



APLICAÇÃO DE UM MODELO DE DERIVA FORÇADO POR HF-RADAR EM UM EXPERIMENTO SAR (SEARCH AND RESCUE) NA BACIA DE CAMPOS

Douglas F. Rodrigues¹
Fernando T. C. Barreto²
Carlos L. da Silva Junior³
Leonardo S. A. Maciel⁴
Victor T. Rodrigues⁵
Rogério Molle⁶

RESUMO

Operação de Busca e Resgate (SAR) em regiões oceânicas é uma missão desafiadora devido à logística e ampla gama de variáveis influenciando a deriva do objeto, o que torna sua modelagem complexa. Neste contexto, um Experimento SAR foi conduzido pela OceanPact em 20 de dezembro de 2021, na Baía de Campos, com os objetivos de se estabelecer os parâmetros mais adequados para a modelagem de SAR na região, e de se avaliar a eficácia dos dados de HF-Radar (HFR) como forçante de um modelo de deriva. Os coeficientes de difusão turbulenta horizontal de $35 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e $50 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, associados ao coeficiente de vento de 3%, resultaram em áreas de busca adequadas à operação de SAR. Além disso, foi constatada a eficácia do HFR como forçante

¹ Doutor em Oceanografia física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

² Oceanógrafo D.Sc, com experiência em Oceanografia Física.

³ Mestre em Sensoriamento Remoto Aplicado em Oceanografia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1989).

⁴ Graduação em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2005).

⁵ Graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Coordenador de projetos na OceanPact.

⁶ Graduação em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2020).



do modelo de partículas, sendo este o primeiro trabalho documentado de aplicação do HFR em SAR na América do Sul.

Palavras-chave: SAR; HFR em SAR; Modelo de deriva.

ABSTRACT

Search & Rescue (SAR) operation in oceanic regions represents a sensitive task due to logistics and the wide range of variables influencing the object's drift, making its prediction complex. In this context, a SAR Experiment was conducted by OceanPact on December 20, 2021, in Bacia de Campos to establish the most suitable SAR modeling parameters in the region and evaluate the effectiveness of the HF-Radar (HFR) dataset as a drift model forcing information. The horizontal diffusion coefficients of $35 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ and $50 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, associated with the wind coefficient of 3%, resulted in suitable search areas for SAR operation. In addition, the effectiveness of the HFR data as a particle model forcing information was verified. This effort represents the first documented paper of HFR data applied in SAR operation for the South America.

Keywords: SAR; HFR in SAR; Drift model.

1. INTRODUÇÃO

No contexto global, o SAR (Search and Rescue/Busca e Resgate) consiste em uma operação para prestar assistência a pessoas em perigo no mar, independentemente da nacionalidade ou condição de tal pessoa ou das circunstâncias em que se encontra, de acordo com o Direito Marítimo e as Convenções aplicáveis [*Search and Rescue (SAR) Operation*, 2022]. Do momento em que é identificada a ocorrência até o final, quando a pessoa é localizada

ou as buscas são encerradas sem sucesso, o time de especialistas em terra deve trabalhar em consonância com o time em campo para que as buscas sejam planejadas da maneira mais otimizada e com maior probabilidade de sucesso.

Do ponto de vista metodológico, a utilização de modelos de deriva forçados por campos espaciais de corrente e vento é a principal ferramenta empregada em emergências de busca e salvamento. Contudo, o grande número de parâmetros físicos dos modelos e as variadas bases de dados disponíveis para a utilização eleva a dificuldade de se obter resultados satisfatórios em uma área em que os mínimos detalhes fazem toda a diferença.

Com o intuito de se definir as melhores práticas para SAR na região da Bacia de Campos, a OceanPact realizou uma simulação de homem ao mar, empregando os módulos OceanDrift e Leeway do sistema lagrangeano open-source OpenDrift como o modelo de deriva, forçado por dados de vento provenientes do WRF (Weather Research and Forecasting) rodado internamente, e dados de corrente do sistema de radares de alta frequência (HF-Radar) implementado no âmbito do projeto CRO-NOS. A metodologia das rodadas de deriva se baseou nos trabalhos de Spaulding *et al.* (2006) e Sutherland *et al.* (2020). Considerando especificidades da região de estudo, foi implementada uma metodologia própria de modelagem SAR com o OceanDrift, sendo essa posteriormente comparada aos resultados obtidos com o módulo Leeway (Breivik *et al.*, 2012, 2013), nativo no OpenDrift e amplamente utilizado em SAR.

A partir da análise dos resultados ao longo de 24 horas de simulação, foi constatada a eficácia da ferramenta HF-Radar (HFR) como forçante de modelo de partícula para fins de suporte à operação SAR, sendo este o primeiro trabalho documentado



de aplicação do HFR em SAR na América do Sul. O período de 24 horas foi considerado, assumindo a hipótese da razoabilidade em se recuperar o indivíduo ainda com vida.

