

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

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÕES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**COMUNICAÇÕES SATELITAIS PARA AUXÍLIO A DECISÃO NAS OPERAÇÕES DE
BUSCA E SALVAMENTO**



PRIMEIRO-TENENTE RHAMON PABLO DE QUEIROZ FREDERICO GOMES

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE RHAMON PABLO DE QUEIROZ FREDERICO GOMES
COMUNICAÇÕES SATELITAIS PARA AUXÍLIO A DECISÃO NAS OPERAÇÕES
DE BUSCA E SALVAMENTO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Segurança da Informação e Comunicações.

Orientadores:
M.Sc Waldo Araujo Russo
CT Rafael Gomes dos Santos

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE RHAMON PABLO DE QUEIROZ FREDERICO GOMES
COMUNICAÇÕES SATELITAIS PARA AUXÍLIO A DECISÃO NAS OPERAÇÕES
DE BUSCA E SALVAMENTO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Segurança da Informação e Comunicações.

Aprovada em _____

Waldo Araujo Russo, MSc – PUC Rio

CMG(EN–RM1) Gian Karlo Huback
Macedo de Almeida, MSc – CIAW

CT Rafael Gomes dos Santos – MB

Dedico este trabalho aos bravos marinheiros da Marinha do Brasil, que com coragem e determinação, enfrentam os mares, protegendo nossas águas e garantindo a segurança do nosso país representando a força e a resiliência do nosso povo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por iluminar a minha mente nos momentos mais complicados ajudando-me a escrever este trabalho.

À minha família, em especial a minha esposa Flávia, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, nesse período de dedicação ao curso.

A todos os docentes do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Segurança da Informação e Comunicações, que transmitiram os seus conhecimentos, contribuindo para o aperfeiçoamento e atualização das minhas competências profissionais.

Aos meus orientadores, professor Waldo Araujo Russo e CT Rafael Gomes dos Santos, primeiramente, por aceitarem orientar este trabalho e pelo suporte dado para a confecção deste. A vocês, toda a minha admiração.

Por fim, quero agradecer aos meus colegas de turma, por todo o apoio e amizade revivida durante esses nove meses que passamos nos bancos escolares do CIAA.

"O destino dos satélites é tornar-se parte integrante de nossas vidas diárias, contribuindo para a compreensão de nosso planeta e permitindo a expansão de nossas fronteiras para o espaço."

Wernher von Braun

COMUNICAÇÕES SATELITAIS PARA AUXÍLIO A DECISÃO NAS OPERAÇÕES DE BUSCA E SALVAMENTO

Resumo

O intuito deste trabalho é abordar a importância das comunicações via satélite nas operações de busca e salvamento marítimo. Ele reconhece os desafios associados à implementação de infraestrutura de comunicação via satélite, incluindo custos operacionais, manutenção e atualização de equipamentos, e treinamento das equipes de resgate. O objetivo geral é desenvolver uma discussão sobre os conceitos e importância das comunicações satelitais para a tomada de decisões e planejamento de missões SAR. Os objetivos específicos incluem entender como funcionam as comunicações satelitais, apresentar as características de uma missão SAR, e discutir as tecnologias satelitais utilizadas nessas missões ao redor do mundo.

Palavras-chave: Comunicações Satelitais. Busca e Salvamento. SOLAS. GMDSS. Inmarsat. Starlink

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de órbitas de satélites meteorológicos	20
Figura 2 - Pontos de Lagrange.....	21
Figura 3 - Distancias orbitais.....	23
Figura 4 – Distribuição das áreas de atuação SAR.....	25
Figura 5 – Cobertura dos satélites LEO do sistema COSPAS-SARSAT.....	30
Figura 6 – Cobertura dos satélites GEO do sistema COSPAS-SARSAT	31
Figura 7 – Comparação entre a cobertura de um satélite MEO e um satélite LEO.....	32
Figura 8 – EPIRBs e SARTs 406 MHz	33
Figura 9 – Cobertura da Rede Starlink	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequências usadas em satélites de comunicação.	19
Tabela 2 - Comparativo das tecnologias de comunicações satelitais apresentadas	41

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIS	<i>Automatic Identification System</i>
AOR-E	<i>Atlantic Ocean Region-East</i>
AOR-W	<i>Atlantic Ocean Region-West</i>
COP	<i>Common Operational Picture</i>
COSPAS	<i>Space System for the Search of Vessels in Distress</i>
EGC	<i>Enhanced Group Call</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>
EPIRB	<i>Emergency Position Indicating Radio Beacon</i>
ESM	<i>Electronic Surveillance Measures</i>
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
GEOLUT	<i>Geostationary Earth Orbit Local User Terminal</i>
GMDSS	<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAMSAR	<i>International Aeronautical and Maritime Search and Rescue</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IMSO	<i>International Mobile Satellite Organization</i>
IMRF	<i>International Maritime Rescue Federation</i>
IOR	<i>Indian Ocean Region</i>
LES	<i>Land Earth Station</i>
LUT	<i>Local User Terminal</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
GEOLUT	<i>Low Earth Orbit Local User Terminal</i>

MCC	<i>Mission Control Center</i>
MDA	<i>Maritime Domain Awareness</i>
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i>
MOU	<i>Memorandum of Understanding</i>
MRCC	<i>Maritime Rescue Coordination Centre</i>
MSI	<i>Maritime Safety Information</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
POR	<i>Pacific Ocean Region</i>
RCC	<i>Rescue Coordination Centre</i>
RISDE	<i>USSR Research Institute of Space Devices Engineering</i>
SAR	<i>Search And Rescue</i>
SARSAT	<i>Search And Rescue Satellite-Aided Tracking</i>
SART	<i>Search And Rescue Radar Transponder</i>
S-AIS	<i>Satellite Automatic Identification System</i>
SES	<i>Ship Earth Station</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i>
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VOI	<i>Vessels of Interest</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	15
1.3. OBJETIVOS	16
<i>1.3.1. Objetivo Geral</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>16</i>
1.4. ETAPAS DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1. COMUNICAÇÕES SATELITAIS.....	18
<i>2.1.1. Satélites Geoestacionários (GEO).....</i>	<i>19</i>
<i>2.1.2. Satélites de órbita média (MEO)</i>	<i>22</i>
<i>2.1.3. Satélites de órbita baixa (LEO).....</i>	<i>22</i>
2.2. BUSCA E SALVAMENTO NO MAR	23
3 METODOLOGIA	26
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	26
<i>3.1.1. Quanto aos fins</i>	<i>26</i>
<i>3.1.2. Quanto aos meios</i>	<i>26</i>
3.2. LIMITAÇÕES DO MÉTODO.....	26
3.3. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS	27
4 SISTEMA GLOBAL DE SOCORRO E SEGURANÇA MARÍTIMO.....	28
4.1. SEARCH AND RESCUE SATELLITE-AIDED TRACKING SYSTEM (COSPAS-SARSAT)	28
<i>4.1.1. Histórico</i>	<i>28</i>

4.1.2. Configuração LEOSAR.....	29
4.1.3. Configuração GEOSAR.....	30
4.1.4. Configuração MEOSAR (Futuro).....	31
4.1.5. Transmissores de emergência (SART e EPIRB).....	32
4.2. INMARSAT GMDSS.....	33
4.2.1. Cobertura de feixe global.....	35
4.2.2. Cobertura de feixe regional.....	35
4.2.3. Cobertura de feixe estreito.....	35
4.2.4. Global Xpress (I-5).....	35
4.3. IRIDIUM GMDSS DISTRESS AND SAFETY COMMUNICATIONS.....	36
4.4. STARLINK.....	36
4.5. AIS VIA SATÉLITE (S-AIS).....	39
4.5.1. O Advento do AIS via Satélite.....	39
4.5.2. Comparação entre os sensores convencional e satelital.....	39
4.5.3. Aplicações do S-AIS em missões SAR.....	40
4.6. COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS APRESENTADAS.....	41
5 CONCLUSÃO.....	44
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
5.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo, de acordo com o manual IAMSAR, cada Estado reconhece a grande importância de salvar vidas e a necessidade de estar diretamente envolvido na prestação de serviços de busca e salvamento aeronáuticos e marítimo para pessoas em situação de risco. Os requisitos básicos para o funcionamento dessas operações são, em grande parte, a capacidade de comunicação, coordenação e tomada de decisões rápidas e informadas entre as equipes de resgate, os centros de comando e outras partes interessadas. No entanto, tais operações frequentemente enfrentam desafios complexos relacionados à conectividade, à geolocalização precisa e à obtenção de informações em tempo real. Em muitos casos, as áreas afetadas por desastres naturais, naufrágios ou emergências marítimas encontram-se em locais remotos, de difícil acesso ou distantes das redes de comunicação terrestre. Isso cria uma lacuna na capacidade de comunicação e coordenação, comprometendo a eficiência e eficácia das ações de resgate.

Nesse contexto, as comunicações satelitais emergem como uma possível solução de destaque para superar esses desafios e fornecer um auxílio valioso à tomada de decisões nas operações de busca e salvamento marítimo. A capacidade de transmitir e receber sinais de dados, voz e imagem por meio de satélites orbitais ao redor da Terra tornou-se uma ferramenta frequentemente utilizada em diversas áreas, incluindo telecomunicações, navegação e, cada vez mais, nas operações de busca e salvamento. O uso estratégico das comunicações via satélite oferece vantagens cruciais para mitigar os obstáculos de conectividade, melhorar a coordenação das equipes de resgate e fornecer informações em tempo real para auxiliar as decisões críticas tomadas em ambientes marítimos complexos.

Apesar das vantagens que as comunicações satelitais trazem nas operações de busca e salvamento marítimo, existem desafios que precisam ser enfrentados para maximizar sua eficácia. Um dos principais desafios é a interoperabilidade entre diferentes sistemas de comunicação utilizados por diferentes equipes de resgate, organizações governamentais e entidades envolvidas nas operações de resgate. Pelo Guia de Operações de Resgate em Massa (IMRF,2019):

A “comunicação” sustenta toda a resposta – na fase de planejamento, durante o incidente em si, e depois, quando as lições puderem ser identificadas e aprendidas. Sem comunicação eficaz não há planejamento, coordenação, comando ou controle eficazes. E, sem uma comunicação eficaz, não conseguiremos ser capazes de melhorar a nossa resposta (individual, organizacional, nacional, regional ou global) para que mais vidas sejam salvas na próxima vez – pois sempre haverá uma “próxima vez”, em algum lugar. A necessidade de uma boa comunicação é óbvia.

