

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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SISTEMA DE CONTROLE E ELETRICIDADE EM NAVIOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA EM MEIOS NAVAIS



PRIMEIRO-TENENTE MATHEUS DE CARVALHO ROBADEY SILVANO

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE MATHEUS DE CARVALHO ROBADEY SILVANO

BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA EM MEIOS NAVAIS

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistema De Controle Elétrico Para Navios.

Orientadores:

D.Sc Antonio Carlos Siqueira de Lima

CC (EN) Carlos Antonio Zaccaro De Mattos Neto

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE MATHEUS DE CARVALHO ROBADEY SILVANO

BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA EM MEIOS NAVAIS

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistema De Controle e Eletricidade de Navios.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

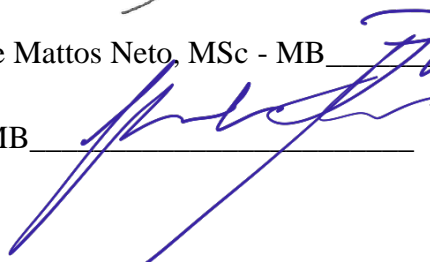
Antonio Carlos Siqueira de Lima, DSc – UFRJ



CC(EN) Carlos Antonio Zaccaro de Mattos Neto, MSc - MB



ETM José Ricardo Passos Filho - MB



CIAA
Rio de Janeiro
2023

Dedico este trabalho à Marinha do Brasil e a todos os homens e mulheres que servem corajosamente em suas fileiras. Sua dedicação à defesa de nossas águas e à segurança marítima é uma fonte constante de inspiração. Este trabalho é uma homenagem ao compromisso e à excelência da Marinha, que moldaram meu entendimento e paixão por assuntos navais. Agradeço à Marinha por sua influência fundamental em minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Querida Barbara,

Hoje, com muita alegria e gratidão, eu concluo mais uma etapa importante em minha jornada acadêmica. Esse momento não teria sido possível sem o seu amor, apoio incondicional e compreensão. Sua presença ao meu lado foi a âncora que me manteve firme durante as longas noites de estudo e os desafios acadêmicos. Você é minha inspiração e motivação, e cada conquista é nossa conquista. Obrigado por ser a minha rocha e a luz que ilumina o meu caminho.

Querido Deus,

Hoje, quero expressar minha profunda gratidão por todas as bênçãos que recebi ao longo desta jornada. Sua orientação, força e graça me sustentaram nos momentos de dúvida e me deram a fé necessária para continuar. Sei que, sem Sua ajuda divina, eu não teria alcançado esse marco. Obrigado por ser minha fonte de inspiração e por me guiar ao longo deste caminho.

À minha querida família,

Minha jornada acadêmica não teria sentido sem o amor e apoio inabaláveis de vocês. Vocês foram a minha rede de segurança, me encorajando quando eu precisava e celebrando cada vitória ao meu lado. Cada sacrifício que vocês fizeram em prol do meu sucesso é verdadeiramente apreciado. Esta conquista é dedicada a todos vocês.

Aos meus respeitados professores,

Sua orientação, conhecimento e dedicação foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico. Suas aulas inspiradoras e mentorias moldaram o meu pensamento crítico e ampliaram os meus horizontes. Obrigado por acreditar em mim e por investir tempo e esforço para me ajudar a alcançar o meu potencial máximo.

BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA EM MEIOS NAVAIS

Resumo

O presente trabalho aborda a relevância fundamental da blindagem eletromagnética em navios navais, explorando os desafios enfrentados, as técnicas de proteção empregadas e os benefícios resultantes. Diante da crescente dependência de sistemas eletrônicos avançados em operações navais, a proteção contra ameaças eletromagnéticas torna-se um componente vital para garantir a operacionalidade e a segurança das embarcações. A pesquisa se concentrou na análise aprofundada de diversos aspectos, incluindo fontes de ameaças eletromagnéticas, impactos nos sistemas eletrônicos e estratégias de mitigação. A classificação da pesquisa foi definida como exploratória, visando compreender os fundamentos da blindagem eletromagnética em ambientes navais, bem como suas implicações para a segurança e eficácia operacional. Quanto aos meios, a metodologia envolveu uma revisão exaustiva da literatura acadêmica e técnica disponível sobre o tema. A pesquisa identificou os principais materiais condutivos utilizados na construção de blindagens eletromagnéticas, destacando suas propriedades e desempenhos em termos de capacidade de desviar ou absorver campos eletromagnéticos. Adicionalmente, foram analisadas as técnicas de blindagem passiva e ativa, delineando as estratégias de proteção baseadas em materiais condutivos e circuitos eletrônicos especializados. A adaptação a ambientes dinâmicos, como águas costeiras e ambientes árticos, foi considerada como uma faceta crítica na implementação bem-sucedida de estratégias de blindagem. A pesquisa enfatizou a importância da pesquisa contínua em materiais resistentes e técnicas de design adaptáveis a condições ambientais desafiadoras. Em última análise, o trabalho proporcionou uma compreensão abrangente da blindagem eletromagnética em navios navais, destacando sua importância estratégica na preservação da eficácia operacional e segurança das embarcações. As conclusões apontaram para a necessidade de pesquisas futuras, particularmente na integração de tecnologias emergentes e na adaptação a ambientes marítimos dinâmicos, para avançar ainda mais as capacidades de proteção contra ameaças eletromagnéticas.

Palavras-chave: Blindagem. Eletromagnética. Navios.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Apresentação do Problema	8
1.2 Justificativa e Relevância	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Fundamentos da Blindagem Eletromagnética	11
2.2 Ameaças Eletromagnéticas em Navios	15
2.3 Técnicas e Materiais de Blindagem	19
2.4 Desafios e Tendências Futuras	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 Classificação da Pesquisa	26
3.1.1 Quanto aos fins	26
3.1.2 Quanto aos meios	26
3.2 Limitações do Método	26
3.3 Universo e Amostragem	26
3.4 Coleta e Tratamento de Dados	27
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	27
5 CONCLUSÃO	29
5.1 Considerações Finais	30
5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A integridade e a segurança dos sistemas eletrônicos a bordo de navios assumem uma importância incontestável na era contemporânea da guerra naval. Diante da crescente sofisticação dos sistemas de armamento e das tecnologias de comunicação, a vulnerabilidade dos equipamentos a interferências eletromagnéticas emerge como uma preocupação primordial para as marinhas ao redor do mundo (JÚNIOR; DE SOUZA, 2016).

Neste contexto, a implementação de técnicas de blindagem eletromagnética se estabelece como uma estratégia imperativa para mitigar os riscos associados à exposição a campos eletromagnéticos adversos. Esta disciplina multifacetada abrange desde o formato de estruturas eletromagnéticas até a aplicação de materiais condutores especializados, proporcionando um escudo eficaz contra os efeitos prejudiciais de pulsos eletromagnéticos, além de radiações incidentes provenientes de sistemas de comunicação e de armamento de alta potência (MONTEIRO, 2016).

O desenvolvimento de técnicas de blindagem eletromagnética não é apenas uma resposta à necessidade de proteger os sistemas eletrônicos, mas também representa um avanço significativo na garantia da superioridade operacional e tática de meios navais em situações de conflito. A capacidade de manter a funcionalidade ininterrupta dos sistemas críticos em ambientes hostis, permeados por uma diversidade de fontes eletromagnéticas, é essencial para a eficácia de operações navais. A presente investigação se propõe a abordar os princípios fundamentais e as inovações recentes na área de blindagem eletromagnética, destacando suas implicações estratégicas e os benefícios tangíveis que advêm da sua aplicação em contextos militares (GUERRA, 2015).

Além de sua relevância no contexto militar, a blindagem eletromagnética também desempenha um importante papel na segurança de equipamentos sensíveis e sistemas de comunicação em navios mercantes, especialmente diante do aumento da dependência de tecnologias avançadas para a navegação, comunicação e operações logísticas. Esta aplicação ressalta a amplitude do impacto dessa disciplina no âmbito marítimo, transcendendo o escopo militar. Portanto, a análise e a compreensão das técnicas de blindagem eletromagnética são de suma importância não apenas para o domínio militar, mas também para o setor marítimo civil, em busca de soluções robustas para proteger os sistemas eletrônicos contra a exposição a interferências eletromagnéticas (ROQUE, 2022).

