

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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SISTEMAS DE ARMAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**O CANHÃO 40MM MK4 E OS PRINCIPAIS IMPACTOS DE SEU SISTEMA DE
CONTROLE ELÉTRICO**



1º TEN NILSON BORGES NOGUEIRA FILHO

Rio de Janeiro
2023

1º TEN NILSON BORGES NOGUEIRA FILHO

O CANHÃO 40MM MK4 E OS PRINCIPAIS IMPACTOS DE SEU SISTEMA DE
CONTROLE ELÉTRICO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Sistemas de armas

Orientadores:

1T(RM-1 AA) Celso Monteiro da Silva

Profª. Vivian Suzano Medeiros

CIAA
Rio de Janeiro
2023

1º Ten Nilson Borges Nogueira Filho

O CANHÃO 40MM MK4 E OS PRINCIPAIS IMPACTOS DE SEU SISTEMA DE
CONTROLE ELÉTRICO

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

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Profª. Vivian Suzano Medeiros – PUC Rio _____

CMG (RM1) Richard Harold Geraldo Asch – CIAA _____

1T(RM-1 AA) Celso Monteiro da Silva – CIAA _____

CIAA
Rio de Janeiro
2023

Dedico esse trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado resiliência e força para produzir este trabalho de conclusão de curso.

Aos meus amigos de turma, que sempre me apoiaram em todos os momentos desse curso

E, por fim, agradeço à minha família.

“Si vis pacem, para bellum”

Flávio Vegécio

O CANHÃO 40MM MK4 E OS PRINCIPAIS IMPACTOS DE SEU SISTEMA DE CONTROLE ELÉTRICO

Resumo

No cenário das guerras, desde a criação do canhão, os armamentos mais robustos passaram a ser examinados com maior afincamento e, assim, o conjunto canhão e munição foi observado. Com o passar dos anos, mais uma variável entrou nesta equação, o sistema associado ao canhão onde a evolução de um provoca a evolução do outro. Assim, é chegado nas versões mais novas desse conjunto, no contexto das inovações e tecnologias nas guerras atuais, a introdução do canhão de 40mm MK4 pela Marinha do Brasil que assume um protagonismo notável. Este armamento, com seu sistema de controle elétrico inovador interligado, oferece novas alternativas de emprego. Em primeiro lugar, a integração do sistema de controle elétrico com o canhão representa um avanço tecnológico significativo já que o acionamento elétrico permite ajustes precisos em tempo real e, também proporciona mais leveza ao armamento, o que é fundamental em operações militares onde as situações podem evoluir rapidamente. Além disso, o conjunto: canhão 40mm MK4, sistema de controle elétrico e munição inteligente 3P constitui-se numa tríade inovadora na Marinha capaz de projetar Poder Naval nos mais distintos cenários impactando em alguns conceitos importantes no cenário atual.

Palavras-chave: Canhão 40mm MK4, sistema de controle, avanço tecnológico, Marinha do Brasil.

ABSTRACT

In the war scenario, since the creation of the cannon, more robust weapons began to be examined more closely and, thus, the cannon and ammunition combination was observed. Over the years, another variable entered this equation, the system associated with the cannon where the evolution of one causes the evolution of the other. Thus, it has arrived in the newest versions of this set. In the context of innovations and technologies in current wars, the introduction of the 40mm MK4 cannon by the Brazilian Navy assumes a notable role. This weapons system, with its innovative interconnected electrical control system, offers new employment alternatives. Firstly, the integration of the electrical control system with the cannon represents a significant technological advance since the electrical drive allows precise adjustments in real time and also provides lighter weapons, which is fundamental in military operations where situations can evolve quickly, in addition, the set: 40mm MK4 cannon, electrical control system and 3P intelligent ammunition constitutes an innovative triad in the Navy capable of projecting Naval Power in the most different scenarios impacting on some important concepts in the current scenario.

Keywords: 40mm MK4 Gun, control system, technological advancement, Brazilian Navy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Canhão Bofors 40mm MK4.....	12
Figura 2 – Canhão Bofors 40mm MK3.....	16
Figura 3 – Computador principal do canhão e suas comunicações.....	17
Figura 4 – Sistema de pontaria.....	18
Figura 5 – Sistema de pontaria – visão geral.....	18
Figura 6 – Mecanismo hidráulico de velocidade – funcionamento.....	19
Figura 7 – Canhão 40mm MK4 instalado no NPa Guaporé.....	20
Figura 8 – Instalação do canhão de 40mm MK4 no NPa Maracanã.....	21
Figura 9 – Sistema do canhão de 40mm MK4.....	21
Figura 10 – Diagrama de blocos do servo controle.....	22
Figura 11 – Carregamento abaixo do convés – À direita, o elevador elevou o magazine para a posição de encaixe.....	23
Figura 12 – Sistema de controle malha aberta.....	24
Figura 13 – Sistema de controle malha fechada.....	25
Figura 14 - NPa Maracanã com seu canhão de 40mm MK4 na proa.....	30

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FA	Forças Armadas
MB	Marinha do Brasil
MK3	Mark 3
MK4	Mark 4
FCT	Fragata Classe Tamandaré
SCU	Servo and Conversion Unit
GMC	Gun Main Computer
FCS	Fire Control System
CDU	Control and Display Unit

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação do Problema	12
1.2 Justificativa e Relevância	13
1.2 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO (ou REVISÃO BIBLIOGRÁFICA)	14
2.1 Canhão 40mm MK3	15
2.2 Canhão 40mm MK4	19
2.3 Sistemas de controle	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Classificação da Pesquisa	27
3.1.1 Classificação Quanto aos Fins	27
3.1.2 Classificação Quanto aos Meios	28
3.2 Limitações do Método	28
3.3 Universo e Amostragem	28
3.4 Coleta e Tratamento dos Dados	28
4 IMPACTOS DA EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE NA FUNCIONALIDADE DO CANHÃO 40MM MK4	29
5 CONCLUSÃO	30
5.1 Considerações Finais	31
5.2 Sugestões para futuros trabalhos	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A missão da Marinha do Brasil (MB) de defender o país por via marítima, impõe diversos desafios, os quais são amplificados pela extensa região de dimensões continentais compreendida pelo território brasileiro e pela constante evolução no cenário de segurança.

A volatilidade do cenário internacional, especialmente o concernente ao entorno regional do Brasil, impõe ao país a necessidade de possuir Forças Armadas (FA) capazes de pronta-resposta, mantendo uma capacidade de proteção efetiva, a fim de desestimular possíveis agressões. (Rodrigues, 2022, p.11)

Dentro dessas características, é imprescindível que a Marinha tenha disponibilidade de meios e armas modernas além de militares capacitados a operar tais instrumentos e entre os aspectos relevantes para aprimorar o potencial militar de defesa do território nacional, o presente estudo é direcionado na importância da modernização das armas navais sob a perspectiva da análise de uma arma específica, o canhão de 40mm MK4 e as novas alternativas criadas pelo moderno sistema de controle elétrico integrado a ele nos Navios de guerra da MB, definidos por Junior (2018) como: Navios que possuem sistema de combate, o qual é integrado a outros subsistemas, como sistema de armas, sistema de controle tático, sistema de comunicação, entre outros, a fim de deixar o navio pronto para o combate, além de também possuir os sistemas de governo, propulsão e etc.

