realizadas sobre o tema e com um foco na questão específica sendo investigada. Tal abordagem demanda uma revisão cuidadosa da literatura existente, abarcando teorias e seus desenvolvimentos, bem como estudos que fornecem suporte fundamental para a nova pesquisa.

Assim, os conceitos chave como Gestão do Ciclo de Vida, Sistema Computacional, Apoio Logístico Integrado e Custo do Ciclo de Vida serão esclarecidos. Estes conceitos formam a base teórica que guia o estudo em questão, oferecendo um pano de fundo crítico para a investigação atual.

### **2.1 Gestão do Ciclo de Vida**

A gestão do ciclo de vida (GCV) é um conceito essencial aplicado ao gerenciamento de sistemas de defesa e outros ativos complexos, abrangendo todas as fases de existência de um sistema – da concepção e desenvolvimento até sua operação, manutenção e eventual descarte. Segundo Moura (2020), a GCV possibilita que uma organização maximize a eficiência e a eficácia de seus sistemas ao longo do tempo, garantindo que cada fase do ciclo de vida contribua para os objetivos estratégicos de maneira coordenada e sustentável.

Essa abordagem, de acordo com Souza (2022), exige uma visão holística que conecta as etapas iniciais do projeto ao seu fim de vida útil, possibilitando ajustes e tomadas de decisão informadas ao longo do processo. A GCV torna-se, portanto, fundamental para planejar, avaliar e ajustar o desempenho de sistemas de defesa, especialmente na Marinha do Brasil, onde essa prática ajuda a sustentar a prontidão e a disponibilidade operacionais dos meios navais e aeronavais.

Como explica Santos (2019), a GCV também incorpora o Apoio Logístico Integrado (ALI), uma metodologia que visa garantir a manutenção e o suporte contínuo

do sistema, maximizando a disponibilidade dos meios com o mínimo de interrupções. Nesse sentido, a gestão do ciclo de vida não é apenas uma técnica de controle de custos, mas uma estrutura robusta de gestão que assegura que todos os elementos necessários ao longo da vida útil do ativo – como logística, treinamento e suporte técnico – estejam devidamente planejados e alinhados com os objetivos estratégicos. O Modelo OTAN de GCV, que é adotado pela MB, traz padrões internacionais para integrar práticas de apoio logístico e assegurar que o ciclo de vida dos sistemas esteja em consonância com requisitos de sustentabilidade e de performance operacional.

Além disso, Kambanou (2020) destaca que a gestão do ciclo de vida está cada vez mais associada à sustentabilidade e ao gerenciamento responsável dos recursos. No contexto do Life Cycle Management (LCM), a GCV expande sua atuação para minimizar o impacto ambiental e promover a eficiência de recursos. Sob essa perspectiva, a GCV não apenas mantém o foco na eficiência operacional, mas também busca maximizar o valor ambiental e social dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida, desde a fabricação e operação até o descarte.

Em resumo, a gestão do ciclo de vida envolve um conjunto coordenado de atividades que, segundo diversos autores, visam manter os ativos em condições operacionais ideais, integrando aspectos logísticos, operacionais e ambientais. Essa abordagem completa garante que cada fase do ciclo de vida seja executada de forma a maximizar o desempenho, minimizar os custos e promover a sustentabilidade, alinhando-se com os objetivos estratégicos e operacionais da organização.

## **2.2 Sistema Computacional**

A engenharia de sistemas aplicada ao desenvolvimento de meios náuticos, como navios de guerra, propõe uma abordagem multidisciplinar e estruturada, fundamental para a integração precisa dos componentes que compõem esses sistemas complexos. Blanchard (2022) destaca que o modelo em V, amplamente utilizado em projetos de engenharia, favorece a decomposição e subsequente integração de sistemas, garantindo que as especificações técnicas e operacionais sejam rigorosamente cumpridas ao longo de todas as fases do projeto. Essa abordagem assegura que o design dos navios atenda às expectativas funcionais e técnicas, permitindo que cada sistema envolvido opere em conformidade com as exigências impostas.

A verificação e validação contínuas ao longo do ciclo de vida dos sistemas surgem como elementos cruciais para garantir que o projeto se mantenha fiel às expectativas e aos padrões estipulados. Blanchard (2022) observa que a implementação de métricas de desempenho é essencial para monitorar o progresso, identificar ajustes necessários e assegurar a eficiência do sistema final. A incorporação dessas métricas proporciona uma visão detalhada do funcionamento do sistema, promovendo ajustes eficazes que mantêm o desempenho robusto ao longo do tempo, indispensável para a eficácia de meios navais.

