

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG LUIZ CLAUDIO MONTEIRO DA FONSECA

CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA (MARITIME DOMAIN AWARENESS): AS

PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO PELO PODER NAVAL BRASILEIRO

Implementação de novas tecnologias visando ao incremento da Consciência Situacional

Marítima nas Operações de Busca e Salvamento da Marinha do Brasil.

Rio de Janeiro

2016

CMG LUIZ CLAUDIO MONTEIRO DA FONSECA

CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA (MARITIME DOMAIN AWARENESS): AS  
PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO PELO PODER NAVAL BRASILEIRO

Implementação de novas tecnologias visando o incremento da Consciência Situacional  
Marítima nas Operações de Busca e Salvamento da Marinha do Brasil.

Tese de doutorado apresentada à Escola de Guerra  
Naval, como requisito parcial para a conclusão do  
Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Alceu Oliveira Castro  
Jungstedt.

Rio de Janeiro  
Escola de Guerra Naval  
2016

*Para Cella, Pico e Tchuca.*

*Vocês são meu Coração, meu Ar e meu Sol.*

*Meu tesouro.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa Marcella e meus filhos Luiz Claudio e Sofia, agradeço pelo amor incondicional, paciência infinita e apoio irrestrito. Vocês são o meu porto seguro, minhas águas abrigadas, meu tesouro e minha razão de viver. Se cheguei até aqui foi por causa de vocês.

Aos meus pais Mauro e Vera, pela educação a mim dispensada ao longo da minha vida e pelo orgulho que sempre demonstraram do que alcancei com ela.

Ao meu orientador CMG (RM1) Alceu Oliveira Castro Jungstedt agradeço a paciência dispensada comigo. Sua permanente disponibilidade e orientações seguras e precisas foram extremamente importantes para a concretização desse trabalho.

À Escola de Guerra Naval por toda infraestrutura montada em prol do C-PEM e seus alunos. O meu reconhecimento pelo profissionalismo e dedicação de todos os instrutores, professores e militares do Departamento de Ensino para que tudo fosse sempre perfeito.

Por fim, agradeço à Marinha por mais essa oportunidade de engrandecimento profissional e pessoal.

*“Any intelligent fool can make things bigger, more complex, and more violent. It takes a touch of genius—and a lot of courage—to move in the opposite direction”*

Albert Einstein

*“A journey of a thousand miles must begin with a single step”*

Lao Tzu

## RESUMO

É apresentada a sugestão de incremento da Consciência Situacional Marítima (CSM) da Marinha do Brasil (MB) em suas operações de busca e salvamento (SAR), baseada na implantação de um sistema computacional de apoio à decisão a operações SAR dentro da estrutura da MB, em que o Serviço Meteorológico Marinho será o responsável pela integração do modelo oceanográfico HYCOM a um modelo de deriva de objetos no mar, bem como pela incorporação dos dados de corrente na superfície das boias de marcação de deriva (SLDMB) a ambos os modelos oceanográfico e de deriva. Os Centros de Coordenação SAR, com base nos dados da deriva calculados anteriormente, irão elaborar os respectivos planos de buscas. São apresentados vários sistemas de apoio à decisão SAR utilizados por países relevantes no cenário mundial e no contexto da América do Sul, tais como Estados Unidos da América, Canadá, Austrália, Noruega e Argentina. O *Search & Rescue Model and Response System* (SARMAP) foi o sistema apontado como ideal a ser incorporado à MB, baseado na necessidade premente de adequar o planejamento SAR da força aos padrões internacionais. Se a CSM é a efetiva compreensão de tudo que está associado ao meio marinho que pode causar impacto na defesa, na segurança, na economia e no meio ambiente do entorno estratégico, e a Marinha do Brasil tem definida constitucionalmente como uma de suas principais atribuições subsidiárias a de prover a segurança da navegação, sendo a responsável no âmbito nacional pela implantação, organização e operação de um Serviço de Busca e Salvamento Marítimo com o objetivo de salvaguardar a vida humana no mar, demonstra-se que a implantação de um Sistema de Apoio à Decisão, para as Operações SAR da MB, está não somente totalmente aderente às obrigações constitucionais da Marinha, mas também às convenções internacionais que presam pela vida humana no mar.

Palavras-chave: Boias de Marcação de Deriva. Busca e Salvamento. Consciência Situacional Marítima. Modelo de Deriva de Objeto no Mar. CANSARP. SAROPS. SARMAP. SLDMB.

## ABSTRACT

It's presented suggestions to increase the Maritime Domain Awareness of Brazilian Navy's Search and Rescue (SAR) operations, based on the implementation of a Search and Rescue Decision Support Computer System within the Navy structure. Where the Marine Meteorological Service will be responsible for integrating the oceanographic model HYCOM with the trajectory model as well as the incorporation of Self-Locating Datum Buoy surface current data in both oceanographic and drift models. The Rescue Coordination Centre, will draw up the search plans based on the drift data calculated before. Also, similar decision support systems are presented, currently in use in relevant worldwide countries such as United States, Canada, Australia and Norway, even in South America like Argentina. The Search & Rescue Model and Response System (SARMAP) was chosen as the best choice to be incorporated in the Navy, based on the imperative requirement for the Navy to adequate its SAR planning to international standards. If Maritime Domain Awareness is the effective understanding of any activity associated with the maritime environment that could impact upon the security, safety, economy or environment, and if the Brazilian Navy has constitutionally defined as one of its main tasks to provide the safety of navigation, being responsible at national level for the establishment, operation and maintenance of such maritime safety facilities in order to safeguard human life at sea, it is shown that the implementation of such decision support system for the Navy's search and rescue operations, is not only consistent with its constitutional obligations, but also with the international conventions concerned to preserve the safety of life at sea.

Keywords: Self-Locating Datum Marking Buoy. Search and Rescue. Maritime Domain Awareness. SAR Drift Modeling. CANSARP. SAROPS. SARMAP. SLDMB.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJB –	Águas Jurisdicionais Brasileiras
AMSA –	Australian Maritime Safety Authority
ANEMAR –	Anuário Estatístico da Marinha
CANSARP –	Canadian Search and Rescue Planning Program
CASP –	Computer-Assisted Search Planning
CCG –	Canadian Coast Guard
Cenpes –	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CFWOS –	Canadian Forces Weather and Oceanographic Service
CHM –	Centro de Hidrografia da Marinha
CNUDM –	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CODE –	Coastal Ocean Dynamics Experiment
COI –	Comissão Oceanográfica Intergovernamental
COMCONTRAM –	Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo
ComOpNav –	Comando de Operações Navais
CONCEPTS –	Canadian Operational Network of Coupled Environmental Prediction Systems
CSM –	Consciência Situacional Marítima
CWL –	Crosswind component of Leeway
DBM –	Doutrina Básica da Marinha
DHN –	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DGN –	Diretoria-Geral de Navegação
DM –	Domínio Marítimo
DN –	Distritos Navais

DWL –	Downwind component of Leeway
ECCO –	Estimating the Circulation and Climate of the Ocean
ECMWF –	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EDS –	Environmental Data Server
END –	Estratégia Nacional de Defesa
EUA –	Estados Unidos da América
FURG –	Universidade Federal do Rio Grande
GODAE –	Global Ocean Data Assimilation Experiment
GPL –	General Public License
GPS –	Global Positioning System
HYCOM –	Hybrid Coordinate Ocean Model
IAMSAR –	International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual
IEAPM –	Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
IFREMER –	<i>Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer</i>
IMO –	International Maritime Organization
INCOIS –	Indian National Centre for Ocean Information Services
INDOFOS –	Integrated Indian Ocean Forecasting System
iSLDMB –	Iridium Self-Locating Datum Marking Buoy
FAB –	Força Aérea Brasileira
FNS –	Fransk-Norsk Stiftelse
FOAM –	Forecasting Ocean Assimilation System
GUI –	Graphical User Interface
JCOMM –	Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology
JRCC –	Joint Rescue Coordination Centres
LCM –	Linhas de Comunicações Marítimas

LKP –	Last Known Position
MB –	Marinha do Brasil
MDA –	Maritime Domain Awareness
Met.no –	<i>Meteorologisk institutt</i>
MICOM –	Miami Isopycnic-Coordinate Ocean Model
MITgcm –	Massachusetts Institute of Technology General Circulation Model
MFS –	Ocean Forecasting System for the Mediterranean Sea
MN –	Milha náutica
MOM –	Modular Ocean Model
MOVE–	Multivariate Ocean Variational Estimation
MRI –	Japanese Meteorological Research Institute
MRSC –	Maritime Rescue Sub-Centre
NAVOCEANO –	United States Naval Oceanographic Office
NCEP –	National Centers for Environmental Prediction
NCODA –	Navy Coupled Ocean Data Assimilation
NEMO –	Nucleus for European Modelling of the Ocean
NERSC –	Nansen Environmental and Remote Sensing Center
NMEFC –	National Marine Environmental Forecast Center
NSPD –	National Security Presidential Directive
OFAM –	Ocean Forecasting Australia Model
OGCM –	Ocean General Circulation Model
OMM –	Organização Meteorológica Mundial
ONU –	Organização das Nações Unidas
PIW –	Person in water
PLADEPO –	Plano de Desenvolvimento do Programa Oceano

PNBOIA –	Programa Nacional de Boias
POC –	Probability of Containment
POD –	Probability of Detection
POS –	Probability of Success
RCC –	Rescue Control Center
REMO –	Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica
ROMS –	Regional Ocean Modeling System
RTOFS –	Real-time Ocean Forecast System
SALVAERO –	Serviço de Busca e Salvamento Aeronáutico
SALVAMAR –	Serviço de Busca e Salvamento Marítimo
SAR –	Search and Rescue
SARMAP –	Search and Rescue Model and Response System
SARMaster –	Search and Rescue Incident Management System
SAROPS –	Search and Rescue Optimal Planning System
SARP –	Search and Rescue Planning System
SECIRM –	Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
SIM –	Simulator
SisGAAZ –	Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul
SISTRAM –	Sistema de Informações Sobre o Tráfego Marítimo
SLDMB –	Self-Locating Datum Marking Buoy
SMM –	Serviço Meteorológico Marinho
SOLAS –	International Convention for the Safety of Life at Sea
SRU –	Search and Rescue Unit
TOPAZ –	Towards an Operational Prediction system for the North Atlantic European coastal Zones
UFBA –	Universidade Federal da Baía

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
USCG – United States Coast Guard  
USP – Universidade de São Paulo

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Concepção inicial do SisGAAz .....	27
Figura 2 –	Esquema da SLDMB .....	32
Figura 3 –	SLDMB configuradas para lançamento por aeronave .....	33
Figura 4 –	Grades aninhadas do HYCOM-CHM .....	41
Figura 5 –	Campo de corrente na superfície gerado pelo HYCOM-CHM em apoio ao SAR da aeronave A4 que caiu nas proximidades da praia de Jaconé, Saquarema-RJ .....	42
Figura 6 –	Esquema representativo das componentes de Arrasto (DWL) e Deslocamento (CWL) do vetor Deriva (L) devido ao Vento à 10 metros (W10m) .....	46
Figura 7 –	Esquema de forças que atuam sobre uma embarcação a deriva .....	47
Figura 8 –	Divisão das áreas SAR sob responsabilidade dos Distritos Navais .....	53
Figura 9 –	Incidentes SAR com embarcações (2006 – 2015) .....	54
Figura 10 –	Esquema de operação de um Sistema de Apoio à Decisão SAR .....	56
Quadro 1 –	Modelos Oceanográficos rodados no sistema do <i>GODAE-OceanView</i> .....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA</b> .....	21
2.1	Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul – SisGAAZ.....	26
<b>3</b>	<b>BOIA DE MARCAÇÃO DE DERIVA (SLDMB)</b> .....	29
<b>4</b>	<b>MODELAGEM OCEANOGRÁFICA</b> .....	35
<b>5</b>	<b>MODELO DE DERIVA DE OBJETOS NO MAR</b> .....	44
<b>6</b>	<b>SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA OPERAÇÕES SAR</b> .....	52
6.1	O SAROPS.....	58
6.2	LEEWAY.....	60
6.3	O CANSARP.....	61
6.4	O SARMAP.....	62
6.5	O SARMaster.....	64
6.6	O OpenDrift.....	64
6.7	Discussão sobre os Sistemas apresentados.....	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	67
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	72

## 1 INTRODUÇÃO

A Consciência Situacional Marítima<sup>1</sup> (CSM) é a efetiva compreensão de tudo que está associado ao meio marinho que pode causar impacto na defesa, na segurança, na economia e no meio ambiente do entorno estratégico.<sup>2</sup> Esse conceito foi introduzido no cenário mundial após os atentados de 11 de setembro, nos Estados Unidos da América (EUA), cujo governo passou a entender ser necessária a colaboração interagências para a consolidação do máximo de informações sobre o ambiente marítimo, a fim de promover a segurança interna do país e, como consequência, do próprio navegante.<sup>3</sup>

A Marinha do Brasil (MB), que já incorporou em sua doutrina o conceito de CSM,<sup>4</sup> tem como uma de suas principais atribuições subsidiárias a de “prover a segurança da navegação aquaviária” nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).<sup>5</sup> Sendo o Brasil signatário da Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (Convenção SOLAS), da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM, Jamaica 1982) e da Convenção Internacional de Busca e Salvamento Marítimo (Hamburgo, 1979), é responsabilidade da MB a implantação, organização e operação do Serviço de Busca e Salvamento Marítimo (SALVAMAR) do país que visa atender as emergências relativas à salvaguarda da vida humana no mar, que possam atingir os navegantes no mar e nas vias navegáveis interiores.<sup>6</sup>

A Convenção SOLAS, de 1974, estabelece que “Todos os Governos Contratantes comprometem-se a assegurar que sejam tomadas as medidas necessárias relativas às comunicações e à coordenação do socorro em sua área de responsabilidade, e ao salvamento de

---

<sup>1</sup> Tradução do termo em inglês *Maritime Domain Awareness (MDA)*.

<sup>2</sup> *Amendments to the International Aeronautical And Maritime Search And Rescue (IAMSAR) Manual*, 2010, p.1.

<sup>3</sup> *National Maritime Domain Awareness Plan for the National Strategy for Maritime Security*, 2013, p i-vi.

<sup>4</sup> Brasil, 2016, p. 1-4.

<sup>5</sup> Brasil, 1999 – Art. 17º item II.

<sup>6</sup> Comando de Operações Navais. SALVAMAR Brasil: Histórico. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/salvamarbrasil/historico.html>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

pessoas em perigo no mar nas proximidades de suas costas”.<sup>7</sup>

Segundo a CNUDM, “Todo Estado costeiro deve promover o estabelecimento, o funcionamento e a manutenção de um adequado e eficaz serviço de busca e salvamento para garantir a segurança marítima e aérea”.<sup>8</sup>

O Brasil como signatário de as ambas convenções tem o dever de zelar pelas atividades afetas ao auxílio à vida humana em perigo em uma extensa área marítima do Atlântico Sul, nos seus portos e águas interiores. Nesse sentido, conforme determinado no artigo 2º da Lei 7.273 de 10/12/1984, cabe à Marinha do Brasil “superintender e supervisionar o Serviço de Busca e Salvamento na área SAR brasileira e nas vias navegáveis interiores do País, a fim de contribuir para a salvaguarda da vida humana”, sendo essa atribuição delegada ao Comando de Operações Navais pela Port nº 156/MB/2004.<sup>9</sup>

A fim de ser possível o monitoramento das AJB, bem como da área de responsabilidade SAR do país, com eficiência e eficácia, foi concebido pela MB a ideia de criação de um sistema de monitoramento e controle aproveitando as estruturas e sistemas já existentes e em desenvolvimento na MB, incorporando dados advindos de outros sistemas extramarinha, para a proteção do litoral brasileiro. Denominado de Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), este será o principal sistema de comando e controle da Marinha, englobando tarefas de vigilância, monitoramento, prevenção a poluição e da salvaguarda da vida humana no mar, estando completamente consonante com o conceito de CSM.<sup>10</sup>

Criado pelo Aviso nº N-0201 de 20 de fevereiro de 1970, do Ministro da Marinha, o Serviço de Busca e Salvamento da Marinha tem sob sua responsabilidade uma extensa área do Oceano Atlântico, que abrange toda a costa brasileira partindo do Cabo Orange até o Arroio Chuí se estendendo até o meridiano de 10ºW, além das águas interiores, rios e lagos navegáveis. Toda essa área de responsabilidade é subdividida em sub-regiões, as quais ficam sob a

---

<sup>7</sup> SOLAS, Cap. V, Regra 7, item 1.

<sup>8</sup> CNUDM, Art. 98, item 2.

<sup>9</sup> Brasil, 2010, p. 2.

<sup>10</sup> Brasil, 2012b, p. 71.

coordenação dos Distritos Navais (DN).

O Chefe do Serviço de Busca e Salvamento da Marinha é o SALVAMAR BRASIL e está estruturado dentro do Comando de Operações Navais (ComOpNav).

Os principais recursos disponíveis para utilização nas operações SAR são os navios e aeronaves subordinados aos Comandos dos Distritos Navais, sendo que há permanentemente um Navio de Serviço Distrital de prontidão para o atendimento de incidente SAR em cada uma das áreas sob responsabilidade dos DN. Apesar do avanço tecnológico do final do século XX e início do atual século, a estimativa da posição e da deriva<sup>11</sup> de um navegante acidentado no mar na MB é ainda calculada manualmente, baseada nas instruções e tabelas do *International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual* (manual IAMSAR) Volume III.

O conhecimento do meio ambiente da área de operações, das capacidades e restrições dos meios envolvidos e do tráfego marítimo nas proximidades do incidente, sem dúvida alguma, são capacitações que incrementam a CSM das operações SAR, aumentando consideravelmente as chances de sucesso dessa importante tarefa sob responsabilidade da MB. Nesse contexto, o SisGAAz será uma ferramenta de valor incomensurável para a eficácia da busca e salvamento do navegante sinistrado. Porém, tendo em vista a atual situação de paralisação do projeto, devido às fortes restrições orçamentárias,<sup>12</sup> essa é uma ferramenta com a qual não há horizonte de tê-la disponível para uso da MB. Contudo, existem outras tecnologias voltadas para a localização de objetos acidentados no mar, amplamente utilizadas por serviços SAR de outras nações, que com pouco investimento poderiam ser incorporadas à MB trazendo possíveis ganhos na probabilidade de sucesso dessas buscas.

A tentativa de medir e prever a deriva de objetos envolvidos em operações de busca e salvamento (SAR) remonta os idos de 1944 quando Frederick Pingree publicou o primeiro estudo de deriva de objetos no mar utilizando balsas salva vidas.<sup>13</sup> Por volta do início dos anos

---

<sup>11</sup> Deriva é movimento de um objetivo da busca, causado por forças ambientais (IAMSAR, vol. III, p. 12).

<sup>12</sup> Pinho Filho, 2016.

<sup>13</sup> Pingree, 1944.

1970 a Guarda Costeira Americana utilizou pela primeira vez um sistema de planejamento de operações SAR baseadas em métodos computacionais. Entretanto, foi em 1977 que tornou-se operacional o primeiro sistema computacional de planejamento de operações SAR, o *Computer-Assisted Search Planning (CASP)* que estimava a localização do objeto a ser procurado em função do tempo por meio de métodos estatísticos partindo-se de uma posição inicial conhecida e utilizando um modelo primitivo de deriva de objeto no mar.<sup>14</sup> A partir daí, os sistemas computacionais de apoio a decisão para operações SAR foram evoluindo cada vez mais conforme foram sendo aprimoradas as teorias sobre a deriva de diferentes tipos de objetos no mar, bem como a evolução dos modelos matemáticos de previsão de correntes e ventos, associadas ao crescimento da computação de alto desempenho.

