

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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ELETRÔNICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SISTEMAS DE GUERRA ELETRÔNICA EM NAVIOS DA ESQUADRA:
Análise dos impactos táticos e estratégicos dos Sistemas MAGE**



1° Ten RAFAEL GAMA BARROS

Rio de Janeiro
2021

1° Ten RAFAEL GAMA BARROS

SISTEMAS DE GUERRA ELETRÔNICA EM NAVIOS DA ESQUADRA:
Análise dos impactos táticos e estratégicos dos Sistemas MAGE

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.

Orientador:
CT Renato da Silva Martins

CIAW
Rio de Janeiro
2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

1º Ten RAFAEL GAMA BARROS

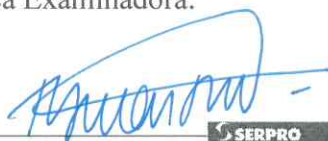
SISTEMAS DE GUERRA ELETRÔNICA EM NAVIOS DA ESQUADRA:
Análise dos impactos táticos e estratégicos dos Sistemas MAGE

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica.


Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Renato da Silva Martins, CT – CIAW



Gelza de Moura Barbosa, CMG (RM1-EN), DSc–CIAW

 **SERPRO**
Assinado digitalmente por:
GELZA DE MOURA BARBOSA
Sua autenticidade pode ser confirmada no endereço:
<<http://www.serpro.gov.br/assinador-digital>>

Guilherme Penello Temporão, DSc – PUC Rio



CIAW
Rio de Janeiro
2021

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo exemplo de coragem, simplicidade, que com muito zelo me ensinaram o caminho da honestidade e justiça, a minha querida esposa, a minha filha Isabel que é a minha inspiração para ser todo dia um ser humano melhor. Por fim a Marinha do Brasil, que como instituição me ensinou um caminho profissional, moral e ético.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e à minha família que foram, são e sempre serão meus alicerces na vida, em especial à minha esposa que dentro do nosso lar proporcionou as melhores condições possíveis para a realização deste curso. Agradeço também aos amigos que dividiram os momentos de estudo e de diversão, e aos professores e orientadores por todo o conhecimento compartilhado.

“Se você conhece o inimigo e conhece a si mesmo, não precisa temer o resultado de cem batalhas.”

Sun Tzu

**SISTEMAS DE GUERRA ELETRÔNICA EM NAVIOS DA ESQUADRA:
Análise dos impactos táticos e estratégicos dos Sistemas MAGE.**

Resumo

A constante evolução tecnológica confere à Guerra Eletrônica um caráter dinâmico e a margem de vantagem ou superioridade militar e tecnológica só pode ser mantida pela permanente dedicação à Ciência, Tecnologia e Inovação e, principalmente, pelo contínuo acompanhamento da evolução militar no cenário de interesse. Nesse sentido a Guerra Eletrônica pode ser definida como o conjunto de Ações de Guerra Eletrônica que são divididas em Medidas de Ataque Eletrônico, Medidas de Proteção Eletrônica, Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica e Reconhecimento Eletrônico. Tais ações são a efetivação da Capacidade de Guerra Eletrônica no teatro de operações e representam como o Espectro Eletromagnético é explorado pelos sistemas da própria força em detrimento de seu uso efetivo pelo inimigo. Assim este trabalho tem o objetivo de fazer uma análise crítica sobre impacto de alguma possível falha das MAGE, nas operações navais e na definição da Capacidade de Guerra Eletrônica visto que ela contribui para a atualização do banco de dados que apoia as decisões estratégicas que ditam os requisitos do Sistema de Guerra Eletrônica.

Palavras- chave: RETRON. MAGE. CGE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Sistema Lorenz em funcionamento.....	14
Figura 2-Sistema Meaconig em funcionamento.....	14
Figura 3-Sistema Headache em funcionamento	15
Figura 4-Sistema Aspirin em funcionamento.....	16
Figura 5-Radar Wurzburg.....	16
Figura 6-U Boat 534 em Birkenhead Docks, Merseyside, Inglaterra	17
Figura 7-Funções do Sistema	20
Figura 8-Modo de falha de um Sistema	32
Figura 9-Componentes do SGE.....	38
Figura 10-SGE em homeostase	39
Figura 11-Sistema adaptativo	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Níveis de Severidade.....	32
Quadro 2-Danos relacionados aos níveis de Severidade	33
Quadro 3-Funções específicas da MAGE	41
Quadro 4-Modos de falha do MAGE	41
Quadro 5-Modo de falha do MAGE e efeitos no SGE.....	42
Quadro 6-Danos em caso de reação não oportuna	43
Quadro 7-Danos em caso de não levantamento de dados sobre o sinal de interesse	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação do Problema	11
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivo	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Exemplos históricos da Guerra Eletrônica	12
2.1.1 Batalha naval de Tsushima.....	12
2.1.2 Segunda Guerra Mundial	13
2.1.3 Guerra do Yom Kippur.....	18
2.1.4 Conclusões sobre os exemplos históricos	19
2.2 Conceitos de Sistemas	20
2.2.1 O que é um sistema?	20
2.2.2 Tipos de sistemas	21
2.2.3 Características de um sistema	23
2.2.4 Ciclo de vida de um sistema.....	23
2.3 Conceitos de Guerra Eletrônica	26
2.4 FMEA	29
2.4.1 Definição	29
2.4.2 História do FMEA	30
2.4.3 Definição do Modo de falha, seus efeitos e causas	31
2.4.4 Definição do Grau de Severidade.....	32
3 METODOLOGIA	33
3.1 Classificação da Pesquisa	34
3.1.1 Classificação Quanto aos Fins	34
3.1.2 Classificação Quanto aos Meios	34
3.2 Limitações do Método	34
3.3 Coleta e Tratamento dos Dados	35
4 ANÁLISE DO MAGE	35

4.1 Visão sistêmica do SGE.....	35
4.2 Análise dos impactos táticos e estratégicos das falhas do MAGE	38
4.2.1 Definição do sistema	38
4.2.2 Identificação dos Modos de falhas do MAGE, seus efeitos e causas	41
4.2.3 Grau de severidade dos efeitos dos Modos de falha do MAGE	42
4.2.4 Estabelecimento das ações corretivas.....	45
5 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema

A constante evolução tecnológica atribui a Guerra Eletrônica (GE) um caráter dinâmico que demanda por um constante aperfeiçoamento da Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE) que pode ser definida como a totalidade dos meios e recursos que possibilitam ao Poder Naval empregar eficazmente as ações de GE com o propósito de aumentar a probabilidade de sucesso e sobrevivência das Forças Navais. Neste contexto as táticas e técnicas para exploração do Espectro Eletromagnético (EEM) mudam e tal mudança deve ser acompanhada no intuito de manter a superioridade tecnológica e o aprestamento do Poder Naval num possível conflito. (MARINHA DO BRASIL,2016a).

Segundo a publicação GE-101-Introdução à Guerra Eletrônica as Ações de GE (AçGE) são divididas em Reconhecimento Eletrônico (RETRON) e em Medidas de Guerra Eletrônica (MGE). A primeira tem como propósito estimar a CGE do oponente e avaliar adequabilidade da CGE do Poder Naval a capacidade do inimigo. A segunda é o conjunto de todas as ações que caracterizam o emprego de uma CGE em apoio direto a uma operação militar e divide-se em Medidas de Apoio a GE (MAGE), Medidas de Ataque Eletrônico (MAE). e Medidas de Proteção Eletrônica (MPE). Neste contexto o RETRON e a MAGE têm objetivos parecidos, mas não iguais. Ambas procuram determinar o uso do EEM pelo oponente, porém em contextos diferentes. Enquanto as MAGE são empregadas durante a execução de uma operação em seu apoio direto, o RETRON é realizado em apoio ao planejamento estratégico e operacional ou tático daquela operação, ou seja, antes da operação ser executada.

Desta maneira as MGE, que utilizam o produto do RETRON para explorar o espectro eletromagnético em proveito do Poder Naval, precisam de um correto dimensionamento da CGE do inimigo para serem eficazes. Por exemplo, segundo MARINHA DO BRASIL (2016c) as frequências de 2 a 18 GHz são muito utilizadas por radares de armas e num possível ataque saber quais armas emitem naquelas determinadas frequências e quais plataformas tem aqueles tipos de armas, são vitais para a adoção de MAE, MPE ou manobras táticas rápidas e eficazes. As respostas a tais perguntas são fornecidas pelo Sistema MAGE que armazena informações oriundas de um criterioso e longo trabalho de análise realizado pelo RETRON. Tal encadeamento de funções entre RETRON, MAGE, MAE e MPE mostra a

importância dos produtos do RETRON e da MAGE no aumento da probabilidade de sucesso da missão e da sobrevivência da Força Naval.

No âmbito estratégico o fluxo de dados do relacionamento entre MAGE e RETRON muda de sentido. Nesta lógica as MAGE entregam ao RETRON sinais coletados nas áreas de interesse para futuro processamento, análise e produção de conhecimento em apoio as decisões estratégicas.

1.2 Justificativa

O motivo da abordagem é identificar os impactos táticos e estratégicos das falhas do MAGE como componente do Sistema de Guerra Eletrônica (SGE) presente nos meios esquadra, e por meio desta análise correlacionar tais impactos a cada possível falha do MAGE.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é mostrar a importância do MAGE dentro do Sistema de Guerra Eletrônica e na dinâmica da Guerra Eletrônica como uma das principais fontes de informação para incrementação da CGE, e apresentar as possibilidades de falhas e ações corretivas do MAGE por meio de uma análise qualitativa baseada nos conceitos da FMEA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Exemplos históricos da Guerra Eletrônica

2.1.1 Batalha naval de Tsushima

De acordo com a publicação GE-101–Introdução à Guerra Eletrônica (2016) o primeiro relato de emprego de GE refere-se à Batalha Naval de Tsushima, durante a guerra russo-japonesa, em 27 de maio de 1905, no estreito da Coreia, próximo à ilha de Tsushima,

entre a esquadra japonesa do Almirante Togo e cinquenta e nove navios russos, que se deslocavam do golfo da Finlândia para Vladivostok, na costa oriental da Sibéria.

O Almirante japonês determinou que seus navios-patrolha procurassem os navios inimigos num patrulhamento contínuo e caso os encontrassem, que estabelecessem contato imediatamente com o comando da esquadra por meio de um velho encouraçado que desempenhava o papel de estação repetidora entre os navios-patrolha e o comando da esquadra, no porto.