No contexto da engenharia de sistemas, a metodologia adotada proporciona uma estrutura metódica para assegurar que os sistemas desenvolvidos atendam aos requisitos operacionais e técnicos. Conforme Brown (2013), essa abordagem facilita a tradução dos requisitos em soluções tecnicamente viáveis, promovendo a integração de componentes diversos, especialmente em sistemas como os navios de guerra, cuja complexidade demanda coordenação rigorosa desde o início. Assim, a metodologia do modelo em V permite uma análise abrangente, na qual o lado esquerdo do modelo aborda a decomposição dos requisitos, enquanto o direito foca na integração e verificação dos elementos, assegurando que o design permaneça coerente.

O Quadro 02 traz algumas das normas que visam mitigar os riscos quando da aplicação prática:

Quadro 01: Normas

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
<b>NBR ISO 15288</b>	Sistemas e Engenharia de Software – Processos do ciclo de vida do sistema	Define os processos e atividades aplicados em todas as fases do ciclo de vida de sistemas navais, desde o desenvolvimento até a desativação.
<b>ISO/IEC 12207</b>	Engenharia de software – Processos do ciclo de vida de software	Utilizada para padronizar o ciclo de vida do software embarcado em sistemas navais, garantindo eficiência e qualidade em cada fase.
<b>NBR ISO 55000</b>	Gestão de ativos – Princípios e terminologia	Aplicada à gestão dos ativos navais, permitindo o controle eficaz de manutenção, aquisição e descarte de equipamentos navais.
<b>ISO/IEC 27001</b>	Tecnologia da Informação – Segurança da informação – Sistemas de Gestão de Segurança da Informação	Implementada para garantir a segurança dos sistemas de gestão de ciclo de vida de meios navais, protegendo dados sensíveis e operacionais.
<b>ISO 31000</b>	Gestão de riscos – Princípios e diretrizes	Usada para identificar, avaliar e mitigar riscos em todas as etapas de desenvolvimento e operação de sistemas navais.

<b>ISO 9001</b>	Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos	Aplicada para assegurar a qualidade dos processos de desenvolvimento de software e hardware para sistemas navais, garantindo confiabilidade.
<b>ISO/IEC 15288</b>	Engenharia de sistemas – Processos do ciclo de vida do sistema	Garante a integração eficiente de sistemas complexos e o gerenciamento do ciclo de vida de sistemas navais, incluindo operação e manutenção.
<b>ISO 14001</b>	Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso	Utilizada para gerenciar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de sistemas navais, como o descarte de materiais e eficiência energética.
<b>ISO 22301</b>	Segurança e resiliência – Sistemas de gestão de continuidade de negócios	Aplicada para assegurar a continuidade de operações navais em caso de incidentes ou desastres, garantindo a resiliência dos sistemas.
<b>ISO 45001</b>	Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional – Requisitos	Utilizada para garantir a saúde e segurança dos operadores e técnicos que gerenciam os sistemas navais ao longo de seu ciclo de vida.
<b>NBR ISO 19770</b>	Gestão de ativos de software	Aplicada à gestão de ativos de software, incluindo licenciamento e otimização de uso em sistemas navais, garantindo conformidade legal e eficiência.
<b>ISO/IEC 25010</b>	Sistemas e engenharia de software – Modelos de qualidade	Utilizada para garantir que os sistemas computacionais navais atendam aos padrões de qualidade em aspectos como confiabilidade, usabilidade e segurança.
<b>ISO/IEC 15504 (SPICE)</b>	Avaliação de processo de software	Utilizada para avaliar a maturidade dos processos de desenvolvimento de software naval, promovendo melhorias contínuas nos processos de software embarcados.
<b>ISO 50001</b>	Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos	Aplicada para melhorar a eficiência energética de sistemas navais, otimizando o uso de energia em operações e equipamentos.
<b>ISO 14224</b>	Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos	Utilizada para padronizar e otimizar a coleta de dados de manutenção e confiabilidade dos sistemas navais, garantindo melhores práticas no ciclo de vida.
<b>ISO/IEC 38500</b>	Governança corporativa de tecnologia da informação	Aplicada para assegurar a governança efetiva dos sistemas de TI em meios navais, promovendo o alinhamento estratégico com os objetivos operacionais e de defesa.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2024)

A metodologia que complementa a V é a espiral de design, ela enfrenta desafios significativos nas fases iniciais do projeto, especialmente no que se refere à identificação precisa dos requisitos. Santos (2021) enfatiza a importância de uma compreensão aprofundada das necessidades do design antes da proposição de soluções. A natureza complexa dos sistemas navais demanda que a formulação de requisitos seja vista como um processo dinâmico, promovendo a colaboração constante entre engenheiros e stakeholders para assegurar que as soluções oferecidas respondam adequadamente às demandas logísticas e operacionais.

