



# A DERIVA DE OBJETOS NOS OCEANOS: UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ATRAVÉS DA MODELAGEM NUMÉRICA OCEANOGRÁFICA APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE SALVAMENTO E RESGATE (SAR)

*Autores: 1ºTen Thiago Zamith Cunha<sup>1</sup>  
1ºTen (T) André Luiz Araujo Damiano<sup>2</sup>  
Raquel Leite Mello<sup>3</sup>*

## RESUMO

A salvaguarda da vida humana no mar está intrinsecamente relacionada ao contínuo monitoramento da costa brasileira e, principalmente, ao uso dos sistemas da Oceanografia Operacional que provê as observações e previsões necessárias. Neste artigo, dar-se-á uma avaliação e comparação com as áreas de busca calculadas e referenciadas no Manual Internacional Marítimo e Aeronáutico de Salvamento e Resgate (IAMSAR), por meio de um estudo de caso ocorrido na costa nordeste brasileira, com as simulações de deriva de objeto-SAR

baseadas no modelo HYCOM-CHM, bem como no modelo SPAD-SAR, que está sendo desenvolvido pela Marinha do Brasil.

## Palavras-chave:

Modelagem Numérica; Oceanografia Física; Operações SAR; HYCOM; SPAD-SAR.

## ABSTRACT

The safeguarding of human life at sea is intrinsically related to the continuous monitoring of the Brazilian coast and, mainly, to the use of Operational Oceanography

---

<sup>1</sup> Primeiro-Tenente, Hidrógrafo (CA). Atualmente exerce a função de Chefe da Divisão de Hidroceanografia do AvPqHoAspMoura. Seus interesses de pesquisa versam sobre Hidrodinâmica Costeira, Oceanografia Física e Modelagem Computacional. Em particular, aos estudos voltados às aplicações nas operações SAR.

<sup>2</sup> Primeiro-Tenente, Quadro Técnico (T). Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica pela FURG. Encarregado da Seção de Modelagem Oceanográfica do Centro de Hidrografia da Marinha.

<sup>3</sup> Bacharel em Física. Doutora em Oceanografia Física (UFRJ). Atua na Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) em parceria com o Centro de Hidrografia da Marinha.



systems that provide observations and forecasts. In this article, an evaluation and comparison will be made with the search areas calculated and referenced to the International Maritime and Aeronautical Rescue and Rescue Manual (IAMSAR), through a case study that took place on the northeast coast of Brazil, where object-SAR drift was simulated based on the HYCOM-CHM model and with the Lagrangian particle model that, differently from other traditional models, is used to generate the trajectory of the SAR object, stochastic approximations based on the Monte Carlo technique, well as the model under development by Brazilian Navy, the SPAD-SAR.

**Keywords:**

Numerical Modeling; Physical Oceanography; SAR Operations; HYCOM; SPAD-SAR.

**1. INTRODUÇÃO****1.1 Considerações iniciais**

As diversas interações da natureza e suas aleatoriedades de eventos produzem efeitos no binômio oceano-atmosfera. Por isso, a modelagem numérica é empregada a fim de que seja possível analisar tais efeitos ao materializá-los em previsões a partir de dados observáveis na escala desejada. Ademais, existe o incremento da modelagem aplicada às áreas como derramamento de óleo ilegal no mar, emissários submarinos, processos erosivos de sedimentos, dragagem, calibração hidrodinâmica, dispersão de larvas de peixes e diversos outros (Sayol *et al.*, 2013).

A prevenção do impacto dos desastres ambientais está intrinsecamente relacionada ao contínuo monitoramento da costa brasileira e, principalmente, ao uso de sistemas da Oceanografia Operacional,

que provê observações e previsões necessárias. Neste artigo serão abordadas especificamente as aplicações relacionadas às operações de busca e salvamento; viés esse, em contínuo crescimento nos centros de oceanografia do mundo. Ressalta-se ainda que a segurança de vidas e bens no mar é um objetivo compartilhado por muitos países, e possuir um sistema eficaz de previsão do oceano é essencial para o melhor desempenho da previsão do estado do mar, além de possibilitar o fornecimento de informações ambientais úteis, aumentando, assim, a eficácia das operações (Brevik *et al.*, 2013).

Ademais, em consonância com a mentalidade global vigente, bem como em virtude da necessidade de atualização e contínuo aprimoramento das ferramentas empregadas nas operações SAR, recentemente a Marinha do Brasil envidou esforços que se materializaram no projeto do Sistema de Planejamento e Apoio à Decisão em Operações de Busca e Salvamento, o SPAD-SAR, que encontra-se em desenvolvimento pela empresa PROOCEANO.

Neste artigo, dar-se-á uma análise através de simulação gerada pelo modelo hodierno utilizado pelo setor de Previsão Numérica do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), o HYCOM-CHM, e também pelo sistema-protótipo SPAD-SAR, o Sistema de Planejamento e Auxílio a Decisão, voltado às operações SAR que, em virtude da parceria MB e Shell, poderá ser utilizado para fins acadêmicos, contribuindo, também, para o presente artigo. Nas simulações, será utilizado, com as devidas descaracterizações, um caso-SAR real ocorrido no litoral brasileiro, no qual houve o resgate por meio dessa operação. Dessa forma, uma análise qualitativa e quantitativa entre modelos também será realizada, a fim de obter conclusões que beneficiem o sistema de Oceanografia Operacional da Marinha do Brasil.



Por conseguinte, baseando-se tanto na simulação que se desenvolverá quanto em bibliografia apropriada, pode-se inferir que os modelos numéricos oceânicos aplicados às diversas operações navais contribuem preponderantemente para o sucesso destas.

A presente pesquisa tem sua relevância nos aspectos alusivos à utilização dos modelos supracitados, aplicados nas operações de busca e salvamento, pois, uma vez estudados os processos, importantes conclusões serão extraídas.

Estipulou-se, então, os seguintes problemas de pesquisa: Como se desenvolverão as simulações com os modelos testados? E até que ponto a utilização do modelo oceânico HYCOM será eficaz nas operações SAR?

## 1.2 Revisão Bibliográfica

De posse do referencial teórico a ser aprofundado, optou-se por apoiar-se nas reflexões dos seguintes autores: Wallcraft *et al.* (2003) nos aspectos relacionados às diversas características do Modelo Oceânico HYCOM e nas conclusões de Metzger *et al.* (2006), Chassignet *et al.* (2007) e Dombrowsky *et al.* (2009) no que tange a sua performance como modelo oceânico global.