A simulação conduzida com o Leeway, apesar de resultar em uma área de busca que continha a posição medida do objeto, apresentou um tamanho de 1664 km² de extensão, o que foi equivalente a 5 vezes o tamanho da segunda maior área obtida com o OceanDrift. Com isso, a metodologia implementada se mostrou superior aos resultados do Leeway por permitir a definição de uma menor área de busca, sendo este um ponto crítico durante uma operação de SAR.

2. DADOS E MÉTODOS

O experimento foi idealizado para ser realizado na área de cobertura da rede de radares de alta frequência do Sistema Sea-Sonde® CODAR (HFR), de modo a permitir a avaliação do principal sistema de medidas de corrente superficial da plataforma CRONOS. Foram utilizadas duas estações, uma localizada em Cabo de São Tomé, denominada TOME e outra, na Ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo, denominada FRIO. Cabe ressaltar que a instalação e manutenção da estação FRIO configura um grande desafio logístico devido a sua localização remota e de difícil acesso no alto da ilha e só foi possível graças ao apoio da Marinha do Brasil. A energia consumida pela estação é gerada localmente por aerogeradores e células fotovoltaicas e os dados são transmitidos via rede 4G, com um sistema por satélite como redundância.

Cada estação transmite um conjunto de pulsos de radar em diferentes direções radiais a partir de sua origem, caracterizada pela antena de transmissão. Cada pulso pode alcançar uma distância da ordem de 250 km da costa e, após interagir com a rugosidade superficial da água e retornar às antenas de

recepção, possibilita a estimativa da componente radial de velocidade na direção em que foi emitido. Na região onde ocorre o cruzamento entre as componentes radiais de duas ou mais estações de HFR, é possível estimar o campo bidimensional de velocidade superficial de maneira horária. A capacidade de se medir o campo de correntes em uma vasta área marítima, com resolução espacial de 6 km, configura uma grande vantagem em relação aos métodos de medições pontuais por fundeios. Outra vantagem se encontra no fato dos equipamentos estarem fora da água, o que facilita sua manutenção periódica.

Para a realização do experimento, foi lançado ao mar um conjunto composto por um manequim de 1,90 m de altura, vestido com macacão e colete salva vidas rastreável pelo equipamento Globalstar's SmartOne Solar, pesando um total de 12,4 kg (Figura 1).

Inicialmente, a posição do lançamento foi cuidadosamente escolhida em função das feições oceanográficas indicadas pelo campo de corrente medido pelo HFR, tendo como objetivo principal o lançamento sobre o eixo principal da Corrente do Brasil (CB). Contudo, questões operacionais com a embarcação Ilha de Santana, da frota da OceanPact, impossibilitaram sua navegação até o local previamente estabelecido, ocasionando o lançamento do manequim próximo ao limite oeste da área de abrangência do radar (Figura 5). É importante salientar que a tripulação foi treinada pela equipe da Inovação de forma a realizar o procedimento correto de lançamento, o qual ocorreu às 14:52 (UTC-3) do dia 20/12/2021, nas coordenadas de latitude 22°51'12,6" S e longitude de 41°22'59,16" W.

Além da configuração e teste dos equipamentos e do treinamento da tripulação, a preparação do experimento também incluiu o desenvolvimento de códigos computacionais para acoplar o HFR ao modelo de deriva e operacionalizar a execução das

etapas metodológicas referentes à emissão dos relatórios de SAR. O modelo de relatório foi elaborado de modo a consolidar todas as informações pertinentes à equipe de resgate em uma única página (Figura 3), no intuito de facilitar a sua utilização.



Figura 1 – Conjunto composto por manequim, macacão e colete salva vidas rastreador pelo equipamento Globalstar's SmartOne Solar

A seguir são colocados os principais pontos na cronologia da fase de preparação e na execução do experimento:

- 29/11/2021: a equipe da inovação levou o manequim confeccionado em fibra de vidro, pesando 10,4 kg, à base em Niterói para ser usado no teste de homem ao mar. O manequim foi devidamente vestido com macacão e colete salva vidas rastreador pelo Globalstar's

SmartOne Solar, passando a pesar 12,4 kg. As baterias recarregáveis NiMH do SmartOne Solar oferecem mais de 10 anos de vida, reduzindo drasticamente o tempo de manutenção e o custo de mão de obra e peças;

- 30/11/2021: foi feito contato com a equipe da mesa de Navegação para verificar possíveis datas para realização do experimento de SAR após a mobilização dos demais itens utilizados no experimento;

- 02/12/2021: foi realizado um teste inicial na Baía de Guanabara para avaliar o comportamento dos manequins na água do mar, em termos de sua flutuabilidade. O manequim foi rebocado por uma embarcação autônoma, quando se percebeu que, apesar de estável, sua maior parcela permaneceu acima da linha d'água (Figura 2A).

- 06/12/2021: foram realizados furos no manequim, que ao ser colocado em uma piscina, se mostrou com uma flutuabilidade equivalente à de um corpo humano (Figura 2B).