A metodologia espiral, embora vantajosa, enfrenta críticas por não proporcionar um processo adequado de definição de requisitos iniciais, segundo Babbitt (2022). Este autor sugere que a abordagem, ao focar nas iterações de desenvolvimento, pode negligenciar uma análise aprofundada dos problemas iniciais. Essa falta de clareza na formulação dos requisitos pode resultar em soluções subótimas, limitando a capacidade de adaptação do sistema às necessidades específicas do ambiente operacional. Portanto, uma abordagem que contemple uma elucidação inicial dos requisitos se faz necessária para enfrentar os desafios impostos pela complexidade dos sistemas navais.

A integração do modelo V com a espiral de design constitui uma solução metodológica vantajosa para o desenvolvimento de sistemas complexos. Andrews (2022) ressalta que o modelo V, ao permitir o desenvolvimento de processos paralelos, proporciona uma análise detalhada e sinérgica dos componentes, promovendo uma interação eficaz entre os subsistemas. Essa metodologia é particularmente útil na fase de elaboração de soluções técnicas, uma vez que facilita a análise das especificações definidas, promovendo uma abordagem estruturada.

A evolução dos processos de design, simbolizada pela espiral, promove uma dinâmica que aprimora a concepção de navios de guerra, como argumenta Brown (2008). Este autor observa que a espiral permite a convergência entre as necessidades operacionais e as especificações técnicas, sintetizando os requisitos funcionais em soluções práticas e tecnológicas. A integração de ferramentas computacionais auxilia na tomada de decisões ao longo do processo, consolidando o design do navio em consonância com as demandas operacionais.

### **2.3 Apoio Logístico Integrado**

O conceito de Apoio Logístico Integrado (ALI), conforme Galvão (2018), tem sua eficácia em reduzir custos e otimizar o suporte ao longo do ciclo de vida dos sistemas levou à sua adoção em setores comerciais. Esse conceito integra a logística desde o planejamento até a desmobilização, promovendo uma visão de manutenção como processo contínuo e essencial para assegurar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Em vez de realizar apenas intervenções corretivas, o ALI, segundo Galvão (2018), prioriza uma manutenção planejada e preventiva, visando manter os equipamentos em condições ideais e reduzir a incidência de falhas.

Dornier et al. (2000) destacam que a logística integrada evoluiu em etapas, iniciando com a gestão de distribuição e ampliando-se para englobar toda a cadeia de suprimentos. Esse desenvolvimento, de acordo com os autores, inclui processos interdependentes, como distribuição, armazenamento e processamento de pedidos, e reforça a necessidade de coordenação entre setores e organizações. Dessa forma, Dornier et al. (2000) argumentam que a logística integrada permite uma gestão mais eficiente tanto internamente quanto na relação com parceiros e fornecedores.

No que diz respeito aos modelos de manutenção, Galvão (2018) menciona a diversidade de abordagens aplicadas. A manutenção preventiva e a manutenção preditiva, conforme o autor, são práticas voltadas para a antecipação de falhas, garantindo que os equipamentos funcionem idealmente ao longo do tempo. Já a manutenção corretiva, realizada após a ocorrência de falhas, e a manutenção proativa, que busca melhorar o desempenho dos sistemas antes mesmo de surgirem problemas, complementam esse quadro de práticas integradas no ALI.

Outro ponto central apresentado por Galvão (2018) é o uso da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) junto com a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA). Essa metodologia, de acordo com o autor, tem sido amplamente adotada em setores industriais e de defesa para identificar possíveis modos de falha e seus impactos nos sistemas. O FMEA, como expõe Galvão (2018), é um método que organiza ações corretivas de forma a priorizar os riscos mais significativos, assegurando que o sistema opere com alta confiabilidade, de acordo com a importância de cada componente ou processo.

Por fim, o ALI enfatiza, a relevância de elementos como confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade para uma gestão de manutenção eficaz. Confiabilidade, refere-se à probabilidade de que o sistema funcione corretamente em um período específico. A disponibilidade mede o tempo em que o sistema está apto para uso, e a manutenibilidade indica a facilidade com que se pode manter ou restaurar a operação do sistema. Esses elementos, segundo Galvão (2018), são fundamentais no ALI para sustentar a eficiência e o custo-benefício da logística integrada, garantindo que os sistemas estejam prontos para atender à demanda com segurança e estabilidade.

## 2.4 Custo do Ciclo de Vida

O Custo do Ciclo de Vida (CCV) compreende todos os custos desde a aquisição até o descarte de um sistema ou ativo, sendo essencial para decisões estratégicas, especialmente em contextos de alta complexidade operacional e restrições orçamentárias, como ocorre em sistemas de defesa e grandes indústrias. Conforme Brick e Borges (2004), a consideração de todos os custos ao longo do ciclo de vida de um ativo permite decisões mais precisas e alinhadas com os objetivos de eficiência financeira e sustentação dos ativos ao longo do tempo.