1.1 Apresentação do Problema

A proteção dos sistemas eletrônicos a bordo de meios navais emerge como um imperativo crítico na era contemporânea da guerra naval e operações marítimas comerciais. O avanço vertiginoso das tecnologias eletromagnéticas, tanto no âmbito militar quanto civil, implica em uma exposição sem precedentes a campos eletromagnéticos adversos, representando uma ameaça latente para a integridade e funcionalidade dos sistemas embarcados. Diante deste panorama, a presente investigação visa aprofundar-se na análise dos desafios enfrentados na preservação da integridade dos equipamentos eletrônicos, e na análise das técnicas de proteção empregadas, com enfoque primordial na blindagem eletromagnética. A compreensão destes desafios e das estratégias de mitigação é essencial para assegurar a capacidade operacional e a segurança das embarcações, tanto no contexto militar quanto nas operações comerciais de navegação.

A complexidade e diversidade de fontes de interferência eletromagnética presentes nos ambientes marítimos modernos constituem um desafio considerável para a operação efetiva de sistemas eletrônicos a bordo de navios. Fenômenos como pulsos eletromagnéticos de alta potência, radiação solar intensificada e a crescente utilização de sistemas de comunicação de alta frequência, representam ameaças significativas à funcionalidade e confiabilidade destes sistemas. A ausência de medidas adequadas de proteção contra tais interferências pode resultar em falhas críticas, comprometendo não apenas a eficácia operacional da embarcação, mas também a segurança da tripulação e o sucesso da missão em questão. Neste contexto, a exploração e compreensão das técnicas de blindagem eletromagnética se apresenta como uma área de investigação de relevância incontestável, oferecendo um caminho promissor para a preservação da integridade dos sistemas eletrônicos em um ambiente marítimo desafiador e dinâmico.

1.2 Justificativa e Relevância

A presente pesquisa sobre blindagem eletromagnética em meios navais detém uma justificativa de suma importância no contexto contemporâneo da guerra naval e operações marítimas comerciais. A crescente sofisticação dos sistemas eletrônicos embarcados, aliada à diversidade de fontes de interferência eletromagnética presentes nos ambientes marítimos, expõe uma falha na capacidade de preservar a integridade desses sistemas. A ausência de medidas adequadas de proteção contra tais interferências pode resultar em danos substanciais

aos equipamentos e, por conseguinte, comprometer a funcionalidade e segurança das embarcações. Portanto, o estudo aprofundado da blindagem eletromagnética se torna prioritário, fornecendo uma base teórica e prática para o desenvolvimento de estratégias de mitigação eficazes. Além disso, a abordagem ampla deste tema abarca não apenas o âmbito militar, mas também se estende ao setor marítimo mercantil, onde a integridade dos sistemas eletrônicos é de suma importância para a segurança das operações de navegação e logística.

A relevância deste estudo transcende os limites do domínio técnico, alcançando implicações estratégicas e táticas de significativa magnitude. A blindagem eletromagnética é essencial para assegurar a eficácia operacional de meios navais em um cenário de crescente dependência de sistemas eletrônicos avançados. Além disso, em um contexto de defesa e segurança nacional, a preservação da funcionalidade dos sistemas eletrônicos pode ser um fator determinante para o sucesso de missões. Por fim, este estudo busca contribuir para o aprimoramento dos conhecimentos ao explorar técnicas de proteção e inovações recentes, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de embarcações mais seguras e eficientes em sistemas eletrônicos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Explorar a importância da blindagem eletromagnética em meios navais, analisando os desafios enfrentados, as técnicas de proteção empregadas e os benefícios resultantes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os Desafios Eletromagnéticos em Ambientes Marítimos;
- Explorar as Técnicas de Blindagem Eletromagnética Aplicáveis a Meios Navais;
- Avaliar os Benefícios Operacionais e de Segurança da Implementação da Blindagem Eletromagnética;
- Comparar Abordagens de Blindagem Eletromagnética em Contextos Militares e Comerciais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos da Blindagem Eletromagnética

A defesa de sistemas eletrônicos contra interferências eletromagnéticas nocivas é um componente essencial da disciplina de blindagem eletromagnética. Fundamentada em princípios físicos fundamentais, essa abordagem busca reduzir os impactos prejudiciais da exposição a campos eletromagnéticos, preservando a integridade e o desempenho de dispositivos e circuitos eletrônicos de alta sensibilidade. Uma das bases fundamentais da blindagem eletromagnética reside no princípio de que materiais condutores são capazes de desviar ou absorver campos eletromagnéticos incidentes, prevenindo assim a penetração dessas ondas nos componentes sensíveis. Essa técnica repousa sobre a teoria do eletromagnetismo, que descreve a interação entre campos elétricos e magnéticos e as correntes elétricas associadas (SOUZA NETTO; KERTSCHER; PIMENTEL, 2017).

A eficácia da blindagem eletromagnética é governada pelo princípio de gaiola de Faraday, nomeado em homenagem ao físico britânico Michael Faraday. Essa teoria postula que um invólucro condutor fechado, ou gaiola, é capaz de neutralizar a influência de campos eletromagnéticos externos. Por conseguinte, as correntes induzidas na superfície condutora da gaiola contrabalançam os efeitos do campo incidente, resultando em um ambiente eletricamente isolado no interior da estrutura. Além disso, a frequência do campo eletromagnético incidente influencia diretamente na eficácia da blindagem. Em altas frequências, a espessura da camada condutora e a continuidade da superfície tornam-se determinantes cruciais para a eficácia da blindagem (LASZLO, 2015).

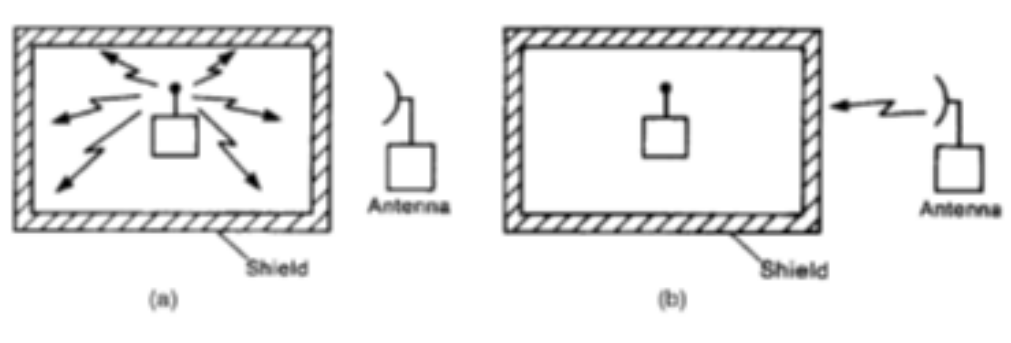
Outro aspecto central na fundamentação da blindagem eletromagnética é a reflexão e absorção de ondas eletromagnéticas. Materiais condutores, ao interagirem com campos eletromagnéticos incidentes, podem refletir parte da energia de volta para o meio circundante e absorver outra parte. Esta propriedade é vital na seleção e desenvolvimento de materiais de blindagem adequados, uma vez que a eficiência da proteção está diretamente associada à capacidade do material de refletir e absorver os campos eletromagnéticos incidentes. Além disso, a espessura e a geometria da camada condutora influenciam de forma direta a determinação do desempenho da blindagem (RAMÔA et al., 2015).

A blindagem pode ser definida como um obstáculo que bloqueia a passagem de campos eletromagnéticos. Podemos determinar o quão eficiente é um escudo ao analisar a proporção entre a intensidade do campo elétrico (ou magnético) que chega até a barreira e a intensidade do campo elétrico (ou magnético) que consegue penetrá-la. A eficácia de uma

blindagem pode ser mensurada ao calcular a redução na incidência da onda eletromagnética (BOCHE, 2017).

A eficácia de blindagem é medida na ordem de centenas de decibéis (dB).