Nesse sentido, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar os principais impactos do sistema de controle elétrico e do emprego deste canhão passando pelos sistemas servos utilizados a bordo e analisando as características dos atuadores elétricos frente aos atuadores hidráulicos. Assim, pretende-se permitir que sejam aprofundados e difundidos cada vez mais os conhecimentos acerca das possibilidades que esse moderno armamento como um todo, proporciona. Dessa forma, a pesquisa se concretizará na elucidação das implicações supracitadas dialogando sobre as vantagens militares adquiridas e como elas são importantes no cenário atual em que conflitos entre nações, conflitos contra o terrorismo e tensões geopolíticas cada vez maiores podem ser observadas.

Figura 1: Canhão Bofors 40mm MK4



Fonte: Defesa Aérea e Naval, 2023¹.

1.1 Apresentação do Problema

A modernização dos meios e armamentos navais, bem como seus sistemas de controle, é um imperativo estratégico para qualquer nação que busque manter sua capacidade de defesa e proteger seus interesses marítimos. Nesse contexto, a MB tem realizado esforços de maneira incessante para se situar na vanguarda tecnológica seja pelo desenvolvimento de programas nacionais como o Programa de Submarinos da Marinha (PROSUB) e o Programa de Míssil Antinavio de Superfície (MANSUP) ou pela busca de parcerias com empresas como a multinacional BAE Systems² e a companhia italiana Leonardo³.

Um acordo fechado com a empresa Bofors no ano de 2015, proporcionou a aquisição pela MB de canhões de 40mm MK4 que, em conjunto com o seu sistema de controle elétrico,

¹ Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/naval/rapidfire-ou-bofors-40mk4-para-os-novos-navios-mcm-da-marinha-francesa>. Acesso em: 23 out. 2023.

² Empresa multinacional de defesa, aeroespacial e segurança sediada no Reino Unido, que possui como uma de suas subsidiárias a empresa sueca Bofors

³ Grande empresa italiana aeroespacial e de defesa que possui como uma de suas subsidiárias a empresa Oto Melara, também italiana, especializada na produção de sistemas de armas como canhões navais e sistemas de artilharia

produz novos efeitos em suas funcionalidades e operabilidade levando em consideração sua versão anterior, o canhão de 40mm MK3 presente em diversos meios navais.

1.2 Justificativa e Relevância

A escolha dos principais impactos do sistema de controle elétrico do canhão 40mm MK4 como objeto de estudo deste trabalho justifica-se pela inquestionável necessidade de defesa da vasta área marítima sob responsabilidade da Marinha do Brasil (MB), dada a importância dessa região para a nação, aliada ao advento de novos armamentos e táticas de combate os quais foram motivadas por experiências e lições de conflitos passados, mudanças nas dinâmicas geopolíticas e pelos conflitos modernos.

Vale ressaltar que, em um cenário onde a evolução das armas como artefato, propriamente dito, e como conjunto integrado, sendo elas, neste último, interligadas a dispositivos e sistemas operacionais cada vez mais modernos promovidos, principalmente, por inovações tecnológicas constantes e desenvolvimentos nas áreas industrial e científica, acompanha a evolução das guerras, a modernização das armas navais não apenas é uma resposta necessária ao desafio de assegurar a soberania nacional no mar, como também está intrinsecamente ligada à automatização de sistemas de combate, a fim de reduzir os riscos de falha humana e aumentar sua eficiência operacional, contribuindo assim, para o aumento e modernização da capacidade militar de um país.

Com base nisso, torna-se mister a disponibilidade de armamentos como os canhões, que constituem um essencial instrumento de combate embarcado nos navios da MB. Desse modo, o presente trabalho partiu da necessidade de entender a importância dessa arma através da história e nos tempos modernos com enfoque na análise do canhão 40mm MK4 com seu sistema de controle elétrico que origina fatores novos em diversas etapas do processo de operação e manutenção do armamento.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho consistem em coletar informações técnicas, estudar e analisar o emprego do canhão de 40mm MK4 interligado ao seu sistema de comando elétrico, ressaltando os principais impactos gerados por esse no cumprimento da missão. Assim, com a

produção deste conteúdo espera-se contribuir para a evolução e ampliação do emprego desse tipo de sistema nos meios navais da MB.

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar e fornecer conteúdo acerca do tema em lide, a fim de permitir que sejam aprofundados os conhecimentos sobre o canhão de 40mm MK4 e seu moderno sistema de controle elétrico, bem como seus principais benefícios e vantagens aplicadas no âmbito militar naval.

1.3.2 Objetivos Específicos

De acordo com a delimitação temática até aqui apresentada e o objetivo geral exposto acima, estabelecem-se, ainda, os seguintes objetivos específicos: Conceituar o canhão de 40mm MK4, apresentar a função de um sistema de controle elétrico, identificar os fatores que influenciam no sistema de controle de um canhão embarcado, analisar a atuação do sistema de controle elétrico no âmbito naval e comparar suas funcionalidades evidenciando as vantagens em relação ao sistema de controle e operação do canhão de 40mm MK3.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os canhões navais ao longo dos séculos, desempenham um papel fundamental na capacidade de projeção de poder e defesa das nações. Para entender o significado e a evolução dessas armas, é primordial começar definindo o que caracteriza um canhão. Segundo definição do EB, Brasil, (2019) “canhão é um armamento bélico que realiza tiro de trajetória tensa, cujo calibre é maior ou igual a vinte milímetros, Outra definição, que também pode ser empregada para canhões é originária de sua classificação como armamento pesado, segundo Negrete et al., (2016), Armamentos pesados são tipicamente reservados para uso militar e se caracterizam por seu tamanho considerável, peso significativo e elevada capacidade de destruição. Normalmente, essas armas estão integradas em sistemas de armas mais amplos. De forma ampliada, pode-se inferir que o canhão caracteriza-se por uma arma de fogo de grande calibre, notáveis por sua capacidade de disparar projéteis pesados a longas distâncias

devido ao seu tubo-alma⁴ raiado, que gera rotação no projétil para estabilizá-lo em voo, conferindo pressão e alcance excepcionais.

A evolução dos canhões e seus sistemas, com o passar dos anos, deve-se a dois fatores principais: desenvolvimento de estudos nesta área e avanços tecnológicos. No campo dos estudos foi Galileu Galilei (1564-1642) que estabeleceu em seu livro “Discurso sobre duas novas ciências” uma nova teoria sobre a ciência balística descrita por ele como o Princípio da Independência dos Movimentos. Segundo Maia, (2021), “Ele demonstrou que na verdade todo projétil lançado de um canhão seguiria um movimento parabólico e a distância alcançada variava de acordo com o ângulo em que a boca do canhão estivesse posicionada”. Assim, os efeitos provocados pelo disparo de canhão passaram a ser examinados com maior afinco. Já no campo dos avanços tecnológicos destaca-se a possibilidade de integração do canhão com um sistema de armas contendo dispositivos e sensores agregados.

Nesse sentido, os canhões instalados em navios de guerra receberam sistemas cada vez mais complexos e inovadores em busca do efeito desejado no emprego do armamento, e com os meios navais da MB não foi diferente. Dentre os novos sistemas disponíveis na MB, este trabalho direciona sua análise ao sistema de controle elétrico utilizado no canhão de 40mm MK4 em sua proposta de controlar motores elétricos, garantindo que eles operem de forma segura e eficiente ao realizar funções de gerenciamento do sistema de combate do canhão.

2.1 Canhão 40mm MK3

Trata-se de um canhão automático de calibre 40mm com cúpula de fibra de carbono, destinada a proteger contra efeitos de respingos causados por marés agitadas e entradas de sal, neblina e gases tóxicos, capaz de disparar projéteis sem intervenção humana, sendo empregado para defesa de ponto⁵. É um dos canhões navais mais utilizados no mundo, e sendo considerado um equipamento de alta confiabilidade e desempenho. Este canhão originário da Suécia é um componente importante utilizado para defesa de ponto em diversas nações.