- No dia 20/12/2021, a tripulação da embarcação Ilha de Santana, ao passar na área de cobertura do HF Radar em viagem de Vitória para a Rio de Janeiro, lançou ao mar, às 14:52 (UTC-3), o manequim com o rastreador Globalstar's SmartOne Solar, dando início ao experimento SAR.

- A tripulação da embarcação Ilha de Santana comunicou à equipe CRONOS, que se encontrava na Sala CRONOS, sobre o lançamento do manequim. A partir deste momento, a equipe CRONOS começou os procedimentos operacionais de SAR.

- O primeiro relatório foi emitido com a previsão da posição do manequim para as próximas duas horas a partir do momento de seu lançamento.

- A partir deste momento, a equipe da plataforma CRONOS atuou em regime de plantão para gerar, a cada duas horas, um relatório de busca e resgate, durante as 24 horas consecutivas.

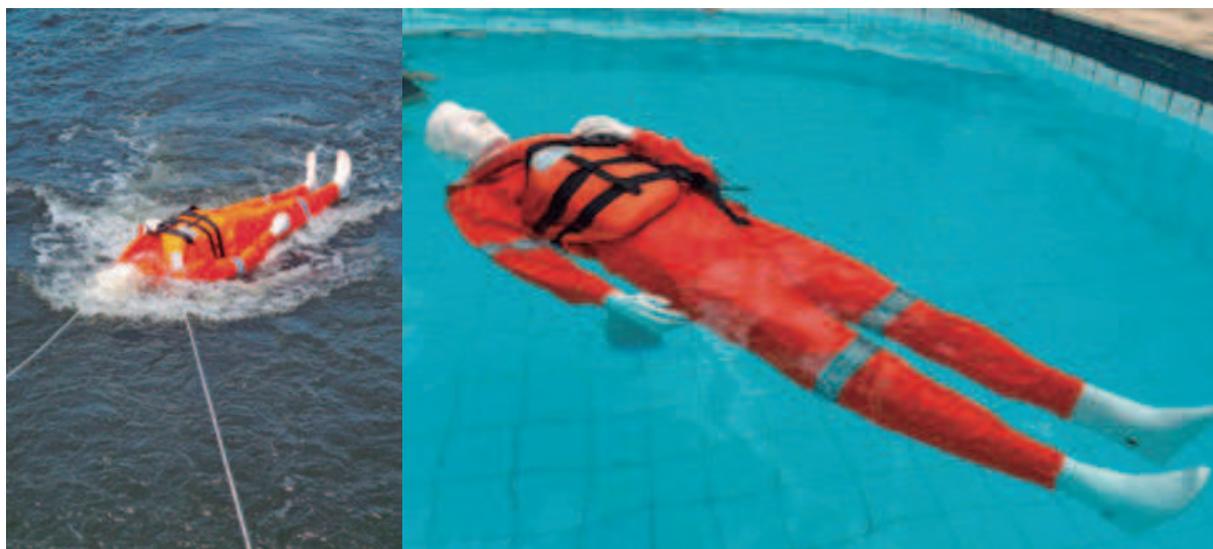


Figura 2 – A: Teste de flutuabilidade do manequim ao ser rebocado na Baía de Guanabara em 02/12/2021. B: Teste de flutuabilidade em piscina (06/12/2021) após a realização de furos no manequim

As posições fornecidas pelo manequim foram utilizadas como referência para avaliar a acurácia do modelo de previsão de deriva em uma situação de resgate de “homem ao mar”. Cada posição do manequim, prevista de maneira horária, foi determinada a partir do centroide de uma nuvem de partículas composta pelos resultados do conjunto de simulações de deriva (ensemble), executadas com o módulo OceanDrift do modelo lagrangeano OpenDrift. As simulações foram configuradas com o mesmo coeficiente de difusão turbulenta horizontal (D_{px} e D_{py} na Equação 1), equivalente a $20 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, que foi aplicado na etapa operacional do experimento. Este coeficiente foi empregado com o intuito de não se permitir um grande espalhamento horizontal das partículas, inviabilizando a área de busca.

Além disso, foram aplicados diferentes coeficientes de transferência energética do vento (parâmetro β na Equação 2), a saber, 0, 1, 2, 3 e 3,5%, representando a porcentagem da velocidade do vento adicionada ao transporte da partícula (Lardner &

Zodiatis, 2017; Li *et al.*, 2019). Esta avaliação é importante para calibrar o coeficiente de vento mais apropriado para o objeto simulado, considerando as especificidades da região de estudo.

O modelo de deriva foi forçado com informações de velocidade e direção do vento a 10 metros acima do nível do mar e da corrente superficial. O produto de modelagem do vento foi idealizado a partir de um sistema de grades aninhadas com o modelo WRF, em que a grade mais resolvida apresentou resolução espacial de 8 km e a grade mais externa foi forçada pelo modelo GFS (Global Forecast System).