A utilização de métodos determinísticos para a estimativa de posição de um objeto sinistrado no mar é algo amplamente empregado em vários serviços de busca e salvamento marítimos de inúmeros países, tais como EUA, Canadá, França, Noruega, Alemanha, Holanda, Dinamarca, Reino Unido, África do Sul, Indonésia, entre outros. Notadamente, uma série de avanços conquistados nessa área, na última década, têm sido apresentados e compartilhados principalmente por meio de conferências sobre “Tecnologias para Busca e Salvamento e outras Operações Marítimas de Emergência”, organizadas pelo Instituto de Pesquisas Marítimas Francês (IFREMER) com apoio do Instituto Meteorológico Norueguês (Met.no), da Guarda Costeira dos Estados Unidos (USCG), da Fundação Franco-norueguesa (FNS<sup>15</sup>) e da Comissão Técnica Mista OMM<sup>16</sup>/COI<sup>17</sup> de Oceanografia e Meteorologia Marinha (JCOMM).<sup>18</sup> Dentre os mencionados avanços pode-se destacar o projeto da Boia de Marcação de Deriva (SLDMB<sup>19</sup>),<sup>20</sup>

---

<sup>14</sup> Richardson e Discenza, 1980.

<sup>15</sup> Sigla do termo em norueguês *Fransk-Norsk Stiftelse*.

<sup>16</sup> A Organização Meteorológica Mundial (OMM) é uma agência especializada da ONU.

<sup>17</sup> A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) é uma comissão da UNESCO.

<sup>18</sup> Breivik *et al*, 2013.

<sup>19</sup> Sigla do termo em inglês *Self-Located Datum Marker Buoy*. Tradução conforme Brasil, 2015b, p. 17/34.

<sup>20</sup> Stone, 2011. e Williams e Zeyger, 2011.

a incorporação dos dados levantados pelos sensores dessas boias nos modelos oceanográficos<sup>21</sup> e os modelos de previsão de derivas de objeto no mar em uso por esses países.<sup>22</sup>

Este estudo buscará a identificação de possibilidades de melhorias da CSM nas operações SAR no mar por meio da incorporação de novos sensores de medição de correntes, bem como da utilização de modelos de previsão oceanográfica e de deriva de objeto no mar aplicados ao apoio à decisão das operações de busca de objetos à deriva. Ressalta-se que as mencionadas técnicas a serem propostas produzirão dados que serão relevantes para o Projeto SisGAAz que, apesar de atualmente estar paralisado, quando em funcionamento será um grande passo para a MB em busca da CSM nas águas jurisdicionais.

Este trabalho compõe-se de, além da introdução, mais cinco capítulos. No capítulo 2 serão apresentados os conceitos de Consciência Situacional Marítima, suas metas e caminhos para que seja alcançada. Ainda nesse capítulo será abordado o SisGAAz como um importante projeto da MB rumo à CSM.

No capítulo 3 será apresentado o conceito de Boia de Marcação de Deriva (SLDMB), o seu uso e impacto no sucesso das ações de alguns dos principais serviços de busca e salvamento no mundo. Serão também abordadas algumas ações já em curso pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), através do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), que podem ser aproveitadas nas operações SAR da MB até a incorporação do uso das SLDMB.

A conceituação de modelagem oceanográfica e apresentação do Modelo Oceanográfico HYCOM, operado pelo Serviço Meteorológico Marinho do CHM, serão descritos no capítulo 4, bem como a importância desses dados, já disponíveis, para as operações SAR da MB.

O capítulo 5 abordará os conceitos teóricos comuns e responsáveis pelo desenvolvimento dos modelos de deriva de objeto no mar e, finalmente no capítulo 6 serão apresentados os sistemas de apoio à decisão para operações SAR em uso em algumas marinhas

---

<sup>21</sup> Pavec, Turpin e Taillandier, 2011.

<sup>22</sup> Stone, Kratzke e Frost, 2011.

e guardas costeiras no mundo. Esses sistemas utilizam dados obtidos das SLDMB conjugando-os com os resultados dos modelos oceanográficos e servem como entrada para os modelos numéricos de previsão de deriva de objeto no mar para o planejamento das operações SAR. A partir dos dados acurados de corrente no local do sinistro, a deriva do objeto no mar e o método de recobrimento da área SAR são calculados através de softwares específicos de auxílio a decisão, aumentando significativamente a probabilidade de detecção do objeto. Serão citados como exemplo os sistemas SARMAP,<sup>23</sup> CANSARP,<sup>24</sup> SAROPS,<sup>25</sup> LEEWAY, SARMaster<sup>26</sup> e OpenDrift.<sup>27</sup>

Por último será apresentada uma conclusão com uma proposta à MB de adoção de algumas tecnologias existentes e em pleno uso por serviços SAR de outros países para o aprimoramento das operações de busca e salvamento sob responsabilidade do SALVAMAR BRASIL, mais especificamente voltadas para a determinação da posição de objetos à deriva por meio de métodos determinísticos. Ressaltando que as técnicas a serem incorporadas poderão ser exportadas para o SisGAAz, quando este sistema estiver operacional.

---

<sup>23</sup> Utilizado pela Guarda Costeira Irlandesa (ICG).

<sup>24</sup> Utilizado pela Guarda Costeira do Canadá (CCG).

<sup>25</sup> Utilizado pela Guarda Costeira dos Estados Unidos (USCG).

<sup>26</sup> Utilizado pela França e pela Força Aérea Brasileira (FAB)

<sup>27</sup> Ambos utilizados pelo Instituto Meteorológico Norueguês (Met.no).

## 2 CONSCIÊNCIA SITUACIONAL MARÍTIMA

O mar sempre se mostrou ser fundamental para o desenvolvimento e a sobrevivência das nações. Objeto de admiração do ser humano desde os tempos mais antigos, o mar é fonte de alimento por meio da pesca e sob o qual localizam-se grandes reservas de petróleo, além de compostos metálicos de grande importância industrial, conhecidos como nódulos polimetálicos. Além do petróleo, o mar é essencial na busca por novas fontes de energia tais como por meio de estações maregráficas e a energia eólica, tendo em vista que suas torres são comumente posicionadas em regiões litorâneas.<sup>28</sup>

Além disso, é amplamente sabido que a maior parte do comércio mundial tem sido realizada por via marítima, alcançando no Brasil cerca de 95% do volume das exportações e importações.

A era pós-Guerra Fria gerou sérios desafios às forças navais nos EUA com a mudança do perigo convencional representado pela marinha soviética pela ameaça assimétrica de terroristas que poderiam disparar um ataque a partir de qualquer navio ou plataforma no mar ou atracado em um dos inúmeros portos norte-americanos. Esse cenário se intensificou com o aumento do tráfego marítimo resultante da expansão comercial global, levando o governo dos EUA, após os atentados de 11 de setembro, a reconhecer que a capacidade de processar as informações marítimas não acompanhou o mencionado crescimento de volume e ameaça.

Nesse contexto, o governo norte-americano teve a iniciativa de disparar um programa governamental para o estabelecimento de uma rede de comunicações e informações a fim de possibilitar o alcance da Consciência Situacional Marítima (CSM),<sup>29</sup> que define-se pelo efetivo conhecimento e entendimento de qualquer acontecimento associado ao domínio marítimo que pode impactar na defesa, segurança, economia ou no meio ambiente, em que Domínio Marítimo (DM) pode ser entendido como sendo “todas as áreas e fatos de, sobre, sob,

---

<sup>28</sup> Barbosa Junior e More, 2012. p. 23.

<sup>29</sup> Kreishre, 2008, p. 12-15.

relativos a, adjacentes a, ou limítrofes a um mar, oceano, ou outra via navegável, incluindo todas as atividades marítimas relacionadas, infraestruturas, pessoas, cargas, navios e outros meios que devem ser de conhecimento e controle do Estado”.<sup>30</sup>

Conceito esse consonante com o discurso do Presidente George W. Bush em que destacou que “o coração do programa da Consciência Situacional Marítima é a informação precisa, através de inteligência, vigilância e reconhecimento de todas as embarcações, cargas e pessoas sendo transportadas muito além das fronteiras marítimas tradicionais”.<sup>31</sup> Centrado nas ideias desse discurso, em dezembro de 2004 o Presidente Bush emitiu a Diretiva Presidencial de Segurança Nacional nº 41 (NSPD<sup>32</sup>-41) que estabeleceu a política, as linhas mestras e as ações de implementação para melhorar a segurança nacional dos Estados Unidos protegendo os interesses marítimos norte-americanos.

Nesse documento o governo norte-americano reconhece as vulnerabilidades inerentes ao ambiente marinho, tendo em vista o caráter complexo e imenso desse ambiente, bem como a facilidade única de liberdade de movimento e escoamento de mercadorias enquanto permite o livre trânsito e transporte pessoas e cargas, muitas vezes de forma anônima, o que não é normalmente permitido quando esse trânsito ou transporte ocorrem sobre terra ou ar<sup>33</sup>.

A partir das orientações emitidas através da NSPD-41, o governo dos EUA entendeu que a segurança marítima seria melhor alcançada integrando os setores público e privado voltados à segurança das atividades relacionadas ao mar, num esforço integrado em escala global direcionados a todas as ameaças marítimas. Desta forma foi estabelecida uma nova Estratégia Nacional de Segurança Marítima, em 2005, alinhando todos os programas e iniciativas governamentais voltados à segurança marítima num esforço nacional envolvendo órgãos nacionais, federais e municipais, bem como entidades do setor privado. Adicionalmente,

---

<sup>30</sup> *National Maritime Domain Awareness Plan for the National Strategy for Maritime Security*, 2013. Tradução do original em inglês nossa.

<sup>31</sup> Citado no *National Plan to Achieve Maritime Domain Awareness*, 2005. Tradução do original em inglês nossa.

<sup>32</sup> Sigla do termo em inglês *National Security Presidential Directive*.

<sup>33</sup> Bush, 2004, p. 2.

esta estratégia foi desdobrada em oito planos de apoio especificamente direcionados para ameaças e desafios do ambiente marítimo. É importante salientar que enquanto os referidos planos são direcionados a diferentes aspectos da segurança marítima, eles são interligados, reforçando-se mutuamente.<sup>34</sup> São eles:

- Plano Nacional para Alcançar a Consciência Situacional Marítima<sup>35</sup> – estabelece os fundamentos para o entendimento efetivo de qualquer ação relacionada ao DM que pode impactar na segurança, salvaguarda, economia, ou meio ambiente dos EUA, identificando essas ameaças o mais cedo e distante possível do país. É interessante ressaltar que esse é o primeiro documento que inclui o conceito de segurança em termos de salvaguarda (*safety*) como objetivo da CSM.
- Plano Integrado de Inteligência Global Marítima<sup>36</sup> – busca utilizar as capacitações existentes para integrar todas as informações de inteligência relacionadas a potenciais ameaças a interesses dos EUA no DM.
- Plano Operacional de Resposta à Ameaças Marítimas<sup>37</sup> – é voltado para a resposta coordenada do governo americano às ameaças aos EUA e seus interesses no DM, por meio do estabelecimento de regras e responsabilidades que permitem ao governo promover respostas rápidas e precisas.
- Estratégia de Coordenação e Extensão Internacional<sup>38</sup> – provê uma infraestrutura para coordenar todas as iniciativas de segurança marítima tomadas em conjunto com governos estrangeiros e organizações internacionais, e solicita apoio internacional para o engrandecimento da segurança marítima.
- Plano de Recuperação da Infraestrutura Marítima<sup>39</sup> – traz recomendações de procedimentos e padronizações para a recuperação de infraestruturas marítimas

---

<sup>34</sup> *The National Strategy for Maritime Security*, 2005, p. ii.

<sup>35</sup> *National Plan to Achieve Maritime Domain Awareness*.

<sup>36</sup> *Global Maritime Intelligence Integration Plan*.

<sup>37</sup> *Maritime Operational Threat Response Plan*.

<sup>38</sup> *International Outreach and Coordination Strategy*.

<sup>39</sup> *Maritime Infrastructure Recovery Plan*.

parcialmente destruídas ou desmembradas após um ataque.

– Plano de Segurança do Sistema de Transporte Marítimo<sup>40</sup> – é uma resposta à determinação presidencial com recomendações para a melhoria da infraestrutura regulatória, nacional e internacional, nos assuntos concernentes ao DM.

– Plano de Segurança do Comércio Marítimo<sup>41</sup> – estabelece um plano abrangente para assegurar a cadeia de abastecimento marítima.

– Plano de Extensão Doméstica<sup>42</sup> – engloba as ações não-federais que contribuem com o desenvolvimento e implementação de políticas de segurança marítima resultantes de desdobramentos da NSPD-41.

Juntos, a Estratégia Nacional para a Segurança Marítima e seus oito planos de apoio representam um esforço nacional abrangente, do governo norte-americano, para o aumento da segurança dos Estados Unidos a partir da prevenção de ações hostis e ilegais dentro do DM.<sup>43</sup>

Releva mencionar que o alcance da CSM depende da capacidade de monitorar as atividades de tal forma que as ameaças possam ser identificadas e as anomalias percebidas e diferenciadas. Os dados por si só não são suficientes. Eles necessitam ser coletados, fundidos e analisados, preferencialmente de forma automatizada com a assistência de computadores e algoritmos específicos, capazes de realizar a integração e análise de fluxo de dados vastos e variados, de forma que o tomador da decisão operacional possa antecipar as ameaças e ter a iniciativa de dissuadi-las.<sup>44</sup>

Os objetivos da CSM podem ser descritos em uma lista de tarefas essenciais que servirão de guia para o desenvolvimento de capacitações que ao serem perseguidas e alcançadas permitirão o efetivo entendimento do DM, a saber:<sup>45</sup>

#### 1. O monitoramento contínuo do DM, em termos de embarcações, seja lanchas ou

<sup>40</sup> *Maritime Transportation System Security Plan.*

<sup>41</sup> *Maritime Commerce Security Plan.*

<sup>42</sup> *Domestic Outreach Plan.*

<sup>43</sup> *National Plan to Achieve Maritime Domain Awareness, 2005, p. i.*

<sup>44</sup> *Idem, p. 2.*

<sup>45</sup> *Idem, p. 3.*

- navios, carga, tripulações e passageiros, em todas as áreas de interesse;
2. O acesso e a manutenção de dados e informações sobre navios, facilidades e infraestruturas portuárias;
  3. A coleta, fusão, análise e disseminação de informações para os tomadores de decisão facilitando o entendimento efetivo da situação; e
  4. O acesso, desenvolvimento e manutenção de dados e informações no que concerne à performance das missões relacionadas à CSM.

O propósito da CSM é **facilitar a tomada de decisão de forma acurada com a devida antecedência**, entendendo que a CSM não direciona ações mas permite-as serem tomadas mais rapidamente e com precisão, podendo ser alcançada por meio da **coleta, análise e compartilhamento de dados e informações** para os tomadores de decisão com uma antecedência compatível, bem como da **aplicação do conhecimento funcional e operacional** no contexto da ameaça existente ou com potencial de surgir.<sup>46</sup>

Pinto<sup>47</sup> demonstrou que o Brasil, principalmente por intermédio da MB, já tinha iniciado as primeiras ações para adequar-se ao conceito de CSM, tendo em vista a importância da Segurança do Domínio Marítimo para o país. Nesse contexto, em 2014, a Doutrina Básica da Marinha (DBM)<sup>48</sup> foi revisada incluindo o conceito de CSM como sendo:

A efetiva compreensão de tudo que está associado com o meio marinho que **pode causar impacto na defesa, na segurança**, na economia e no meio ambiente do entorno estratégico. É a formação da percepção advinda do processamento de dados disponíveis que podem afetar as Linhas de Comunicações Marítimas (LCM), a exploração e o aproveitamento dos recursos no mar; o meio ambiente; a soberania nas Águas Jurisdicionais; e a **salvaguarda da vida humana no mar na região de responsabilidade de Busca e Salvamento (Search and Rescue – SAR)**, resultando em informações acuradas, oportunas e relevantes. (Grifo nosso)

É importante ressaltar que, em que pese que todo conceito de CSM foi desenvolvido com base numa preocupação eminentemente quanto à segurança (*security*) dos EUA, no que concerne a, principalmente, ações a fim de prevenir possíveis ataques àquele país, ao ser

<sup>46</sup> *National Plan to Achieve Maritime Domain Awareness*, 2005, p. 12, grifo nosso.

<sup>47</sup> Pinto, 2013, p. 70.

<sup>48</sup> Brasil, 2014, p. 1-4.

incorporado o conceito na DBM foi também vislumbrada a importância da CSM da segurança (*safety*) do navegante, interpretação essa também assimilada pelo Manual da IAMSAR, sendo nesse sentido, o da segurança do navegante, que as ações propostas no presente trabalho refletem-se de vital importância para a busca dessa Consciência.

## 2.1 Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul – SisGAAZ

Em seu trabalho, Pinto<sup>49</sup> descreveu diversas ações em curso na MB a fim de permitir o acompanhamento/monitoramento, controle e intercâmbio de informação de tráfego marítimo, nas AJB, eminentemente sob responsabilidade do Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo (COMCONTRAM), que busca a contribuição para a CSM da área marítima sob responsabilidade da MB, através do Sistema de Informações Sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM IV).<sup>50</sup>

Entretanto, consonante com a diretriz nº 3 da Estratégia Nacional de Defesa (END)<sup>51</sup> que estabelece como uma meta a capacidade de monitorar e controlar as AJB, além do território e espaço aéreo nacionais, a partir da utilização de um sistema de monitoramento marítimo nacional, a MB está empenhada em implementar um sistema de monitoramento, comando e controle aderente ao conceito de segurança marítima e dedicado eminentemente ao monitoramento da imensa área da nossa Amazônia Azul,<sup>52</sup><sup>53</sup> que corresponde a 4,5 milhões de quilômetros quadrados, representando aproximadamente a metade da área territorial do país.

---

<sup>49</sup> Pinto, 2013, p. 60.

<sup>50</sup> Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo. Disponível em: <https://www1.mar.mil.br/comcontram/?q=content/missao-0>. Acesso em 03 jul. 2013

<sup>51</sup> Brasil, 2012a, p. 11.

<sup>52</sup> O termo “Amazônia Azul<sup>®</sup>” foi criado pelo Almirante de Esquadra Roberto de Guimarães Carvalho, Comandante da Marinha à época, e ganhou destaque no âmbito nacional após ser publicado em um artigo com o nome “A Outra Amazônia” no Jornal “Folha de São Paulo”, no dia 25 fev. 2004. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/fz2502200409.htm>>. Acesso em 31 mar. 2016.

<sup>53</sup> A marca “Amazônia Azul<sup>®</sup>” está registrada pela Diretoria de Marcas (DIRMA) do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), em nome do Comando da Marinha – Centro de Comunicação Social da Marinha, para fins de campanhas educativas e culturais, distribuição de material publicitário e de cunho promocional, e de projetos técnico-científicos, pesquisas geológicas, oceanográficas e biológicas, processos nº 828732558, 828774412 e 828774420, respectivamente.

Nesse contexto está inserido Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAZ).

