

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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SISTEMA DE ARMAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA NO SISTEMA DE ARMAS: Monitoramento dos
armamentos e sensores de sistemas de combate



PRIMEIRO-TENENTE RENAN VIEIRA DE CERQUEIRA

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE RENAN VIEIRA DE CERQUEIRA

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA NO SISTEMA DE ARMAS: Monitoramento dos
armamentos e sensores de sistemas de combate

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Sistema de Armas.

Orientadores:

Anderson Figuerêdo Lopes, Capitão de Corveta

João Vitor Barbosa Tavares, Primeiro-Tenente

Juarez da Silveira Figueiredo, MSc

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE RENAN VIEIRA DE CERQUEIRA

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA NO SISTEMA DE ARMAS: Monitoramento dos
armamentos e sensores de sistemas de combate

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial
à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistema de Armas.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CMG(RM1) Richard Harold Geraldo Asch, MSc - CIAA

CC (EN) Anderson Figuerêdo Lopes - DEN

1Ten (EN) João Vitor Barbosa Tavares, MSc - DSAM

Prof. Juarez da Silveira Figueiredo, MSc - PUC Rio

Dedico esse trabalho ao meu avô Lino que muito me orientou e inspirou e aos meus pais que em toda minha carreira sempre estiveram ao meu lado me apoiando.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem o apoio, colaboração, estímulo de diversas pessoas. Gostaria de demonstrar a minha gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta tarefa pudesse ser realizada. A vocês, meu mais humilde e sincero, muito obrigado.

Agradeço aos meus orientadores, o Capitão de Corveta Anderson, o Primeiro-Tenente Tavares e o Professor Juarez, que disponibilizaram seu tempo para realizar um aconselhamento preciso e atencioso. Sem a sua orientação e conhecimento, não teria alcançado o resultado obtido neste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ao Coordenador do Curso de Aperfeiçoamento Avançado, CMG (RM1) Asch, pelos conhecimentos transmitidos, pelos conselhos com base em sua vasta experiência e pelo apoio irrestrito, sempre com muita motivação e fogo sagrado.

Aos meus pais agradeço pelo apoio incondicional. Obrigado por não terem me deixado desistir muitas das vezes durante os anos de formação, até hoje vocês me incentivam com suas palavras de apoio e confiança na minha capacidade de superar as adversidades nesses dias intensos.

À Stefanie, obrigado pelo companheirismo, as palavras de apoio e paciência nessa etapa. Obrigado por tudo.

Aos meus amigos de turma, Primeiro-Tenente Gioliano Braga e Primeiro-Tenente Silva Rodrigues, agradeço pela amizade, convívio diário e pelo apoio mútuo nas diversas árduas tarefas que nos foram atribuídas durante o curso.

Por fim, agradeço aos professores deste curso. Obrigado por ter a oportunidade de conhecer, ouvir, aprender e conviver com mentes brilhantes e inspiradoras em suas áreas de conhecimento.

“Quem se prepara para tudo o que
pode suceder, nada o espanta.”

José Bonifácio

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA NO SISTEMA DE ARMAS: Monitoramento dos armamentos e sensores de sistemas de combate

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade de monitoramento de elementos do *Combat Management System (CMS)* no console do *Integrated Platform Management Systems (IPMS)* utilizando novas abas no software aplicativo de Interface Homem-Máquina. Na parte conceitual do estudo, é apresentada uma visão geral do Projeto da Fragata Classe Tamandaré e seus sistemas, a Teoria geral de sistemas e a correlação entre o processo decisório em situações de combate com a utilização de sistemas com vasta capacidade de processamento de dados em auxílio ao processo. Além de determinar se são viáveis as alterações, propõe maneiras de realizar a integração dos dados, define os tipos de dados relevantes a serem extraídos das armas, apresenta uma ideia inicial de abas a serem criadas para usar Interface Homem-Máquina e propõe a instalação de uma *medium screen display* acima do console do comandante no Centro de Operações de Combate, o que permitirá ao comandante acompanhar detalhadamente os parâmetros vitais para o funcionamento das armas de forma concentrada numa tela. Isto permite a expansão da capacidade de monitoramento de condições das armas de forma otimizada e melhora a eficiência em combate.

Palavras-chave: *Integrated Platform Management Systems. Combat Management System. Controle de Avarias Eletrônicas. Monitoramento.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Comparação entre navio convencional e navio de guerra.....	13
Figura 2.1 - Protótipo da disposição de armamentos da Fragata Classe Tamandaré.....	19
Figura 2.2 - Pensamento Sistêmico – Diagrama de Contexto.....	21
Figura 2.3 - Esquema de retroação simples.....	22
Figura 2.4 – Exemplo de aba do IPMS.....	26
Figura 2.5 - Tecnologias na arquitetura do IPMS.....	27
Figura 4.1 - Arquitetura física do IPMS.....	35
Figura 4.2 - Organização básica do CAV-ET em um navio da Esquadra	38
Figura 4.3 - Layout do Centro de Operações de Combate.....	46
Figura 4.4 - Layout do Centro de Operações de Combate com a <i>medium screen display</i> acima da <i>large screen display</i> do comandante – 3D.....	47
Figura 4.5 - Obtenção dos sinais dos sensores e inserção no IPMS através das RTU.....	48
Figura 4.6 - Obtenção dos sinais da rede do CMS e inserção no IPMS através das RTU.....	49
Figura 4.7 - Diagrama de fluxo de dados entre CMS e IPMS obtendo sinais diretamente na central do CMS.....	50
Figura 4.8 - Remote Terminal Unit e Cartão I/O WAGO.....	52
Figura 4.9 - Distribuição de consoles do IPMS no projeto da FCT.....	54
Figura 4.10 - Console do <i>Main Control Room</i>	55
Figura 4.11 - Console <i>Gangway Operator Local</i>	56
Figura 4.12 - Consoles <i>Damage Control</i>	57
Figura 4.13 - Aba <i>Weapon System</i>	60
Figura 4.14 - Aba <i>Oto 76.62 Super Rapid Gun Mount</i>	62
Figura 4.15 - Aba <i>MBDA Sea Ceptor</i>	63
Figura 4.16 - Aba <i>MSS MANSUP</i>	64
Figura 4.17 - Aba <i>Sea TLS TT</i>	65
Figura 4.18 - Aba <i>Sea Snake 30mm</i>	66
Figura 4.19 - Aba <i>Sea Defender 12.7mm</i>	67
Figura 4.20 - Aba <i>Terma C-Guard</i>	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Áreas de atuação do IPMS.....	25
--	----

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADL	<i>Automatic Data Link</i>
BDCS	<i>Battle Damage Control System</i>
CAv-ET	Controle de Avarias Eletrônicas
CBTS	<i>Center Based Training System</i>
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CMS	<i>Combat Management System</i>
COC	Centro de Operações de Combate
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i>
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
EB	Exército Brasileiro
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A
EMGEPRON	Empresa Gerencial de Projetos Navais
FCN	Fragatas Classe Niterói
FCT	Fragatas Classe Tamandaré
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
GP	Gestão Proativa
GPS	Global Positioning System
HSI	<i>Human Systems Integration</i>
IA	Inteligência Artificial
ICU	<i>Inter Console Unit</i>
ICD	<i>Interface Control Document</i>
MFC	<i>Multi-Function Console</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IVECO	<i>Industrial Vehicles Corporation S.p.A.</i>

IHM	Interface Homem-Máquina
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPMS	<i>Integrated Platform Management Systems</i>
LBT	<i>Land Base Traininig</i>
LBTf	<i>Land Base Training Facility</i>
MB	Marinha do Brasil
OBTS	<i>On-Board Training System</i>
PALI	Plano de Apoio Logístico Integrado
POU	<i>Portable Operator Unit</i>
RTU	Remote Terminal Unit
SDF	<i>Software Development Facility</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
SOAMAR-SP	Sociedade dos Amigos da Marinha de São Paulo
SoS	<i>Systems-of-Systems</i>
TGS	Teoria Geral de Sistemas
ToT	<i>Transfer of Technology</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Apresentação do Problema	14
1.2 Justificativa e Relevância	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Apresentação do Projeto das Fragatas Classe Tamandaré	18
2.2 A Importância da Consciência Situacional para Processo Decisório a partir do Processo de Compilação dos Dados	20
2.3 A Teoria Geral de Sistemas	21
2.4 Fusão de Dados de Múltiplos Sensores	22
2.4.1 A importância da Instrumentação e da metrologia aplicadas à Fusão de dados de múltiplos sensores	24
2.5 O Sistema Integrado de Gerenciamento da Plataforma	25
2.6 O Sistema de Gerenciamento de Combate	28
2.7 A integração de informações do CMS e IPMS	29
3 METODOLOGIA	31
3.1 Classificação da Pesquisa	31
3.1.1 Quanto aos Fins	31
3.1.2 Quanto aos Meios	31
3.2 Limitações do Método	32
3.3 Coleta e Tratamento dos Dados	32
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO CASO	32
4.1 Análise Prospectiva do IPMS para as FCT	33
4.2 O conceito do Controle de Avarias Eletrônicas	36
4.3 O Comandante e a sua responsabilidade em tomada de decisões ágeis	38
4.4 <i>Engineer Officer</i>	40

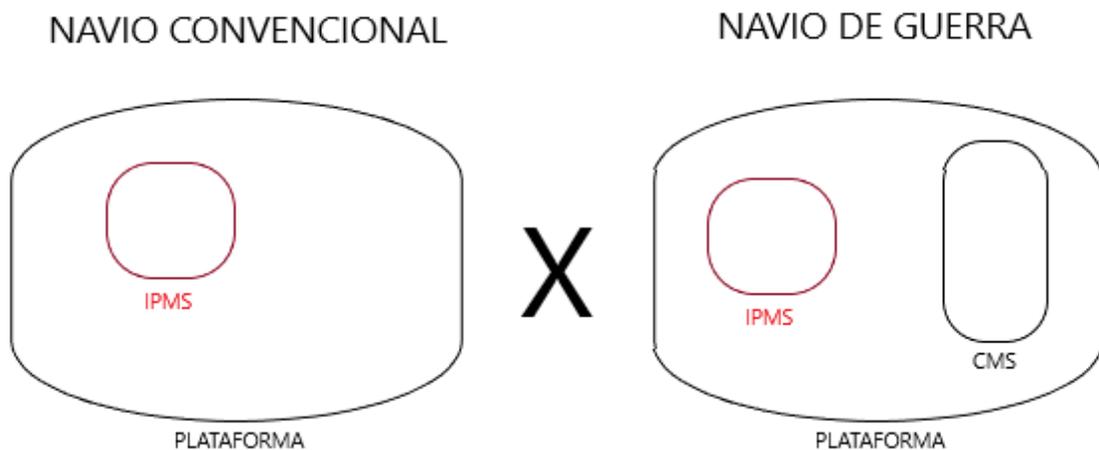
4.5 Características do IPMS em navios de guerra.....	41
4.6 Integração da instrumentação proposta para monitoramento dos armamentos no IPMS - Compatibilidade e adaptações	41
4.6.1 Protocolo físico.....	44
4.6.2 Protocolo lógico	48
4.6.3 Protocolo elétrico.....	49
4.6.4 Desafios da integração.....	51
4.7 Interface Homem-Máquina.....	52
4.7.1 Aba <i>Weapon System</i>	56
4.7.2 Aba do canhão <i>Oto 76/62 Super Rapid Gun Mount</i>	58
4.7.3 Aba do míssil <i>MBDA Sea Ceptor</i>	60
4.7.4 Aba do míssil <i>MSS MANSUP</i>	61
4.7.5 Aba do Torpedo <i>Sea TLS TT</i>	62
4.7.6 Aba do canhão <i>Sea Snake 30mm</i>	63
4.7.7 Aba das metralhadoras <i>Sea Defender 12.7mm</i>	64
4.7.8 Aba do Sistema de Despistamento <i>Terma C-Guard</i>	66
5 CONCLUSÃO	67
5.1 Considerações Finais	68
5.2 Sugestões para futuros trabalhos	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Com o exponencial desenvolvimento da tecnologia nos últimos anos, os diferentes sistemas que compõem um navio também acompanharam esta evolução. Estes permitiram a automatização de muitas funções anteriormente desempenhadas pelo ser humano, o que propiciou vantagens durante a operação dos navios, como redução da tripulação e de custos de operação, maior segurança e maior rapidez em avaliação e em reação.

Diferente de um navio convencional que é composto por plataforma e pode possuir um sistema gerenciador *Integrated Platform Management Systems*¹ (IPMS), um navio de guerra é composto por plataforma, *Combat Management System*² (CMS) e seus armamentos ou sistemas de armas que pode possuir um sistema gerenciador CMS, conforme representado na figura 1.1.

Figura 1.1 - Comparação entre navio convencional e navio de guerra



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta abordagem sistêmica é composta por partes heterogêneas como hardwares, softwares, atuadores e ação direta humana na Interface Homem Máquina (IHM). Estes

1 É um sistema composto por uma série de equipamentos e sistemas que auxiliam no gerenciamento e automação das plataformas de superfície. O IPMS é capaz de integrar informações e funções como controle de incêndio, controle de danos, controle de energia, controle de navegação, controle de comunicação, controle de armas e controle de sensores. Além disso, o IPMS pode ser utilizado para monitorar e controlar sistemas auxiliares, como sistemas de ar condicionado, sistemas de água doce, sistemas de esgoto e sistemas de combate a incêndio. Tradução própria: Sistema Integrado de Gerenciamento da Plataforma.

2 É um sistema projetado para coletar, revisar e ajustar informações para ter conhecimento superior sobre inimigos em potencial, encurtar ciclos de tomada de decisão e executar engajamento de armas rápido e preciso. Um CMS tem um design modular e escalável que garante compatibilidade com uma ampla gama de sistemas e plataformas baseados no ar, terra e mar. Tradução própria: Sistema de Gerenciamento de Combate

sistemas quando trabalhando em conjunto desempenham funções específicas com o propósito de atingir objetivos comuns, sendo chamados de *Sistemas de Sistemas*³(SoS).

1.1 Apresentação do Problema

Durante as operações de um navio de guerra, é de suma importância que o tempo de resposta de detecção, de engajamentos de alvos e de reação em situações de controle de avarias durante os combates seja minimizado. Nesse sentido, é imperativo que o comandante tenha acesso imediato e claro a todas as informações referentes à situação do navio para tomar decisões precisas.

Com este intuito, foram desenvolvidos sistemas que realizam compilação de informações referentes a utilização e controle de equipamentos à distância. Anteriormente, estas ações eram realizadas por um operador local que estava em contato visual constante com o equipamento. Atualmente, este operador foi parcialmente substituído ou totalmente por acionamentos automáticos ou remotos em sistemas como o CMS e o IPMS.

Estas alterações na configuração permitiram o monitoramento remoto e a atuação automatizadas de dispositivos de segurança durante a operação. Os sensores tem o papel essencial de fornecer as informações para o funcionamento dos sistemas e SoS. Quanto mais preciso for o monitoramento, mais acertada e rápida será a decisão tomada pelos operadores.

O problema em destaque busca soluções a fim de implementar a instrumentação nos componentes do CMS para o monitoramento no IPMS e auxiliar as decisões do comando.

1.2 Justificativa e Relevância

A necessidade de substituição das Fragatas Classe Niterói por novas escoltas surgiu devido à operacionalidade atual dessa classe, que só tem sido mantida em funcionamento devido ao grande esforço e à competência das tripulações. As principais dificuldades enfrentadas incluem a falta de suporte técnico e de peças de reposição. Manter essa classe em operação implica em custos significativamente elevados devido à postergação do seu descomissionamento, resultando na majoração do Custo do Ciclo de Vida (CCV) planejado, o que vai contra as boas práticas de Gestão do Ciclo de Vida (GCV). Nesta fase, a utilidade da

³ É um conjunto de sistemas orientados a tarefas ou dedicados, que reúnem seus recursos e capacidades para criar um novo sistema mais complexo a qual oferece mais funcionalidade e desempenho do que simplesmente a soma dos sistemas constituintes. Abreviação “SoS” do termo em inglês: System of System.

classe fica comprometida, pois não há mais peças de reposição nem suporte técnico por parte das empresas desenvolvedoras dos componentes, o que leva à substituição da classe por projetos mais modernos, frequentemente mais econômicos.

Conforme apontado por Bartels (2012), o fenômeno da obsolescência é inevitável e tem um impacto significativo na vida útil de um produto. Vogt (2015) destaca que a substituição das embarcações por outras mais modernas é crucial, não apenas para manter a operacionalidade da esquadra, mas também para evitar atrasos que poderiam comprometer os planos de defesa e a capacidade da engenharia nacional. Ele ressalta ainda que a aplicação contínua do conhecimento adquirido ao longo de anos de projeto, construção, avaliação, operação, manutenção, reavaliação e modernização é fundamental para o desenvolvimento constante de produtos e serviços na base industrial de defesa. “[...] Sem demanda, não há base industrial de defesa, e sem base industrial de defesa, a capacidade naval fica comprometida em termos de força e credibilidade.” (Vogt, 2015)

Ao propor modificações no IPMS para incorporar informações do CMS, o objetivo é aprimorar o projeto da Fragata Classe Tamandaré (FCT) e, conseqüentemente, melhorar o resultado final durante a operação prolongada das embarcações. Essas mudanças podem requerer ajustes no modo de operação e na mentalidade organizacional devido às restrições impostas pelo processo de modernização. Esta abordagem visa oferecer à força de trabalho enxuta mais recursos tecnológicos que embasarão o processo decisório, minimizarão custos e maximizarão a eficiência.

1.3 Objetivos

O propósito primordial desta obra reside na formulação de soluções a fim de implementar a instrumentação nas armas para o monitoramento e auxílio a decisões do comando adicionando informações para monitoramento de componentes do CMS com apresentação nos consoles do IPMS e a instalação de sensores de monitoramento nas armas e de um monitor que apresente este monitoramento acima do console do comandante.

Todavia, para contextualizar de maneira adequada essa proposição, é imperativo estabelecer uma base sólida, prelúdio essencial para a compreensão abrangente desta ideia. Esse pré-requisito envolve a apresentação do projeto das FCT em seu escopo, bem como a exibição da arquitetura do IPMS e CMS no nível adequado para apresentação da solução.

Adicionalmente, é imperioso apresentar uma visão superficial da Teoria Geral de Sistemas⁴ (TGS), e estabelecer ligações intrínsecas que elucidem a relevância dos SoS, da Fusão de Dados⁵ provenientes de múltiplos sensores, e da consciência situacional no âmbito da execução do processo decisório.

Será cumprida essa trajetória, partindo do embasamento conceitual até a proposição de soluções concretas e aplicáveis, com a meta última de otimizar o monitoramento dos elementos do CMS nas FCT. A partir dessa fundamentação, as bases estarão estabelecidas para uma análise aprofundada e proposições substanciais no campo da instrumentação integrada ao IPMS.

1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo ressalta de maneira inequívoca a relevância de projetar e implementar uma instrumentação integrada de última geração, uma vez que desdobram inúmeras implicações de significativa magnitude. Essa implementação traduz-se na redução substancial do intervalo de tempo demandado para a tomada de decisões críticas, repercutindo diretamente na agilidade da resposta a ameaças durante operações de combate. Além disso, essa modernização desempenha um papel fundamental na preservação do material, minimizando a necessidade de custosos procedimentos de manutenção, ao mesmo tempo que fortalece a segurança das equipes militares encarregadas da operação dos armamentos.

Não menos importante, a presente pesquisa almeja instigar o leitor a ponderar sobre a intrínseca importância da tecnologia empregada nos IPMS e nos CMS, os quais estarão diretamente interligados com os armamentos de um navio de guerra. Esta reflexão fundamenta-se nos elementos delineados no contexto das FCT enquanto ponto de partida para este estudo. Tal abordagem visa, em última instância, otimizar a letalidade durante operações de combate, alcançando-a por meio de uma prontidão de combate eficaz, operacionalidade impecável e extensão da vida útil dos armamentos.

⁴ Tem por objetivo uma análise da natureza dos sistemas e da inter-relação entre eles em diferentes espaços, assim como a inter-relação de suas partes. Ela ainda analisa as leis fundamentais dos sistemas. Um sistema, ou seja, uma união de várias partes, é formado por componentes ou elementos.

⁵ É a combinação de dados provenientes de múltiplos sensores, podendo estes serem semelhantes ou diferentes, enquanto a fusão de informações refere-se à combinação de dados e informações de sensores, relatórios humanos, base de dados ou outros.

1.3.2 Objetivos Específicos

Por meio desta obra, pretende-se oferecer uma plataforma sólida de referência para os profissionais militares envolvidos no projeto da construção das FCT e para iniciativas de modernização de outros meios navais. Este trabalho busca fornecer um alicerce crítico, mas também direciona a atenção para uma investigação mais aprofundada, com o propósito de facilitar a integração da instrumentação nos armamentos fixos das FCT, harmonizando-os com o IPMS.

Adicionalmente, essa obra propõe delinear as distinções fundamentais entre o IPMS empregado em navios convencionais e aquele empregado em navios de guerra. Essa diferenciação permite a extração de conclusões imediatas e proporciona uma oportunidade para o refinamento desse produto antes de sua implementação definitiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo introduzirá conceitos básicos que são o alicerce para o entendimento da proposta apresentada por este trabalho. Inicialmente, será apresentado o projeto da FCT e a proposta a integração de informações do CMS no IPMS para monitoramento de estado das armas, referenciado por informações do site da Empresa Gerencial de Projetos Navais e artigo do engenheiro René Vogt que é membro da Sociedade dos Amigos da Marinha de São Paulo (SOAMAR-SP) e autor de diversos artigos publicados na Revista Marítima Brasileira.

Posteriormente, serão explicados os conceitos de Consciência Situacional, Processo Decisório, Processo de Compilação dos Dados em múltiplos sensores, Instrumentação, Metrologia e Teoria Geral de Sistemas (TGS), tendo como referências o austríaco Ludwig von Bertalanffy criador da TGS, o Capitão de Mar e Guerra Cleber Almeida de Oliveira professor da disciplina de Fusão de Dados de Múltiplos Sensores neste curso, Liggins et. al. autores do livro “Handbook of Multisensor Data Fusion: Theory and Practice” e o Pesquisador Tecnologista em Metrologia e Qualidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia Luiz Vicente Gomes Tarelho. Por último, serão detalhados os conceitos de IPMS e de CMS com base nas informações das empresas L3 Harris e Atlas Elektronik.