As informações de corrente foram constituídas pelas medições mais recentes de velocidade e direção da corrente superficial fornecidas pelo sistema de Radars de Alta Frequência, HFR Codar. Como as informações de corrente são provenientes de medições fornecidas em tempo quase real, foi necessário replicar o campo de corrente mais recente para as próximas 4 horas, assumindo a hipótese de que esses campos



apresentam baixa variabilidade dentro do intervalo temporal adotado. Esta técnica foi empregada devido à necessidade de se utilizar uma previsão no experimento que incluísse a informação do HFR, simulando um caso real. Com a assimilação dos dados do HFR em um modelo hidrodinâmico e a utilização do modelo Long Short-Term Memory, é possível realizar a previsão do campo do radar de maneira adequada, como em Pongto *et al.* (2020) e Couvelard *et al.* (2021), sendo essas áreas de trabalho atualmente em desenvolvimento na OceanPact.

Durante as 24 horas iniciais do experimento, foram gerados, de forma operacional, 12 relatórios contendo informações horárias pertinentes às operações de busca e resgate (Figura 3), emitidos a cada duas horas. Cada relatório foi composto por uma tabela contendo as posições previstas horárias do manequim a partir do instante inicial do experimento, a distância em quilômetros e em milhas náuticas, o rumo a partir do ponto de origem (Last Known Position – LKP), e a temperatura da superfície do mar (TSM) para cada posição. A temperatura da água é um parâmetro fundamental para se estimar o possível tempo de sobrevivência de um naufrago (Xu & Giesbrecht, 2018). Tal informação foi adquirida a partir dos produtos orbitais presentes no Kit Metocean da OceanPact.

Além da tabela, cada relatório apresentou um mapa com a posição da nuvem de partículas do último instante simulado e os centroides das nuvens de cada instante horário anterior. A variação de cores da nuvem de partículas representou a probabilidade de ocorrência da partícula naquela posição, calculada a partir do método de Monte Carlo (Spaulding *et al.*, 2006; Sutherland *et al.*, 2020), onde cores quentes (frias) representaram maiores (menores) probabilidades.

Os registros de posicionamento do manequim foram omitidos da equipe

responsável pela geração e emissão dos relatórios, no intuito de se criar um cenário próximo do real.

Após a realização do experimento, onde foi aplicada a metodologia de previsão descrita anteriormente, foram executadas outras simulações com duração de 24 horas utilizando os dados de HFR, agora disponíveis para todo o período analisado. Essas simulações foram configuradas de maneiras distintas e seus resultados comparados à deriva do manequim com os objetivos de se estabelecer os parâmetros mais adequados para o cenário de SAR, e de se avaliar a eficácia do HFR. Nessa etapa, testaram-se diferentes coeficientes de difusão turbulenta horizontal, aplicados ao método Random Walk para resolver a equação da difusão-advectação (Equação 1) para cada partícula (Reed & Hetland, 2002; Yapa, 2013):

Equação 1

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} + \frac{\partial(u_a C_p)}{\partial x} + \frac{\partial(v_a C_p)}{\partial y} + \frac{\partial(w_a C_p)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{px} \frac{\partial C_p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{py} \frac{\partial C_p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{pz} \frac{\partial C_p}{\partial z} \right) + \frac{\partial(w_p C_p)}{\partial z} - S_p$$

Onde C_p é a concentração do poluente para cada partícula [kg/m^3], $D_{px,y,z}$ os coeficientes de difusão turbulenta nos eixos x , y , z (m^2/s), S_p o termo representando os processos de intemperismo (0 no experimento), e w_p a velocidade de empuxo (m/s).

Os termos u_a , v_a são as velocidades da partícula devido à advecção pela corrente e vento nos eixos x e y (o *stokes drift* não foi considerado), e a w_a velocidade da partícula devido à advecção pela corrente no eixo z .

Equação 2

$$u_a = u_c + \beta u_w$$

$$v_a = v_c + \beta v_w$$

$$w_a = w_c$$



Onde u_c, v_c, w_c são as velocidades das correntes nas direções x, y, z, u_w e v_w as velocidades do vento nas direções x e y , e β o coeficiente de transferência energética do vento. Com a aplicação do método de random walk, as velocidades devido à difusão/dispersão turbulenta nos eixos x, y , e z podem ser resolvidas como:

Equação 3

$$u' = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{2D_{px}}{\Delta t}} \sin(2\pi\varepsilon_2)$$

$$v' = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{2D_{py}}{\Delta t}} \cos(2\pi\varepsilon_2)$$

$$w' = \varepsilon_3 \sqrt{\frac{2D_{pz}}{\Delta t}}$$

Onde $\varepsilon_{1,2}$ são números randômicos entre 0 e 1, ε_3 um número randômico entre -1 e 1, e Δt o passo de tempo barotrópico. O coeficiente de transferência energética do vento (parâmetro β na Equação 2) foi definido em 3%, valor que apresentou o melhor resultado quando comparado ao ensemble (a ser apresentado na próxima seção). O modelo Leeway (Breivik *et al*, 2012, 2013), nativo do OpenDrift, também foi avaliado utilizando as configurações padrão para um objeto semelhante a um manequim.