No teatro de operações o Cruzador Auxiliar “Shinano Maru”, um dos navios-patrolha, encontrou as embarcações da frota russa e imediatamente informou a localização, o rumo e toda a constituição da esquadra soviética. Tais informações possibilitaram à força japonesa interceptar a esquadra russa em condições táticas favoráveis, acarretando a destruição quase total daquela frota.

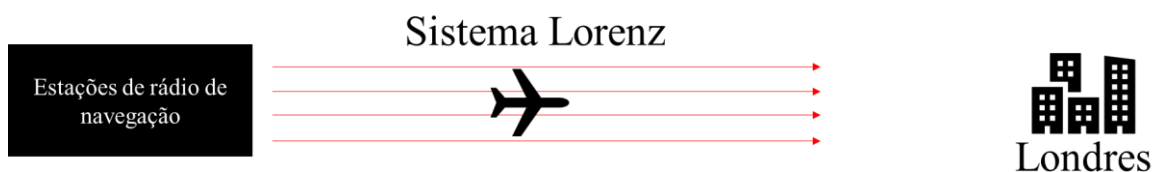
Nesta batalha, numa avaliação operacional sob a ótica da GE, os operadores de rádio russos interceptaram as mensagens iniciais do navio patrulha japonês antes do encouraçado “repetidor”, porém foram impedidos pelo Almirante Rotgesvensky de transmitir na mesma frequência e interferir na transmissão japonesa, no intuito de não romper o silêncio eletrônico. Contudo, mesmo contra as ordens Almirante russo, os comandantes dos navios russos resolveram tentar a interferência, mas não lograram êxito, pois a informação já estava em posse do comandante da esquadra japonesa.

2.1.2 Segunda Guerra Mundial

O primeiro uso em larga escala do radar ocorreu na Segunda Guerra Mundial quando ele foi implantado por ambos os lados e gerou um esforço para contrariar suas detecções, denominado de Contramedidas Eletrônicas (CME), atualmente chamado de Ataque Eletrônico. Nesta Guerra a GE ganhou uma nova dinâmica com os radares e as “Batalha dos Feixes de Energia”, como eram chamadas as operações envolvendo o espectro eletromagnético que caracterizaram um jogo de medidas e contramedidas eletrônicas nas ações de penetração e defesa. (MARINHA DO BRASIL,2016c).

Um dos exemplos de exploração do Espectro Eletromagnético (EEM) na GE foi orientação dos pilotos alemães para Londres por meio de ondas eletromagnéticas emitidas por estações de rádio de navegação localizadas no Norte da França, em direção a Londres. O sistema, chamado de “Lorenz”, possibilitava tal orientação por meio de antenas especiais que captavam os sinais e guiava os pilotos até a cidade. A figura 1 ilustra o funcionamento do sistema “Lorenz”. (MARINHA DO BRASIL,2016c).

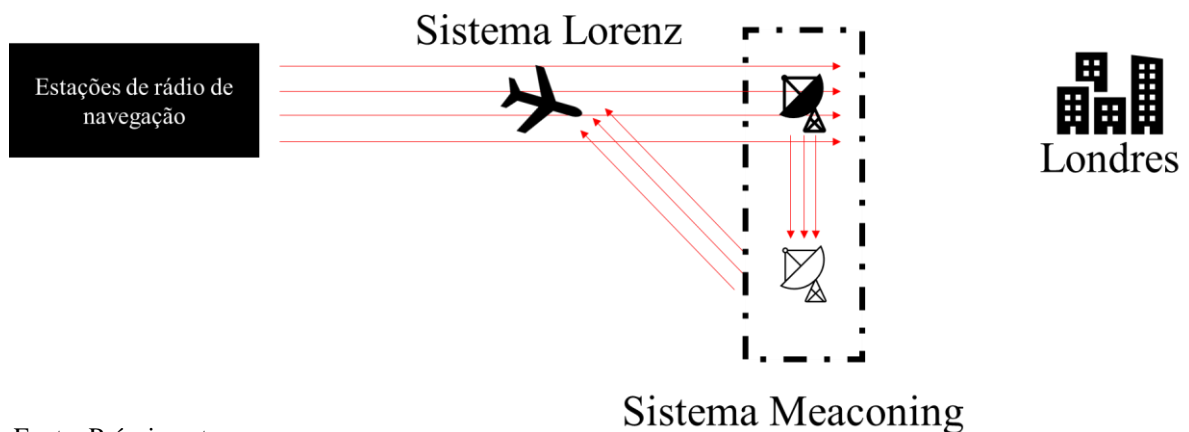
Figura 1-Sistema Lorenz em funcionamento



Fonte: Próprio autor

A solução inglesa para evitar a chegada dos bombardeiros alemães a Londres foi o emprego de um sistema conhecido por “Meaconing” (mascarador de emissões), que consistia num receptor e num transmissor separados de 5 a 10 milhas náuticas. O primeiro, recebia os sinais eletromagnéticos provenientes do sistema “Lorenz” e os repassava ao segundo que transmitia o sinal aos pilotos nazistas, desorientando-os e muitas vezes, obrigando-os a pousarem em campos britânicos.

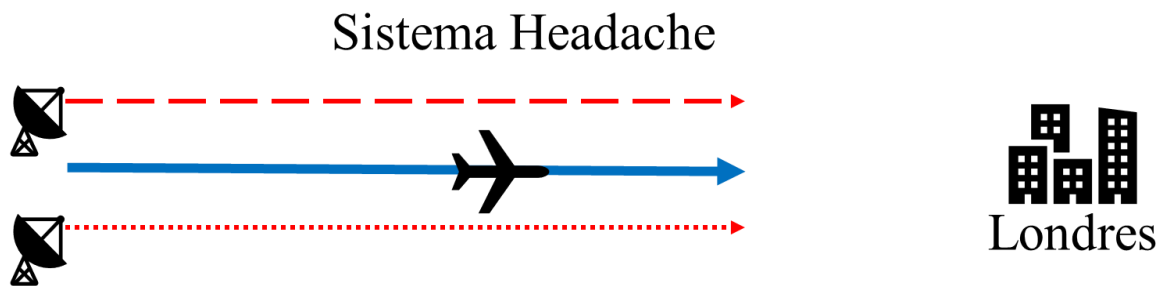
Figura 2-Sistema Meaconing em funcionamento



Fonte: Próprio autor

Como resposta ao Sistema “Meaconing”, os alemães desenvolveram um sistema, composto por um par de transmissores, instalado na costa da França. Enquanto um transmitia um sinal curto (pontual), o outro transmitia um sinal mais longo. Os transmissores eram posicionados de modo a permitirem que seus feixes fossem quase paralelos. Se perfeitamente ajustado, o sistema permitia que uma aeronave que estivesse voando precisamente no meio dos sinais recebesse um sinal contínuo e qualquer desvio do curso causava a recepção de algum dos dois sinais originais. Na figura 3 está representado o sistema que os ingleses denominaram de “Headache” (dor de cabeça). As setas vermelhas representam o sinal enviado numa determinada frequência com larguras de pulsos diferentes e a seta azul representa a forma como o receptor identificava a recepção conjunta dos sinais.

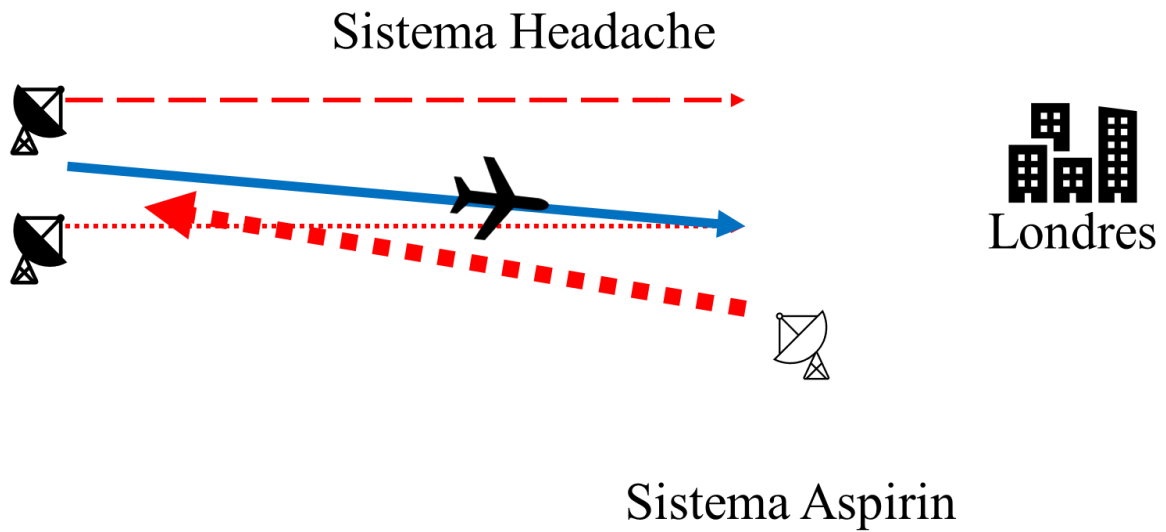
Figura 3-Sistema Headache em funcionamento



Fonte: Próprio autor

Os ingleses mais uma vez em desvantagem em relação a tecnologia nazista criaram uma outra contramedida batizada de “Aspirin”, que consistia em simular um dos sinais enviados, porém com maior potência, desalinhado com os feixes originais. Dessa forma o piloto tinha a percepção que não estava no meio dos feixes paralelos e era induzido a fazer uma correção desnecessária no rumo. Na figura 4 o sistema é representado pela seta vermelha com maior espessura que simula transmissão o sinal com maior largura de pulso, porém com maior potência, representado pela maior espessura da linha criando uma percepção da recepção conjunta dos sinais e alterando o rumo de navegação da aeronave.

Figura 4-Sistema Aspirin em funcionamento



Fonte: Próprio autor

Segundo a publicação GE-101–Introdução à Guerra Eletrônica (2016) no decorrer da guerra o teatro de operações foi deslocado para Alemanha onde os britânicos deixaram de combater as armas ofensivas alemãs, passando a se preocupar com as defensivas. Neste contexto a superioridade alemã consistia em dois radares: o “Freya” e o “Würzburg”. Estes radares funcionavam de maneira complementar visto que enquanto o Freya detectava se aeronaves inimigas que se aproximavam e que caminho seguiam, o Würzburg determinava a que altura e distância essas aeronaves estavam.