Sendo um dos sete projetos estratégicos da MB, o SisGAAZ pode ser entendido como um Sistema de Sistemas para o monitoramento das AJB. Um Sistema de Sistemas é, na verdade, um conjunto ou arranjo de sistemas que são relacionados ou interconectados para prover uma determinada capacidade que, caso contrário, de forma independente, não seria possível. Nesse sentido a perda de qualquer uma das partes de sistema suporte degradaria ou, até mesmo, incapacitaria a performance de todo o sistema.<sup>54</sup> Na FIG. 1 pode-se observar a concepção inicial do SisGAAZ com ênfase no conceito de um “Sistema de Sistemas”.

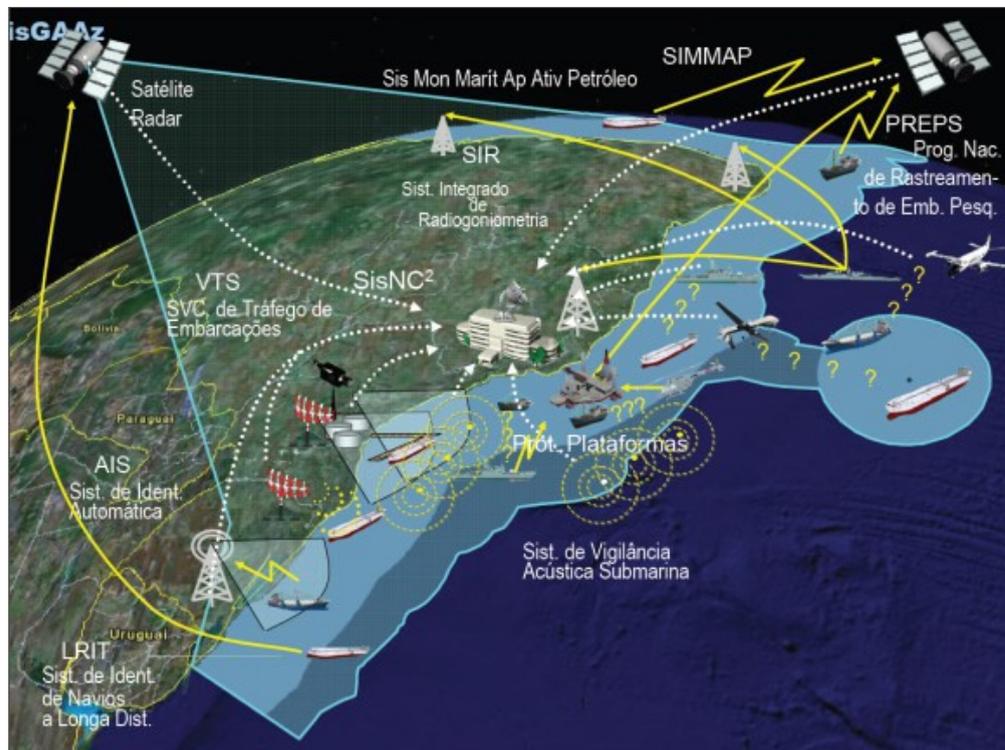


FIGURA 1 – Concepção inicial do SisGAAZ  
Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2013, p. 37.

O Projeto SisGAAZ encontra-se atualmente paralisado, tendo em vista as fortes restrições orçamentárias enfrentadas pela MB neste ano,<sup>55</sup> o que não significa que os sistemas que suportarão esse importante projeto não possam ser desenvolvidos antecipadamente, de forma independente, para quando os demais sistemas estiverem prontos a tornar o SisGAAZ

<sup>54</sup> MITRE *Systems Engineering Guide*, 2014, p. 606.

<sup>55</sup> Pinho Filho, 2016.

operacional. Como é o caso do Sistema de Informações Sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM IV), operado na MB pelo COMCONTRAM,<sup>56</sup> e que possivelmente fará parte do SisGAAz.<sup>57</sup>

O SisGAAz, quando operacional será uma enorme ferramenta de auxílio à decisão, contudo para que seja possível utilizá-lo na sua plenitude em apoio às operações SAR, necessitará de um acurado sistema de previsão de deriva e planejamento de derrotas de missões SAR levando-se em conta as unidades disponíveis para efetuar as busca e a trajetória do objeto a ser salvo. O presente trabalho visa apresentar para a MB a importância de implementação desse subsistema, com base em modelos já utilizados em centros de busca e salvamento operados por outros países.

---

<sup>56</sup> Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo. Disponível em <<https://www1.mar.mil.br/comcontram/?q=sistram-iv-sistema-de-informações-sobre-o-tráfego-marítimo>>. Acesso em 03 jul. 2016.

<sup>57</sup> Chaves Junior, 2013, p. 26-27 e Pinto, 2013, p. 39.

### 3 BOIA DE MARCAÇÃO DE DERIVA (SLDMB)

Holton<sup>58</sup> esclarece que a base teórica necessária à previsão numérica ambiental já é de conhecimento da ciência desde meados do século XX, contudo foi com o advento da computação e seu incrível crescimento, nas últimas décadas daquele século, que o efetivo uso dessas equações tornou-se possível, a partir da discretização<sup>59</sup> dessas equações em métodos numéricos computacionais e suas reiteradas iterações em processadores cada vez mais velozes.

A previsão numérica consiste na determinação de uma situação futura a partir de um estado inicial, utilizando aproximações da dinâmica do movimento e sua integração ao longo do tempo. No caso do planejamento de uma operação SAR, o sucesso da operação (POS<sup>60</sup>) é função da probabilidade do objeto encontrar-se dentro da área de busca (POC<sup>61</sup>) e da probabilidade dele ser detectado (POD<sup>62</sup>), conforme a relação:

$$POS=POC * POD$$

POS é a probabilidade de um objeto, ou alguém, ser encontrado numa determinada busca, POC é a probabilidade do que está sendo buscado estar efetivamente dentro da área planejada da busca, o que conseqüentemente o torna função da acurácia do cálculo da deriva do objeto buscado, e POD é a probabilidade do objeto buscado ser detectado, considerando que está dentro da área de busca. POD é função do fator de cobertura, das condições de navegabilidade da unidade de busca em relação ao padrão de busca estabelecido, e dos sensores utilizados para detecção do objeto ou pessoa buscado.<sup>63</sup>

<sup>58</sup> HOLTON, J. R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 3ª ed. Academic Press, Seattle, Washington, 1992. Citado por FONSECA, 2005.

<sup>59</sup> Discretização é a substituição do domínio contínuo, com infinitos pontos, de um problema no mundo real por um conjunto finito de pontos representativos, com o intuito de, a partir daí, tratar computacionalmente o problema buscando-se sua solução. Quanto maior for o número de pontos do domínio discretizado, mais próximo esse estará da realidade, entretanto sua solução consumirá maior poder computacional (DURRAN, 1998, p.27).

<sup>60</sup> Sigla do termo em inglês *Probability of Success*.

<sup>61</sup> Sigla do termo em inglês *Probability of Containment*.

<sup>62</sup> Probabilidade de Detecção (*Probability of Detection-POD*) é a probabilidade de se localizar o objeto, supondo que se encontra nas áreas em que estão nas áreas designadas para busca. A POD é uma função do fator de cobertura, do sensor utilizado, das condições da busca e da precisão da navegação do recurso SAR para realizar a busca (BRASIL, 2015b, p. 68/311).

<sup>63</sup> *International Aeronautical And Maritime Search And Rescue (IAMSAR) Manual Volume II*, 2013, p. xxi.

Portanto, por trás de uma operação SAR deverá haver um sistema muito bem montado de coleta e compartilhamento de informações tanto antes quanto durante a operação, com a possibilidade de elaborar simulações contínuas das possíveis trajetórias do alvo buscado,<sup>64</sup> cenário totalmente aderente ao propósito de melhoria da segurança (*safety*) do navegante, constante no conceito da CSM.

Fonseca<sup>65</sup> apresentou em seu trabalho uma proposta de implantação de um modelo de deriva de objetos no mar, o modelo SARMAP, na estrutura de busca e salvamento da Marinha, tendo em vista à época este modelo estar sendo operado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), para apoio às operações SAR da PETROBRAS na Bacia de Campos, por meio de um acordo que havia entre o CHM e aquela empresa. Em que pese que o acordo tenha sido interrompido, tendo a própria PETROBRAS assumido a responsabilidade de operar seu próprio modelo SAR, alguns resultados consistentes foram obtidos e publicados por ocasião do evento SAR do voo AF-447.<sup>66</sup>

Alguns dos principais sistemas de apoio à decisão SAR existentes, que utilizam modelos de deriva de objetos no mar, serão abordados mais detidamente no capítulo 6 do presente trabalho, entretanto pode-se adiantar que uma das principais fontes de erro da estimativa de trajetória de objetos no mar está relacionada à estimativa do campo de correntes superficiais. Nos anos 1980s, a Guarda Costeiras dos Estados Unidos (USCG) iniciou um programa de medição em tempo “quase-real<sup>67</sup>” da corrente de superfície a partir do desenvolvimento de flutuadores que simulassem a deriva de objetos devido ao efeito das correntes sofrendo pouco efeito de deriva causada pelos ventos, as chamadas Boias de Marcação de Deriva (SLDMB<sup>68</sup>).

---

<sup>64</sup> Vettor e Soares, 2015, p. 2849.

<sup>65</sup> Fonseca, 2008.

<sup>66</sup> Lima *et al*, 2013 p. 211.

<sup>67</sup> Em tempo quase-real significa que o dado medido está disponível ao usuário em questão de horas após a medição. Quando esse intervalo é diminuído a ponto do dado ser disponibilizado imediatamente após a medição, diz-se que é em tempo real.

<sup>68</sup> Sigla do termo em inglês *Self-Located Datum Marker Buoy*. Tradução conforme Brasil, 2015b, p. 17/34.

Mediante o uso das SLDMB foram montados campos de corrente cada vez mais confiáveis para serem alimentados nos modelos de deriva, promovendo portanto uma grande contribuição para o sucesso das operações SAR naquele país.<sup>69</sup>

A SLDMB é uma boia de deriva de superfície planejada para medir a corrente da superfície do mar baseada nos estudos de Davis<sup>70</sup> durante o *U. S. Costal Ocean Dynamics Experiment (CODE)*, e foram desenhadas inicialmente para serem lançadas pelas embarcações da USCG durante as operações SAR. Equipadas com um posicionador GPS,<sup>71</sup> em contato com a água salgada, elas começam a transmitir suas posições via rádio para a embarcação envolvida na operação SAR, fornecendo assim a medição não só da corrente como a deriva, propriamente dita, de pequenos objetos no mar, o que tornou-se uma enorme contribuição para a estimativa do alvo a ser buscado. Posteriormente, com a diminuição do tamanho dos posicionadores GPS e dos transmissores rádio, foi elaborada uma versão das SLDMB capaz de serem lançadas por aeronaves de asa fixa ou rotativa.<sup>72</sup> Em seguida, Allen<sup>73</sup> apresentou uma solução para utilizar a transmissão dos dados das SLDMB pela rede Argo,<sup>74</sup> que por ser satelital, possibilita grande flexibilidade de acompanhamento da deriva das boias, otimizando ainda mais seu emprego nas operações SAR.

Atualmente busca-se a utilização do sistema satelital de comunicações *Iridium* para a transmissão dessas posições, são as iSLDMB,<sup>75</sup> o que permitirá um aumento considerável na frequência de atualização da posição desse tipo de boia, possibilitando um acompanhamento contínuo, se necessário, promovendo substancial aumento na acurácia das informações de

---

<sup>69</sup> Breivik *et al*, 2013, p. 84 e Vettor e Soares, 2015, p. 2850.

<sup>70</sup> Davis, 1985.

<sup>71</sup> *Global Positioning System*.

<sup>72</sup> Breivik *et al*, 2013, p. 84

<sup>73</sup> Allen, 1996.

<sup>74</sup> Argo é uma rede de extensão global com mais de 3.000 flutuadores perfiladores que medem a temperatura e a salinidade da superfície até a profundidade de 2.000m do oceano, permitindo assim, pela primeira vez, o contínuo monitoramento da temperatura, salinidade e velocidade do som na água dos oceanos, com todos os dados liberados e tornados público horas após a medição. Disponível em <<http://www.argo.ucsd.edu/>>. Acesso em 17jul. 2016.

<sup>75</sup> *Iridium Self Locating Datum Marking Buoy*. Disponível em <<https://iridium.com/products/details/isldmb-iridium-self-locating-datum-marking-buoy>>. Acesso em 17 jul. 2016.

deriva de objetos no mar a serem alimentadas nos modelos.

A SLDMB é baseada em flutuadores que, assim como no experimento de Davis,<sup>76</sup> tentam minimizar os efeitos do vento e das ondas na deriva da boia, mediante a redução da área vélica da boia, mantendo acima d'água somente uma antena e pequenos flutuadores. Abaixo da superfície há uma série de quatro velas em formato de cruz com pequenos flutuadores presos às suas extremidades. Essas velas “capturam” a corrente fazendo com que esta arraste a boia e não o vento ou as ondas, promovendo a sua deriva tal como ocorre com pequenos objetos ou pessoas flutuado (FIG. 2). Além disso há um sistema eletrônico para o disparo das velas, recepção GPS, transmissão da posição e uma bateria capaz de fornecer energia suficiente para que a boia permaneça transmitindo sua posição de duas semanas a até um mês.

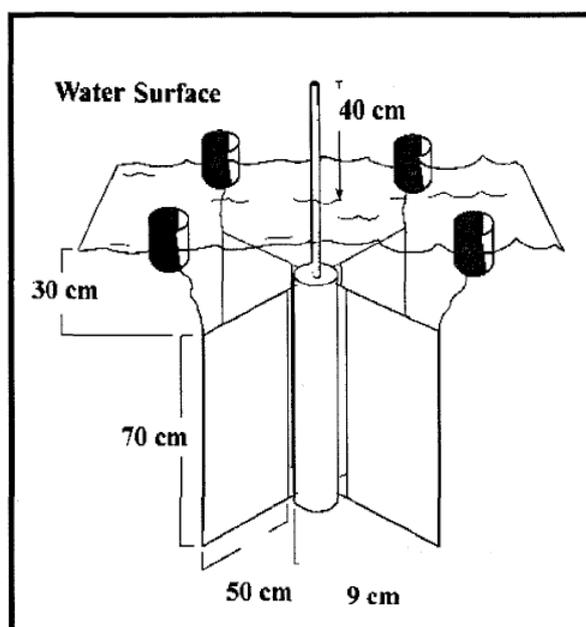


FIGURA 2 – Esquema da SLDMB  
Fonte: ALLEN, 1996, p. 858.

Conforme já mencionado anteriormente, o lançamento das atuais SLDMB pode ser realizado tanto por meios de superfície quanto por aeronaves. As lançadas por aeronaves são colocadas dentro de um envólucro de PVC na forma tubular e dispõem de um paraquedas o que diminui o impacto sobre a água. Ao atingir a água o paraquedas é liberado e o envólucro

<sup>76</sup> Davis, 1985.

de proteção se abre liberando os flutuadores, velame e a antena de recepção GPS e transmissão da posição. Na FIG. 3 pode-se ver exemplos de SLDMB configuradas para lançamento por aeronave, bem como a foto de um lançamento.



FIGURA 3 – SLDMB configuradas para lançamento por aeronave.  
Fonte: RS Aqua – *Serving Oceanography*.

Conforme previsto em seu Manual de Coordenação de Busca e Salvamento Aeronáutico, a Força Aérea Brasileira (FAB) lança as SLDMB tanto de aeronaves de asa fixa quanto de asa rotativa, com o objetivo de medir a corrente da superfície a fim de estimar a deriva de objetos no mar na área onde irá ser realizada a busca SAR. De acordo com a publicação, quando utilizadas, as SLDMB devem ser lançadas na última posição conhecida (LKP<sup>77</sup>) do objeto buscado<sup>78</sup>.

Além da USCG e da FAB, a Guarda Costeira do Canadá (CCG<sup>79</sup>) e a Autoridade de Segurança Marítima da Austrália (AMSA<sup>80</sup>) são serviços nacionais de busca e salvamento que também utilizam as SLDMB nas suas operações SAR.<sup>81</sup>

A MB por intermédio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), da Secretaria da

<sup>77</sup> Sigla em inglês de *Last Known Position*.

<sup>78</sup> Brasil, 2015b, p. 73-77/311.

<sup>79</sup> Sigla em inglês de *Canadian Coast Guard*.

<sup>80</sup> Sigla em inglês de *Australian Maritime Safety Authority*.

<sup>81</sup> Stone, 2011 e *MetOcean iSLDMBs for AMSA*.

Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM) e do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) participa do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), que tem como objetivo a coleta de dados oceanográficos e meteorológicos no Atlântico Sul, por meio de rede de boias fundeadas e de deriva, transmitindo dados em tempo quase real, via satélite, visando contribuir significativamente para a coleta de dados ambientais oceanográficos nas AJB, promovendo a caracterização desse ambiente marinho a fim de atender à segurança da navegação na área marítima sob responsabilidade do Brasil, para efeitos de previsão meteorológica marinha e salvaguarda da vida humana no mar.<sup>82</sup>

O Plano de Desenvolvimento do Programa Oceano (PLADEPO) é um programa da Diretoria Geral de Navegação (DGN) que estabelece projetos, no âmbito da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), para a elaboração de produtos cartográficos e informações ambientais com aplicação estratégica ou operacional em apoio às Operações Navais. O PLADEPO está dividido em quatro principais projetos:

- Previsão Ambiental Especial;
- Cartas Eletrônicas Militares;
- Dados Ambientais para Sistemas; e
- Levantamento Ambiental Expedido.

Tendo em vista o CHM ser participante ativo tanto do PLADEPO quanto do PNBOIA, vislumbra-se a oportunidade de unificação de esforços de ambos os projetos a fim de que seja avaliado, em conjunto com o setor operativo e aproveitando a experiência da FAB no assunto, o uso das SLDMB em apoio às operações SAR no âmbito da MB<sup>83</sup> o que traria significativa contribuição para o incremento da CSM nas áreas de busca numa operação SAR.

---

<sup>82</sup> Programa Nacional de Boias. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-goos/pnboia.html>>.

<sup>83</sup> Brasil, 2013.

## 4 MODELAGEM OCEANOGRÁFICA

No capítulo anterior foi apresentado a SLDMB como um método para obter-se a importante informação da corrente superficial na área de operação SAR. Apesar dessa medição local ser bastante acurada, muitas vezes não é viável fazê-la, tendo em vista fatores como disponibilidade de aeronaves para lançamento, distância da área SAR da costa e a urgência no atendimento ao chamado de socorro. Nesse sentido é que se enquadra a utilização da modelagem oceanográfica, que como será apresentado neste capítulo, capacita o centro de controle SAR a estimar diversos parâmetros do oceano, entre eles a corrente da superfície, em uma extensa área marítima, com uma disponibilidade e acurácia adequadas a um planejamento SAR com significativas chances de sucesso.