Figura 1: Descrição de funcionamento da blindagem



Fonte: Paul, 2006.

Para níveis ideais de eficácia na blindagem eletromagnética, é necessário que a blindagem envolva completamente todos os componentes eletrônicos, sem apresentar aberturas, tais como furos, fendas ou passagens para cabos. Qualquer abertura em um escudo, tem o potencial de causar uma significativa redução em sua eficácia (SANCHES, 2014).

Suponha que uma fonte radiante próxima, como uma antena, irradie um campo eletromagnético. Este campo será acoplado ao fio, gerando uma corrente no mesmo. Esta corrente fluirá desimpedida para dentro do compartimento e será acoplada aos componentes eletrônicos internos. O inverso também é verdadeiro; o ruído interno da blindagem se acoplará ao fio, fluirá para fora do invólucro do fio e irradiará. Este tipo de penetração de um escudo eliminará qualquer eficácia protetiva. Penetrações de cabos como essas devem ser tratadas adequadamente para preservar a eficácia da blindagem. Alguns métodos comuns são fornecer filtragem do cabo em seu ponto de passagem ou usar cabos blindados cujas blindagens estejam ligadas perifericamente à blindagem do material a ser protegido (CASSIOLATO, 2014).

A equação abaixo é utilizada para quantificar a blindagem eletromagnética:

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\hat{E}_i}{\hat{E}_t} \right|$$

A equação quantifica a eficácia do escudo usando a intensidade do campo elétrico (E), sua eficácia é medida em decibéis (dB). É possível perceber através dessa equação que, na incidência uma onda plana uniforme e com meios idênticos em cada lado da barreira, o campo elétrico incidente é maior que o campo elétrico transmitido, devido a atenuação pela barreira (MIRANDA et al., 2016).

Essa quantificação também é válida para campos magnéticos, uma vez que estão relacionados pela impedância intrínseca do meio para uma onda plana uniforme

$$\eta = \frac{j\omega\mu}{\gamma} = \frac{E_s}{H_s}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

η_0 é a impedância intrínseca do espaço livre.

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)} \quad \text{ou}$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

γ é a constante de propagação da onda eletromagnética

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right]}$$

Onde α é a parte real da constante de propagação, chamada de constante de atenuação da onda. Essa constante indica uma diminuição da amplitude da onda de acordo com o meio percorrido, conforme a onda se propaga, quanto maior o α , maior a perda;

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right]}$$

Onde β é parte complexa da constante de propagação, chamada de constante de fase da onda, medida em rad/m;

Considerando uma onda percorrendo o eixo Z, com campos elétrico e magnético no eixos x e y, respectivamente, conforme a figura 1:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}_S) = -j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)\vec{E}_S$$

$$\frac{\partial^2 E_S}{\partial z^2} = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)E_S$$

$$\frac{\partial^2 E_S}{\partial z^2} = \gamma^2 E_S$$

$$E_S(z) = A_1 e^{-\gamma z} + A_2 e^{+\gamma z}$$

Considerando $\gamma = (\alpha + j\beta)$, então:

$$E(z, t) = \mathbb{R}\{E_S(z)e^{j\omega t}\}$$

$$E(z, t) = \mathbb{R}\{(A_1 e^{-(\alpha+j\beta)z} + A_2 e^{+(\alpha+j\beta)z})e^{j\omega t}\}$$

$$E(z, t) = \mathbb{R}\{A_1 e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - \beta z)} + A_2 e^{\alpha z} e^{j(\omega t + \beta z)}\}$$

$$E(z, t) = A_1 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) + A_2 e^{\alpha z} \cos(\omega t + \beta z)$$

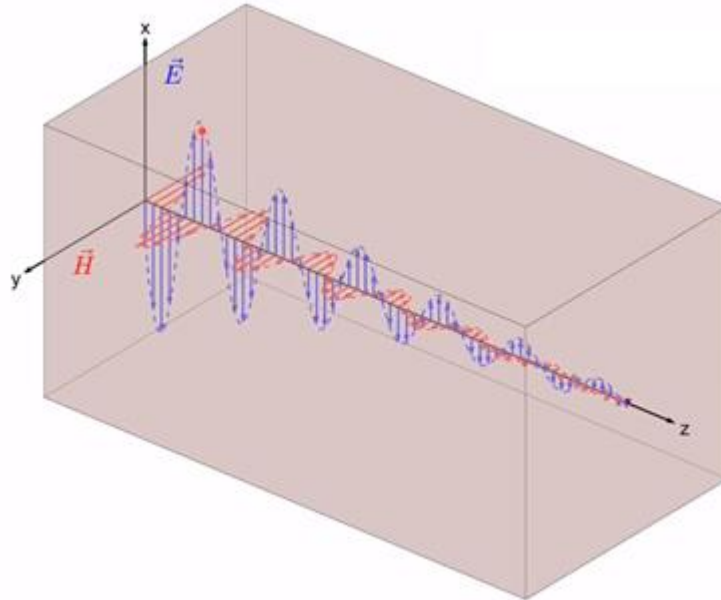
O cálculo do campo magnético H_S é feito calculando-se E_S/η :

$$H(z, t) = \frac{A_1 e^{-\alpha z}}{\eta} \cos(\omega t - \beta z - \theta_\eta) + \frac{A_2 e^{\alpha z}}{\eta} \cos(\omega t + \beta z - \theta_\eta)$$

A onda eletromagnética sofre perdas conforme percorre o meio. Essa perda é caracterizada na formula pelo exponencial “ $-\alpha z$ ”, onde $z = 1/\alpha$ indica uma perda de 37% da intensidade original da onda. Essa perda conforme a distância percorrida é chamada de profundidade de penetração δ .

Para $z=1/a$:

Figura 1: Descrição de perda eletromagnética conforme percorre o meio



Em bons condutores, onde $\sigma \gg 0$, esse valor é dado por $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$. Conclui-se que quanto maior a frequência da onda, ou a condutividade do meio, ou sua permeabilidade magnética, menor será penetração da onda eletromagnética.

2.2 Ameaças Eletromagnéticas em Navios

As Fontes de Ameaças Eletromagnéticas constituem uma ampla gama de origens que podem potencialmente expor navios a interferências prejudiciais nos seus sistemas eletrônicos. Uma dessas fontes provém de pulsos eletromagnéticos (PEM) de alta energia, os quais podem ser gerados artificialmente por dispositivos específicos com capacidade de emitir ondas eletromagnéticas de elevada intensidade (SOARES, 2022).

Tais pulsos, quando direcionados contra embarcações, têm o potencial de desestabilizar e danificar os sistemas eletrônicos a bordo, tornando-se uma ameaça significativa em cenários de conflito naval. Adicionalmente, os navios estão sujeitos a ameaças provenientes de Dispositivos Explosivos Improvisados (IEDs), os quais podem conter elementos que geram PEMs ao serem detonados, representando uma ameaça multifacetada que demanda um entendimento aprofundado e estratégias de mitigação eficazes (JUNIOR, 2021).

Além das ameaças artificiais, fenômenos naturais também figuram entre as Fontes de Ameaças Eletromagnéticas enfrentadas por meios navais. Descargas atmosféricas, frequentemente associadas a tempestades e condições climáticas adversas, possuem a capacidade de gerar campos eletromagnéticos de grande magnitude, os quais podem interferir substancialmente com os sistemas eletrônicos a bordo de uma embarcação. A ocorrência desses eventos naturais, apesar de incomuns, demanda atenção especial, visto que as consequências de tais descargas podem ser severas e impactar a segurança e operabilidade da embarcação (LEAL et al., 2018).

Ademais, sistemas de comunicação de alta potência, parte integrante das operações navais modernas, podem inadvertidamente se tornar uma fonte de ameaça eletromagnética, uma vez que a emissão de sinais potentes pode potencialmente interferir com outros sistemas eletrônicos a bordo. Dessa forma, deve-se atentar para uma melhor compreensão das Fontes de Ameaças Eletromagnéticas para que se formule estratégias de proteção e mitigação que assegurem a funcionalidade ininterrupta dos sistemas críticos em cenários adversos (EVANGELISTA et al., 2021).