2.1 Apresentação do Projeto das Fragatas Classe Tamandaré

A Marinha do Brasil (MB), por intermédio de um de seus Programas Estratégicos, logrou êxito na aquisição de quatro unidades das FCT. O projeto consiste na construção de fragatas com base no projeto original da corveta MEKO A-100, com uma significativa adaptação na tonelagem, elevando-a de 2.000 para 3.500 toneladas. A iniciativa contempla a incorporação de sistemas de última geração e armamentos de vanguarda, criteriosamente selecionados pela MB para alinhar-se com suas necessidades e objetivos estratégicos conforme apresentado pela figura 2.1.

As Fragatas da Classe “Tamandaré” serão navios escoltas versáteis e de elevado poder combatente, capazes de se contraporem a múltiplas ameaças e destinados à proteção do tráfego marítimo e a negação do uso do mar, podendo realizar missões de defesa do litoral brasileiro. Além disso, serão empregados na patrulha das Águas Jurisdicionais Brasileiras, com ênfase na fiscalização e proteção das atividades econômicas, principalmente a petrolífera e a pesqueira (EMGEPRON, 2021).

Este projeto tem como finalidade modernizar o poder naval e incentivar o crescimento da Indústria Nacional de Defesa. Além de incrementar a produção de bens e prestação de serviços realizados por empresas brasileiras, com a estimativa que estas contribuirão com cerca de 40% do projeto. A EMGEPRON gerenciará a construção e a Sociedade de Propósito Específico *Águas Azuis*, composta pelas empresas *Thyssenkrupp Marine Systems*, *Embraer Defesa & Segurança* e *Atech* executará as construções.

Um aspecto relevante do projeto *Águas Azuis* é o fato de seu projeto ter como base o projeto de fragata MEKO A-100, incluindo a modularidade que proporciona uma redução no tempo para construção. Como salientado por Vogt (2015), na contemporaneidade, países tecnologicamente avançados têm adotado a prática de vender pacotes de projetos para montagem em estaleiros localizados em diversos países, o que implica na transferência da tecnologia de projeto, bem como na concessão de propriedade intelectual, o fornecimento de sistemas, equipamentos e materiais, e na garantia de financiamento. Esse modelo, de fato, representa um desafio substancial para as nações receptoras. Vogt (2015) enfatiza que o verdadeiro capital reside no trabalho intelectual dedicado ao desenvolvimento de ciência e tecnologia.

Nesse contexto, o projeto das FCT tem a aspiração de estimular o desenvolvimento de tecnologia nacional com a perspectiva de que, em um futuro próximo, o conhecimento adquirido possa ser aplicado em projetos nacionais futuros, sob parcerias público-privadas com empresas locais. Vale ressaltar que, a longo prazo, essa iniciativa gera oportunidades

para o desenvolvimento de *know-how*⁶ em áreas estratégicas que geram valor intelectual para a indústria brasileira e valor financeiro por meio da comercialização de itens de alta complexidade tecnológica para a economia do País. Exemplos notáveis incluem a aeronave EMB-314 *Super Tucano* e o KC-390 *Millennium*, ambos da EMBRAER, o sistema *Astros 2020* da Avibras, e o veículo blindado VBTP-MR *Guarani* da IVECO, bem como outros projetos emblemáticos que têm contribuído para a geração de riqueza e valor no contexto nacional, ao longo do último século, como o EE-T1 *Osório*, o EE-9 *Cascavel* e o EE-11 *Urutu* da Engesa.

Figura 2.1 - Protótipo da disposição de armamentos da Fragata Classe Tamandaré



Fonte: Poder Naval (2019)

O projeto das FCT possui modernos IPMS e CMS, sendo seu armamento composto de canhão principal *OTO Melara* de 76 milímetros, células de lançamento vertical (VLS) para mísseis Sea Ceptor CAMM, metralhadora *Rheinmetall Sea Snake* de 30 milímetros, metralhadoras *FN Herstal Sea Defender* de 12.7 milímetros, lançadores de torpedos antissubmarino *Sea TLS-TT* e lançadores de mísseis antinavio para o míssil *MANSUP*."

⁶ É o conjunto de conhecimentos práticos, como fórmulas secretas, informações, tecnologias, técnicas, procedimentos e outros, adquiridos por uma empresa ou um profissional, que traz para si vantagens competitivas. Tradução própria: saber como.

2.2 A Importância da Consciência Situacional para Processo Decisório a partir do Processo de Compilação dos Dados

Desde a pré-história, o homem utiliza os sinais da natureza para tomar decisões e sobreviver nos diversos ambientes que habita. Esta consciência situacional sempre foi essencial para realização de tarefas de forma eficaz, principalmente quando em ambiente hostil.

A Consciência situacional é a percepção dos fatores, das relações entre entidades, das condicionantes e da utilidade das informações coletadas que afetam a execução da tarefa durante um determinado período de tempo, permitindo ou proporcionando ao decisor estar ciente do que passa ao seu redor (conhecimento sobre o ambiente, o oponente e as suas próprias forças) e assim ter condições de focar o pensamento à frente da situação percebida apoiado nas lições do passado, na experiência, no treinamento e na assessoria, adotando a decisão a ser executada, coerente com os objetivos da sua missão. (De Oliveira, 2023, p. 13)

A chegada da era tecnológica, das máquinas, da informatização e da automatização, fez com que o processo de consciência situacional evoluísse para um estágio ainda mais intrincado, demandando a compilação de uma quantidade substancial de dados. O obstáculo atual não é a restrição na quantidades de dados obtidos, mas a dificuldade de analisar, filtrar, combinar e apresentar de forma concisa e clara a informação relevante facilitando o processo de tomada de decisões. O aumento do volume de informação prejudicou a capacidade do decisor de interpretá-la de forma eficiente.

Com o exponencial desenvolvimento da tecnologia da computação, os indivíduos têm enfrentado maiores restrições de tempo no que diz respeito à tomada de decisões. De acordo com De Oliveira (2023), uma abundância de dados não significa necessariamente informação útil. Como resultado, é necessário estabelecer padrões específicos para a escolha de dados que se alinhem com o resultado de informações desejado.

O processo de compilação de dados envolve a organização das etapas necessárias para criar, compreender e avaliar a situação com base nas informações disponíveis. Esta metodologia foi concebida para aumentar a consciência situacional geral e, subsequentemente, melhorar o processo de tomada de decisão. É também essencial que a informação resultante deste processo de compilação seja apresentada de forma simples e direta para facilitar a compreensão.

2.3 A Teoria Geral de Sistemas

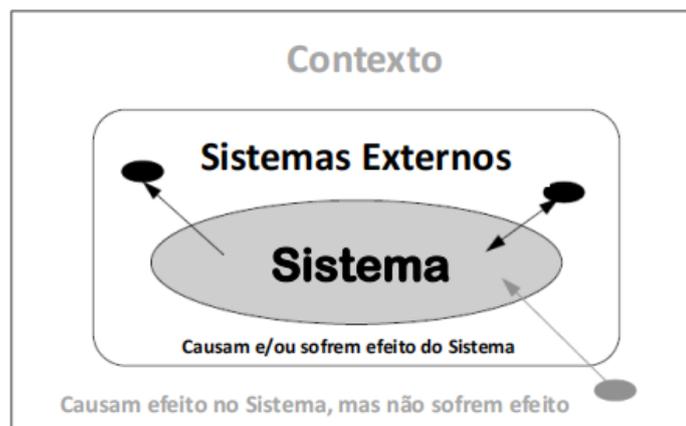
A Teoria Geral de Sistemas (TGS) é uma visão ampla que vai além das fronteiras disciplinares e busca desvendar a intrincada natureza dos sistemas em todas as suas formas, que podem ser sistemas encontrados na natureza, em sociedades humanas ou criados pelo homem. Ela se concentra em identificar as interações e relações harmoniosas entre os elementos de um sistema, destacando os padrões, as estruturas de organização e os princípios fundamentais que têm aplicação em diversas situações.

Ela provê um arcabouço conceitual que permite a compreensão da complexidade inerente aos sistemas, independentemente de sua natureza específica. Isso possibilita uma abordagem unificada e completa na análise e resolução de problemas complexos.

A teoria geral dos sistemas deveria ainda ser um importante dispositivo regulador na ciência. A existência de leis de estrutura semelhante em diversos campos torna possível o uso de modelos mais simples ou melhor conhecidos para fenômenos mais complicados ou de mais difícil manejo. Por conseguinte, a teoria geral dos sistemas deveria ser metodologicamente um importante meio para controlar e investigar a transferência de princípios de um campo para outro, a fim de que não seja mais necessário duplicar ou triplicar a descoberta dos mesmos princípios em diferentes campos isolados uns dos outros. Ao mesmo tempo, formulando critérios exatos, a teoria geral dos sistemas precaver-se contra as analogias superficiais, inúteis na ciência e nocivas em suas consequências práticas. (Bertalanffy, 1968)

Os sistemas podem ser isolados em seu ambiente, os quais não interagem com o ambiente externo, ou abertos, os quais mantêm um contínuo fluxo de entrada e saída, nunca estando em equilíbrio, mas sempre mantendo seu estado estacionário. Entretanto, podem ou não, sofrer ou causar efeitos em outros sistemas externos, conforme representado na figura 2.2.

Figura 2.2 - Pensamento Sistêmico – Diagrama de Contexto

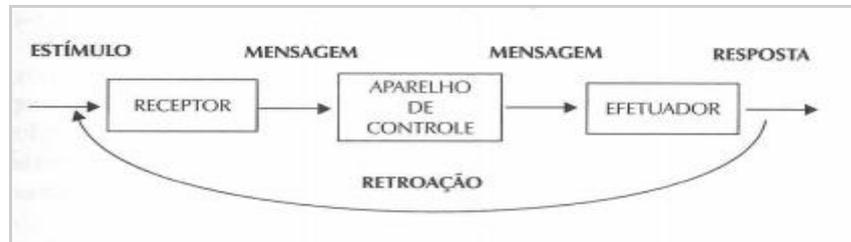


Fonte: Bianco (2023, p. 17)

Outra característica importante que Bertalanffy (1968) destaca em sua obra, é que os sistemas podem possuir a retroação, a qual o sistema utiliza a própria resposta para

realimentar o receptor juntamente com o estímulo inicial e atingir uma resposta mais acurada, conforme representado no esquema da figura 2.3.

Figura 2.3 - Esquema de retroação simples



Fonte: Bertalanffy (1968, p.68)

A teoria geral dos sistemas deu um aspecto mais realista ao entendimento da complexidade do funcionamento dos diferentes sistemas e possibilitou a integração através da isomorfia das leis em diferentes campos do conhecimento. É um campo lógico-matemático, cuja tarefa é a formulação e a derivação dos princípios gerais aplicáveis aos sistemas em geral. Desta forma, torna possível a exata formulação dos termos totalidade e soma, diferenciação, mecanização progressiva, centralização, ordem hierárquica, finalidade e equifinalidade e implica sua homologia lógica. (Bertalanffy, 1968)

Contudo, a TGS está estritamente ligada a concepção mecanicista, informatizada e automatizada do mundo atual e aos sistemas abordados por este estudo, e tem grande influência na velocidade dos modernos progressos científicos realizados durante e após o século XX.

2.4 Fusão de dados de múltiplos sensores

Os sistemas mais modernos são capazes de produzir uma enorme quantidade de informações a partir de dados fornecidos por sensores e bancos de dados utilizando a fusão destes dados. Além disso, também são capazes de compilar e apresentar estes dados de forma compacta, iterativa e prática.

A fusão de dados é capaz de aumentar a disponibilidade e a qualidade de informação, reduzir as incertezas, apoiar o processo decisório, aperfeiçoar estimativas de parâmetros, expandir a cobertura de dados, reduzir custos e tornar o processo mais eficiente.

Os sistemas de fusão de dados têm sido desenvolvidos para ingerir informações de vários sensores e fontes para fornecer informações para avaliação automatizada da situação, ou para ajudar um ser humano no desenvolvimento de avaliações de situação. (Liggins et al., 2008, p. 678, tradução nossa)

O processo de coleta inicia-se com a obtenção de dados provenientes de sensores ou até mesmo inserção de dados a partir de um operador ou avaliador local. Segundo Balbinot (2011), o sensor é um elemento de um sistema de medição que é diretamente afetado por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida. Em dispositivos para medição de variáveis físicas em sistemas genéricos, a informação, em geral, também é transmitida e processada na forma elétrica. Como a instantaneidade é essencial no processo decisório, é importante ou até mesmo imprescindível, que estes sensores forneçam informações em tempo real.

Por meio da instrumentação, os sensores são capazes de detectar e medir mudanças em variáveis físicas, como temperatura, pressão, umidade, luz e som, e fornecer uma resposta que possa ser interpretada pelo sistema de controle. Esses dispositivos são amplamente utilizados em aplicações industriais, como monitoramento de processos de fabricação, operação, controle de qualidade e segurança.

O objetivo por trás de todos os sensores em arquitetura integrada é utilizar ativamente esta diversidade de informações para superar as limitações e erros de medida de qualquer componente deste sistema. A única maneira de compreender e utilizar as disparidades entre características dos sensores é modelando os sensores e as informações que eles fornecem de maneira que possam descrever as características e habilidades individuais e as interações que devem ocorrer entre os sensores por meio de softwares. A fusão de dados é o meio pelo qual os sistemas utilizam conjuntos de instruções e dados armazenados em uma memória de forma lógica para realizar uma tarefa específica através de um processador e gera ao usuário uma resposta final mais acurada.

O CMS e o IPMS utilizam a fusão de dados para filtrar e combinar o grande volume de informações e melhorar a qualidade das informações apresentadas, auxiliando na avaliação das situações e otimizando o processo de tomada de decisões.

2.4.1 A importância da Instrumentação e da metrologia aplicadas à Fusão de dados de múltiplos sensores

Segundo Brandão (2019), a Instrumentação é um campo de estudo que se concentra no desenvolvimento de técnicas para aperfeiçoar os instrumentos de medição, transmissão, exibição, registro e regulação das variáveis físicas presentes em equipamentos industriais. Sua importância é fundamental nos sistemas de controle e automação durante a medição de

variadas grandezas físicas, como por exemplo pressão, nível, vazão, temperatura, massa, densidade, pH, deslocamento e velocidade angular, entre outras.

A avaliação das características estáticas e dinâmicas de dispositivos de medição, como transdutores ou transmissores, desempenha um papel fundamental na fase de especificação em projetos de automação, calibração e manutenção. Isso assegura que esses dispositivos sejam capazes de medir com precisão grandezas físicas específicas.

A disciplina que se dedica ao estudo de medidas e instrumentos de medição é conhecida como Metrologia. Em cada país, são estabelecidas normas nacionais de metrologia, sendo que no Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) é responsável pela regulamentação e controle metrológico de todos os instrumentos de medição utilizados nas áreas de saúde, segurança, meio ambiente e produtos previamente medidos. Essa área específica é denominada Metrologia Legal.

De acordo com Tarelho (2022),

A metrologia é uma ciência própria com princípios, metodologias e técnicas que são cruciais para garantir uma coleta e uso de dados de modo adequado e eficaz. O uso desse arcabouço de conhecimento permite quantificar o nível de confiança que pode ser atribuído a dados e modelos relacionados a partir de uma consciência da relevância/limitação dos dados para a tomada de decisões. (Tarelho, 2022, p. 55)

Tarelho (2022) afirma ainda que a metrologia surgiu da necessidade de padronização e que se adapta aos novos desafios impostos pelas descobertas da Física. Um exemplo de adaptação citado por ele, foi a redefinição do Sistema Internacional de Unidades (SI) com o objetivo de garantir que as unidades de medida estejam ainda mais alinhadas as constantes fundamentais baseadas em mecânica quântica e relatividade de Einstein e as propriedades dos átomos são invariantes da Natureza, universais e perenes. Quando as unidades são definidas dessa forma, em princípio, não há limite para a precisão com que uma unidade pode ser realizada, permitindo que desenvolvimentos futuros possam levar a diferentes maneiras de realizar unidades para uma maior precisão.

Em resumo, a metrologia estabelece os fundamentos para medições precisas, enquanto a instrumentação fornece as ferramentas e recursos necessários para a coleta de dados de alta qualidade em sistemas embarcados, como o IPMS a bordo de navios modernos. No entanto, é a fusão de dados que desempenha um papel essencial, permitindo a integração de informações provenientes de diversas fontes, incluindo sensores de diversos tipos e origens, resultando em uma compreensão mais abrangente e confiável de sistemas e fenômenos complexos em um ambiente marítimo. Coletivamente, essas áreas desempenham um papel crucial na obtenção e

análise de dados confiáveis para o funcionamento eficaz do IPMS e a segurança das operações a bordo, e por isso é importante utilizar sensores de qualidade na proposta deste trabalho.

2.5 O Sistema Integrado de Gerenciamento da Plataforma (IPMS)

O IPMS em embarcações é um sistema altamente intrincado que unifica sistemas e tecnologias entrelaçadas, destinadas a supervisionar e dirigir diversas operações e funcionalidades a bordo de um navio. Tem como objetivo melhorar a segurança, eficiência e funcionalidade de uma embarcação, oferecendo uma infraestrutura sólida para administrar sistemas críticos em seu interior. Na tabela 2.1 pode-se observar as diversas áreas de atuação do IPMS.

Tabela 2.1 - Áreas de atuação do IPMS

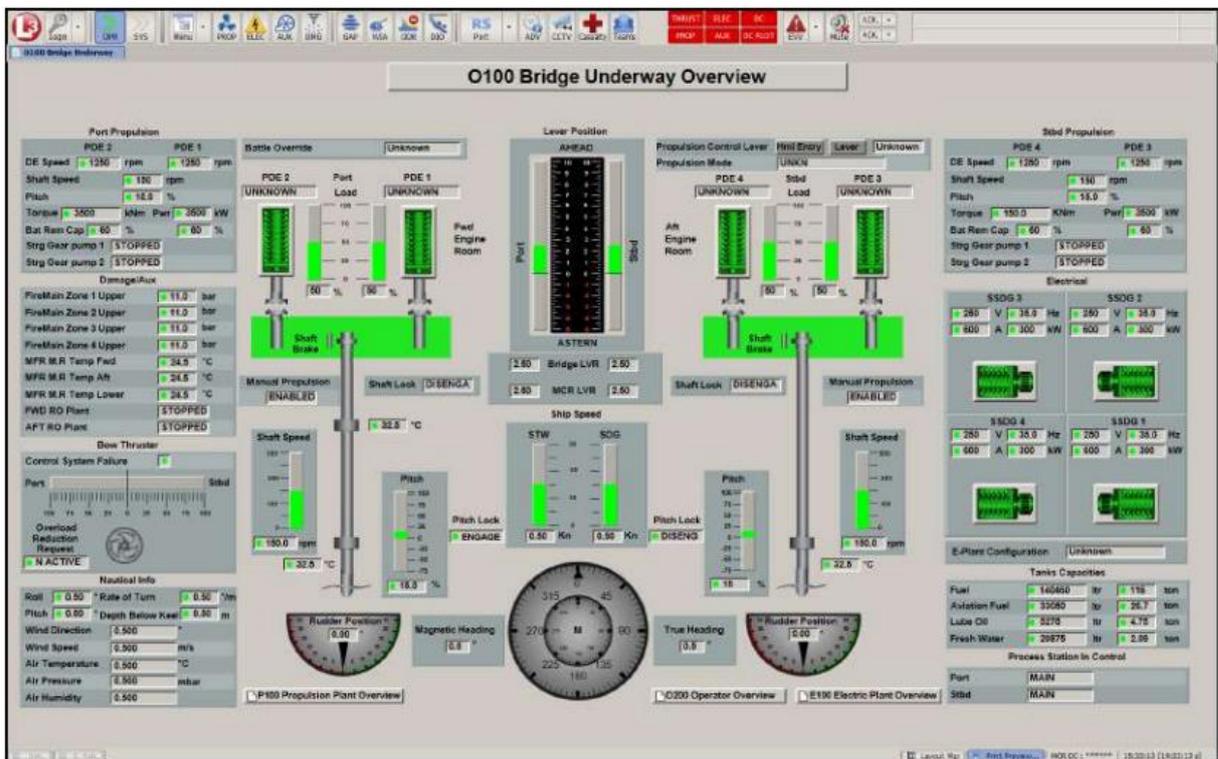
Monitoramento e Controle	É planejado para monitorar e administrar uma vasta gama de sistemas e equipamentos a bordo, abrangendo sistemas de propulsão, navegação, comunicação, elétricos, segurança, ambientais e outros.
Integração de Dados	Harmoniza informações provenientes de sensores e sistemas individuais em uma única interface de usuário, concedendo à equipe acesso a informações cruciais, promovendo a tomada de decisões em tempo real.
Segurança	É uma prioridade inquestionável em navios, e o IPMS exerce uma função significativa no acompanhamento e controle de sistemas de segurança, como detecção e combate a incêndios, salvaguarda de pessoal, controle de acessos e medidas de cibersegurança para proteger sistemas críticos contra potenciais ameaças.
Eficiência Operacional	É capaz de aprimorar as operações do navio, permitindo que a equipe monitore o desempenho dos sistemas e tome medidas para melhorar a eficiência do consumo de combustível, reduzir o desgaste de equipamentos e aprimorar a manutenção preventiva.
Gerenciamento de Energia	Assume a gestão da distribuição de energia a bordo, regulando a geração, armazenamento e distribuição de energia elétrica de forma eficaz.
Navegação e Posicionamento	Em navios modernos, o IPMS pode incorporar sistemas de navegação e posicionamento avançados, como GPS, radar, cartografia eletrônica e controle de propulsão
Comunicação	Abrange sistemas de comunicações de voz e dados.
Monitoramento Ambiental	Supervisiona e administra sistemas relacionados ao meio ambiente, como tratamento de águas residuais, sistemas de descarte de resíduos e controle de emissões, assegurando a

	conformidade com regulamentações ambientais.
Treinamento e Simulação	Oferece capacidades de treinamento e simulação para auxiliar a equipe a se familiarizar com sistemas e procedimentos a bordo.

Fonte: Compilação do autor

No IPMS, os operadores possuem a capacidade de monitorar e atuar, remotamente, os diversos componentes dos sistemas e subsistemas do navio, a partir das diversas abas na IHM. Na figura 2.4, é possível visualizar como exemplo, uma das abas do IPMS.