Dessa maneira, apresenta-se este trabalho, como uma revisão bibliográfica e um estudo de caso sobre os custos de implementação das soluções satelitais no auxílio a decisão das operações de busca e salvamento no mar. Para tanto divide-se esse trabalho em quatro capítulos: Introdução, onde procura-se apresentar de forma sucinta a justificativa e relevância do assunto abordado; Referencial Bibliográfico, onde serão apresentados os conceitos básicos necessários ao entendimento do assunto, bem como apresentação das tecnologias abordadas e a correlação dessas com as operações de busca e salvamento; Metodologia, onde serão apresentados os critérios de comparação que serão relacionados entre os temas; Resultados e Discussão, seção na qual serão apresentados os resultados obtidos e uma análise comparativa entre eles; e Conclusão, onde serão avaliados os desafios futuros nas ações de busca e salvamento e uma descrição da solução encontrada.

1.1. Apresentação do Problema

A implantação de infraestrutura de comunicação via satélite pode ser um empreendimento dispendioso, especialmente para organizações com recursos limitados. Custos operacionais, manutenção e atualização de equipamentos, bem como o treinamento das equipes de resgate para usar eficazmente as tecnologias de comunicação via satélite, são considerações importantes que devem ser abordadas para garantir a sustentabilidade desses sistemas.

1.2. Justificativa e Relevância

O sucesso das operações de salvamento e resgate no mar é diretamente dependente do tempo dispendido entre o acontecimento do incidente e o tempo de mobilização e chegada da equipe de salvamento no local. A determinação da posição exata de acontecimento do sinistro, as informações de danos pessoal e material, bem como a prontidão na comunicação de sua ocorrência atuam como fatores decisivos para a adoção de um sistema de comunicação confiável que abranja uma vasta área marítima e que tenha reduzido tempo de latência reduzido. Nesse contexto, as comunicações satelitais tornam-se uma ferramenta segura para a garantia de execução das operações SAR.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma discussão acerca dos conceitos e importância das comunicações satelitais para a tomada de decisões e planejamentos de missões SAR e como a Marinha do Brasil evolui para contribuir com as demais organizações SAR mundiais.

1.3.2. Objetivos Específicos

Com o foco de atingir o objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso, alguns objetivos específicos foram traçados.

Primeiramente, faz-se necessário entender como funcionam as comunicações satelitais num contexto geral, abordando seus principais conceitos.

Depois, é apresentado as características de uma missão SAR para que seja possível conhecer como as comunicações exercem uma importante função para seu planejamento.

Por conseguinte, são apresentadas essas tecnologias satelitais que estão sendo utilizadas nessas missões por todo o planeta.

1.4. Etapas do Trabalho

O trabalho apresentado está organizado em cinco capítulos descritos da seguinte maneira:

No capítulo dois, Referencial Teórico, serão apresentados os principais conceitos necessários para que se entenda como se dão as comunicações satelitais e também será apresentado também as legislações que descrevem o serviço de salvaguarda da vida no mar e uma descrição de como os órgãos internacionais se organizam para executar suas ações.

No terceiro capítulo, Metodologia, serão descritos os procedimentos realizados para comparar as soluções. Adicionalmente, serão determinados os critérios utilizados para comparação entre as soluções.

No quarto capítulo, serão apresentadas as principais soluções de tecnologias satelitais que são utilizadas nas missões de busca e salvamento atualmente. E ao final do

capítulo compará-las levando em questão de custo operacional para o usuário, vantagens de utilização.

Por fim, no capítulo 5, Conclusões, serão discutidos como os objetivos pretendidos foram atingidos e os desafios futuros para essa linha de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O entendimento de como se dão as comunicações satelitais e como seu emprego pode ser útil ao serviço de salvaguarda da vida humana no mar, dá-se pela conceituação de vários conhecimentos prévios. No capítulo a seguir procura-se apresentar esses conceitos ancorados em uma extensa revisão bibliográfica.

2.1. Comunicações Satelitais

De acordo com Labrador (2010), o primeiro conceito prático de comunicação por satélite foi proposto por um oficial da *Royal Air Force* de 27 anos, Arthur C. Clarke, em um artigo intitulado “*Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?*” publicado na edição de outubro de 1945 da *Wireless World*. Clarke, propôs que um satélite a uma altitude de 35.786 km (22.236 milhas) acima da superfície da Terra se moveria na mesma velocidade da rotação da Terra. A esta altitude o satélite permaneceria numa posição fixa em relação a um ponto da Terra. Hoje, essa órbita é conhecida como “órbita geoestacionária”, e é ideal para comunicações via satélite, já que uma antena no solo pode ser apontada para um satélite 24 horas por dia sem a necessidade de rastrear sua posição. Clarke calculou em seu artigo que três satélites equidistantes espaçados em órbita geoestacionária seriam capazes de fornecer cobertura de rádio quase mundial, com a única exceção de algumas regiões polares.

Um satélite é basicamente um sistema de comunicações com a capacidade de receber sinais da Terra e retransmitir esses sinais de volta com o uso de um satélite transponder, ou seja, um receptor e transmissor integrado de sinais de rádio. Segundo Labrador (2010):

Um satélite tem que suportar a força de ser acelerado durante o lançamento até a velocidade orbital de 28.100 quilômetros por hora e um ambiente espacial hostil onde pode estar sujeito a radiação e temperaturas extremas durante sua vida operacional projetada, que pode durar até 20 anos. Além disso, os satélites têm que ser leves, pois o custo de lançamento de um satélite é bastante caro e baseado no peso. Para enfrentar estes desafios, os satélites devem ser pequenos e feitos de materiais leves e duráveis. Eles devem operar com uma confiabilidade muito alta, de mais de 99,9%, no espaço sem perspectiva de manutenção ou reparo.

De acordo com Balod (2015), as frequências separadas para as comunicações satelitais, dentro do espectro eletromagnético, são: frequência ultra alta (UHF), frequência super alta

(SHF) e frequência extremamente alta (EHF). As faixas de frequências utilizadas nos satélites de comunicação podem ser encontradas na abaixo Tabela 1.

Tabela 1 - Frequências usadas em satélites de comunicação.

FREQUÊNCIAS DISPONÍVEIS PARA AS COMUNICAÇÕES SATELITAIS (IEEE)		
Banda	Faixa	Frequência (Ghz)
L	UHF	1,5 a 1,65
S		2,4 a 2,8
C	SHF	3,4 a 7,0
X		7,9 a 9,0
Ku		10,7 a 15,0
Ka		18,0 a 31,0
Q	EHF	40,0 a 50,0
V		60,0 a 80,0

Fonte: Balod, 2015.

Os satélites operam em diferentes órbitas da Terra dando perspectivas variadas, cada uma valiosa por diferentes razões. Alguns parecem pairar sobre um único ponto, proporcionando uma visão constante de uma face da Terra, enquanto outros circundam o planeta, passando por muitos lugares diferentes num dia. Existem essencialmente três tipos de órbitas terrestres, quando se leva em consideração apenas a altitude da órbita: órbita geoestacionária, órbita terrestre média e órbita terrestre baixa.

2.1.1. Satélites Geoestacionários (GEO)

De acordo com Florenzano (2008), também conhecida como a órbita equatorial, apresentada na Figura 1, com uma altitude aproximada de 36.000 quilômetros de altitude que faz com que o satélite consiga dar um giro completo na Terra em 24 horas, parecendo assim que o satélite está parado, daí vem o nome de geoestacionária, pois sempre está observando uma posição em relação a Terra.

Figura 1 - Exemplos de órbitas de satélites meteorológicos



Fonte: Florenzano, 2008.

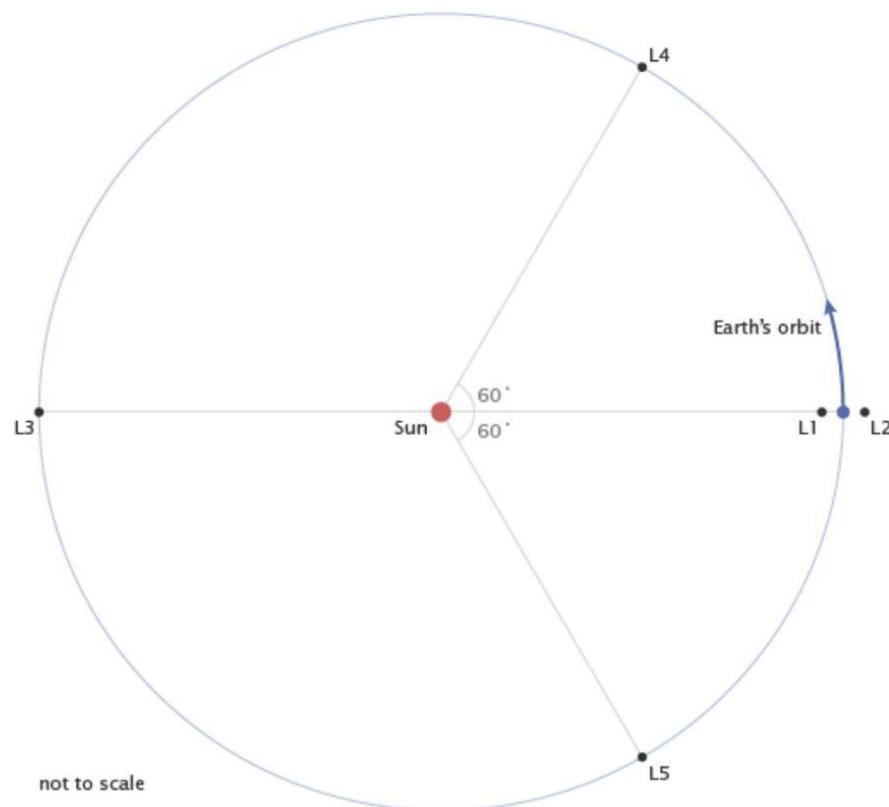
Uma órbita geoestacionária é extremamente valiosa para o monitoramento meteorológico porque os satélites nesta órbita fornecem uma visão constante da mesma área de superfície. Quando você entra no seu site meteorológico favorito e olha a imagem de satélite da sua cidade natal, a imagem que você vê vem de um satélite em órbita geoestacionária. A cada poucos minutos, satélites geoestacionários como o Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário (GOES) enviam informações sobre nuvens, vapor de água e vento, e esse fluxo quase constante de informações serve como base para a maior parte do monitoramento e previsão do tempo.