Por fim, é imperativo destacar que fontes de interferência interna também podem constituir ameaças eletromagnéticas para os navios. Motores, geradores e outros equipamentos elétricos a bordo têm o potencial de gerar campos eletromagnéticos indesejados que interferem com a operação normal de sistemas eletrônicos sensíveis. A compreensão dessas fontes de interferência interna é essencial para o desenvolvimento de estratégias de posicionamento que minimizem os efeitos prejudiciais desses campos eletromagnéticos gerados internamente. Portanto, a identificação e análise abrangente das Fontes de Ameaças Eletromagnéticas, sejam elas de origem natural, artificial ou interna, são muito importantes para o estabelecimento de medidas de proteção efetivas nos ambientes marítimos em que operam os navios (MARQUES, 2020).

Os Impactos das Ameaças Eletromagnéticas nos Sistemas Eletrônicos de um navio são de uma magnitude considerável e abrangem uma variedade de efeitos diretos e indiretos. Uma das consequências mais imediatas é a degradação e, em casos mais graves, a falha de componentes críticos. Campos eletromagnéticos intensos podem induzir correntes indesejadas nos circuitos eletrônicos, resultando em sobrecargas e danos irreparáveis aos dispositivos sensíveis. Ademais, a perda de comunicações críticas representa um risco substancial, comprometendo a capacidade do navio de manter contato com outras embarcações, bases ou

autoridades de controle. Esta falta de comunicação pode ter implicações severas em situações de emergência ou em operações táticas cruciais (FERNANDES, 2018).

Outro impacto significativo das ameaças eletromagnéticas é o comprometimento de sistemas de navegação. Equipamentos de posicionamento global (GPS) e outros sistemas de navegação que dependem de sinais eletromagnéticos podem sofrer interferência ou ser completamente desativados, levando a uma perda de orientação e direção, deixando a embarcação às cegas. Em um contexto militar, isso pode resultar em uma redução significativa na capacidade de resposta e eficácia operacional. Adicionalmente, a possibilidade de danos físicos a equipamentos sensíveis não pode ser subestimada. Campos eletromagnéticos de alta intensidade têm a capacidade de induzir correntes elétricas que podem resultar no superaquecimento de dispositivos eletrônicos, aumentando o risco de falhas graves e, em casos extremos, a danos físicos que podem comprometer a estrutura e integridade da embarcação (DE SÁ; MACHADO; ALMEIDA, 2019).

Os Impactos das Ameaças Eletromagnéticas, além dos prejuízos imediatos, podem ter implicações a longo prazo na funcionalidade e confiabilidade dos sistemas eletrônicos. Componentes que foram submetidos a interferências eletromagnéticas podem sofrer danos latentes que podem não se manifestar imediatamente, mas que podem levar a falhas subsequentes. Esta degradação gradual da integridade dos sistemas eletrônicos pode comprometer a capacidade do navio de operar de forma eficaz e segura ao longo do tempo. Portanto, a compreensão abrangente dos Impactos das Ameaças Eletromagnéticas é essencial para o desenvolvimento e implementação de estratégias de proteção eficazes, visando preservar a funcionalidade e segurança dos sistemas eletrônicos em ambientes marítimos (VALENTE et al., 2006).

A análise das Vulnerabilidades dos Sistemas Eletrônicos a Bordo de uma embarcação revela uma série de áreas específicas suscetíveis a interferências eletromagnéticas. Dentre estas, os sistemas de radar emergem como componentes críticos frequentemente vulneráveis a ameaças deste tipo. A natureza sensível dos sinais de radar e sua dependência de ondas eletromagnéticas para operação torna estes sistemas particularmente propensos a interferências externas, o que pode resultar em dados imprecisos ou, em casos mais extremos, na completa inoperabilidade do sistema. A compreensão aprofundada das vulnerabilidades nos sistemas de radar é, portanto, um elemento chave na formulação de estratégias de proteção eficazes (SOARES, 20116).

Outro elemento de grande relevância são os sistemas de comunicações via satélite, cuja importância para a conectividade e coordenação de operações navais é inegável. Todavia, sua dependência de sinais eletromagnéticos provenientes do espaço os torna alvos potenciais para ameaças externas. Interferências nesses sinais podem resultar em interrupções ou degradação significativa nas comunicações, afetando diretamente a capacidade do navio de se comunicar de maneira eficaz com outras unidades navais ou centros de comando. Portanto, a identificação das vulnerabilidades nestes sistemas é um dos principais fatores para o desenvolvimento de estratégias que garantam a resiliência das comunicações via satélite (FERNANDES; DE ALMEIDA; RODRIGUES, 2019).

Os sistemas de controle de armas, enquanto componentes críticos na operação militar, representam um ponto de vulnerabilidade destacado. Estes sistemas frequentemente utilizam eletrônica de alta complexidade e dependem da precisão de sensores eletromagnéticos para orientação e execução de operações. Vulnerabilidades nesses sistemas podem resultar em falhas ou desvios substanciais, comprometendo a precisão e eficácia das operações militares. Portanto, a compreensão das vulnerabilidades associadas aos sistemas de controle de armas é imperativa para assegurar a confiabilidade e precisão desses sistemas em cenários operacionais (FERNANDES, 2018).

Sistemas de navegação também se destacam como alvos potenciais para ameaças eletromagnéticas. A precisão e integridade dos dados utilizados para determinar a posição e direção de uma embarcação são de suma importância para a segurança das operações marítimas. Vulnerabilidades nestes sistemas podem resultar em erros de navegação, o que, em um contexto militar, pode ter implicações estratégicas significativas. Ademais, em um cenário civil, tais vulnerabilidades podem comprometer a segurança da tripulação e a integridade da carga transportada. Portanto, a identificação e compreensão das vulnerabilidades nos sistemas de navegação é essencial para garantir a precisão e segurança das operações de navegação (SANTARINI; DOMINGOS, 2014).

Além dos sistemas citados, outros componentes eletrônicos críticos, como sistemas de energia, sistemas de detecção de ameaças e sistemas de gerenciamento de informações, também podem apresentar vulnerabilidades específicas a ameaças eletromagnéticas. Cada um desses sistemas desempenha um papel fundamental na operação e segurança de uma embarcação, e a compreensão de suas vulnerabilidades individuais é crucial para o desenvolvimento de estratégias de proteção abrangentes. A análise detalhada de cada componente eletrônico crítico permite a implementação de medidas de segurança específicas e

a formulação de políticas que visam garantir a funcionalidade e confiabilidade dos sistemas eletrônicos a bordo de navios em face das ameaças eletromagnéticas. Portanto, a identificação e compreensão das vulnerabilidades nos diversos sistemas eletrônicos a bordo são primordiais para a formulação de estratégias de proteção eficazes (MORESI, 2013).

A preservação da integridade e funcionalidade dos sistemas eletrônicos a bordo de navios apresenta como destaque a implementação de estratégias de mitigação e proteção. Uma das abordagens fundamentais é a aplicação de técnicas de blindagem eletromagnética. Esta prática consiste na utilização de materiais condutores e barreiras adequadas para desviar ou absorver os campos eletromagnéticos incidentes, prevenindo a sua penetração nos sistemas sensíveis. A instalação de revestimentos condutores em áreas críticas e a concepção de compartimentos de proteção contribuem significativamente para a atenuação das interferências eletromagnéticas, assegurando, assim, a operação segura e ininterrupta dos sistemas eletrônicos (SILVA, 2019).

Além da blindagem eletromagnética, a adoção de práticas de projeto resistente a interferências assume uma importância considerável na mitigação de riscos associados às ameaças eletromagnéticas. Isso inclui o planejamento cuidadoso da disposição e orientação dos componentes eletrônicos críticos, bem como a implementação de cabos e circuitos de transmissão com características de imunidade eletromagnética aprimorada. Ao considerar aspectos de layout e posicionamento durante a fase de projeto, é possível minimizar a exposição dos sistemas a interferências externas, fortalecendo assim a resiliência dos sistemas eletrônicos a bordo (CARDOSO, 2023).