O ambiente no qual todos vivemos pode ser descrito como a união das condições físicas, geográficas e bioquímicas. Ele influencia significativamente todos os aspectos da sociedade humana incluindo a agricultura, indústria, condições de saúde, recursos, etc. Ao longo da história fomos desafiados não somente pelo impacto das variabilidades naturais do ambiente, mas também pelas mudanças causadas pelo homem, como o desmatamento das florestas, destruição da camada de ozônio, aumento da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, aumento na emissão de poluentes atmosféricos, da água e da terra.<sup>84</sup>

Atualmente compreende-se cada vez mais que a proteção do meio ambiente é tarefa vital para a sociedade humana, e para compreender essas mudanças e cumprir essa tarefa de proteção, que a modelagem de processos e previsões ambientais mostra-se crítica e essencial para toda sociedade. Assim, pode-se descrever o ambiente como um sistema interativo que compreende cinco componentes principais e inúmeros subcomponentes, em que os componentes principais são a atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera.<sup>85</sup>

A modelagem e previsão ambiental preocupa-se tanto com o comportamento

---

<sup>84</sup>Peng, Leslie e Shao, 2002, p. V

<sup>85</sup> *Ibidem*, p. 1.

individual dos mencionados componentes principais, quanto as interações entre eles, buscando descrever os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem dentro desse sistema ambiental através de uma formulação matemática resolvida por meio de métodos numéricos computacionais, buscando perceber a variabilidade, estabilidade e predicabilidade de cada um dos componentes principais do meio ambiente, entendido como um sistema dinâmico, em constante transformação, numa escala espacial e temporal.<sup>86</sup>

Portanto a modelagem ambiental busca, por meio da aplicação de métodos computacionais na solução de formulações matemáticas que descrevem determinado ambiente, prever as alterações de determinadas características ambientais ao longo do tempo e numa determinada área específica.

Os modelos numéricos de previsão oceanográfica estiveram sempre relativamente atrasados em relação aos meteorológicos, em grande parte devido ao fato de que historicamente, os fenômenos atmosféricos mostraram-se desafiadores para própria subsistência e segurança humana, tendo em vista a importância das atividades agrícolas, do comércio marítimo e, até mesmo, da aviação, para a sociedade humana. Contudo, outro grande motivo para essa diferença de desenvolvimento entre os modelos meteorológicos e oceanográficos estava relacionado a dificuldade existente em se levantar informações de temperatura, salinidade, altura das ondas etc., dos oceanos.<sup>87</sup>

Após os primeiros anos de desenvolvimento da modelagem atmosférica percebeu-se a necessidade de que fossem buscadas melhores informações quanto a previsão de circulação dos oceanos tendo em vista basicamente duas razões. Primeiro porque as técnicas que estavam sendo desenvolvidas para a modelagem atmosférica eram aparentemente transferíveis para o domínio dos oceanos, em que pese a carência de informações dos oceanos quando comparadas com as da atmosfera. A segunda residia no fato de que para um correto entendimento das variações do clima ao longo de uma grande escala de tempo não seria possível sem a

---

<sup>86</sup> *Ibidem*, p. 2-5.

<sup>87</sup> Lima *et al*, 2013, p. 211.

compreensão da interação com os oceanos,<sup>88</sup> ou seja, a climatologia dependia da modelagem oceanográfica.

Todo sistema de modelagem numérica pode ser descrito como a tentativa de estimar a situação futura de um ambiente (p. ex. o oceano) por intermédio de métodos computacionais a partir de uma condição inicial. Por princípio, quanto mais precisa for a condição inicial do sistema modelado, mais confiável será a previsão gerada pelo modelo.

Para produzir previsões confiáveis o modelo oceanográfico precisa ser inicializado com condições que representem de forma mais precisa possível a situação real do oceano numa resolução capaz de representar suas grandes circulações e turbilhonamentos. Nesse sentido os esquemas de assimilação de dados produziram o que pode-se chamar de condição inicial objetiva, ou seja, uma condição de partida para os modelos mais próxima da situação observada. A assimilação de dados é o procedimento no qual as observações são combinadas com os dados do modelo da rodada anterior. As observações corrigem os erros do modelo oceanográfico, e este, por outro lado, extrapola o dado assimilado no espaço, no tempo e na interação com outras propriedades do ambiente. O resultado de um sistema de modelagem com assimilação de dados é normalmente uma previsão mais acurada e completa do que um sistema que não possui assimilação.<sup>89</sup>

O desenvolvimento de um sistema de modelagem oceânica com assimilação de dados começou nos anos 1990. Foram muitos fatores que, em conjunto, contribuíram para que esse desenvolvimento fosse possível, podendo-se destacar:

- a) Os avanços nos modelos oceanográficos propriamente ditos que levaram ao desenvolvimento e validação do projeto de Modelagem Global da Circulação Geral dos Oceanos (OGCM<sup>90</sup>);
- b) Desenvolvimento de esquemas de assimilação de dados para o oceano com a

---

<sup>88</sup> Smagorinsky, 1983, p. 36.

<sup>89</sup> Brasseur, 2006, p. 272 e 317.

<sup>90</sup> Sigla em inglês de *Ocean General Circulation Model*.

simplificação de algoritmos passíveis de serem implementados computacionalmente;

c) O surgimento de infraestruturas voltadas unicamente para a computação de alto desempenho, possibilitando a solução computacional de problemas como turbilhonamento e sistemas de assimilação de dados em baías; e

d) O desenvolvimento de um sistema global de observação com mecanismos de medição e transmissão em tempo real, incluindo, principalmente os sistemas satélites e aerotransportados, que com a utilização de sensores remotos possibilitaram observar o que até então era considerado um deserto de informações. Com destaque, em especial, para a evolução dos sistemas altimétricos, que nesse caso se referem aos sistemas satelitais capazes de medir com razoável precisão a altura significativa das ondas do mar.

Acrescente-se a tudo isso, o acréscimo da demanda por parte das marinhas e agências de meteorologia principalmente dos EUA e Europa, para aplicações específicas como acústica submarina, deriva de objetos no mar, previsão de furacões e previsão climatológica, bem como as demandas do setor privado tais como as indústrias de prospecção de petróleo no mar.<sup>91</sup>

Quase que em paralelo ao desenvolvimento desse sistema, surgiu na comunidade oceanográfica mundial o entendimento de que era necessário a soma de esforços por parte da comunidade científica mundial para o desenvolvimento da modelagem oceanográfica. Percebendo-se a necessidade de melhores observações dos oceanos e melhores previsões oceanográficas e com as oportunidades técnica e científica da disponibilidade de dados que estavam sendo levantadas com o uso dos sensores satelitais, foi estabelecido o Experimento Global de Assimilação de Dados dos Oceanos (GODAE<sup>92</sup>) com o propósito de liderar uma iniciativa mundial em estabelecer uma modelagem oceanográfica global.

---

<sup>91</sup> Dombrowsky *et al*, 2009, p. 81.

<sup>92</sup> Sigla em inglês de *Global Ocean Data Assimilation Experiment*.

**QUADRO 1**  
Modelos Oceanográficos rodados no sistema do GODAE-*OceanView*

<b>Nome do Sistema</b>	<b>Modelo Oceanográfico</b>	<b>Domínio</b>	<b>Instituição</b>	<b>País</b>
BLUElink	OFAM <sup>93</sup>	Global e Regional	<i>Bureau of Meteorology</i>	Austrália
CONCEPTS <sup>94</sup>	NEMO <sup>95</sup> 3.1	Global e Regional	<i>Fisheries and Oceans Canada</i>	Canadá
ECCO <sup>96</sup>	MITgcm <sup>97</sup>	Global	<i>ECCO Consortium</i>	EUA
ECMWF	NEMO 3.0	Global	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)</i>	União Europeia
FOAM <sup>98</sup>	NEMO	Global e Regional	Met Office	Reino Unido
NCODA <sup>99</sup>	HYCOM <sup>100</sup>	Global	<i>United States Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO)</i>	EUA
INDOFOS <sup>101</sup>	MOM 4.0 e ROMS <sup>102</sup> 3.6	Global e Regional	<i>Indian National Centre for Ocean Information Services (INCOIS)</i>	Índia
MERCATOR Ocean	NEMO acoplado	Global e Regional	<i>French Mercator Ocean (MERCATOR Ocean)</i>	França
MFS <sup>103</sup>	NEMO 3.2	Regional	<i>Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia</i>	Itália
MOVE <sup>104</sup>	MRI.COM v4.0	Global e Regional	<i>Japanese Meteorological Research Institute (MRI)</i>	Japão
NMEFC	MOM, ROMS e HYCOM	Global e Regional	<i>National Marine Environmental Forecast Centre (NMEFC)</i>	China
REMO	HYCOM	Regional	REMO – CHM	Brasil
RTOFS <sup>105</sup>	HYCOM	Global e Regional	<i>National Centers for Environmental Prediction (NCEP)</i>	EUA
TOPAZ <sup>106</sup>	HYCOM	Regional	<i>Nansen Environmental and Remote Sensing Center (NERSC)</i>	Noruega

Fonte: *GODAE Oceanview – Ocean Models*.

<sup>93</sup> *Ocean Forecasting Australia Model (OFAM)*.

<sup>94</sup> *Canadian Operational Network of Coupled Environmental Prediction Systems (CONCEPTS)*.

<sup>95</sup> *Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO)*.

<sup>96</sup> *Estimating the Circulation and Climate of the Ocean (ECCO)*.

<sup>97</sup> *Massachusetts Institute of Technology General Circulation Model (MITgcm)*.

<sup>98</sup> *Forecasting Ocean Assimilation System (FOAM)*.

<sup>99</sup> *Navy Coupled Ocean Data Assimilation (NCODA)*.

<sup>100</sup> *Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)*.

<sup>101</sup> *Integrated Indian Ocean Forecasting System (INDOFOS)*.

<sup>102</sup> *Modular Ocean Model (MOM) e Regional Ocean Modeling System (ROMS)*.

<sup>103</sup> *Ocean Forecasting System for the Mediterranean Sea (MFS)*.

<sup>104</sup> *Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE/MRI.COM)*.

<sup>105</sup> *Real-time Ocean Forecast System (RTOFS)*.

<sup>106</sup> *Towards an Operational Prediction system for the North Atlantic European coastal Zones (TOPAZ)*.

Hoje em dia o GODAE-*OceanView*, evolução do experimento GODAE que foi encerrado em 2008,<sup>107</sup> é um projeto multinacional com a participação de diversos países como os EUA, União Europeia, Canadá, China, Austrália, Reino Unido, Noruega, incluindo o Brasil, que participa através da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO). No QUADRO 1 estão relacionadas as instituições participantes do GODAE-*OceanView* com seus respectivos modelos oceanográficos e países-membros.

No projeto REMO, as universidades têm como tarefa principal o desenvolvimento do modelo, conduzindo diversas pesquisas aplicadas à modelagem numérica com o intuito de aperfeiçoar o sistema operacional de modelagem oceanográfica em apoio não somente à segurança da navegação, mas também à indústria do petróleo e às pesquisas oceanográficas propriamente dita. A operacionalização do sistema de modelagem oceanográfica é atribuição do CHM que já possui larga experiência na operação de modelos atmosféricos e de ondas para as previsões ambientais do Serviço Meteorológico Marinho (SMM) para área sob responsabilidade do Brasil perante a OMM e a Organização Marítima Internacional (IMO<sup>108</sup>), denominada de METAREA V.<sup>109</sup>

O principal modelo oceanográfico utilizado no REMO é o *Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)*, que é um modelo de circulação geral do oceano que evoluiu a partir do *Miami Isopycnic-Coordinate Ocean Model (MICOM)* desenvolvido na Universidade de Miami e também utilizado por diversos outros centros de modelagem oceanográfica, conforme pode ser constado na QUADRO 1. A principal característica do HYCOM consiste no emprego de coordenadas verticais híbridas, podendo ser níveis de pressão, isopicnais (linhas de mesma densidade) ou sigma (seguidoras de terreno). Com o uso dessas coordenadas híbridas é possível obter-se resultados mais realísticos nas simulações dos fenômenos oceânicos tanto em mar aberto quanto em regiões mais rasas. O modelo fornece diversas saídas, destacando-se o campo

---

<sup>107</sup> Schiller e Brassington, 2011, p. 23.

<sup>108</sup> Sigla em inglês de *International Maritime Organization*.

<sup>109</sup> Lima et al, 2013, p. 213.

tridimensional de corrente e a estrutura termoalina (temperatura e densidade) do oceano.

O HYCOM no CHM é utilizado diariamente para a previsão na METAREA V, com resolução espacial horizontal de 1/12 do grau (aproximadamente 9 km) e 21 níveis verticais híbridos. Há também uma grade de 1/24 do grau (aproximadamente 4 km) cobrindo as áreas marítimas próximas das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, com 21 níveis verticais e com forçante de marés. Em todas as simulações são realizadas previsões para quase 4 dias (90 horas).

Na FIG. 4 estão apresentadas as grades aninhadas<sup>110</sup> do modelo HYCOM do CHM, onde o modelo para a METAREA V é rodado a partir das condições previstas na rodada para a área do Atlântico Sul.

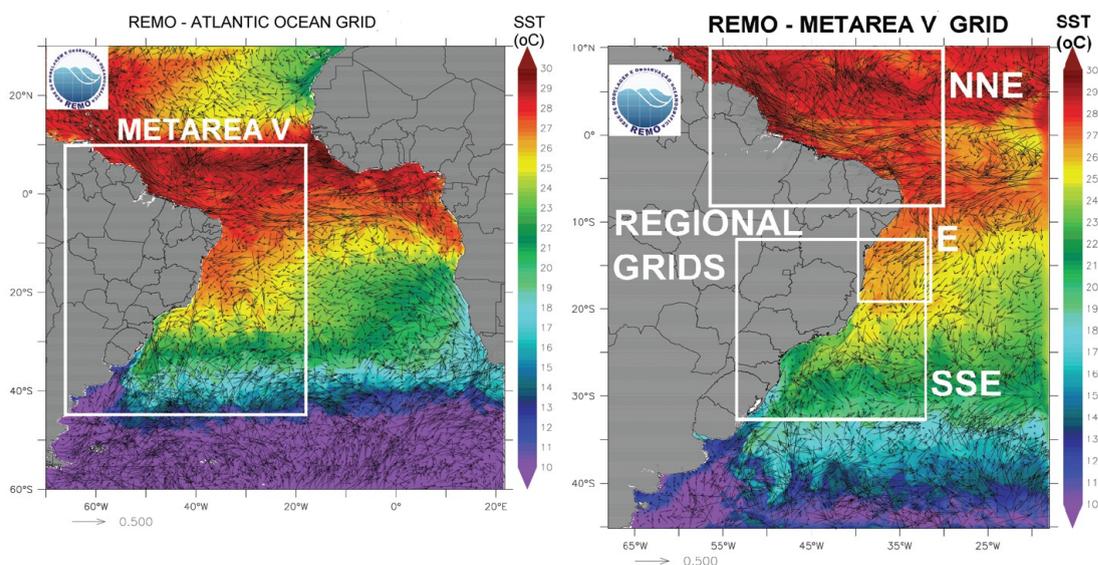


FIGURA 4 – Grades aninhadas do HYCOM-CHM.

Fonte: Lima *et al*, 2013, p. 215.

O desenvolvimento de um sistema de modelagem de previsão numérica oceanográfica é considerado de suma importância para países com grandes extensões de litoral como o Brasil. Normalmente os motivos principais pelos quais se busca implementar tais sistemas relacionam-se com a segurança da navegação, apoio as operações SAR, exploração de

<sup>110</sup> Na modelagem numérica ambiental o quanto menor é a distância entre os pontos da grade de um modelo, maior será a escala e, teoricamente, mais preciso ele será. Contudo isso acarreta em um impacto significativo no poder computacional necessário. Dessa forma utiliza-se a estratégia de aninhamento de grades onde primeiro roda-se o modelo para uma área mais extensa, maior distância entre os pontos (portanto menor escala) e em seguida roda-se para uma escala maior somente para uma área menor a qual se tenha mais interesse por ser mais importante por algum motivo.

recursos econômicos do solo e subsolo marinho, apoio à indústria pesqueira e a atividades náuticas de esporte e recreio.

Cartas de corrente de superfície são um dos principais produtos necessários para rodar um modelo de deriva, que simula a trajetória de objetos ou pessoas que estejam flutuando no mar, numa operação SAR.

Apesar de alguns testes terem sido realizados na MB, o uso de modelos de deriva em apoio às operações SAR não tornou-se operacional. Contudo produtos advindos do HYCOM são utilizados por vários setores da MB como auxílios a tomada de decisão, inclusive em operações SAR, tais como o busca pela aeronave A4 e seu piloto, que caiu nas proximidades de Saquarema-RJ (FIG. 5) em 28 jul. 2016.

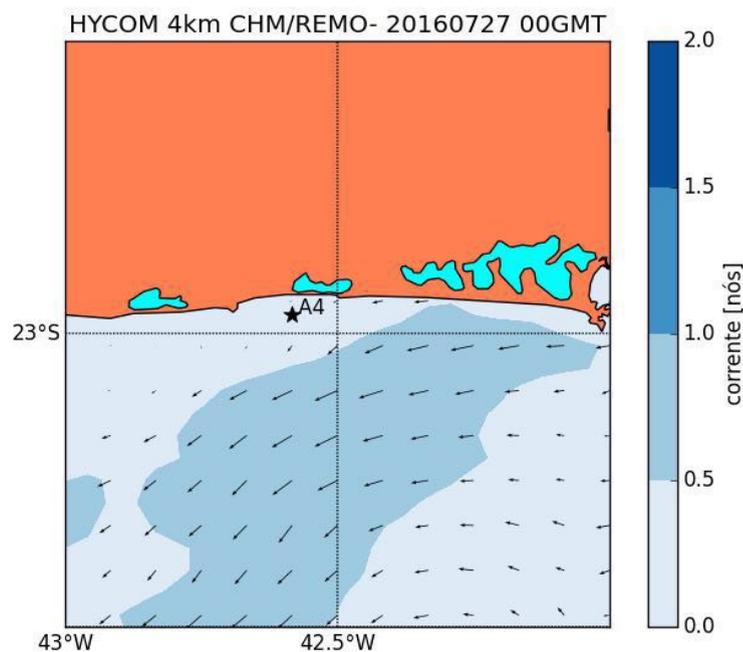


FIGURA 5 – Campo de corrente na superfície gerado pelo HYCOM-CHM em apoio ao SAR da aeronave A4 que caiu nas proximidades da praia de Jaconé, Saquarema-RJ.

Fonte: Correspondência eletrônica CF Reinert do CHM.<sup>111</sup>

Conforme destacado pelo Almirante de Esquadra Prado Maia, à época Diretor-Geral de Navegação, o Brasil sendo signatário da Convenção SOLAS tem compromissos

<sup>111</sup> reinert@chm.mar.mil.br

internacionais relativos à Salvaguarda da Vida Humana no Mar na área marítima sob sua responsabilidade, na qual tem as atribuições de realizar a busca e o salvamento de pessoas em perigo “sendo necessário um sistema de controle e monitoramento eficaz e número de meios consideráveis, para uma efetiva Consciência Situacional Marítima”.<sup>112</sup>

O projeto REMO é um exemplo de parceria entre os setores de pesquisa (Cenpes<sup>113</sup> da PETROBRAS), a comunidade acadêmica (universidades FURG,<sup>114</sup> USP,<sup>115</sup> UFBA<sup>116</sup> e UFRJ<sup>117</sup>) e entidades operativas (CHM-SMM) que trouxe para o País, dentro da MB, a tecnologia da modelagem oceanográfica operacional.

O fato da MB, por meio do SMM, já ter disponível um modelo oceanográfico operacional com previsões para sua área de responsabilidade SAR, bem como com a possibilidade de implementação de um sistema determinístico de cálculo da deriva de objetos no mar é, sem dúvida, um importante passo na direção da CSM principalmente nas operações SAR.

---

<sup>112</sup> Faria, 2012, p. 227.

<sup>113</sup> Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes).

<sup>114</sup> Universidade Federal do Rio Grande.

<sup>115</sup> Universidade de São Paulo.

<sup>116</sup> Universidade Federal da Bahia.