Como os satélites geoestacionários estão sempre num único local, eles também podem ser úteis para comunicação (telefones, televisão, rádio). Construídos e lançados pela NASA e operados pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), os satélites GOES fornecem um farol de busca e salvamento usado para ajudar a localizar navios em perigo.

Alguns “pontos ideais” orbitais, logo além da órbita alta da Terra, são os pontos de Lagrange. Nos pontos de Lagrange, apresentados na Figura 2, a força da gravidade da Terra cancela a força da gravidade do Sol. Qualquer coisa colocada nesses pontos será igualmente puxada em direção à Terra e ao Sol e girará com a Terra em torno do Sol. Os satélites GOES enviam informações sobre nuvens, vapor de água e vento, e esse fluxo quase constante de informações serve como base para a maior parte do monitoramento e previsão do tempo. Dos cinco pontos de Lagrange no sistema Sol-Terra, apenas os dois últimos, chamados L4 e L5, são estáveis. Um satélite nos outros três pontos são como uma bola equilibrada no topo de uma

colina íngreme: qualquer ligeira perturbação empurrará o satélite para fora do ponto de Lagrange, como a bola rola colina abaixo. Os satélites nestes três pontos precisam de ajustes constantes para permanecerem equilibrados e no lugar. Os satélites nos dois últimos pontos de Lagrange são mais como uma bola numa tigela: mesmo que sejam perturbados, regressam ao ponto de Lagrange. (Riebeek, 2009)

Figura 2 - Pontos de Lagrange



Fonte: Simmon, 2009

Os pontos de Lagrange são locais especiais onde um satélite permanecerá estacionário em relação à Terra enquanto o satélite e a Terra giram em torno do Sol. L1 e L2 estão posicionados acima dos lados diurno e noturno da Terra, respectivamente. L3 está do outro lado do Sol, oposto à Terra. L4 e L5 estão 60° à frente e atrás da Terra na mesma órbita.

2.1.2. Satélites de órbita média (MEO)

Estão mais perto da Terra, por isso apresentam maior velocidade. Tendo destaque dentre as órbitas médias, a órbita semi-síncrona e a órbita Molniya. A órbita semi-síncrona tem cerca de 20.200 quilômetros de altitude, são mais rápidos e apresentam uma órbita quase circular. A essa altitude demoram aproximadamente 12 horas para completar sua órbita em volta do planeta. Devido a seu período ele cruza dois pontos iguais no equador todos os dias, sendo assim considerada como uma órbita consistente e previsível, sendo utilizada pelos satélites do GPS (Sistema de Posicionamento Global).

A segunda órbita média comum da Terra é a órbita Molniya. Inventada pelos russos, a órbita Molniya funciona bem para observar latitudes elevadas. (Riebeek, 2009) Uma órbita geoestacionária é valiosa pela visão constante que fornece, mas os satélites em uma órbita geoestacionária ficam estacionados sobre o equador, portanto, não funcionam bem em locais extremos ao norte ou ao sul, que estão sempre no limite da visão de um satélite geoestacionário.

A órbita Molniya combina alta inclinação ($63,4^\circ$) com alta excentricidade (0,722) para maximizar o tempo de visualização em altas latitudes. Cada órbita dura 12 horas, então a parte lenta e de alta altitude da órbita se repete no mesmo local todos os dias e todas as noites. Os satélites de comunicações russos e os satélites de rádio Sirius utilizam atualmente este tipo de órbita. Este tipo de órbita é útil para comunicações no extremo norte ou sul.

2.1.3. Satélites de órbita baixa (LEO)

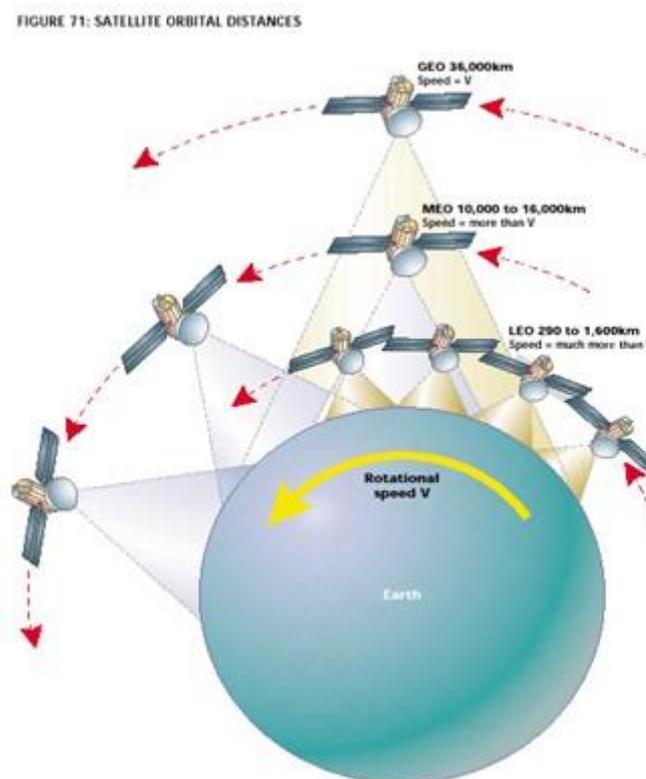
São divididos em outras duas órbitas: uma quase circular e outra quase polar. A maioria dos satélites científicos e meteorológicos encontram-se na órbita quase circular. A NASA utiliza a órbita quase polar, pois é uma órbita altamente inclinada onde o satélite leva cerca de 99 minutos para completar sua volta ao redor da Terra. Assim como os satélites de órbitas semi-síncronas, os de órbita polar também observam um ponto ideal sempre à mesma hora.

A órbita sincronizada com o Sol é necessária para a ciência porque mantém o ângulo da luz solar na superfície da Terra o mais consistente possível, embora o ângulo mude de estação para estação. Esta consistência significa que os cientistas podem comparar imagens da mesma estação ao longo de vários anos sem se preocuparem muito sobre mudanças extremas nas sombras e na iluminação, que podem criar ilusões de mudança. Sem uma órbita sincronizada com o Sol, seria muito difícil acompanhar as mudanças ao longo do tempo. Seria impossível

recolher o tipo de informação consistente necessária para estudar as alterações climáticas. (Riebeek, 2009)

Uma representação das orbitas, bem como uma representação da abrangência de cada uma, pode ser encontrada na Figura 3.

Figura 3 - Distancias orbitais



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/328136/>

2.2. Busca e Salvamento no Mar

Cada Estado reconhece a grande importância de salvar vidas e a necessidade de estar diretamente envolvido na prestação de serviços de busca e salvamento aeronáutico e marítimo (SAR) a pessoas em perigo. O Manual IAMSAR fornece a perspectiva do gestor sobre o apoio aos serviços SAR no âmbito das iniciativas SAR patrocinadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) e pela Organização Marítima Internacional (IMO), duas agências das Nações Unidas dedicadas à segurança do transporte aeronáutico e marítimo,

respectivamente. Além da redução da perda de vidas e do sofrimento através da prestação de serviços de resgate, a preocupação e o envolvimento de um Estado com a SAR podem oferecer outras vantagens, como as seguintes.

Um ambiente mais seguro e protegido para as indústrias relacionadas com o transporte marítimo, o comércio, a recreação e as viagens. O aumento da segurança pode promover a utilização e a fruição da aviação e da navegação marítima. ambiente, turismo e desenvolvimento económico. Isto é especialmente verdade quando o sistema SAR está associado a programas destinados a prevenir ou reduzir os efeitos de acidentes, por vezes referidos como “SAR Preventivo”.

A disponibilidade de recursos SAR proporciona muitas vezes a resposta inicial e as capacidades de socorro essenciais para salvar vidas nas fases iniciais de catástrofes naturais e provocadas pelo homem. Portanto, os serviços SAR são por vezes parte integrante de qualquer sistema de gestão de emergências local, nacional ou regional.

Operações SAR bem executadas podem proporcionar publicidade positiva sobre situações que, de outra forma, poderiam ser vistas de forma negativa. Contudo, o oposto também é verdadeiro; uma resposta fraca ou ineficaz a um acidente ou desastre grave também pode resultar em publicidade mundial e afetar negativamente indústrias sensíveis como o turismo e os transportes.

A missão SAR proporciona um excelente meio para promover a cooperação e a comunicação entre os Estados e entre organizações a nível local, nacional e internacional, porque é uma missão relativamente não controversa e humanitária. A cooperação nesta área também pode levar à cooperação noutras áreas e pode ser utilizada como uma ferramenta de liderança para promover boas relações de trabalho.

O valor dos bens que podem ser salvos em associação com atividades SAR pode ser elevado e fornecer justificativa adicional para os serviços SAR.

Como Parte na Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), na Convenção Internacional sobre Busca e Salvamento Marítimo ou na Convenção sobre Aviação Civil Internacional, uma Parte componente compromete-se a fornecer certa coordenação SAR aeronáutica e/ou marítima e serviços.