Figura 5-Radar Würzburg



Fonte: Ketelhohn

As atividades de RETRON britânicas identificaram que os radares Wurzburg não tinham uma proteção especial contra interferências eletrônicas além do recurso de poder operar numa larga escala de frequência. A partir do conhecimento sobre a capacidade dos radares alemães, os ingleses criaram contramedidas eletrônicas com aparas metálicas, os “chaff”, cujo primeiro emprego foi efetuado pela força aliada durante uma incursão aérea na cidade de Hamburgo, na noite de 24 de julho de 1943. Setecentos e noventa bombardeiros lançaram vinte toneladas de “chaff” sobre a cidade alemã, dando aos radares a impressão de que doze mil aviões sobrevoavam a região. Estima-se que tal contramedida, tenha salvado cerca de duzentas aeronaves e mil e trezentos tripulantes aproximadamente, no período de dois meses. (MARINHA DO BRASIL,2016a).

No contexto da guerra antissubmarina a GE mostrou suas possibilidades e o RETRON como fator decisivo na Segunda Guerra Mundial. No início de 1942, o Comando Costeiro da RAF empregava radares da banda L para localizar *U-boats* alemães que emergiam a superfície a fim de recarregar as baterias. Porém os submarinos alemães começaram a usar receptores na banda L, permitindo que eles detectassem os sinais radar transmitidos pela RAF e mergulhassem antes deles poderem ser alvejados pelas aeronaves. Porém a Inglaterra percebeu a perda da eficácia de suas ações e criaram radares que operavam na banda S e assim conseguiram reverter vantagem alcançada pelos alemães.

Figura 6-U Boat 534 em Birkenhead Docks, Merseyside, Inglaterra



Fonte: Paul Adams

Atividade dos U-boat foi bastante reduzida por um longo período, até o Alto-Comando Alemão descobrir que a RAF estava empregando radares na banda S. Porém o fato dos radares que empregavam a banda S utilizarem válvula do tipo Magnetron, uma exclusividade naquela época, impediu os alemães de criarem uma contramedida rápida, mantendo desta forma a supremacia tecnológica e tática inglesa. (MARINHA DO BRASIL,2016a).

2.1.3 Guerra do Yom Kippur

Segundo a publicação GE 101 Conceitos Básicos de Guerra Eletrônica após a guerra dos Seis Dias, Israel esperava que sua vitória conduzisse a um período prolongado de paz, já que o arsenal bélico egípcio havia sido completamente destruído, a Jordânia havia perdido quase todo o seu exército e a Síria perdera suas posições militares mais ameaçadoras, como as alturas de Golã. Porém em outubro de 1973 houve um ataque surpresa por uma força árabe de dois mil blindados que avançou através da frente Síria, sob a proteção de SAM móveis, que eram lançadores de mísseis terra-ar que podia ser disparado do ombro de um soldado, e sistemas quádruplos ZSU-23, que eram canhões antiaéreos, dirigidos por radar e que disparavam até mil tiros por minuto.

Segundo a publicação GE-101–Introdução à Guerra Eletrônica (2016) os canhões e mísseis antiaéreos egípcios eram guiados por radares com faixa de frequência acima daquelas que o equipamento de apoio eletrônico israelense podia detectar e os mísseis terra-ar eram guiado por sensores infravermelhos. Tais equipamentos garantiram a assimetria tecnológica e militar nos momentos iniciais da guerra e causaram grandes perdas as forças israelenses.

Neste contexto os mísseis SA-6 foram a maior surpresa tecnológica no conflito. Tais mísseis empregavam um radar de microondas utilizando técnicas Doppler, sendo altamente efetivos contra aviões voando a baixa altura. Porém através de estudos sobre o míssil, os israelenses chegaram a novas táticas e desenvolvimento de bloqueadores e despistadores, superando a vantagem obtida pelos combatentes árabes e se recuperou revertendo a tendência dos combates e ganhando a guerra.

2.1.4 Conclusões sobre os exemplos históricos

Diante os fatos históricos apresentados, é notório que o conhecimento das capacidades militares ligadas a GE de potenciais adversários, necessita do uso permanente de equipamentos de recepção e análise do sinal radar, que são fundamentais para a realização do RETRON e da consequente manutenção de capacidades defensivas e na prevenção de surpresas. Desta maneira, a produção e armazenamento de conhecimento de sinais de radar tem um papel fundamental em tempo de paz, possibilitando o desenvolvimento de modernos armamentos e sensores ligados a rastreamento e detecção de alvos.

A Segunda Grande Guerra mostrou a importância do RETRON na dinâmica da GE em caso de um conflito. Como exemplo pode-se citar a identificação das MPE dos radares Wurzburg e desenvolvimento dos Chaff, e a importância do alarme antecipado provido por um sistema MAGE, quando os alemães descobriram a frequência de operação dos radares da RAF costeira e conseguiam submergir antes da interceptação dos caças e depois o que aconteceu quando eles perderam essa vantagem tática.

O exemplo da Guerra do Yom Kippur mostrou as consequências de negligenciar do contínuo trabalho de pesquisas e desenvolvimento da tecnologia, tanto em tempo de paz, como nos momentos de crise. Caso os israelenses houvessem se dedicado à evolução tecnológica da GE, procurando alcançar o estado da arte neste campo, certamente não teriam sido surpreendidos, nem teriam sofrido tão pesadas perdas. Porém vale ressaltar o trabalho de RETRON realizado durante o conflito e o desenvolvimento e aprimoramento dos MAGE cuja ineficácia no começo do conflito custou recursos humanos e materiais.

Segundo GE 106 Reconhecimento Eletrônico (2016c) os meios de GE interagem, mesmo durante os períodos de paz. A ausência de conflitos faz com que a capacidade inferida do oponente tenha de ser baseada em informações de Inteligência e nesse contexto surge a importância do RETRON como meio de aprimoramento da CGE. Nesse sentido e no contexto naval, os equipamentos MAGE dentro dos navios representam o principal meio de coleta de sinais para RETRON.

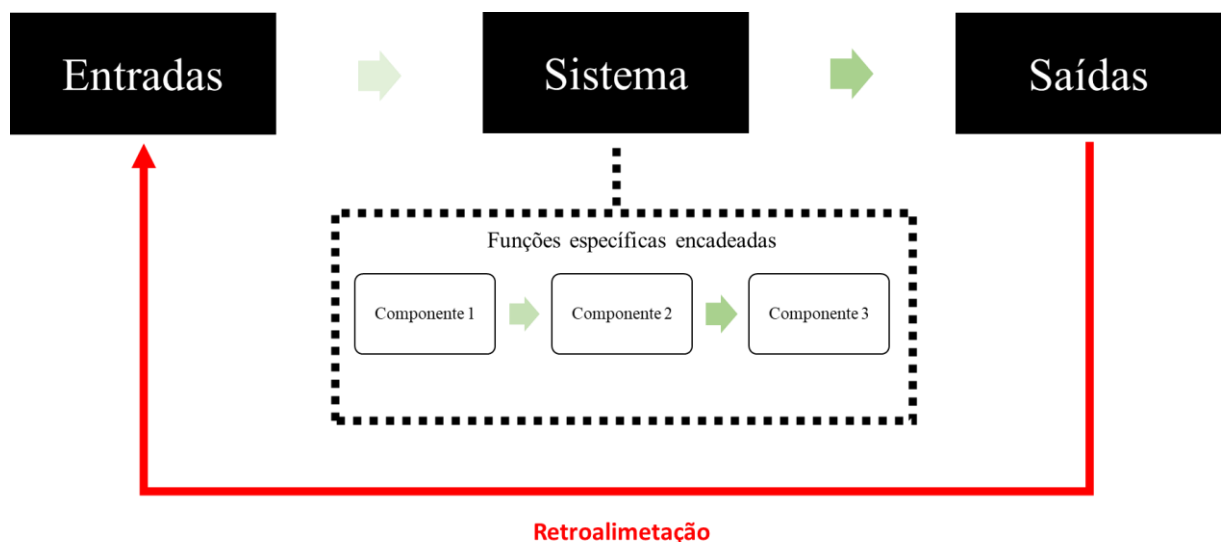
2.2 Conceitos de Sistemas

2.2.1 O que é um sistema?

Segundo ASCH (2020) pode-se definir um sistema como um conjunto ordenado de elementos que se encontram interconectados, interagindo entre si e seguindo determinadas regras no intuito de produzir algo. Esses elementos chamados de componentes têm determinadas funções que juntas consolidam o produto do sistema.

As funções podem ser divididas em funções gerais e específicas. De acordo com ASCH (2020) as funções gerais são funções comuns a todos os sistemas como entrada, saída, feedback, controle e integração. Já as funções específicas estão relacionadas aos objetivos de cada componente do sistema. Assim quanto mais detalhado forem essas funções melhores serão os componentes para realizá-las, visto que eles serão selecionados e empregados com base no seu potencial de executar tais funções.

Figura 7-Funções do Sistema



Fonte: Próprio autor

O bom funcionamento do sistema, ou seja, sua sinergia e integração está ligado a interdependência entre os componentes, ou seja, no encadeamento das funções específicas de cada componente. Nesta lógica o sistema não é um aglomerado de ‘coisas’, mas componentes que interagem entre si, que se relacionam, que tem funções específicas que são pré-requisitos,

dentro de um encadeamento de funções, para outras funções específicas serem desempenhadas, e assim obter-se um resultado produzido por essas interações. Segundo ASCH (2020) as funções gerias possuem as seguintes definições:

- Entrada- Fenômeno ou causa que inicia o funcionamento do sistema e representa tudo que o sistema recebe de seu meio: expectativas; demandas; exigências; coações; recursos (informação, pessoal, energia, material, dinheiro, ...);
- Saída-Consequência final do funcionamento do sistema. Os resultados devem ser coerentes com o propósito do sistema. Tudo que o sistema envia de volta ao meio é avaliado como o sistema satisfaz as expectativas e a exigências do meio. muitas vezes, a saída de um sistema é a entrada de outro sistema;
- Processamento-Mecanismo de conversão das entradas em saídas e produção de um resultado. Empregam componentes capazes de executarem as funções específicas, já explicadas anteriormente;
- Retroação-É exercida por meio da retroalimentação que compara a saída com um critério ou padrão previamente estabelecido e por conseguinte visa manter o desempenho de acordo com o padrão ou critério escolhido; e
- Ambiente-Contexto externo onde o sistema está situado. A sobrevivência de um sistema depende de sua capacidade de adaptar-se, mudar e responder às exigências e demandas do ambiente externo.