Primeiramente, o consórcio HYCOM é um esforço multi-institucional patrocinado pelo Programa Nacional de Parceria Oceânica (NOPP), como parte do Experimento Global de Assimilação de Dados do Oceano dos EUA (GODAE), para desenvolver e avaliar uma coordenada híbrida isopical-sigma. com assimilação de dados (generalizada) denominado Modelo Oceânico de Coordenadas Híbrido (HYCOM). Os objetivos do GODAE são: a representação tridimensional do estado do oceano em resolução fina em tempo real, provisão de condições de contorno para modelos costeiros e regionais e provisão de condições de contorno oceânico para um modelo de previsão de atmosfera oceânica global acoplado. Elencados por uma parceria

entre instituições que representam um amplo espectro da sociedade oceanográfica (HYCOM,2020).

Posto que o HYCOM é integrante do GODAE, bem como fornecedor de condições iniciais e de contorno dos modelos costeiros e regionais, Davidson *et al.* (2009) reuniu os aspectos mais relevantes da aplicação do GODAE de maneira eficiente nos modelos locais ou regionais aplicados às operações SAR, ao tornar-se, assim, importante variável no processo decisório. Além disso, o mote principal de sua avaliação foi a assimilação de dados através de modelos oceânicos que apresentam melhores performances quando aplicados à previsibilidade que a climatologia tem em si, destacando-se, ainda, como as principais nações membro do GODAE adaptam e orientam seus modelos para os diversos propósitos.

Neste artigo será utilizado, também, o *software* SPAD-SAR, que consiste em um modelo oceânico de previsão para cálculo de trajetória e áreas com maior probabilidade de conter o objeto-SAR. Seu algoritmo utiliza como fundamento um modelo lagrangiano de partículas que, diferente dos demais, vale-se de aproximações estocásticas pelo Método de Monte Carlos para cálculo de probabilidades bivariadas associadas a posição do objeto-SAR. Ademais, o protótipo SPAD-SAR apresenta auxílios como: métodos de busca (permitindo adicionar meios operativos e seus parâmetros), azimute do Sol, entre outras ferramentas de apoio às operações SAR. Não obstante, é estruturado nas linguagens de programação Python e Fortran, com seu modelo de partículas acoplado às forças de corrente e vento. Quanto ao comportamento do SAR, é preponderante ressaltar que, segundo Breivik & Allen (2008), uma operação de busca e salvamento consiste em estimar uma área a partir de referenciais desconhecidos; isto é, tem-se a última posição conhecida, intensidade das correntes locais,



velocidade do vento, tipo de objeto (forma) e estado do mar. A partir daí, estima-se a área de maior probabilidade de resgate.

Ainda segundo esses autores, a necessidade de um banco de dados meteorológicos coletados e disponíveis em tempo real é preponderante; pois não só “treina” o modelo, como também refina a área de busca. Não obstante, o modelo tem que ser rápido o suficiente para ser utilizado como instrumento operacional e com graus de liberdade reduzidos, uma vez que este tende a ser de fácil operação.

Ademais, Richardson (1997) investigou como as derivações dos navios se desenvolvem através da resultante das forças que nele atuam, oriunda dos ventos (*leeway drift*), correntes e ondas, e como estão intimamente ligados aos parâmetros inseridos nos diversos modelos aplicados a operações SAR. Posteriormente, Allen & Plourde (1999) propuseram empiricamente que a resultante dos desvios provocados pelo vento divergem segundo o ângulo “ $L\omega$ ” de suas componentes transversais e longitudinais e, não obstante, dependem de parâmetros como velocidade e forma do objeto.

Assim, grandes considerações a respeito de como o vento interfere na dinâmica do objeto e em sua deriva pelos oceanos foi concluída e utilizada no desenvolvimento de diversos modelos nas últimas décadas.

Os diversos termos e definições alusivos às operações SAR contidos nesse trabalho são referenciados de acordo com os manuais internacionais: o IAMSAR Vol. I, II e III e a Convenção Internacional sobre Busca e Salvamentos Marítimos (1979).

### 1.3 *Leeway Divergence*: a modelagem numérica aplicada às operações SAR

A partir de um momento inicial em que um objeto ou pessoas<sup>4</sup> encontram-se à deriva no mar, estes estão sujeitos às

forçantes naturais que atuam sobre a superfície dos oceanos.

Segundo Pickard (1974), ao atuar sobre a superfície do fluido, o vento promove efeitos cisalhantes, como consequência destes, dá-se a transferência de quantidade de movimento e, por conseguinte, a circulação horizontal nas primeiras centenas de metros de profundidade, porém, não necessariamente na mesma direção nas camadas mais superficiais, uma vez que há outras forças envolvidas como a de Coriolis, por exemplo.

Nota-se, dessa maneira, que objetos a deriva no mar estão intrinsecamente sujeitos a circulação horizontal provocada pelos ventos. Portanto, o vento e a variação espacial provocada pela atuação deste sobre a área exposta do objeto SAR na superfície são uns dos pontos em questão das operações de Busca e Salvamento; tal que a partir da última posição conhecida<sup>5</sup> pode-se estimar a deriva total pela soma vetorial de duas componentes principais: as correntes superficiais e a derivação provocada pelo vento (*leeway*).

Torna-se evidente, até mesmo intuitivo, que o desvio espacial provocado pela corrente superficial gerada pelo vento, o “*leeway drift*”<sup>6</sup>, varia conforme as características gerais do objeto; isto é, seu comprimento, largura e deslocamento. Fitzgerald (1993) propõe um significado mais específico; “A margem de manobra é definida como o vetor de velocidade do objeto SAR em relação à direção a favor do vento para o objeto de pesquisa, uma vez que se move em relação à corrente de superfície conforme medido entre 0,3 m e 1,0 m de profundidade provocado por ventos (ajustado a uma altura de referência de 10m) e ondas”.

Há de se apontar certa inconsistência uma vez que navios que possuem seu calado com mais de 1,0 m não se enquadram nesse perfil de ajuste às correntes superficiais. O

significado físico do *leeway* supracitado, em linhas gerais, é suficiente para este trabalho.

Ademais, segundo Allen & Plourde (1999), a priori, dois fatores importantes são preponderantes para análise e planejamento

de uma operação SAR, uma vez que não há conhecimento do perfil vertical do vento nem das correntes superficiais que atuam sobre o objeto SAR. Dessa forma, cabe análise dos parâmetros que compõe esse efeito.