<sup>117</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## 5 MODELO DE DERIVA DE OBJETOS NO MAR

Conforme descrito no capítulo anterior, o estudo e desenvolvimento da previsão oceanográfica operacional foi iniciada a partir da utilização de modelos numéricos hidrodinâmicos que estabeleceram prognósticos das principais variáveis que descrevem o estado do oceano, ou seja, altura do nível do mar, temperatura da água, salinidade e direção e intensidade das correntes. Apesar de descreverem o estado do oceano, a variação desses parâmetros é, normalmente, de pouca relevância para o público em geral, sendo objeto de acompanhamento eminentemente por parte da comunidade científica. Geralmente o interesse público está relacionado em como essas variáveis afetam outras características no oceano.<sup>118</sup>

Especificamente no caso das correntes, por exemplo, o interesse para o serviço SAR de um país não está no valor em si da corrente, mas como a corrente afetará o transporte de determinado objeto (sem propulsão) ou substância (derramada sobre o oceano) de um lugar para outro, bem como as alterações possíveis da trajetória tendo em vista a interação com as demais variáveis ambientais.

Qualquer objeto sem propulsão flutuando sobre o oceano está sujeito a forças causadas pelo ambiente, principalmente às devido ao efeito do vento, das ondas e da corrente na superfície.<sup>119</sup> Essas forças interagem sobre a superfície do objeto sobre e abaixo d'água promovendo o seu deslocamento, o qual é denominado de deriva.<sup>120</sup> Portanto, pode-se afirmar que a deriva de um objeto sobre a água é a resultante de várias forças atuando sobre sua superfície, seu centro de massa<sup>121</sup> e seu centro de carena.<sup>122</sup>

A posição de um objeto flutuando pode ser obtida a partir do cálculo do vetor

---

<sup>118</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 507.

<sup>119</sup> Vettor e Soares, 2015, p. 2849.

<sup>120</sup> Em inglês, distingue-se a deriva causada pela corrente (*drift*) da causada pelo vento (*leeway*). Neste trabalho, quando não especificado, o termo deriva refere-se à resultante da atuação de ambos efeitos sobre o objeto.

<sup>121</sup> Centro de massa de um corpo é o centro geométrico onde a força peso atua.

<sup>122</sup> Centro de carena é o centro geométrico da parte submersa de um corpo flutuando, onde a força de empuxo atua.

velocidade de deriva ( $\vec{V}_{drift}$ ) resultante da soma vetorial da velocidade da corrente de superfície relativa ao fundo do oceano ( $\vec{V}_{curr}$ ) com a velocidade relativa do objeto à superfície do mar ( $\vec{V}_{rel}$ ), conforme a equação abaixo:

$$\vec{V}_{drift} = \vec{V}_{curr} + \vec{V}_{rel}$$

$\vec{V}_{curr}$  é assumido como a velocidade da corrente próxima à superfície obtida de modelos oceanográficos ou por meio de medições *in situ*<sup>123</sup> com correntômetros, por exemplo, caso disponíveis. Nesse contexto, assume-se que  $\vec{V}_{curr}$  influencia todos os objetos que estão flutuando da mesma forma.<sup>124</sup>  $\vec{V}_{rel}$  é a resultante da interação das forças do vento e das ondas promovidas sobre o objeto flutuante e, por isso, sua determinação pode ser dividida em duas componentes, a deriva devido ao vento e a deriva devido às ondas. Entretanto, dos estudos da hidrodinâmica sabe-se que os efeitos devido às ondas são desprezíveis nos casos de objetos menores que o comprimento das ondas, aumentando significativamente de importância nos casos de objetos flutuantes com o comprimento igual ou maior que os das ondas. Na prática, em objetos menores do que dezenas de metros o efeito das ondas na deriva é desprezado.

Uma vez que  $\vec{V}_{curr}$  é obtido diretamente dos modelos numéricos ou de medições locais, a solução da deriva recai sobre  $\vec{V}_{rel}$ , cuja determinação é dificultada tendo em vista a grande dependência em relação às características geométricas do objeto, o que torna sua solução um desafio.

Fonseca<sup>125</sup> destaca que para contornar esse problema,

Allen e Plourde (1999), a serviço da Guarda Costeira Americana, realizaram um experimento pioneiro que se tornou a base de dados de todos os modelos de deriva de objetos no mar da atualidade. Com o intuito de se estudar e dimensionar os efeitos da Deriva do Vento sobre objetos flutuando no mar, foram realizados 25 (vinte e cinco) trabalhos de campo, utilizando 95 (noventa e cinco) diferentes objetos (alvos), incluindo-se 38 (trinta e oito) tipos de balsas salva-vidas, 14 (quatorze) embarcações de pequeno porte, 10 (dez) tipos de pesqueiros, pranchas de surf, veleiros, cápsulas de

<sup>123</sup> Medições *in situ* são as medições realizadas por meio de sensores posicionados localmente.

<sup>124</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 509.

<sup>125</sup> Fonseca, 2008, p. 12.

sobrevivência, jangadas de refugiados cubanos, restos de barco pesqueiro e homem ao mar (PIW, do inglês *person in water*). Estes alvos foram submetidos a testes de campo, onde a partir de ventos e correntes medidos e conhecidos acompanharam-se a deriva de um objeto.

A partir desses experimentos, Allen e Plourde<sup>126</sup> parametrizaram os efeitos da força aerodinâmica exercida pelo vento decompondo-a em uma componente de arrasto (DWL) na direção do vetor Vento e uma componente de deslocamento (CWL) na direção transversal ao vento (FIG. 6).

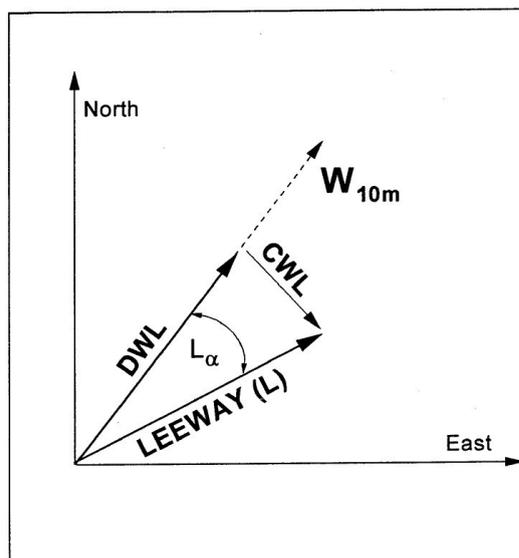


FIGURA 6 – Esquema representativo das componentes de Arrasto (DWL) e Deslocamento (CWL) do vetor Deriva (L) devido ao Vento à 10 metros ( $W_{10m}$ ).  
Fonte: Allen e Plourde, 1999, p. 1-5.

Releva mencionar que a partir de experimentos de campo foi observado que valores tanto positivo quanto negativo de CWL podem ocorrer para um mesmo objeto. Aparentemente, pequenas diferenças na orientação inicial do objeto em relação ao vento podem resultar em uma deriva tanto para a esquerda quanto para a direita da direção do vento com aproximadamente a mesma probabilidade. Como a posição inicial é normalmente desconhecida a previsão deverá levar em conta ambas possibilidades.<sup>127</sup>

No caso de embarcações de grandes dimensões o modelo de cálculo deverá levar em conta o efeito das ondas na deriva, conhecida como deriva de Stokes, baseado nos trabalhos de

<sup>126</sup> Allen e Plourde, 1999.

<sup>127</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 511.

Sørgård and Vada<sup>128</sup> que determina a velocidade relativa à superfície d'água ( $\vec{V}_{rel}$ ) a partir do balanço de forças atuando sobre uma embarcação à deriva. Nesse trabalho demonstrou-se que  $\vec{V}_{rel}$  cresce rapidamente, em questão de minutos, tendendo a uma solução estacionária, ou seja, onde as forças que atuam sobre o corpo estão em balanço. Essa abordagem ao ser aplicada na deriva de grandes objetos se mostrou uma excelente aproximação que, além de facilitar a modelagem do problema, significou, entre outras coisas, ser independente do conhecimento da massa do objeto derivante,<sup>129</sup> podendo ser expressa pela fórmula:

$$\vec{F}_{wind} + \vec{F}_{wave} + \vec{f}_{form} + \vec{f}_{wave} = 0$$

$\vec{F}_{wind}$  e  $\vec{F}_{wave}$  representam as forças de deriva do vento e das ondas (deriva de Stokes)

atando sobre a superestrutura e o casco da embarcação, bem como  $\vec{f}_{form}$  e  $\vec{f}_{wave}$  representam o arrasto (uma força de reação) devido à forma do casco da embarcação e às ondas geradas pelo seu próprio movimento, respectivamente. A FIG. 7 representa um esquema de forças atuando sobre uma embarcação à deriva onde, apesar de normalmente as forças devido ao vento e às ondas atuarem no mesmo sentido, nesse exemplo elas estão separadas para caracterizar uma representação generalista.

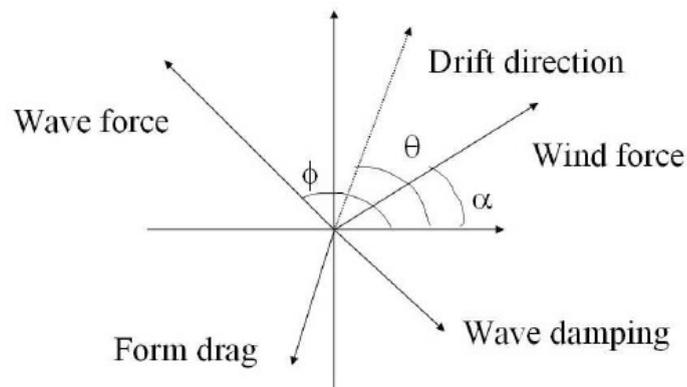


FIGURA 7 – Esquema de forças que atuam sobre uma embarcação à deriva.  
Fonte: Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 512.

Portanto, conforme pode ser notado, na previsão da deriva de objetos flutuando

<sup>128</sup> Sørgård, E.; Vada, T. *Observations and modelling of drifting ships*. DNV Technical Report 96-2011, Det norske Veritas, Hovik, Norway. 1998. Citado por Hackett, Breivik e Wettre, 2006.

<sup>129</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 511.

sobre a superfície da água do mar, existem várias aproximações e inúmeras incertezas que desafiam a solução desse problema. Já foi mencionado que os modelos de deriva de objetos no mar utilizam parametrizações e calibrações nas suas fórmulas obtidas de forma empírica, bem como aproximações das leis da hidrodinâmica para ser possível a modelagem física da deriva. Adicionalmente, muitas vezes não se tem as exatas dimensões do objeto a ser procurado bem como sua última posição conhecida (LKP), e quando isso está disponível, ainda há os erros inerentes aos modelos oceanográficos, atmosféricos e de ondas, na construção dos campos de corrente, vento e ondas para o cálculo da deriva do objeto no mar. Dessa forma, para ser possível contornar todas essas incertezas e realmente construir uma ferramenta de auxílio à decisão, adota-se uma abordagem estatística atribuindo, de certa forma, graus probabilísticos para cada uma dessas incertezas e aproximações. Posteriormente, realiza-se pequenas perturbações aleatórias nessas variáveis incertas, montando-se assim, um conjunto de rodadas<sup>130</sup> com uma nuvem de possíveis soluções, que nesse caso significa a região mais provável onde o objeto derivante localiza-se. Essa técnica probabilística é conhecida como método de Monte Carlo<sup>131</sup> e é largamente aplicada na solução de inúmeros problemas complexos de simulação em diferentes áreas do conhecimento.<sup>132</sup>

Em geral, os modelos de deriva de objeto no mar utilizados nas operações SAR trabalham com o tratamento estocástico<sup>133</sup> da LKP, incertezas nas informações ambientais e nas propriedades de deriva do objeto derivante, e orientação inicial do objeto.

Uma das primeiras tarefas no planejamento de uma operação SAR é a determinação

---

<sup>130</sup> Denomina-se de *ensemble* o conjunto de rodadas de um mesmo modelo a partir de condições iniciais diferentes. Cada rodada independente é considerada um membro do ensemble.

<sup>131</sup> Na introdução de seu livro, Thomopoulos (2013, p. 1) menciona que o Método Monte Carlo foi desenvolvido nos anos 1940s pelos cientistas, John von Neumann, Stanislaw Ulam e Nicholas Metropolis, que estavam à época trabalhando no Projeto Manhattan de desenvolvimento da bomba nuclear. Segundo o autor, Stanislaw Ulam denominou o método numa referência ao Cassino de Monte Carlo, localizado no principado de Mônaco. O Método mostrou-se um sucesso e foi um importante instrumento no Projeto Manhattan. Depois da Guerra, ainda nos anos 1940, o Método foi continuamente utilizado tornando-se uma proeminente ferramenta no desenvolvimento da bomba de hidrogênio. Em seguida o método foi divulgado à comunidade científica e aplicado em todo o tipo de solução de problemas em engenharia, nos negócios, na ciência e na área financeira.

<sup>132</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 513.

<sup>133</sup> O termo estocástico refere-se às perturbações aleatórias utilizadas no Método Monte Carlo.

da última posição conhecida. Na operação SAR esse é um passo de significativa importância uma vez que a acurácia dessa informação é decisiva para o desenrolar da busca. No caso de navios à deriva a LKP é normalmente conhecida e precisa. Nesse caso o círculo de incerteza da LKP tem um raio pequeno e todas as rodadas (membro do *ensemble*) partem da mesma posição conhecida o que torna as integrações convergentes em pequenos períodos de tempo, ou seja, nessa situação, quanto maior for o tempo de integração mais se afastarão os membros do *ensemble*, aumentando assim a área de busca.

Por outro lado, numa situação onde pouco se conhece a respeito da posição inicial do objeto a ser buscado, o círculo de incerteza da LKP passa a ter um grande raio fazendo com que cada rodada parta de uma diferente posição. Nessa situação, as rodadas tendem a divergir logo nos primeiros períodos de integração tornando a busca ainda mais difícil. Obviamente a escolha inicial da distribuição dos membros do *ensemble* afetará de forma determinante o tamanho da área de busca e portanto a probabilidade do sucesso da missão, por isso a determinação da LKP é uma das principais tarefas do centro de coordenação SAR.

Além das mencionadas incertezas inerentes à determinação da LKP, existem também as imprecisões das forçantes ambientais de vento, corrente e ondas, utilizadas no modelo, bem como as características do objeto flutuando que ao interagir com essas forçantes determinam sua deriva. Nesse caso o espalhamento dos membros do *ensemble* será função de perturbações inseridas nos coeficientes de deriva dos objetos determinados pelos experimentos de Allen e Plourde,<sup>134</sup> já mencionados neste trabalho, e das perturbações nos campos de vento e correntes (não são inseridas perturbações no campo de ondas). Essas perturbações são transparentes ao operador dos modelos, sendo tarefa do coordenador SAR a escolha do objeto da biblioteca do modelo que mais se assemelha com o que se quer buscar na realidade, bem como, caso mais de um esteja disponível, a escolha do pacote de modelagem ambiental mais confiável para o local onde ocorrerá a operação SAR.

---

<sup>134</sup> Allen e Plourde, 1999.

Por último, um outro fator randômico é a orientação do objeto a ser buscado em relação à direção dos ventos locais. Conforme já tratado anteriormente, em se tratando da deriva de objetos no mar devido ao vento, existe uma componente de deriva que é transversal à trajetória (CWL-FIG.6) que por normalmente ser significativa, promoverá um considerável desvio da trajetória final de deriva do objeto em relação à direção do vento. Como não é possível saber se o desvio ocorrerá para direita ou para esquerda da direção do vento, por isso ser função da posição inicial do objeto, ambas as situações deverão ser consideradas de mesma probabilidade, o que comumente faz aparecer nos modelos de deriva, após as rodadas de todos os membros do *ensemble*, duas diferentes áreas com alta probabilidade de conter o objeto derivante.

É ainda possível realizar “perturbações” nas classes do objeto se nada for sabido a respeito do que se pretende buscar. Na prática isso pode ser feito pelo centro de coordenação SAR que a partir das mesmas condições iniciais realizaria várias rodadas com diferentes classes de objetos. Pode-se inicialmente escolher a classe de homem n’água, depois a de balsa salva-vidas, em seguida a de barco de borracha, etc., de forma que no fim todas as trajetórias sejam sobrepostas, determinando-se, assim, a área de busca SAR.<sup>135</sup>

Foi visto que apesar de poder haver diferentes tipos de objetos à deriva no oceano os modelos que são utilizados para prever suas trajetórias têm bastante em comum, principalmente porque todos são bastante dependentes das forçantes ambientais (ventos, ondas e correntes). Para a implantação desses modelos num sistema operacional de resposta a incidentes SAR, torna-se essencial o acesso ininterrupto e confiável aos dados de prognósticos dos campos de ventos, de correntes e de ondas que serão as forçantes do modelo de deriva, uma vez que a acurácia desses dados e a sua pronta disponibilidade para uma operação SAR pode economizar tempo de busca que, nesse tipo de operação significa o salvamento de vidas humanas no mar. Consequentemente, um serviço operacional SAR deve ser montado de forma a estar

---

<sup>135</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 514.

intimamente ligado a um serviço de previsão ambiental operacional confiável, possibilitando a contínua troca de informações entre ambos os serviços para que os dados ambientais necessários aos modelos de deriva de objeto no mar estejam disponíveis não somente de maneira rápida mas também que sejam confiáveis e, não menos importante, apropriado para o modelo de deriva SAR.<sup>136</sup>

Todo o conjunto de dados ambientais disponíveis, somado ao modelo de deriva de objetos no mar e um sistema de planejamento de derrota da busca perfazem um sistema de apoio à decisão para operações SAR, que busca, de forma determinística, o alcance da CSM para a consecução dessas operações.

---

<sup>136</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 518.

## 6 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA OPERAÇÕES SAR

Nos capítulos anteriores foram apresentados o conceito de Consciência Situacional Marítima e seu reflexo na segurança da navegação. Em seguida expôs-se metodologias de obtenção da corrente superficial na área SAR, seja pela medição local com a SLDMB ou computacionalmente com o uso de modelos oceanográficos, para alimentar os modelos de deriva de objetos no mar a fim de estimar-se a trajetória do que se pretende buscar com o intuito de permitir um planejamento de busca maximizando-se as chances de sucesso. Para tornar-se uma ferramenta operacional de apoio à decisão, esse conjunto de tarefas deverá integrar um mesmo sistema, sendo esse o assunto que será abordado no presente capítulo.

O SALVAMAR da Marinha do Brasil e o SALVAERO da Força Aérea Brasileira formam a estrutura SAR do País que, conforme já mencionado, por ser signatário da Convenção SOLAS e da CNUDM tem por obrigação tomar todas as disposições julgadas necessárias para salvaguardar a vida humana na área marítima sob a responsabilidade do Brasil. Essa extensa área do Oceano Atlântico, que abrange toda costa brasileira se estendendo até o meridiano de 10°W, compreende 15.328.502 km<sup>2</sup> e, para fins de melhor controle, foi dividida em subáreas sob responsabilidade dos respectivos Distritos Navais (FIG. 8).

Dono de uma extensa área marítima por onde passa cerca de 95% do volume de todo o comércio do país com o exterior, o Brasil, por intermédio da MB, preocupa-se diuturnamente com a segurança do navegante nas águas nacionais. Conforme consta no Anuário Estatístico da Marinha (ANEMAR) por essas águas navegam cerca de 320 navios mercantes por dia seja em rotas nacionais ou de comércio exterior.<sup>137</sup> Além desses existem incontáveis pequenas embarcações de pesca, de esporte e recreio, etc., que contam com o suporte da MB em caso de algum sinistro.

---

<sup>137</sup> ANEMAR-2015, p. 235-236.