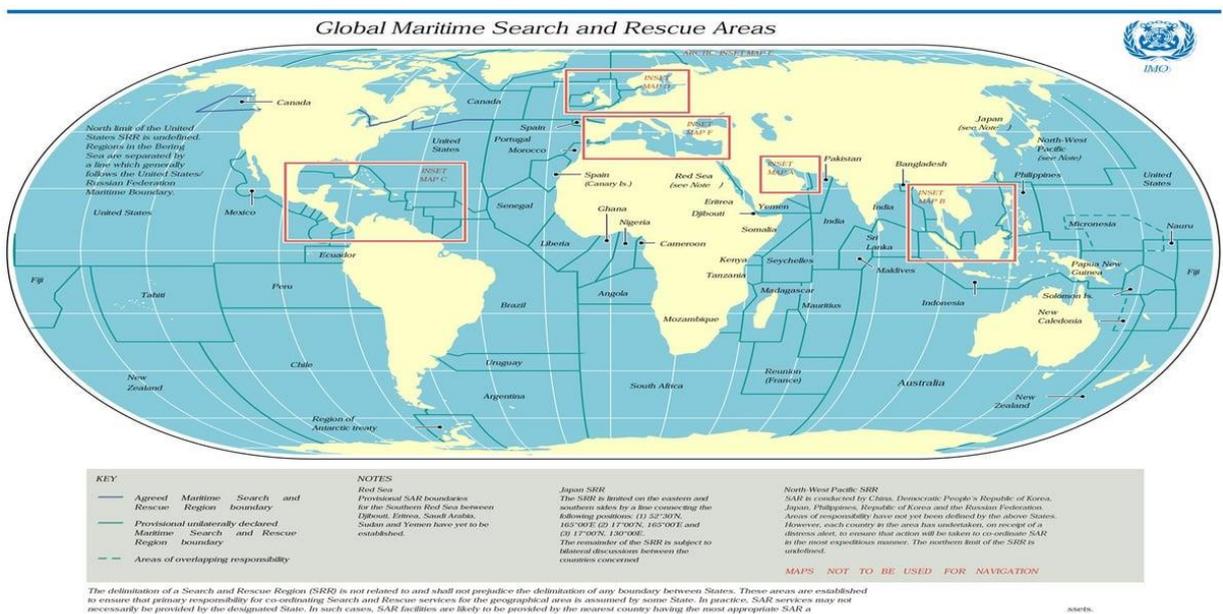
A referência à busca e salvamento também está contida na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, 1982. Esta Convenção inclui uma declaração geral no Artigo 98, parágrafo 2, que trata da busca e salvamento:

“Todo Estado costeiro promoverá o estabelecimento, operação e manutenção de um serviço de busca e salvamento adequado e eficaz no que diz respeito à segurança na água e

sobre a água e, quando as circunstâncias o exigirem, por meio de acordos regionais mútuos, cooperará com os Estados vizinhos para esse fim.”

A comunidade internacional espera que estes compromissos sejam cumpridos por todos os Estados componentes. A divisão do espaço marítimo global entre os países que assinam a Convenção SOLAS pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição das áreas de atuação SAR



Fonte: IMCE

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, que envolve a coleta, seleção e análise crítica de fontes bibliográficas relevantes para o tema das comunicações satelitais nas operações de busca e salvamento marítimo. O objetivo é examinar os estudos existentes, identificar tendências, desafios e oportunidades, bem como extrair conhecimentos para embasar as discussões subsequentes.

3.1. Classificação da Pesquisa

Considerando-se o critério de classificação de pesquisa proposto por Vergara (1998), quanto aos fins e quanto aos meios, tem-se:

3.1.1. Quanto aos fins

Trata-se de uma pesquisa descritiva, pois pretende expor as características das soluções de comunicações satelitais atualmente utilizadas nas missões de busca e salvamento;

3.1.2. Quanto aos meios

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica.

Classifica-se como pesquisa bibliográfica, pois se recorrerá ao uso de material acessível ao público, em geral como livros, artigos e manuais já publicados, embora estes sejam apresentados de forma excessivamente agregada.

3.2. Limitações do Método

Este trabalho está limitado a pesquisa bibliográfica, logo não foi possível verificar se as informações descritas nos manuais e documentos estão sendo colocadas em prática. Portanto, o resultado da pesquisa pode não ser condizente com a realidade praticada.

3.3. Coleta e Tratamento de Dados

A coleta de fontes bibliográficas foi realizada por meio de bases de dados acadêmicas, bibliotecas virtuais, sites de agências governamentais e organizações internacionais, utilizando termos de pesquisa relevantes, como "comunicações satelitais", "busca e salvamento marítimo", "tecnologias de satélite" e similares. A seleção das fontes ocorreu por critérios de relevância, qualidade acadêmica e abrangência das informações.

A análise das fontes consistiu na leitura atenta e crítica dos materiais selecionados, visando à identificação de conceitos-chave, abordagens, resultados e conclusões. A partir dessa análise, foram extraídos insights para a construção dos argumentos apresentados neste trabalho.

4 SISTEMA GLOBAL DE SOCORRO E SEGURANÇA MARÍTIMO

O Sistema Global de Socorro e Segurança Marítimo (GMDSS) compreende um sistema formado por estações terrestres, satélites e sistemas rádio locais instalados nos meios navais (sendo obrigatório em navios de transporte de carga maiores que 300 toneladas e de passageiros). Esse sistema é responsável por enviar sinais de alerta, em caso de situações de sinistro, dos meios para as estações terrestres e para outras unidades nas proximidades.

Entre as soluções comerciais GMDSS disponíveis, destacam-se as soluções a seguir, pela sua ampla adoção, histórico e abrangência:

4.1. Search and Rescue Satellite-Aided Tracking System (COSPAS-SARSAT)

4.1.1. Histórico

Projetados para serem interoperáveis, os projetos COSPAS e SARSAT foram, na verdade, desenvolvidos separadamente. Embora a SARSAT usasse uma grande constelação de satélites meteorológicos dos EUA para acomodar os *payloads* SAR fornecidas pelo Canadá e pela França, *payloads* funcionalmente semelhantes de 406 MHz e 121,5 MHz desenvolvidas independentemente na Rússia foram transportadas na constelação de satélites do sistema de navegação *Tsikada Doppler*. Os satélites *Tsikada* foram lançados em uma órbita quase polar a uma altitude de 1.000 km, com uma inclinação de 83°. A acomodação dos *payloads* do sistema COSPAS exigiu antenas de transmissão e recepção adicionais, incluindo uma antena de recepção bastante grande de 121,5 MHz, bem como energia elétrica adicional para a transmissão contínua de dados de alerta no *downlink* de 1544,5 MHz. A compatibilidade eletromagnética da carga COSPAS com o *payload* de navegação Doppler do satélite *Tsikada*, transmitindo nas faixas de frequência em torno de 150 MHz e 400 MHz, próximas às frequências de recepção do *payload* SAR, também foi uma questão técnica difícil. A estação receptora soviética (chamada Terminal de Usuário Local ou LUT) para satélites COSPAS e SARSAT foi desenvolvida na RISDE pela divisão de Evgeny Molotov, enquanto o software foi produzido por Vyacheslav Arkhangelsky para o sistema COSTAS e Vilen Krupen para o LUT soviético.

Outro aspecto importante do projeto foi garantir a total interoperabilidade dos sistemas de comunicação COSPAS e SARSAT, que impuseram características semelhantes de sinal de rádio, padrões de antena, protocolos de comunicação, estrutura de mensagens e processamento

de mensagens, etc. Sob a liderança de Vladislav Rogalsky da RISDE, a interoperabilidade foi conseguida com sucesso através do intercâmbio de especificações técnicas detalhadas de interface recolhidas num Plano de Implementação conjunto COSPAS-SARSAT (CSIP). Além disso, foram realizados “testes de compatibilidade” antes do lançamento por especialistas técnicos da COSPAS e da SARSAT em conjunto, em 1982. Estes testes tiveram lugar tanto no RISDE, na Rússia, como no Centro Espacial CNES de Toulouse, em França.

O projeto foi concluído de acordo com o cronograma planeado do Plano de Implementação COSPAS-SARSAT e o primeiro lançamento do satélite COSPAS-1 (Cosmos 1383) ocorreu em 30 de junho de 1982 a partir do local de lançamento de Plesetsk, na URSS. O segundo satélite COSPAS (Cosmos 1447) foi lançado em 24 de março de 1983 e o COSPAS-3 (Cosmos 1574) foi lançado em 21 de junho de 1984. O primeiro lançamento do satélite SARSAT em 28 de março de 1983 completou a desejada constelação de quatro satélites, permitindo uma conclusão rápida. da fase de Demonstração e Avaliação iniciada em outubro de 1982.

Em 1984, com três satélites COSPAS em órbita, três LUTs em operação (Moscou, Arkhangelsk e Vladivostok) e um Centro de Controle de Missão (MCC) estabelecido em Moscou sob a direção de Vyacheslav Semikolenov, o sistema COSPAS foi declarado pré-operacional. Isto abriu caminho para a continuação da cooperação internacional, com um novo MOU COSPAS-SARSAT assinado em 1984.

Atualmente existem dois tipos de LUTs no sistema COSPAS-SARSAT: os LEOLUTs, que foram projetados para operar com a constelação LEOSAR e os GEOLUTs que operam com a constelação GEOSAR. Hoje, o sistema conta com setenta e oito satélites em órbita e com trinta e cinco MCC incluindo um em Brasília.

4.1.2. Configuração LEOSAR

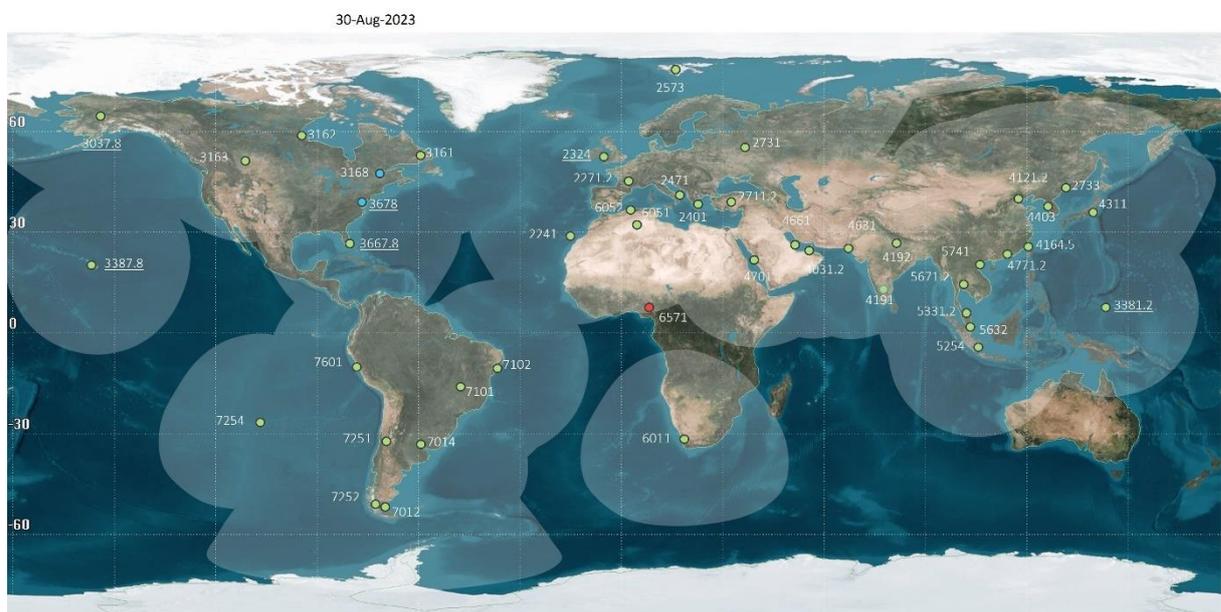
A operação dos Sistemas COSPAS-SARSAT pode ser realizada tanto por satélites em orbitas baixas (LEO), tanto como por órbitas geoestacionárias (GEO) e, futuramente, por satélites a médias orbitas (MEO).