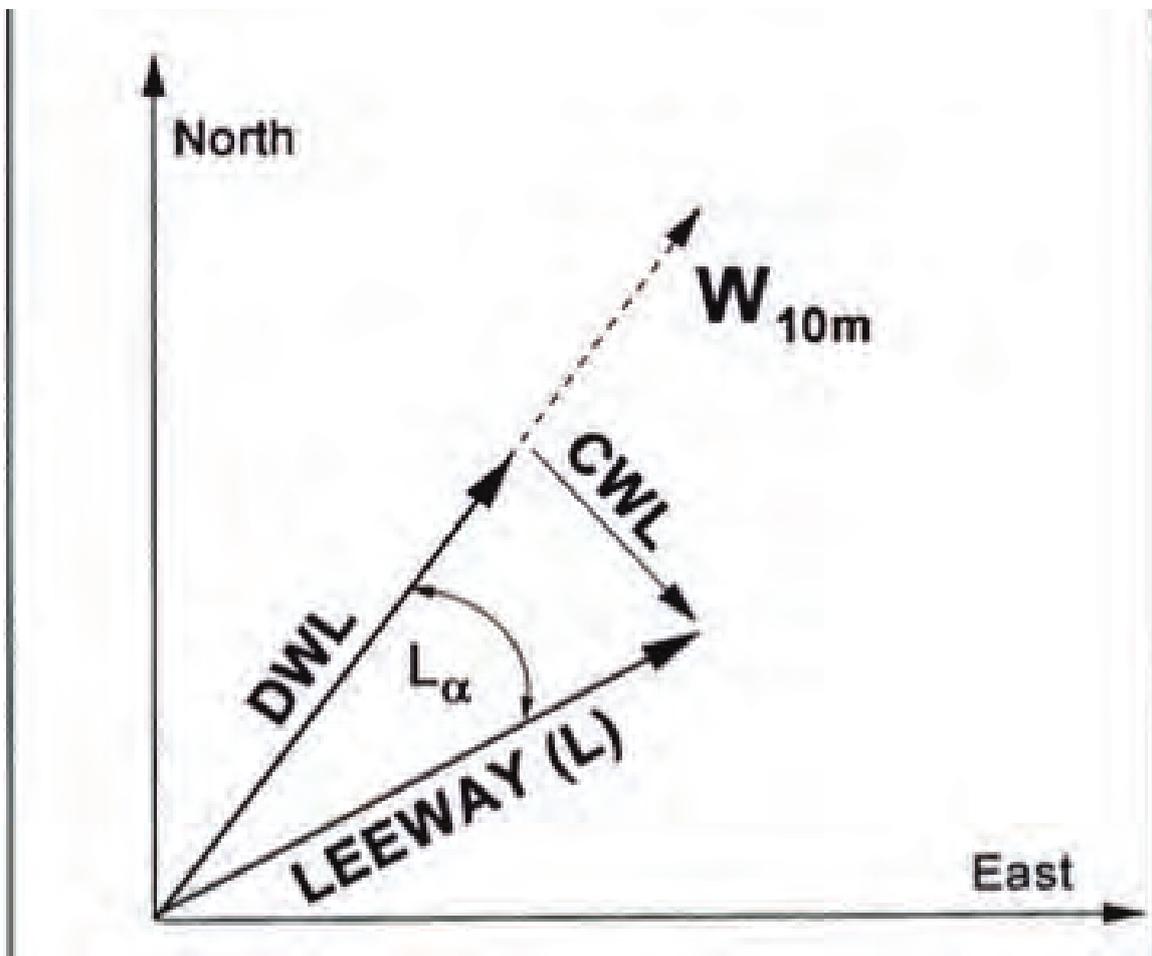


Figura 1 – Componentes “Leeway Drift”

<sup>4</sup> O termo “derivadores” será utilizado para referenciar qualquer objeto SAR à deriva no mar.

<sup>5</sup> *Last Known Position (LKP)*.

<sup>6</sup> Também conhecido como “margem de manobra”.



Os estudos relacionados a divergência espacial espacial, " $L\alpha$ ", provocada pelo vento foram apresentadas por Allen & Plourde (1999) e Allen (2005) a partir de observações *in situ*, das diferentes classes e tipos de embarcações, das derivas, e suas respostas espaciais quando sujeitas a ação das correntes superficiais. Essas observações culminaram no manual taxonômico da margem de manobra utilizada nos presentes dias pela *US Coast Guard* e integrada ao SAROPS para planejamento e execução de operações SAR, assim como referência para os manuais internacionais que tratam do assunto. Dessa forma, compreender o comportamento desse parâmetro torna-se peça fundamental para a determinação de áreas de busca.

Os parâmetros relacionados na Figura 1 são a base pela qual os métodos indiretos se valem para obtenção da margem de manobra de determinado objeto/alvo SAR.

A divisão taxonômica da margem de manobra, dado alvo SAR específico, foi um estudo produzido essencial e único, uma vez que foi possível quantificar e relacionar os ângulos de divergência observados com as diferentes classes de objetos, e então, utilizar os resultados obtidos como base de cálculos em diversos modelos. Dessa forma foram propostas sessenta e três classes em Allen e Plourde (1999). Estimar uma área de maior probabilidade de resgate, dado um banco de dados de margens de manobra distribuídas em classes de alvo/objeto SAR, tornou-se realidade.

Para quantificar a margem de manobra associada a um objeto são empregados métodos diretos e indiretos. Os métodos indiretos se valem da relação subtrativa entre o vetor de desvio total e o vetor corrente estimando, assim, o vetor associado ao vento. O método direto vale-se do uso de correntômetros acoplados diretamente ao objeto. Allen & Fitzgerald (1994)

demonstram respectivos estudos de caso a respeito dos métodos indireto e direto. É importante ressaltar que ambos métodos estão sujeitos a erros aleatórios e sistemáticos, muito embora, o método direto seja o mais utilizado.

Os esforços para relacionar o ângulo de afastamento, ou "*leeway angle*", é dado pela medida individual e momentânea de um alvo-SAR arbitrário denominado "A". O próximo passo é obter "n" medições, sendo "n" suficientemente grande para se estimar o ângulo de divergência " $L\alpha$ " da classe do alvo-SAR. Nota-se, então, a diferença entre *leeway angle* e *leeway divergence* – enquanto o *leeway angle* representa a classe, o *leeway divergence* denota o desvio angular momentâneo em relação à margem de manobra. Entretanto, a relação entre eles está longe de ser trivial, Allen & Plourde (1999) ressaltam dois problemas principais.

O primeiro versa sobre a dificuldade de se encontrar métodos estatísticos que de fato possam estimar um ângulo de divergência a partir de amostras de ângulos de desvios e da classe do alvo-SAR. Em sua própria análise, Allen & Plourde (1999) se valem de mais de um método para obtenção do " $L\alpha$ ". O segundo ponto relaciona-se com a dificuldade na adaptação e inserção do conceito do ângulo de divergência no cálculo de áreas de busca.