A utilização de equipamentos e sistemas de proteção especializados representa outra faceta das Estratégias de Mitigação e Proteção. Dispositivos como filtros de supressão de interferências, isoladores e dissipadores de surto são essenciais para atenuar a entrada de interferências eletromagnéticas nos circuitos críticos. Estes componentes desempenham um papel fundamental na filtragem de frequências indesejadas e na prevenção de sobrecargas, garantindo a integridade operacional dos sistemas eletrônicos em situações de ameaça eletromagnética (MAZZOTTI et al., 2018).

Ademais, a formação e conscientização da tripulação emergem como elementos incontornáveis na eficácia das Estratégias de Mitigação e Proteção. A capacidade de identificar sinais de interferência e de reagir prontamente diante de ameaças eletromagnéticas é um atributo de valor inestimável. A realização de treinamentos periódicos e a disseminação de

protocolos de resposta são práticas que promovem a preparação e competência da tripulação em lidar com situações de emergência relacionadas a ameaças eletromagnéticas.

Adicionalmente, a implementação de sistemas de monitoramento contínuo de interferências eletromagnéticas é um componente essencial nas Estratégias de Mitigação e Proteção. Estes sistemas permitem a detecção precoce de anomalias e a avaliação em tempo real da integridade dos sistemas eletrônicos. Com a capacidade de identificar potenciais fontes de interferência, a tripulação pode tomar medidas corretivas de forma proativa, minimizando o impacto das ameaças eletromagnéticas sobre a operação da embarcação.

2.3 Técnicas e Materiais de Blindagem

Os Materiais Condutivos desempenham um importante papel na construção de blindagens eletromagnéticas, oferecendo a capacidade de desviar ou absorver campos eletromagnéticos indesejados. Entre os materiais mais amplamente utilizados para este fim, destacam-se ligas de cobre, aço, níquel e materiais compósitos condutores. A escolha do material condutivo apropriado depende de uma variedade de fatores, incluindo a frequência dos campos eletromagnéticos a serem mitigados, as propriedades mecânicas desejadas e as limitações de peso e espaço (PRADO, 2023).

Ligas de cobre são frequentemente empregadas em aplicações de blindagem eletromagnética devido à sua alta condutividade elétrica e facilidade de conformação. O cobre apresenta uma excelente capacidade de condução de corrente elétrica, o que o torna altamente eficaz na dissipação de campos eletromagnéticos. No entanto, sua utilização pode ser limitada por fatores como o custo do material e a susceptibilidade à corrosão, levando muitas vezes à aplicação de revestimentos ou ligas especiais para mitigar essas questões (GOBBI, 2018).

O aço, por sua vez, é reconhecido por suas propriedades magnéticas, o que lhe confere vantagens em aplicações que envolvem campos eletromagnéticos de baixa frequência. Ele é frequentemente utilizado em sistemas de blindagem de baixa frequência, como gabinetes de equipamentos elétricos e salas de servidores. A utilização de aço em combinação com outros materiais condutivos pode resultar em uma blindagem eficaz contra uma ampla gama de frequências (DIAS, 2013).

O níquel, conhecido por suas propriedades ferromagnéticas, é frequentemente incorporado em ligas destinadas a aplicações de blindagem eletromagnética. As ligas de níquel, quando combinadas com outros elementos como ferro e cobalto, exibem um alto poder de

absorção de campos magnéticos. Essa capacidade torna o níquel uma escolha valiosa em aplicações que requerem proteção contra interferências magnéticas (CATORCENO; LINA, 2013).

Materiais compósitos condutores representam uma classe inovadora de materiais utilizados em blindagem eletromagnética. Estes materiais combinam características de diferentes elementos para obter propriedades sinérgicas. Por exemplo, a incorporação de partículas condutoras em polímeros pode resultar em materiais leves e altamente eficazes em termos de blindagem. Estes compósitos oferecem a vantagem adicional de serem mais leves e flexíveis em comparação com ligas metálicas tradicionais (RAMÔA et al., 2015).

As Técnicas de Blindagem Eletromagnética são estratégias fundamentais para proteger sistemas eletrônicos contra interferências indesejadas provenientes de campos eletromagnéticos. A abordagem passiva envolve a utilização de materiais condutivos para criar barreiras físicas que absorvem ou desviam os campos eletromagnéticos incidentes. Isso é alcançado por meio da aplicação de revestimentos condutores em superfícies expostas, bem como pela incorporação de estruturas metálicas ou compostas nas camadas de proteção. Essa técnica proporciona uma barreira eficaz, permitindo que os campos eletromagnéticos sejam desviados dos sistemas eletrônicos sensíveis, preservando assim sua integridade operacional (BROERING, 2020).

Por outro lado, as técnicas ativas de blindagem eletromagnética envolvem o uso de circuitos eletrônicos para neutralizar ou minimizar as interferências eletromagnéticas. Isso é alcançado por meio da detecção das interferências e da geração de sinais compensatórios que anulam os efeitos prejudiciais dos campos eletromagnéticos. Essa abordagem requer a implementação de sensores sensíveis e algoritmos de controle sofisticados para monitorar continuamente o ambiente eletromagnético e fornecer respostas adequadas em tempo real. As técnicas ativas oferecem a vantagem de adaptabilidade dinâmica, permitindo a correção instantânea de interferências variáveis (WINNISCHOFER, 2014).

É importante ressaltar que ambas as técnicas, passiva e ativa, desempenham papéis complementares na eficácia global da blindagem eletromagnética. A abordagem passiva oferece uma camada inicial de defesa, impedindo a penetração de campos eletromagnéticos nas áreas protegidas. Esta técnica é especialmente eficaz contra interferências de alta frequência e pulsos eletromagnéticos de curta duração. Por outro lado, as técnicas ativas proporcionam uma resposta dinâmica a interferências em tempo real, garantindo uma proteção contínua contra ameaças variáveis no ambiente eletromagnético (BARBOSA, 2014).

A escolha entre técnicas de blindagem eletromagnética passiva ou ativa depende das características específicas da aplicação e das ameaças previstas. Em muitos casos, a integração de ambas as abordagens pode fornecer um sistema de proteção mais robusto e abrangente. A combinação de técnicas passivas para fornecer uma barreira inicial e técnicas ativas para monitorar e corrigir interferências em tempo real oferece um nível excepcional de proteção contra uma ampla gama de ameaças eletromagnéticas (BARBOSA, 2014).

A implementação de Estratégias de Blindagem Eletromagnética adaptadas a ambientes específicos é essencial para mitigar os desafios particulares apresentados por diferentes contextos. Em ambientes navais, por exemplo, a presença de vastas quantidades de sistemas eletrônicos sensíveis a bordo demanda um cuidadoso planejamento de blindagem. A proximidade com fontes de energia eletromagnética, como radares e sistemas de comunicação de alta potência, requer estratégias robustas de proteção para garantir a operabilidade contínua dos sistemas eletrônicos críticos. Materiais condutivos e técnicas de projeto específicas para ambientes navais são empregados para criar barreiras eficazes contra interferências eletromagnéticas (EVANGELISTA et al., 2021).

Em contrapartida, a aviação apresenta desafios únicos em termos de blindagem eletromagnética. A aeronave, sujeita a condições atmosféricas variáveis e exposição a campos eletromagnéticos de alta intensidade durante o voo, requer estratégias de proteção altamente adaptáveis. Materiais leves e condutivos são empregados na construção de fuselagens e compartimentos críticos, proporcionando uma blindagem eficaz contra interferências eletromagnéticas provenientes de fontes externas e internas (GOBBI, 2018).

Nas instalações industriais, onde a presença de equipamentos de alta potência é comum, estratégias de blindagem são importantes na prevenção de interferências nocivas nos sistemas eletrônicos sensíveis. Painéis de blindagem eletromagnética, compostos por materiais condutivos e isolantes apropriados, são empregados para criar ambientes protegidos contra os efeitos nocivos de campos eletromagnéticos gerados pelos equipamentos industriais. Além disso, a disposição eficiente dos cabos e aterramentos adequados são elementos essenciais para garantir a eficácia da blindagem (RANDO, 2021).