Na configuração LEOSAR, o sistema opera com uma constelação mínima de quatro satélites LEO, mantidos em altitudes de 850 a 1000km, estes satélites estão se movimento rapidamente ao redor da Terra, para garantir que o tempo de espera seja menor ou igual a uma hora no Equador. Estima-se que esses satélites se movimentam a uma velocidade de

aproximadamente 7Km/s, o que promove, por meio do efeito doppler, uma variação na percepção da frequência das ondas recebidas e transmitidas, e é exatamente esse efeito que é empregado para identificar sinais dos faróis de socorro e delimitar sua posição.

É importante salientar que nesse sistema de identificação, a partir da resposta do efeito Doppler, há a presença ambígua da posição estimada para a emissão. A decisão sobre qual dos dois pontos espelhados é o mais provável de ser a real posição do sinistro é responsabilidade das estações de terra.

Figura 5 – Cobertura dos satélites LEO do sistema COSPAS-SARSAT



Fonte: <https://cospas-sarsat.int/en/system/detailed-leosar-geosar-system-description/leosar-satellite-coverage>, 2023.

4.1.3. Configuração GEOSAR

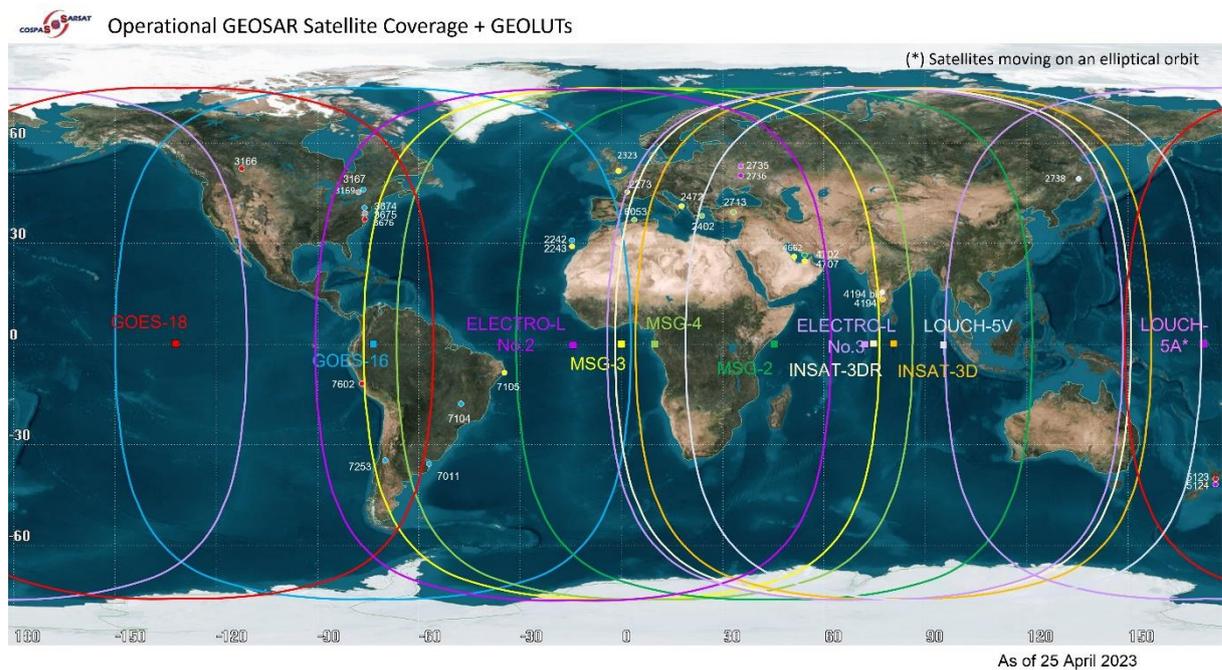
Dada a intrínseca demora para identificação da posição no sistema com satélites LEO, resultante do tempo necessário para que este percorra sua órbita, o sistema GEOSAR foi adicionado ao conjunto COSPAS-SARSAT.

Essa constelação de satélites geoestacionários, mantidos a altitudes de 36,000km, são capazes de identificar imediatamente sinais de emergência no mar emitidos na frequência de 406MHz. Entretanto, diferentemente da solução LEO, não há a determinação da posição por

efeito doppler e sim pela codificação da informação de posição do meio sinistrado no sinal de emergência.

Uma desvantagem do uso desse tipo de satélites é a necessidade de linha de visada direta entre o satélite e a antena de transmissão do meio sinistrado. Na Figura 6 apresenta-se a cobertura oferecida pelos satélites geoestacionários do sistema.

Figura 6 – Cobertura dos satélites GEO do sistema COSPAS-SARSAT



Fonte: <https://cospas-sarsat.int/en/system/detailed-leosar-geosar-system-description/geosar-satellite-coverage>, 2023.

4.1.4. Configuração MEOSAR (Futuro)

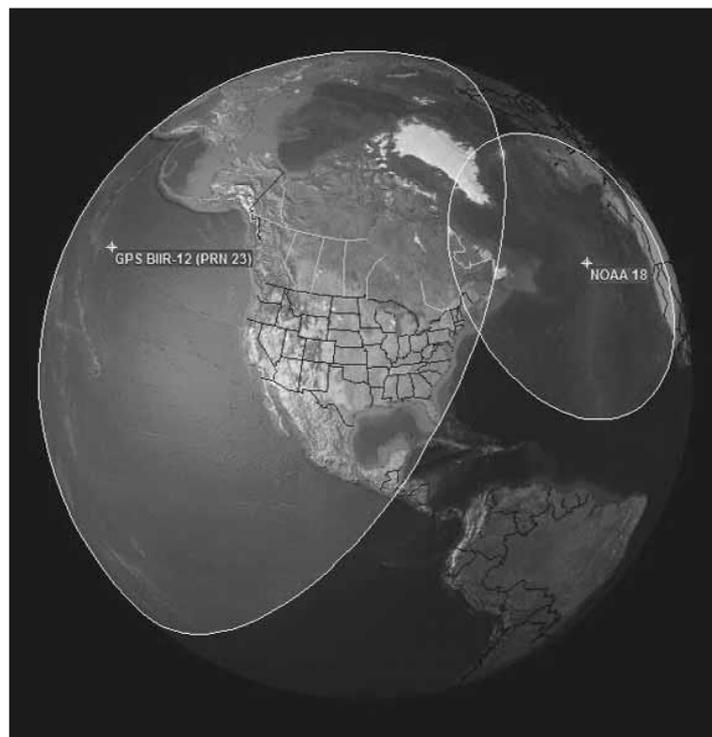
Na configuração MEOSAR, o objetivo apresentado por um estudo canadense em 1997, é utilizar os satélites GPS, em orbitas MEO, mantidos a 20.000 km de altitude, para integrar e captar sinais SAR. Como vantagem, o uso de satélites MEO garante maior abrangência de cobertura, ao mesmo tempo que garante cobertura nos polos. A diferença entre a abrangência dos satélites MEO e LEO é apresentada na Figura 7.

Esse sistema apresentará diversos benefícios, tais como: cobertura global contínua, redundância de detecção dos sinais de emergência, detecção instantânea da posição de sinistro e a capacidade de acompanhamento da posição dos transmissores.

A fase atual da capacidade operacional inicial do MEOSAR (EOC), onde os alertas de emergência do sistema MEOSAR são fornecidos às autoridades de busca e salvamento (SAR) para uso operacional, começou em dezembro de 2016. A fase EOC será seguida pela fase de capacidade operacional inicial (IOC), que proporcionará um melhor desempenho do MEOSAR. Quando houver segmentos terrestres suficientes comissionados (MEOLUTs e MCCs) disponíveis para fornecer cobertura global em tempo quase real, o sistema MEOSAR será declarado em plena capacidade operacional (FOC).

O MEOSAR complementa os sistemas existentes LEOSAR (satélites em órbitas de baixa altitude) e GEOSAR (satélites em órbita geoestacionária), substituindo gradualmente o sistema LEOSAR como a arquitetura principal de satélites para o Cospas-Sarsat.

Figura 7 – Comparação entre a cobertura de um satélite MEO e um satélite LEO.



Fonte: Belrose, 2013.

4.1.5. Transmissores de emergência (SART e EPIRB)

Os usuários do sistema utilizam-se de transmissores de emergência, apresentados na Figura 8, esses transmissores capazes de emitir sinais na frequência de 406MHZ.

Anteriormente, eram utilizadas também as frequências de 121,5/243 MHz, mas em 2009 foi cessado seu uso.

Os transmissores de emergência podem ser ativados manualmente pelo usuário em uma situação de emergência, ou automaticamente em caso de impacto ou imersão em água, dependendo do tipo de *beacon*. Os sinais de socorro são retransmitidos por satélites para estações de rastreamento terrestre que calculam a localização do socorro e enviam o alerta para um centro de controle da missão e depois para as forças SAR. O sistema compreende vários satélites em diferentes órbitas e várias dezenas de estações terrestres operando em seis continentes.

Os transmissores podem ser produzidos por diferentes fabricantes e seu custo individual é de aproximadamente US\$500,00. Não há custos para inscrição individual dos usuários.

Figura 8 – EPIRBs e SARTs 406 MHz



Fonte: Lavesque, 2016.

4.2. Inmarsat GMDSS

Existem três componentes essenciais do sistema Inmarsat: o segmento espacial Inmarsat - os satélites e suas instalações de suporte terrestre - planejados e financiados pela Inmarsat; as estações terrestres (LESs) que fornecem uma interface entre o segmento espacial e as redes de telecomunicações fixas nacionais e internacionais e que geralmente são financiadas e operadas

pelos Operadores LES que são Acionistas da Inmarsat e distribuem os serviços Inmarsat; e as estações navio-terra (SESS) - os terminais de comunicação via satélite que são comprados ou alugados por proprietários/operadores de navios individuais.