Para transcender tais dificuldades, decompõe-se a margem de manobra em suas componentes DWL e CWL em vias de intensidade do vento (W); isto é, dada uma quantidade amostral significativa, aplica-se então regressões lineares a fim de representar ambas componentes de onde obtém-se as respectivas componentes DWL e CWL linearizadas irrestritamente.

Em suma, tais resultados obtidos por Allen & Plourde (1999), e mais tarde



implementadas em Allen (2005), são a base de referência para cálculos de possíveis áreas de resgate contido nos manuais internacionais e modelos voltados às operações SAR.

Entretanto, quais as competências e valências, atualmente, são apresentadas por modelos numéricos de previsão ou ferramentas de apoio ao planejamento voltados às atividades SAR?

Naturalmente, adaptar parâmetros relacionados à margem de manobra aos modelos de previsão é um desafio, uma vez que ocorrem dificuldades na obtenção dos valores acurados do vento. Nota-se, então, a importância da coleta de dados observacionais, pois modelos atmosféricos esbarram em problemas de escala para resolver a questão. Ademais, a aleatoriedade

intrínseca dos oceanos também corrobora para resultados com baixa acurácia nos campos relacionados à deriva de objetos nos oceanos.

Dessa forma, segundo Sayol *et al.* (2013) as principais fontes de erros relacionadas a aplicação de sistemas de Oceanografia Operacional, as operações SAR, são resultadas da complexidade natural da dinâmica dos oceanos e podem ser elencadas como:

Deriva de Stokes: pequenas variações nas condições iniciais geram perturbações que se incrementam com o tempo tendo em vista a não linearidade das formulações de Navier-Stokes;

modelos atmosféricos e oceânicos não encontram solução nesse nível de escala, recorrem a parametrizações para movimentos turbulentos. Em linhas gerais, não há informação suficiente, uma vez escolhida uma subgrade;

geralmente, ao receber o chamado SAR, a LKP é incerta, resultando em erros nas condições iniciais; e

a deriva do objeto, regida pela margem de manobra e obtida empiricamente, já possui erros associados.

Portanto, os modelos mais recentes voltados às operações SAR para contornar os possíveis problemas supracitados valem-se de processos estocásticos que quantificam as incertezas em vias de distribuições de probabilidade.

Para exemplificar a questão supracitada, Allen & Breivik (2007) propuseram para o modelo norueguês "LEEWAY" que, através da técnica de assimilação por ensemble, o cálculo da área de maior probabilidade de sucesso (POS) é função da probabilidade de detecção (POD) e da probabilidade do alvo-SAR esta contido numa área inicial (POC) e que depende de fatores puramente externos que visam maximizar a POD.

Não obstante, os erros e incertezas inerentes aos cálculos de trajetória pelo modelo são de tal maneira que para representá-los se faz uso de uma função densidade probabilidade (f.d.p) bivariada. A chave do processo torna-se então em aproximar os erros e incertezas valendo-se da técnica de Monte Carlo, integrando as áreas da f.d.p, "n" vezes, sendo "n" o número de vezes que o modelo for rodado, dada perturbações iniciais geradas pelo *ensemble*.

A Figura 2 representa a distribuição de partículas (pontos em vermelho) derivadas a partir de dados de vento e corrente, a probabilidade associada de presença do objeto (quadrados em azul escuro) e dois desvios padrões da posição média (linha circular vermelha).

Em síntese, conforme Sayol *et al.* (2013), os modelos atuais vêm se adaptando para o emprego nas operações SAR, tal que o cálculo de uma função densidade probabilidade como estimador da posição final do alvo-SAR a partir de previsões diárias de vento, corrente e ondas torna-se fundamental.