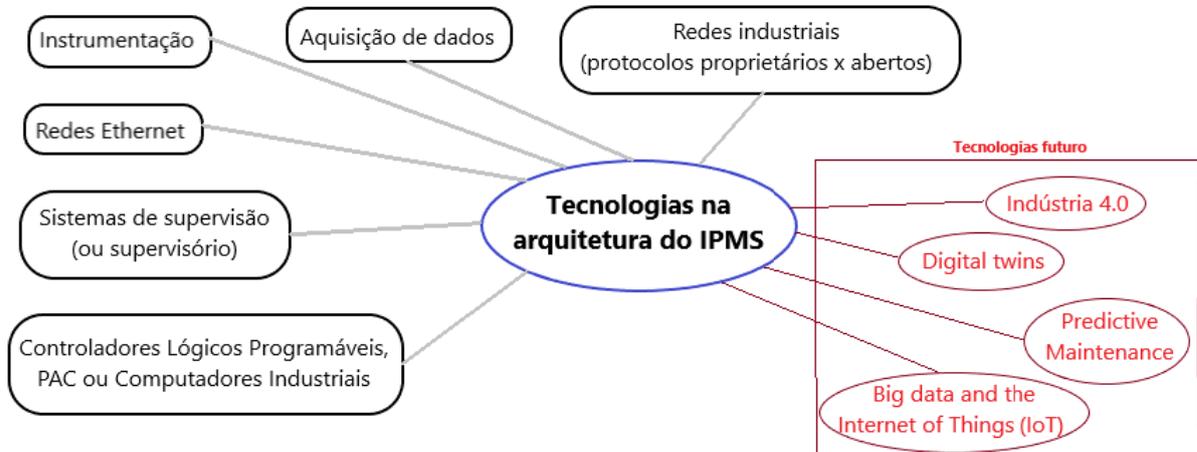
Figura 2.4 – Exemplo de aba do IPMS



Fonte: Lázaro (2023, p. 38)

A fim de garantir o funcionamento de seus recursos e minimizar erros do sistemas, o IPMS utiliza muitas tecnologias em sua arquitetura e mais serão utilizadas com evolução das tecnologias, conforme mostrado na figura 2.5.

Figura 2.5 - Tecnologias na arquitetura do IPMS



Fonte: Elaborado pelo autor

Os sensores desempenham um papel vital no IPMS ao coletarem informações em tempo real relacionadas às condições ambientais, segurança e eficiência operacional da plataforma. Paralelamente, os sistemas de controle automatizado possibilitam ajustes ágeis e precisos, baseados nos dados capturados, o que resulta em uma notável melhoria da eficácia operacional. No entanto, é crucial uma infraestrutura de comunicação robusta para viabilizar a transmissão e recepção de informações em tempo real, assegurando uma resposta efetiva diante de eventos imprevistos.

A implicação de operações centradas na rede envolve a necessidade de um alto grau de automação para executar um grande número de funções, agora executadas por humanos (por exemplo, plataforma/sensor roteamento, programação de sensores, controle de modo, marcação de dados, análise de baixo nível). A complexidade prevista para qualquer empresa de rede e a exigência óbvia de processamento paralelo, velocidade de resposta e rápida decisão de necessidades em vários nós e os usuários, sugerem que o processamento por humanos será inadequado para muitas funções em um ambiente totalmente centrado na rede e evoluído. Os seres humanos terão de interagir com capacidades automatizadas para fornecer supervisão e confirmação de produtos críticos de informação. A dificuldade de avaliar o grau apropriado de automação e os mecanismos apropriados para a interação de produtos automatizados com seres humanos (ou seja, para alcançar a colaboração homem-máquina), cria um desafio que exige a implementação de um processo evolutivo (interativo desenvolvimento de tecnologia com táticas, técnicas e procedimentos) com ênfase em experimentação para introduzir e integrar adequadamente uma tecnologia que aprimora, uma vez que inibe o usuário humano, e cria uma capacidade avançada e integrada. (Liggins et al., 2008, p. 32-33, tradução nossa)

Embora a Inteligência Artificial⁷ (IA) ainda se encontre em suas fases iniciais de evolução, requerendo uma considerável capacidade de processamento e um consumo de energia substancial para operar, a utilização de algoritmos de IA no IPMS simplifica a identificação precoce de questões e melhora a otimização dos procedimentos operacionais. No entanto, a implementação de tecnologias de IA em navios de guerra pode acarretar desafios substanciais devido às características e peculiaridades de segurança envolvidas.

Com a transformação digital e a *indústria 4.0*⁸, surgiu o conceito do *Digital Twin*⁹ que é uma cópia digital e exata de um objeto ou sistema. Este conceito promete ajudar os operadores e mantenedores a entenderem como o sistema está performando e como irá performar no futuro, além de auxiliar na tomada de decisões mais assertivas e resolverem problemas difíceis de serem identificados. Este conceito tem ampla aplicabilidade no IPMS e irá revolucionar a maneira de operar e manter os navios.

Em resumo, este desempenha uma função primordial na garantia de operações seguras e eficientes em navios modernos. Além de ofertar maior conforto e praticidade para a tripulação na condução e manutenção da embarcação durante as missões e facilitar o cumprimento dos regulamentos marítimos e ambientais e viabilizar a redução da tripulação a bordo.

2.6 O Sistema de Gerenciamento de Combate (CMS)

O CMS é um elemento essencial nas embarcações militares contemporâneas, desempenhando um papel central na integração de sensores, armamentos, comunicações e funções de gestão de missão. Seu propósito principal reside em coordenar de maneira eficaz todas as operações relacionadas ao combate e à defesa em uma embarcação militar. Isso abrange desde a identificação de ameaças até o rastreamento de alvos, a seleção e o disparo de armamentos, bem como o gerenciamento de sistemas de comunicação e defesa.

A integração de sensores, como radares, sonares, sistemas de vigilância, e armamentos, como mísseis, torpedos, metralhadoras e canhões é uma característica essencial ao CMS. Essa

⁷ É a capacidade que uma máquina para reproduzir competências semelhantes às humanas como é o caso do raciocínio, a aprendizagem, o planejamento e a criatividade.

⁸ Também chamada de Quarta Revolução Industrial, é uma expressão que engloba algumas tecnologias para automação e troca de dados, e utiliza conceitos de Sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas e Computação em Nuvem.

⁹ É um modelo digital de um produto, sistema ou processo físico do mundo real, pretendido ou real, que serve como sua contraparte digital efetivamente indistinguível para fins práticos, como simulação, integração, teste, monitoramento e manutenção.

integração permite ao CMS receber dados dos sensores e detectar ameaças, atribuir alvos e orientar ataques precisos.

No processo de tomada de decisões, o sistema fornece informações instantâneas e precisas aos operadores e ao comandante da embarcação. Isso inclui a avaliação de ameaças, a melhor opção de estratégia de resposta, que também pode ser obtida com o auxílio de *machine learning*¹⁰, e a alocação ideal dos recursos que o meio possui, como armamentos e sistemas de defesa de ponto, para opor-se efetivamente às ameaças em tempo real.

O CMS também é responsável pelo gerenciamento e monitoramento de missões específicas, como operações de busca e salvamento, patrulhas costeiras ou evacuações. Ele auxilia no planejamento, coordenação e acompanhamento dessas operações.

Garante que a embarcação possa comunicar-se eficazmente com outras unidades navais, aéreas e terrestres por meio de uma boa gestão das comunicações. Isso é essencial para a coordenação de operações conjuntas.

Em virtude do rápido avanço tecnológico, os IPMS e CMS estão em constante evolução e precisam ser atualizados regularmente para adaptarem-se a novas ameaças, sensores e armamentos. Uma forma de adaptação disruptiva é a integração de tecnologias de *machine learning* para aprimorar a consciência situacional e a tomada de decisões em ambos sistemas.

Procedimentos e mentalidade de segurança são fundamentais para assegurar a integridade desses sistemas. A segurança cibernética desempenha um papel crucial na proteção dos CMS, uma vez que eles lidam com informações altamente sensíveis e operam em um ambiente que pode ser alvo de ataques cibernéticos.

Por fim, a flexibilidade é uma característica fundamental para adaptar o CMS às características e requisitos de cada embarcação militar. Os CMS são projetados para serem modulados de acordo com a necessidade, permitindo atender às necessidades específicas de diferentes tipos de navios, desde navios de patrulha até navios aeródromos. A Atlas Elektronik (2023) promete um design modular e escalável com arquitetura de software baseada em modelo e livre para fazer interface com qualquer subsistema, o que facilitaria a integração e a interoperabilidade com o IPMS.

Em resumo, a evolução tecnológica contínua é crucial para manter a eficácia das operações navais em um ambiente em constante transformação e o CMS é um componente

¹⁰ É uma área da inteligência artificial e da ciência da computação que se concentra no uso de dados e algoritmos para imitar a maneira como os humanos aprendem, melhorando gradualmente sua precisão. Tradução própria: Aprendizado de máquina.

essencial em embarcações militares modernas, desempenhando um papel vital na coordenação de todas as atividades relacionadas ao combate e à defesa. Entretanto, o CMS não possui um monitoramento centralizado e automatizado dos parâmetros físicos de suas armas como possui o IPMS de seus equipamentos. Este trabalho propõe a integração desse monitoramento entre os sistemas a fim de aumentar a segurança, a flexibilidade, a confiabilidade e a capacidade de utilização das armas em estado de saturação, evitando o comprometimento da integridade física destas em condições de uso muito intenso durante o combate.

2.7 A integração de informações do CMS no IPMS

A integração de informações entre o CMS e o IPMS é uma estratégia de significativa relevância nas operações conduzidas por embarcações militares contemporâneas. Apesar de desempenharem funções intrinsecamente distintas, esses dois sistemas estabelecem uma interdependência complementar que, quando eficazmente harmonizada, confere uma vantagem substancial no que diz respeito à consciência situacional, ao processo decisório e à eficiência operacional.

O CMS concentra-se nas operações relacionadas ao combate, abrangendo desde a identificação de ameaças até o rastreamento de alvos, a seleção e o disparo de armamentos, bem como a administração de sistemas de defesa. Em contraste, o IPMS direciona seu foco para as operações associadas à plataforma da embarcação, monitorando e controlando diversos sistemas, incluindo aqueles de natureza mecânica, elétrica, de energia, propulsão, ambiental e outros não diretamente ligados ao combate.

A integração permite a troca de informações críticas entre esses sistemas. Essa integração possibilita uma visão ampla do ambiente operacional, tornando-se essencial para a tomada de decisões fundamentadas durante operações de combate e missões de relevância.

A consciência situacional de comandantes e tripulações é enriquecida, permitindo o acesso a informações abrangentes sobre o ambiente de combate e o estado da plataforma em pontos de acessos. Isso facilita uma avaliação mais precisa das capacidades da embarcação, dos recursos disponíveis e das potenciais ameaças.

A visão unificada das informações capacita comandantes e operadores a tomar decisões mais ágeis e precisas, inclusive a determinação de ajustes na plataforma para otimizar a eficácia de sistemas de armas específicos e a alocação eficiente de recursos, como energia e munições.

O monitoramento centralizado e automatizado também permite a otimização do desempenho da plataforma, considerando fatores como eficiência energética e manutenção preventiva, o que contribui para a prolongação da vida útil dos sistemas da embarcação e reduz os custos operacionais em longo prazo.

Entretanto, é importante ressaltar que a integração de sistemas também traz desafios, particularmente no que se refere à segurança cibernética. É essencial garantir a proteção das informações que fluem entre o CMS e o IPMS contra ameaças cibernéticas. Para isso, é de vital importância utilizar medidas preventivas e protetivas, com objetivo de impedir os acessos não autorizados e proteger a integridade das informações em trânsito

Além disso, o IPMS é uma ferramenta essencial para o Controle de Avarias Eletrônicas¹¹ (CAv-ET). De acordo com Brasil (2017), o CAv-ET possui entre suas funções: minimizar os efeitos das avarias operacionais em combate, coordenar e executar os reparos eletrônicos em combate e manter o controle de comando informando a situação operativa dos equipamentos eletrônicos por meio, o que está diretamente associado à capacidade combativa.

Em resumo, este trabalho busca a integração de informações do CMS no IPMS. Uma estratégia que aprimora a eficiência operacional, a consciência situacional e o processo decisório em embarcações militares.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva qualitativa, pois tem como objetivo apresentar uma proposta, ambientar com o problema em questão, tornar as soluções explícitas e construir hipóteses.

Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. (Gil, 2002, p. 41).

Com este propósito, utilizou-se o método científico hipotético-dedutivo por meio de pesquisa exploratória e bibliográfica.

3.1 Classificação da Pesquisa

¹¹ É uma das estações de controle de um navio de guerra e engloba a coordenação e execução dos reparos eletrônicos em combate.

A próxima subseção destina-se a classificar, quanto aos fins e meios, a pesquisa.

3.1.1 Quanto aos fins

Considerando a natureza do objeto de estudo deste trabalho, parece adequado classificá-lo como exploratório e descritivo. Na medida em que torna as pessoas mais familiarizadas com o problema e envolve pesquisa bibliográfica e documental. Além disso, descritivo porque descreve as características do problema analisando os dados de forma padronizada. (Ruiz, 2006)

3.1.2 Quanto aos meios

Quanto aos meios, classifica-se este trabalho como bibliográfico e descritivo, por reunir conhecimento publicado em livros, artigos, revistas, periódicos, notas de aula, publicações da MB. “A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço.” (Gil, 2002, p. 45)

3.2 Limitações do Método

Para GIL (2002) uma desvantagem da pesquisa bibliográfica é que a qualidade da pesquisa pode ser afetada nos casos em que a fonte consultada apresente dados equivocados, o que pode propagar ainda mais os erros. Tais equívocos podem ser reduzidos ao conferir as condições dos dados obtidos, ao analisar as informações para descobrir incoerências ou contradições e ao utilizar diversas fontes para comparação dos dados.

Com o objetivo de diminuir a utilização de dados equivocado, os dados técnicos coletados foram retirados do site da empresa desenvolvedora do IPMS e de material produzido por militares envolvidos no projeto da FCT. Muitas informações sobre o projeto são reservadas e escassas por envolver segurança nacional, patentes e segredos tecnológicos. É importante salientar que neste trabalho consta conteúdo sensível.

3.3 Coleta e Tratamento de Dados

Para Gerhardt e Silveira (2009), a coleta de dados é a busca por informações para a elucidação do fenômeno ou fato que o pesquisador quer desvendar. O instrumental técnico elaborado pelo pesquisador para o registro e a medição dos dados deverá preencher os seguintes requisitos: validade, confiabilidade e precisão.

Quanto a coleta, por se tratar de pesquisa bibliográfica e documental, foi realizada em livros, artigos, revistas, periódicos, notas de aula, apresentações de militares envolvidos no projeto da FCT e publicações da MB. E quanto a tratamento de dados, foi dada prioridade a fontes primárias a fim de elidir possíveis equívocos de fontes utilizadas.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO CASO

Embora muitas das informações de parâmetros das armas e sensores do CMS já estejam disponíveis de forma distribuída em elementos do próprio CMS, com o objetivo de expandir a capacidade de monitoramento da condição das armas e melhorar a eficiência em combate, este trabalho propõe a inclusão de sinais de monitoramento de componentes do CMS, a criação de páginas de apresentação no IPMS do projeto da FCT e a instalação de uma *Medium Screen Display* acima do console do comandante no COC para apresentação concentrada das informações, permitindo que o comandante acompanhe detalhadamente os parâmetros vitais de funcionamento das armas em uma única tela.

4.1 Análise Prospectiva do IPMS para as FCT

No contexto da construção das FCT, é imprescindível ressaltar a significativa presença do IPMS. Este sistema desempenha um papel de destaque, surgindo como um elemento essencial, à medida que as embarcações militares adentram num cenário futuro caracterizado por uma crescente complexidade e avanços tecnológicos contínuos. A dotação do IPMS nas FCT revela-se, portanto, uma medida de suma relevância, crítica para assegurar não apenas a eficácia operacional dessas embarcações, mas também a sua capacidade de resposta em face de uma ampla variedade de cenários operacionais.

A L3 Harris garante que,

O IPMS é um sistema de controle digital em tempo real de arquitetura distribuída. Este sistema de arquitetura aberta é composto por consoles de controle multifuncionais e Unidades Terminais Remotas (RTU). As RTU são usadas para aquisição e controle de dados em nível de processo. Os consoles fornecem as Interfaces Homem-Máquina (IHM) para os operadores em vários locais a bordo. A conectividade em todo o sistema é fornecida por um barramento de dados redundante. Uma abordagem multicast confiável garante a integridade da comunicação de dados no barramento, minimizando o tráfego do barramento e fornecendo latência de dados muito baixa. Os cabos Databus são estrategicamente roteados através do navio com separação geográfica adequada para fornecer a máxima capacidade de sobrevivência do sistema. A arquitetura de sistema aberto permite o uso de uma variedade de redes de dados de acordo com os requisitos do cliente. Permite também a interface do IPMS com outros sistemas através de barramento de campo, links seriais e outras interfaces. (L3 HARRIS, 2023, tradução nossa)

De acordo com Thyssenkrupp Marine Systems (2022), no âmbito do programa de transferência de tecnologia de sistemas, a Atech, empresa do Grupo Embraer, especializada em engenharia e integração de sistemas, é responsável pelo desenvolvimento do CMS, do Enlace de Dados Tático e pelas atividades de Integração e Testes do sistema de combate, em parceria com a ATLAS ELEKTRONIK, subsidiária da Thyssenkrupp Marine Systems, e também do IPMS, em parceria com a L3Harris. Uma atividade de grande importância que permitirá dispor dos conhecimentos e ferramentas para operar e manter os sistemas do navio no futuro.

Sendo uma subsidiária da L3Harris,

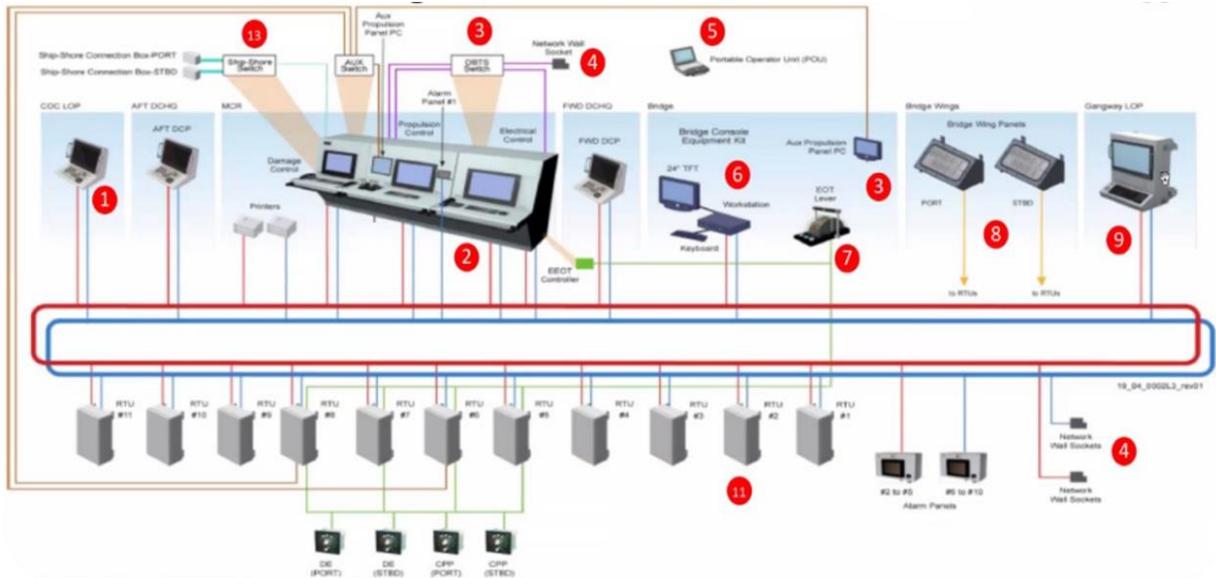
A L3MAPPS é uma fornecedora líder global de sistemas integrados de controle marítimo e produtos de simulação para navios de guerra, submarinos e embarcações comerciais oceânicas de ponta em todo o mundo. A empresa foi pioneira na integração de sistemas de controle de bordo militar, bem como produtos de simulação, e seus sistemas estão instalados em mais de 200 navios navais para 20 marinhas em todo o mundo. Seus sistemas também estão instalados em mais de 450 embarcações comerciais, incluindo o novo transatlântico de luxo Queen Mary 2. (Naval Technology, 2021)

O IPMS tem a finalidade de monitorar e controlar os diversos subsistemas que compõem o navio, incluindo propulsão, geração e distribuição de energia elétrica, sistemas auxiliares e controle de avarias. O sistema conta com uma arquitetura aberta e distribuída¹² como é possível visualizar na figura 4.1, considerando ainda o uso extensivo de hardwares

¹² Característica de um sistema a qual este não depende de nó mestre, as mudanças de I/O são propagadas para todos nós gerando uma redundância de comunicação (dois anéis ativos) e na inicialização, o nó recebe o banco de dados de interfaces e sinais atualizado.

*Commercial off-the-shelf*¹³ (COTS), o que lhe assegura flexibilidade, alta disponibilidade e tolerância à obsolescência.

Figura 4.1 - Arquitetura física do IPMS



Fonte: L3 Harris (2023)

Segundo Asch (2023a), além de adquirir o sistema, a MB também pretende obter a capacidade de execução de atividades de geração de software aplicativo para os componentes do IPMS, de modo a realizar, de forma independente, as manutenções preventivas, corretivas ou evolutivas do IPMS, o planejamento e a execução de alterações no software aplicativo dos componentes do IPMS integrando ao sistema e o diagnóstico de falhas nos componentes do IPMS, identificando a melhor linha de ação para sua manutenção.

A Naval Technology (2023) afirma que a L3 Mapps oferece uma gama de recursos de treinamento, como o *On-Board Training System* (OBTS) e o *Land Base Training* (LBT), respectivamente. Os recursos de treinamentos serão essenciais para instruir, adaptar e adestrar os militares que operarão os consoles do IPMS após a integração sugerida por este trabalho.

Para a Naval Technology (2023), o OBTS é projetado para aprimorar a competência dos operadores de bordo por meio de práticas e testes contínuos, sendo particularmente eficaz para treinar pessoal recém-embarcado. Além disso, permite que membros mais experientes do departamento de engenharia simulem e lidem com cenários de emergência e situações críticas. O LBT da L3 Mapps oferece treinamento estruturado com diversas opções de orçamento, incluindo maquetes baseadas em computador e a utilização de sistemas de bordo reais.

¹³ Componentes de prateleira são hardware ou software embalados ou enlatados (prontos), que são adaptados ao mercado de reposição às necessidades da organização de compras, em vez do comissionamento de soluções personalizadas.