Para analisar o CCV de forma detalhada, utiliza-se a Estrutura de Desdobramento de Custos (CBS), uma metodologia que organiza hierarquicamente os elementos de custo em cada fase do ciclo de vida. Segundo Brick e Borges (2004), essa estrutura facilita a criação de bases de dados consistentes, essenciais para apoiar decisões estratégicas e realizar comparações entre diferentes sistemas, o que permite uma análise mais estruturada e completa.

Em setores que exigem alta confiabilidade, como o de aeronaves militares, a previsão de custos é desafiadora devido à escassez de dados históricos confiáveis. De acordo com Figueiredo-Pinto e Abrahão (2018), essa limitação pode ser superada pelo uso de modelos prospectivos de CCV, que utilizam simulações e modelagens baseadas na confiabilidade e manutenibilidade para prever os custos do ciclo de vida. Esses modelos são especialmente úteis para sistemas novos ou em fases iniciais, onde faltam dados robustos.

A análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM) também desempenha um papel crucial em setores que demandam grandes investimentos em capital, como a mineração. Como argumenta Moreira Neto (2018), a RAM não só permite a estimativa dos custos ao longo do ciclo de vida dos ativos, mas também ajuda a identificar o momento mais econômico para substituir equipamentos, prevenindo os custos elevados associados a falhas corretivas.

Além disso, a Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) aplicada em sistemas de manutenção oferece uma visão econômica estratégica dos ativos. Segundo Spader (2019), a LCCA permite criar fluxos de caixa que refletem de maneira realista as necessidades de cada ativo, proporcionando aos gestores uma base mais sólida para decidir sobre o momento ideal para substituição e investimentos, o que favorece uma gestão mais eficiente e econômica.

Esses fundamentos teóricos indicam como o CCV e as metodologias associadas, como a CBS e a RAM, contribuem para a otimização de custos e a extensão da vida útil dos ativos em setores complexos e com alta demanda, fornecendo uma visão estruturada e prática para a tomada de decisões em longo prazo.

### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia desta pesquisa é baseada em uma abordagem exploratória qualitativa, direcionada para investigar a eficácia de sistemas computacionais na gestão do ciclo de vida de meios navais, com ênfase nos sistemas SIGMAN e Singra-GCV. O caráter exploratório da pesquisa justifica-se pela necessidade de aprofundamento nos impactos operacionais e econômicos que tais sistemas representam para a Marinha do Brasil (MB). Para cumprir esse objetivo, adotou-se um método dedutivo, que possibilita partir de princípios amplamente estabelecidos sobre gestão de ciclo de vida e sistemas computacionais e aplicá-los ao contexto específico da MB, facilitando a análise sobre a viabilidade e os desafios da implementação desses sistemas.

A coleta de dados foi realizada com base em documentos oficiais da MB, incluindo relatórios técnicos e registros de atividades relacionadas aos sistemas de gestão do ciclo de vida dos meios navais. Paralelamente, foi conduzida uma revisão bibliográfica aprofundada em bases acadêmicas, especialmente focada no modelo OTAN de Gestão do Ciclo de Vida e em metodologias de apoio logístico aplicadas no setor de defesa. A seleção de fontes considerou a pertinência e aplicabilidade ao cenário brasileiro, com ênfase em países que compartilham desafios similares, o que permitiu a construção de uma base de conhecimento robusta sobre práticas internacionais e sua adaptação ao contexto da MB.

Para a análise dos dados, foi empregada a técnica de análise comparativa, visando identificar tanto os pontos fortes quanto as limitações dos sistemas computacionais estudados. A metodologia comparativa permitiu a avaliação das práticas adotadas pela MB frente a estratégias consolidadas por organizações de outros países, notadamente no âmbito da OTAN. Entre os procedimentos adotados para a análise criteriosa dos sistemas SIGMAN e Singra-GCV, incluiu-se a análise documental, que consistiu na leitura e categorização dos documentos coletados para

extrair informações-chave e identificar padrões relevantes para a gestão de ciclo de vida dos meios navais.

Adicionalmente, foram estudados casos específicos de aplicação dos sistemas em unidades navais, permitindo uma compreensão mais detalhada de como as metodologias impactam a funcionalidade operacional e os custos ao longo do ciclo de vida. A interpretação dos dados técnicos foi essencial para capturar as nuances dos custos e do desempenho operacional dos sistemas, facilitando a identificação de tendências e destacando as adaptações necessárias para maximizar o retorno sobre os investimentos tecnológicos.