⁴ Tubo-alma é o conjunto cano + alma onde a alma é a parte oca do interior do cano (tubo) de uma arma de fogo, destinada a resistir à pressão dos gases produzidos pela combustão da pólvora e outros explosivos e a orientar o projétil dependendo do tipo de munição para o qual a arma foi projetada.

⁵ Ação tática ou estratégica de defesa baseada na proteção de determinada posição geográfica, navio ou ponto sensível.

A parceria brasileira com a empresa Bofors foi iniciada em 1947, em contrato assinado com o país. Desde então, a fabricante e vendedora do canhão de 40mm, manteve as boas relações e negociações com o Brasil, sendo adquiridos pela MB na década de 70 canhões de 40mm L/70 para equipar as Fragatas Classe Niterói e no final dos anos 90 adquiridos 13 canhões 40mm MK3, para instalação, à época, nas Fragatas Classe Niterói modernizadas e na Corveta Barroso.

Figura 2: Canhão Bofors 40mm MK3



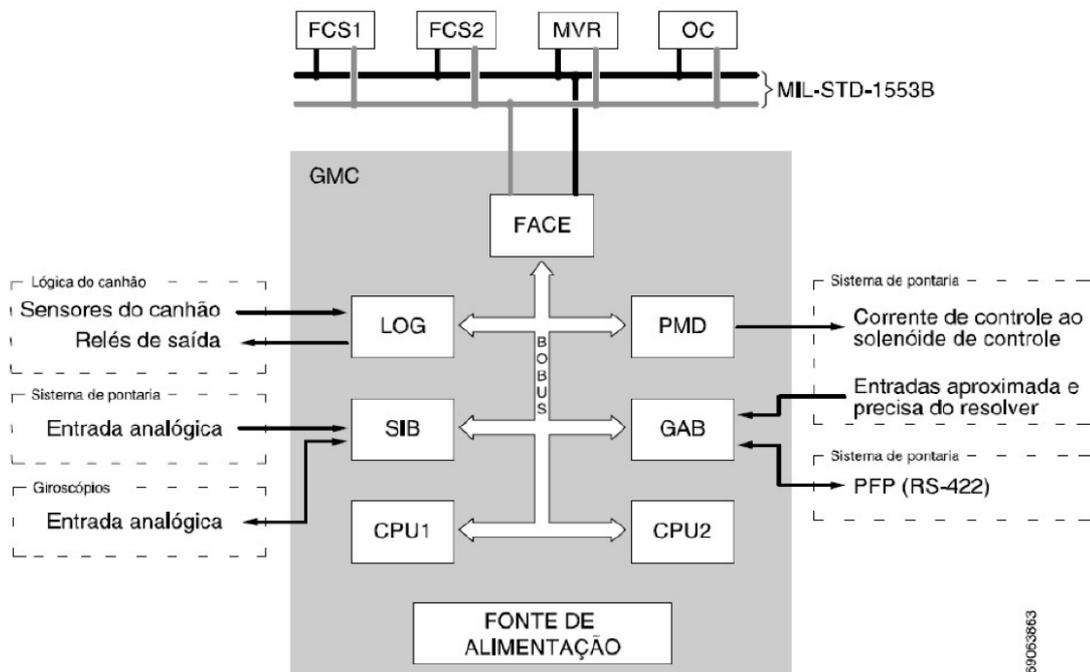
Fonte: Defesa Aérea e Naval, 2019⁶.

Convém ainda lembrar que, a parceria com a empresa BAE Systems grupo que absorveu a Bofors tem gerado bons resultados ao Brasil propiciando a aquisição de 75 canhões de 40mm (incluindo peças estratégicas como tubos-alma, montagem e testes finais) desde os anos 50 até os dias de hoje, segundo dados do site oficial da empresa e reforçados por Graan em seu blog “Estratégia Global” em 2014.

⁶ Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/bae-systems-bofors-ab-canhao-naval-bofors-40-mk4-amp>. Acesso em 23 out. 2023.

Os canhões de 40mm MK3 instalados nos navios da MB são dotados de um sistema SCU (Servo and Conversion Unit - Unidade Servo e de Conversão) que pode ser dividido de maneira funcional em duas partes denominadas: Unidade Servo e de Conservação e Distribuição de Alimentação. Essas partes possuem como funções principais a geração e distribuição de todas as voltagens requeridas pelo sistema, controle do grupo antena nos seus movimentos axiais e controle de alguns hardwares lógicos. O posicionamento do canhão segue os comandos lógicos de seu computador principal (GMC – Gun Main Computer).

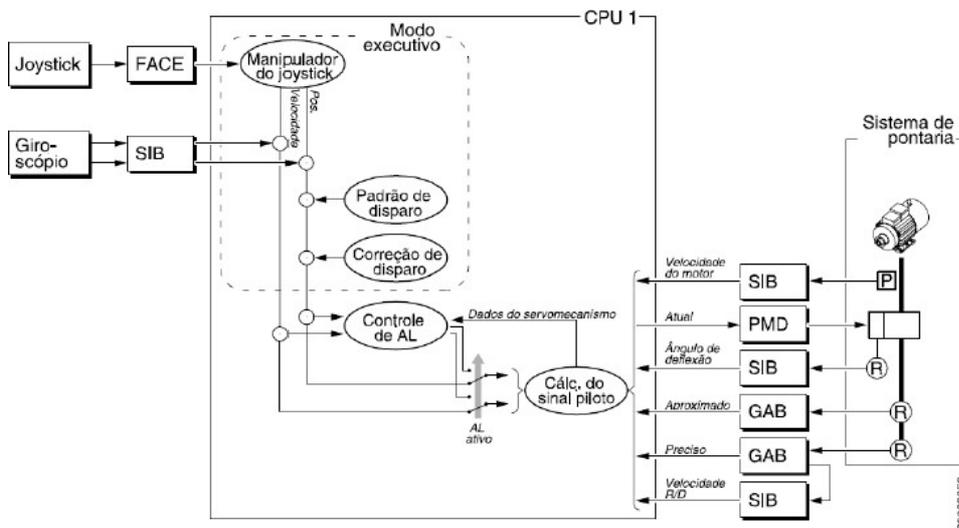
Figura 3: Computador principal do canhão e suas comunicações



Fonte: BOFORS, 2018.

O Computador principal supervisiona os sensores e subsistemas do canhão e no quesito posicionamento, pode-se destacar a sua influência no sistema de pontaria da arma pela Unidade Central de Processamento (CPU). O sistema de pontaria interage com a CPU conforme a figura abaixo recebendo e retroalimentando informações com o objetivo de possibilitar ao operador o disparo com a maior precisão possível.