Em salas de servidores, onde a operação ininterrupta de sistemas de TI é imperativa, a blindagem eletromagnética é crítica para prevenir a interferência eletromagnética entre os equipamentos. Gabinetes e racks condutores são utilizados para criar ambientes isolados, protegendo os servidores contra interferências externas e minimizando a radiação eletromagnética emitida pelos próprios equipamentos. Ademais, a aplicação de revestimentos

condutivos e a garantia de uma correta configuração de aterramento contribuem para a eficácia da blindagem em ambientes de servidores (SILVA, 2013).

Em ambientes militares, como instalações de comando e controle, a proteção contra ameaças eletromagnéticas é de extrema importância para manter a operacionalidade de sistemas críticos. Estruturas fortificadas com materiais condutivos e projetos de blindagem específicos são implementados para garantir a integridade dos sistemas eletrônicos em caso de eventos adversos, como pulsos eletromagnéticos de alta energia resultantes de explosões nucleares (MAINHA, 2013).

Recentemente, observou-se um notável avanço no campo da blindagem eletromagnética, impulsionado por uma série de inovações promissoras. Uma área de destaque tem sido o desenvolvimento de novos materiais condutivos de alta performance. Pesquisadores têm dedicado esforços significativos para identificar ligas e compostos que exibem uma combinação única de condutividade elétrica excepcional e propriedades mecânicas superiores. Esses materiais representam um marco importante na capacidade de construir blindagens mais eficazes, capazes de desviar e absorver campos eletromagnéticos com maior eficiência (SOUZA, 2017).

Além dos avanços em materiais, técnicas de projeto e modelagem têm se destacado como elementos críticos no desenvolvimento de blindagens eletromagnéticas mais sofisticadas. O uso de simulações computacionais avançadas tem permitido a otimização de geometrias e estruturas, levando a soluções mais eficientes e adaptáveis. Isso inclui a consideração de fatores como frequência de operação, espessura e configuração dos materiais condutivos, bem como a integração de camadas de absorção especializadas. Essas técnicas de design avançado têm revolucionado a eficácia das blindagens eletromagnéticas em uma ampla gama de aplicações (AMARAL, 2015).

No que diz respeito à detecção e mitigação de ameaças eletromagnéticas, a aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina tem ganhado destaque. Sistemas de monitoramento baseados em algoritmos sofisticados são capazes de identificar padrões de interferência eletromagnética em tempo real, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz. Essa abordagem representa um avanço significativo na capacidade de proteger sistemas eletrônicos contra ameaças em constante evolução (SILVA, 2019).

2.4 Desafios e Tendências Futuras

Com o progresso constante da tecnologia, surge a necessidade de investigar a aplicabilidade e a integração de inovações emergentes nas estratégias de blindagem eletromagnética. Entre estas inovações, os materiais avançados, fruto de pesquisas inovadoras em ciência dos materiais, constituem um pilar central na evolução das estratégias de blindagem eletromagnética. Compostos por ligas sofisticadas e estruturas de camadas múltiplas, esses materiais exibem propriedades únicas que permitem uma resposta personalizada a diferentes frequências e intensidades de campos eletromagnéticos. Através da incorporação de materiais avançados nas camadas de proteção, é possível otimizar a eficiência da blindagem em uma ampla faixa de condições de operação (DA SILVA, 2014).

A integração de tecnologias emergentes na área de detecção de interferências eletromagnéticas é um campo promissor em contínua expansão. A aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial tem demonstrado eficácia na identificação e classificação de padrões de interferência em tempo real. Isso possibilita respostas rápidas e adaptativas a ameaças dinâmicas, fortalecendo ainda mais as estratégias de proteção contra ameaças eletromagnéticas (PEREMULTER, 2020).

Conforme as operações navais se expandem para uma gama diversificada de ambientes, desde águas costeiras até os desafios extremos apresentados pelos ambientes árticos, surge a necessidade premente de adaptar as estratégias de blindagem eletromagnética. Ambientes marítimos variáveis e adversos impõem desafios únicos à proteção contra ameaças eletromagnéticas, demandando uma abordagem adaptativa e inovadora. Nesse contexto, a pesquisa de novos materiais é imperativa para o desenvolvimento de blindagens capazes de suportar as condições extremas encontradas nestes cenários. Materiais resistentes à corrosão e capazes de manter propriedades condutivas em condições aquáticas desafiadoras representam um campo importante de investigação (MONTEIRO, 2016).

Além disso, a concepção de técnicas de projeto específicas para ambientes marítimos é um componente vital na adaptação das estratégias de blindagem. Isso envolve considerações meticulosas sobre a exposição a elementos corrosivos, como água salgada e umidade constante, que podem degradar os materiais de blindagem ao longo do tempo. O desenvolvimento de revestimentos e tratamentos de superfície especializados, que preservem as propriedades eletromagnéticas dos materiais em ambientes aquáticos hostis, representa uma área de pesquisa essencial (KUHN, 2021).

Outro aspecto fundamental na adaptação a ambientes dinâmicos é a consideração da mobilidade dos navios. A integração de sistemas de blindagem que possam ser ajustados em tempo real de acordo com as condições operacionais e ambientais é uma área de pesquisa promissora. A implementação de técnicas de blindagem adaptativa, que possam otimizar continuamente a eficiência da proteção em resposta a mudanças nas condições externas, representa um avanço significativo na proteção contra ameaças eletromagnéticas em ambientes dinâmicos (BAHIA, 2021).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica de cunho exploratório e descritivo, com o intuito de fornecer uma análise aprofundada e compreensiva da relevância da blindagem eletromagnética em meios navais. Esta metodologia se alinha à natureza complexa do tema em questão, requerendo uma investigação minuciosa das técnicas de proteção e dos desafios enfrentados no ambiente marítimo.

3.1 Classificação da Pesquisa

3.1.1 Quanto aos fins

No que concerne aos fins, a pesquisa se enquadra no escopo de uma investigação aplicada, buscando fornecer insights práticos e aplicáveis no contexto naval. O objetivo primordial é contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de proteção eletromagnética em navios, com implicações tanto para o domínio militar quanto para o setor marítimo comercial.

3.1.2 Quanto aos meios

A pesquisa baseia-se predominantemente em métodos qualitativos, valendo-se da revisão sistemática da literatura acadêmica e técnica. A análise crítica e comparativa de estudos e artigos especializados permitirá uma compreensão abrangente das técnicas de blindagem eletromagnética em contextos marítimos.

3.2 Limitações do Método

Cumprе ressaltar que a pesquisa, por meio da revisão bibliográfica, está sujeita à disponibilidade e acessibilidade da literatura existente sobre o tema. Ademais, devido à complexidade da engenharia naval e ao caráter técnico da temática abordada, a pesquisa não contemplará a realização de experimentos práticos em campo.

3.3 Universo e Amostragem

O universo desta pesquisa engloba a ampla gama de literatura técnica e acadêmica relacionada à blindagem eletromagnética em contextos marítimos. A seleção de fontes será criteriosa, priorizando trabalhos de renomados pesquisadores e instituições de prestígio, bem como publicações em periódicos científicos indexados.

3.4 Coleta e Tratamento de Dados

A coleta de dados se dará por meio da identificação, seleção e análise crítica de artigos, teses, dissertações e publicações técnicas pertinentes ao tema. A análise dos dados será realizada de forma sistemática, com foco na identificação de padrões, tendências e lacunas no corpo de conhecimento existente sobre blindagem eletromagnética em meios navais. A triangulação de fontes e a validação cruzada serão empregadas para assegurar a robustez e a confiabilidade dos resultados obtidos.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O uso de Material Absorvedor de Radiação Eletromagnética se estende a certos materiais que têm a capacidade de absorver ondas eletromagnéticas e dissipá-las na forma de energia térmica. Exemplos destes materiais são as ferritas (óxidos cerâmicos), polímeros condutores e materiais carbonosos. A seleção de um destes materiais pode levar a uma redução dos campos magnético ou elétrico. Uma combinação destes pode levar a uma redução simultânea dos campos, sendo esta combinação denominada de material absorvedor híbrido (REZENDE et al, 2003).