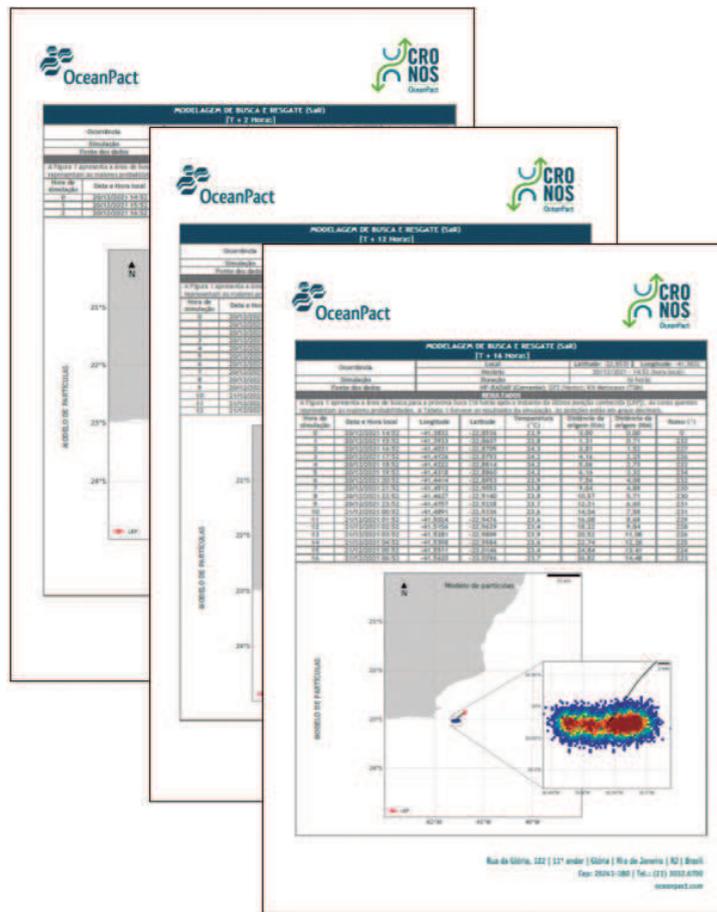


Figura 3 – Exemplos de relatório emitidos durante o experimento SAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições ambientais no dia do experimento foram de vento predominante de

NE (Figura 4) com intensidade de 6 a 10 m.s⁻¹, e corrente superficial escoando para SW (Figura 5) com intensidades de 0,3 a 0,5 m.s⁻¹. A temperatura na superfície da água variou entre 23 e 24 °C.

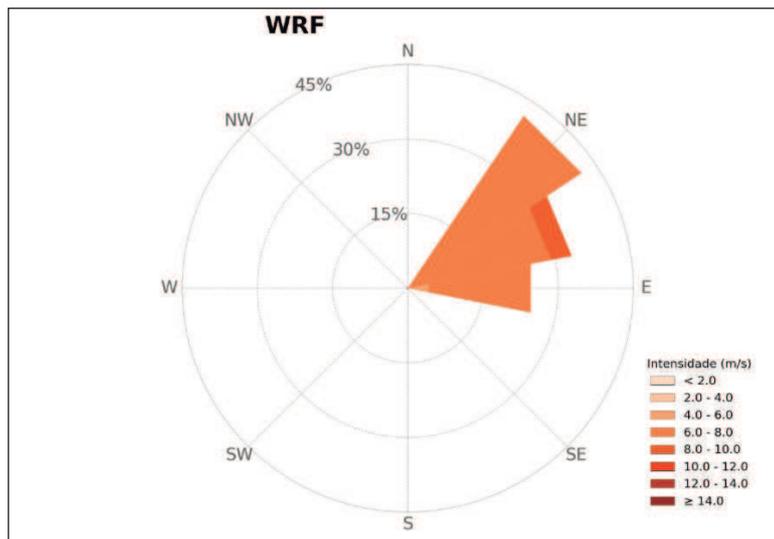


Figura 4 – Velocidade e direção do vento na área do experimento para a média de 24 h entre o início e o final do experimento. Fonte: WRF