A escolha da metodologia qualitativa e exploratória, fundamentada em análise dedutiva, responde à complexidade do tema e à natureza dos dados acessíveis. Essa abordagem permitiu uma avaliação criteriosa das potencialidades dos sistemas em termos de gestão de ciclo de vida, destacando os desafios operacionais, as limitações e as adaptações requeridas para o contexto da MB. A pesquisa, contudo, reconhece suas limitações, uma vez que a análise se fundamenta exclusivamente em dados documentais e em informações secundárias, sem a possibilidade de realizar experimentos controlados ou um acompanhamento em tempo real das operações. Para estudos futuros, recomenda-se a implementação de um acompanhamento longitudinal dos sistemas, visando quantificar os impactos ao longo do tempo e potencializar a validade dos resultados

#### **4 ANÁLISE DE DADOS: POTENCIAL DOS SISTEMAS SIGMAN E SINGRA-GCV**

A análise dos dados disponíveis se baseia no potencial projetado dos sistemas SIGMAN e SINGRA-GCV, que, embora ainda em fase de desenvolvimento, demonstram-se promissores para atender às demandas operacionais e logísticas da Marinha do Brasil. Tendo em vista que esses sistemas não foram implementados até o momento, a análise busca responder aos objetivos e hipóteses do estudo com base nas funcionalidades e benefícios previstos.

#### **4.1 Projeção de Eficiência na Gestão de Recursos e Redução de Custos Operacionais**

O primeiro objetivo desta pesquisa é investigar a capacidade dos sistemas SIGMAN e SINGRA-GCV de otimizar recursos e reduzir custos operacionais no ciclo de vida das embarcações. A previsão é que o SINGRA-GCV, ao centralizar e integrar informações logísticas, permita à MB um controle mais eficiente de suprimentos e materiais de manutenção, reduzindo a possibilidade de falta de recursos essenciais e prevenindo falhas operacionais por desabastecimento. Com o SINGRA-GCV, espera-se que a MB possa acompanhar, em tempo real, o status dos materiais críticos para o funcionamento dos meios navais, o que tende a facilitar o planejamento logístico e minimizar custos com emergências ou desperdícios.

Para potencializar esses benefícios, a integração do Apoio Logístico Integrado (ALI) ao SINGRA-GCV surge como uma solução estratégica. O ALI, ao incorporar de maneira coordenada todas as áreas logísticas, desde o planejamento até a execução das operações de manutenção, permitirá que o SINGRA-GCV opere em um ambiente de dados mais consolidado e abrangente. Dessa forma, a previsão é que o ALI forneça uma visão completa de cada ativo, garantindo que a Marinha do Brasil possa coordenar suas atividades de abastecimento, transporte e manutenção em um fluxo contínuo e previsível. Essa integração, por sua vez, otimiza o uso de recursos e contribui diretamente para a eficiência e sustentabilidade logística da MB.

O SIGMAN, por sua vez, projeta uma funcionalidade robusta para manutenção preditiva e controle das atividades de manutenção. A expectativa é que, ao permitir o monitoramento contínuo das condições dos ativos, o SIGMAN possibilite intervenções programadas e preditivas, o que, no longo prazo, pode reduzir os custos associados a falhas inesperadas e melhorar a disponibilidade operacional dos meios navais. Embora ainda em desenvolvimento, o potencial do SIGMAN para reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos e manter uma manutenção em conformidade com os cronogramas projetados é uma das grandes promessas para a economia de recursos da MB.

## **4.2 Potencialização da Durabilidade e Eficiência Operacional dos Meios Navais**

A segunda hipótese da pesquisa considera que, ao serem implementados, os sistemas SIGMAN e SINGRA-GCV poderiam aumentar a durabilidade dos meios navais, além de potencializar a eficiência dos recursos. A expectativa é que a integração dos dados operacionais, logísticos e de manutenção por meio desses sistemas proporcione à MB uma visão holística do ciclo de vida dos seus ativos. O SIGMAN deve permitir que a MB realize manutenções preditivas de forma mais eficaz, evitando desgastes desnecessários e prolongando a vida útil dos equipamentos ao intervir antes que falhas críticas ocorram. Já o SINGRA-GCV pode contribuir para a durabilidade ao permitir um gerenciamento otimizado dos suprimentos, evitando a deterioração de peças por falta de uso ou por armazenamento ineficiente.