2.2.2 Tipos de sistemas

Os sistemas podem ser classificados de várias maneiras, porém para efeito deste trabalho, eles serão classificados em quatro tipos: sistemas abertos ou fechados, sistemas físicos ou conceituais, sistemas projetados ou naturais e sistemas complexos ou lineares.

Segundo ASCH (2020), sistemas abertos são aqueles sistemas que interagem com o ambiente por meio de entradas oriundas do ambiente e saídas ou produtos do sistema para o ambiente. Desta maneira as interações entre um conjunto de elementos identificam um limite do sistema e define o que significa pertencer ao sistema. Eles possuem capacidade de

crescimento, aprendizagem, mudança, adaptação ao ambiente, auto-organização, autorreprodução sob certas condições ambientais e de competir com outros sistemas. Por outro lado, os sistemas fechados são os sistemas que não interagem ou pouco interagem com o ambiente. Eles não influenciam e nem sofrem influência do ambiente.

Sistemas físicos, segundo ASCH (2020), são aqueles que existem fisicamente, ou seja, que são compostos por coisas materiais e energia. Já os sistemas conceituais são sistemas compostos por ideias e conceitos podendo ser usado na construção de um sistema físico ou simplesmente para a busca de um objetivo. Pode-se citar como exemplo os sistemas jurídico e econômico, que não existem fisicamente, mas dão diretrizes para algum objetivo.

Os sistemas Projetados são aqueles criados pelo homem e os naturais são aqueles que ocorrem naturalmente. Neste sentido o sistema projetado é um sistema criado para fornecer produtos e/ou serviços em um ambiente específico para beneficiar usuários e outros participantes de interesse, os chamados stakeholders. Os stakeholders são os indivíduos, empresas ou pessoas que estão interessados nos produtos do sistema. (ASCH, 2020)

Os sistemas projetados contêm hardware, software, pessoas, serviços ou uma combinação deles e existem dentro de um ambiente que impacta suas características, uso, sustentação e criação. De acordo com ASCH (2020) eles são tipicamente definidos pelo seu propósito, meta ou missão, tem um ciclo de vida e dinâmica de evolução, podem incluir operadores humanos (interagindo com os sistemas via processos), bem como outros componentes naturais que devem ser considerados no projeto e desenvolvimento do sistema e fazem parte de uma hierarquia de sistema de interesse.

Os Sistemas de Sistemas (SoS) são sistemas cujo componentes são sistemas. Assim sistemas se juntam para criarem outro sistema. Um exemplo de Sistema de sistema é o Sistema de Combate das Fragatas Classe Niterói que é composto, entre outros sistemas, pelos Sistemas de Armas acima da linha d'água, sistema de armas antissubmarino e sistema de guerra eletrônica.

Segundo ASCH (2020 apud Mayer, 1988), as duas principais características de um sistema que o tornam um sistema de sistema são a independência operacional e gerencial dos sistemas componentes.

2.2.3 Características de um sistema

Durante o funcionamento de um sistema algumas características podem ser avaliadas. Neste trabalho segundo ASCH (2020) serão definidas as seguintes características:

- Sinergia-Interação dos elementos do sistema que possibilita-o funcionar adequadamente;
- Homeostase-Capacidade do sistema manter o equilíbrio, adaptando-se ao ambiente; obtida através da retroalimentação / autorregulação;
- Adaptabilidade-Capacidade do sistema ajustar-se aos padrões requeridos em sua interação com o ambiente externo, alterando o seu status quo interno para alcançar um equilíbrio frente a novas situações; e
- Resiliência - Capacidade de superar o distúrbio imposto por fenômeno externo. Remete para a capacidade de restauração de um sistema.

2.2.4 Ciclo de vida de um sistema

Segundo ASCH (2020) os ciclos de vida variam de acordo com a natureza, o propósito, o uso e as circunstâncias predominantes do sistema. Não existe uma regra ou um ciclo de vida padrão para o desenvolvimento de um sistema. Pode-se usar um ciclo pré-definido por um determinado autor e moldá-lo conforme seu trabalho ou ainda criar seu próprio ciclo de vida. Algumas definições de fases são descritas abaixo:

- Fase de Pré-concepção - Em muitas indústrias, é comum que os estudos de pesquisa levem a novas ideias ou capacidades que amadurecem até o início de um novo projeto. Frequentemente, as atividades nesta fase identificam as tecnologias capacitadoras. Segundo a publicação EMA-420 – Normas para Logística de Material (2002), na fase que antecede a concepção está a confecção dos Requisitos de Estado Maior REM que servem como subsídio para aquisição de um meio ou sistema. Ele possui informações quanto aos cenários de operação, tarefas/missões, ameaças, disponibilidade requerida, nacionalização (índice de nacionalização), e o custo aceitável.

- Fase de concepção - Nesta fase segundo ASCH (2020) ocorre a identificação da necessidade (análise e projeto inicial) que visa identificar, esclarecer e documentar os requisitos das partes interessadas, realizar estudos detalhados que avaliam vários conceitos candidatos e, eventualmente, fornecer uma justificativa para o conceito do sistema selecionado. A fase da concepção é uma das mais importantes do ciclo de vida de um sistema visto que possui uma ligação direta com o produto do sistema. Por exemplo na aquisição ou desenvolvimento de um sistema na Marinha do Brasil perguntas como a missão do sistema, sua área de operação e o desempenho esperado, devem ser respondidas no intuito de alcançar o correto delineamento dos requisitos. Neste sentido, segundo KALINOWSKI (2021) os requisitos podem ser divididos em requisitos do usuário e requisitos de sistema. Os requisitos do usuário representam o que os stakeholders querem com a construção do sistema. Os requisitos do sistema representam desde a forma que aquele sistema vai interagir com o ambiente até as características próprias atinentes ao seu funcionamento. Desta maneira os requisitos do sistema podem ser divididos em requisitos funcionais que ditam as interações do sistema com o ambiente e com seus usuários, em requisitos não funcionais que fornecem as condições ou qualidades específicas de um sistema e as regras de domínio que caracterizam as doutrinas e regras de uma empresa ou instituição. Neste sentido os requisitos não funcionais podem estar atrelados as restrições do sistema e podendo ser mais críticos que os requisitos funcionais, ou seja, caso tal condição não seja satisfeita o sistema se tornará inútil. (KALINOWSKI, 2021). Por exemplo num equipamento MAGE dentro de um navio as possibilidades de interação do operador e do ambiente com o equipamento, são os requisitos funcionais do sistema e retratam sua interação com os atores. Por outro lado, como trata-se de um sistema de análise de informações a discrição torna-se fundamental no seu funcionamento, desta maneira é necessário que o equipamento funcione apenas recebendo espectro eletromagnético e não emita nada a fim de manter seu sigilo. Essa característica é um requisito não funcional do sistema.
- Fases da validação, projeto detalhado e desenvolvimento - Na fase de validação são realizados os primeiros esforços de validação dos requisitos alinhando-os às expectativas das partes interessadas definindo o que pode ser realizado com os recursos disponíveis. Neste sentido vale ressaltar que os sistemas que apresentam

falhas/insucessos têm suas falhas atreladas a estudos insuficientes ou superficiais na fase da Concepção. No projeto detalhado, segundo ASCH (2020), ocorre a verificação da exequibilidade do projeto que seria a avaliação dos requisitos em relação as capacidades tecnológicas, custos e outros fatores e o detalhamento do projeto para permitir o contrato para: aquisição, desenvolvimento, produção ou construção. A fase de desenvolvimento inclui as atividades integração, verificação, validação e aceitação do sistema e tem como objetivo principal desenvolver um sistema que atenda aos requisitos dos stakeholders e possa ser: produzido, testado (verificado), avaliado, operado, suportado (mantido), e desativado.

- Produção/ construção e distribuição - Na fase de produção ocorre a construção e/ou produção do sistema e dos sistemas de suporte e apoio relacionados. Nesta fase ocorrem a implantação e testes de aceitação para confirmar que atende aos requisitos estabelecidos inicialmente. Na produção pode surgir a necessidade de modificar o sistema para resolver problemas de produção, reduzir custos de produção ou aprimorar recursos do sistema. Desta maneira existe a possibilidade dos requisitos do sistema sofrerem alterações e requerer uma reavaliação a revalidação do sistema. Na Marinha do Brasil a aceitação do sistema ocorre por meio dos testes de integração, verificação e validação que ratificam os requisitos funcionais do sistema. Segundo a publicação EMA-420–Normas para Logística de Material (2002), o teste de integração consiste em integrar software e hardware para posterior teste na fase de verificação com o objetivo de atestar se os sistemas estão cumprindo sua missão. Já na fase de validação são executados os testes de porto e teste de mar. Nesses testes os exercícios não são mais simulados (LIT – Laboratório de Integração e Testes) e sim com o funcionamento real dos equipamentos sofrendo influência do meio ambiente como força do vento, o “jogo” do navio (balanço, caturro e arfagem) e outros fatores externos no intuito de observar a real na capacidade operativa do sistema. Conforme explicado podem ocorrer alterações nos requisitos devido as mudanças de interesse dos stakeholders ou ao surgimento de novos requisitos. Neste sentido ocorre a necessidade de gerenciar os requisitos do sistema no intuito de adequá-lo aos novos interesses. Assim, segundo KALINOWSKI (2021) o gerenciamento de requisitos trata de controlar as mudanças de requisitos durante o desenvolvimento do sistema virtude mudanças no ambiente e nos interesses dos clientes implicando diretamente no planejamento e

nas estratégias para desenvolvimento do projeto. Durante tal gerência o rastreamento de requisitos é importante no intuito de verificar o impacto da alteração do requisito no projeto.

- Fase da Utilização/Suporte -Organizações de apoio a operação e manutenção do sistema: Fornecer logística (insumos e sobressalentes), manutenção e serviços de suporte que permitem uma operação contínua de sistema de interesse e um serviço sustentável. Treinamento de pessoal: operadores e mantenedores. Operação/Emprego do sistema. Avaliação contínua das condições de operação e atendimentos aos requisitos iniciais. Na Marinha do Brasil, segundo a publicação EMA-420 – Normas para Logística de Material (2002), a última fase do processo de obtenção é a fase de avaliação operacional. O objetivo da avaliação operacional é avaliar a eficácia operacional, ou seja, a real capacidade de operação do meio em diversas condições de operação, ambiente, ameaças e degradação em ambiente tão real quanto possível e determinar o quão bem ele pode cumprir o seu objetivo. A importância dessa fase está na possibilidade de produzir sistemas que realizavam exatamente o que estava especificado, mas não cumprem a missão desejada.