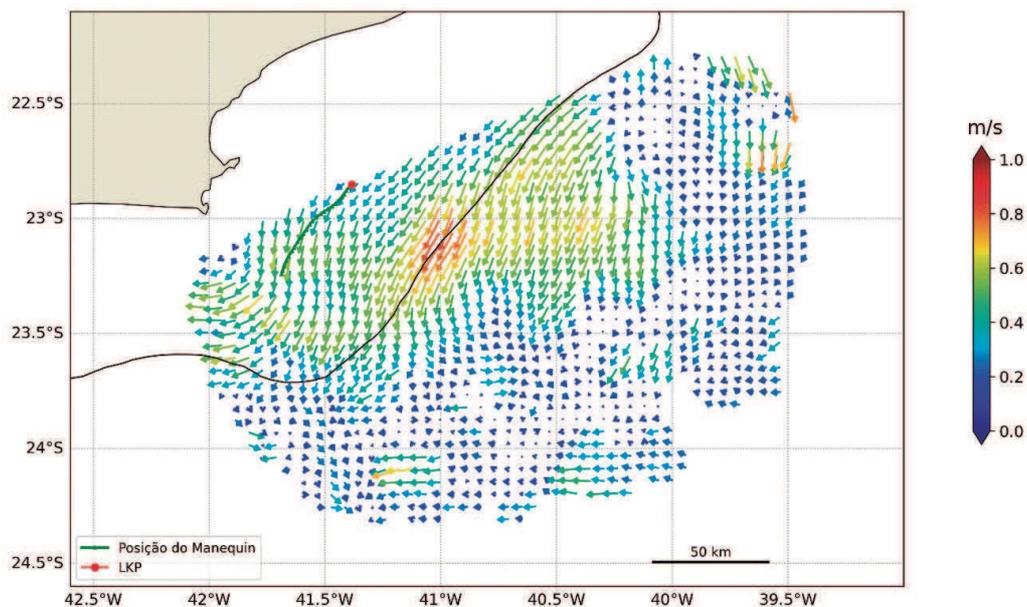


Figura 5 – Campo de correntes superficiais médio das 24 h entre o início e o final do experimento obtido com o sistema HFR, e a trajetória do manequim ao longo de 1 dia plotado na linha verde. O LKP representa o Last Known Position, que neste caso foi a posição de lançamento. A linha preta demarca a isobatimétrica de 200 metros



A posição medida do manequim após duas horas de seu lançamento foi abrangida pela área de busca estimada no primeiro relatório emitido (Figura 6-A). No último relatório, equivalente à previsão para 24 horas após o lançamento (Figura 6-B), o manequim se encontrou a sudoeste do limite da área de busca prevista. No entanto, observou-se que a trajetória simulada foi coerente à trajetória medida (linhas verde e preta na figura), e em concordância com o padrão de correntes mostrado na Figura 5, porém com intensidades distintas. É importante salientar que o *Stokes Drift*, o qual pode ser significativo na trajetória de derivas (Tamtaré *et al.*, 2021), não foi considerado no presente trabalho, podendo esta ser uma das causas da diferença das trajetórias encontrada. Além disso, o erro associado aos dados do WRF não foi quantificado.

medidas do que o ensemble com diferentes coeficientes de vento (Tabela 1).

É importante salientar que este é um resultado específico para o caso analisado, não podendo ser generalizado para a região de estudo sem a realização de mais experimentos.

Dentre as simulações, o manequim foi localizado fora da área de busca estimada com o coeficiente de difusão horizontal de $20 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e no caso do ensemble (o qual também apresentou o valor de $20 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para a difusão). Para os coeficientes de difusão horizontal de 35 e $50 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ as áreas de buscas estimadas contiveram a posição medida do manequim após 24 horas do seu lançamento.

A simulação conduzida com o modelo Leeway, apesar de resultar em uma área de busca que continha a posição medida do manequim, apresentou um tamanho de

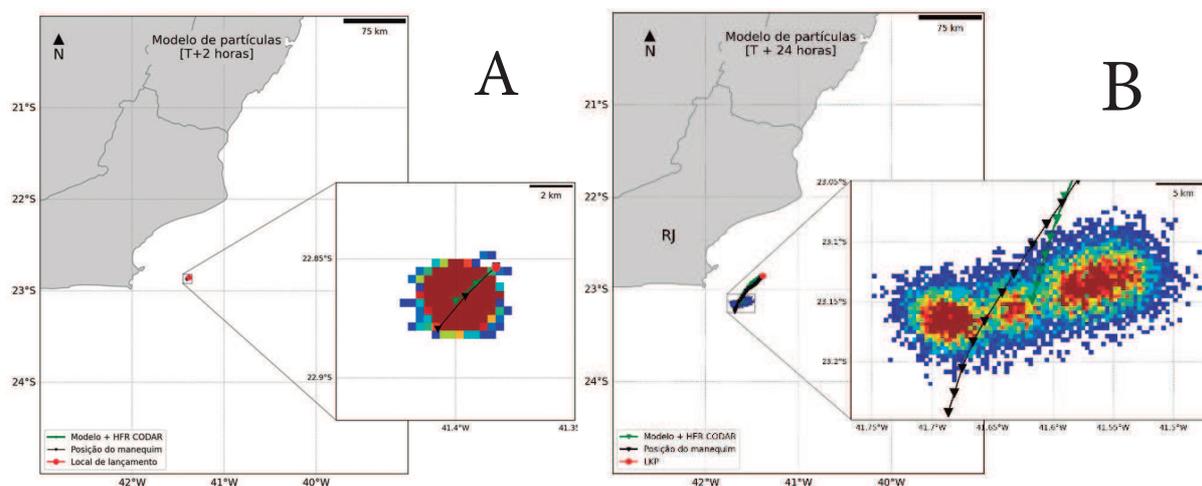


Figura 6 – A: Mapa com a área de busca estimada para 2 horas após o início do experimento. B: Mapa com a área de busca estimada para 24 horas após o início do experimento