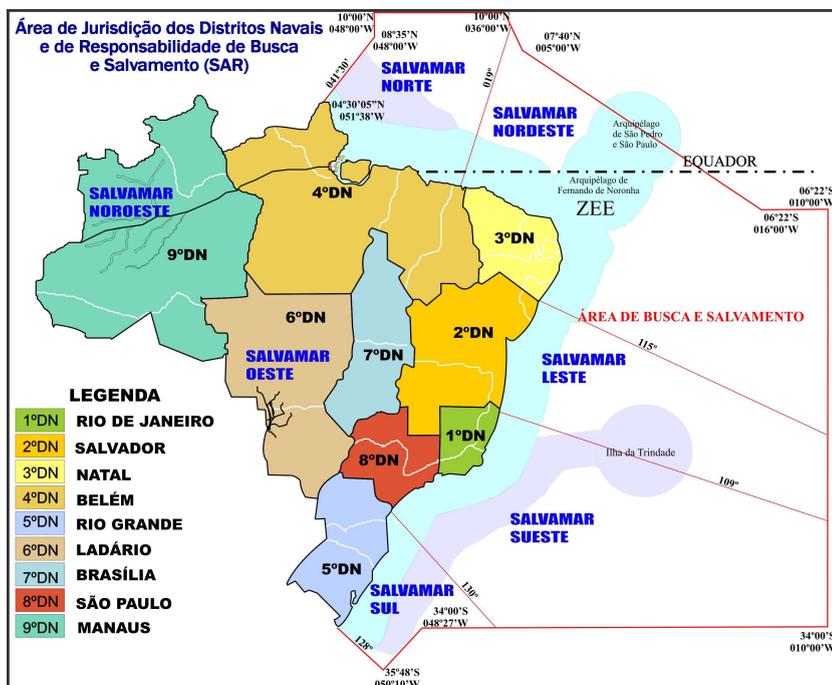


FIGURA 8 – Divisão das áreas SAR sob responsabilidade dos Distritos Navais.  
Fonte: Comando de Operações Navais – SALVAMAR BRASIL.

Ainda segundo o ANEMAR, nos últimos dez anos há uma tendência de aumento nos casos de incidentes SAR com embarcações em águas nacionais (FIG. 9) e no ano de 2015, 69% dos incidentes SAR com embarcações envolveram avarias, naufrágio e desaparecimento e homem ao mar, o que se caracterizam por serem eventos com potencial utilização de um sistema voltado para o cálculo da deriva de um objeto no mar.

Considerando que esses acidentes envolve grande potencial de perda de vidas humanas nas águas nacionais, essa é a motivação para o desenvolvimento de um sistema operacional de busca e salvamento que poderá ser disparado com as informações que forem possíveis de obter sobre o sinistro e que retornará, rapidamente, com as informações de localização da área de busca, bem como o padrão de busca a ser adotado com melhor chance de sucesso, baseado em prognósticos de vento e corrente. A implantação desse sistema estaria, ainda, consonante com o que orienta o manual da IAMSAR vol. III, quando destaca que

Os Estados são encorajados a desenvolver e aperfeiçoar seus serviços SAR, a cooperar com Estados vizinhos e a considerar seus serviços SAR serem parte de um sistema SAR global (Grifo nosso).<sup>138</sup>

<sup>138</sup> Manual IAMSAR, vol. III, p. 5.

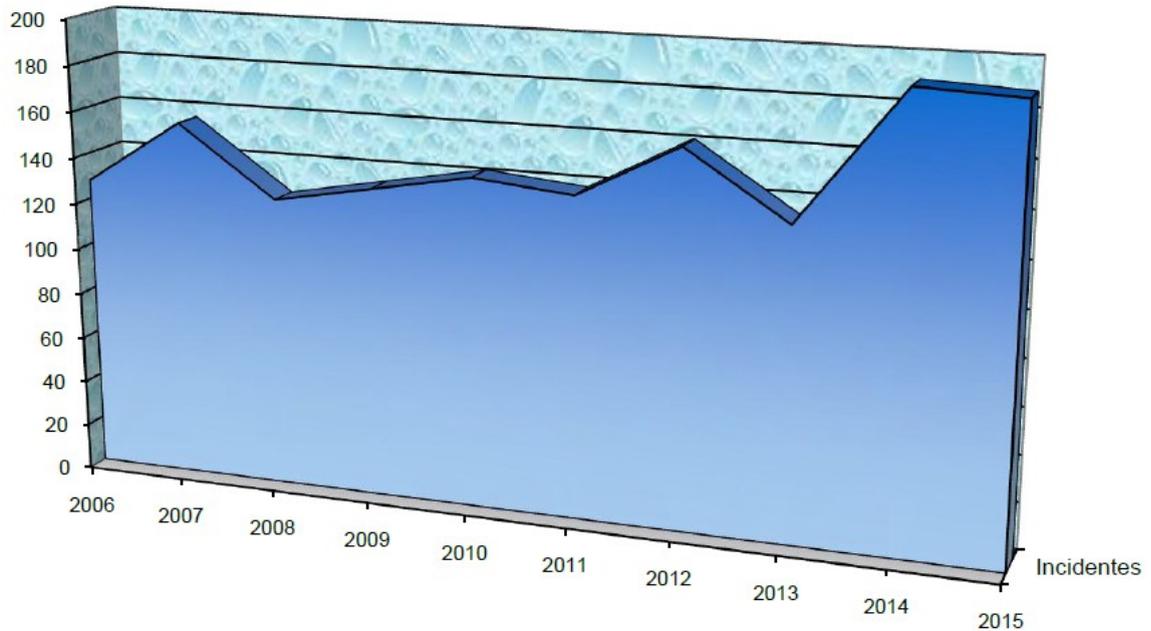


FIGURA 9 – Incidentes SAR com embarcações (2006 – 2015).  
Fonte: ANEMAR-2015, p. 237.

Com esse sistema, a operação SAR iniciar-se-ia com a estima de uma área de busca a partir da quantificação do que pode, ou não, ser levantado sobre o sinistro (LKP, tipo do objeto, intensidade e direção do vento, da corrente e das ondas que afetam o objeto) e em seguida calcular a evolução da área de busca a tempo de acionar a unidade de busca e salvamento (SRU) que atenderá à situação. Isso impõe certas restrições ao sistema. Primeiro, os graus de liberdade<sup>139</sup> deverão ser limitados para permitir a fácil operação do software, o que significa que as incertezas sobre a LKP e a seleção do tipo do objeto devam ser facilmente gerenciadas pelo operador em aplicações em tempo real. Em segundo lugar os dados ambientais, campos de vento e corrente, seja prognósticos numéricos, dados observados ou climatológicos, devam estar disponíveis em tempo real no formato apropriado para a inserção no modelo de deriva, e em terceiro o sistema deverá ser suficientemente rápido a fim de tornar-se um instrumento operacional para o planejamento de uma missão SAR.<sup>140</sup>

<sup>139</sup> Nesse contexto, graus de liberdade refere-se ao número de parâmetros que podem ser modificados pelo operador antes de rodar o modelo. O excesso de graus de liberdade tornam o modelo complexo para ser utilizado em ambiente operacional. Ao mesmo tempo, ter poucos parâmetros de configuração podem tornar o modelo pouco representativo da realidade. Um bom modelo operacional possui graus de liberdade suficiente para ser representativo da realidade do ambiente mantendo-se de fácil operação.

<sup>140</sup> Breivik e Allen, 2008, p. 100.

Portanto, por trás de uma operação de busca e salvamento deverá haver um sistema operacional muito bem coordenado de coleta, produção e compartilhamento de informações sobre o acidente e o meio ambiente a que este está sujeito, tanto antes quanto durante as operações, para que seja possível realizar simulações das possíveis trajetórias de um objeto a ser buscado. Numa situação real de busca os fatores que influenciam predominantemente a evolução do cenário são a medição em tempo real ou previsão do vento,<sup>141</sup> a medição ou previsão da corrente<sup>142</sup> e o conhecimento ou previsão do campo de ondas,<sup>143</sup> que contribuem, conforme cada caso específico, para a deriva do objeto. Conseqüentemente, a informação acurada e rapidamente disponível sobre esses fatores ambientais, além de contribuir para a CSM da operação, será determinante para o seu sucesso, sendo esse o objetivo final da implantação de um sistema de auxílio à decisão para operações SAR.

Existem três teorias fundamentais que estabelecem as bases de uma operação SAR:

- a) A teoria de busca desenvolvida por Koopman;<sup>144</sup>
- b) Os estudos de como um alvo se move no oceano desenvolvidos desde o final do séc. XX e compilados no livro de Stone, Royset e Washburn;<sup>145</sup> e
- c) A previsão numérica ambiental.

Todas essas teorias estão hoje extremamente dependentes de investimentos em tecnologia da informação, entretanto em diferentes áreas. Enquanto o gerenciamento de áreas de busca e o estabelecimento de padrões de recobrimento estão relacionados com uma eficiente infraestrutura de armazenamento e transmissão de informações entre os órgãos de coordenação SAR e as SRU, as melhorias a serem alcançadas na previsão numérica ambiental estão diretamente ligadas à possibilidade de investimentos em computação de alto desempenho a fim de permitir a rodada de modelos em alta resolução, com melhor acurácia, e a emissão de

---

<sup>141</sup> Conforme publicado por Breivik *et al*, 2011.

<sup>142</sup> Conforme publicado por Hackett, Breivik e Wettre, 2006.

<sup>143</sup> Conforme publicado por Röhrs *et al*, 2012.

<sup>144</sup> Koopman, 1956a, 1956b e 1957.

<sup>145</sup> Stone, Royset e Washburn, 2016.

previsões de curtíssimo prazo, além do investimento em uma rede de observações e transmissão de dados ambientais a serem assimilados pelos modelos ambientais.<sup>146</sup> Finalmente, faz-se necessário o conhecimento e controle das incertezas envolvidas em cada passo do sistema a fim de que isso possa ser traduzido, estatisticamente, em áreas de busca e métodos de recobrimento que alcance a melhor POD.<sup>147</sup>

A FIG. 10 apresenta um esquema genérico de um sistema de apoio à decisão a partir do recebimento de uma chamada de emergência (MAYDAY<sup>148</sup>) e a consequente abertura do SAR por parte do Centro de Controle.

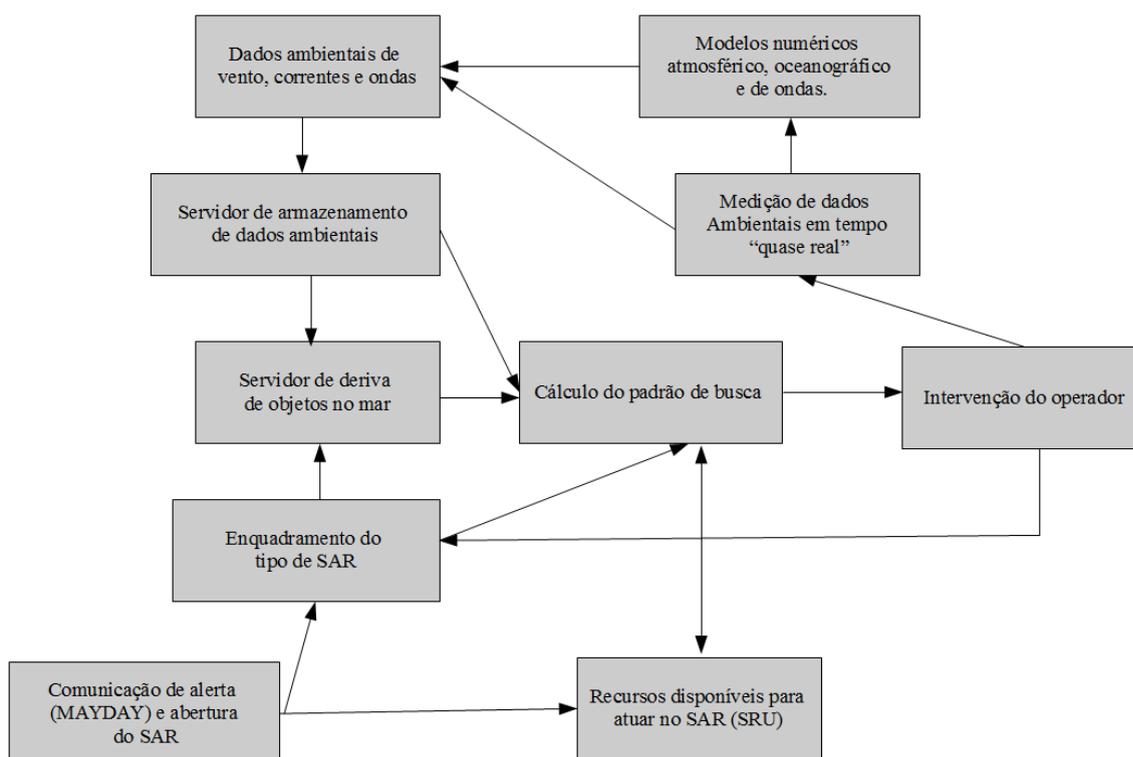


FIGURA 10 – Esquema de operação de um Sistema de Apoio à Decisão SAR.  
Fonte: Vettor e Soares, 2015, p. 2851 (tradução nossa).

<sup>146</sup> Vettor e Soares, 2015, p. 2849.

<sup>147</sup> Stone, Royset e Washburn, 2016, p. 3.

<sup>148</sup> MAYDAY é “o sinal internacional de socorro em radiotelefonia” (Manual IAMSAR, vol. III, p. 14).

Inicialmente todos os dados relacionados ao sinistro (p. ex. posição, tipo de objeto, dimensões, tipo do problema etc.) devem ser levantados e sempre que possível atualizados numa formatação padrão e mantidos permanentemente disponíveis para todos os atores envolvidos no evento. Os dados ambientais são coletados a partir de um servidor de armazenamento, que já receberia os dados diariamente das rodadas dos modelos numéricos, bem como os dados de modelos específicos para um determinado evento e dados de medições *in situ* disponíveis, seja por sensores remotos (satelitais) ou locais (p. ex. SLDMB, boias oceanográficas próximas etc.). A partir das informações do sinistro e dados ambientais é realizada a modelagem da deriva do objeto e posteriormente construídos os mapas de densidade de probabilidade (p. ex. Método Monte Carlo). Esta informação permitirá a verificação de qual SRU disponível, combinada com método de recobrimento da área de busca, seria mais apropriada para se alcançar a maior POD. Finalmente, é considerado de suma importância que tanto os dados ambientais quanto as informações sobre o sinistro sejam reavaliados no local e realimentados no sistema a fim de possibilitar o aprimoramento do plano de busca.

Conforme Breivik *et al*<sup>149</sup> destacou, modelos de alta resolução são essenciais de preferência com a assimilação de dados locais, especialmente os modelos atmosféricos, tendo em vista que os pequenos objetos respondem quase linearmente às mudanças de direção e intensidade do vento. Além disso, levando-se em consideração que a maioria dos eventos SAR ocorrem com pequenas embarcações dentro de 20 MN<sup>150</sup> da costa, os modelos de alta resolução deverão possuir uma configuração de topografia com resolução compatível a fim de ser possível descrever e prognosticar as interações do terreno com a circulação dos ventos e oceanos<sup>151</sup>, inclusive as circulações de brisa devidas à ação da radiação solar aquecendo distintamente áreas terrestre e marítima próximas.

---

<sup>149</sup> Breivik *et al*, 2011.

<sup>150</sup> 1 milha náutica (MN) corresponde a 1.852 metros (m).

<sup>151</sup> Carretero, *et al*, 2000, p. 274-275.

## 6.1 O SAROPS.<sup>152</sup>

Por volta de 1970 a USCG colocou em operação o primeiro sistema computadorizado de planejamento de missões de busca e salvamento, o *Search and Rescue Planning System* (SARP), que na realidade era somente a implementação computacional dos procedimentos, até então feitos manualmente, previstos nos manuais SAR. Em 1974 foi implementado o *Computer-Assisted Search Planning* (CASP), que utilizava uma abordagem Bayesiana<sup>153</sup> no cálculo da deriva do objeto no mar produzindo uma distribuição de probabilidade para a localização do objeto a ser buscado. A partir de 2003, a Guarda Costeira americana iniciou o desenvolvimento de uma nova ferramenta de apoio à decisão às missões SAR chamada de Sistema Ótimo de Planejamento de Busca e Salvamento<sup>154</sup> (SAROPS), que permanece operacional desde 2007 e ainda é a única ferramenta de auxílio utilizada no planejamento das buscas da USCG, sendo considerado o sistema de apoio SAR de maior avanço tecnológico existente atualmente.<sup>155</sup>

O SAROPS pode ser dividido em quatro componentes (módulos) básicos: o Servidor de Dados Ambientais (EDS<sup>156</sup>), o Simulador (SIM<sup>157</sup>), o Planejador da Busca e a Interface Gráfica do Usuário (GUI<sup>158</sup>).

Desenvolvido inicialmente pela USCG, o EDS é um servidor de dados mantido atualmente pela empresa *Applied Science Associates, Inc.* (ASA), que disponibiliza dados ambientais tanto em tempo real quanto dados pretéritos, seja dos inúmeros modelos numéricos

---

<sup>152</sup> Sigla do termo em inglês *Search and Rescue Optimal Planning System*.

<sup>153</sup> Em homenagem a Thomas Bayes (1701-1761), o objetivo da estatística Bayesiana, em geral, é representar as incertezas conhecidas sobre parâmetros do modelo em uma distribuição de probabilidades e posteriormente atualizar essas incertezas com novos dados conseguidos produzindo assim, uma nova distribuição de probabilidade com uma menor margem de incerteza. Na perspectiva Bayesiana qualquer probabilidade representa uma abordagem subjetiva do desconhecido e qualquer quantidade para a qual o valor verdadeiro é incerto, incluindo os parâmetros do modelo, pode se representada com distribuições de probabilidade (LYNCH, 2007, p. 50).

<sup>154</sup> Sigla do termo em inglês *Search and Rescue Optimal Planning System* (SAROPS). Tradução nossa.

<sup>155</sup> Stone, Kratzke e Frost, 2011, p. 1.

<sup>156</sup> Sigla do termo em inglês *Environmental Data Server* (EDS).

<sup>157</sup> Sigla do termo em inglês *simulator* (SIM).

<sup>158</sup> Sigla do termo em inglês *Graphical User Interface* (GUI),

meteorológicos, de ondas e oceanográficos existentes nos EUA, ou pertencentes a outros serviços nacionais de previsão ambiental parceiros ou, seja de dados obtidos através de medições *in situ* e por sensoriamento remoto. Os dados do EDS são acessíveis via *web* o que permite grande flexibilidade de operação. Uma das principais vantagens do EDS é a habilidade de prover uma base consistente e homogênea de dados provenientes de uma ampla variedade de fontes da comunidade científica, agregando-os espacialmente e no tempo, a fim de que o usuário, utilizando-se de uma única interface, tenha o acesso a qualquer dado ambiental dentro do servidor. Tudo isso de forma transparente, em que o interesse primordial do planejador da missão SAR são as informações existentes para sua área de operação, deixando coisas como controle de qualidade, redundância e falta de dados para serem tratadas pelos administradores do banco de dados.<sup>159</sup>

O módulo SIM é o que calcula a deriva de objeto no mar do SAROPS. Ele utiliza informações sobre a hora da LKP, incluindo as intenções de movimento para produzir distribuições de probabilidade, em forma de mapas, para a localização do objeto utilizando um filtro de partículas no qual cada partícula representa uma possível trajetória do objeto buscado. O filtro de partículas do SIM leva em conta a deriva utilizando as estimativas de ventos e correntes fornecidas pelo EDS. Além das intenções de movimento do objeto, o SIM pode incluir áreas mais propensas (estatisticamente) de ocorrerem problemas, áreas onde buscas já foram realizadas incorporando os dias de insucesso da operação numa abordagem Bayesiana, refinando a distribuição de probabilidade da trajetória do objeto a ser encontrado.