O segmento espacial é dividido globalmente em quatro regiões: Região do Oceano Atlântico Leste (AOR-E), Região do Oceano Atlântico Oeste (AOR-W), Região do Oceano Índico (IOR) e Região do Oceano Pacífico (POR). Cada região oceânica é atendida por um satélite dedicado. A Inmarsat tem planos de contingência completos em caso de qualquer interrupção dos satélites. Esses planos são examinados e vigiados regularmente pela Organização Internacional de Satélites Móveis (IMSO).

O sistema Inmarsat está conectado às redes de telecomunicações mundiais por meio das LESs. Muitas dessas LESs fornecem serviços Inmarsat-C EGC. A ampla distribuição de LESs ao redor do mundo oferece flexibilidade e a perspectiva de linhas terrestres mais curtas para acessar a LES desejada.

As estações Navio-terra (SESS) Inmarsat-C EGC são terminais pequenos e leves, com pequenas antenas omnidirecionais, para fornecer serviços do tipo mensagem. A capacidade de recepção EGC é fornecida por SESS Inmarsat-C de Classe 2 ou 3. A antena é pequena e leve o suficiente para ser instalada em qualquer navio ou barco.

Serviços adicionais além da segurança marítima, pagos a parte tais como ligações, plano de dados de internet de alta velocidade, inclui chamadas de voz tradicionais, sistemas de rastreamento de dados de baixo nível e serviços de Internet e outros serviços de dados de alta velocidade, bem como serviços de socorro e segurança.

A rede Broadband Global Area Network (BGAN) fornece serviços do tipo General Packet Radio Service (GPRS) com velocidades de até 800 kbit/s com uma latência de 900-1100 ms através de um modem de satélite do Protocolo da Internet (IP) do tamanho de um notebook, enquanto a rede Global Xpress oferece até 50 Mbit/s com uma latência de 700 ms através de antenas tão pequenas quanto 60 cm. Outros serviços fornecem serviços móveis da Rede Digital Integrada de Serviços (ISDN) usados pela mídia para reportagens ao vivo sobre eventos mundiais via videofone, e acesso à Internet em voo via European Aviation Network. Existem três tipos de cobertura relacionados a cada satélite Inmarsat I-4.

4.2.1. Cobertura de feixe global

Cada satélite está equipado com um único feixe global que cobre até um terço da superfície da Terra, exceto os polos. No geral, a cobertura do feixe global se estende de latitudes de -82 a $+82^\circ$, independentemente da longitude.

4.2.2. Cobertura de feixe regional

Cada feixe regional cobre uma fração da área coberta por um feixe global, mas coletivamente todos os feixes regionais oferecem praticamente a mesma cobertura que os feixes globais. O uso de feixes regionais permite que as estações terrestres móveis (também chamadas de terminais de usuário) operem com antenas significativamente menores. Os feixes regionais foram introduzidos com os satélites I-3. Cada satélite I-3 fornece de quatro a seis feixes; cada satélite I-4 fornece 19 feixes regionais.

4.2.3. Cobertura de feixe estreito

Os feixes estreitos são oferecidos pelos três satélites Inmarsat-4. Os feixes estreitos variam em tamanho, tendem a ter algumas centenas de quilômetros de largura. Os feixes estreitos, embora muito menores do que os feixes globais ou regionais, são muito mais numerosos e, portanto, oferecem a mesma cobertura global. Feixes estreitos permitem antenas ainda menores e taxas de dados muito mais altas. Eles formam a espinha dorsal dos serviços portáteis (GSPS) e de banda larga (BGAN) da Inmarsat. Esta cobertura foi introduzida com os satélites I-4. Cada satélite I-4 fornece cerca de 200 feixes estreitos.

4.2.4. Global Xpress (I-5)

Os satélites Inmarsat I-5 fornecem cobertura global usando quatro satélites geostacionários. Cada satélite suporta 89 feixes, dando uma cobertura total de aproximadamente um terço da superfície da Terra por satélite. Além disso, 6 feixes direcionáveis estão disponíveis por satélite, que podem ser movidos para fornecer maior capacidade para locais selecionados. Em 26 de novembro de 2019, o primeiro satélite para estender a constelação original Global Xpress de primeira geração com 4 satélites foi lançado do Centre Spatial Guyanais (CSG) por um veículo de lançamento Ariane 5.

4.3. Iridium GMDSS Distress and Safety communications

O Iridium GMDSS melhora sua segurança no mar, oferecendo cobertura confiável onde não existem outras opções. A rede Iridium é projetada para funcionar em condições extremas no mar. Com uma constelação única de 66 satélites interligados em órbita terrestre baixa fornece cobertura confiável, mesmo em condições climáticas adversas, em todo o globo, incluindo as águas do Ártico e da Antártica. O terminal inaugural Iridium Connected GMDSS da Lars Thrane, por exemplo, fornece todos os três serviços de satélite GMDSS por cerca de vinte e cinco por cento do custo dos requisitos de outros equipamentos disponíveis no mercado.

Os principais serviços do Iridium GMDSS incluem o Alerta de Socorro, que é ativado com o pressionar de um botão e envia dados críticos para um Centro de Coordenação de Resgate (RCC), como ID, status e posição. O serviço também fornece Informações de Segurança Marítima (MSI) transmitidas através de um serviço de Chamada em Grupo Aprimorada (EGC) chamado Iridium SafetyCastSM, que inclui informações de navegação, meteorologia e segurança. Além disso, o serviço oferece Voz de Segurança, que permite a conexão com um RCC e outras autoridades marítimas para compartilhar detalhes adicionais sobre a situação de socorro.

Recursos adicionais incluem repetição do Alerta de Socorro, Chamada de Socorro da Costa para o Navio, Assistência Marítima, Chamada Marítima Padrão e mensagens. Todos os terminais Iridium vêm de fábrica com funcionalidade para todos os serviços de satélite GMDSS. Ao contrário das opções históricas, esses terminais iniciam tanto o Alerta de Socorro quanto a Voz de Segurança rapidamente com o pressionar de apenas um botão.

4.4. Starlink

Starlink é uma constelação de milhares de satélites que estão sendo lançados em órbita terrestre baixa pela SpaceX de Elon Musk. Atualmente, em novembro de 2023, existem 4.500 satélites em serviço, de um número inicial planejado de 34.396.

O objetivo inicial do Starlink tem sido oferecer satélites em órbita terrestre baixa que podem fornecer conectividade de velocidade de banda larga com latência muito baixa (o tempo que leva para um sinal ir de uma estação terrestre para um satélite para uma antena ou vice-versa). Os primeiros usuários foram principalmente consumidores terrestres na América do

Norte e outras áreas com cobertura inicial, com usuários marítimos limitados a regiões costeiras específicas. Com mais satélites agora em órbita, o serviço agora está mais prontamente disponível para usuários marítimos, incluindo empresas. (Eason, 2023)

A mudança para usar revendedores e distribuidores na indústria é interessante, de acordo com a Valour Consultancy, uma empresa de inteligência em conectividade via satélite sediada no Reino Unido. “Embora inicialmente o Starlink tenha vendido diretamente para o mercado, isso mudou nos últimos meses com o crescimento dos acordos de revenda. Essa mudança torna o Starlink um caso altamente interessante, particularmente devido ao impacto suspeito no mercado”, disse a pesquisadora da Valour, Alishia Sims.

A popularidade do Starlink se deve à necessidade da indústria de navegação de adotar continuamente novas tecnologias inovadoras. A baixa latência e a alta largura de banda são particularmente atraentes para seus consumidores. Outro grande sucesso do Starlink é seu impacto global. A megaconstelação recentemente aumentou sua fama devido ao seu impacto na guerra na Ucrânia. A conectividade, fornecida pelo Starlink, tornou-se vital para o esforço de guerra ucraniano, devido à sua resistência a interferências e hacking, e invulnerabilidade a mísseis antisatélite. (Sims, Alishia. 2023)

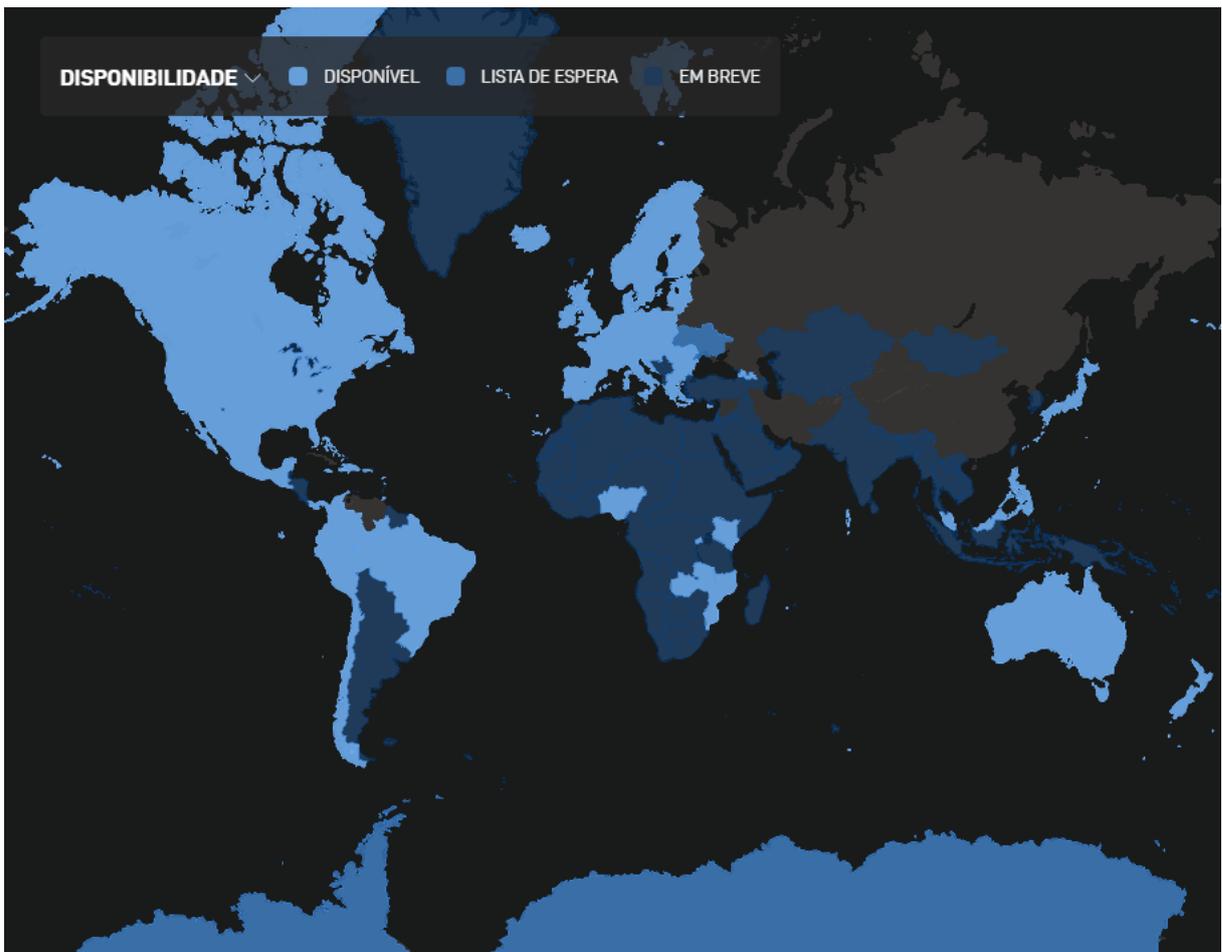
No entanto, houve alguns problemas em relação ao crescimento contínuo do Starlink. Embora estejam se tornando um player maior no mercado, foi relatado que o operador de satélite está tendo problemas de congestionamento em todo o seu maior mercado concentrado nos EUA e Canadá.