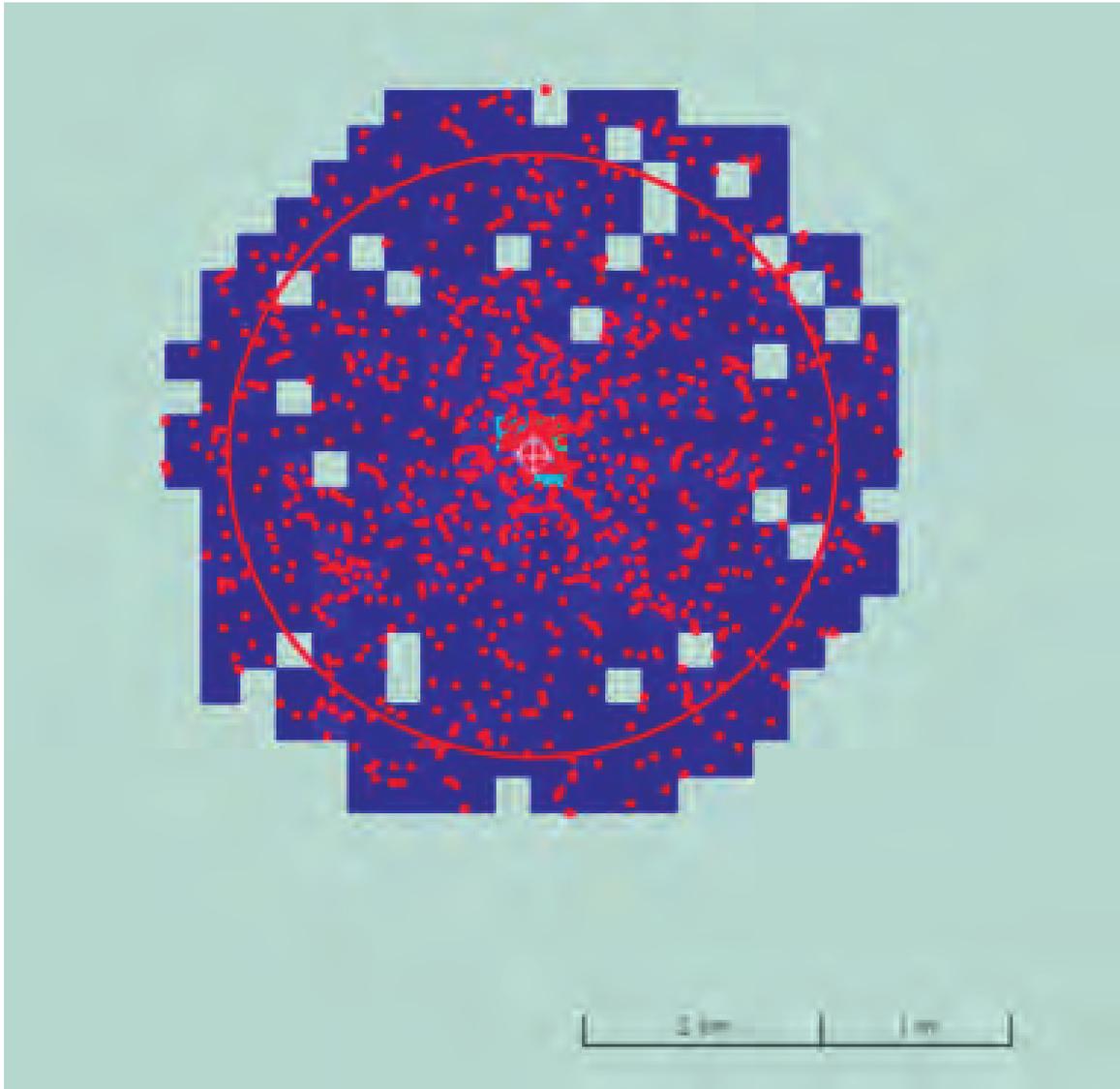


Figura 2 – Distribuição de partículas e probabilidade associada



Em síntese, conforme Sayol et al. (2013), os modelos atuais vêm se adaptando para o emprego nas operações SAR, tal que o cálculo de uma função densidade probabilidade como estimador da posição final do alvo-SAR a partir de previsões diárias de vento, corrente e ondas torna-se fundamental.

## 2. DADOS E METODOLOGIAS

### 2.1 Caso escolhido

A escolha do caso baseou-se na prerrogativa de sucesso da operação SAR. Os dados referentes ao caso foram disponibilizados pelo SALVAMAR NORDESTE, área SAR em que o caso se desenvolveu.

Outro fator preponderante foi a constância da atuação de forçantes externas à região, isto é, a região nordeste está sujeita a

fenômenos meteorológicos cuja atuação oferece condições relativamente estáveis. Isto posto, para uma melhor (ou mais simples) compreensão do movimento de deriva do alvo-SAR, é ideal que o sistema onde ele se encontra tenha características que confluem para a climatologia local. Assim, qualquer fenômeno anômalo que tenha influência nos casos é facilmente identificado, tal como a inércia de seus efeitos nas respectivas derivas.

Dessa maneira o caso é sintetizado na Tabela 1 com informações utilizadas como parâmetros de entrada dos modelos. Na Figura 4 encontra-se o desenvolvimento final das áreas de busca calculadas, tendo como referência as considerações preconizadas no IAMSAR. Demais especificações e curiosidades a respeito da dinâmica dos casos podem ser acessadas no repositório<sup>7</sup> encontrado na plataforma “GitHub”.

Tabela 1 - Síntese de dados

Dados	Caso escolhido
Objeto SAR	Balsa Salva-Vidas (8 tripulantes)
Condição	Sucesso
Última Posição Conhecida	06° 21.08'S/033°45.02'W
Data-Hora Inicial	131041Z/JUN/2019
Posição Final	06° 09,6'S-034° 03,0'W
Data-Hora Final	140000Z/JUN/2019

### 2.2 Configuração do modelo HYCOM

Paras as a simulações presentes neste trabalho foi utilizada a aplicação regional do modelo HYCOM-CHM materializada como parte do projeto da parceria REMO e CHM. O diferencial do modelo consiste em uma nova grade com resoluções de 1/12° (Atlântico) e 1/24° (METAREA V), ambas com 32 níveis verticais híbridos, onde a grade

menor possui, inclusive, forçantes de marés para o período de 96 horas.

Não obstante, com o propósito de melhorar o desempenho das simulações, foram assimilados dados observados de temperatura da superfície do mar, altura da superfície do mar (1 metro), dados de estrutura vertical de temperatura e salinidade oriundo de derivadores “lançados” no modelo. Ademais, 36 derivadores foram utilizados para este caso.



A escolha em relação a quantidade de derivadores a serem lançados partiu da premissa de como eles se comportariam no estudo de caso; uma vez que a distância entre derivadores está diretamente relacionada à resolução da grade utilizada. Assim, quanto maior a quantidade de derivadores lançada, maior será a incerteza posicional associada. O uso destes, de fato, serve para inferir estimativas a respeito de possíveis áreas de busca, de maneira que sejam mais um auxílio à decisão.

Por fim, foi utilizada a técnica de assimilação dos dados por Interpolação Ótima por Conjuntos (Ensemble *Optimal Interpolation – EnOI*), efetuada duas vezes por semana.

Para o caso, os tripulantes na balsa salva vidas, o período de referência para simulação foi considerado o intervalo de tempo desde o recebimento do sinal de socorro até o resgate dos tripulantes, conforme a Tabela 1, estendendo-se o tempo de deriva dos derivadores até 96h. Entretanto, cabe ressaltar que, a justificativa para tal foi verificar o comportamento dos derivadores além da posição de resgate, de maneira que fosse possível extrapolar possíveis posições de resgate em tempos além do que o determinado.

Para desenvolver as figuras relativas às derivas foi utilizada como ferramenta a linguagem de programação *Python*. Tanto o *script* quanto o *dataset* utilizado, contendo as informações dos derivadores ao longo da série temporal, encontram-se em repositório<sup>8</sup> na plataforma “GitHub”. Por fim, os resultados obtidos serão comparados aos do SPAD-SAR, bem como aos desenvolvidos

através dos métodos clássicos, preconizados no IAMSAR.

### 2.3 Configuração do modelo SPAD-SAR

Diferente dos parâmetros adotados pelo HYCOM, o protótipo SPAD-SAR trata-se de um modelo advectivo-difusivo de substâncias e objetos no mar que, diferentemente dos demais modelos tradicionais, para gerar a trajetória do objeto SAR utiliza aproximações estocásticas baseadas na técnica de Monte Carlo para cálculo das funções densidade, probabilidade e conseqüente área de maior probabilidade de sucesso da operação SAR. Em parceria com a Shell Brasil, Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa (FUNDEP) e a empresa PROOCEANO, esse modelo será a base para o desenvolvimento do Sistema de Planejamento e Apoio à Decisão em Operações de Busca e Salvamento da Marinha do Brasil (SPAD-SAR).

O mote do modelo advém das relações entre o vento e o vetor de deriva eólica, baseada na divisão taxonômica dos objetos SAR oriunda dos coeficientes de ajuste calculados empiricamente e compilado pela *US Coast Guard*. Em síntese, são dois os seus parâmetros essenciais: a aproximação estocástica para as áreas de maior possibilidade de resgate e a taxonomia das derivas eólicas por objeto-SAR propostos por Allen (2005).