O Apoio Logístico Integrado adiciona valor a esses processos ao garantir que todas as atividades de manutenção e abastecimento estejam coordenadas e operem em sinergia. Com o ALI, cada etapa do ciclo de vida dos ativos pode ser acompanhada em uma linha contínua de suporte, o que fortalece a durabilidade e garante que os meios navais mantenham sua operacionalidade ideal com menor incidência de falhas. Assim, a sinergia entre o ALI, SIGMAN e SINGRA-GCV maximiza a eficiência operacional, permitindo que a Marinha atinja um alto grau de disponibilidade dos seus ativos e uma gestão otimizada dos recursos.

## **4.3 Mitigação de Riscos de Obsolescência e Aperfeiçoamento da Operacionalidade**

Uma das premissas da pesquisa é que os sistemas SIGMAN e SINGRA-GCV ajudarão a Marinha a mitigar riscos de obsolescência ao longo do ciclo de vida dos meios navais, uma vez que ambos proporcionam uma visão integrada e atualizada das condições dos ativos. A previsão é que o acompanhamento contínuo e a centralização de dados técnicos e logísticos forneçam à MB uma base mais sólida para decisões estratégicas sobre atualizações ou substituições de componentes, antes que se tornem obsoletos. Esse controle deve permitir à MB se antecipar em relação a necessidades de modernização, promovendo uma gestão proativa dos meios navais e garantindo que os ativos permaneçam funcionais e alinhados às

exigências operacionais.

O Apoio Logístico Integrado também desempenha um papel importante na mitigação da obsolescência, pois permite que a MB antecipe necessidades futuras e planeje atualizações de forma coordenada com a cadeia de suprimentos e com os cronogramas de manutenção. Com o ALI, é possível que as ações de modernização e substituição de componentes sejam sincronizadas com os ciclos de manutenção, evitando a redundância de intervenções e promovendo a continuidade operacional dos meios navais com maior eficiência.

#### **4.4 Conclusão e Expectativas sobre os Impactos dos Sistemas**

A análise sobre o desenvolvimento dos sistemas SIGMAN e SINGRA-GCV revela um alto potencial para transformar a gestão de ciclo de vida dos meios navais da Marinha do Brasil, caso sejam implementados conforme suas propostas funcionais. Embora os sistemas ainda estejam em produção e não estejam operacionais, as funcionalidades projetadas apontam para uma capacidade significativa de redução de custos, aumento de durabilidade dos ativos e mitigação dos riscos de obsolescência. Esses sistemas prometem fornecer à MB uma base de dados confiável e em tempo real, alinhada aos objetivos estratégicos de assegurar a prontidão operacional e a sustentabilidade econômica das operações navais.

Se implementados conforme planejado, o SIGMAN e o SINGRA-GCV deverão atender aos objetivos de eficiência e segurança logística, oferecendo uma infraestrutura tecnológica robusta que permitirá à MB gerenciar seus meios navais com precisão e confiabilidade. O Apoio Logístico Integrado fortalecerá ainda mais essa infraestrutura, unindo todas as operações de logística e manutenção em uma rede coordenada, facilitando a disponibilidade e a durabilidade dos ativos. Essa expectativa reforça o compromisso da Marinha com a modernização de suas práticas e com a adoção de tecnologias avançadas para otimizar seus processos logísticos e de manutenção.

#### **4.5 Comparação dos Sistemas de Gestão de Ciclo de Vida: SINGRA-GCV e SIGMAN versus ShipManager da Maersk**

A implementação de sistemas de gestão de ciclo de vida (GCV) para ativos

navais apresenta vantagens operacionais e financeiras significativas, especialmente em termos de manutenção preditiva, gestão logística e otimização de recursos. Este estudo compara o potencial dos sistemas SINGRA-GCV e SIGMAN, em desenvolvimento pela Marinha do Brasil, com o sistema ShipManager, utilizado pela empresa de transporte marítimo Maersk, para destacar os benefícios de uma gestão integrada de ativos e seus impactos no ciclo de vida de frotas navais e comerciais.

Antes da adoção de sistemas como o ShipManager na Maersk, as operações de manutenção e abastecimento eram frequentemente descentralizadas e menos eficientes. Na Maersk, a ausência de um sistema integrado resultava em maior consumo de combustível, custos logísticos elevados e dificuldade em prever falhas de componentes essenciais. Com uma operação global, essa falta de integração gerava atrasos e aumentava o risco de interrupções operacionais, o que pressionava a empresa a buscar soluções digitais para otimizar a eficiência e reduzir custos.

A implementação do ShipManager proporcionou à Maersk uma série de vantagens operacionais, incluindo a centralização das informações de manutenção e a gestão de inventário em tempo real. O sistema permite monitoramento contínuo dos ativos por meio de sensores IoT (Internet das Coisas), o que possibilita a manutenção preditiva e reduz o tempo de inatividade não planejado. Além disso, a Maersk pôde melhorar sua eficiência energética, monitorando o consumo de combustível e ajustando as operações para alcançar maior sustentabilidade, um fator crucial para cumprir regulamentações ambientais e metas corporativas.