Sims disse que o operador atualmente não tem capacidade para atender à demanda, com velocidades médias às vezes reduzidas para 10 a 20 megabits por segundo, mas espera-se que o lançamento de mais 7.500 satélites faça um impacto.

“No geral, embora o impacto total do Starlink ainda esteja para ser visto, os impactos que está causando atualmente não podem ser negadas. Espera-se que seu crescimento contínuo tenha um grande impacto no mercado”. Para empresas de satélite estabelecidas como Inmarsat e Iridium, os serviços Starlink oferecem uma ameaça de algum tipo devido ao seu modelo de preços e promessa de baixa latência com alta velocidade (359/40 Mbps). No entanto, como outros sinais de banda Ku, eles podem ser interrompidos por mau tempo e outras anomalias. (Eason, 2023)

O Starlink não oferece conectividade compatível com SOLAS, algo que a Inmarsat e agora a Iridium podem fazer com sua oferta. Os requisitos do Sistema Global de Socorro e Segurança Marítima (GMDSS) significam que os navios no mar devem ter um nível de conectividade sob o acordo SOLAS para poder enviar e receber chamadas de socorro.

Figura 9 – Cobertura da Rede Starlink



Fonte <https://www.starlink.com/map?view=availability>, 2023.

Para muitos dos revendedores e distribuidores do Starlink, o principal propósito desses terminais será como conectividade adicional a um preço acessível.

O Starlink vende duas antenas receptoras e um roteador que, segundo ele, podem ser facilmente instalados em pequenas embarcações de recreio e outros navios. Para os revendedores, será uma chance de trabalhar com empresas de navegação para oferecer uma variedade de soluções integradas à medida que as empresas de navegação avançam em seus requisitos de conectividade.

4.5. AIS via Satélite (S-AIS)

O Sistema de Identificação Automática (AIS) é um sistema de comunicação obrigatório para a segurança da navegação, conforme as disposições das Convenções de Segurança da Vida no Mar (SOLAS), que exige que navios com mais de 300 toneladas brutas em viagens internacionais, navios de carga com mais de 500 toneladas brutas não envolvidos em viagens internacionais, e todos os navios de passageiros, independentemente do tamanho, sejam equipados com AIS.

4.5.1. O Advento do AIS via Satélite

O AIS via satélite surgiu como uma nova tecnologia no final dos anos 2000 e mudou o cenário para o monitoramento do meio marítimo. Melhorando a tecnologia existente já implantada na maioria dos grandes navios ao redor do mundo, o AIS via satélite tem um viés verdadeiramente revolucionário ao fornecer uma noção situacional completa e global do transporte marítimo mundial.

Embora o AIS tenha sido implantado com sucesso, ele sofre de uma grande limitação, pois, devido à curvatura da Terra, seu alcance é limitado a aproximadamente 50 milhas náuticas. Usando o S-AIS, o alcance é significativamente aprimorado, criando uma maior consciência situacional marítima além das 50 milhas náuticas da costa. (*exactEarth*, 2013)

4.5.2. Comparação entre os sensores convencional e satelital

Os equipamentos tradicionais de AIS costeiros baseados em terra fornecem apenas cobertura limitada até 50 milhas náuticas da costa e isso significa que os navios basicamente desaparecem além do horizonte VHF. O S-AIS consegue fornecer cobertura até mesmo nas regiões mais remotas do mundo, incluindo os Polos e as faixas medianas dos oceanos. A MDA global e regional é cada vez mais um requisito estratégico chave para os provedores civis e militares de SAR que buscam inteligência acionável e proativa para melhor servir os navegadores em tempos de verdadeiro sofrimento. (*exactEarth*, 2013)

Historicamente, essas autoridades tiveram que recorrer a várias fontes de dados distintas para construir manualmente uma imagem operacional comum (COP) precisa; mas o advento do S-AIS oferece cada vez mais oportunidades sem precedentes para correlacionar automaticamente os dados de maneira mais oportuna, precisa e eficaz.

A maior força operacional do S-AIS é a facilidade com que pode ser correlacionado com informações recebidas do radar, satélites ópticos, Medidas de Vigilância Eletrônica (ESM) e outras ferramentas relacionadas ao SAR, como GMDSS e o Cospas-Sarsat. A correlação de imagens ópticas e de radar com assinaturas S-AIS permite ao usuário final identificar rapidamente vários tipos de navios. Imagens correlacionadas, assinaturas e informações S-AIS fornecem às autoridades SAR informações consideráveis ao estabelecer os parâmetros dos Navios de Interesse (VOI) e podem auxiliar muito na otimização do esforço de resgate. (*exactEarth*, 2013)

4.5.3. Aplicações do S-AIS em missões SAR

À medida que mais satélites equipados com AIS entram em operação, as informações do S-AIS continuam a crescer em importância como uma poderosa ajuda nas missões SAR. Os dados do AIS agora podem localizar a última posição conhecida, o rumo e a velocidade do navio em perigo. Além disso, com as informações obtidas pelo S-AIS é possível confirmar e identificar outros navios na área de busca que poderiam ser capazes de auxiliar nas operações de resgate.

Portanto, através da adoção de informações baseadas no S-AIS, os MRCCs podem facilitar uma resposta rápida e direcionada às notificações de perigo, fornecendo de acordo com a *exactEarth* (2013):

- Identificação do navio e última posição conhecida;
- Identificação rápida de navios nas proximidades do perigo;
- Rastreamento do navio à deriva a partir da localização da chamada de emergência;
- Aviso proativo aos coordenadores SAR de navios entrando em zonas de cobertura remota; e
- Identificação da rota projetada com base na última posição conhecida, curso e velocidade.

Embora programas SAR como o GMDSS possam rastrear navios em escala global e usar as informações para fornecer assistência de busca e resgate a navios bem além do alcance do

helicóptero da guarda costeira, eles certamente se beneficiarão de dados aprimorados e em tempo real. Para navios em perigo, o S-AIS pode ajudar a identificar exatamente onde um navio está localizado em qualquer lugar do mundo, mesmo que continue à deriva longe de sua localização inicial de perigo. O acesso a dados precisos, confiáveis pode-se reduzir significativamente o tempo de resposta ao focar os recursos de resgate em uma área mais refinada. O S-AIS também pode rastrear equipes de resgate e reduzir o risco para os socorristas, especialmente em ambientes climáticos adversos.

Embora o AIS nunca tenha sido projetado como uma ferramenta para Busca e Resgate, o AIS baseado no espaço rapidamente se tornou uma ferramenta útil para os Coordenadores de Missão SAR Marítima para determinar possíveis respondedores na área de um acidente. Após selecionar os recursos mais capazes, eles podem cruzar os números MMSI e ligar diretamente para os navios e emitir instruções de tarefa. - Capitão Jack Gallagher (CCG (Aposentado) - Especialista Hammurabi SAR & Consultores de Segurança Marítimo)

Em todo o mundo, as atividades de SAR são iniciadas diariamente, desde os polos congelados até os trópicos equatoriais, como parte de uma campanha de fiscalização multifacetada projetada para preservar a vida, manter a segurança marítima e proteger o meio ambiente. Para minimizar os recursos, tempo e esforço gastos nas operações de SAR, o S-AIS deve ser considerado uma parte vital da solução.

4.6. Comparativo entre as tecnologias apresentadas

Para atingir o objetivo deste trabalho, que é basicamente apresentar as principais tecnologias de comunicações satelitais utilizadas foi realizada uma comparação. As principais características utilizadas foram:

- Cobertura: Capacidade do sistema de fornecer cobertura global, incluindo áreas remotas;
- Velocidade de transmissão de dados: A taxa na qual o sistema pode transmitir dados pode afetar a eficiência das operações de busca e salvamento;
- Confiabilidade: A capacidade do sistema de fornecer comunicações consistentes e confiáveis, mesmo em condições adversas;
- Interoperabilidade: A capacidade do sistema de se integrar e funcionar com outros sistemas de comunicação;
- Facilidade de uso: Quão fácil é para os usuários finais (por exemplo, equipes de busca e salvamento) usar o sistema;

- Custo: O custo do sistema, incluindo aquisição, operação e manutenção;
- Capacidade de rastreamento: A capacidade do sistema de rastrear a localização precisa dos navios ou aeronaves em perigo; e
- Resiliência: A capacidade do sistema de resistir a interrupções e continuar a fornecer comunicações eficazes.