Em seguida, a partir das distribuições de probabilidade da trajetória do objeto ao longo do tempo, o módulo Planejador de Busca, a partir de uma lista de possíveis SRU produz um plano de busca que maximiza a POD do objeto. Após uma busca sem sucesso, o SIM recalculará um novo mapa de distribuição de probabilidade para a localização do objeto levando em conta o insucesso anterior, seu possível deslocamento tendo em vista as variações das

---

<sup>159</sup> EDS – *Environmental Data Server*, p. 1-3.

condições ambientais. Esse cálculo será a base para o planejamento da nova busca.<sup>160</sup>

O SAROPS é, sem dúvida, uma fundamental ferramenta para a obtenção da CSM nas operações SAR da USCG e sua operacionalização foi considerada o início da era moderna no planejamento desse tipo de missão, pois além de considerar as atualizações Bayesiana das buscas anteriores sem sucesso, ele permite o cálculo de múltiplas buscas com várias SRU a fim de aumentar a POD.<sup>161</sup>

## 6.2 O LEEWAY<sup>162</sup>

Motivado pela necessidade de ter uma resposta rápida e confiável às emergências SAR relacionadas a deriva de objetos no mar, o Centro Conjunto de Coordenação e Resgate da Noruega (JRCC<sup>163</sup>), com o apoio técnico do Instituto Meteorológico Norueguês (Met.no), implementou dentro do próprio Met.no o sistema LEEWAY de cálculo de deriva de objeto no mar.

O LEEWAY é baseado no método Monte Carlo em que a trajetória do objeto é calculada por meio de várias rodadas simultâneas do modelo utilizando-se perturbações estocásticas, promovendo um conjunto de prognósticos que definem a melhor distribuição de probabilidade da posição do objeto a ser buscado.

O JRCC é a instituição responsável pelo plano de busca e salvamento baseado no prognóstico de deriva passado pelo Met.no. Uma regra essencial nessa estrutura é a rapidez do fluxo de informações entre os órgãos de previsão ambiental e os centro de controle SAR. As previsões atmosféricas, de ondas e oceanográficas deverão sempre estar disponíveis, com o produto mais acurado e adequado possível, conforme as necessidades do órgão operacional,

---

<sup>160</sup> Stone, Kratzke e Frost, 2011, p. 1-2,5-6.

<sup>161</sup> Breivik et al, 2013, p. 85.

<sup>162</sup> O Nome LEEWAY é uma referência ao termo *leeway* que em inglês designa a deriva provocado pelos efeitos do vento relativo à parte exposta (acima d'água) de um objeto

<sup>163</sup> Sigla em inglês de *Joint Rescue Coordination Centres (JRCC)*.

mesmo que sejam baseadas em dados incertos. Por isso é mandatório haver backups ou sistemas alternativos de previsão para que o serviço operacional não fique sem um prognóstico necessário para o início das buscas.<sup>164</sup>

Segundo Breivik e Allen,<sup>165</sup> a vantagem da estrutura do LEEWAY é a de aproveitar o conhecimento técnico em modelagem ambiental do Met.no, tendo em vista ser essencial a disponibilidade, a qualquer momento, de dados ambientais necessários para alimentar um sistema operacional de apoio à decisão voltado para as missões SAR.

Um outro destaque do LEEWAY é o novo método de decomposição do vento nas componentes DWL e CWL empregado no sistema, levando a resultados mais realísticos que, em conjunto com a abordagem estocástica de previsão de conjuntos, resultou em taxas menores de aumento das áreas de busca, quando comparado a outros sistemas.<sup>166</sup>

### 6.3 O CANSARP<sup>167</sup>

Assim como os demais países signatários das convenções SOLAS e Internacional de Busca e Salvamento Marítimo, o Canadá também reconhece ser extremamente importante a localização e o resgate de pessoas envolvidas em acidentes na sua área marítima. A missão do Serviço Nacional de Busca e Salvamento Canadense é o de “prevenir a perda de vidas e feridos através de um sistema de alerta, resposta e ajuda voltados para as atividades de busca e salvamento, utilizando recursos públicos e privados”.<sup>168</sup> Nesse sentido são vários os departamentos do governo canadense envolvidos no suporte a esse objetivo incluindo o Departamento Nacional de Defesa (DND).

O CANSARP é a ferramenta de automação para o planejamento de busca disponível

---

<sup>164</sup> Hackett, Breivik e Wettre, 2006, p. 518-519.

<sup>165</sup> Breivik e Allen, 2008.

<sup>166</sup> Breivik e Allen, 2008, p. 111.

<sup>167</sup> Sigla do termo em inglês *Canadian Search and Rescue Planning Program*.

<sup>168</sup> Manual CAMSAR, 2014, seção I-1.01(E), p. 1 de 2. Tradução do original em inglês nossa.

para todos os Centros de Coordenação de Resgate (RCC) e os Sub-centros de Resgate marítimos (MRSC). Assim, como os demais sistemas de apoio SAR abordados o CANSARP necessita receber informações ambientais das mais acuradas possíveis para gerar previsões com alta probabilidade de sucesso.

No caso canadense, essas informações ambientais são geradas pelo Serviço Meteorológico e Oceanográfico das Forças Armadas Canadense (CFWOS<sup>169</sup>). Portanto, o CFWOS mantém disponível para acesso do RCC e MRSC os dados ambientais dos seus modelos numéricos necessários para a simulação do CANSARP, cuja rodada fica a cargo dos centros de coordenação, diferentemente da estrutura norueguesa onde o Met.no além de manter o controle de qualidade e fornecer os dados ambientais, também realiza a rodada do LEEWAY já passando para os centros de coordenação SAR daquele país as informações da deriva, o que de certa forma facilita as atividades dos órgãos responsáveis pela salvaguarda da vida humana no mar.

Também ao contrário do SAROPS, o CANSARP não utiliza o método Bayesiano de simulação o que caracteriza o primeiro como um modelo mais adequado a situações em que existam poucas informações a respeito do sinistro.

O CANSARP está disponível para download gratuito na sua página na Internet<sup>170</sup> sob a Licença Pública Geral (GPL) no âmbito do projeto GNU da *Free Software Foundation* (FSF).

#### **6.4 O SARMAP<sup>171</sup>**

Desenvolvido e comercializado pela RPS ASA, mesma empresa encarregada de administrar e manter o servidor de dados ambientais EDS do SAROPS, o SARMAP é um

---

<sup>169</sup> Sigla do termo em inglês *Canadian Forces Weather and Oceanographic Service* (tradução nossa).

<sup>170</sup> <http://loki.cgc.gc.ca/cansarp/>. Acesso em 22 jul. 2016.

<sup>171</sup> Sigla do termo em inglês de *Search & Rescue Model and Response System*.

software de cálculo da trajetória de um objeto à deriva no mar que também calcula múltiplos planos de busca para mais de uma SRU (caso haja disponibilidade) ao mesmo tempo, aumentando significativamente a POD. Atualmente na versão 7, o sistema já foi testado dentro da MB no CHM, dentro do já mencionado projeto REMO, inclusive durante o evento SAR por ocasião do acidente com a aeronave da empresa *Air France AF447* em junho de 2009, quando com o uso do software foram calculadas e passadas para a coordenação do SAR da MB, sugestões de planos de recobrimento da área para busca de corpos e possíveis sobreviventes, bem como a posição estimada da queda da aeronave baseada na posição onde foram encontrados destroços e corpos, rodando-se o modelo no sentido inverso (*backtrack*).<sup>172</sup>

Tal como os demais sistemas abordados, o SARMAP possui um banco de dados com os coeficientes de deriva de vários tipos de diferentes objetos, baseados em Allen e Plourde,<sup>173</sup> uma interface gráfica para fácil interpretação dos dados e calcula a deriva de objetos baseado no Método Monte Carlo, podendo realizar o cálculo de buscas múltiplas para um único ou vários objetos. Entretanto uma das grandes vantagens do SARMAP é a possibilidade de acesso aos dados ambientais disponíveis no EDS, tendo em vista ser a acurácia dessas previsões um dos maiores fatores de sucesso em operações SAR.<sup>174</sup> Releva mencionar que o SARMAP é comercializado em módulos, o que não é necessariamente uma desvantagem pois permite ao interessado adquirir somente o módulo que lhe for necessário.

O SARMAP é utilizado pelos serviços SAR da Argentina, Nova Zelândia, Austrália e Singapura.<sup>175</sup>

---

<sup>172</sup> Fonseca, 2008, p. 15 e Lima *et al*, 2011, p. 211.

<sup>173</sup> Allen e Plourde, 1999.

<sup>174</sup> *SARMAP Technical Brochure*, 2016, p. 1-2.

<sup>175</sup> *SARMAP Search & Rescue Model and Response System*. Disponível em <<http://asascience.com/software/sarmap/>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

## 6.5 O SARMaster<sup>176</sup>

Pertencente e comercializado pela empresa *Honeywell Global Tracking*, o SARMaster é um sistema tipo cliente-servidor de gerenciamento de incidentes SAR, relativamente abrangente, que oferece aos RCC e MRSC exibições gráficas e textuais necessárias à coordenação de uma operação SAR. A vantagem do uso do sistema é a de automatizar tarefas manuais que consomem tempo e são comumente encontradas em operações SAR como, por exemplo, registro em *log*, entrada de dados, consulta ao banco de dados de registros, listas de verificações, mapeamento e relatórios.<sup>177</sup> O Sistema ainda permite a estima da posição de uma embarcação a deriva, entretanto, diferentemente dos demais sistemas apresentados, não estão incluídos no SARMaster os coeficientes de deriva calculados por Allen e Plourde,<sup>178</sup> bem como as entradas de dados ambientais devem ser feitas manualmente, o que torna o sistema obsoleto para o emprego em operações SAR marítimas.

O SARMaster é um sistema eminentemente voltado às operações SAR de entidades nacionais aeronáuticas, sendo atualmente utilizado pela Força Aérea Brasileira (FAB), pela França e Canadá, sendo que este último país já estuda um sistema para sua substituição.<sup>179</sup>

## 6.6 O OpenDrift

O OpenDrift é um software de modelagem de trajetória e destino de objetos ou substâncias à deriva no oceano.<sup>180</sup>

O software é aberto e está todo programado em *Python*, que é uma linguagem de alto nível, ou seja, de relativo fácil entendimento do código. Como é um software aberto e

---

<sup>176</sup> Sigla em inglês do termo *Search & Rescue Incident Management System*.

<sup>177</sup> *SARMaster Data Sheet*, p. 1-2.

<sup>178</sup> Allen e Plourde, 1999.

<sup>179</sup> Abi-Zeid e Frost, 2005, p. 631.

<sup>180</sup> OpenDrift – Home. Disponível em: <<https://github.com/knutfrode/opendrift/wiki>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

bastante genérico, não é um modelo propriamente dito mas o que se pode chamar de um arcabouço de modelo,<sup>181</sup> o que o torna bastante interessante para desenvolvedores e pesquisadores, pois tem várias possibilidades de implementação e personalização.

O software foi desenvolvido dentro do Met.no e é mantido pelo seu desenvolvedor e uma comunidade de vários usuários. Em que pese que este não é um sistema operacional, ou seja pronto para ser utilizado em uma missão SAR, o OpenDrift pode ser visto como o núcleo para o estudo e desenvolvimento de um sistema operacional de apoio à decisão SAR próprio da MB.

## 6.7 Discussão sobre os Sistemas apresentados

Na comparação dos sistemas apresentados o SAROPS é sem dúvida o que existe de mais moderno e de pronto uso para qualquer operador de um MRSC americano, tendo em vista seu acesso via web, a quantidade de modelos e dados observados que compõe o servidor de dados ambientais do sistema e sua abordagem estatística Bayesiana, o que lhe dá uma flexibilidade de operação em áreas com poucas informações a respeito do sinistro. O LEEWAY, o CANSARP e o SARMAP estão em patamares próximos tendo vantagens e desvantagens para todos. No caso do SARMAP, a desvantagem é que deverá ser comprado, entretanto por ser comercial poderá ser adquirido com suporte a instalação e treinamento. Já o CANSARP, que está disponível para baixar gratuitamente, a instalação e operação requererá mais tempo de domínio do software e personalização para o recebimento de dados dos nossos modelos. O LEEWAY não está disponível para ser baixado gratuitamente e sua utilização deverá ser precedida de um acordo com autorização do Met.no. O SARMaster tem a vantagem de já ser operado pela FAB, o que é uma facilidade em termos de suporte e treinamento, mas além de ser comercial, ou seja, teria que ter sua licença de uso comprada, não se mostra tão robusto e

---

<sup>181</sup> O termo técnico em inglês é *framework* que não há uma tradução exata, em uma só palavra, para o português com o significado correto.

adequado ao salvamento marítimo como os demais, e o OpenDrif por ser eminentemente um arcabouço de modelo não se adéqua às necessidades de emprego operacional.

Avalio que a Marinha do Brasil, que atualmente está obsoleta no que se refere a emprego de uma ferramenta computacional para auxílio à decisão nas suas operações SAR, deva optar pela implantação do SARMAP em sua estrutura de busca e salvamento. Nesse sentido o Serviço Meteorológico Marinho do CHM deverá integrar o seu modelo oceanográfico HYCOM ao SARMAP, bem como capacitar-se em trabalhar com os dados das SLDMB tanto no modelo de deriva quanto no HYCOM, a fim de gerar previsões com a mais alta confiabilidade possível. Os RCC distritais serão os responsáveis pela elaboração do plano de busca e salvamento, através do SARMAP, baseado no prognóstico de deriva passado pelo SMM. Tanto o CHM quanto os RCC distritais deverão receber recursos materiais e de pessoal compatível para estabelecerem uma estrutura apropriada e operacional a fim de ser possível o apoio adequado às missões SAR da MB.

Em paralelo a este primeiro passo, a MB deverá, por meio do PLADEPO, investir em estudos na área de modelagem numérica ambiental e modelagem de deriva de objetos no mar, bem como no correto e adequado uso das SLDMB, com a participação em conclaves internacionais nestes assuntos, no sentido de aperfeiçoar cada vez mais as ferramentas de apoio a decisão das operações SAR, permitindo, inclusive, o desenvolvimento de um sistema proprietário da MB a ser incorporado no SisGAAz.

## 7 CONCLUSÃO

A Consciência Situacional Marítima é a efetiva compreensão de tudo que está associado ao meio marinho que pode causar impacto na defesa, na segurança, na economia e no meio ambiente do entorno estratégico.

A Marinha do Brasil que tem definida constitucionalmente como uma de suas principais atribuições subsidiárias a de “prover a segurança da navegação aquaviária” nas AJB, e é a responsável no país pela implantação, organização e operação de um Serviço de Busca e Salvamento Marítimo com o objetivo de atender as emergências relativas à salvaguarda da vida humana no mar, que possam atingir aos navegantes no mar e nas nossas vias navegáveis interiores.

O conhecimento do meio ambiente da área de operações, das capacidades e restrições dos meios envolvidos e do tráfego marítimo nas proximidades do incidente, sem dúvida alguma, são capacitações que incrementam a CSM das operações SAR, aumentando consideravelmente as chances de sucesso dessa importante tarefa sob responsabilidade da MB. Nesse contexto, consonante com a diretriz nº 3 da Estratégia Nacional de Defesa, que estabelece como uma meta a capacidade de monitorar e controlar as AJB, além do território e espaço aéreo nacionais, a partir da utilização de um sistema de monitoramento marítimo nacional, a MB concebeu a ideia de desenvolver o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul, que será o seu principal sistema de comando e controle, englobando tarefas de vigilância, monitoramento, prevenção a poluição e da salvaguarda da vida humana no mar, estando completamente consonante com o conceito de CSM.

O SisGAAz pode ser entendido como um Sistema de Sistemas para o monitoramento das AJB, e apesar de seu Projeto encontrar-se atualmente paralisado, tendo em vista as fortes restrições orçamentárias enfrentadas pela MB, nada impede que se busque o desenvolvimento de novos sistemas que se incorporarão ao Projeto SisGAAz por ocasião de sua

futura retomada. Nesse sentido, o presente trabalho buscou apresentar a necessidade de incorporação dentro da MB de um Sistema de Apoio à Decisão às Operações SAR, baseado na utilização de Boias de Marcação de Deriva, modelos numéricos de previsão oceanográfica e modelos de deriva de objetos no mar, a fim de que seja possível à MB incrementar a sua CSM numa situação de emergência que envolva perdas significativas de material e vidas humanas.

A SLDMB é um flutuador planejado para derivar, essencialmente, pelo efeito da corrente, sofrendo pouco ou nenhum efeito de deriva causada por vento, o que faz com que sua variação de posição retorne o valor da corrente da superfície. Tendo em vista ser essa informação essencial para o cálculo da deriva de objetos no mar, entende-se que qualquer sistema de apoio à decisão a operações SAR prescindirá do uso desse tipo de instrumento.

Uma vez que a Força Aérea Brasileira já utiliza a SLDMB em apoio às suas atividades SAR e o Centro de Hidrografia da Marinha é integrante do programa PNBOIA, que tem como objetivo a coleta de dados oceanográficos e meteorológicos no Atlântico Sul, e do PLADEPO, que visa elaborar informações ambientais com aplicação operacional ao setor operativo da MB, vislumbra-se a oportunidade da troca de experiência com a FAB e participação do CHM na avaliação, em conjunto com o setor operativo, do uso das SLDMB em apoio às operações SAR da MB, o que traria significativa contribuição para o incremento da Consciência Situacional Marítima nas áreas de busca dessas importantes missões.

A Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica é uma parceria entre o Cenpes (PETROBRAS), universidades (FURG, USP, UFBA e UFRJ) e a MB (CHM), que proporcionou a implantação no CHM do modelo oceanográfico HYCOM. Atualmente, o HYCOM encontra-se operacional realizando diariamente previsões para o Atlântico Sul, o que pode ser outra fonte de dados de corrente a ser alimentada nos sistemas de apoio à tomada de decisão das operações SAR da MB.

A partir de dados ambientais mais acurados possíveis e disponíveis, os modelos de deriva de objeto no mar calculam as possíveis trajetórias de um objeto à deriva e sujeito aos

efeitos do vento na sua superestrutura (área vélica acima d'água) e efeitos da corrente na superfície atuando na parte submersa do objeto. A deriva devido às ondas (deriva de Stokes) importa somente a objetos cujas dimensões sejam igual ou maiores ao comprimento das ondas, o que na prática significa dezenas de metros.

A determinação da última posição conhecida numa operação SAR, muitas vezes é fruto de incertezas e possui significativo efeito na previsão da deriva nos modelos, sendo por isso a sua determinação uma das principais tarefas do centro de coordenação SAR. Além das incertezas da LKP, existem as imprecisões das forçantes ambientais de vento, corrente e ondas, utilizadas no modelo, bem como as características do objeto flutuando que ao interagir com essas forçantes determinam sua deriva. Para contornar essas incertezas envolvidas na tarefa do cálculo da deriva de objetos no mar, os modelos mais modernos utilizam o método estatístico de Monte Carlo para, através de perturbações estocásticas nos parâmetros de deriva do objeto, realizar um conjunto de rodadas criando uma nuvem de possíveis soluções, permitindo dessa forma a identificação da região mais provável onde o objeto derivante está localizado.