A empresa desempenha um papel vital no fornecimento de *Land-Based Test Facility* (LBTF) para todos os IPMS a bordo das embarcações fabricadas pela própria L3 Mapps possibilitando a expansão as capacidade do *Software Development Facility* (SDF), que é usado pelos desenvolvedores, para modificações de software e validação do modelo de simulação, incluindo um subconjunto do IPMS real, relacionado a propulsão. O LBTF provê funcionalidades de testes de aceitação, manutenção e operação do IPMS e viabilizará pesquisas de avarias em nível de 4º escalão de manutenção.

Esses sistemas são projetados para incluir um conjunto específico de equipamentos de bordo, como estimuladores, ferramentas de desenvolvimento de software e documentação técnica. Essa abordagem estratégica possibilita que os clientes realizem testes rigorosos de modificações de hardware e software em um ambiente terrestre, antes de sua implementação final em um contexto de bordo. Quando aplicado ao conceito deste trabalho, é válido utilizar estas ferramentas a fim testar e validar a ideia proposta da integração do CMS no IPMS antes de realizar efetivamente as alterações.

Ademais, a Naval Technology (2023) também destaca que a L3 Mapps oferece um amplo leque de ferramentas e serviços destinados a apoiar marinhas e equipes de projetistas de navios em todas as fases do ciclo de vida das embarcações. Isso abrange desde o estágio de concepção inicial até as etapas de construção, manutenção e suporte. Uma tendência recente de grande relevância na indústria naval é a adoção de técnicas de *Simulation-Based-Design*¹⁴ (SBD) como estratégia para mitigar riscos técnicos, de custos e de cronograma relacionados ao desenvolvimento e construção de novas embarcações. E enfatiza ainda que o *Simulation-based design tools*¹⁵ (ROSE) desenvolvido pela L3 Mapps constitui um ambiente SBD altamente abrangente, projetado para facilitar o desenvolvimento, teste, documentação e controle de configurações de software para simulações e sistemas de controle em tempo real. O ROSE destaca-se como uma ferramenta baseada em ícones que permite à especialistas na área desenvolverem software altamente detalhado e de alta fidelidade, empregando editores gráficos e geradores automáticos de código-fonte.

O Naval Technology (2023) afirma que este ambiente tem se mostrado complementar aos sistemas de *Computer-Aided Design*¹⁶ (CAD) e encontra aplicações em diversos domínios,

¹⁴ Tradução própria: Projeto Baseado em Simulação

¹⁵ Tradução própria: Ambiente de software orientado a objetos em tempo real

¹⁶ Tradução própria: Desenho Assistido por Computador

incluindo sistemas espaciais, onde a NASA¹⁷ tem uma extensa história de utilização, bem como na construção de navios e submarinos de próxima geração em estaleiros selecionados. No que tange aos controles de navios de guerra, a L3 Mapps destaca-se por sua capacidade exclusiva de oferecer um espectro completo de soluções, abarcando desde projetos de sistemas de navegação, sistemas de controle, sistemas de treinamento até produtos e serviços de suporte ao ciclo de vida.

4.2 O conceito do Controle de Avarias Eletrônicas

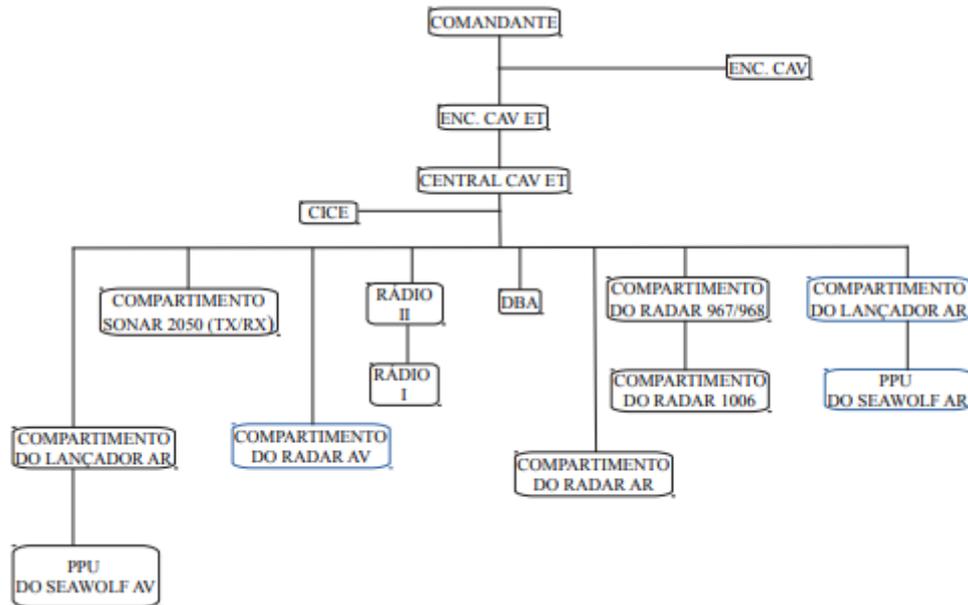
Os navios de guerra possuem sistemas eletrônicos de alta complexidade e de ampla dimensão. Quando em combate, a probabilidade de ocorrer avarias nestes sistemas aumenta. Apesar de navios de guerra possuírem diversos níveis de redundância em seus sistemas, ainda assim, é possível ocorrerem falhas e avarias que ocasionem a indisponibilidade. Numa situação de combate, é necessária a atuação de um grupo de militares dedicados ao CAV-ET liderados por um oficial especializado em eletrônica, os quais possuem amplo conhecimento das instalações e dos sistemas. De acordo com Brasil (2017), este oficial na função de encarregado do CAV-ET

[...] permite pronta assistência aos vários sistemas de bordo servidos pelos equipamentos eletrônicos, bem como o seu controle contínuo, por meio de um quadro de situação constantemente atualizado, e, ainda, a utilização da máxima flexibilidade da instalação em combate e o estabelecimento de prioridades de atendimento. (Brasil, 2017, p. 1-1)

A organização do CAV-ET varia de acordo com a classe de navios, devido as diferentes características entre eles. Na figura 4.2 é possível observar a organização básica do CAV-ET em um navio da Esquadra.

¹⁷ A *National Aeronautics and Space Administration* é uma agência do governo federal dos Estados Unidos responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial.

Figura 4.2 - Organização básica do CAV-ET em um navio da Esquadra



Fonte: Brasil (2017, p. 1-1)

No caso da FCT, o controle contínuo será realizado em tempo real através do IPMS, permitindo ainda mais flexibilidade e rapidez no controle de danos. O grupo CAV-ET permite a rápida contenção dos danos gerados pelos sinistros e a eventual reparação quando viável, em alguns casos sendo necessária a substituição dos componentes dos sistemas. O IPMS da L3 Harris conta com o recurso da *Portable Operation Unit*¹⁸ (POU) que é uma IHM do IPMS, a qual é usada como um terminal de diagnóstico portátil para verificação de funcionamento do sistema e que representa um ganho de eficiência caso o grupo CAV-ET porte uma durante os reparos.

O encarregado do CAV-ET é quem controla continuamente a situação dos sistemas durante o guarnecimento em combate, a flexibilidade quanto a utilização dos sistemas e instalações parcialmente danificadas e define as prioridades dos reparos a serem realizados.

Com o advento do IPMS, esta distribuição de funções pode ser otimizada, com a alteração da organização básica apresentada pela figura 4.2. As funções e estações podem ser reconfiguradas ou extintas, como por exemplo a central do CAV-ET que realiza a plotagem da situação dos sistemas. Esta estação é guarnecida pelo supervisor do CAV-ET que desempenha o papel essencial e que demanda muito treinamento para que as informações sejam filtradas e registradas devidamente no quadro de plotagem. Este processo auxilia o oficial encarregado do CAV-ET em caso de dúvida ou atualização das informações. O acesso direto à situação do

¹⁸ Tradução própria: Unidade Portátil de Operação

navio através das abas do IPMS como sistemas de propulsão, auxiliares, elétricos, controle de danos e direção facilita o gerenciamento e compila todas as informações em um único lugar.

Ademais, o encarregado pelo CAV-ET terá o acesso às informações dos sistemas do navio e também dos componentes do CMS conforme proposto por este trabalho, facilitado por meio de um console do IPMS no Centro de Operações de Combate (COC), para operar sua função próximo ao comandante, similar ao *Engineer Officer*¹⁹, função que será melhor explicada na seção adiante. Isto permite uma análise instantânea da situação dos sistemas e uma maior velocidade de comunicação entre o oficial encarregado pelo CAV-ET e o comandante, otimizando o processo decisório e reduzindo o tempo de reação em combate.

4.3 O Comandante e a sua responsabilidade em Tomada de Decisões Ágeis

A figura do comandante é de inquestionável importância em diversos contextos, sobretudo quando depara-se com situações que requerem tomadas de decisões ágeis e imediatas. Este imperativo torna-se ainda mais patente em âmbitos de atuação, como de combate, de operações de segurança pública e de gerenciamento de crises. A presente seção propõe-se a aprofundar a compreensão acerca da responsabilidade do comandante no processo de tomada de decisões ágeis.

O comandante frequentemente encontra-se diante de cenários nos quais o tempo é um recurso precioso, como em contextos de combates militares, resgates em situações de desastres naturais, enfrentamento de incidentes de segurança, entre outros. Nesse contexto, a habilidade de deliberar de forma rápida e eficaz assume uma importância crítica, determinando não apenas o êxito da missão, mas, em muitos casos, a preservação de vidas.

O comandante tem um papel destacado na gestão e controle das atividades navais. Sua função é receber informações de diversas fontes, avaliar a situação no teatro operacional, escolher o objetivo a alcançar e liderar a equipe na execução das tarefas necessárias. Para cumprir esta função, é crucial que o comandante tenha uma capacidade excepcional de processar informações rapidamente.

A habilidade de tomar decisões rápidas possuída por um comandante, não é apenas inata, mas também é o resultado de instruções frequentes e práticas repetitivas. Os comandantes participam de simulações, executam manobras de campo e participam de

¹⁹ É o oficial que supervisiona as atividades de manutenção e engenharia vitais para as operações da embarcação encontrado em outras marinhas como a *Royal Navy*.

treinamento prático, aprimorando assim sua capacidade de avaliar rapidamente possíveis cursos de ação e optar pelo mais adequado.

A tomada de decisões céleres frequentemente implica um elevado grau de risco. O comandante deve avaliar cuidadosamente as consequências de suas decisões e estar disposto a assumir a responsabilidade por elas e pelas consequências, mesmo que em circunstâncias adversas.

O comandante depende inteiramente da tripulação para fornecer informações precisas e assessoria nas áreas especializadas. É essencial que o comandante disponha de todas as informações necessárias por meio de comunicação eficaz ou em seu alcance para tomar decisões embasadas. É importante que estas informações não sejam truncadas ou alteradas durante a transmissão.

A evolução das situações de crise pode acontecer de forma rápida, o que exige que um comandante possua habilidade para adaptar-se às circunstâncias emergentes. Tal capacidade garante flexibilidade e habilidade para modificar planos para acomodar a situação em desenvolvimento.

Uma das habilidades mais relevantes do comandante é a manutenção de uma consciência situacional abrangente. Isto implica em acompanhar a evolução da situação, identificar ameaças emergentes e compreender o estado das equipes sob seu comando.

Após a conclusão de uma missão, é importante a análise das ações e resultados durante a operação expondo as lições aprendidas para que em próximas circunstâncias o processo seja aprimorado. Esta abordagem tem o objetivo de gerar uma aprendizagem contínua e o desenvolvimento das habilidades de tomada de decisões ágeis.

Em síntese, o comandante exerce um papel crítico na tomada de decisões rápidas em cenários caracterizados por pressão e incerteza. Sua aptidão para processar informações com celeridade, avaliar riscos e liderar sua equipe de maneira eficiente são essenciais para o êxito em operações de natureza crítica. O treinamento, a experiência acumulada e a prontidão para assumir responsabilidades constituem elementos-chave desta função desafiadora e fundamental. Além disso, a eficácia do comandante em tomar decisões ágeis pode ser substancialmente aprimorada pelo IPMS, que fornece informações críticas sobre o estado da embarcação, contribuindo significativamente para uma tomada de decisão embasada e eficiente.

4.4 *Engineer Officer*

No que diz respeito a questões navais, o termo *Engineer Officer* a bordo de um navio de guerra em muitas marinhas geralmente refere-se ao oficial que supervisiona as atividades de manutenção e engenharia vitais para as operações da embarcação. De acordo com Brasil (2017), a MB não utiliza a denominação *Engineer Officer*, porém este papel é exercido por um oficial aperfeiçoado em eletrônica designado o *Encarregado do CAV-ET*.

O *Engineer Officer* assume um papel vital em situações de combate. Este oficial exerce a função de assessorar o comandante no que diz respeito ao funcionamento dos sistemas mecânicos, elétricos e de propulsão do navio, bem como outras instalações essenciais ao bom funcionamento da embarcação.

As principais responsabilidades desta função envolvem supervisionar e gerenciar os diversos sistemas situados no navio. O equipamento necessário para estes sistemas inclui um conjunto diversificado de componentes motores, geradores, sistemas elétricos e de propulsão, sistemas de refrigeração e outros equipamentos de engenharia relevantes. O militar nesta posição é responsável pela supervisão do fornecimento de energia da embarcação, garantindo que todos os sistemas e funções de bordo estejam alimentados eletricamente e funcionando.

As equipes de militares especializados responsáveis pela manutenção e reparo dos respectivos sistemas são supervisionadas e orientadas pelo *Engineer Officer* com o objetivo de garantir que as tarefas relacionadas com a manutenção sejam executadas em conformidade com todos os protocolos de segurança e procedimentos padrão. Ademais, é responsável por manter registros detalhados de todas as atividades de manutenção, reparos e inspeções realizadas a bordo do navio durante e fora de combate.

A atuação desempenhada pelo *Engineer Officer* reveste-se de uma importância crítica no que concerne à preservação da operacionalidade e segurança da embarcação. Este oficial, incumbido da operação do IPMS, também desempenha a função de assistente do comandante no contexto das ações do CAV-ET. Sua presença e desempenho são de essencial relevância para o funcionamento harmonioso e eficaz do navio em sua totalidade.

Devido à natureza crucial das suas responsabilidades, especialmente em momentos de crise, tais como avarias mecânicas, incêndios ou outras ocorrências inesperadas durante as operações de navegação, o conhecimento, treinamento e a disponibilidade de recursos técnicos e operacionais não podem ser subestimados. Nessas situações cruciais, o conjunto de competências e o conhecimento técnico do *Engineer Officer* assumem um papel central na facilitação de uma reação rápida e na resolução eficaz destas emergências. Por isso, suas

ações são fundamentais para garantir o bem-estar da tripulação e preservar a solidez operacional da embarcação.

4.5 Características do IPMS em navios de guerra

No que diz respeito às distinções fundamentais entre o IPMS empregado em navios convencionais e aquele empregado em navios de guerra, há algumas diferenças importantes a serem consideradas.

O IPMS usado em navios convencionais controla e monitora uma ampla variedade de sistemas a bordo, como sistema propulsão, auxiliares, elétricos, controle de danos e governo. Isto simplifica as operações e garante a segurança e eficiência na operação do navio.

Entretanto, por conta de navios de guerra possuírem sistemas mais complexos e peculiares a serem operados voltados para o combate, a existência do IPMS proporciona maior comodidade, segurança, confiabilidade e eficácia no gerenciamento dos sistemas durante operações militares caso haja avarias operacionais.

A robustez e a resistência são as principais características de um IPMS em navios de guerra, o que garante que o sistema suporte condições adversas e possibilita a prontidão do navio em momentos críticos no ambiente de combate.

Entretanto, pelo fato do CMS da FCT possuir atualmente apenas a capacidade de monitoramento de seus componentes localizada em cada subsistema de armas e sensores, o IPMS com sua arquitetura aberta e por meio da integração da instrumentação do CMS é uma ferramenta que possibilita a consolidação das informações em um único lugar.

4.6 Integração da instrumentação proposta para monitoramento dos armamentos no IPMS - Compatibilidade e adaptações

Esta seção tem o propósito de apresentar a proposta de integração da instrumentação do CMS ao IPMS detalhando as modificações e os requisitos a serem cumpridos. O objetivo da integração é permitir uma interoperabilidade entre os sistemas, através de modificações que permitam o compartilhamento de informações das armas.

No processo de integração, além de definir os requisitos funcionais físicos e restrições de projeto como instalação física, ferramentas, segurança, logística, operação e interface

gráfica, é essencial determinar os requisitos de software como funcionalidade, desempenho, estrutura de dados e interfaces externas.

De acordo com Department of Defense (2021) os elementos de um programa eficaz de *Human Systems Integration*²⁰ devem:

- Fornecer uma solução operacional otimizada aos combatentes;
- Levar ao desenvolvimento ou melhoria de todas as interfaces humanas;
- Alcançar a eficácia necessária do desempenho humano durante testes, operação, manutenção, suporte, transporte, desmilitarização e eliminação;
- Garantir que as demandas sobre recursos de pessoal, habilidades, treinamento e custos sejam planejadas e contabilizados em todas as fases do ciclo de vida do sistema;
- Garantir que o desempenho humano geral esteja dentro dos conhecimentos, competências e habilidades dos operadores, mantenedores e usuários designados para apoiar as tarefas da missão; e
- O Plano de Engenharia de Sistemas deve enfatizar que o ser humano é um elemento essencial do sistema e que os requisitos e questões humanas serão abordados no design.

De acordo com Maier,

A independência e extensão dessas agregações de sistemas resulta em uma ênfase ainda maior no design de interface do que na arquitetura de sistema tradicional e Engenharia. Como os componentes são frequentemente desenvolvidos independentemente do agregado, o agregado emerge como um sistema por si só apenas através da interação dos componentes. Como os elementos serão desenvolvidos e operados de forma independente, o arquiteto do sistema de sistemas deve expressar uma estrutura global em grande parte (ou mesmo totalmente) através da especificação de padrões de comunicação. Sistemas de sistemas são amplamente definidos pela interface padrões. Geralmente, estes serão padrões de protocolo de comunicação, possivelmente em muitos níveis de uma rede em camadas. modelo de comunicação. Somente em casos especiais deverá haver interfaces mais concretas. Diferentes problemas exigem padrões de interface em diferentes níveis. Algumas aplicações, destacam-se por serem de transporte inteligente e podem exigir um padrão exclusivo construído a partir da transmissão física ascendente. À medida que a comunicação de dados se torna onipresente, os padrões utilizados em sistema de sistemas, serão padrões de alto nível, operando acima da camada de transporte, que definem a semântica do conteúdo das mensagens passadas entre os componentes. Esses padrões, às vezes chamados de middleware, provavelmente serão construídos em estruturas de objetos distribuídos e de mensagens. Em alguns casos, sistemas militares para por exemplo, podem definir parte de sua arquitetura através de

²⁰É uma abordagem gerencial e técnica interdisciplinar para o desenvolvimento e sustentação de sistemas que se concentra nas interfaces entre os seres humanos e os sistemas técnicos modernos. O objetivo final da HSI é otimizar o desempenho total do sistema e minimizar os custos totais de propriedade. Tradução própria: Integração de Sistemas Humanos

capacidade intelectual, formação profissional e doutrinas. (Maier, 1998, p.267, tradução nossa)

Para tornar a integração dos sistemas viável, é necessária a verificação da compatibilidade e definir eventuais adaptações a serem realizadas em três níveis de protocolo:

- Protocolo físico/arquitetura;
- Protocolo lógico; e
- Protocolo elétrico.

Para Asch (2023b), muitas das vezes, para fazer um componente se comunicar com outro, é preciso dominar as tecnologias de ambas as partes (hardware; linguagem programação; formatação dos dados para comunicação; e outros), como também a lógica por trás do funcionamento e a solução da implementação dos componentes. Ele também propõe sete questionamentos a serem realizados para a execução do processo de integração:

- O plano de integração respeita o modelo?
- A ordem de montagem esperada (estratégia de integração) é realista?
- Nenhum elemento do sistema e interface (lógica ou física) definidos no documento de design do sistema são esquecidos?
- Cada interface e interação entre os elementos implementados são verificáveis e verificados?
- Procedimentos de montagem e ferramentas de montagem estão disponíveis e validados antes de iniciar a montagem?
- Os procedimentos e ferramentas de V&V²¹ estão disponíveis e validados antes do início da verificação?
- Os relatórios de integração são registrados?

Em seu livro *Sistemas de Engenharia de Sistemas: Conceitos Básicos, Técnicas Baseadas em Modelos e Direções de Pesquisa*, Nielsen (2015) afirma que

Como consequência, talvez nunca seja alcançado um ponto de sincronização, onde todos os constituintes dos sistemas de um SoS estão em um estado de linha de base, pronto para testes de integração do sistema. Este problema pode ser mitigado por campanhas de testes de interoperabilidade. O teste verifica dois ou mais sistemas constituintes com os seguintes objetivos:

- Garantir suas capacidades básicas para troca de dados nas interfaces pretendidas.
- Verificar se as propriedades sinérgicas esperadas desta cooperação são realizadas em conformidade com os requisitos SoS.

²¹ É um processo que tem como objetivo garantir que um produto ou sistema atenda aos requisitos e expectativas do cliente, além de estar em conformidade com as normas e padrões estabelecidos e significa verificação e validação.

A última atividade de V&V é chamada de teste ponta a ponta, uma vez que a funcionalidade SoS é investigada ao longo de toda a cadeia de processamento, desde o sistema constituinte inicial até os sistemas de suporte e, finalmente, aqueles que utilizam os resultados estabelecidos. Numa campanha de testes de SoS sistematicamente estruturada, é primeiro assegurado que os testes a nível dos constituintes foram concluídos com sucesso para garantir que os sistemas cumpram os seus requisitos e especificações. Em particular, deve ser assegurado que os testes de conformidade tenham sido realizados para verificar se cada sistema constituinte está em conformidade com o (comunicação e/ou funcionais). Os testes de aceitação devem garantir que propriedades funcionais, estruturais e não funcionais específicas do sistema sejam cumpridas. Então, o teste de interoperabilidade investiga se os constituintes cooperam adequadamente para garantir as propriedades emergentes de SoS necessárias. (Nielsen et al., 2015, p. 20, tradução nossa)

As interligações para trocas de dados entre os elementos constituintes, conhecidas como interfaces, possibilitam a execução integrada de funções e tarefas dos subsistemas e do SoS. O objetivo é integrar itens de configuração do sistema a partir dos acordos de interface e documentos específicos desses itens. Para realizar uma boa integração, é preciso definir as especificações de interface descrevendo as seguintes características:

- Tipo e características físicas da interface;
- Protocolo elétrico/sinalização;
- Protocolo funcional da sinalização;
- Protocolo de dados (formato lógico das mensagens de dados);
- Taxa de fluxo de dados (desempenho da interface); e
- Informações de/para entre equipamentos CMS e IPMS e entre equipamentos do IPMS.