Os materiais absorvedores de radiação compreendem aqueles que absorvem os campos elétrico e magnético. Os que absorvem o campo elétrico têm suas propriedades relacionadas com a permissividade elétrica (ϵ) e a tangente de perda ($\tan \delta$). Estes podem ser obtidos através da adição de partículas de carbono, fibras de carbono, polímeros condutores e partículas de metal em matrizes poliméricas. Por outro lado, os que absorvem o campo magnético têm as propriedades relacionadas com a permeabilidade magnética (μ) e a histerese dos materiais. Essas propriedades podem ser ajustadas pela adição de partículas magnéticas de ferrita em matrizes poliméricas. Há ainda aqueles materiais que absorvem os campos magnético e elétrico simultaneamente, sendo estes denominados materiais absorvedores híbridos (REZENDE et al, 2003).

O objetivo da pesquisa conduzida por Silva (2019) foi a concepção de uma estrutura multicamada destinada à absorção de energia proveniente de ondas eletromagnéticas. O estudo contemplou duas configurações distintas: a primeira fundamentada em um composto de ferritas, cuja refletividade foi avaliada em um ambiente de guia de ondas confinado, e a segunda, baseada em cargas carbonosas, na faixa de frequência da Banda-X (8,2-12,4GHz). A primeira configuração consiste em nanopartículas de $\text{Ni}_0,5\text{Zn}_0,5\text{Fe}_2\text{O}_4$, NiFe_2O_4 e Fe_3O_4 incorporadas em uma matriz de resina epóxi com uma espessura de 1 mm.

O arranjo ER/NiZn(20)-PU-ER/NiZn(40), operando em 9,12 GHz com uma refletividade (RL) de aproximadamente -24,15 dB, e o ER/NiZn(40)-Honeycomb-ER/NiZn(20), a 8,75 GHz, demonstraram um RL de aproximadamente -39,83 dB. A segunda estrutura consiste em compósitos à base de negro de fumo, grafite e um híbrido incorporados em PVDF, os quais foram processados e prensados a uma temperatura de 220°C, resultando em placas de 20x20 cm e 1 mm de espessura. A análise da morfologia indicou uma dispersão mais uniforme das cargas na matriz PVDF/HB. A pesquisa abordou os mecanismos de absorção, incluindo polarização, condutividade, impedância, espessura e tangente de perda, e avaliou a refletividade de duas estruturas multicamada (PVDF/GF-Honeycomb-PVDF/NF e PVDF/HB-

Honeycomb-PVDF/HB) no Arco NRL. A estrutura PVDF/HB-Honeycomb-PVDF/HB exibiu uma RL de aproximadamente -12 dB (eficácia de absorção de 94%) em uma banda larga de frequências. Os resultados sugerem que a combinação sinérgica entre o negro de fumo e o grafite proporciona uma absorção mais eficiente de ondas eletromagnéticas.

O estudo realizado por Freire et al. (2017) aborda a elaboração e avaliação das propriedades absorventes de compósitos híbridos com matriz alquídic, os quais foram enriquecidos com óxido férrico e dióxido de titânio, empregando a técnica de agitação mecânica. Constatou-se que a capacidade de absorção está diretamente relacionada à quantidade e natureza dos aditivos incorporados na mistura. Observou-se que taxas de atenuação da radiação eletromagnética na faixa de frequência de micro-ondas (8-12GHz) alcançaram até 44,3%. Os achados revelam que o material em investigação apresenta um grande potencial para aplicação em contextos nos quais a minimização da detecção por meio de radar é essencial.

No estudo conduzido por Silva (2014), foi realizado o processo de produção de filmes finos de kanthal por meio da técnica de evaporação térmica resistiva do tipo "flash". Diversos experimentos foram conduzidos, variando as espessuras dos filmes, os substratos utilizados e as temperaturas do substrato. Para avaliar a viabilidade desses filmes como absorvedores de micro-ondas, foram realizadas análises de características como espessura, resistividade elétrica e capacidade de absorção de radiação eletromagnética.

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da produção de filmes finos de kanthal para serem empregados como absorvedores de micro-ondas, utilizando o método de deposição por evaporação térmica resistiva. Foi observado que os filmes finos apresentaram uma notável capacidade de absorção, alcançando até 49,9% quando depositados em condições de temperatura ambiente. Adicionalmente, verificou-se que a temperatura do substrato teve uma influência relativamente menor sobre a capacidade de absorção dos filmes, quando comparada à espessura do filme e ao tipo de substrato utilizado. Estes resultados indicam que a técnica de evaporação térmica resistiva é promissora para a produção de absorvedores eficazes de micro-ondas utilizando filmes finos de kanthal, oferecendo possibilidades interessantes para aplicações práticas nesta área (SILVA, 2014).

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações Finais

Em síntese, a importância da blindagem eletromagnética em meios navais é inegável à medida que as embarcações modernas dependem cada vez mais de sistemas eletrônicos complexos para funções críticas. Este trabalho explorou os desafios enfrentados, as técnicas de proteção empregadas e os benefícios resultantes da aplicação de estratégias de blindagem eletromagnética. Constatamos que as ameaças eletromagnéticas podem originar-se de uma variedade de fontes, incluindo pulsos eletromagnéticos de alta energia, sistemas de comunicação de alta potência e fontes de interferência interna. Essas ameaças podem ter impactos significativos nos sistemas eletrônicos de um navio, resultando em degradação, falha ou comprometimento da funcionalidade.

Os objetivos específicos para esta pesquisa foram alcançados por meio da revisão da literatura e análise das estratégias de proteção. Exploramos os materiais condutivos, as técnicas de blindagem passiva e ativa e as estratégias de mitigação e proteção. Além disso, discutimos a adaptação a ambientes dinâmicos e a integração de tecnologias emergentes. Em cada um desses tópicos, identificamos abordagens que podem aprimorar a eficácia das estratégias de blindagem eletromagnética.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Considerando a complexidade contínua das ameaças eletromagnéticas em ambientes navais e a rápida evolução tecnológica, várias oportunidades para pesquisas futuras merecem atenção. Primeiramente, estudos mais aprofundados podem ser realizados na integração de tecnologias emergentes na blindagem eletromagnética. Isso inclui a exploração de novos materiais condutivos, como nanocompósitos condutores e metamateriais, que podem oferecer níveis ainda mais altos de eficácia na proteção contra ameaças eletromagnéticas. Além disso, a aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina na detecção e resposta a interferências eletromagnéticas deve ser aprimorada para fornecer respostas mais rápidas e adaptativas.

A adaptação de estratégias de blindagem eletromagnética a ambientes dinâmicos também é uma área rica em potencial. As operações navais em águas costeiras, árticas e outros cenários exigem estratégias de proteção adaptáveis e inovadoras. Pesquisas adicionais podem se concentrar no desenvolvimento de técnicas de design específicas e materiais de blindagem

resistentes a ambientes variáveis e adversos, garantindo a operacionalidade contínua dos sistemas eletrônicos.