Os sistemas SINGRA-GCV e SIGMAN, ainda em desenvolvimento pela Marinha do Brasil, têm o potencial de proporcionar benefícios similares. O SINGRA-GCV centralizará a gestão de suprimentos e logística, permitindo à Marinha monitorar o estoque de materiais críticos e otimizar a cadeia de abastecimento. Esse sistema deve reduzir os custos operacionais e o desperdício, promovendo uma operação mais econômica e sustentável.

O SIGMAN, por sua vez, visa implementar a manutenção preditiva, semelhante ao ShipManager, o que permitirá intervenções planejadas antes que ocorram falhas graves. Com o SIGMAN, a Marinha espera aumentar a confiabilidade dos meios navais e diminuir os custos associados a reparos emergenciais, elevando a disponibilidade operacional das embarcações.

A experiência da Maersk com o ShipManager sugere que a Marinha do Brasil poderá observar benefícios semelhantes ao implementar plenamente o SINGRA-GCV

e o SIGMAN. Espera-se que esses sistemas ofereçam uma infraestrutura robusta para gestão de ativos, possibilitando que a Marinha minimize falhas inesperadas e reduza os custos de operação. Além disso, a integração com o Apoio Logístico Integrado (ALI) permitirá à Marinha um controle ainda maior sobre a vida útil dos meios navais, antecipando necessidades de manutenção e ajustando o uso dos recursos conforme as demandas operacionais.

Portanto, esses sistemas representam uma evolução significativa para a Marinha, que poderá garantir maior disponibilidade e durabilidade dos seus ativos, alinhando-se às melhores práticas internacionais de gestão de ciclo de vida. A implementação do SINGRA-GCV e SIGMAN, assim como o ShipManager na Maersk, reflete a importância de uma infraestrutura tecnológica avançada para o gerenciamento eficiente e sustentável dos ativos navais, essencial para assegurar o sucesso operacional a longo prazo.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A aplicação de sistemas computacionais na gestão do ciclo de vida dos meios navais transforma a condução de operações logísticas e de manutenção, permitindo uma gestão integrada de dados operacionais, logísticos e financeiros. Essa integração possibilita uma administração mais eficiente dos recursos, assegurando que os meios estejam prontos para uso ao menor custo. Com isso, a Marinha aprimora a relação custo-benefício de seus ativos e mantém a continuidade operacional, alinhando-se às demandas estratégicas com maior eficácia.

A modernização do design naval, por sua vez, exige a adoção de novas tecnologias e uma abordagem holística desde a definição dos requisitos até a modularidade dos sistemas. A integração de ferramentas tecnológicas avançadas e a consideração de todos os aspectos do ciclo de vida do design maximizam a eficiência e a funcionalidade de embarcações militares. Essa abordagem, combina elementos técnicos e gerenciais para assegurar que os sistemas estejam continuamente disponíveis, minimizando custos de manutenção e suporte.

Outro aspecto relevante envolve a gestão da obsolescência, essencial para manter os sistemas operacionais eficientes em um contexto de avanços tecnológicos constantes. A integração de TI facilita a coordenação entre equipes de manutenção, promovendo uma resposta ágil às necessidades operacionais. Contudo, desafios

permanecem, especialmente na integração de novas tecnologias em sistemas legados e na adaptação de modelos internacionais para contextos locais, sugerindo que futuras pesquisas explorem o impacto da inteligência para potencializar a disponibilidade e reduzir os custos associados aos sistemas navais.

Os sistemas informatizados de apoio logístico da MB representam uma infraestrutura essencial para a gestão eficaz dos recursos e a manutenção da disponibilidade operacional dos meios navais. A capacidade de integrar diferentes áreas da logística, como Suprimento, Manutenção e Transporte, assegura que as operações sejam conduzidas de maneira econômica e eficaz, além de garantir que a MB esteja em prontidão a qualquer cenário operacional

Por fim um ponto a ser destacado é a importância de um investimento contínuo em capacitação e na atualização dos sistemas para acompanhar a evolução tecnológica. As adaptações realizadas até o momento demonstraram resultados positivos na durabilidade e funcionalidade dos meios, mas reforçam a necessidade de um aprimoramento contínuo da GCV para garantir que a MB alcance sua independência tecnológica e operativa em longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWS, D. The sophistication of early-stage design for complex vessels. **Trans RINA Parte A Int. J. Marit. Eng.**, v. 160, 2018.

ANDREWS, D. Simulation and the design building block approach in the design of ships and other complex systems. **Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.**, v. 462, p. 3407-3433, 2006.