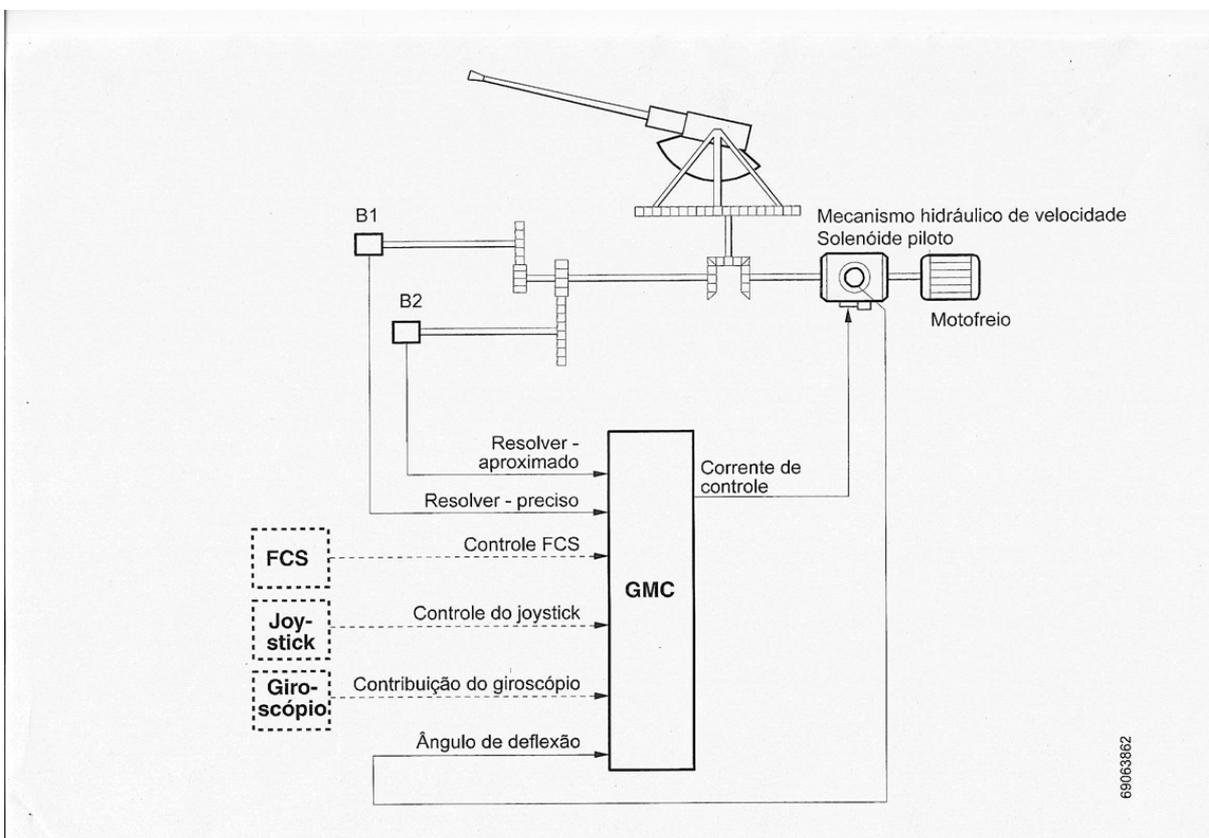
Figura 4: Sistema de pontaria



Fonte: BOFORS, 2018.

Na ilustração seguinte podem ser observadas as entradas no computador principal que geram informações a serem processadas e transmitidas ao mecanismo hidráulico de velocidade do armamento.

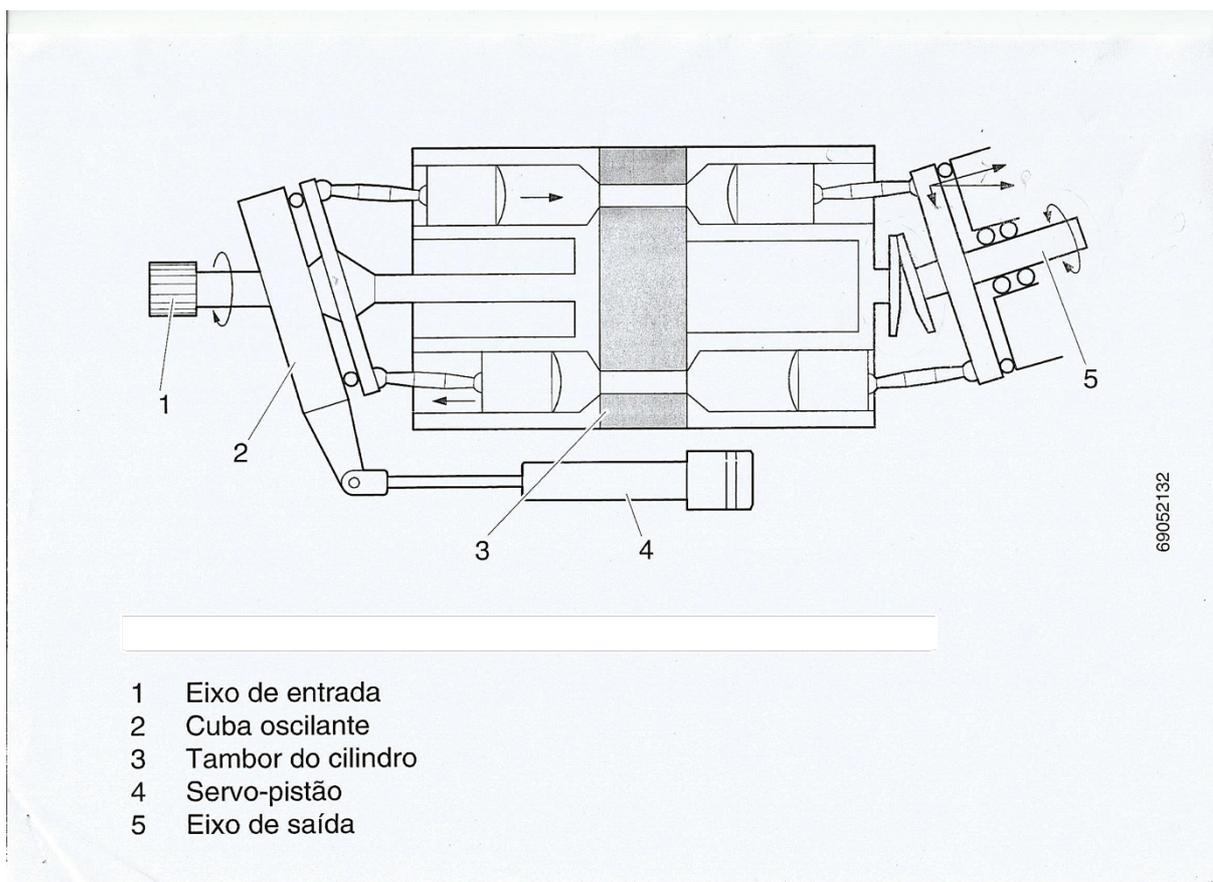
Figura 5: Sistema de pontaria – visão geral



Fonte: BOFORS, 2018.

O mecanismo hidráulico é um sistema responsável por prover a elevação do tubo (o mecanismo de elevação); posicionamento angular em azimute do canhão e carregamento da munição. Onde, através de um eixo de entrada movimentado pela ação de um servo motor conectado a uma cuba oscilante, realiza o bombeamento de óleo hidráulico para o cilindro hidráulico movimentando o eixo de saída e influenciando também na velocidade inicial do projétil a ser disparado.

Figura 6: Mecanismo hidráulico de velocidade – funcionamento



Fonte: BOFORS, 2018.

2.2 Canhão 40mm MK4

O canhão de 40mm MK4 representa uma evolução notável do supracitado MK3, embora o seu propósito de emprego também seja para defesa antiaérea e contra embarcações pequenas, que segundo Padilha (2019), é de suma importância para marinhas modernas pela característica atuação em diversos cenários distintos como operações de manutenção de paz, missões de patrulha (contrabando e contraterrorismo) e em situações de guerra. Porém, diversas características os distinguem, as principais são: o anel de carregamento é 900mm

maior que o do MK3 permitindo um recuo mais suavizado, devido a dispersão de força de reação após o disparo ocorrer em uma superfície maior; capacidade de operar com a moderna munição 3P (Programável, Pré-fragmentada e Proximidade) e sistema de acionamento movido por motores elétricos e pneumáticos, suplantando os motores eletro-hidráulicos mais tendenciosos a incêndios e mais pesados do MK3. Um dos fatores preponderantes para o modesto tamanho e peso leve do sistema é, além de recursos inovadores, o sistema de controle elétrico utilizado. O armamento possui, ainda, magazine com capacidade de 70 munições e 30 munições no compartimento do canhão, cadência de 300 tiros por minutos e alcance máximo de 12.500m.