4.6.1 Protocolo físico

No protocolo físico, apesar da arquitetura do IPMS ser aberta e distribuída conforme afirma L3 Harris (2023), para a integração exige-se algumas adaptações. Embora trate-se de protocolo lógico, o IMPS possui um banco de dados de interface de sinais que relaciona sensores, dispositivos, usuários, subsistemas e sistemas de forma a permitir o fluxo de dados eficiente de todo sistema. Os novos sensores propostos para instalação nos componentes do CMS devem ser incorporados a esta base, já que a MB na *Transfer of Technology* (ToT) terá a capacidade de gerenciamento, alteração e evolução desta base de dados conforme previsto no projeto.

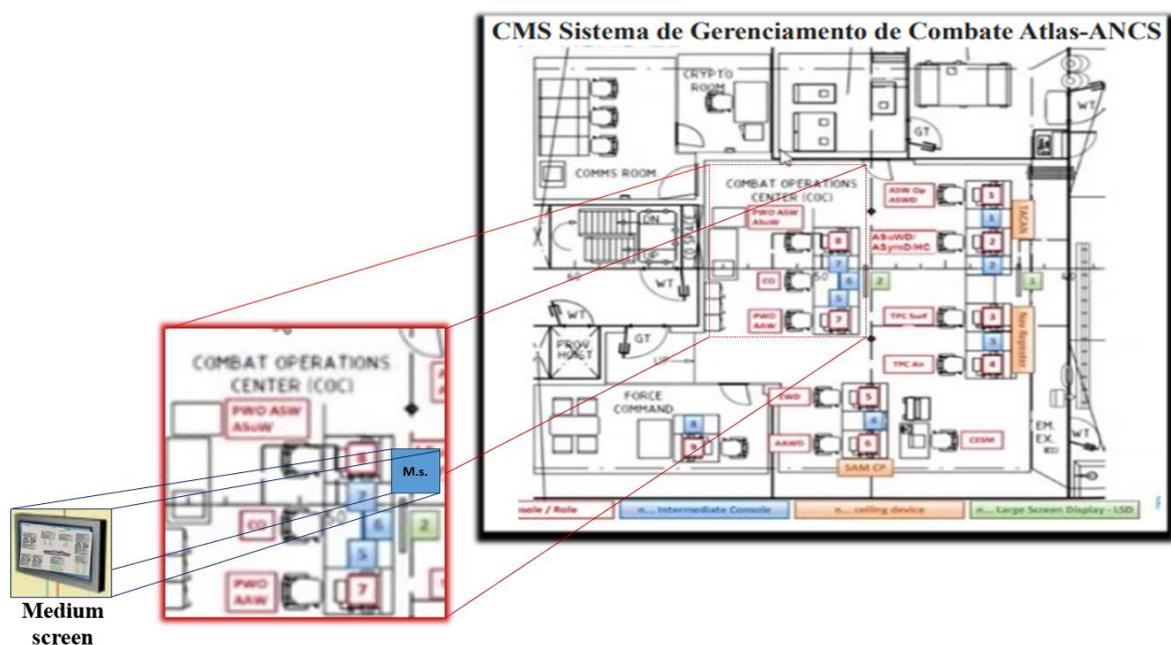
O banco de dados de interface é distribuído a todos os dispositivos de rede. Ele relaciona os sinais com as características correspondentes de sensores e atuadores dos

elementos monitorados, adequando os diversos tipos de sinais e protocolos padrões de comunicação às conexão dos cartões de conversão. Além disso, permite o gerenciamento dos sinais de monitoramento e de atuação dos sistemas que estão relacionado. A L3 Harris (2023) informa que

A conectividade em todo o sistema é fornecida por um barramento de dados redundante. Uma abordagem multicast confiável garante a integridade de comunicação de dados no barramento, minimizando o tráfego do barramento e fornecendo latência de dados muito baixa. Os cabos *Databus* são estrategicamente roteados através do navio com separação geográfica adequada para fornecer a máxima capacidade de sobrevivência do sistema. A arquitetura de sistema aberto permite o uso de uma variedade de redes de dados de acordo com os requisitos do cliente. Permite também a interface do IPMS com outros sistemas através de barramento de campo, *links seriais* e outras interfaces. (L3 HARRIS, 2023, tradução nossa)

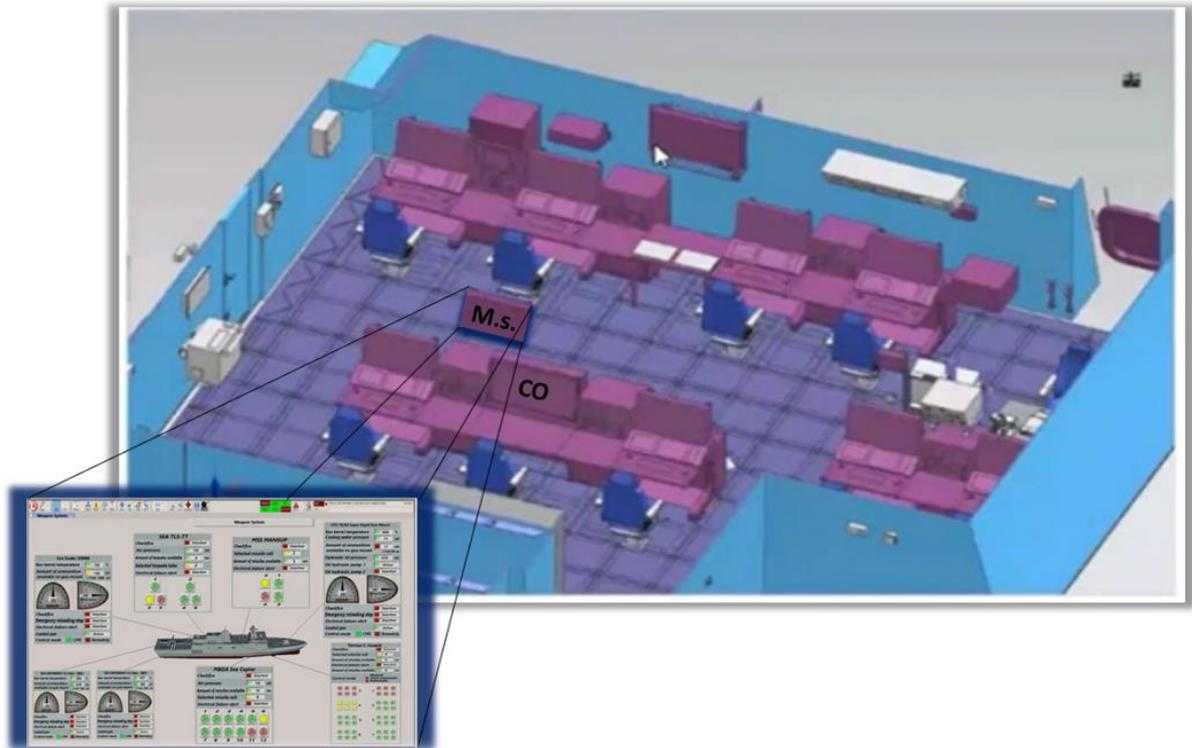
Porque o objetivo é criar uma apresentação do monitoramento do CMS no software de interface do IPMS e instalar uma *medium screen display* no *COC* onde poderão ser apresentadas as abas do monitoramento do CMS e também as abas de monitoramento de outros sistemas do navio do próprio já existentes no IPMS. A arquitetura aberta do IPMS facilita a instalação de sensores e da *medium screen display* que será instalada acima da *large screen display* do comandante já existente no projeto, com finalidade de apresentação da tela de qualquer *Multi-Function Console* (MFC) do CMS, conforme apresentado na figura 4.3 e na figura 4.4 com uma visão 3D.

Figura 4.3 - Layout do Centro de Operações de Combate



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 14)

Figura 4.4 - Layout do Centro de Operações de Combate com a *medium screen display* acima da *large screen display* do comandante – 3D



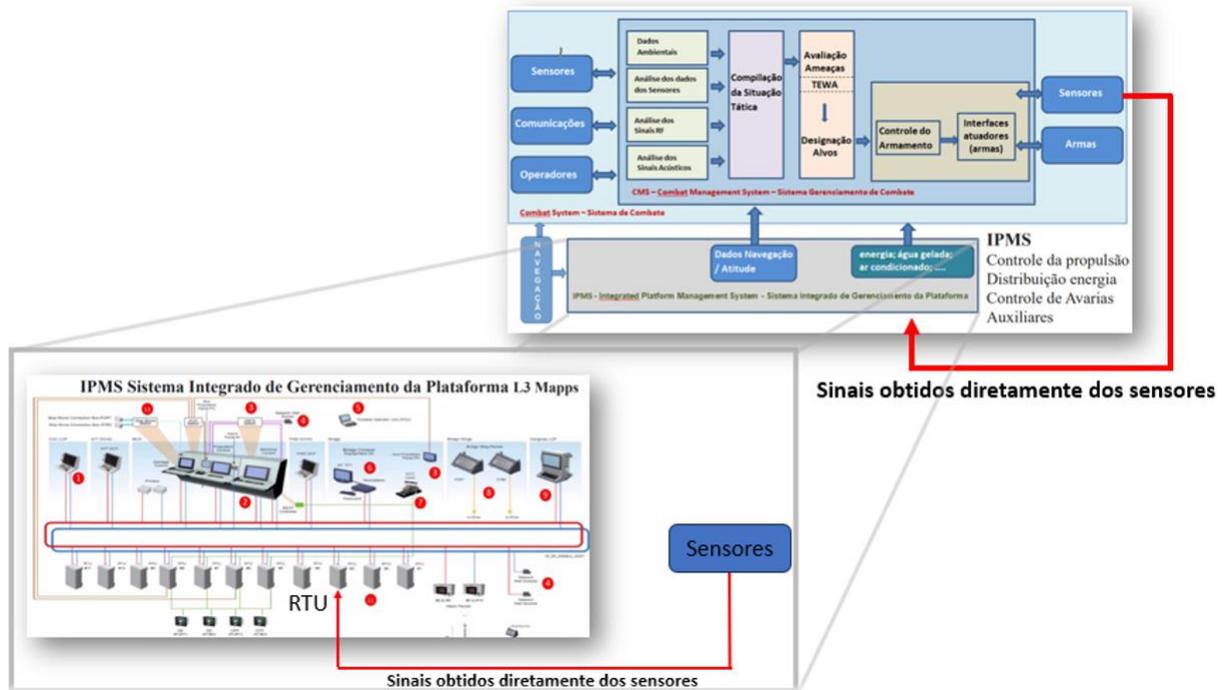
Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 15)

A localização escolhida para instalação da *medium screen display* no COC é a mais próxima possível ao comandante do navio e visa a redução do tempo de acesso às informações. Há duas formas de instalação da *medium screen display*. A primeira que é a mais simples, seria espelhar a tela do console do operador IPMS, porém assim o comandante ficaria visualizando todas as alternâncias de abas durante a operação do operador, o que muitas das vezes não é o desejado. E para resolver essa questão, propõe-se a segunda forma, que seria instalar um microcomputador autônomo do console do operador do IPMS e a *medium screen display* como periférico, o que possibilitaria o comandante ou até mesmo o operador do IPMS alternar instantaneamente as abas de acordo com as demandas de informação solicitadas pelo comandante.

Quanto aos sensores, pode-se considerar utilizar sinais disponíveis no CMS e em sensores já instalados no projeto da FCT ou a instalação daqueles específicos para suprimir as informações necessárias. No caso dos sensores já existentes, o sinal seria bifurcado e uma destas vias dos sinais alimentaria o IPMS. A ligação dos sinais pode ser feita de duas formas:

A primeira seria a mais simples conforme a figura 4.5 para aqueles sensores que já possuem protocolo compatível, fornecendo os sinais dos sensores diretamente às redes de fibra ótica do IPMS e conectando por meio das *Remote Terminal Unit*²² (RTU) mais próximas das armas.

Figura 4.5 - Obtenção dos sinais dos sensores e inserção no IPMS através das RTU



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 10,21)

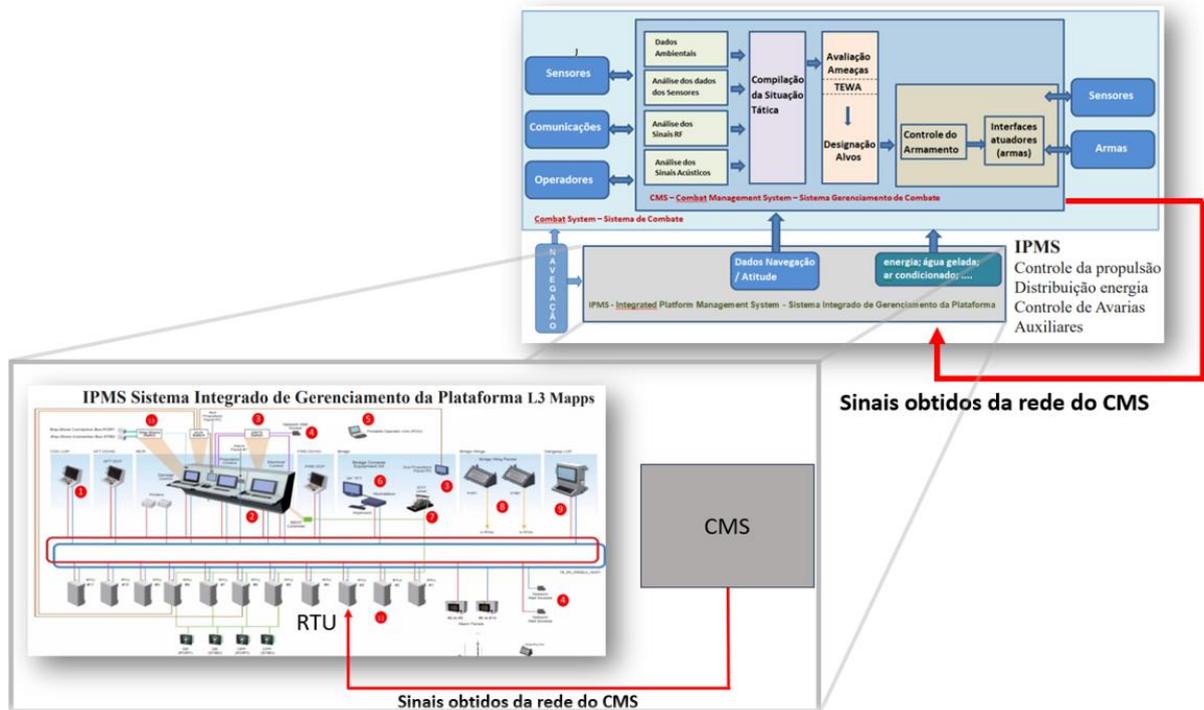
A segunda, e mais complexa, conforme mostra a figura 4.6, seria a extração dos sinais diretamente do CMS, entretanto esta medida exige alterações nos protocolos elétrico e lógicos do CMS e também do IPMS. Mais do que compatibilizar as linguagens de programação, é necessário modificar os softwares para permitir a integração e comunicação dos sistemas. Geralmente, os desenvolvedores de sistemas fornecem o *Interface Control Document*²³ (ICD) para que outros sistemas sejam integrados, porém muitas das vezes, são necessárias alterações a fim de permitir a interoperabilidade. Na impossibilidade ou que se observe uma demanda

²² São principalmente unidades independentes de aquisição e controle de dados. Uma configuração típica inclui módulos de hardware como microprocessador de controle e memória associada, entradas analógicas, saídas analógicas, entradas de contadores, entradas digitais, saídas digitais, interfaces de comunicação e E/S, fonte de alimentação, juntamente com um rack e gabinete RTU.

²³ É o documento que fornece um registro de todas as informações de interface geradas para um projeto como desenhos, diagramas, tabelas e informações textuais. Os documentos de interface subjacentes fornecem os pormenores e descrevem a interface ou interfaces entre subsistemas ou para um sistema ou subsistema. Tradução própria: documento de controle de interface

excessiva de custo e trabalho, sugere-se adotar para qualquer destes casos, a implementação a nível de protocolo elétrico, como implantado para os diversos sensores no IPMS.

Figura 4.6 - Obtenção dos sinais da rede do CMS e inserção no IPMS através das RTU



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 10,21)

4.6.2 Protocolo lógico

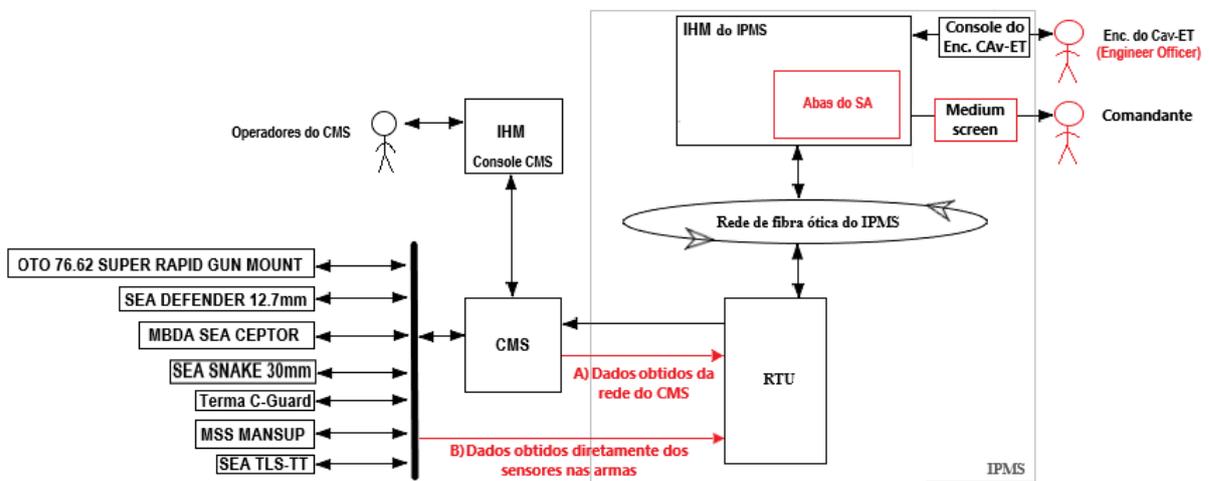
No protocolo lógico, é preciso compatibilizar os protocolos de dados que são os formatos lógicos das mensagens de dados, as taxas de fluxo de dados que são os desempenhos da interface e os protocolos de redes que são as normas que permitem que duas ou mais máquinas se comuniquem para transferência de dados entre si, e estabelecer o framework a ser utilizado. Isto permite que conjuntos de instruções de diferentes níveis de um mesmo software, ou, até mesmo, de diferentes softwares possam ser integrados, a fim de fornecer funcionalidades comuns. Ao criar ou modificar um software, a estrutura pode ser configurada para implementar funcionalidades específicas.

Com isso, o protocolo de mensagem de dados deve ser adaptado para que os dados provenientes de novos sensores possam ser transmitidos sem que haja falha no envio e recepção das informações. Segundo Asch (2023a), o IPMS suporta múltiplos domínios de

informação em sua rede, o que ameniza a preocupação quanto a limitação em termos de capacidade de dados a serem transmitidos na rede.

Como a MB terá o domínio para manutenção, alteração e manutenção da base de informações, inclusive da alteração e incorporação de sensores para o IMPS, não se vislumbra grandes dificuldades de incorporação de sensores do CMS e adaptações do formato de mensagens para compatibilizar e incorporar o monitoramento do CMS como um novo subsistema do IPMS. Na figura 4.7, é possível ver as alterações no fluxo de dados após a integração.

Figura 4.7 - Diagrama de fluxo de dados entre CMS e IPMS obtendo sinais diretamente na central do CMS



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.3 Protocolo elétrico

O Protocolo elétrico abrange o protocolo elétrico das redes e o protocolo funcional da sinalização entre os sistemas e sensores. Neste nível, a preocupação principal é quanto ao tipo de sinal que será fornecido pelos sensores, podendo ser digital ou analógico. Embora atualmente seja mais comum que dispositivos periféricos forneçam sinais digitais, a arquitetura física do IPMS prevê a condição de receber sinal analógico e tem a capacidade de conversão destes sinais em digitais por meio das RTU. A fim de facilitar a instalação elétrica, o ideal é que sejam instalados sensores que forneçam saídas com sinais digitais.

No IMPS, para sensores que não dispõem de saídas já no protocolo de redes, esta conversão é realizada através de cartões conversores de entrada/saída que ficam fixados nos

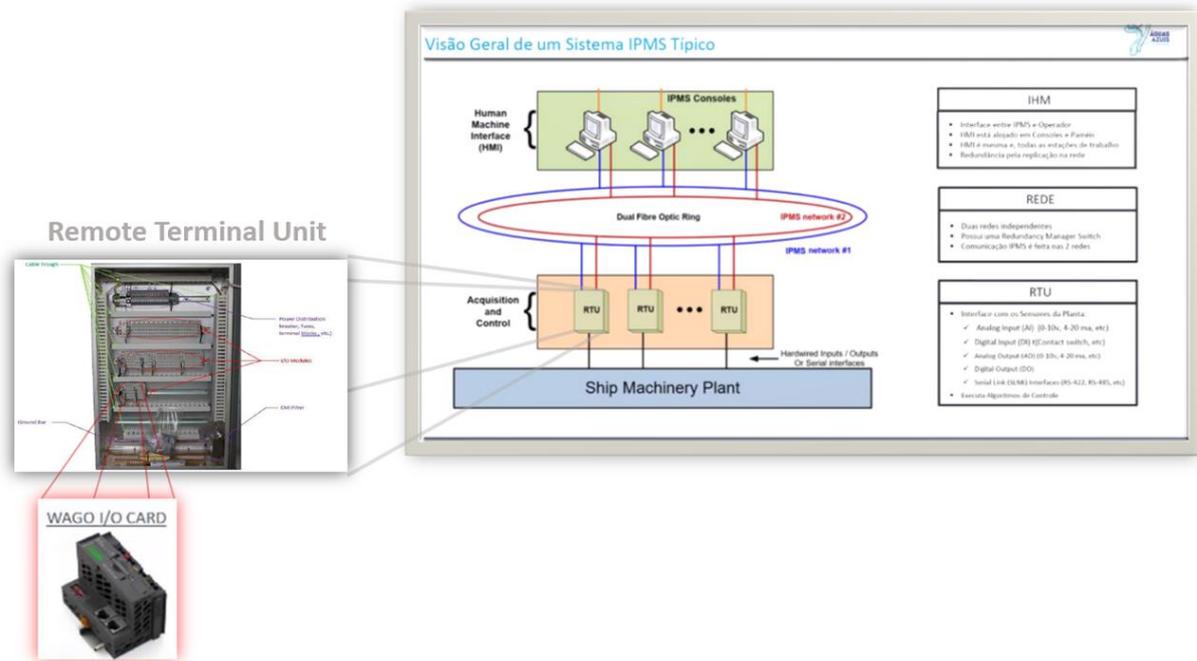
barramentos das RTU. Na FCT, serão utilizados os chamados cartões WAGO²⁴, que é um dos padrões disponíveis no mercado. As RTU proveem condicionamento ou conversão de sinais provenientes dos dispositivos de campo, bem como a digitalização dos sinais para as estações de operação e também convertem dados digitais provenientes das estações de operação em sinais analógicos e digitais, a serem enviados para os dispositivos de campo. Na figura 4.8, é possível visualizar uma RTU e um Cartão I/O WAGO e como eles se interligam na arquitetura física da rede de um IPMS qualquer. Ao comparar com a figura 4.1, é possível ter uma visão holística do IPMS da L3 Harris que será utilizado na FCT.