ANDREWS, D. A comprehensive methodology for the design of ship(and other complex systems). **Proc. R. Soc. A**, v. 454, p. 187-211, 1998.

BABBITT, G. T. **An historical review of the integrated logistic support charter**. Fort Belvoir-VA: Defense Systems Management School, 2022.

BLANCHARD, B. S. **Logistics engineering and management**. 6. ed. Harlow: Pearson, 2022.

BLANCHARD, B. S.; BLYLER, J. E. **System engineering management**. 5. ed. New Jersey: Wiley, 2022.

BRASIL. **Gestão do ciclo de vida** uma abordagem estratégica para a Marinha do Brasil. Agência Marinha de Notícias, 2024.

BROWN, A. J. **Application of operational effectiveness models in the exploration and design of naval ship concepts**. Ship Science & Technology, v. 7, p. 9-21, 2013.

BROWN, A. J.; SALCEDO, J. **Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design**. Nav. Eng. J., v. 115, p. 49-62, 2008.

BRICK, E. S.; Borges, R. C. **Uma estrutura geral de desdobramento de custos para o cálculo do custo de vida útil de sistemas**. Niterói, UFF, 2004

DNV. **Maersk Line switches to DNV GL's ShipManager software**. Disponível em: <https://www.dnv.com/news/maersk-line-switches-to-dnv-gl-s-shipmanager-software-8113/>. Acesso em: 4 nov. 2024

DNV. **Maersk Line towards greater transparency and efficiency in ship management**. Disponível em: <https://www.dnv.com/article/maersk-line-towards-greater-transparency-and-efficiency-in-ship-management-56053/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

DNV. **Planned maintenance system for technical ship management - ShipManager Technical**. Disponível em: <https://www.dnv.com/services/planned-maintenance-system-for-technical-ship-management-shipmanager-technical-1509/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

DNV. **ShipManager modules**. Disponível em: <https://www.dnv.com/services/shipmanager-modules-1468/>. Acesso em: 4 nov. 2024

DORNIER, P. P. et al. **Logística e operações globais: texto e casos**. São Paulo: Atlas, 2000

FIGUEIREDO PINTO, D. G.; ABRAHÃO, F. T. M. **Custo do ciclo de vida: proposta de método de cálculo prospectivo e análise de sensibilidade a fatores de confiabilidade e manutenibilidade**. In: *XX Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa*, 25 a 27 set. 2018, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2018.

GALVÃO, A. F. N. **Gestão de manutenção baseada no suporte logístico integrado**. Monografia. Academia Militar das Agulhas Negras, Rezende, 2018.

KAMBANOU, M. L. **Life Cycle Costing: Understanding How It Is Practised and Its Relationship to Life Cycle Management—A Case Study**. *Sustainability*, v. 12, p. 19,

MOREIRA NETO, T. C. **Aplicação da Análise do Custo do Ciclo de Vida em uma Indústria de Mineração com Base na Gestão de Ativos**. Salvador: UFB, 2018.

MOURA, L. V. A. **Estudo Da Aplicação Da Metodologia De Estimativa Do Custo De Ciclo De Vida De Meios Da Marinha Do Brasil**. Niterói: UFF, 2020.

OZORIO, P; R. B. **A influência das tecnologias emergentes e disruptivas na estratégia naval estadunidense: oportunidades para a estratégia de meios da Marinha do Brasil no horizonte 2040**. Tese para o Curso de Política e Estratégia Marítimas (C-PEM). EGN: Rio de Janeiro-RJ, p. 109, 2021.

SANTOS, C. O. **Aquisição de meios e o apoio logístico integrado: o desfazimento de meios navais à luz do Modelo OTAN de Gestão do Ciclo de Vida**. Dissertação (Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores). EGN, Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, R. S. **Reflexos da terceirização da manutenção sobre a disponibilidade dos meios navais da Marinha do Brasil**. Tese (Curso de Política e Estratégia Marítimas – C-PEM). EGN, Rio de Janeiro-RJ, 2021. 105 p.

SPADER, A. L. R. **Aplicação da análise do custo do ciclo de vida de ativos físicos suportada pela engenharia da confiabilidade**. Curitiba: UTFPR, 2019

SOUZA, L. M. **Custos do ciclo de vida de sistemas de defesa: uma abordagem da construção do manual de custos do ciclo de vida de sistemas de defesa, no âmbito da Marinha do Brasil**. Projeto Final (MBA em Gestão Estratégica da Produção e Manutenção). UFF, Niterói, 2022.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração** (16a. ed.). Rio de Janeiro: Grupo Gen. - Atlas, 2016.

WALDEN, D. et al. **Systems Engineering Handbook**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2023.