Figura 7: Canhão 40mm MK4 instalado no NPa Guaporé



Fonte: Defesa Aérea e Naval, 2019⁷.

Em se tratando da Marinha do Brasil, o canhão 40mm MK4 foi encomendado junto a BAE Systems com a finalidade de equipar os Navios-Patrolha da classe Macaé e as modernas Fragatas classe Tamandaré (FCT) que estão em fase de construção. O Programa “Fragatas

⁷ Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/bae-systems-bofors-ab-canhao-naval-bofors-40-mk4-amp>. Acesso em 23 out. 2023.

Classe Tamandaré” conduzido pela MB desde 2017 vai de encontro ao que propõe o canhão MK4 no quesito modernização, já que, com a entrega das FCT a Esquadra⁸ Brasileira será renovada com quatro navios no estado da arte. No entanto, em paralelo ao processo até a prontificação das novas Fragatas, atualmente, o Navio Patrulha (NPa) “Maracanã” P 72 da classe Macaé, encontra-se equipado com o moderno canhão Bofors 40mm MK4 na proa.

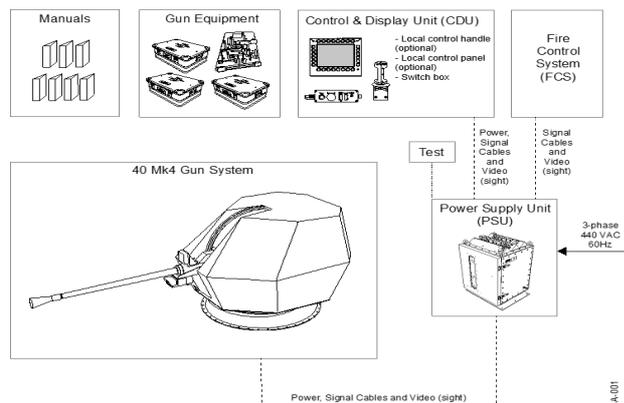
Figura 8: Instalação do canhão de 40mm MK4 no NPa Maracanã



Fonte: Defesa Aérea e Naval, 2022⁹.

Dado o exposto, faz-se necessária, para melhor entendimento do leitor, uma representação simplificada do sistema do canhão de 40mm MK4, assim, a figura abaixo denota essa representação.

Figura 9: Sistema do canhão de 40mm MK4



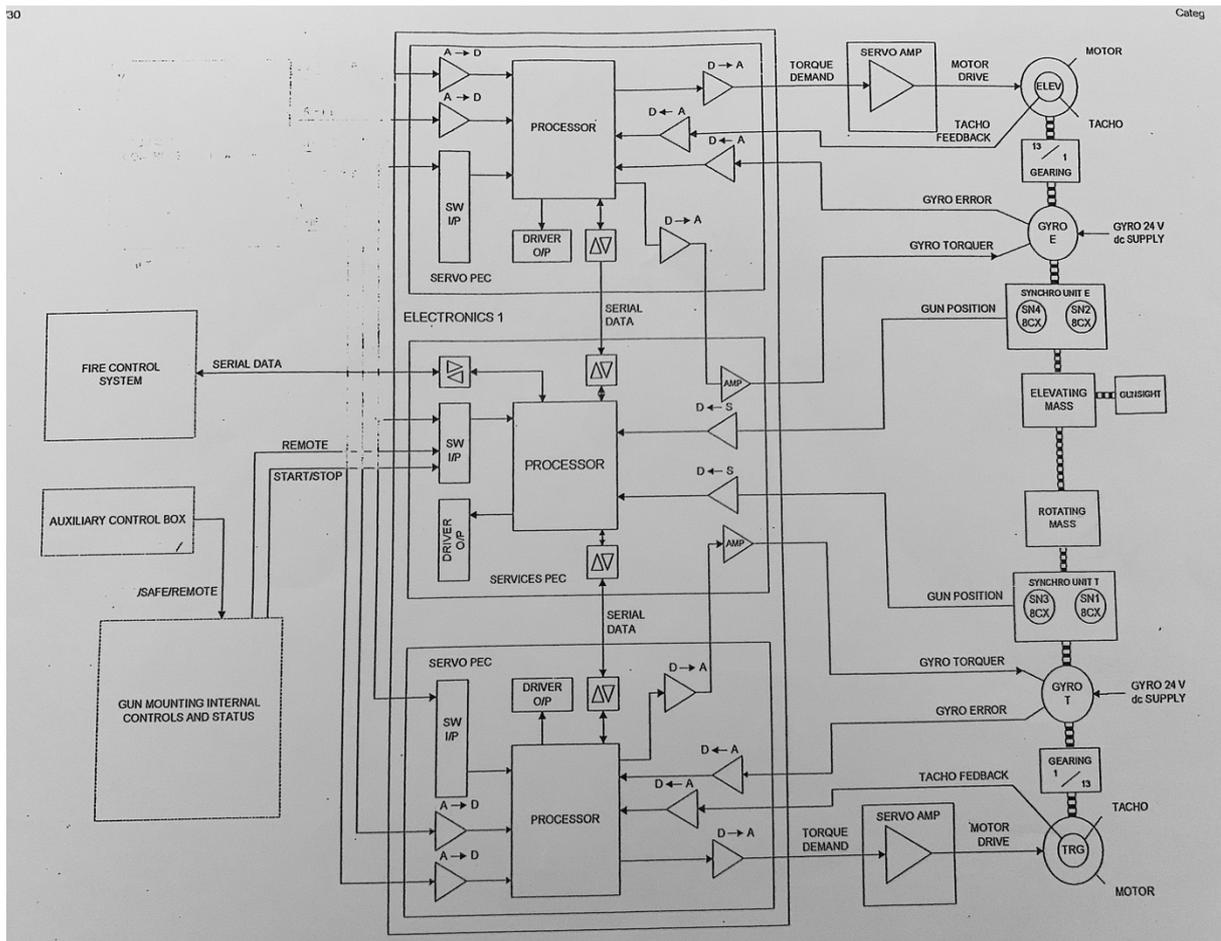
Fonte: BOFORS, 2018.

⁸ Organização constituída de navios, aeronaves, forças de fuzileiros e estabelecimentos de apoio diretamente relacionados com suas atividades, subordinada a um comandante-em-chefe.

⁹ Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/npa-maracana-p-72-sera-entregue-em-7-de-setembro>. Acesso em 23 out. 2023.

O canhão pode ser controlado em modo remoto pelo *Fire Control System* (FCS) ou em modo local pela *Control and Display Unit* (CDU), há ainda o modo de controle de manutenção em que o canhão é controlado pelo painel de serviço. Na figura a seguir pode ser observada a representação em Diagrama de Blocos do Sistema de Controle do Canhão onde são percebidos microprocessadores, que, por meio de portas lógicas controlam o fluxo de dados entre os diferentes componentes do sistema. Eles recebem informações e transmitem sinais de demanda de torque aos servo amplificadores para controle dos motores responsáveis pela elevação e conreira, adicionalmente a isso, também transmitem sinais direcionados ao giroscópio e à unidade sincro, a qual fornecerá a posição do canhão. Há também a presença de um inversor de frequência com função de variar a velocidade do motor controlando a potência consumida pela carga por meio da variação de frequência entregue pela rede elétrica.

Figura 10: Diagrama de blocos do servo controle



Fonte: BOFORS, 2018.