Tabela 2: Comparativo das tecnologias de comunicações satelitais apresentadas

Características	COSPAS-SARSAT	Inmarsat GMDSS	Iridium GMDSS	Starlink	S-AIS
Cobertura Global	Sim	Sim	Sim	Não	Limitada a áreas com cobertura S-AIS
Velocidade de Transmissão de Dados	Até 2.4 kbps (baixa, para mensagens de busca e salvamento)	2.4 kbps a 128 kbps (moderada a alta, para comunicações de voz e dados)	2.4 kbps a 128 kbps (moderada a alta, para comunicações de voz e dados)	100 Mbps a 1 Gbps (alta, para comunicações de dados em tempo real)	2.4 kbps a 38.4 kbps (moderada, para comunicações de localização em tempo real)
Confiabilidade	Alta	Alta	Alta	A ser determinada (em desenvolvimento)	Alta
Interoperabilidade	Integra-se com outras redes de comunicação	Integra-se com outras redes de comunicação	Integra-se com outras redes de comunicação	Em desenvolvimento	Integra-se com outros sistemas de rastreamento
Facilidade de Uso	Requer treinamento especializado	Requer treinamento especializado	Requer treinamento especializado	A ser determinada	Relativamente fácil de usar para profissionais marítimos
Custo de Aquisição	Varia de acordo com o tipo de beacon de emergência	Varia de acordo com o equipamento de comunicação GMDSS	Varia de acordo com o equipamento de comunicação GMDSS	A ser determinado	Varia de acordo com o tipo de transponder S-AIS

Custo de Operação	Baixo (não requer taxas adicionais)	Alto (taxas de assinatura e uso)	Alto (taxas de assinatura e uso)	A ser determinado	Moderado (taxas de assinatura)
Capacidade de Rastreamento	Limitada, focada em localização de beacons de emergência	Limitada, principalmente para comunicações de voz e dados	Limitada, principalmente para comunicações de voz e dados	Rastreamento de objetos em movimento	Alta, rastreamento de navios equipados com transponders S-AIS

Fonte: Próprio autor

Por se tratar de uma tecnologia recente, o Starlink, está na comparação como uma possível solução para o futuro das operações SAR, devido ao custo de aquisição pequeno, velocidade alta e latência baixa, podendo levar essa tecnologia ser muito mais acessível em todas as partes do planeta. Uma importante limitação do sistema Starlink, é que sua oferta de serviço não tem nenhuma garantia de desempenho, exposta na tabela anterior na linha da confiabilidade, justamente por não negociarem um Acordo de Nível de Serviço.

5 CONCLUSÃO

Um sistema global de SAR não pode ser verdadeiramente eficaz sem a atribuição global de responsabilidades de coordenação de SAR e a padronização do sistema completo, incluindo equipamentos a bordo e comunicações, procedimentos de alerta, recursos de SAR e planejamento de resposta ao SAR. Em uma época de comércio global, seria imprudente para um navio estar equipado com um sistema não reconhecido ao navegar do outro lado do mundo, ou para as autoridades estabelecerem um sistema adequado apenas para uma parte dos usuários potenciais.

Obviamente, requisitos específicos podem ser estabelecidos localmente para populações de usuários limitadas, por exemplo embarcações de recreio que não navegam em alto mar. No entanto, ao considerar sistemas globais de satélite, a padronização e aceitação global são requisitos básicos. Portanto, era bastante óbvio que, a longo prazo, um único sistema EPIRB por satélite se tornaria o padrão mundial. Uma seleção teve que ser feita entre os sistemas de satélite propostos operando em 406 MHz ou 1,6 GHz (o sistema L-band) para garantir a eficácia em termos de custos e facilitar a aceitação global.

Atualmente, as operadoras de sistemas de comunicações via satélite estão se movendo em direção à oferta de conectividade multi-órbita. Esta abordagem inovadora é facilitada pelo uso de Redes de Larga Área Definidas por Software (SD-WAN), que permitem a seleção da melhor opção de conectividade com base em critérios como custo, latência, disponibilidade e confiabilidade. As tecnologias disponíveis para esta finalidade incluem LEO, MEO e GEO. Esta estratégia adaptativa oferece uma solução flexível e eficiente para empresas de telecomunicações, provedores de serviços móveis e grandes empresas, permitindo-lhes explorar os benefícios de diferentes camadas orbitais. Portanto, a era da conectividade multi-órbita representa um avanço significativo na indústria de comunicações via satélite.

5.1. Considerações Finais

Está claro que, apesar de uma diminuição nas perdas totais na indústria marítima na última década, a navegação pode e deve fazer mais para abordar proativamente as questões de segurança claramente refletidas nos dados de chamadas de emergência descritos neste relatório. Um aumento drástico nas chamadas de emergência nos últimos três anos em relação aos níveis pré-COVID é um indicador claro de que a indústria não emergiu da pandemia ileso.

Embora as tripulações e os proprietários de navios possam ter mostrado grande resiliência e aprendido a operar no ‘novo normal’, os dados do GMDSS sugerem que questões como fadiga dos marinheiros, acesso restrito ao estaleiro e realização de reparos no navio, e redução das inspeções de segurança, para citar alguns impactos importantes, provavelmente contribuíram para a ocorrência de mais incidentes de segurança.

À medida que a navegação continua a navegar por vários surtos e medidas de bloqueio da COVID ao redor do mundo, combinados com ocorrências geopolíticas atuais, podemos ver picos adicionais em incidentes de navios. A escassez de marinheiros e a concorrência dos setores terrestres também podem impactar os níveis adequados de tripulação.

5.2. Sugestões para Futuros Trabalhos

No atual momento em que a evolução tecnológica surpreende a humanidade a cada dia com novos lançamentos de foguetes, viagens ao espaço e novas descobertas a fim de baratear os custos com o âmbito espacial. Dessa forma como sugestão para trabalho futuro seria um estudo sobre o advento dessas tecnologias e como essas tecnologias seriam aplicadas no meio militar sem afetar a segurança, sem um decréscimo na performance dos equipamentos.

Com base no contexto apresentado, sugere-se como trabalho futuro a investigação do desenvolvimento de redes de comunicação via satélite que possam se integrar eficientemente com a infraestrutura terrestre existente, como as redes SD-WAN (Rede de Área Ampla Definida por Software). Tal estudo permitirá uma melhor distribuição e alocação de dados entre diferentes tipos de satélites e redes terrestres, potencialmente aprimorando a capacidade de comunicação do Sistema Global de Socorro e Segurança Marítima (GMDSS). Esta pesquisa poderia abrir caminho para avanços significativos na eficiência e confiabilidade das comunicações via satélite.

REFERÊNCIAS

BALOD, Y. C. **Monitoração de Satélites Geoestacionários**: Ampliando a capacidade de Guerra Eletrônica. Revista Passadiço, Rio de Janeiro, ano XXVIII, ed. 35, p. 20-25, 2015.

BLUESAT. **Iridium GMDSS**. Disponível em: <https://www.bluesat.com/products/safety-and-regulations/iridium-gmdss.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

COSPAS-SARSAT. **List and Map of MCCs**. Disponível em: <https://cospas-sarsat.int/en/professionnals/240-list-and-map-of-mccs>. Acesso em: 28 nov. 2023.

COSPAS-SARSAT. **Current Space Segment Status and SAR Payloads**. Disponível em: <https://cospas-sarsat.int/en/system/space-segment-status-pro/current-space-segment-status-and-sar-payloads-pro>. Acesso em: 28 nov. 2023.

COSPAS-SARSAT. **Transition to MEOSAR**. Disponível em: <https://cospas-sarsat.int/en/system-overview/transition-to-meosar>. Acesso em: 28 nov. 2023.

COSPAS-SARSAT. **GEOSAR Satellite Coverage**. Disponível em: <https://cospas-sarsat.int/en/system/detailed-leosar-geosar-system-description/geosar-satellite-coverage>. Acesso em: 28 nov. 2023.

COSPAS-SARSAT. **LEOSAR Satellite Coverage**. Disponível em: <https://cospas-sarsat.int/en/system/detailed-leosar-geosar-system-description/leosar-satellite-coverage>. Acesso em: 28 nov. 2023.

EASON, Craig. **Starlink's Rapid Move into Shipping**. Disponível em: <https://fathom.world/starlinks-rapid-move-into-shipping/>. Acesso em: 10 out. 2023.

EXACT EARTH. **Applications of Satellite AIS (S-AIS) for Search and Rescue**. Disponível em: <https://www.spacefordevelopment.org/wp-content/uploads/2018/06/Applications-of-Satellite-AIS-S-AIS-for-Search-and-Rescue.pdf>, 2013. Acesso em: 08 out. 2023.

KING, James V. . **Overviem of the Cospas-Sarsat Satellite System for Search and Rescue**. The Radio Club of America, Inc. Ottawa, 2013.

INMARSAT. **The Future of Maritime Safety Report**. Disponível em: <https://www.inmarsat.com/en/insights/maritime/2022/the-future-of-maritime-safety-2022.html>. Acesso em: 17 out. 2023.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **Convencao internacional para salvaguarda da vida humana no mar (SOLAS)**. Londres: IMO, 1974.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **IAMSAR Manual, Volume I - Organization and Management**. 12th ed. Londres: IMO, 2022.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **IAMSAR Manual, Volume II - Organization and Management**. 9th ed. Londres: IMO, 2022.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **IAMSAR Manual, Volume III - Organization and Management**. 12th ed. Londres: IMO, 2022.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **Manual International SafetyNet**. Londres: IMO, 2022.

INTERNATIONAL MARITIME RESCUE FEDERATION (IMRF). **Manual de Orientação para Resgate em Massa da IMRF**, Londres, Capítulo 25. 2019.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Os satélites e suas aplicações**. Sindicato dos servidores Públicos Federais na Área de Ciências e Tecnologia do Vale do Paraíba-SindCT, 2008.

LABRADOR, Virgil. **Satellite Communication**. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/jamming.php>, 20. Acesso em: 08 out. 2023.

LAVESQUE, Daniel. **The History And Experience Of The International Cospas-Sarsat Programme For Search And Rescue**. Paris, 2016.

RIEBEEK, Holli. **Catalog of earth satellite orbits**. Earth Observatory: NASA. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page1.php>, 2009. Acesso em: 08 out. 2023.

STARLINK. **Starlink Availability Map**. Disponível em: <https://www.starlink.com/map?view=availability>. Acesso em: 28 nov. 2023.

VERGARA, Sylvia. **Projetos e Relatórios de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.