2.3 Conceitos de Guerra Eletrônica

Conforme citado anteriormente a Guerra Eletrônica (GE) explora o espectro eletromagnético no intuito de neutralizar o inimigo e impedi-lo de alcançar seus objetivos, aumentando a probabilidade de sucesso do Poder Naval. Neste enquadramento, o Poder Naval realiza suas Ações de Guerra Eletrônica (AçGE) de acordo com a sua Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE).

Nesta lógica vale ressaltar a definição de CGE como todos os meios e recursos que possibilitam o Poder Naval empreender eficazmente suas ações de GE. Assim, a fim de manter o aprestamento da CGE são necessárias várias medidas como a constante atualização das estimativas da CGE do oponente, treinamento intensivo de emprego e utilização dos equipamentos, treinamento de táticas e contra- táticas, desenvolvimento evolutivo de sistemas e pesquisas em áreas de conhecimento não diretamente relacionados à eletrônica, que possam

ter valia e aplicabilidade à GE. A CGE pode ser dividida em Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e Medidas de Guerra Eletrônica (MGE). (MARINHA DO BRASIL,2016).

A estrutura do Poder Naval tem como pilares do desenvolvimento de sua CGE um grupo de atividades, basicamente de inteligência e apoio, e um grupo de medidas operativas que caracterizam o uso efetivo dos meios em ações militares. (MARINHA DO BRASIL,2016). Desta maneira as AGE são divididas em Aprestamento Eletrônico (APEL) e RETRON. A primeira consiste na preparação do Poder Naval para a GE a partir das informações oriundas da segunda, o RETRON. Por outro lado, as MGE representam a aplicação dessa preparação para GE.

As AçGE, segundo a Doutrina Básica da Marinha (DBM), são definidas como todas as ações que envolvem a utilização da energia eletromagnética para determinar, explorar, impedir, reduzir ou prevenir o uso efetivo pelo inimigo do espectro eletromagnético e para assegurar o uso deste espectro pelas próprias forças,

Neste contexto, existe uma relação recíproca entre a CGE e as AçGE, visto que as AçGE, ao mesmo tempo que constroem e formam CGE, também representam a sua aplicabilidade nos cenários táticos. Desta maneira surgem os componentes das AçGE e as suas relações com a CGE. O Reconhecimento Eletrônico (RETRON) é responsável por adaptar a CGE a realidade da CGE dos possíveis oponentes, fornecendo as diretrizes para o constante aprimoramento da CGE do Poder Naval. Já as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE) são as aplicações táticas dos recursos e meios atrelados a GE nos cenários táticos.

Isto posto, os principais objetivos das AçGE se dividem nas ações de inteligência de em apoio ao planejamento das operações e em medidas táticas utilizadas nas operações navais. Segundo a MARINHA DO BRASIL (2016) seguem os principais fins das AçGE:

- Obtenção de conhecimentos a partir do espectro eletromagnético emitidos pelos atores de interesse;
- Determinação da presença, localização, disposição e ameaça representada por todos os sistemas de comunicações, comando e controle, vigilância, armas e sensores do oponente ou que afetem o cumprimento da missão e que utilizem o espectro eletromagnético;

- Exploração dos conhecimentos obtidos a partir dos sistemas eletromagnéticos do oponente, possibilitando inclusive afetar sua percepção do combate, bem como assegurar a proteção de nossos sistemas;
- Negação ao oponente do uso eficaz de seus sistemas eletromagnéticos pela degradação de seu desempenho, ou ainda pela sua neutralização ou destruição; e
- Garantia da proteção do pessoal, instalações, meios e equipamentos, a fim de assegurar o uso efetivo do espectro eletromagnético, diante do emprego de Ações de GE por Forças Amigas e Inimigas.

O aumento das chances de êxito do Poder Naval é a principal meta das AÇGE. Tal propósito deve orientar todos os esforços realizados em proveito da CGE e chamar a atenção para o provável cenário que será encontrado, pois a relevância dos equipamentos e técnicas apenas serão comprovados pela eficácia perante o inimigo.

Os componentes da AÇGE são divididos nas AGE, representadas pelo RETRON e pelas MGE que são divididas em Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) e Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica (MAGE). No Quadro verifica-se que as funções do RETRON e MAGE são as mesmas, porém tem propósitos e momentos distintos que serão explicados no próximo item. De acordo com MARINHA DO BRASIL (2016) as MGE reúnem as ações que caracterizam o emprego de uma CGE em apoio direto a uma operação militar, ou seja, taticamente.

Consoante com MARINHA DO BRASIL (2016) as MAGE têm como objetivo à busca, interceptação, identificação e localização eletrônica das fontes de energia eletromagnética irradiada no ambiente eletrônico de uma Força ou unidade, a fim de permitir a análise, o imediato reconhecimento de uma ameaça ou sua posterior exploração como fonte de informações para o processamento do RETRON.

As MAE diminuem as chances de uso efetivo do espectro eletromagnético pelo inimigo, além de como degradarem, neutralizarem ou destruírem sua capacidade de combate por meio de equipamentos e armamentos que utilizem este espectro., que variam desde mísseis antirradiação até armas de energia direcionada. (MARINHA DO BRASIL,2016)

Segundo MARINHA DO BRASIL (2016) MPE são as ações para proteger os meios, sistemas, equipamentos, pessoal e instalações, no intuito de garantir o uso efetivo do espectro eletromagnético, diante do emprego de AçGE por Forças Amigas ou Inimigas.

Quanto ao RETRON deve ser considerado que os meios de GE interagem, mesmo durante os períodos de paz. A ausência de conflitos faz com que a capacidade inferida do oponente tenha de ser baseada em informações de Inteligência e nesse contexto surge a importância do RETRON como meio de aprimoramento da CGE. Segundo MARINHA DO BRASIL (2016) ele visa à obtenção e ao processamento sistemático e oportuno de informações que possuam como fonte os sinais eletromagnéticos ou estejam associados a conhecimentos correlatos a tal fonte, com propósito estratégico ou em apoio ao planejamento de uma operação militar. O RETRON é composto pela Inteligência Eletrônica e pela Inteligência de Comunicações.

É notório, conforme explicado anteriormente, que as Ações de Guerra Eletrônica abrangem todas as MGE e a RETRON, que conforme MARINHA DO BRASIL (2016) são a principal fonte de informação para formação da CGE. Pode-se verificar uma relação entre a RETRON e a MAGE, que funciona como uma fonte de informações para posterior criterioso processamento e análise do RETRON, e como fonte de informações para as MAE e MPE nas operações militares, fato que será explicado nos próximos itens. Tal relação dúbia entre RETRON e MAGE que explicita a função vital do MAGE no âmbito da GE será abordada no próximo tópico.

2.4 FMEA

2.4.1 Definição

De acordo com SAKURADA (2001) a FMEA é um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos e processos e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha. Desta maneira o modo de falha representa a maneira como a falha se apresenta e o efeito é maneira como o modo de falha aparece. Pode-se citar como exemplo a bomba de água de um motor. Caso a bomba pare de funcionar ela não

arrefecerá o motor e o motor ficará danificado. Nesse caso o modo de falha é a parada do arrefecimento do motor. As causas para parada de arrefecimento pode ser problema na bomba d'água ou problema no abastecimento de água da bomba d'água, por exemplo. Já o efeito no sistema seria o aquecimento do motor.

O material gerado pelo FMEA tem como função servir como uma ferramenta para prognóstico de falhas e auxiliar o desenvolvimento/análise de projeto de produtos, processos ou serviços. O conhecimento dos modos de falha dos itens, em qualquer fase do ciclo de vida do produto, permite que providencias sejam tomadas para evitar a manifestação daquele modo de falha. Assim, portanto auxilia nos aspectos da manutenibilidade e da confiabilidade. O material gerado pode também servir em programas de capacitação, proporcionando um melhor entendimento dos componentes e do sistema. Com isso, tem-se um maior conhecimento a respeito das falhas facilitando a escolha do tipo de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva), garantindo maior disponibilidade1 do equipamento.

2.4.2 História do FMEA

Segundo SAKURADA (2001) não existe uma certeza sobre a origem do FMEA e em alguns trabalhos. Não há se sabe a data em que surgiu o FMEA. Em alguns trabalhos não é possível saber se a data é referente ao FMEA ou ao FMECA. Mas o que é FMECA? SAKURADA afirma:

O FMECA, atualmente, é denominado de Military Standard MIL-STD-1629A e teve o seu início na indústria automobilística nos anos 70. Em 1988, a Organização Internacional de Padronização (International Organization of Standardization) lançou a série ISO 9000, dando um impulso às organizações para desenvolverem um Sistema de Gerenciamento de Qualidade formalizado e direcionado às necessidades, desejos e expectativas dos clientes. A QS 9000 é um padrão da indústria automotiva análogo à ISO 9000. As empresas Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation desenvolveram a QS 9000 em um esforço para padronizar o sistema de qualidade fornecedor. De acordo com a QS 9000, os fornecedores de automóveis devem utilizar o Planejamento de Qualidade de Produto Avançado (Advanced Product Quality Planning - APQP), incluindo FMEAs de projeto e de processo, e desenvolver um Plano de Controle. Atualmente um novo padrão está sendo desenvolvido pela SAE (Society Automotive Engineering) junto com as empresas: General Motors Corporation, Ford Motor Company e a Chrysler Corporation.

Segundo SAKURADA (2001 apud MOHR 1994) a diferença entre ambos está na análise da criticidade por meio dos índices de ocorrência, de severidade e de detecção de falhas que o FMECA realiza, quantificando os resultados por meio do cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) que define a prioridade da falha e ordena as deficiências do sistema. Desta maneira o FMEA realiza uma análise qualitativa e o FMCA uma análise quantitativa.