A Figura 7 apresenta uma síntese dos resultados em termos das áreas de buscas estimadas a partir de cada simulação testada. As simulações rodadas para 24 horas com o módulo OceanDrift, configuradas apenas com o parâmetro de vento equivalente a 3%, apresentaram posições mais próximas às das

1664 km^2 de extensão, o que foi equivalente a 5 vezes o tamanho da segunda maior área de busca. Do ponto de vista operacional, a área estimada com o Leeway torna o trabalho de busca extremamente extenso e demorado, mesmo considerando a utilização de aeronaves, com a busca podendo



até mesmo ser inviabilizada. É importante ressaltar que a extensa área resultante do Leeway tem sido objeto de questionamento de usuários (Informação pessoal), o que corrobora a importância dos esforços apresentados neste trabalho de se implementar uma metodologia alternativa ao Leeway.

Independente das diferenças entre Ocean Drift e o Leeway, foi possível observar que o transporte induzido pelo HFR e o

WRF reproduziu de maneira bastante satisfatória a trajetória do manequim, com ele seguindo a direção do escoamento médio do HFR (Figura 5). Isto confirma a eficácia do HFR em emergências de SAR, como mostrado por grupos de pesquisa bem estabelecidos, em especial os casos associados ao Search and Rescue Optimal Planning System/SAROPS (O'Donnell *et al.* 2005; Futch & Allen, 2019).

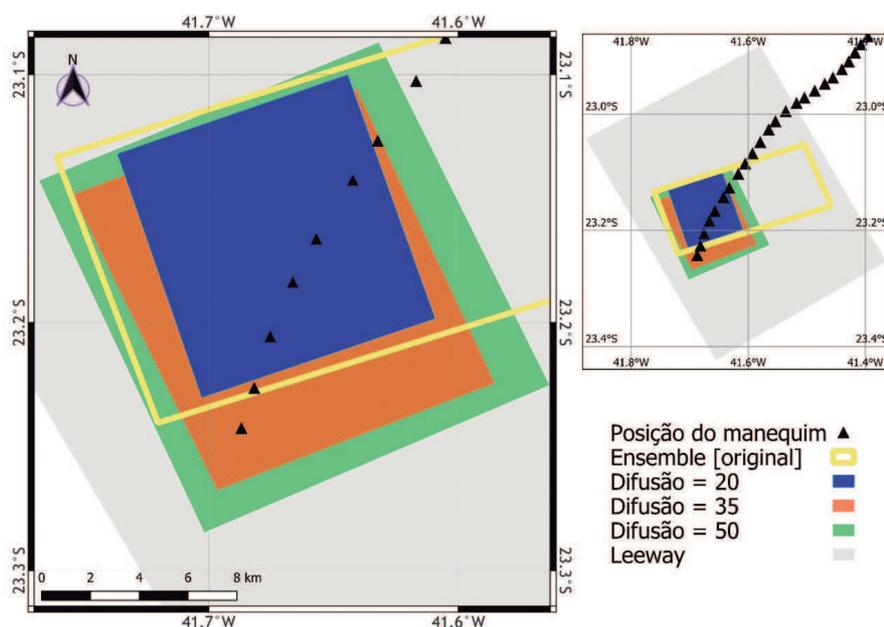


Figura 7 – Áreas de busca estimadas com as diferentes simulações de deriva

Tabela 1 – Síntese dos resultados das simulações considerando 24 de experimento. Células em vermelho (verde) indicam que o manequim foi localizado fora (dentro) da área de busca estimada.

Input de informações		Modelo de deriva	Coeficiente de difusão (m ² .s ⁻¹)	Coeficiente do vento (%)	Distância pro manequim (km)		Área de busca (km ²)
Vento	Corrente				Centroide	Partícula mais próxima	
WRF	HFR	OceanDrift	20	ensemble [0; 1; 2; 3; 3,5]	12,6	3,00	353
			20	3	6,52	2,35	116
			35	3	4,93	0,50	179
			50	3	4,95	0,22	261
		Leeway	-	-	13,25	0,93	1664



4. CONCLUSÃO

O coeficiente de vento de 3% se mostrou mais adequado do que o uso de um ensemble de coeficientes, indicando que, para este cenário, a transferência de 3% da energia do vento para a superfície da água representa bem as condições ambientais locais para o caso analisado.

Os coeficientes de difusão horizontal de 35 e 50 m².s⁻¹ apresentaram um maior espalhamento das partículas que, associados ao coeficiente de vento de 3%, resultaram em áreas de busca adequadas à operação de SAR. Por adequada, entende-se uma área com tamanho viável a ser vasculhada pela equipe de buscas em poucas horas. Apesar da primeira área (difusão = 35 m².s⁻¹) ser menor, a segunda (difusão = 50 m².s⁻¹) apresentou uma maior margem de confiança para o sucesso do experimento e de uma operação real de SAR.