Para o correto funcionamento de um sistema computacional de apoio a decisão, o serviço SAR deve ser montado de forma a estar intimamente ligado a um serviço de previsão ambiental operacional confiável, possibilitando a contínua troca de informações entre ambos os serviços para que os dados ambientais necessários aos modelos de deriva de objeto no mar estejam disponíveis não somente de maneira rápida mas também que sejam confiáveis e especificamente preparados para o uso no modelo de deriva SAR utilizado.

Baseado em informações ambientais acuradas, sejam provenientes das Boias de Marcação de Deriva ou de modelos oceanográficos como o HYCOM, propõe-se à MB a adoção de um sistema que contemple o recebimento desses dados e a sua inserção em um modelo de deriva de objetos no mar a fim de estimar-se computacionalmente qual trajetória será determinada às unidades de busca com o intuito de obter-se a maior Probabilidade de Detecção possível. Sendo esses os elementos essenciais da proposta de sistema de apoio à decisão. Todo o

conjunto de dados ambientais disponíveis, somado ao modelo de deriva de objetos no mar e um sistema de planejamento de derrota da busca perfazem um sistema de apoio à decisão para operações busca e salvamento, que busca, de forma determinística, o alcance da CSM para a consecução dessas operações.

A partir dos dados apresentados no Anuário Estatístico da Marinha de 2015, é possível concluir que existe uma tendência de aumento nos casos de incidentes SAR com embarcações em águas brasileiras, considerando o potencial de perda de vidas nesses incidentes, entende-se que essa ameaça já é motivação suficiente para um Estado costeiro do tamanho do Brasil aperfeiçoar seu serviço SAR por meio da adoção de um **Sistema de Apoio à Decisão para Operações SAR**, tal qual já existe em diversos países.

Como exemplos de sistemas de apoio à decisão, foram apresentados o SAROPS utilizado na USCG, o LEEWAY Norueguês, o Canadense CANSARP operado pela CCG, o SARMAP que é comercial e utilizado pelos serviços SAR da Argentina, Nova Zelândia, Austrália e Singapura, bem como os sistemas SARMaster mais voltado para o SAR aéreo e utilizado inclusive pela FAB, e o OpenDrift que caracteriza-se por ser de código aberto e de possível utilização como o núcleo de estudo e desenvolvimento de um sistema próprio da MB.

Após as descrições dos sistemas e uma discussão de vantagens e desvantagens de cada um, foi apresentada a sugestão de aquisição e implantação do SARMAP na estrutura SAR da MB, na qual o Serviço Meteorológico Marinho seria o responsável pela geração do perfil de deriva do objeto, por meio da integração do modelo oceanográfico HYCOM ao SARMAP, bem como da capacitação em trabalhar com os dados de corrente da superfície das SLDMB tanto no modelo de deriva quanto na verificação do modelo HYCOM. Os Centros de Coordenação SAR regionais ficariam com a responsabilidade da elaboração do plano de busca e salvamento do alvo, através do SARMAP, com os dados da deriva calculados pelo SMM.

Nesse sentido, é desejável que os órgãos envolvidos recebam investimentos adequados que permitam sua real integração de troca de dados, possibilitando a se tornarem

uma estrutura operacional de auxílio à decisão aos SALVAMAR distritais, trazendo a MB para fora da atual obsolescência em que se encontra no que concerne a sistemas computacionais de auxílio à decisão SAR.

Finalmente, observou-se que os investimentos em pesquisa e formação nessa área deverão ser continuados a fim de que se possa alcançar uma autonomia baseada em um sistema próprio da MB, que permita a efetiva integração ao SisGAz.

A Marinha do Brasil possui inúmeros exemplos de projetos consagrados com inegáveis dificuldades tecnológicas, que foram iniciados o desenvolvimento a partir da identificação de uma deficiência, em que reconheceu-se a necessidade de assumir um novo rumo. Foi apresentada a oportunidade de um novo passo que pode ser dado no sentido do incremento da Consciência Situacional Marítima das operações de busca e salvamento por meio da implementação de um novo Sistema de Apoio à Decisão passível de ser assimilado dentro da estrutura SAR da MB, e que certamente, promoverá uma maior chance de sucesso dessa importante tarefa que foi atribuída constitucionalmente à nossa Marinha.

## REFERÊNCIAS

ABI-ZEID, Irene; FROST, John R. ***SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations***. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 162, p. 630–653. 2005.

ALLEN, Arthur A. ***Performance of GPS/Argos self-locating datum marker buoys (SLDMBs)***. OCEANS'96. MTS/IEEE. Prospects for the 21st Century. Conference Proceedings, vol. 2. 1996. pp. 857-861.

ALLEN, Arthur A.; PLOURDE, Jeffery V. ***Review of leeway: field experiments and implementation***. *Tech. Rep. CG-D-08-99, US Coast Guard Research and Development Center, Groton, CT, EUA*, 1999. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/235044274\\_Review\\_of\\_Leeway\\_Field\\_Experiments\\_and\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/235044274_Review_of_Leeway_Field_Experiments_and_Implementation)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

***Amendments to the International Aeronautical And Maritime Search And Rescue (IAMSAR) Manual***. IMO. 2013. Disponível em: <<http://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin1242anx1.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

BARBOSA JUNIOR, Ilques; MORE, Rodrigo Fernandes (ORG.). ***Amazônia Azul: política, estratégia e direito para o oceano do Brasil***. Rio de Janeiro, RJ: FEMAR, 2012. 312 p.

BRASIL, ***Anuário Estatístico da Marinha (ANEMAR) 2015***. Diretoria de Administração da Marinha, vol. I, 43ª ed., 02 ago. 2016.

BRASIL. ***Carta de Instrução Busca e Salvamento (SAR) - ComOpNav N° 001-10***. Comando de Operações Navais, 12 de abril 2010.

BRASIL. ***Comando de Operações Navais. Marinha do Brasil. SALVAMAR Brasil: Histórico***. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/salvamarbrasil/historico.html>>. Acesso em: 02 abr. 2016

BRASIL. ***Comando do Controle Naval do Tráfego Marítimo. Marinha do Brasil***. Disponível em: <<https://www1.mar.mil.br/comcontram/>>. Acesso em: 03 jul. 2016

BRASIL. ***Doutrina Básica da Marinha (DBM) 2ª Rev. – EMA – 305***. Estado Maior da Armada, 08 de janeiro 2014.

BRASIL. ***Estratégia Nacional de Defesa***. Ministério da Defesa, Brasília, DF, 2012a. Disponível em: <[http://www.defesa.gov.br/projetosweb/estrategia/arquivos/estrategia\\_defesa\\_nacional\\_portugues.pdf](http://www.defesa.gov.br/projetosweb/estrategia/arquivos/estrategia_defesa_nacional_portugues.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2016.

BRASIL. ***Glossário de Termos de Busca e Salvamento Aeronáutico – CIRCEA 64-1***. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica, 27 abr. 2015a. Disponível em <<http://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=4190>>. Acesso em 20 jul. 2016.

BRASIL. ***Lei Complementar n° 97, de 9 de junho de 1999: Dispõe sobre as normas gerais para a organização, o preparo e o emprego das Forças Armadas***. Diário Oficial da União, Brasília, 10 junho 1999. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LCP/Lcp97.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp97.htm)>. Acesso em: 01 abr. 2016.

BRASIL. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Presidência da República. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/lbdn.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

BRASIL. **Manual de Busca e Salvamento Aeronáutico – MCA 64-3**. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica, 27 abr. 2015b. Disponível em <<http://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=4161>>. Acesso em 20 jul. 2016.

BRASIL. **Plano de Desenvolvimento do Programa Oceano (PLADEPO)**. Memo nº 1/2013. Diretoria-Geral de Navegação, 22 jan. 2013.

BRASSEUR, Pierre. *Ocean Data Assimilation Using Sequential Methods Based On The Kalman Filter*. In: CHASSIGNET, Eric P.; VERRON, Jacques. *Ocean Weather Forecasting. An Integrated View of Oceanography*. Dordrecht, Holanda. Springer, 2006. cap. 10, p. 271-317.

BREIVIK, Øyvind; ALLEN, Arthur A. *An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea*. *Journal of Marine Systems*, vol. 69, nº 1-2, p. 99-113, jan. 2008.

BREIVIK, Øyvind; *et al.* *Wind-induced drift of objects at sea: The leeway field method*. *Applied Ocean Research*, vol. 33, nº 2, p. 100-109, 2011.

BREIVIK, Øyvind; *et al.* *Advances in search and rescue at sea*. *Ocean Dynamics*, vol. 63, p. 83–88, 2013.

BUSH, George W. *National Security Presidential Directive NSPD-41*. 21 dec. 2004. Disponível em: <<https://fas.org/irp/offdocs/nspd/nspd41.pdf>>. Acesso em 07 jun. 2016.

*Canadian Aeronautical And Maritime Search And Rescue (CAMSAR) Manual – Combined Edition – Volumes I, II and III*. Director Operation Support – Canadian Coast Guard. 2014. Disponível em <<http://ccga-pacific.org/training/manuals/CAMSAR-2014-english-signed.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

CARRETERO, Juan Carlos A., *et al.* *Ocean forecasting in narrow shelf seas: application to the Spanish coasts*. *Coastal Engineering*, vol. 41, nº 1–3, p. 269–293, 2000.

CHAVES JUNIOR, Sergio F. de A. **Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz): o passo inicial para o efetivo controle da área marítima brasileira**. 2013. 51 f. Monografia (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia) - Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2013.

CHASSIGNET, Eric P.; VERRON, Jacques. *Ocean Weather Forecasting. An Integrated View of Oceanography*. Dordrecht, Holanda. Springer, 2006. 577 p.

DAVIS, Russ E. *Drifter Observations of Coastal Surface Currents During CODE: The Method and Descriptive View*. *Journal of Geophysical Research*, vol. 90, nº C3, p. 4741-4755, 1985.

DOMBROWSKY, Eric; *et al.* *GODAE systems in operation*. *Oceanography*, v. 22, n. 3, p. 80–95. 2009.

DURRAN, Dale .R. *Numerical Methods for Waves Equations in Geophysical Fluid Dynamics*. 1 ed. New York, Springer-Verlag, 1998. 464p.

EAGLE, James N. *The Optimal Search for a Moving Target When the Search Path is Constrained*. *Operations Research*, Vol. 32, Nº 5, 1984.

EDS – *Environmental Data Server*. RPS-ASA. Disponível em: [http://www.asascience.com/software/eds/data/EDS\\_TechDescription\\_2013.pdf](http://www.asascience.com/software/eds/data/EDS_TechDescription_2013.pdf). Acesso em: 21 jul. 2016.

FARIA, João Afonso Prado Maia de. **A Consciência Situacional Marítima (CSM) e a Marinha do Brasil**. *Revista da Escola de Guerra Naval*, vol. 18, nº 1. Rio de Janeiro, jan/jun 2012. pp. 213 – 229. Disponível em: <https://www.egn.mar.mil.br/ojs/index.php/revistadaegn/article/view/16/v188.pdf>. Acesso em 03 jul. 2016.

FONSECA, Luiz Claudio M. da. **Estudo Comparativo de Esquemas para o Cálculo de Trajetórias no Método Semi-Lagrangeano**. 2005, 124 p. Dissertação (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

FONSECA, Luiz Claudio M. da. **O Emprego de um Modelo de Deriva de Objetos no Mar nas Operações de Busca e Salvamento (SAR): Implantação de um sistema de modelagem numérica em apoio às operações de busca e salvamento da Marinha do Brasil**. 2008. 33 f. Monografia (Curso Superior) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2008.

**GODAE Oceanview – Ocean Models**. Disponível em <https://www.godae-oceanview.org/science/ocean-forecasting-systems/ocean-models/>. Acesso em: 29 jul. 2016.

HACKETT, Bruce; BREIVIK, Øyvind; WETTRE, Cecilie. *Forecasting The Drift Of Objects And Substances In The Ocean*. In: CHASSIGNET, Eric P.; VERRON, Jacques. *Ocean Weather Forecasting. An Integrated View of Oceanography*. Dordrecht, Holanda. Springer, 2006. cap. 23, p. 507-523.

**Manual Internacional Aeronáutico e Marítimo de Busca e Salvamento (IAMSAR) Volume III**. IMO. 2013. Disponível em: [https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/iamsar\\_consolidado\\_com\\_emd\\_jul2013.pdf](https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/iamsar_consolidado_com_emd_jul2013.pdf). Acesso em: 05 abr. 2016.

**Iridium Self Locating Datum Marking Buoy (iSLDMB)**. Disponível em: <https://iridium.com/products/details/isldmb-iridium-self-locating-datum-marking-buoy>. Acesso em 17 jul. 2016.

KRATZKE, Thomas M.; STONE, Lawrence D.; FROST, John R. *Search and Rescue Optimal Planning System*. In: *Information Fusion (FUSION)*, 13<sup>th</sup> Conference, Edinburgh, IEEE, p. 1-8, 2010.

KREISHRE, Otto. *Situational Awareness Navy leads U. S. effort to connect agencies, assets and allies for total maritime picture*. *Seapower*. Vol 51, nº 4, abril 2008. pp. 12-15. Disponível em: <http://www.seapower-digital.com/seapower/200804?pg=1#pg1>. Acesso em 17 abr. 2016.

LIMA, Jose A. M; *et al.* **Design and implementation of the oceanographic modeling and observation network (REMO) for operational oceanography and ocean forecasting**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, n. 2, p. 209-228. 2013.

LYNCH, Scott M. *Introduction to Applied Bayesian Statistics and Estimation for Social Scientists*. Springer Science+Business Media, 24 abr. 2007.

*MetOcean iSLDMBs for AMSA*. Metocean Services International. Disponível em: <<http://www.metoceanservices.com/metocean-isldmbs-amsa>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

*MITRE Systems Engineering Guide*. MITRE Corporation, Bedford, 2014. p. 606. Disponível em: <<http://www.mitre.org/sites/default/files/publications/se-guide-book-interactive.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

*National Maritime Domain Awareness Plan for the National Strategy for Maritime Security*. US DoD. 2013. Disponível em: <[https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/national\\_maritime\\_domain\\_awareness\\_plan.pdf](https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/national_maritime_domain_awareness_plan.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2016

*National Plan to Achieve Maritime Domain Awareness*. 2005. Disponível em: <[https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/HSPD\\_MDAPlan\\_0.pdf](https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/HSPD_MDAPlan_0.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2016

OLIVEIRA JÚNIOR, Fransisco A. de. **As Perspectivas da concepção atual do Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz) para o monitoramento e controle das Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB)**. 2013. 93 f. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítimas) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2013.

PAVEC, Marc; TURPIN, Victor; TAILLANDIER, Vincent. *Assimilation of lagrangian drifters trajectories into surface current models*. 4th International Workshop on Technologies for Search And Rescue and other Emergency Marine Operations. Brest, France. 2011. Disponível em: <[http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011\\_PAVEC](http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011_PAVEC)>. Acesso em: 01 abr. 2016

PENG, G.; LESLIE, L.M.; SHAO, Y. *Environmental Modelling and Prediction*. Berlin. Springer-Verlag, 2002. 480 p.

PINGREE, Frederick DE W. *Forethoughts on Rubber Rafts*. Technical Report, Woods Hole Oceanographic Institution, 1944.

PINHO FILHO, Airton T. **Reflexos da situação econômica do País no Orçamento e Programas prioritários da MB**. Aula Inaugural do CEMA para o C-PEM e CEMOS em 22 fev. 2016.

PINTO, Carlos Augusto L. **Maritime Domain Awareness: Convergências e Divergências com os interesses brasileiros no Atlântico Sul**. 2013. 84 f. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítimas) - Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2013.

**Programa Nacional de Boias (PNBOIA)**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-goos/pnboia.html>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

REINERT, Cesar B. de M. (reinert@chm.mar.mil.br). **Sistemas de Previsão Oceanográfica** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por lclaudiomf@hotmail.com em 13 jul. 2016.

RICHARDSON, H. R.; DISCENZA, J. H. *The United States Coast Guard Computer-Assisted Search Planning system (CASP)*. Naval Research Logistics, 27.1980. pp. 659–680.

RÖHRS, Johannes; *et al.* **Observation-based evaluation of surface wave effects on currents and trajectory forecasts.** *Ocean Dynamics*, vol. 62, p. 1519-1533, 2012.

RS AQUA – **Serving Oceanography.** Disponível em: <[http://www.rsaqua.co.uk/product\\_detail.php?p=30](http://www.rsaqua.co.uk/product_detail.php?p=30)>. Acesso em: 01 jul. 2016.

**SARMAP Technical Brochure.** RPS ASA Group, jul. 2016. Disponível em: <<http://asascience.com/software/PDF/SARMAP.pdf>>. Acesso em 22 jul. 2016.

**SARMaster Data Sheet. Search & Rescue Incident Management System.** Honeywell Global Tracking. Disponível em: <[https://www.gt.honeywell.com/CatalogDocuments/Datasheet\\_SARMaster.pdf](https://www.gt.honeywell.com/CatalogDocuments/Datasheet_SARMaster.pdf)>. Acesso em 22 jul. 2016.

SCHILLER, Andreas; BRASSINGTON, Gary B. (Editors). **Operational Oceanography in the 21<sup>st</sup> Century.** Springer, 2011. 745p.

SMAGORINSKY, Joseph. **The Beginnings of Numerical Weather Prediction and General Circulation Modeling: Early Recollections.** *Advances in Geophysics*, Elsevier, v. 25, pp 3-37. 1983.

STONE, Brian. **Maritime Search Planning with SLDMB at the Canadian Coast Guard.** *4th International Workshop on Technologies for Search And Rescue and other Emergency Marine Operations.* Brest, France. 2011. Disponível em: [http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011\\_STONE\\_B\\_eng.pdf](http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011_STONE_B_eng.pdf). Acesso em: 01 abr. 2016

STONE, Lawrence D.; ROYSET, Johannes O.; WASHBURN, Alan R. **Optimal Search for Moving Targets.** Springer, 211 p., 6 abr. 2016

STONE, Lawrence; KRATZKE, Thomas; FROST, John. **Search Modelling and Optimization in the US Coast Guard's Search and Rescue Optimal Planning System (SAROPS) at the USCG.** *4th International Workshop on Technologies for Search And Rescue and other Emergency Marine Operations.* Brest, France. 2011. Disponível em: [http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011\\_STONE\\_L.pdf](http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011_STONE_L.pdf). Acesso em: 01 abr. 2016

**The National Strategy for Maritime Security,** set. 2005. Disponível em: <<http://www.state.gov/documents/organization/255380.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2016.

THOMOPOULOS, Nick T. **Essentials of Monte Carlo Simulation.** *Statistical Methods for Building Simulation Models.* New York, Springer Science+Business Media, 2013. 171 p.

VETTOR, Roberto; SOARES, C. Guedes. **Computational system for planning search and rescue operations at sea.** *Procedia Computer Science* (51). 2015. pp. 2848–2853. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915012545>>. Acesso em: 31 mar. 2016

WILLIAMS, W. G.; ZEYGER, E. **A Second Generation Self-Locating Datum Marker Buoy.** *4th International Workshop on Technologies for Search And Rescue and other Emergency Marine Operations.* Brest, France. 2011. Disponível em: [http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011\\_WILLIAMS.pdf](http://www.ifremer.fr/web-com/sar2011/Presentations/SARWS2011_WILLIAMS.pdf). Acesso em: 01 abr. 2016