Além disso, em comparação com o MK3, onde o computador principal do canhão controla o armamento, no MK4, ele é controlado pelo Computador de Controle de Armas (GCC – *Gun Control Computer*).

Em relação ao sistema de posicionamento do canhão de 40mm MK4, este possui acionamento elétrico com tensão de fonte de alimentação trifásica 440VCA (60Hz). Para permitir a possibilidade de variação da velocidade e manter a precisão, a tensão de alimentação deve ser convertida em corrente contínua. Assim, cada motor é controlado por corrente trifásica modulada por largura de pulso. A conversão corrente alternada para corrente contínua e a modulação por largura de pulso são realizadas em uma unidade denominada Sistema de Acionamento do Controlador do Motor.

Convém ainda destacar o papel do sistema elétrico no carregamento da arma. A munição pode ser inserida no magazine primário do canhão manualmente; ou alimentada pelo magazine secundário ou pelo magazine de carregamento abaixo do convés. Exceto no carregamento manual, a chegada da munição ao magazine primário é realizada por acionamento elétrico e após a chegada ao magazine primário, as munições são posicionadas e alimentadas no canhão por um motor elétrico. A figura apresentada abaixo, ilustra o mecanismo de chegada da munição do magazine abaixo do convés para o primário.

Figura 11: Carregamento abaixo do convés – Na imagem à direita, o elevador elevou o magazine para a posição de encaixe



Fonte: BOFORS, 2018.

2.3 Sistemas de controle

Os sistemas de controle podem ser definidos como um conjunto de componentes interconectados que operam em conjunto para influenciar regular ou gerenciar, mesmo que hajam distúrbios, o comportamento de outros dispositivos ou sistemas Ogata, (2014). A conceituação de sistemas de controle pode ser aprofundada com a contribuição de mais um autor especializado no assunto. Em contribuição à definição anterior fornecida por Katsuhiko Ogata, como uma referência amplamente reconhecida no campo de controle automático, podem ser citados também Richard C. Dorf e Robert H. Bishop. Segundo Dorf e Bishop (2001, p.2), um sistema de controle é: “uma interconexão de componentes formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada do sistema”. Ademais, os sistemas de controle possuem duas classificações: sistema de controle de malha aberta e sistema de controle de malha fechada.

O sistema de controle de malha aberta:

Os chamados sistemas de controle de malha aberta são aqueles em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema. Isso quer dizer que, em um sistema de controle de malha aberta, o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com a entrada. Um exemplo prático é o da máquina de lavar roupas. As operações de colocar de molho, lavar e enxaguar em uma lavadora são executadas em uma sequência baseada em tempo. A lavadora não mede o sinal de saída, isto é, não verifica se as roupas estão bem lavadas. Em qualquer sistema de controle de malha aberta, a saída não é comparada com a entrada de referência. Assim, a cada entrada de referência corresponde uma condição fixa de operação. Dessa maneira, a precisão do sistema depende de uma calibração. Na presença de distúrbios, um sistema de controle de malha aberta não vai executar a tarefa desejada. Na prática, o sistema de controle de malha aberta somente poderá ser utilizado se a relação entre a entrada e a saída for conhecida e se não houver nenhum distúrbio interno ou externo. (Ogata, 2014, p.7).

Figura 12: Sistema de controle malha aberta



Fonte: Metr pole Digital, 2016¹⁰.

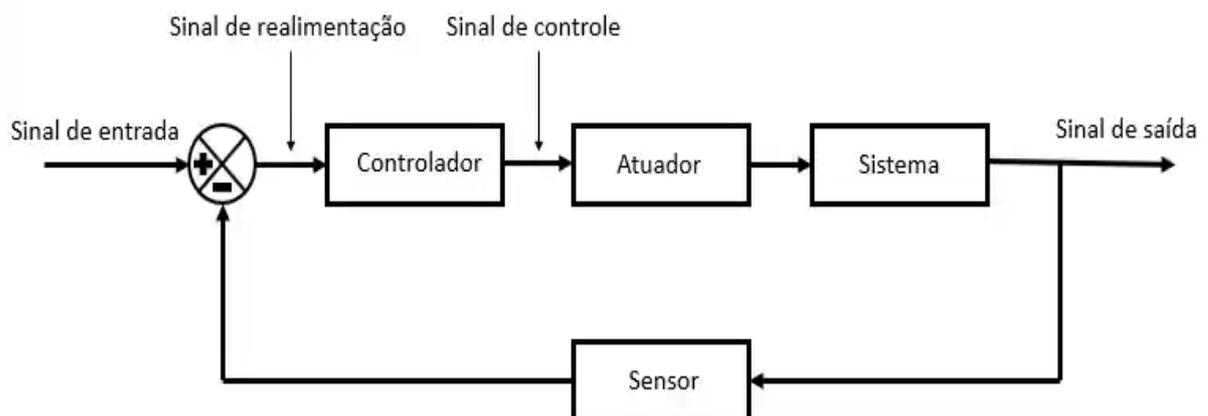
¹⁰ Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufm.br/curso/disciplina/1/63/10/8>. Acesso em 23 out. 2023

O sistema de controle de malha fechada:

Os sistemas de controle com realimentação são, com frequência, denominados também sistemas de controle de malha fechada. Na prática, os termos controle com realimentação e controle de malha fechada são usados indistintamente. Em um sistema de controle de malha fechada, o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação (que pode ser o próprio sinal de saída ou uma função do sinal de saída e suas derivadas e/ou integrais), realimenta o controlador, de modo a minimizar o erro e acertar a saída do sistema ao valor desejado. O termo ‘controle de malha fechada’ sempre implica a utilização do controle com realimentação para reduzir o erro do sistema. (Ogata, 2014, p.7).

Ou seja, um sistema de controle em malha fechada é um paradigma em que a saída do sistema é continuamente comparada com a referência desejada, e essa discrepância, conhecida como erro, é utilizada para ajustar e corrigir o sistema em tempo real. Essa retroalimentação dinâmica permite um controle mais preciso e aprimorado. No sistema de controle em malha fechada, em comparação com o sistema em malha aberta, surge a figura do sensor (ou transdutor) e do controlador, onde o sensor monitora continuamente a saída real do sistema e o controlador compara a saída real com a referência desejada, calculando, assim, o erro. Com base no erro encontrado, o controlador gera um sinal de controle para corrigir a saída do processo. O sinal de controle chega ao atuador, que implementa as ações corretivas no sistema, ajustando a saída de acordo com a referência de entrada.

Figura 13: Sistema de controle malha fechada



Fonte: Metr pole Digital, 2016¹¹.

Essas definições destacam a importância dos sistemas de controle na busca por desempenho desejado em sistemas dinâmicos, enfatizando sua função de monitoramento contínuo e ajustes automáticos. Tais sistemas dinâmicos podem ser observados nas aplicações

¹¹ Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufm.br/curso/disciplina/1/63/10/8>. Acesso em 23 out. 2023

marítimas, os quais precisam ser capazes de garantir o funcionamento seguro e eficiente de sistemas críticos a bordo dos navios de guerra. Portanto, eles são a espinha dorsal de operações automatizadas em sistemas marítimos, permitindo que variáveis sensíveis, como navegação, armamento e propulsão sejam verificadas e modificadas em tempo real.

Nos navios de guerra da MB existem diversos tipos de sistemas de controle devido a quantidade de sensores e dispositivos integrados aos equipamentos de bordo. A distinção dos objetivos almejados no uso de cada equipamento é o que define qual sistema de controle é o mais apropriado para a operação do equipamento. A escolha entre sistemas de controle com acionamento elétrico, hidráulico, ou pneumático depende das características específicas de cada sistema.