A área de busca estimada com o modelo Leeway apresentou dimensões inviáveis de serem percorridas em tempo hábil numa situação de SAR. A partir da análise dos resultados ao longo de 24h de simulação, sendo definido como o período máximo para se recuperar o indivíduo ainda com

vida, foi constatado a eficácia da ferramenta HF-Radar (HFR) como forçante do modelo de partículas para fins de SAR, sendo o primeiro trabalho documentado de aplicação do HFR para SAR na América do Sul. Como trabalhos futuros, serão testados outros parâmetros físicos do modelo de deriva, e feitas comparações do OpenDrift forçado pelo HFR e por modelos de circulação, como o ROMS e Mercator/NEMO (Copernicus).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FINEP pelo suporte financeiro dado para a montagem do projeto CRONOS, ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM e ao Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego – CAMR, pela parceria com a OceanPact, o que permitiu a instalação da estação do HF-Radar na Ilha de Cabo Frio. Por fim, um agradecimento especial a todos os colegas da OceanPact que de uma forma ou outra, deram suporte ao nosso experimento SAR, em particular, a tripulação da embarcação Ilha de Santana que realizou o lançamento do manequim na área de cobertura do HF-Radar.

6. REFERÊNCIAS

- BREIVIK, O.; ALLEN, A.; MAISONDIEU, C.; OLAGNON, M. *Advances in Search and Rescue at Sea. Ocean Dynamics*. 63. 10.1007/s10236-012-0581-1. 2012
- BREIVIK, O.; ALLEN, A.; MAISONDIEU, C.; OLAGNON, M. *Advances in search and rescue at sea. Ocean Dyn.* 63, 83–88. doi: 10.1007/s10236-012-0581-1. 2013.
- COUVERLAND, X.; MESSEGER, C.; PENVEN, P.; SMET, S.; LATTES, P. *Benefits of radar-derived surface current assimilation for South of Africa Ocean circulation. Geosci lett.* 2021.
- O'DONNELL, J.; ULLMAN, D.; SPAULDING, M.; HOWLETT, E.; FAKE, T.; HALL, P. *Integration of Coastal Ocean Dynamics Application Radar (codar) and Short-Term Predictive System (stps) Surface Current Estimates Into the Search and Rescue Optimal Planning System (sarops)*. Report No. CG-D-01-2006. 2005.
- FUTCH, V.; ALLEN, A. *Search and Rescue Applications: On the Need to Improve Ocean Observing Data Systems in Offshore or Remote Locations*. *Frontiers in Marine Science*. 2019.



LARDNER, R., AND ZODIATIS, G. *Modelling oil plumes from subsurface spills. Marine Pollution Bulletin*, 124(1): 94-101, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.07.018. 2017.

LI, M.C., ZHANG, G.Y., SI, Q., LIANG, S.X., AND SUN, Z.C. *Numerical modeling of oil spill with tidal and wind-driven coupled model in Bohai Bay. Applied Mechanics and Materials*, 423: 1394-1397, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.423-426.1394. 2013.

PONGTO, R.; WIWATTANAPHON, N; LEKPONG, P.; LAWAWIROJWONG, S.; SRISONPHAN, S.; KEE, K.; JITKAJORNWANICH, K. *The Grid-Based Spatial ARIMA Model: An Innovation for Short-Term Predictions of Ocean Current Patterns with Big HF Radar Data*. 10.1007/978-3-030-19861-9_3. 2020.

REED, M.; HETLAND, B. *DREAM: a dose-related exposure assessment model technical description of physical-chemical fates components*. In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Society of Petroleum Engineers. 2002.

Search and Rescue (SAR) Operation. Disponível em: https://ec.europa.eu/home-affairs/pages/glossary/search-and-rescue-sar-operation_en. Acessado em: 20/03/2022

SPAULDING, M.; ISAJI, T.; HALL, P.; ALLEN, A. *A hierarchy of stochastic particle models for search and rescue (SAR): Application to predict surface drifter trajectories using HF radar current forcing. Journal of Marine Environmental Engineering*. 8. 181-214. 2006.

SUTHERLAND, G.; SOONTIENS, N.; DAVIDSON, F.; SMITH, G.; BERNIER, N.; BLANKEN, H.; SCHILLINGER, D.; MARCOTTE, G.; RÖHRS, J.; DAGESTAD, K.; CHRISTENSEN, K.; BREIVIK, O. *Evaluating the Leeway Coefficient of Ocean Drifters Using Operational Marine Environmental Prediction Systems. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 37. 1-36. 10.1175/JTECH-D-20-0013.1. 2020.

TAMTARE, T.; DUMONT, D.; CHAVANNE, C. *The Stokes drift in ocean surface drift prediction. Journal of Operational Oceanography*. 1-13. 10.1080/1755876X.2021.1872229. 2021.

XU, X.; GIESBRECHT, G. G. *A new look at survival times during cold water immersion. Journal of Thermal Biology*, Volume 78, Pages 100-105, ISSN 0306-4565, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.022>. 2018.

YAPA, P. D. *Modeling oil spills to mitigate coastal pollution*. In: FERNANDO, H. J. S. (Ed.). *Handbook of environmental fluid dynamics: systems, pollution, modeling, and measurements*. 2. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. p. 243–256. 15