Estruturado na linguagem de programação *Python* e *Fortran*, detém de facilidade na implementação dos códigos e considerável rapidez nos cálculos oriundos das simulações. Para as simulações foram utilizado como base os modelos MERCARTOR

<sup>7</sup> Disponível na plataforma “GitHub” em: [https://github.com/Z-metoc/Modelling\\_Search\\_and\\_-Rescue](https://github.com/Z-metoc/Modelling_Search_and_-Rescue), onde pode-se obter acesso também a estudo análogo a este artigo, porém envolvendo um caso em que não ocorreu o sucesso da operação.

<sup>8</sup> Disponível na plataforma “GitHub” em: [https://github.com/Z-metoc/Modelling\\_Search\\_and\\_-Rescue](https://github.com/Z-metoc/Modelling_Search_and_-Rescue).

(CMEMS<sup>9</sup>) e GFS (NCEP<sup>10</sup>) para o *hindcast* de forçantes de correntes e atmosféricas, respectivamente. O domínio de correntes da grade estabelecido para a METAREA V possui resolução da grade de aproximadamente 9 km (1/12°), portanto menos refinado que o regional HYCOM-CHM (resolução de 4km). Além disso, o modelo GFS acoplado com domínio para a METAREA V e resolução de grade de aproximadamente 13 km. Cabe ressaltar que, uma vez pronto, o SPAD-SAR utilizar-se-á para forçantes de correntes, o modelo HYCOM-CHM e para forçantes atmosféricas, os modelos COSMO e WRF.

Os intervalos de tempo considerados para geração da deriva do objeto-SAR foram iguais aos estabelecidos na configuração do modelo HYCOM, vide Tabela 1. Ademais, utilizou-se como método de assimilação a interpolação espacial bilinear e a interpolação temporal linear. Assim, a classe cujo coeficiente de ajuste foi utilizado como parâmetro de entrada no modelo foi a de *“Marine Life Rafts with Deep Ballast System and Canopies /6-8 person capacity/without drogue/ heavy loading”*.

Trata-se do tipo de objeto-SAR e sua deriva eólica para os casos, respectivamente. Por fim, serão comparados os resultados obtidos aos do HYCOM e aos desenvolvidos através dos métodos clássicos preconizados no IAMSAR 3.

### 3. RESULTADOS

A dinâmica de apresentação dos resultados e sua respectiva discussão dar-se-á de maneira a relacionar os aspectos espaço-temporais à finalidade das operações SAR; isto é, seu sucesso. Dessa forma, como já fora apresentado, o tempo torna-se um fator crucial, dada a dimensão das áreas de busca ao longo da deriva do objeto. Fatores esses diretamente relacionados aos processos de planejamento e tomada de decisão, uma vez que influenciam sobre quais meios operativos utilizar e por quanto tempo utilizá-los.

Sejam as Figuras 3 e 5 geradas pelas simulações do HYCOM e do protótipo SPAD-SAR, respectivamente; tal como a discussão dos resultados.

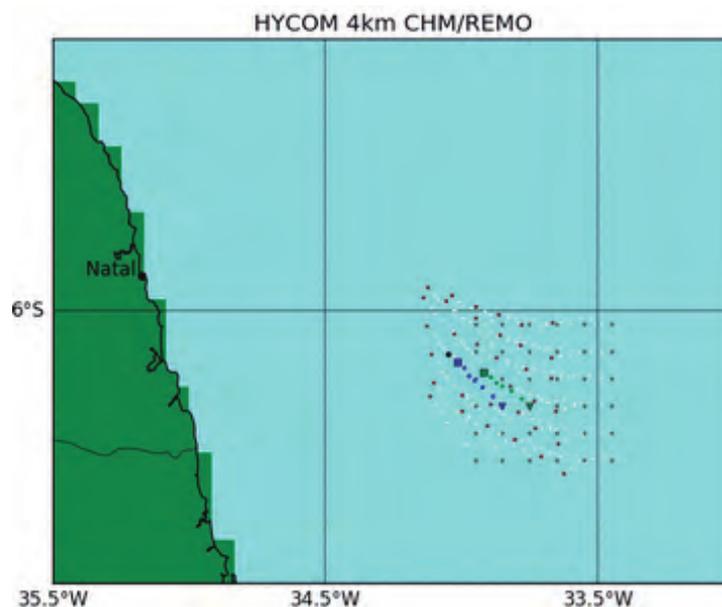


Figura 3 – Simulação Caso “A”- HYCOM



Primeiramente, a Figura 3, gerada pelo script (*Python*) desenvolvido junto ao CHM, caracteriza:

- os 36 derivadores (*floats*): na cor cinza, quando lançados no data-hora inicial, e na cor vermelho representando sua movimentação até o data-hora final, onde os intervalos horários de processamento são correspondentes aos horários sinóticos;

- a Linha de Costa: escala da carta assumida, com base na biblioteca "*Basemap*" (*Python*), correspondente a 1° em latitude e 1° em longitude;

- o ponto na cor "preta", proeminente, representa o local no qual o objeto-SAR foi encontrado;

- o derivador "35" foi o escolhido para representar o ponto inicial do objeto-SAR, ilustrado pelo "triângulo verde", movimentando-se até a posição Lat-6,2768° S e Lon-33,85° W relativa ao data-hora final; e

- o derivador "24" foi o que mais se aproximou da posição final do objeto-SAR, ilustrado pelo "quadrado azul", com posição Lat-6,1394° S e Lon-34,0647° W (posição final do Derivador "24"), quando comparado à posição final observada do objeto SAR em Lat-6,16° S e Lon-34,05° W, isto é, uma diferença de 0,0206° em latitude (2.472 metros aproximadamente) e 0,0147° em longitude, 1.764 metros aproximadamente; ou na forma absoluta, aplicando o Teorema de Pitágoras: 3.036 metros.

Em caráter posicional, o resultado da simulação referente ao caso foi considerado satisfatório quando comparado às áreas de busca calculadas pelo IAMSAR. O ponto situa-se no interior da área "01", área inicial (área a carmim mais ao sul), conforme Figura 4, em que ocorreu o recolhimento

do objeto-SAR. Logo, existiu correlação espacial entre métodos, uma vez que o ponto final da simulação-HYCOM encontra-se no interior da primeira área de busca calculada, demonstrando que ocorreu manutenção da tendência de deriva.

A Figura 4 condiz com a situação do problema. De fato, a posição final é conhecida, porém, quando não conhecida as áreas limitadas entre derivadores, tendem a comportar-se como áreas de busca e, principalmente, demonstram a tendência de deriva provocada pelas forçantes climáticas dominantes da área em questão.

Quanto à variável "tempo", essencial às operações SAR, quando comparados aos cálculos do IAMSAR e do protótipo SPAD-SAR, apresenta atraso considerável; estima-se três horas ou mais, tornando-se em geral arbitrário, atrelado a situacionalidade dos casos.