Atualmente, os sistemas de controle encontram um vasto campo de aplicação na orientação, navegação e controle de mísseis e veículos espaciais, bem como em aviões e navios. Por exemplo, os navios modernos utilizam uma combinação de componentes elétricos, mecânicos e hidráulicos para gerar comandos de leme em resposta a comandos de rumo desejado. Os comandos de leme, por sua vez, resultam em um ângulo do leme que orienta o navio. (NISE, 2012, p.33).

Sistemas hidráulicos são sistemas que se valem da utilização de fluidos (como óleo e água) sob pressão para acionar e controlar o movimento de um atuador de dispositivos mecânicos. Já os sistemas pneumáticos utilizam gases compressíveis, geralmente ar comprimido, para seu funcionamento, dessa forma, a pressão do ar é controlada para que seja exercida a função de atuador em um dispositivo mecânico. No sistema hidráulico o fluido é direcionado à bomba e depois vai para o pistão, já na pneumática o ar passa primeiro por um sistema de pressurização e em seguida o ar ou gases distribuídos para realizarem o trabalho de força nas ferramentas. A principal diferença entre sistemas hidráulicos e pneumáticos é o tipo de força que eles geram, sendo o sistema hidráulico mais adequado para trabalhos que necessitam de maior força, enquanto o sistema pneumático mais adequado para trabalhos que necessitam de movimentação rápida e maior velocidade.

Sistemas elétricos são conhecidos por sua eficiência, precisão e capacidade de automação. Eles são baseados na eletrônica e consistem em componentes como sensores, controladores e atuadores elétricos. Os principais benefícios dos sistemas elétricos visando sua utilização a bordo são: potência facilmente disponível, custo não tão elevado quanto os sistemas hidráulicos, por exemplo, Ogata (2014). Além da facilidade de implementar algoritmos de controle sofisticados, tornando os sistemas elétricos ideais para tarefas de alta precisão. Enquanto sistemas hidráulicos oferecem força e resposta rápida e os sistemas

pneumáticos são a prova de fogo e explosão. A seleção depende da aplicação, do ambiente e das necessidades de controle específicas de cada sistema marítimo.

Assim, com a breve apresentação das teorias e conceitos dos sistemas de controle, buscou-se compreender a função essencial desempenhada na automação de sistemas marítimos, dentre eles, o sistema de combate. A automação proporcionada por esses sistemas melhora a eficiência operacional, reduz riscos de falha humana e permite respostas rápidas a eventos imprevistos, contribuindo para o sucesso de missões em ambientes marítimos desafiadores.

3 METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi fundamentado em revisão bibliográfica de artigos, sítios eletrônicos, teses e dissertações; além de pesquisa documental, através de revistas e catálogos de cunho militar de caráter ostensivo.

3.1 Classificação da Pesquisa

Como forma de conceituar elementos do texto familiarizando o leitor a tais elementos é utilizada a pesquisa exploratória que, segundo Gil (2002, p.41):

(...) 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.

E, adicionalmente, o presente estudo lança mão de uma pesquisa descritiva, definida como aquela que, segundo Cervo et al, (2007, p.60): “(...) observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los. Procura descobrir, com a maior precisão possível, a frequência com que um fenômeno ocorre, sua relação e conexão com outros, sua natureza e características”.

3.1.1 Quanto aos fins

O presente estudo consiste em pesquisa aplicada de caráter exploratório, por meio da apresentação e exploração de termos chave do tema como os canhões de 40mm e os sistemas

de controle integrados para familiarização do leitor ao assunto e, também de caráter descritivo com objetivo de analisar e caracterizar as informações coletadas.

3.1.2 Quanto aos meios

Considerando o objetivo central do trabalho, que diz respeito à análise de impactos advindos da aquisição de um canhão e sistema de controle mais moderno do que o instalado na grande maioria dos Navios da MB, o presente levantamento realiza tratamento qualitativo dos dados coletados e recorre a fonte de dados secundários com base na revisão bibliográfica de assuntos relacionadas ao tema.

3.2 Limitações do Método

Para elaboração deste trabalho foram enfrentadas limitações quanto ao acesso à informações oriundas de empresas da indústria bélica, além de manuais e documentos da MB devido ao caráter reservado de tais subsídios que poderiam contribuir de maneira qualitativa ao estudo.

3.3 Universo e Amostragem

Levando em consideração o tema proposto para a pesquisa foram realizadas análises com foco nos canhões de 40mm MK3 e MK4 e os sistemas de controle integrados a eles utilizando-se de revisão bibliográfica publicada entre os anos de 2005 a 2023.

3.4 Coleta e Tratamento de Dados

No sentido de tornar o trabalho um conteúdo de leitura e distribuição ostensiva, foram arrecadadas e abordadas informações disponíveis nos ambientes de acesso público como internet e livros que tratam do assunto em lide.

4 IMPACTOS DA EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE NA FUNCIONALIDADE DO CANHÃO 40MM MK4

O presente capítulo tem como foco discorrer sobre as implicações que a evolução do sistema de controle elétrico fomentaram na operação do canhão 40mm MK4. Isso vai contribuir para enriquecer a discussão sobre o assunto e aprofundar os conhecimentos sobre os dois elementos centrais desta monografia.

O uso de um sistema de atuação elétrico em vez de um hidráulico, promove algumas diferenças importantes e a escolha entre qual sistema será utilizado depende do efeito desejado no emprego do equipamento. No geral, o uso de sistemas de atuação hidráulicos apresenta algumas vantagens como: o fluido hidráulico age como lubrificante, além de transportar o calor gerado no sistema para um trocador de calor conveniente; são capazes de realizar altas potências ou torques e a grande disponibilidade de atuadores lineares e rotativos no mercado dá flexibilidade ao projeto. No entanto, comparados com sistemas elétricos, os sistemas hidráulicos são mais pesados e maiores em tamanho, e com isso, a sua manutenção é mais difícil, além disso, é preciso constante manutenção para evitar o vazamento de óleo hidráulico.

Além das desvantagens mencionadas, os sistemas de controle elétrico são geralmente mais baratos do que os sistemas hidráulicos e são notavelmente mais seguros por não haver risco de vazamento, incêndio ou explosão.

Em suma, sistemas de controle elétrico são caracterizados pela transmissão de sinais elétricos, permitindo uma resposta rápida e precisa. Por outro lado, sistemas hidráulicos utilizam fluidos sob pressão para transmitir energia, destacando-se pela capacidade de gerar forças substanciais. A revisão detalhada desses princípios embasa a compreensão das nuances que influenciam o desempenho destes sistemas em contextos específicos.

Assim, os três principais aspectos vantajosos do sistema de controle elétrico que geram impactos na funcionalidade operativa do canhão são: velocidade de resposta ao comando do operador; precisão, já que os sistemas elétricos são notáveis pela apuro intrínseco em controlar movimentos e variáveis operacionais; e custo de ciclo de vida inferior, pois sistemas elétricos demandam menor manutenção enquanto sistemas hidráulicos podem apresentar desafios adicionais em termos de vazamentos e desgaste dos componentes. Os atributos supracitados denotam ganhos estratégicos para a Marinha, tanto no emprego efetivo

do armamento quanto na representatividade demonstrada pela Força, em ter à disposição este tipo de controle moderno pronto para uso em seus meios.

Figura 14: NPa Maracanã com seu canhão de 40mm MK4 na proa



Fonte: Portos do Paraná, 2023.

5 CONCLUSÃO

Dado o exposto, a inferência de que a introdução do canhão de 40mm MK4 na Marinha do Brasil representa um marco significativo nas estratégias militares navais do país não é errônea. Este sistema de armas, com seu inovador sistema de controle elétrico proporciona uma série de vantagens estratégicas, que têm um impacto positivo tanto na capacidade operacional quanto no poder dissuasório da Marinha.