Quanto à aquisição e ao controle de dados, a L3 Harris afirma,

Fornecemos sistemas que podem interagir com apenas 100 sinais e com um número virtualmente infinito de sensores e atuadores. Para gerenciar esse vasto diferencial de sinais, nosso IPMS fornece uma abordagem flexível e eficaz para aquisição e controle de dados usando RTU de densidade variável que são capazes de interagir com uma ampla variedade de sensores e atuadores. Tais interfaces podem ser conectadas diretamente aos dispositivos da planta ou podem ser fornecidas através de links seriais e barramentos de campo. As RTU são baseadas em módulos eletrônicos de arquitetura aberta COTS que integram funções de condicionamento e processamento de sinais e fornecem isolamento óptico para sinais de campo. As RTU adquirem dados de sensores de plantas, realizam testes de plausibilidade, verificam se há violação de limites, transmitem os dados para outros subsistemas do IPMS conforme necessário, processam sequências de controle automático, sinais de controle de saída para atuadores e realizam testes integrados on-line e off-line. O software de controle automático de propulsão e gerenciamento de energia residem nas RTU juntamente com o software de controle para outras máquinas e sistemas de plataforma. Estas unidades são robustas para instalação em espaços de máquinas de navios de guerra e podem suportar as mais rigorosas condições ambientais. (L3 HARRIS, 2023, tradução nossa)

²⁴ O módulo WAGO é um tipo de Controlador Lógico Programável utilizado para uma ampla variedade de aplicações em automação industrial, de processos e de edifícios. Os cartões de medição de energia WAGO realizam as medições das seguintes grandezas elétricas: tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, fator de potência e consumo de energia (Kw/h) e converte em protocolos padrões de comunicação (em rede padrão Ethernet por exemplo) e vice-versa para controle de dispositivos conectados.

Figura 4.8 - Remote Terminal Unit e Cartão I/O WAGO



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 9,17)

Ademais, é desejável que os sensores, assim como outros hardwares utilizados no projeto sejam do tipo COTS, com o objetivo de facilitar a implantação, a manutenção e o apoio, o que diretamente reduz custos e tempo em eventuais reparos futuros.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América demonstra preocupação quanto a utilização dos COTS e expõem a importância de aplicar em seus sistemas de engenharia:

Os programas devem considerar a disponibilidade potencial de itens substitutos ou alternativos adequados ao longo do ciclo de vida militar mais longo, e deve monitorar o mercado comercial por meio de atividades de pesquisa de mercado e alinhamento contínuo de processos comerciais e técnicos. Esta atividade necessária impõe custos adicionais, de cronograma e de desempenho, para os quais os responsáveis pela aquisição devem planejar. Os produtos COTS devem ser avaliados para atender a todos os requisitos de desempenho e confiabilidade durante todas as condições ambientais e requisitos de vida útil especificado pelos documentos de requisitos da aplicação pretendida. (Department of defense, 2021, p.153-154, tradução nossa)

Contudo, a utilização de itens deste tipo facilita o fornecimento de sobressalentes e a realização da manutenção em curto espaço de tempo conforme previsto pelo Apoio Logístico

Integrado²⁵ (ALI). Os resultados refletem em maior disponibilidade, maior confiabilidade e menor custo de operação e manutenção dos meios.

O ALI na MB tem o propósito de compatibilizar o máximo de disponibilidade com o mínimo de custos de operação e manutenção do novo item, mediante a abordagem dos aspectos logísticos a partir do início do processo de obtenção. Não se consideram apenas o desempenho do sistema e o custo inicial de sua aquisição como fatores determinantes de sua definição, mas também o custo do apoio logístico ao longo de toda a sua vida útil. É, portanto, uma composição de todos os elementos necessários para assegurar o apoio eficaz e econômico de um meio, sistema ou equipamento durante sua vida operativa. (Brasil, 2013, p. 1-1)

4.6.4 Desafios da integração

A integração obtendo os sinais diretamente dos sensores nos componente do CMS e conectando nas RTU é um processo mais simples. Sendo necessária então a instalação dos sensores, uma conexão física até os cartões WAGO conversores, alteração no protocolo lógico para o transporte dos dados adicionais, inclusão na base de dados de interface e por fim a criação das abas na IHM para apresentação no software aplicativo.

Já no caso de aquisição de dados diretamente da rede do CMS, a integração se torna mais difícil. Será necessário fazer adaptações nas interfaces de rede e talvez modificações nos códigos dos softwares baseadas nas facilidades documentadas pelo desenvolvedor no ICD, a fim de que os distintos softwares consigam se entender e compartilhar dados.

Além disso, é possível que após as atualizações de software ocorram *bugs*²⁶, como um efeito colateral devido às mudanças nas interfaces e isto pode levar a incompatibilidade entre sistemas durante a interoperação. Contudo, conclui-se que a primeira solução é menos desafiadora e mais factível de implementar.

4.7 Interface Homem-Máquina

De acordo com L3 Harris (2023), o IPMS inclui design de IHM avançado que é consistente com sua aplicação em um navio de guerra sofisticado. A IHM primária está na forma de consoles de controle multifuncionais, normalmente localizados na sala de controle

²⁵ É um processo utilizado para planejar e dirigir as atividades associadas à implantação do apoio logístico para os meios e sistemas.

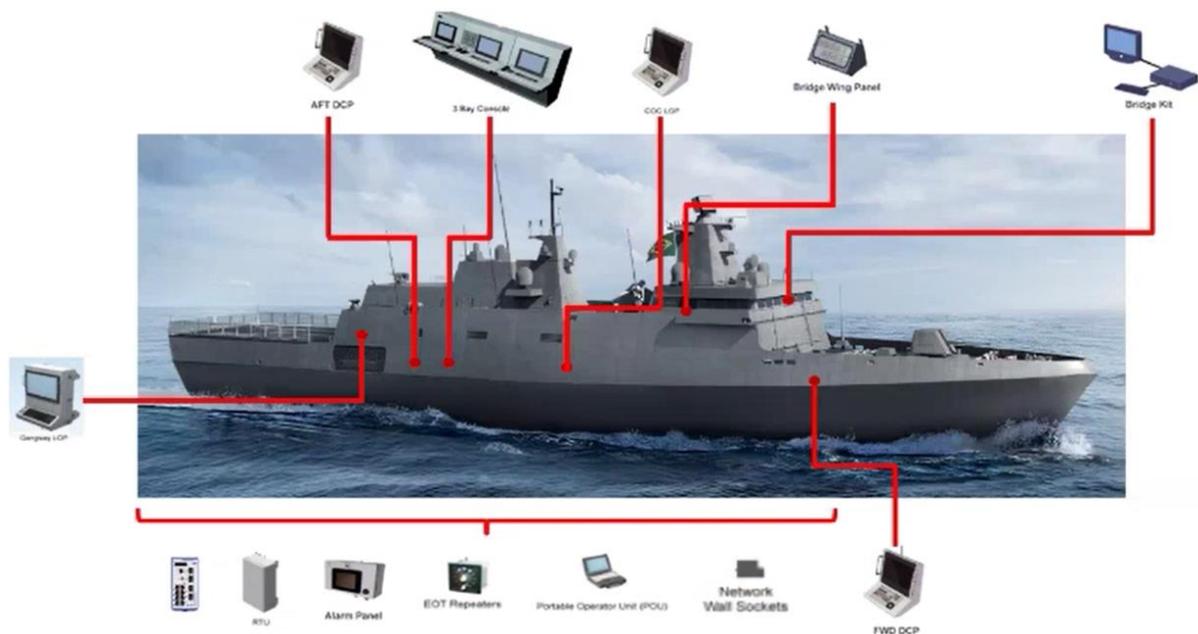
²⁶ É um problema inesperado com software ou hardware. Problemas típicos são muitas vezes o resultado de interferência externa com o desempenho do programa que não foi antecipado pelo desenvolvedor. Pequenos bugs podem causar pequenos problemas, como telas congeladas ou mensagens de erro inexplicáveis que não afetam significativamente o uso.

de máquinas e no passadiço. Há também consoles montáveis distribuídos nas anteparas do navio que são normalmente fornecidos em bases de seção de controle de danos locais e para controle local nas salas de máquinas e outros espaços de máquinas. As unidades operacionais portáteis suportam operações de controle de emergência e solução de problemas usando equipamentos e software de teste integrados.

O controle e o monitoramento a partir dos consoles são realizados através do uso de painéis de controle integrados e monitores coloridos de alta resolução que exibem páginas gráficas ergonomicamente projetadas das máquinas e sistemas da plataforma. Cada console é multifuncional e pode executar todas as funções do IPMS, desde que a autorização de senha apropriada seja usada e os protocolos de transferência de controle sejam respeitados. (L3 Harris, 2023)

Na figura 4.9, é possível visualizar a distribuição dos consoles do IPMS no projeto da FCT.

Figura 4.9 - Distribuição de consoles do IPMS no projeto da FCT

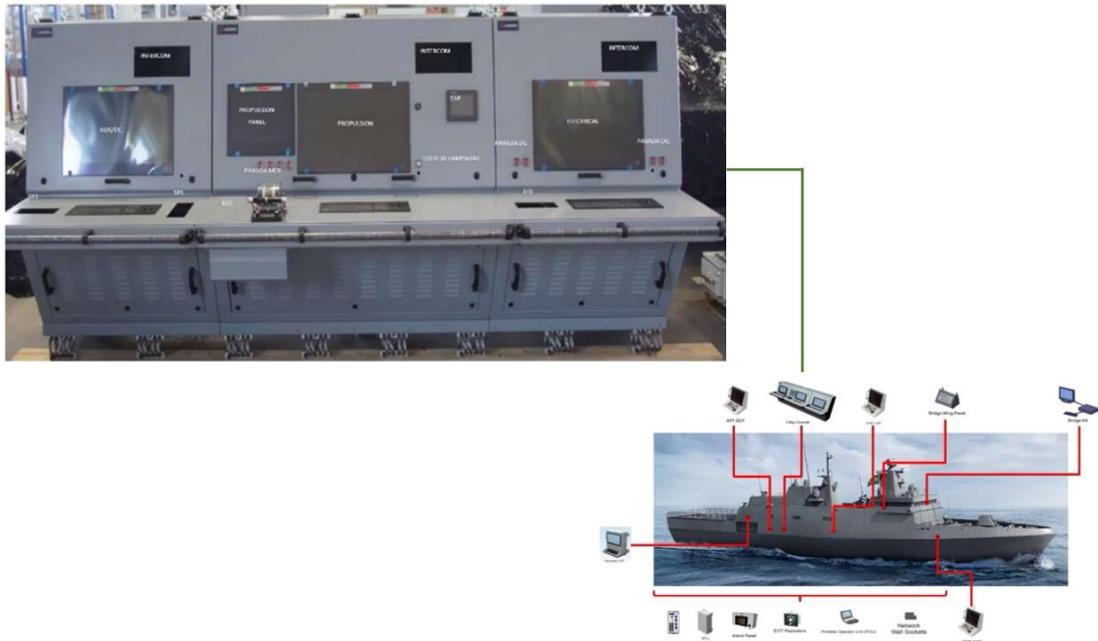


Fonte: Asch (2023a, p. 4)

Com o objetivo de apresentar a arquitetura, serão apresentados os consoles do IPMS definidos no projeto e suas características. O console do *Main Control Room* (MRC) contém três estações de operação localizadas no *Engine Control Room* (ECR) denominado na MB de Centro de Controle da Máquina (CCM), representadas pela figura 4.10. Além das funções inerentes ao IPMS, o console incorpora também um telégrafo de manobra que é ligado ao telégrafo existente no passadiço através de interface direta com o sistema de propulsão,

interfaces de comunicação interna, interface com o Sistema de Treinamento a Bordo e comunicação com o Sistema de Monitoramento de Equipamentos e o Sistema de Informações Logísticas do Navio através da conexão entre navio e cais.

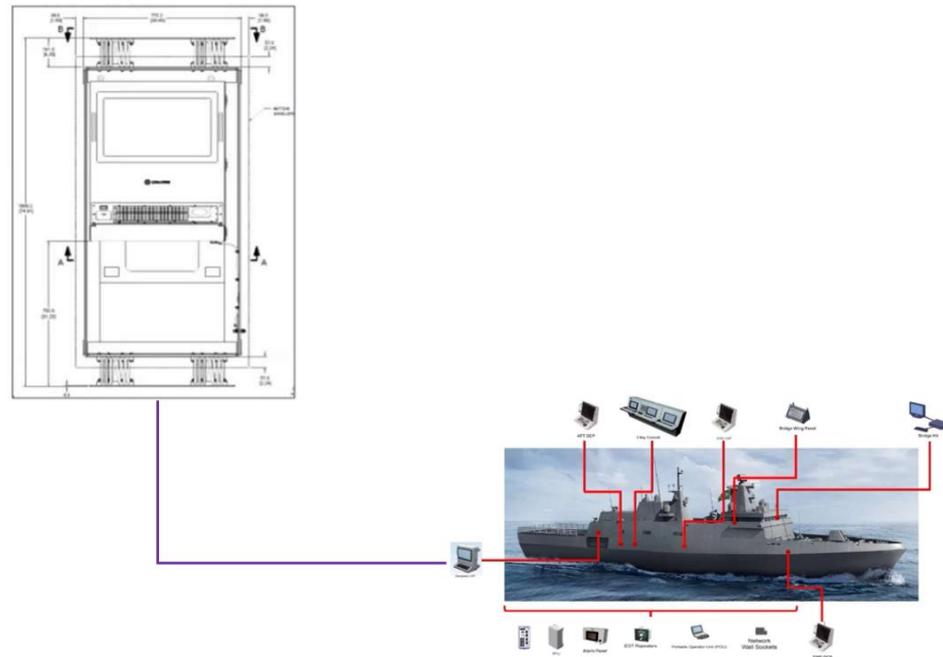
Figura 4.10 - Console do *Main Control Room*



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 4)

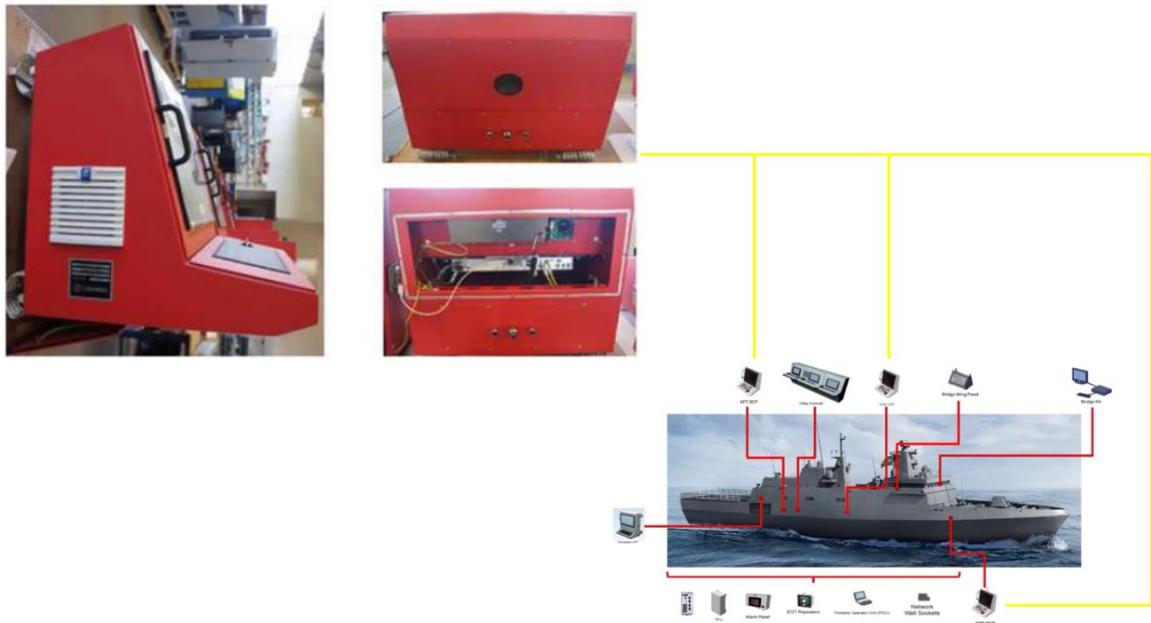
O projeto conta com um console no portaló chamado de *Gangway Operator Local Panel*, sendo uma simples estação montada na antepara com amortecedores de choque e exposta, a qual permite ao militar que está de serviço no local ter acesso facilitado a uma gama de informações em tempo real no IPMS, como é possível visualizar na figura 4.11.

Figura 4.11 - Console *Gangway Operator Local*



Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 4,6)

Além disso, estão previstos no projeto dois consoles *Damage Control Painels* para uso do CAV, apresentados na figura 4.12, e que ficam localizados nas estações de controle de avarias, sendo uma à ré e outra à vante do navio, assegurando disponibilidade de pelo menos um console em caso de restrição de acesso ao outro. E também outro console como este no COC, considerado como o console de CAV-ET e de onde poderiam ser monitoradas as armas do CMS com base na proposta apresentada por este trabalho. Este tipo de console hospeda o *Battle Damage Control System Software* e são conectados com redundância às duas redes do IPMS.

Figura 4.12 - Consoles *Damage Control*

Fonte: Adaptado de Asch (2023a, p. 4,5)

Esta configuração permite um alto nível de capacidade de sobrevivência, já que o controle total da plataforma pode ser exercido a partir de vários locais amplamente separados no navio.

Segundo Asch (2023a), a MB e a Atech adquirirão da empresa Atlas a capacidade de executar atividades de manutenção e de evolução e dominarão a tecnologia do CMS. Além disso, serão adquiridas a especificação, o projeto, o desenvolvimento das instalações e a integração do CMS nas FCT. Já da L3 Mapps, as capacitações gerais a serem adquiridas pela MB serão a execução de atividades de geração de software aplicativo para componentes do IPMS, de modo a realizar, de forma independente, manutenção preventivas, corretivas ou evolutivas, o planejamento e a execução de alterações no software aplicativo dos componentes do IPMS e sua integração com o IPMS *Core Software* e o diagnóstico de falhas nos componentes do IPMS, identificando a melhor linha de ação para sua manutenção.

Com o intuito de ampliar esta capacidade e melhorar a eficiência em combate, no atual projeto da FCT é mais simples e factível propor a criação de abas para monitoramento dos componentes do CMS, uma vez que a Atech e a MB poderão customizar parte da interface do IPMS, executar alterações no software aplicativo dos componentes e acessar ao banco de dados de sinais facilitando a adequação dos protocolos lógico, físico e elétrico. Além disso, este trabalho propõe a instalação da *medium screen display* acima da *large screen display* do

comandante no COC, o que permitirá ao comandante o acompanhamento detalhado de parâmetros vitais ao funcionamento das armas.

Para armas e sensores do CMS que já possuam sensores de monitoramento, pode-se extrair uma duplicação de sinal e enviar para a RTU mais próxima, por meio de cabeamento e conectada diretamente ou por meio de conexão a um cartão WAGO para conversão e inserção do sinal na rede do IPMS. No caso dos sensores inexistentes, deverão ser instalados novos sensores e ligados à RTU mais próxima do mesmo modo que nos sensores existentes.

Devem ainda ser realizadas configurações no protocolo de rede de forma que estes dados inseridos na rede sejam transmitidos com os pacotes de dados e executadas alterações no software aplicativo dos componentes do IPMS, a fim de processar essas informações e reproduzir nas novas abas para o CMS que serão criadas no software aplicativo, abas estas que serão detalhadas nas próximas subseções desta seção.

4.7.1 Aba *Weapon System*

A proposta para a aba principal de monitoramento do CMS é de conter oito áreas, que através de seleção poderão abrir janelas de detalhamento, conforme a figura 4.13, na qual cada uma representa uma arma específica. Nesta proposta estão inclusas as plataformas de lançamento dos mísseis *MBDA Sea Ceptor* e dos mísseis *MSS MANSUP*, os canhões *Oto 76/62 Super Rapid Gun Mount* e *Sea Snake 30mm*, as duas metralhadoras *Sea Defender 12.7mm*, as plataformas de lançamento dos torpedos *Sea TLS-TT* e os lançadores de despistadores *Terma C-Guard*. Numa evolução de implementação, poderá conter também monitoramento de outros componentes do CMS.

As janelas apresentarão indicadores de parâmetros quantitativos das armas e indicadores de estado como:

- Temperatura;
- Pressão de óleo;
- Pressão de ar;
- Quantidade de munição restante no sistema de armazenamento da arma;
- Azimute;
- Elevação;
- *Checkfire*²⁷;

²⁷ É um comando de segurança para ativar a parada do disparo ou lançamento de um armamento.

- Aviso de parada para carregamento;
- Situação de bombas hidráulicas;
- Condição de arma carregada;
- Modo de controle da arma selecionado;
- Lançador selecionado;
- Alarmes de falhas elétricas; e
- Posição do elevador de munição.