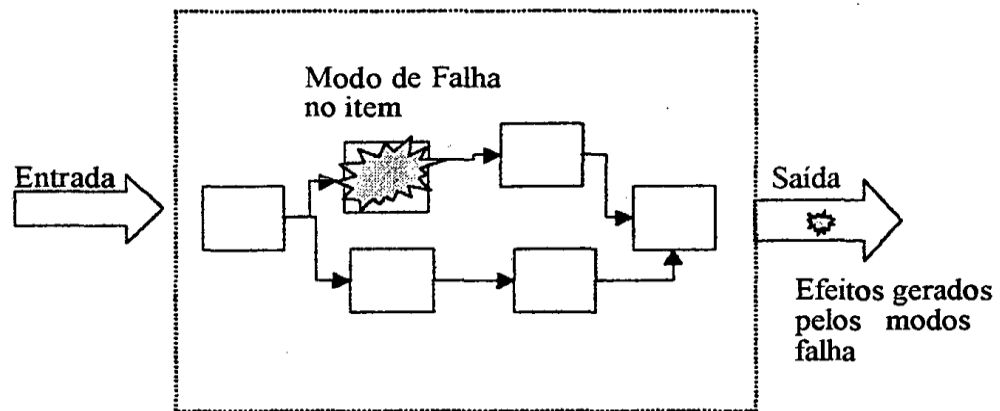
2.4.3 Definição do Modo de falha, seus efeitos e causas

Segundo a publicação DGMM 0130 Manual do Apoio Logístico Integrado (2013) os modos de falha são os eventos que diminuem parcial ou totalmente a função de um item, dentro de metas de desempenho. Os efeitos de falhas são as maneiras como os modos de falha afetam o desempenho do sistema, sob o ponto de vista do cliente, ou seja, quais serão as consequências que poderá sofrer o cliente caso aconteça o tipo de falha identificado.

Segundo SAKURADA (2001) existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural. A abordagem funcional é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não-função, ou seja, o componente simplesmente não cumpre as funções específicas dentro do sistema. Já na abordagem estrutural necessita de informações de engenharia que muitas vezes não estão facilmente disponíveis.

Neste contexto para efeito deste trabalho serão consideradas os modos de falha por uma ótica funcional. Desta maneira os modos de falha do MAGE serão o não cumprimento das suas funções específicas dentro do sistema. Os efeitos de falha são as consequências que surgem no sistema causadas pelos modos de falha. O impacto que uma falha funcional de um subsistema ou componente tem no sistema em análise, na instalação ou no meio ambiente circundante. Os efeitos de falha devem identificar as consequências provocados ao pessoal, à segurança da instalação e à missão.

Figura 8-Modo de falha de um Sistema



Fonte: Sakurada (2001).

2.4.4 Definição do Grau de Severidade

Os níveis de Severidade estabelecem uma escala de gravidade dos efeitos de falha, por meio de uma análise dos possíveis efeitos adversos à segurança física do meio ou da tripulação, além dos possíveis danos ambientais, econômicos e operacionais. Segundo SAKURADA (2001) os níveis de severidade podem ser classificados da seguinte maneira.

Quadro 1-Níveis de Severidade

Categoria	Severidade	Definição
I	Catastrófico	Pode causar mortes na tripulação e destruição do navio.
II	Crítico	Pode causar ferimentos graves na tripulação e grandes danos ao navio que resultarão na perda da missão

Continuação

III	Marginal	Pode causar ferimentos leves a tripulação e pequenos danos ao navio que resultarão na degradação da missão.
IV	Menor	Pode causar ferimentos, danos materiais ou danos ao sistema, mas que resultará apenas em manutenção não programada ou reparo e não interferirá na missão.

Fonte: Sakurada (2001)

Segundo a publicação DGMM 0130 Manual do Apoio Logístico Integrado (2013) os níveis de Severidade podem ser relacionados com uma escala de gravidade dos efeitos de falha, por meio de uma análise dos possíveis efeitos adversos à segurança física do meio ou da tripulação, além dos possíveis danos ambientais, econômicos e operacionais. Para efeito deste trabalho os aspectos avaliados serão os danos estratégicos, táticos e a segurança da tripulação

Quadro 2-Danos relacionados aos níveis de Severidade

Danos			Severidade
Estratégico	Táticos	Segurança	
Total	Total	Mortal	Catastrófico
Parcial	Parcial	Grave	Crítico
Leve	Leve	Leve	Marginal
Inexistente	Inexistente	Insignificante	Menor

Fonte: Próprio autor.

3 METODOLOGIA

Esta seção aborda a metodologia empregada no trabalho. A metodologia empregada bibliográfica, devido aos muitos conceitos ligados à área correspondente.

3.1 Classificação da Pesquisa

3.1.1 Classificação Quanto aos Fins

Por se tratar da análise da importância do MAGE para o SGE, utilizou-se uma metodologia aplicada com a finalidade analítica para resolução do problema discutido. Atingiu-se o objetivo geral mostrando o funcionamento do MAGE como um componente do SGE e a sua importância para o funcionamento do sistema como um todo. Outrossim vale ressaltar que também foi aproveitada a metodologia descritiva em grande parte trabalho, com a exposição de conceitos de Sistemas e de GE. Por fim, realizou-se uma metodologia explicativa, após a análise dos exemplos históricos da GE e do grau de severidade das falhas do Sistema MAGE.

3.1.2 Classificação Quanto aos Meios

A metodologia, quanto aos meios, é bibliográfica, pois grande parte do referencial teórico deriva de artigos, teses e publicações relativos ao problema abordado. Trata-se de pesquisas na área de análise de riscos por meio da FMEA e nas publicações e normas sobre a GE que trazem conceitos essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

3.2 Limitações do Método

Neste trabalho apenas os conceitos do FMEA foram utilizados para nortear o processo de qualificação das consequências de uma possível falha no sistema MAGE para o SGE e conseqüentemente para os meios da Força Naval. Tal ferramenta quando aplicada em empresas para rastrear falhas em processos ou projetos é realizada por um grupo de pessoas no intuito de serem levantadas o maior número possível de modos de falhas, seus efeitos e suas causas. Além disso o grupo formado faz várias reuniões para confeccionarem o documento que registra e mapeia as possíveis falhas. Neste sentido vale ressaltar que o FMEA serve de base para o FMECA que faz uma análise quantitativa da criticidade por meio de índices probabilísticos e tem como resultado uma hierarquização dos riscos. Tal análise mais completa

com certeza agregaria muito valor a análise do SGE e seus componentes, porém devido a exiguidade de tempo e recursos humanos capacitados para tal análise não foi possível a sua efetivação.

3.3 Coleta e Tratamento dos Dados

Em princípio, foi realizado a pesquisa bibliográfica para o levantamento da literatura sobre os assuntos a serem trabalhados. No intuito de fazer uma análise explicativa, foram inferidos os conceitos necessários para a compreensão dos efeitos do MAGE no SGE dos meios da Esquadra e na GE. Desta maneira os conceitos relacionados a sistemas e Guerra Eletrônica serviram para análise sistêmica do SGE e do MAGE como um subsistema desse Sistema. Já os conceitos oriundos da metodologia FMEA foram o principal alicerce para eficácia do trabalho, visto que nortearam o escopo do trabalho numa análise qualitativa que mostrou as possibilidades de falhas e ações corretivas do MAGE, como também sua importância para o bom funcionamento do SGE nos meios e para dinâmica da GE, contribuindo para fomentação da CGE.

4 ANÁLISE DO MAGE

4.1 Visão sistêmica do SGE

O Sistema de Guerra Eletrônica é um Sistema de Sistemas, projetado, aberto e linear ou ordenado. Desta maneira vale destacar as características do Sistema de guerra eletrônica para análise da criticidade do sistema MAGE para tal sistema.

O Sistema de Guerra Eletrônica é um sistema físico baseado num sistema conceitual de doutrinas e conceitos, projetado para realizar AçGE no Teatro de Operações Navais no intuito de aumentar a probabilidade de sucesso da missão do Poder Naval, o stakeholder interessado na confecção do sistema. Como os sistemas projetados, o SGE é composto por hardware, software, dados, pessoas, processos (funções), procedimentos (instruções), instalações e materiais que formam a CGE do Poder Naval.

O Sistema de Guerra Eletrônica é um sistema aberto que interage com o ambiente que impacta nas suas características, uso, sustentação e criação. Assim o SGE atende as características de um sistema aberto, que segundo ASCH (2020), deve intercambiar com o ambiente por meio de inúmeras entradas e saída, ter capacidade de crescimento, aprendizagem, mudança e adaptação ao ambiente, auto-organização e autorreprodução sob certas condições ambientais e possuir capacidade de competir com outros sistemas, ou seja, com as CGE de Marinhas inimigas.

As emergências das propriedades da CGE têm que ser simples ou fracas no intuito de garantir uma previsibilidade das propriedades de seus produtos no Teatro de operações, ou seja, o desempenho do sistema tem que ser a superposição dos efeitos da relação de cada uma de suas partes formadoras. Por exemplo, as MAE dependem das atividades de RETRON para serem eficazes, e o impacto dos seus produtos nelas deve ser esperado, desejado ou até previsto, visto a relação direta entre o produto do RETRON e as MGE como um todo. A possibilidade de ser surpreendido no cenário tático deve ser mitigada ao máximo.

O SGE é composto basicamente pelos sistemas RETRON, MAGE, MAE e MPE. Cada um desses sistemas tem uma função específica dentro do SGE e contribuem para entrega dos produtos almejados pelo Poder Naval. Segundo o ASCH (2020, apud MAIER, 1998), as principais características (não critérios) de sistemas de sistemas são a independência operacional dos sistemas componentes e independência gerencial dos sistemas componentes. Sem essas características o sistema não é considerado um SoS.

Independência operacional dos sistemas é a capacidade dos sistemas componentes do Sistema conseguirem operar de forma independente, ou seja, os componentes podem operar e funcionar independentemente do Sistema de sistemas. Já a independência gerencial é a capacidade de cada sistema componente do sistema de sistema ter o seu gerenciamento próprio independente do sistema como um todo. Nesse contexto, por exemplo, o sistema MAGE não precisa dos sistemas RETRON, MAE e MPE para operar, assim como ele também possui seu próprio gerenciamento operacional que remete por exemplo a manutenção e equipe própria de operação.

Segundo as características de SoS listadas por ASCH (2020) é SGE pode ser classificado como um Sistema de sistemas direcionado, visto que o cada sistema componente do SoS, apesar de ter sua própria independência operacional e gerencial, passam a seguir as diretrizes do SGE.

O processo dentro do SGE entre seus componentes transformando as entradas, que podem ser recursos, informações, doutrinas e procedimentos em Ações de GE. No próximo tópica será apresentado a interação entre esses componentes do SGE e como eles se transformam no produto.

O ciclo de vida de um SoS depende, segundo ASCH (2020), do ciclo de vida dos sistemas componentes e devido a esse fato não é facilmente mensurável como o ciclo de vida de um sistema individual, como por exemplo um motor de um carro.