Portanto, o sistema de controle elétrico do canhão MK4 é um avanço notável e sua integração eficaz com o canhão permite um controle preciso e flexível, que proporciona liberdade tática importante em possíveis conflitos.

Nesse sentido, este trabalho buscou contribuir para que esse marco significativo seja percebido por um maior público ao expor dados como: características do canhão 40mm MK4, as principais vantagens e impactos de seu sistema de acionamento elétrico sem que o estudo perdesse o seu caráter ostensivo.

5.1 Considerações Finais

Este trabalho teve o intuito de valorizar uma conquista da Marinha do Brasil na aquisição de um modelo de canhão moderno e com sistema de controle elétrico inovador buscando informar ao leitor que a MB, mesmo frente a dificuldades financeiras do país, está sempre se preparando para defender a Amazônia Azul.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Baseando-se em literaturas disponíveis, sites especializados, experiências a bordo e neste próprio trabalho de conclusão de curso, como fatores motivadores, futuramente poderiam ser elaborados novos estudos acerca do assunto tratado aqui, vislumbrando a aquisição e instalação do sistema exposto em um maior número de meios navais integrantes da Marinha do Brasil.

Além disso, sugere-se também como mote de trabalho nessa área, uma comparação entre o canhão 40mm MK4 e o canhão Sea Snake 30mm que estará instalado nas Fragata Classe Tamandaré (FCT).

REFERÊNCIAS

ALVES, Hugo Maia Nobrega. **A EVOLUÇÃO DOS CANHÕES NA MB E A IMPORTÂNCIA DO ALINHAMENTO DOS SISTEMAS DE ARMAS NA MB.** Orientadores: Cesar Augusto, Rafael Neves e Vivian Suzano Medeiros, 2021, 44f, TCC (Pós-Graduação) - Curso de Sistema de Armas, CIAW, Rio de Janeiro.2021.

BAE SYSTEMS. **Conferimos proteção e segurança aos recursos naturais do Brasil com o fornecimento de três Navios de Patrulha Oceânica (NPO) e o correspondente treinamento da tripulação à Marinha Brasileira. Além disso, estabelecemos ligações históricas na área de canhões navais.** Disponível em: <https://www.baesystems.com/pt-br/maritime>. Acesso em: 23 out. 2023.

BAE SYSTEMS. **BAE Systems Wins 40 MK4 Naval Gun Contract for Brazil.** 19 mai.2015. Disponível em: <https://www.baesystems.com/en/article/bae-systems-wins-40-mk4-naval-gun-contract-for-brazi>. Acesso em: 23 out. 2023.

BAE SYSTEMS. **Bofors 40 MK4 Naval Gun System Datasheet.** 2018. Disponível em: <https://www.baesystems.com/en/downloaden/20190326234549/1434555371622.pdf>. Acesso em: 23 out. 2023.

BARROS, Graan. **Ares Fabricará Canhão BOFORS 40 MK4 da BAE para os NPAs da MB.** Disponível em: : <https://estrategiaglobal.blog.br/2014/10/ares-fabricara-canhao-bofors-40-mk4-da-bae-para-os-npas-da-mb.html>. Acesso em: 03 dez. 2023.

BOFORS. **Operator's Manual for BOFORS 40 Mk 4 Naval Gun System,** 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Glossário das Forças Armadas MD35-G-01.** 5ª ed. Brasília, DF, 2015.

BRASIL. **Regulamento de Produtos Controlados.** Brasília-DF, Brasil, 2019.

CERVO et al. **Metodologia científica.** 6. Ed. Editora Pearson Universidades, 2007.

CEZARINI, Fabrício. **Comparação de um sistema controlado através de redes neurais artificiais em relação ao controle convencional.** Orientador: Prof. Ms. Paulo Eduardo Silveira, 2009, 51f, TCC (Graduação) – Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas, Universidade São Francisco, São Paulo.2009.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle modernos.** 8. ed, Editora LT, 2001.

GALANTE, Alexandre. **BAE Systems vai fornecer cinco canhões navais Bofors 40 Mk4 para a Marinha do Brasil,** 2015. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2015/05/19/bae-systems-vai-fornecer-canhoes-navais-para-a-marinha-do-brasil/> . Acesso em 23 out. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. Ed. Editora Atlas S.A., 2002.

HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA, Global. **Conheça as principais diferenças entre sistemas hidráulicos e pneumáticos**, 2017. Disponível em: <https://www.globalhp.com.br/conheca-as-principais-diferencas-entre-sistemas-hidraulicos-e-pneumaticos/#:~:text=No%20sistema%20hidr%C3%A1ulico%20o%20flu%C3%ADdo,trabalho%20de%20for%C3%A7a%20nas%20ferramentas>. Acesso em 10 dez. 2023.

JUNIOR, Jorge Soares. **Descrição do processo de concepção e de integração de um sistema de combate**. Orientadores: Dimas Pinheiro e Leonardo Zerbinatti, 2018, , 57f,TCC (Pós-Graduação) – Curso de Sistema de Armas, CIAW, Rio de Janeiro. 2018.

METROPOLE DIGITAL. **Aula 10 - Sistemas de controle de processos- MPS-PA – Estação compacta**, 2016. Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/63/10/8>. Acesso em 23 out. 2023.

MTI Brasil. **Comparação entre sistemas de automação pneumática e hidráulica**. São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.mtibrasil.com.br/artigos/comparacao-entre-sistemas-hidraulicos-e-pneumaticos.php#:~:text=Em%20termos%20gerais%2C%20a%20automa%C3%A7%C3%A3o,requerem%20velocidade%20e%20movimento%20r%C3%A1pido>. Acesso em 23 out. 2023.

NEGRETE, A. C. A. et al. **Mapeamento da Base Industrial de Defesa**. 1. ed. Brasília, Brasil: ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial: Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6. ed, Editora LTC, 2012.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed, Editora Pearson, 2014.

PADILHA, Luiz. **Rapidfire ou bofors 40MK4 para os novos navios MCM da Marinha Francesa?** 2023. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/naval/rapidfire-ou-bofors-40mk4-para-os-novos-navios-mcm-da-marinha-francesa>. Acesso em: 23 out. 2023.

PADILHA, Luiz. **Novo canhão bofors 40MK4 em testes no NPa ‘Guaporé’ P 45**, 2014. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/novo-canhao-bofors-40-mk4-em-testes-no-npa-guapore-p-45>. Acesso em: 23 out.2023.

PADILHA, Luiz. **Marinha do brasil compra cinco canhões bofors 40mk4**, 2015. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/marinha-do-brasil-compra-cinco-canhoes-bofors-40-mk4>. Acesso em: 23 out. 2023.

PADILHA, Luiz. **NPa Maracanã será entregue em 7 de setembro**, 2022. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/naval/npa-maracana-p-72-sera-entregue-em-7-de-setembro>. Acesso em 23 out. 2023.

PADILHA, Luiz. **BAE Systems Bofors AB: canhão naval Bofors 40 Mk4**, 2019. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/bae-systems-bofors-ab-canhao-naval-bofors-40-mk4-amp>. Acesso em 23 out. 2023.

PORTOS DO PARANÁ. Após três dias em Paranaguá, navio-patrolha da Marinha segue em missão pela costa brasileira. Paraná, 28 ago. 2023. Disponível em: <https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Noticia/Apos-tres-dias-em-Paranagua-navio-patrolha-da-Marinha-segue-em-missao-pela-costa-brasileira>. Acesso em 23 out. 2023.