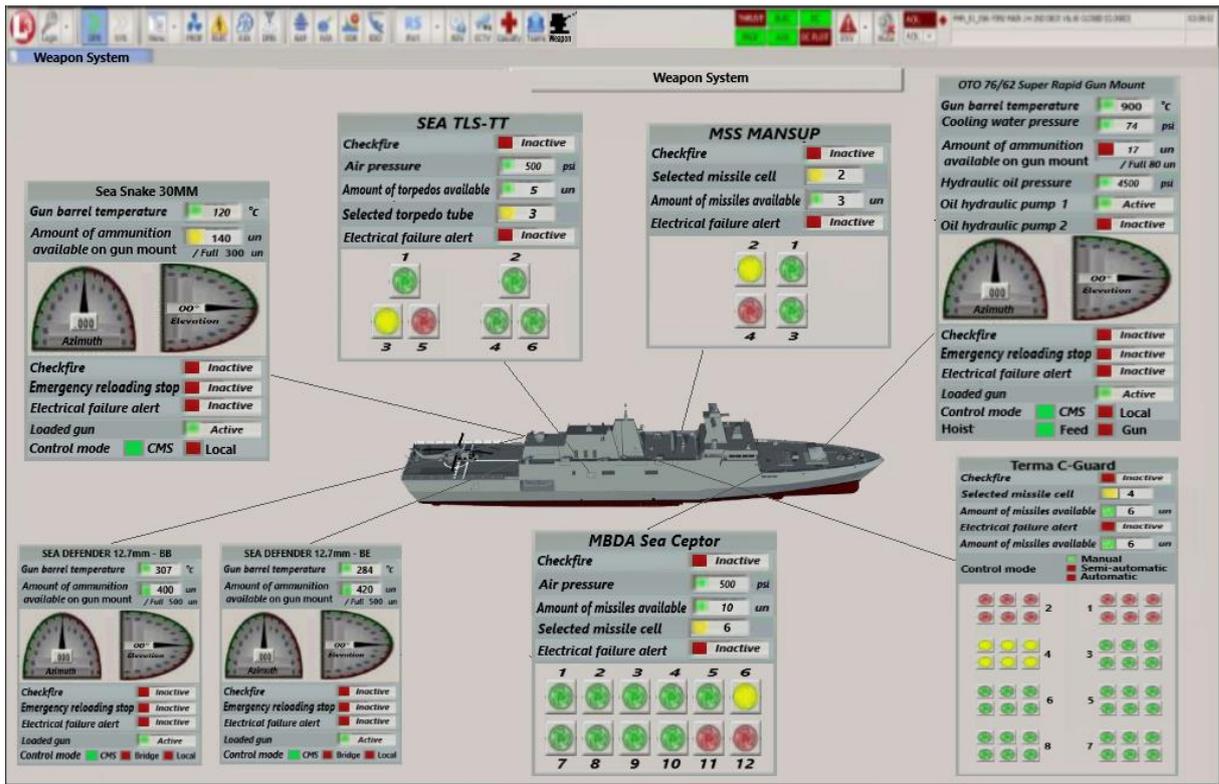
Na nova aba não será possível, em princípio, a ação remota do operador do IPMS. Os alarmes de falhas e as informações de estado são campos de ações restritas aos operadores do CMS, não se considerando necessária a capacidade de ação direta no console do IPMS, apenas a visualização.

A disponibilização das informações em um só local permite a adoção de medidas preventivas e corretivas o mais breve possível, a fim de preservar a operacionalidade e a segurança da embarcação e conseqüentemente da tripulação.

Apesar de muitas das informações de parâmetros das armas e sensores poderem estar disponíveis nos *Multi-Function Console* (MFC), ou nos *Inter Console Unit* (ICU), ou nos consoles de informações adicionais, ou nos de funções específicas no COC, essas informações são distribuídas e nem sempre disponíveis para visualização contínua em um console MF, ou são individualmente monitoradas e muitas vezes não informadas no Sistema de CMS/IC, assim este trabalho tem por objetivo concentrar melhor as informações advindas dos sensores.

No entanto, para resolver esse problema, é possível disponibilizar essas informações no MFC do CAV-ET do COC e na *Medium Screen Display* empregando o mesmo conceito aplicado nas FCT que possui dois *Large Screen Display* para apresentação de qualquer tela em exibição em um console MF.

A figura 4.13 apresenta uma representação geral da proposta de tela adicional no IPMS para monitoramento do CMS, onde são vistas as diversas áreas de monitoração. Ao selecionar uma área de monitoramento, uma aba correspondente é aberta, permitindo visualização exclusiva dos parâmetros da arma.

Figura 4.13 - *Aba Weapon System*

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.2 *Aba do canhão Oto 76/62 Super Rapid Gun Mount*

A aba do canhão *Oto 76/62 Super Rapid Gun Mount*, conforme a figura 4.14, apresenta a monitoração dos parâmetros:

- Temperatura do tubo alma;
- Pressão da água de resfriamento do tubo alma;
- Quantidade de munição restante no sistema de armazenamento da arma;
- Pressão de óleo hidráulico;
- Estado de operação de bombas de óleo hidráulico;
- Azimute;
- Elevação;
- Estado do checkfire;
- Estado indicador de parada para carregamento;
- Alarme de falhas elétricas;
- Estado indicador de arma carregada;

- Posição do elevador de munição; e
- Modo de controle da arma selecionado, podendo ser CMS ou local.

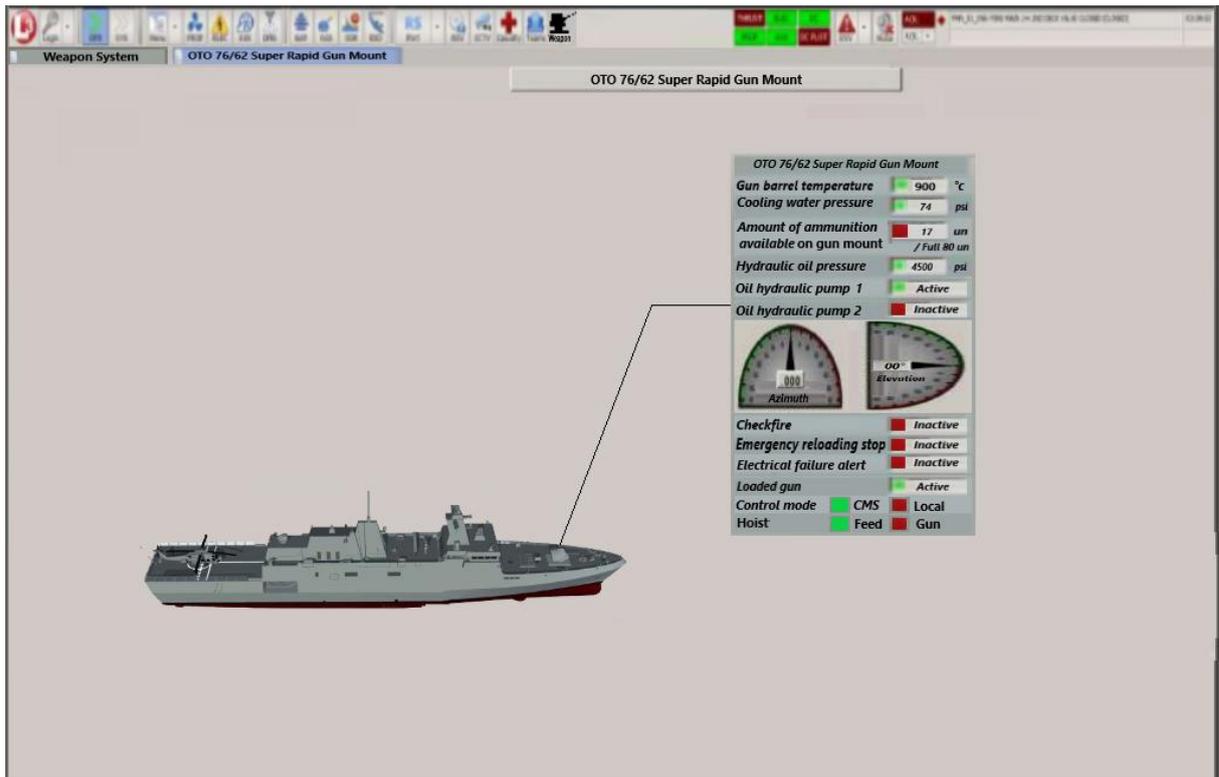
No indicador de temperatura do tubo alma, além da indicação quantitativa, pode ser selecionados três níveis de *threshold*²⁸. O mais alto considera segura a utilização da arma (luz verde), o médio exige atenção maior na observação da arma durante a utilização (luz amarela) e o mais baixo é o nível crítico para utilização sendo necessária a interrupção dos disparos para garantir a segurança (luz vermelha).

No indicador de quantidade de munição disponível na arma, podem ser definidos três níveis de *threshold*. O mais alto indica a quantidade de munição na arma ideal (luz verde), o médio indica atenção à quantidade de munição na arma reduzindo e alcançando nível crítico (luz amarela) e o mais baixo indica nível crítico e recomenda efetuar recarregamento (luz vermelha).

No indicador de pressão de óleo hidráulico além da indicação quantitativa, podem ser selecionados três níveis de *threshold*. O mais alto indica o desempenho da arma ideal e seguro e dentro dos parâmetros (luz verde), o médio exige atenção maior na observação da arma durante a utilização, podendo resultar em queda de eficiência (luz amarela) e o mais baixo é o nível crítico para utilização sendo necessária a interrupção para reparo (luz vermelha).

O indicador de posição do elevador de munição denominado *Hoist* pode estar em duas posições, quando alinhado com a arma é *Gun* ou quando alinhado com o alimentador é *Feed*.

²⁸ Uma quantidade, nível ou limite em uma escala. Quando o limite é atingido, algo mais acontece ou muda.

Figura 4.14 - Aba *Oto 76.62 Super Rapid Gun Mount*

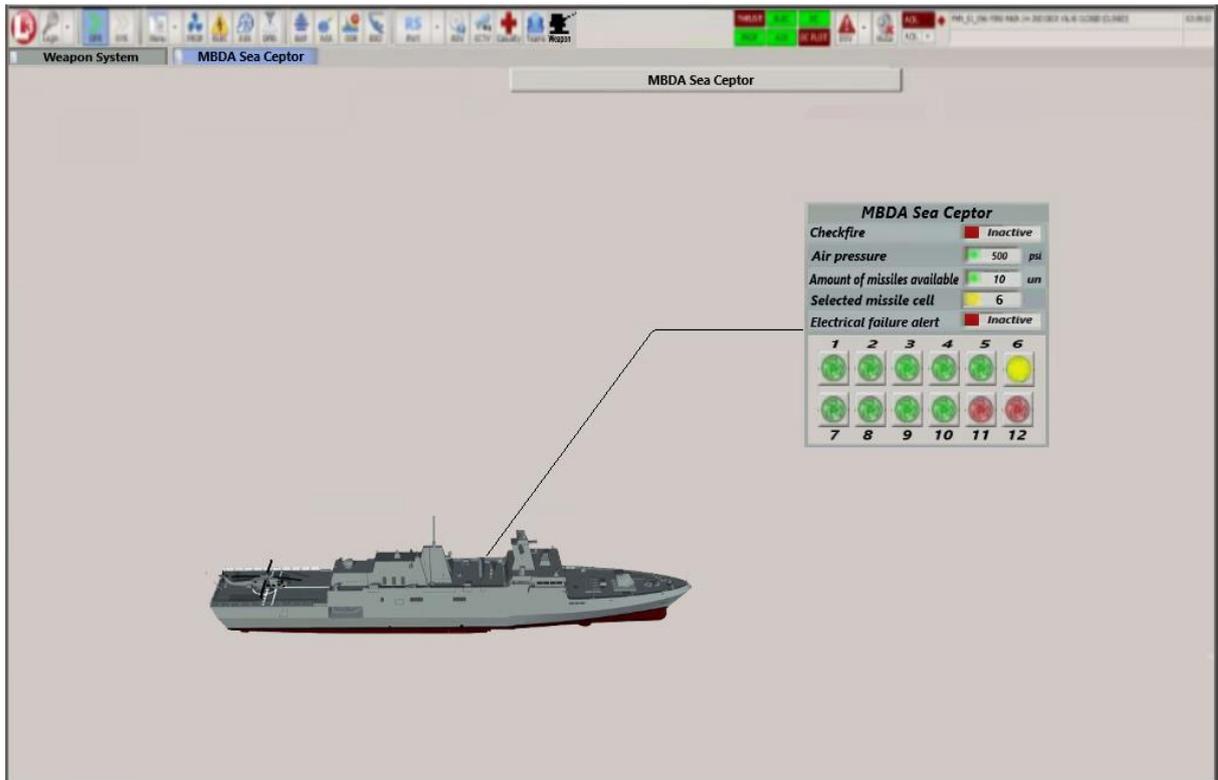
Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.3 Aba do míssil *MBDA Sea Ceptor*

A aba dos mísseis *MBDA Sea Ceptor*, conforme a figura 4.15, apresenta a monitoração dos parâmetros:

- Pressão do ar na célula de lançamento do míssil selecionado;
- Quantidade de mísseis restantes disponíveis para utilização na plataforma;
- Estado do checkfire;
- Indicador da célula do míssil selecionado; e
- Alarme de falhas elétricas.

Também é possível visualizar um mapa de estados de todas as células de lançamento. São definidos três estados possíveis para as células. A luz verde indica célula com míssil disponível para utilização, a luz amarela indica célula selecionada para utilização do míssil e a luz vermelha indica que célula não possui míssil para utilização.

Figura 4.15 - Aba *MBDA Sea Ceptor*

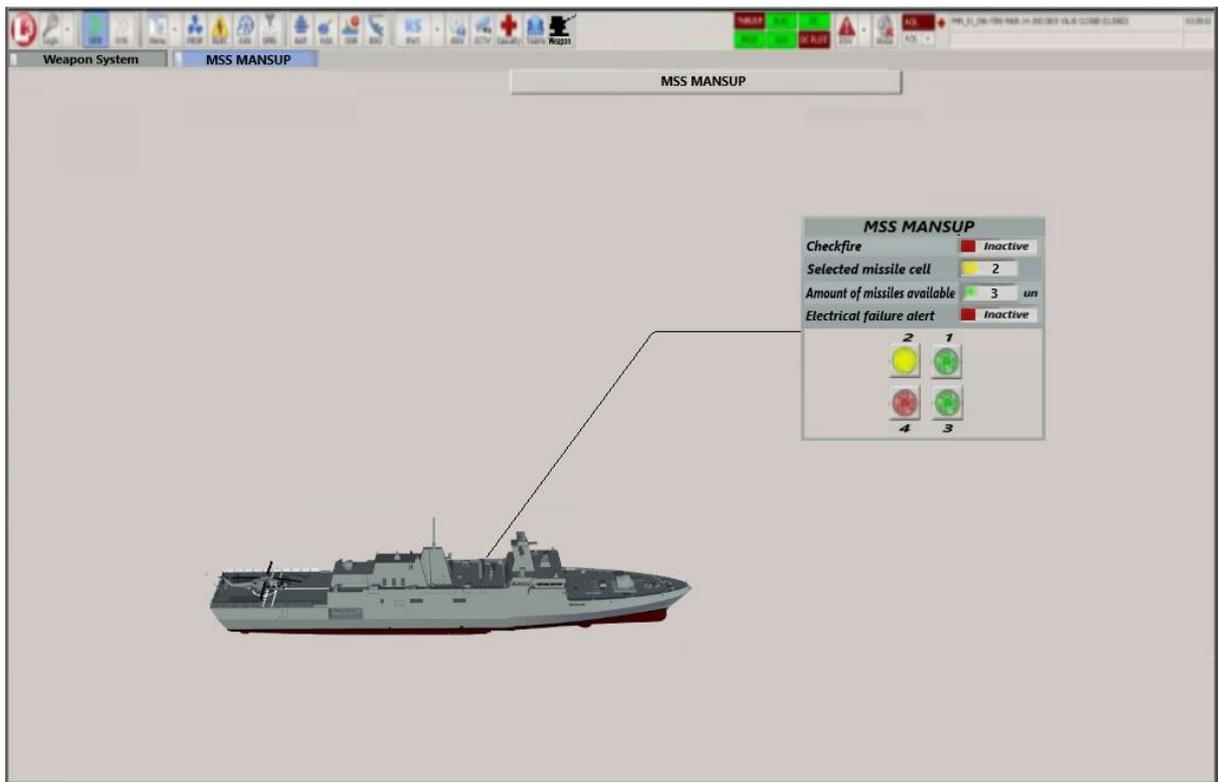
Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.4 Aba do míssil *MSS MANSUP*

A aba dos mísseis *MSS MANSUP*, conforme a figura 4.16, apresenta a monitoração dos parâmetros:

- Quantidade de mísseis restantes disponíveis para utilização na plataforma;
- Estado do checkfire;
- Indicador da célula do míssil selecionado; e
- Alarme de falhas elétricas.

Também é possível visualizar um mapa de estados de todas as células de lançamento. São definidos três estados possíveis para as células. A luz verde indica célula com míssil disponível para utilização, a luz amarela indica célula selecionada para utilização do míssil e a luz vermelha indica que célula não possui míssil para utilização.

Figura 4.16 - Aba *MSS MANSUP*

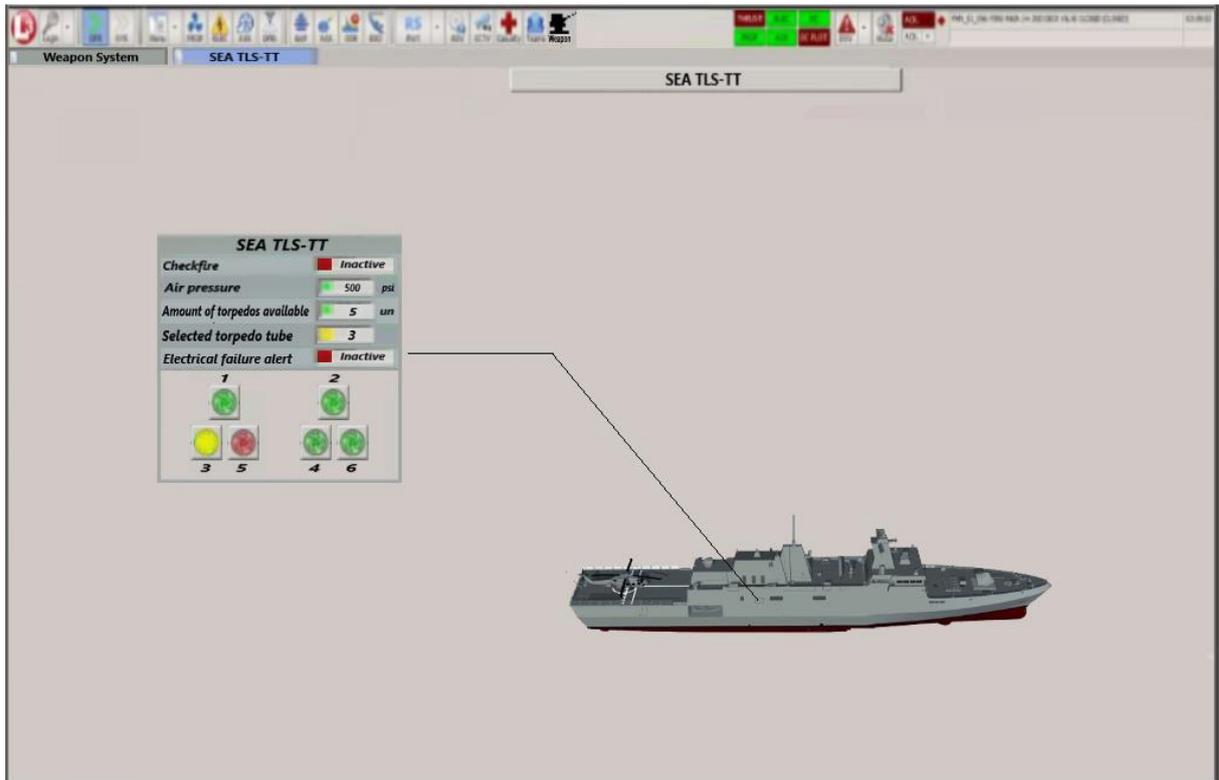
Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.5 Aba do Torpedo *Sea TLS TT*

A aba dos torpedos *Sea TLS TT*, conforme a figura 4.17, apresenta a monitoração dos parâmetros:

- Quantidade de torpedos restantes disponíveis para utilização na plataforma;
- Pressão do ar no tubo de lançamento do torpedo selecionado;
- Estado do checkfire;
- Indicador do tubo do torpedo selecionado; e
- Alarme de falhas elétricas.

Também é possível visualizar um mapa de estados de todos os tubos de lançamento. São definidos três estados possíveis para os tubos. A luz verde indica tubo com torpedo disponível para utilização, a luz amarela indica tubo selecionado para utilização do torpedo e a luz vermelha indica que tubo não possui torpedo para utilização.