No que tange as fases do ciclo de vida o SGE, não existe um descarte ou aposentadoria do sistema SGE como um todo, mas sim o descarte dos sistemas componentes que por desgaste material ou perda da eficácia de sua função específica poderá ser descartado. Ainda nas fases de ciclo de vida o SGE como um sistema aberto tem os seus períodos de homeostase relativamente curtos devido a constante atualização ambiente. Desta maneira o SGE fica num looping nas fases da concepção, desenvolvimento, produção e avaliação operacional.

Nesse contexto tanto quanto o levantamento de requisitos quanto a gerência de deles tem que ser de alta qualidade para acompanhar as mudanças devido ao avanço tecnológico da CGE do inimigo. No intuito de ilustrar esse avanço tecnológico vale citar como exemplo a criação dos radares como o ARTISAN 3D com tecnologia de baixa probabilidade de detecção ou LPI (*Low Probability of Intercept*) e dos radares Quânticos. O primeiro, segundo BARBOSA (2020) é um radar que utiliza técnicas anti MAGE por meio de recursos como lóbulos secundários de irradiação muito reduzidos, para diminuir a sua probabilidade de interceptação por um sistema MAGE. O segundo ainda em fase de desenvolvimento, de acordo com PAYÃO (2016), deixará a tecnologia stealth obsoleta, com detecções baseadas no envio de sinais fotônicos que, quando em contato com o objeto, percebe alterações nas propriedades quânticas do corpo.

Nesse contexto, os stakeholders representados pelo Poder Naval mudam os requisitos do sistema de acordo com o conhecimento gerado pelo RETRON sobre a CGE inimiga. Tal mudanças tem o propósito de manter a eficácia operacional do sistema em relação ao ambiente mantendo sua sinergia, adaptabilidade e resiliência em operações navais.

4.2 Análise dos impactos táticos e estratégicos das falhas do MAGE

4.2.1 Definição do sistema

No intuito de utilizar os conceitos do FMEA deve-se iniciar com a definição dos itens e do sistema a serem analisados. Assim cria-se um diagrama organizacional, caracterizado por um nível superior decomposto em níveis progressivamente mais baixos até o nível de componente. A hierarquia é representada por um diagrama de blocos, onde o primeiro item representa a função ou nível principal do sistema, no caso deste trabalho, o SGE e cada ramo descreve um nível mais baixo de detalhe, até o nível de componentes, que são os sistemas que compõem o Sistemas de Sistemas. (MARINHA DO BRASIL, 2013).

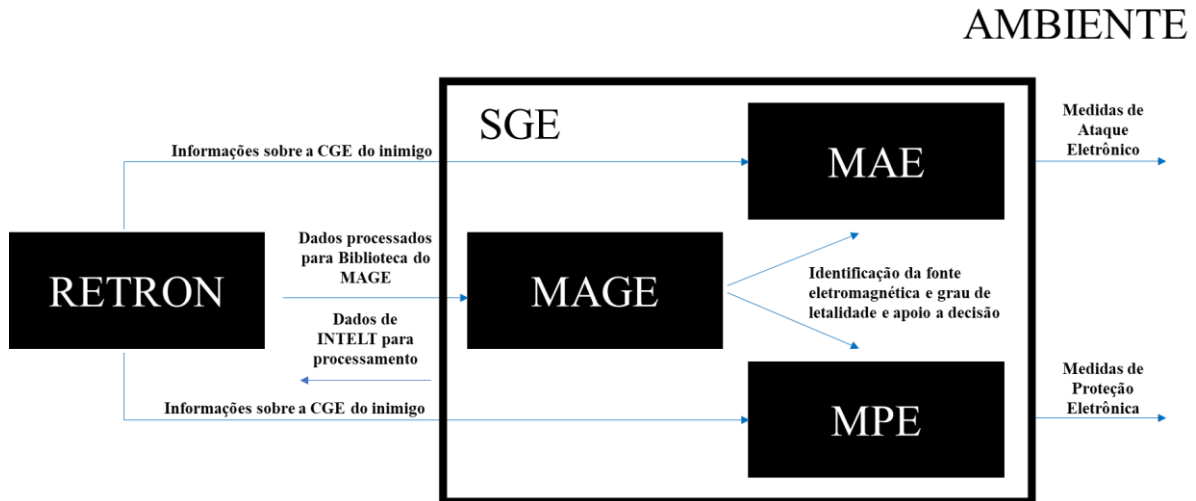
Figura 9-Componentes do SGE



Fonte: Próprio autor

Além do diagrama organizacional, no intuito de complementar o entendimento sobre o funcionamento do sistema pode-se criar diagramas funcionais que representam o funcionamento do sistema e as funções específicas dos seus componentes na consecução da missão principal.

Figura 10-SGE em homeostase

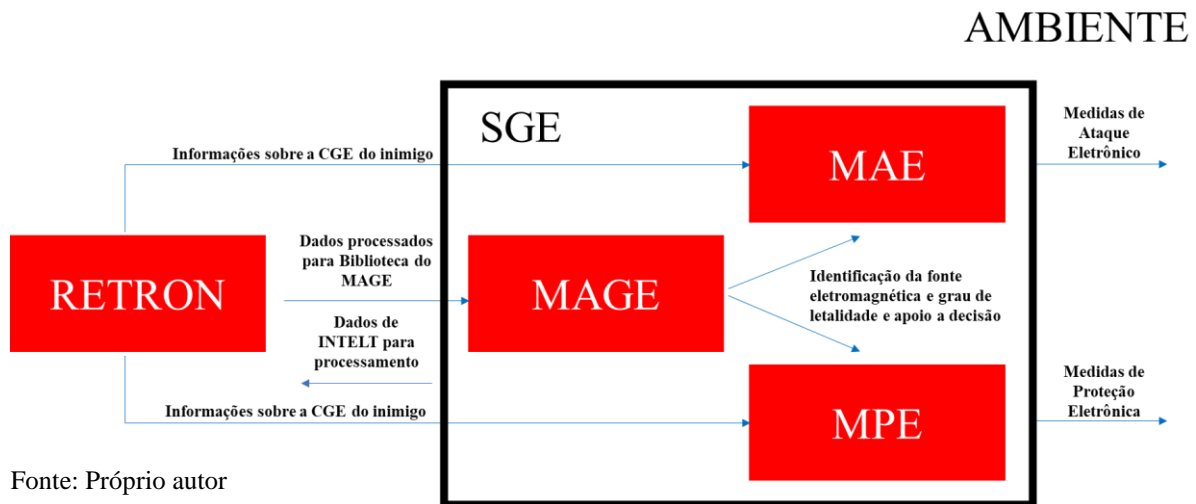


Fonte: Próprio autor

A figura 10 representa o funcionamento do sistema quando em sinergia e homeostase. Ele tem como entradas os sinais eletromagnéticos de interesse que são armazenados no Sistema MAGE numa operação de INTEL, para posterior processamento no Sistema RETRON. Após tal processamento a informação torna-se conhecimento que pode ou não mudar os parâmetros do Sistema, dependendo de uma avaliação operacional continuada.

O caso de não mudança do sistema ocorrerá se o sistema ainda atender aos requisitos do Poder Naval com a atual CGE do sistema. Caso negativo, ou seja, o sistema perder sua homeostase e não conseguir adaptar-se as demandas do ambiente mantendo em equilíbrio, inicia-se uma nova fase de concepção, desenvolvimento, validação, verificação, aceitação e avaliação operacional do sistema, levando-o para uma nova zona de equilíbrio, testando sua adaptabilidade. Tal mudança é representado na figura 11 com a mudança do “status quo” do sistema sendo representada em vermelho.

Figura 11-Sistema adaptativo



Pode-se citar como exemplo as interferências causadas pelos ingleses nas frequências de operação das estações de navegação que orientavam os pilotos alemães. Neste caso não houve um desenvolvimento de um sistema para emitir na frequência desejada, a ação precisava apenas da descoberta da frequência. Dessa maneira o sistema de guerra eletrônica manteve a sinergia entre seus componentes com o sistema MAGE armazenando o sinal em apoio a atividade de INTEL, o sistema RETRON realizando o processamento do sinal armazenado e correlacionando-o a Estação de Navegação que orientava os caças alemães e por último o sistema MAE realizando a interferência, desorientando os pilotos e diminuindo a eficácia da operação nazista.

No caso representado pela figura 11 mostra o sistema mudando seu nível de equilíbrio, ou seja, sua condição anterior não satisfaz mais o interesse dos clientes e uma mudança com novos requisitos do sistema foi realizada para retorno ao equilíbrio. Nesse sentido pode-se citar o caso dos submarinos Uboat sendo abatidos pela RAF na Segunda Guerra Mundial. A válvula Magnetron utilizada pelos ingleses nos radares explorando a banda L, tirou o sistema de Guerra Eletrônica alemão do equilíbrio pois seus receptores não conseguiam

identificar os radares dos caças ingleses com a antecedência necessária para qualquer reação adequada.

4.2.2 Identificação dos Modos de falhas do MAGE, seus efeitos e causas

Na identificação dos modos de falha deve-se avaliar os efeitos de um mal funcionamento ou não funcionamento do MAGE nos requisitos do Poder Naval.

Quadro 3-Funções específicas da MAGE

Componente	Funções do MAGE	Requisitos do Poder Naval
MAGE	Informar plataforma e grau de letalidade	Permitir a Força Naval uma reação oportuna à ameaça identificada, por meio de uma MAE, MPE, engajamento ou outra ação tática julgada adequada
	Enviar informações técnicas do sinal coletado na área de interesse	Possibilitar uma análise detalhada de sinais registrados que irão permitir correta avaliação da capacidade dos sistemas inimigos e dimensionamento da nossa própria capacidade.

Fonte: Próprio autor

Quadro 4-Modos de falha do MAGE

Sistema MAGE	Modos de falha
	Não identificar o sinal coletado
	Não comparar o sinal coletado com os sinais conhecidos
	Não coletar o sinal
	Não armazenar informações técnicas do sinal coletado

Fonte: Próprio autor

No SGE os efeitos causados pelo não funcionamento do MAGE estão atrelados ao não cumprimento dos requisitos do Poder Naval. No quadro estão apresentados esse efeito de causa e consequência. As causas das falhas são os eventos que geram (provocam ou induzem) o aparecimento do modo de falha. A análise das causas mais prováveis deve ser feita com base

nos dados levantados anteriormente, experiência dos membros da equipe na especialidade de cada um, informações obtidas por meio da análise do projeto ou processo, testes ou simulações e históricos anteriores, quando possível. Neste trabalho o levantamento das possíveis causas não limita as possibilidades de causas e visto que o objetivo deste trabalho é qualificar os danos ao SGE e o não cumprimento dos requisitos do Poder Naval, o levantamento das causas não repercutirá no objetivo da análise.