Os passos operacionais relativos à situacionalidade dos casos dependem:

- do preparo do arquivo "*floats*" (derivadores), onde se faz necessário saber qual é o ponto principal e decidir quais são as distâncias necessárias;

- da verificação, no experimento, de onde os *floats* irão rodar e o passo de tempo inicial de deriva;

- se os arquivos iniciais utilizados para rodar o período necessário estão disponíveis e onde encontram-se os arquivos referentes às forçantes atmosféricas, "*restart*" do dia, e se existem arquivos para "aninhamento" da grade; e

- das mudanças contínuas entre diretórios de arquivos necessários aos cálculos e ao processamento do problema.

Assim, erros grosseiros e aleatórios podem estar presentes durante o processo,

<sup>9</sup> Copernicus Marine Environment Monitoring Service: <https://marine.copernicus.eu>

<sup>10</sup> National Center for Environment Prediction: <https://www.ncep.noaa.gov>

principalmente aqueles referentes ao observador. Durante a abertura da operação-SAR torna-se necessária, de imediato, a confecção das áreas de busca nas quais os meios serão organizados, concomitantemente, as

simulações, expostas neste trabalho, podem ser desenvolvidas e enviadas na forma de auxílio à decisão.

A Figura 5, gerada pelo protótipo do modelo SPAD-SAR, caracteriza:

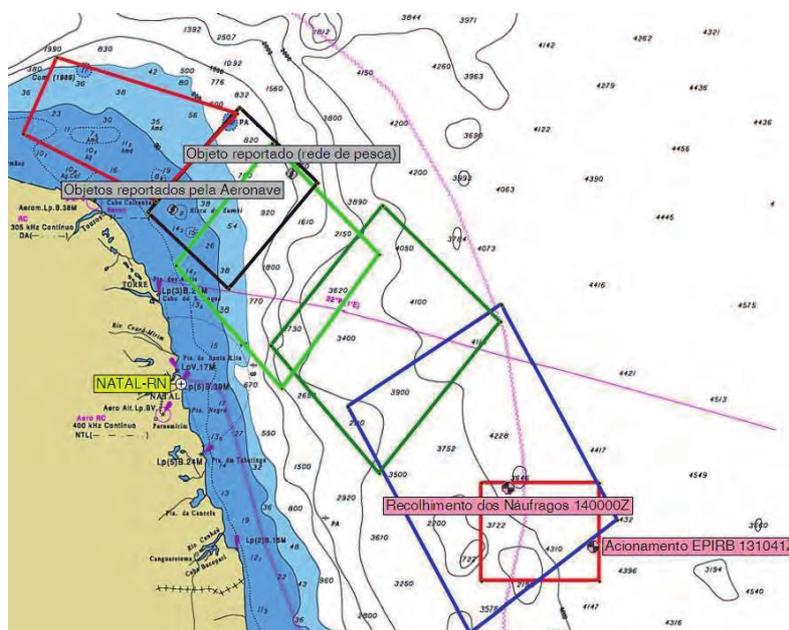


Figura 4 – Áreas de busca SAR

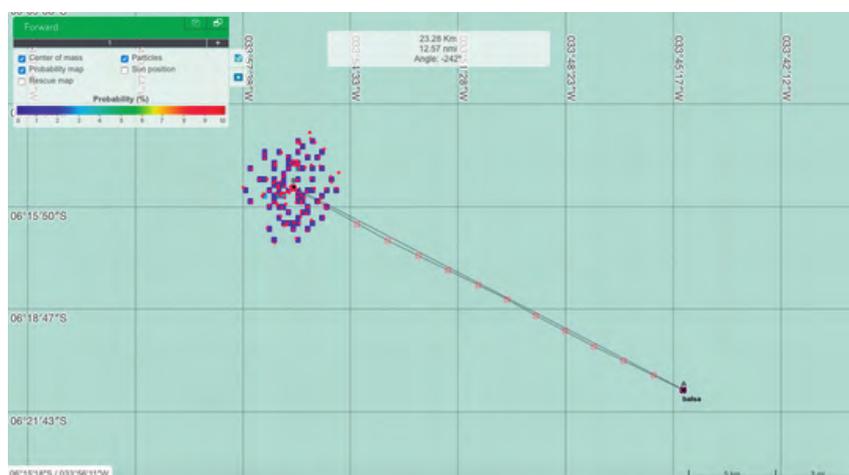


Figura 5 – Simulação – SPAD-SAR



*Tracking*/Parâmetros de deriva do objeto-SAR: rumo 298° verdadeiros e aproximadamente 23 km do ponto inicial;

Linha de Costa: escalada da carta assumida, com base em biblioteca<sup>1</sup> específica na linguagem de programação *Python*; e

Mapa de Densidade Probabilidade ao longo do tracking: quanto maior o tempo de deriva, maior a área associada ao objeto e menor será sua probabilidade de sucesso. Dada a incerteza posicional propagada no período de 13 horas, a posição estimada com maior densidade probabilidade encontra-se aos Lat-6,2550° S e Lon-33,9363° W.

Em termos posicionais, quando comparado aos resultados do modelo HYCOM, obtêm-se os resíduos de 0,116° em latitude, e 0,11° em longitude. Ao ser comparada à observada do ponto de resgate, a diferença reduz-se para 11,5 km em valores absolutos. Ademais, o resultado obtido pelo SPAD-SAR está contido na área de busca inicial, que é a área em que o objeto-SAR foi encontrado.

Ressalta-se que a posição estimada pelo SPAD-SAR está associada a área de maior densidade probabilidade e esta não garante a posição exata de resgate; quanto menor o tempo de deriva, maiores as chances de a posição verdadeira do objeto-SAR estar contida na região calculada pelo modelo.

#### 4. CONCLUSÃO

Em face ao que foi supracitado e discutido nos resultados, conclui-se que:

1. O comportamento do caso alinhou-se à climatologia local, mantendo direção e sentido de deriva. Em virtude da rápida resposta, dado pequeno intervalo de tempo, considerado os resultados divergentes entre

os modelos e em aproximadamente cinco milhas náuticas, em vias de latitude.

2. De maneira geral, os resultados se mostraram satisfatórios, considerando a rápida resposta dado ao pequeno intervalo de tempo. Os resultados entre modelos divergiram em até cinco milhas náuticas de latitude e em duas milhas náuticas (aproximadamente 4 km) em relação a posição final observada para o caso.

3. Denota-se que o tempo torna-se fator chave durante todo o processo. Quanto menor for o tempo de reação, menos sujeito às diversas forçantes aleatórias o objeto-SAR estará.