Além disso, estudos futuros podem explorar a aplicação de estratégias de proteção eletromagnética em embarcações não apenas como uma medida defensiva, mas também como uma ferramenta ofensiva, considerando a crescente relevância da guerra eletrônica naval. A compreensão dos princípios e estratégias de contramedidas eletromagnéticas ativas em um contexto naval pode ser uma área de pesquisa promissora.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Luiz Carlos Ferreira. **Avaliação de EMC em Veículos automotivos; Simulação e Testes**. 2015. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)—Universidade Estadual de Campinas.
- BAHIA, Matheus Lemos. **O emprego das armas de energia dirigida na atualidade**. 2021.
- BARBOSA, Carlos Roberto Hall. **Métodos para homogeneização das características de fase da impedância de sensores GMI**. 2014. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- BOCHE, Débora Almeida Oliveira. **PROJETO CONCEITUAL MECATRÔNICO PARA INSPEC AO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BROERING, Felipe Rodrigues. **Aplicação de técnicas de mitigação de interferência eletromagnética em um conversor estático com múltiplas saídas para atender a Norma CISPR11**. 2020.
- CARDOSO, Luiz Henrique Filadelfo. **GESTÃO DO RISCO CIBERNÉTICO À IMPLANTAÇÃO ADS-B NO ÂMBITO DO SISCEAB POR MEIO DO MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS À SEGURANÇA OPERACIONAL (GRSO)**. 2023.
- CASSIOLATO, César. EMI—Interferência Eletromagnética. Disponível em: < [http://www.profibus.org.br/artigos/EMI Interferencia Eletromagnetica. pdf](http://www.profibus.org.br/artigos/EMI%20Interferencia%20Eletromagnetica.pdf)>, Acesso em, v. 23, 2014.
- CATORCENO, Choquechambi; LINA, Litzy. **Estudo do encruamento, recristalização e crescimento de grão em chapa da liga de magnésio AZ31B (Mg-3% Al-1% Zn-0, 3% Mn)**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DA SILVA, Mauricio Weber Benjó. **SUPERFÍCIES SELETIVAS EM FREQUÊNCIAS-FSS: CONCEP CAO E PROJETO DE ABSORVEDORES PLANARES DE MICRO-ONDAS PARA APLICACAO EM WLAN, WIMAX E RADAR**. 2014.
- DE SÁ, Alan Oliveira; MACHADO, Raphael Carlos Santos; ALMEIDA, Nival Nunes. O encontro da Guerra Cibernética com as Guerras Eletrônica e Cinética no âmbito do Poder Marítimo. **Revista da EGN**, v. 25, n. 1, p. 89-128, 2019.
- DIAS, Allan Romário de Paula. **Aplicação de métodos eletromagnéticos para a avaliação das propriedades magnéticas e condição microestrutural de aços elétricos de grão não orientado**. 2013.
- EVANGELISTA, Jamilson Ramos et al. **Gerenciamento de risco de equipamentos eletromédicos para segurança eletromagnética em estabelecimentos assistencias de saúde**. 2021.
- FERNANDES, Fernando Gradizzi. O canhão eletromagnético e as armas de energia direcionada. **Revista Passadiço**, v. 31, n. 38, p. 06-06, 2018.

FERNANDES, Vitor Ribeiro; DE ALMEIDA, Nival Nunes; RODRIGUES, Cláudio Marim. Navios autônomos e a legislação de Ciência, Tecnologia e Inovação Brasileira. **REVISTA BRASILEIRA DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS**, v. 10, n. 19, 2019.

FREIRE, Vinícius Martins et al. **Desenvolvimento de material polimérico de matriz alquídica com características absorvedoras de radiação eletromagnética**. 2017.

GOBBI, Gabriela. **Avaliação das propriedades protetivas e de blindagem eletromagnética de um sistema de pintura a base de tinta poliuretânica com nanotubos de carbono aplicados sobre a liga de alumínio AA7075**. 2018.

GUERRA, Wilson Barbosa. A influência dos avanços tecnológicos no poder naval brasileiro no século XXI. **Revista da EGN**, v. 21, n. 1, p. 283-298, 2015.

JÚNIOR, Ivo Teixeira Gico; DE SOUZA DELGADO, Joedson. Pirataria Marítima: da Segurança da Navegação à Responsabilidade do Transportador Internacional de Mercadorias. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito-PPGDir./UFRGS**, v. 11, n. 1, 2016.

KUHN, Matheus Freitas. **Dispositivo de detecção o alagamento da região do anular de dutos submarinos flexíveis não aderentes com uso de sensores com identificação por radiofrequência**. 2021.

LASZLO, Ervin. **A ciência e o campo Akáshico**. Editora Cultrix, 2015.

MAINHA, Ricardo. **Sistemas de Armas de Artilharia Antiaérea: Atualidade e Prospetiva**. 2013. Tese de Doutorado. Academia Militar. Direção de Ensino.

MARQUES, Cassiano. **Navios fantasmas na Amazônia Azul: controle e mitigação**. 2020.

MAZZOTTI, João Paulo et al. **Imunidade contra surtos de tensão em sistemas de iluminação**. 2018.

MEDEIROS, Luciana Correia Lima de et al. **Estudo e projeto de um filtro planar rejeita faixa sintonizável em estrutura metamaterial utilizando varactores**. 2013.

MIRANDA, Bruno Nazareno Prazeres de et al. **Estimação do local de incidência da descarga atmosférica utilizando o método TOA e tempos artificiais de detecção dos sensores**. 2016.

MONTEIRO, Emília dos Santos. **Nanopartículas de Ni-Zn utilizadas como absorvedores de micro-ondas**. 2016.

MORESI, Eduardo Amadeu Dutra. Informação uma arma cibernética. In: **Orlando, Florida. Trabalho a ser apresentado na Décima Segunda Conferencia Ibero-americana em Sistemas, Cibernética e Informática: CISCI**. 2013.

MORETTI, Rafael Henrique. **Análise do efeito de entropia em computação quântica: simulações em ambiente paralelo**. 2015.

PAUL, C. R. **Introduction to electromagnetic compatibility**. Hoboken, Nj: Wiley, 2006.

PERELMUTER, Guy. **Futuro presente: o mundo movido à tecnologia**. Companhia Editora Nacional, 2020.

PRADO, João Otávio Gomes de Oliveira. **Seleção de materiais poliméricos para blindagem de baterias de carros elétricos**. 2023.

RAMÔA, Sílvia Daniela Araújo da Silva et al. **Síntese, caracterização e avaliação da utilização de aditivo condutor nanoestruturado à base de montmorilonita/polipirrol em matriz de poliuretano termoplástico para aplicação em blindagem eletromagnética**. 2015.

RANDO, Ricardo. **Aterramento em atmosferas explosivas: Práticas recomendadas**. Editora Blucher, 2021.

ROQUE, Acássio Matheus. **Considerações sobre avaliação de risco e resiliência eletromagnética em sistemas elétricos e eletrônicos**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANCHES, Durval. **Interferência Eletromagnética-Emi**. Clube de Autores, 2014.

SANTARINE, Gerson Antonio; DOMINGOS, Roberto Naves. TEMPESTADES GEOMAGNETICAS E O EVENTO CARRINGTON. **Holos Environment**, v. 14, n. 1, p. 103-113, 2014.

SILVA, Cirene de Andrade Prata da. **Produção de filmes finos de kanthal absorvedores de micro-ondas**. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

SILVA, Igor Gomes da. **Análise dos requisitos de compatibilidade eletromagnética em equipamentos eletrônicos industriais**. 2013.

SILVA, Jonathan Sidney da. **Uma concepção estratégica de emprego do Navio-Aeródromo para a defesa da Amazônia Azul**. 2019

SILVA, Mateus Vidal Alves. PANORAMA DA AMEAÇA CIBERNÉTICA À AVIAÇÃO CIVIL. **Revista Brasileira de Inteligência**, n. 14, p. 67-84, 2019.

SILVA, Tamara Indrusiak. **DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURAS NANOCOMPÓSITAS ABSORVEDORAS DE MICROONDAS**. 2019.

SOARES, Anderson Silva. Inteligência de comunicações e sua importância como suporte às operações navais. **Revista Passadiço**, v. 34, n. 42, p. 18-18, 2022.

SOARES, Fábio Leite. **Sistema embarcado para comunicação intraveicular segura em Diagnostics over IP-DoIP**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, Felipe Martins de. **Desenvolvimento de um capacitor de alta performance com multicamadas de polianilina e óxido de grafeno**. 2017.

SOUZA NETTO, Paulo Gabriel Trevisol Estrella de; KERTSCHER, Felipe; PIMENTEL, Gustavo Reikdal de Oliveira. **Interferência eletromagnética em sistemas de áudio**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VALENTE JUNIOR, Wilson et al. **Avaliação do ambiente eletromagnético em estabelecimentos assistenciais de saúde**. 2006.

WINNISCHOFER, Godofredo. **Contribuição das configurações de sistemas de acionamento e de seus componentes naturais no controle de interferências eletromagnéticas**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.