Quadro 5-Modo de falha do MAGE e efeitos no SGE

Possíveis Causas	Modos de falha	Efeitos no Sistema
Sinal desconhecido	Não identificar o sinal coletado	Não permitir a Força Naval uma reação oportuna à ameaça identificada, por meio de uma MAE, MPE, engajamento ou outra ação tática julgada adequada
Algoritmo do MAGE despistado por alguma técnica de transmissão radar.	Não correlação do sinal coletado com os sinais conhecidos	
Receptor danificado	Não coletar o sinal	
Receptor com sensibilidade insuficiente		Não possibilitar uma análise detalhada de sinais registrados que irão permitir correta avaliação da capacidade dos sistemas inimigos e dimensionamento da nossa própria capacidade.
Queima do equipamento por arma de energia direcionada	Não armazenar informações técnicas do sinal coletado	

Fonte: Próprio autor.

4.2.3 Grau de severidade dos efeitos dos Modos de falha do MAGE

De acordo com os quadros pode-se atribuir um valor qualitativo ao não cumprimento dos requisitos do Poder Naval. Desta maneira caso um Navio não consiga realizar uma reação oportuna à ameaça identificada, por meio de uma MAE, MPE, engajamento ou outra ação tática julgada adequada, ele poderá ser afundado, atribuindo uma severidade catastrófica nos aspectos táticos e de segurança da tripulação. A severidade quanto aos aspectos estratégicos seria no mínimo crítica, dependendo do valor estratégico da missão ou dos recursos que o meio poderia fornecer. Neste caso pode-se citar o exemplo já citado da batalha entre os submarinos alemães e os caças britânicos que afundavam os submarinos devido ao tempo de

reação ineficaz devido a não detecção dos radares britânicos durante ao ataque aéreo. Portanto os danos seriam catastróficos quanto aos aspectos táticos e de segurança e crítico quanto aos aspectos táticos e estratégicos.

Quadro 6-Danos em caso de reação não oportuna

Demora na reação de Força Naval à ameaça identificada, por meio de uma MAE, MPE, engajamento ou outra ação tática julgada adequada			
Danos			Severidade
Estratégico	Táticos	Segurança	
Total	Total	Mortal	Catastrófico
Parcial	Parcial	Grave	Crítico
Leve	Leve	Leve	Marginal
Inexistente	Inexistente	Insignificante	Menor

Fonte: Próprio autor

O segundo efeito de uma falha do Sistema MAGE está diretamente relacionado a concepção da CGE do Poder Naval. Neste contexto valem algumas observações. Durante períodos de paz as oportunidades de coleta dos sinais eletromagnéticos do RETRON são mais raras e difíceis do que na guerra devido a menor exposição dos sistemas. Neste contexto a ausência de uma confrontação real entre as forças faz com que a capacidade inferida do inimigo tenha de ser baseada em informações de Inteligência.

No âmbito das Forças Navais o sistema MAGE é uma das principais fontes de RETRON e caso não faça um levantamento de boa qualidade para subsidiar a CGE do Poder Naval o resultado pode ser catastrófico. Assim o modo de falha referente ao não armazenamento ou armazenamento pobre das informações técnicas de um sinal tem riscos atrelados a causa do problema. Quando a causa tem sua origem confirmada num erro de processamento ou de software, torna-se um problema técnico de sistema. Porém caso o problema seja a não capacidade de processamento, a possibilidade de que a CGE do inimigo tenha superado os

sistemas MAGE do Poder Naval torna-se real. Desta maneira é fundamental identificar o mais rápido possível qualquer suspeita de assimetria entre as capacidades.

Assim levando-se em consideração a utilização do RETRON a severidade pode mudar. No caso do reconhecimento tático, ou seja, aquele que irá apoiar o planejamento de uma ação tática, situação na qual a atualidade dos dados é fundamental e que demanda por uma análise rápida, a análise em cima de dados insuficientes pode acarretar danos táticos e de segurança catastróficos com uma má preparação da CGE no planejamento operacional da Força Naval. Estrategicamente provavelmente a insuficiência do MAGE será percebida a longo prazo e existirá tempo de reação para desenvolver um outro sistema.

Quadro 7-Danos em caso de não levantamento de dados sobre o sinal de interesse

Não possibilitar uma análise detalhada de sinais registrados que irão permitir correta avaliação da capacidade dos sistemas inimigos e dimensionamento da nossa própria capacidade			
Danos			Severidade
Estratégico	Táticos	Segurança	
Total	Total	Mortal	Catastrófico
Parcial	Parcial	Grave	Crítico
Leve	Leve	Leve	Marginal
Inexistente	Inexistente	Insignificante	Menor

Fonte: Próprio autor

4.2.4 Estabelecimento das ações corretivas

As ações corretivas visam reestabelecer o componente do sistema no intuito de capacitá-lo a realizar suas funções específicas. Elas podem invalidar um sistema atual e desenvolver outro sistema que consiga cumprir os requisitos do Poder Naval ou adaptar o sistema atual ao demandas do ambiente. Neste contexto estão inclusos os conceitos de adaptabilidade, no caso de substituição do sistema, e homeostase, no caso de adaptação do sistema. Como exemplo de homeostase pode-se citar quando o Sistema RETRON descobre a frequência de operação do radar inimigo e adapta suas MAE e MPE sem precisar desenvolver um sistema novo. No caso da adaptabilidade o sistema não conseguiria se adaptar e o desenvolvimento de um novo sistema seria necessário.

5 CONCLUSÃO

O crescente desenvolvimento e utilização de tecnologias, nas atividades de defesa, exige que o Sistema de GE adote atitude proativa, para pensar e atuar estrategicamente, visando buscar a eficiência e a eficácia na utilização da CGE. A dinâmica do conflito muda conforme a tecnologia disponível no mundo. Essas tecnologias têm sido uma das principais causas de assimetria no espaço de batalha, pois elas, num conflito, poderão estar presentes em maior ou menor proporção em qualquer dos lados envolvidos.

Na Segunda Guerra Mundial os observadores americanos, ao testemunharem estas batalhas entre sistemas eletrônicos ofensivos e as contramedidas, compreenderam que as operações futuras se tornariam altamente dependentes dos sistemas de comunicações, controle e alarmes eletrônicos, e que estes seriam sensíveis às ações de guerra eletrônica.

Os fatos históricos apresentados, são exemplos de que o conhecimento das capacidades militares ligadas a GE do oponente, necessita do uso permanente de equipamentos de recepção e análise do sinal radar. Equipamentos fundamentais para a realização da INTELT. Por esta razão, a produção e armazenamento de conhecimento de sinais de radar é de suma importância em tempo de paz, possibilitando o desenvolvimento de modernos armamentos e sensores ligados a rastreamento e detecção de alvos. Assim para evitar perdas e falhas operacionais é essencial saber detalhes exatos sobre a ameaça eletrônica e para se preparar com antecedência com contramedidas eficazes, e não correr o risco de ser derrubado ou afundado.

O sistema MAGE fornece dados para a atualização do banco de dados de GE. Após a coleta das emissões de radar ou comunicações provenientes da área de interesse, o registro dos parâmetros possíveis e as possíveis correlações com a BIM, os dados são encaminhados centro especializado para ser realizada a análise de campo. Na análise de campo, os dados coletados são comparados com os dados constantes de um BD Central, obtendo conhecimento técnico operacional mais aprofundado, resultado de um lento e mais criterioso processo de análise.

No Sistema de Guerra eletrônica o sistema MAGE tem uma função tática essencial que pode ter consequências catastróficas em caso de falha no apoio a decisão entre as linhas

ação disponíveis mediante a ameaça. Além da função tática o sistema MAGE contribui com a inteligência de sinal e impacta também nas decisões estratégicas, sendo conforme citado anteriormente o responsável pelo banco de dados de GE, contribuindo diretamente para formação da CGE. Desta maneira em comparação com os outros sistemas, o sistema MAGE com sua dualidade funcional, tática e estratégica, é o coração do Sistema de Guerra Eletrônica.

Neste trabalho foram apresentadas possibilidades de falhas e ações corretivas do MAGE e seus efeitos no SGE e na dinâmica da GE, como fonte de informação para incrementação da CGE. Desta maneira este trabalho contribui para a literatura de Defesa Nacional, tanto em termos de disponibilização de dados e fatos já ocorridos como divulgando possíveis estratégias que evitem suas ocorrências.

REFERÊNCIAS

ASCH, Ricardo.2020.285 slides. Material apresentado para a disciplina Engenharia de Sistemas Complexos no Curso de Aperfeiçoamento Avançado de Guerra Eletrônica do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk

BARBOSA,M.B. Radar de Baixa Probabilidade de Interceptação: a arte de “ver e não ser visto” na guerra eletrônica.

COMANDO DA AERONÁUTICA. NSCA 500 2 Plano Estratégico de Guerra Eletrônica. Comando de Operações Aéreas.2006.

EXÉRCITO BRASILEIRO. EB70 MC 10.201 A Guerra Eletrônica na Força Terrestre. Comando de Operações Terrestres.2019

MARINHA DO BRASIL, GE 101 Conceitos Básicos de Guerra Eletrônica. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2016a.

MARINHA DO BRASIL, GE 106 Reconhecimento Eletrônico. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2016b.

MARINHA DO BRASIL, GE 102 Introdução às Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2016c.

MARINHA DO BRASIL, GE 103 Introdução as MAE. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2016d.

MARINHA DO BRASIL, GE 104 Medidas de Proteção Eletrônica. Centro de Guerra Eletrônica da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2016e.

MARINHA DO BRASIL, DGMM 0130 Manual do Apoio Logístico Integrado. Diretoria-Geral do Material da Marinha. Rio de Janeiro, RJ,2013.

KALINOWSKI, Marcos.2020.670 slides. Material apresentado para a disciplina Introdução a Engenharia de Software no Curso de Aperfeiçoamento Avançado de Guerra Eletrônica do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk.

SAKURADA, Eduardo Yuji. As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtor. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p.145. 2001.