4. O modelo ideal para aplicação voltada as operações SAR deve considerar as forçantes de correntes e ventos. Ademais, quando acoplado as respostas das forçantes, materializadas pelos coeficientes de ajustamento obtidos em Allen & Plourde (1999), o modelo tende a tornar-se mais ajustado à realidade. O modelo em desenvolvimento pela MB, SPAD-SAR, contém tais atributos.

Isto posto, em relação à hipótese inicialmente considerada neste artigo, podemos considerar que o modelo HYCOM é adequado para utilização em eventos SAR, porém com ressalvas.

A região Nordeste, em virtude de sua pouca variabilidade climatológica e pela forte influência de correntes oceânicas na região, corroborou para que o modelo HYCOM tivesse resultados satisfatórios. Possivelmente, em regiões com maior variabilidade e entradas de sistemas frontais, como na região Sul do país, a correlação entre tendências de deriva seria afetada, sendo essencial, portanto, considerar as forçantes eólicas.

O autor desse artigo sugere cautela na consideração realizada em outras regiões

<sup>11</sup>O autor deste trabalho não teve acesso ao *script* do modelo em questão, dessa forma, não foi possível que as figuras geradas se apresentassem na mesma escala, fator importante no que tange a análise comparativa.



com características climatológicas mais heterogêneas; assim como ressalta a importância de se considerar a forma do objeto-SAR, uma vez que as simplificações realizadas neste estudo podem gerar erros consideráveis relacionados à deriva em objetos-SAR com grande área vélica.

Assim, apesar de, notoriamente, o modelo oceânico HYCOM não ter sido concebido para esse propósito, com as devidas simplificações e implementações, é possível utilizá-lo como mais um auxílio à decisão às operações SAR.

Por fim, o autor deste artigo propõe que estudos sobre a obtenção dos coeficientes de ajuste referentes à divergência eólica e modelos de partículas voltados às operações SAR sejam desenvolvidos e realizados devido a importância atrelada aos diversos setores da sociedade atinentes à oceanografia operacional brasileira; além de uma ampla revisão em publicações internacionais que regem sobre o assunto. Outrossim, ressalta-se a importância de que mais análises utilizando-se outros modelos nesse aspecto sejam desenvolvidas em diversas regiões do país.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, A. A. *Improving Search & Rescue*. NOAA. Disponível em: <<http://www.noaa.gov>>. Acesso em 29 jul. 2020.

ALLEN, A. A.; PLOURDE, J.V. *Review of Leeway: Fields Experiments and Implementation*. US Department of Transportation, Washington, DC: US Coast Guard, 1999.

ALLEN, A. A. *Leeway Divergence*. U.S. Coast Guard Rep. CG-D-05-05, 128 pp.2005

\_\_\_\_\_. *The Leeway of Cuban Refugee Rafts and a Commercial Fishing Vessel*. US Coast Guard,1996.

ALLEN A. A.; R.B. FITZGERALD. *The Leeway of an Open Boat and Three Life Rafts in Heavy Weather*. U.S. Coast Guard Report No. CG-D-03-98,1997.

BRASIL. Marinha do Brasil. *ÁREA SAR*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br>>. Acesso em abr. 2020.

BREIVIK, Ø.; ALLEN, A.A. *An Operational Search and Rescue Model for the Norwegian Sea and the North Sea*. *Journal Mar. Syst.*, n.69, pp. 99–113. 2007.

BREIVIK, Øyvind et al. *Advances in Search and Rescue at Sea*. *Ocean Dynamics*, vol.63, n.1, p.83-88, doi:10.1007/s10236-012-0581-1.2013. Disponível em <<http://oyvind.breivik@ecmwf.int>>. Acesso em: 6 abr. 2020.

CHASSIGNET, E. et al. *The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) Data Assimilative System*. *Journal of Marine Systems*, n.65, 2007. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jmarsys>>. Acesso em: 15 abr. 2020.



CUMMINGS, J.A. Operational multivariate ocean data assimilation. *Q.J.R. Meteorology Society*, 131: 3583-3604. doi:[10.1256/qj.05.105.2005](https://doi.org/10.1256/qj.05.105.2005).

*CONVENÇÃO INTERNACIONAL SOBRE BUSCA E SALVAMENTO MARÍTIMOS*: Emendada pelas Resoluções MSC.70(69) e MSC.155(78). Hamburgo,1979.

DAVIDSON, F.J.M et al. *Applications of GODAE: Ocean current forecasts to search and rescue and ship routing. Journal of Oceanography*, vol.3, n.22, pp.176–181, DOI :10.5670/oceanog.2009.76.2009.

DOMBROWSKY, E. et al. *GODAE systems in Operation. Journal of Oceanography*. vol 22 n.3, pp. 80-95, doi:10.5670/oceanog.2009.68.2015.

FITZGERALD, R. B.; FINLAYSON, D. J.; ALLEN A. A. Drift of Common Search and Rescue Objects-Phase III." *Contract report prepared for Canadian Coast Guard, Research and Development, Ottawa*, 1993.

FRAGOSO, M. R. *Um Modelo numérico da circulação oceânica para as bacias leste e sudeste do Brasil*. 204. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRJ, 2004.

GODAE. Godae.org. Disponível em: <<https://www.godae-oceanview.org>>. Acesso em mar.2020.

HYCOM. About us. Disponível em: <[www.hycom.org](http://www.hycom.org)>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IAMSAR Manual Vol. III: *International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual*. 10. ed. Montreal: ICAO, 2016.

LIMA, PARKINSON, R. M.TANAJURA, . Design and Implementation of the Oceanographic Modeling and Observation network (remo) for Operational Oceanography and Ocean forecasting. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, p. 209-228, 2013

MANO, M.N. Assimilação de Dados em Modelo Oceanográfico da Bacia Sudoeste do Atlântico para reproduzir e prever Circulação superficial e feições de meso-escala. 2007. 171 f. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRJ*, 2007.

MELLOR, G. L.,EZER, T.Sea level variations induced by heating and cooling: An evaluation of the Boussinesq approximation in ocean models. *Journal Geophys. Research.*, 100(C10), 20565-20577, DOI:10.1029/95JC02442.1995

METZGER, E. *et al. Global Ocean Prediction Using HYCOM*. Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS 39529,2006.

PICKARD, G. L. *Oceanografia Física Descritiva: Uma Introdução*. 2. ed.1974.

RICHARDSON, P. L. Drifting in the Wind: Leeway error in shipdrift data. *Deep Sea Research I, Great Britain*, vol.44 n.11,pp.1877-1993, 1997.