Figura 4.17 - Aba *Sea TLS TT*

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.6 Aba do canhão *Sea Snake 30mm*

A aba do canhão *Sea Snake 30mm*, conforme a figura 4.18, apresenta a monitoração dos parâmetros:

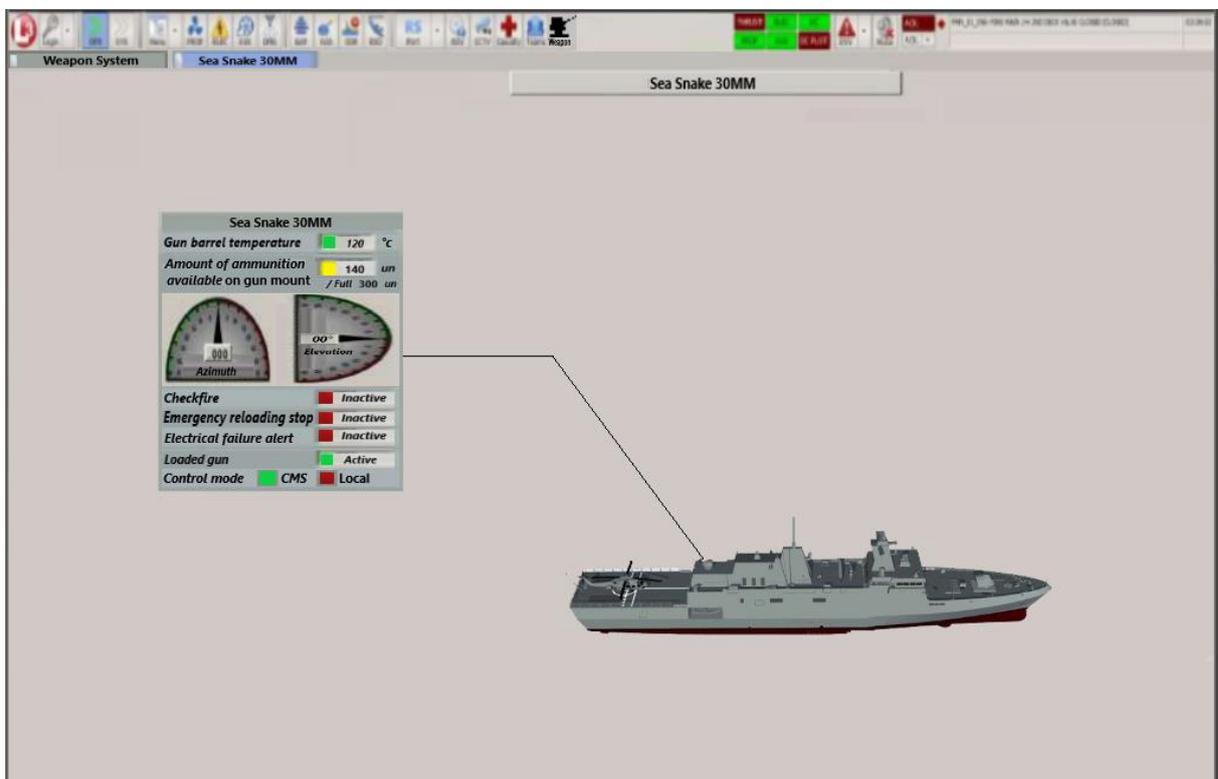
- Temperatura do tubo alma;
- Quantidade de munição restante no sistema de armazenamento da arma;
- Azimute;
- Elevação;
- Estado do checkfire;
- Estado indicador de parada para carregamento;
- Alarme de falhas elétricas;
- Estado indicador de arma carregada; e
- Modo de controle da arma selecionado, podendo ser CMS ou local.

No indicador de temperatura do tubo alma além da indicação quantitativa, podem ser selecionados três níveis de *threshold*. O mais alto considera segura a utilização da arma (luz

verde), o médio exige atenção maior na observação da arma durante a utilização (luz amarela) e o mais baixo é o nível crítico para utilização sendo necessária a interrupção dos disparos para garantir a segurança (luz vermelha).

No indicador de quantidade de munição disponíveis na arma, podem ser definidos três níveis de *threshold*. O mais alto indica a quantidade de munição na arma ideal (luz verde), o médio indica atenção à quantidade de munição na arma reduzindo, alcançando nível crítico (luz amarela) e o mais baixo indica nível crítico e recomenda efetuar recarregamento (luz vermelha).

Figura 4.18 - Aba *Sea Snake 30mm*



Fonte: Compilação do autor

4.7.7 Aba das metralhadoras *Sea Defender 12.7mm*

A aba das metralhadoras *Sea Defender 12.7mm*, conforme a figura 4.19, apresenta a monitoração dos parâmetros:

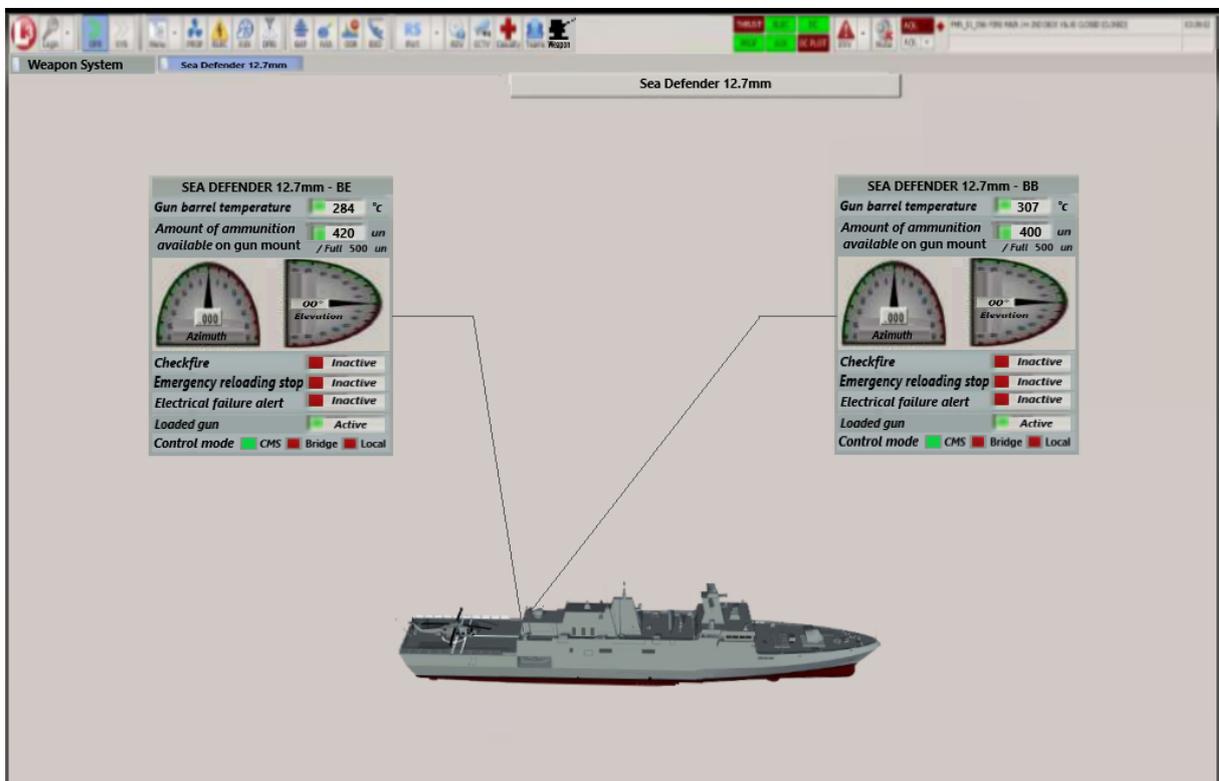
- Temperatura do tubo alma;
- Quantidade de munição restante no sistema de armazenamento da arma;
- Azimute;
- Elevação;

- Estado do checkfire;
- Estado indicador de parada para carregamento;
- Alarme de falhas elétricas;
- Estado indicador de arma carregada; e
- Modo de controle da arma selecionado, podendo ser CMS, passadiço ou local.

No indicador de temperatura do tubo alma, além da indicação quantitativa, pode ser selecionados três níveis de *threshold*. O mais alto considera segura a utilização da arma (luz verde), o médio exige atenção maior na observação da arma durante a utilização (luz amarela) e o mais baixo é o nível crítico para utilização sendo necessária a interrupção dos disparos para garantir a segurança (luz vermelha).

No indicador de quantidade de munição disponíveis na arma, podem ser definidos três níveis de *threshold*. O mais alto indica a quantidade de munição na arma ideal (luz verde), o médio indica atenção à quantidade de munição na arma reduzindo, alcançando nível crítico (luz amarela) e o mais baixo indica nível crítico e recomenda efetuar recarregamento (luz vermelha).

Figura 4.19 - Aba Sea Defender 12.7mm



Fonte: Elaborado pelo autor

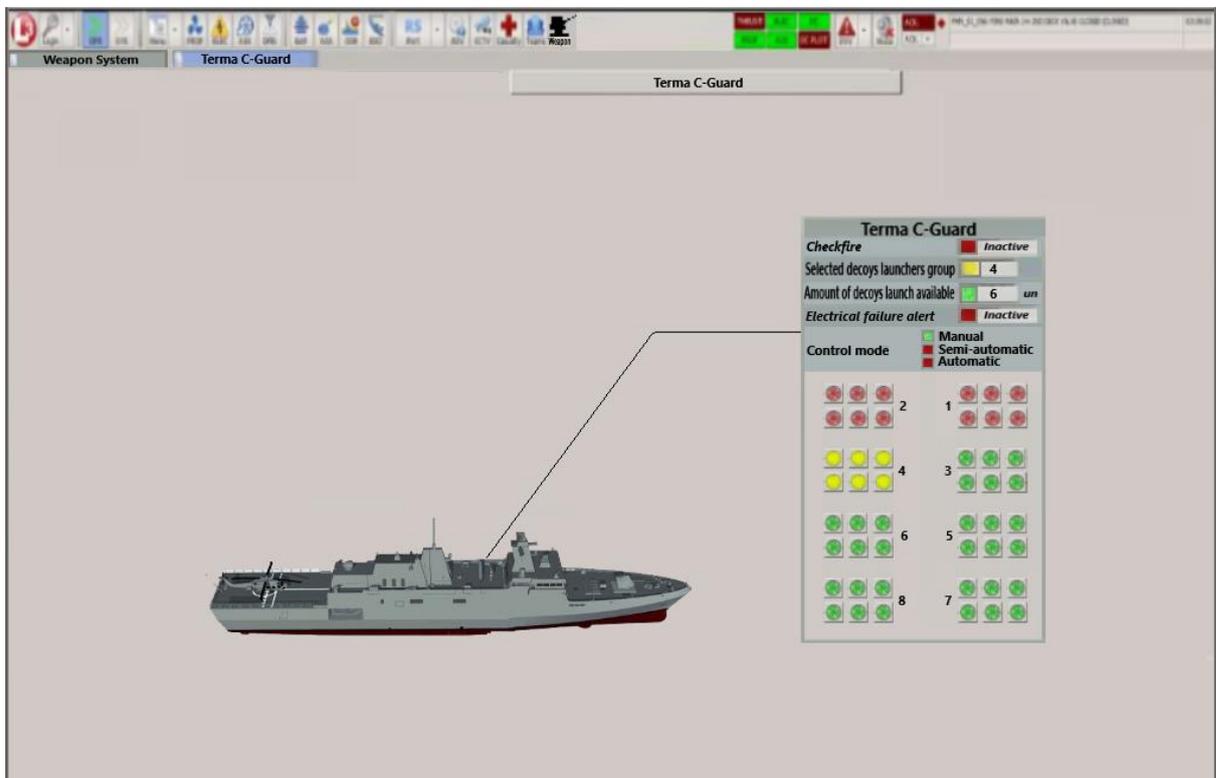
4.7.8 Aba do Sistema de Despistamento *Terma C-Guard*

A aba do Sistema de Despistamento *Terma C-Guard*, conforme a figura 4.20, apresenta a monitoração dos parâmetros:

- Quantidade de lançamentos de despistadores restantes disponíveis na plataforma;
- Estado do checkfire;
- Indicador de lançador de despistadores selecionado;
- Alarme de falhas elétricas; e
- Modo de controle do lançador selecionado, podendo ser manual, semiautomático e automático.

Também é possível visualizar um mapa de estados de todos lançadores de despistadores. São definidos três estados possíveis para os lançadores. A luz verde indica células com lançadores de despistadores disponível para utilização, a luz amarela indica células com lançadores de despistadores selecionados para a utilização e a luz vermelha indica que células com lançadores de despistadores não possui *decoys*²⁹ para utilização.

Figura 4.20 - Aba *Terma C-Guard*



Fonte: Elaborado pelo autor

²⁹ São dispositivos enganosos usados para afastar ou evitar o choque de um míssil inimigo em um alvo.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um estudo de viabilidade para o monitoramento de componentes do CMS incorporando este monitoramento na estrutura prevista para o IPMS nas FCT, apresentando a proposta inicialmente para os componentes do IPMS. No referencial teórico, foi apresentado o projeto da FCT, expostos conceitos da TGS, correlacionados os conceitos de processo decisório e o uso de sistemas como recurso a decisão do comando e apresentado o IPMS e CMS que serão utilizados na FCT e a importância dos sensores e da fusão de dados a fim de gerar informações mais precisas na integração entre sistemas.

A partir das informações existentes do projeto da FCT, foram analisados os tipos de sistemas que serão usados e apresentadas suas arquiteturas físicas através de figuras e arquitetura lógica através de diagramas de fluxo de dados. Foram também apresentados os conceitos de CAV-ET, de *Engineer Officer* e da importância do monitoramento concentrado do CMS para o controle de danos e eventuais reparos. Além disso, foi ressaltado o apoio destes atores no processo decisório desempenhado pelo comandante.

Uma análise das distinções fundamentais entre o IPMS empregado em navios convencionais e aquele empregado em navios de guerra foi realizada para clarear a maior complexidade de qualquer alteração, tendo em vista que navios de guerra possuem o CMS e no qual uma alteração mal feita pode ser fatal para plataforma e tripulantes. Apresentada a integração da instrumentação proposta para monitoramento dos armamentos no IPMS, foram definidas as compatibilidade e adaptações necessárias dentro de cada protocolo, sendo eles o físico, o lógico e o elétrico.

Apesar de não ser possível aprofundar o estudo nas características técnicas de cada protocolo pelo fato de muitas das informações serem restritas por segredo tecnológico e de patente, foi possível definir os desafios e viabilidade de integração e propor modelos de abas a serem criadas no software aplicativo do IPMS. A modificação do software aplicativo a fim de permitir integração com outras interfaces está prevista no ToT, assim considera-se perfeitamente viável que os militares da MB e engenheiros da Atech terão esta capacitação através da parceria com a L3 Harris.

Conclui-se que para executar a modificação dos protocolos físico e elétrico através de uma solução menos complexa e menos custosa, o ideal é aproveitar sinais de sensores já existentes nas armas, extrair uma duplicação do sinal, enviar para a RTU mais próxima por meio de cabeamento e conectar a um cartão WAGO para conversão e inserção do sinal na

rede do IPMS. No caso dos sensores inexistentes, serem instalados novos sensores e ligados à RTU mais próxima da mesma maneira dos sensores existentes.

Quanto a localização escolhida para instalação da *medium screen display* no COC, propõe-se instalar acima da *large screen display* do comandante, visando a redução do tempo de acesso às informações e ligada a um microcomputador atrás da tela, o que possibilitaria o comandante ou até mesmo o operador do IPMS alternar as abas de acordo com a demanda de informação necessária.

5.1 Considerações Finais

Sendo assim, realizar o monitoramento do CMS a partir o IPMS é viável e possibilita simplificação do processo decisório do comandante e do encarregado do CAV-ET e conseqüentemente melhor eficiência operacional da FCT em situações de combate. Esta proposta pode ser incorporada de forma a ser uma modificação nos sistemas das plataformas que serão construídas efetuando logo após a conclusão ou até uma alteração no projeto original durante a construção, o que facilitaria pelo fato das empresas desenvolvedoras estarem envolvidas na execução das alterações. Destaca-se também a possibilidade de a proposta se estender a outros projetos de navios da MB.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

A coleta de dados referente aos sistemas IPMS e CMS das FCT é difícil, principalmente por seus documentos serem de caráter reservado e não estarem disponíveis no atual estágio do programa de construção. Assim, sugere-se que seja realizada uma coleta e análise de mais informações futuramente quando a MB possuir toda documentação dos sistemas, principalmente em relação às informações de monitoramento disponíveis no CMS e capacidade de processamento do IPMS na incorporação do monitoramento do sinais do CMS.

Elencam-se também outras sugestões como:

- Um estudo e análise em campo de outras integrações e adaptações possíveis em sistemas dos Navios-Patrolha Classe Amazonas para monitoramento de parâmetros físicos das armas; e
- Investigar o uso da tecnologia *Digital Twin* e suas aplicações no CMS.

REFERÊNCIAS

ASCH, Richard Harold Geraldo. **Programa FCT Informações Técnicas**. In: Apresentação do Power Point sobre o projeto das Fragatas Classe Tamandaré, color. Curso de Aperfeiçoamento Avançado do Centro de Instrução Almirante Alexandrino. Rio de Janeiro. 2023a.

ASCH, Richard Harold Geraldo. **Integração e Arquitetura de Sistemas de Combates**. In: Apresentação do Power Point UE-4.1, color. Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas do Centro de Instrução Almirante Alexandrino. Rio de Janeiro. 2023b.

ATLAS ELEKTRONIK. **A Sound Decision ANCS -The Naval Combat System Of The German F125 A Class of its Own ANCS Surface Combatant Systems**. [s.l.]. Disponível em: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/153_ANCS.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

BARTELS, B. *et al.* **Strategies to the Prediction, Mitigation and Management of Product Obsolescence**. John Wiley & Sons Inc. Ed. Wiley United State of America, 2012.

BERTALANFFY, Karl Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Tradução de Francisco M. Guimarães. 2°. ed. Editora Vozes Ltda. Petrópolis. Ed. Vozes, 2008.

BIANCO, José Fernando Maria Filho. **Conceitos de software para sistemas de armas: A Engenharia de Sistemas – Módulo 5**. In: Apresentação do Power Point, color. Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas do Centro de Instrução Almirante Alexandrino. Rio de Janeiro. 2023.

BRAGA, Newton. **Todos os tipos de sensores**. In: Revista Saber eletrônica. v. 405, Out. 2006. Disponível em: <https://datassette.s3.us-west-004.backblazeb2.com/revistas/se405.pdf> Acesso em: 13 out. 2023.

BRANDÃO. Dennis. **Instrumentação - Redes de Comunicação Industrial**. In: Notas de Aula – SEL0432, color. Curso de Engenharia Elétrica e de Computação da Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 2019.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria-Geral do Material da Marinha. **DGMM-0130 – Manual do Apoio Logístico Integrado**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Marinha do Brasil. Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão. **CAAML-710 – Manual de Controle de Avarias Eletrônicas e Controle de Avarias Elétricas**. Niterói, 2017.

DE OLIVEIRA, Cleber Almeida. **Rastreamento Multi-Alvo e Fusão de Dados Multisensor (FDM) Módulo 1 – Introdução**. In: Apresentação do Power Point, color. Curso de

Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas do Centro de Instrução Almirante Alexandrino. Rio de Janeiro. 2023.

DEFESA AÉREA & NAVAL. **Fragatas Classe Tamandaré - Atech inaugura escritório no Rio de Janeiro.** Out. 2021. Disponível em: <http://www.defesaaereanaval.com.br/defesa/fragatas-classe-tamandare-atech-inaugura-escritorio-no-rio-de-janeiro#:~:text=Para%20esta%20finalidade%2C%20est%C3%A3o%20sendo%20instalados%20no%20novo,ferramentas%20do%20tipo%20Computer%20Based%20Training%20System%20%28CBTS%29>. Acesso em: 25 ago. 2023.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Systems Engineering Guidebook.** [S. I. : S. N.]. Nov. 2021. Disponível em: https://ac.cto.mil/wp-content/uploads/2022/08/Systems-Eng-Guidebook_Feb2022-Cleared.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

EMGEPRON. **Fragatas da Classe “Tamandaré” (FCT).** Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/emgepron/pt-br/fragatas-classe-tamandare-ct> Acesso em: 07 ago. 2023.

FERREIRA, V. F.; TOMELIN, L. R. **Operação do Sistema Integrado de Gerenciamento da Plataforma.** In: Apresentação do Power Point, color. Diretoria de Engenharia Naval. Rio de Janeiro. Fev. 2023.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** ISBN 978-85-386-0071-8. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. ISBN 85-224-3169-8.

GLOBALMARITIMEHUB. **Leveraging Big Data for the Maritime Sector.** Disponível em: <http://www.globalmaritimehub.com/tag/marine-digital> Acesso em: 28 jul. 2023.

L3 HARRIS. **Integrated Platform Management System.** Disponível em: <http://www.l3harris.com/all-capabilities/integrated-platform-management-system> Acesso em: 28 jul. 2023.

LÁZARO, Felipe da Silva. **Sistema de Gerenciamento Integrado da Plataforma (SGIP). C-Ap-MAQ T1,T2/2023.** In: Apresentação do Power Point, color. IPMS da Fragata Classe Tamandaré. Fev. 2023.

LIGGINS, M. E.; HALL, D. L.; LLINAS, J. **Handbook of Multisensor Data Fusion: Theory and Practice.** 2. ed. Boca Raton, FL, CRC Press, 2008.

LOPES, A.; CRUZ, V. H. **C-APA-SGIP Manutenção.** In: Apresentação do Power Point, color. Software de controle e monitoramento dos sistemas de distribuição de energia da Marinha do Brasil. Rio de Janeiro. Mar. 2022.

MAIER, M. W. **Architecting principles for systems-of-systems. Systems Engineering,** v. 1, n. 4, The Aerospace Corporation, Chantilly, VA, 1998.

NAVAL TECHNOLOGY. **L3Harris - Brasil | L-3 MAPPs Instrutores, Instalações de Apoio e Design Baseado em Simulação: Marinha do Brasil seleciona a melhor oferta.** Disponível em: <http://www.naval-technology.com/contractors/simulators/l-3-mapps/> Acesso em: 17 ago. 2023.

NIELSEN, C. B. *et al.* **Systems of Systems Engineering: Basic Concepts, Model-Based Techniques and Research Directions.** ACM Computing Survey, v. 48, n. 2, set. 2015.

PODER NAVAL. **Projeto ‘Classe Tamandaré’: Marinha do Brasil seleciona a melhor oferta.** 2019. Disponível em: <http://www.naval.com.br/blog/2019/03/28/projeto-classe-tamandare-marinha-do-brasil-seleciona-a-melhor-oferta/> Acesso em: 07 ago. 2023.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia Científica: Guia para eficiência nos estudos.** São Paulo: Atlas, 2006.

TARELHO, L. V. G. **Infraestrutura da Qualidade: Ferramenta para produtividade IQ na Fronteira da Tecnologia.** [S. I.] In: Apresentação do Power Point, color. Curso de Infraestrutura da Qualidade na Fronteira da Tecnologia do INMETRO, 2022.

THOMAZINI, D. ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações.** 5ª ed. São Paulo: Érica, 2005.

THYSSENKRUPP MARINESYSTEMS. **Corvetas e Fragatas Leves.** Disponível em: <http://www.thyssenkrupp-marinesystems.com/en/products-services/surface-vessels/light-frigates> Acesso em: 11 out. 2023.

THYSSENKRUPP MARINESYSTEMS. **Marinha e Águas Azuis apresentam seção de qualificação de uma das praças de máquinas da Fragata Classe Tamandaré.** 2022. Disponível em: <http://www.thyssenkrupp-brazil.com/noticias/press-releases/press-detail/marinha-e-aguas-azuis-apresentam-secao-de-qualificacao-de-uma-das-pracas-de-maquinas-da-fragata-classe-tamandare-134601> Acesso em: 18 out. 2023.

VOGT, René. **Novo estudo de um escolta para a Marinha do Brasil.** In: Revista Marítima Brasileira. v. 135, n. 01/03, jan/mar., 2015.