

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS

CURSO BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

FRANCIELLE NOGUEIRA DE LIMA HOLTZ SANTOS

**Previsão e identificação das áreas costeiras afetadas durante um
derramamento de petróleo: estudo de caso para o estado de Santa
Catarina**

FLORIANÓPOLIS

2023

FRANCIELLE NOGUEIRA DE LIMA HOLTZ SANTOS

**Previsão e identificação das áreas costeiras afetadas durante um
derramamento de petróleo: estudo de caso para o estado de Santa
Catarina**

Trabalho de Conclusão do Curso
submetido ao Curso de Graduação em
Oceanografia Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em
Oceanografia.

Orientador: Profa. Dra. Juliana Leonel.

Coorientador: Prof. Dr. Angelo Teixeira
Lemos.

FLORIANÓPOLIS

2023

Santos, Francielle Nogueira de Lima Holtz

Previsão e identificação das áreas costeiras afetadas durante um derramamento de petróleo: estudo de caso para o estado de Santa Catarina / Francielle Nogueira de Lima Holtz Santos ; orientadora, Juliana Leonel, coorientador, Angelo Teixeira Lemos, 2023.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Modelagem. 3. Derramamento de óleo. 4. Ambientes costeiros. 5. Impactos ambientais. I. Leonel, Juliana. II. Lemos, Angelo Teixeira. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Francielle Nogueira de Lima Holtz Santos

Previsão e identificação das áreas costeiras afetadas durante um derramamento de petróleo: estudo de caso para o estado de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Previsão e identificação das áreas costeiras afetadas durante um derramamento de petróleo: estudo de caso para o estado de Santa Catarina e aprovado em sua forma final pelo Curso Oceanografia.

Florianópolis, 29 de junho de 2023.

Profa. Dra. Alessandra Larissa D' Oliveira Fonseca, Coordenadora do Curso

Banca examinadora

Profa. Dra. Juliana Leonel, Orientadora

Profa. Dra. Kalina Manabe Brauko

UFSC

Profa. Dra. Sarah Rodrigues Ferreira

UENF

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Waldirene, por todo o sacrifício e ao meu pai, Frederico, por todo o suporte. Agradeço também à minha avó, Irene, minhas tias Dalvina e Penha, e aos meus falecidos avô Waldir, tio Ademar e tia Clotilde por todas as palavras, orações e apoio em momentos difíceis. Aos meus irmãos, Fernando e Danielle, minhas grandes razões de perseverança. Minha família fez de tudo para me dar a melhor das oportunidades e sempre serei grata.

Agradeço também às minhas melhores amigas de infância Samara, Paula e Maria Eduarda por todos os momentos de partilha em tantas situações difíceis, não somente durante os cinco anos de graduação, mas em toda minha vida. Ao meu amigo, Leonardo, por todas as risadas. À minha grande amiga Julia por ser meu pilar, minha companheira e a razão das minhas risadas nos momentos nublados em que eu não acreditava em mim, juntamente à Velma, ao Nelson e ao Bianco, meus amores. Às minhas amigas de intercâmbio por terem me ajudado a entender meus objetivos na vida e pelas tantas experiências juntas.

À minha orientadora Juliana e ao grupo do LaPoGeo-Mar (UFSC) pela paciência, compreensão e incentivo. Ao meu co-orientador Angelo e ao grupo do LADCEN (UFSB), em especial à Larissa Franklin, pelo suporte e por terem me permitido trabalhar com o tema que tanto gosto. O apoio de ambos permitiu o desenvolvimento deste estudo, expandindo minhas visões e conhecimentos acadêmicos. Minha admiração a eles, além da honra de ter aprendido com cientistas e pessoas tão incríveis.

RESUMO

O presente estudo visa identificar e analisar os ISL (Índice de Sensibilidade do Litoral) dos ambientes costeiros suscetíveis para a chegada de óleo em um derramamento determinístico hipotético, na costa de Santa Catarina, em um estudo de caso do poço 3-BRSA-1024-SPS, constituinte do Campo Baúna. Na metodologia, foram realizadas simulações em dois cenários médios: de verão (dezembro 2016, janeiro e fevereiro 2017) e de inverno (junho, julho e agosto 2017), com o modelo GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment). No cenário médio de verão, o óleo chegou à costa, afetando principalmente a Ilha do Arvoredo e o leste da Ilha de Florianópolis. Não ocorreram chegadas no inverno. Os ISL das áreas afetadas foram: 1, 2, 3, 4, 6 e 10, com um total de cinquenta e quatro ambientes sendo impactados. Os impactos dos ambientes afetados foram descritos de acordo com o levantamento bibliográfico acerca da Carta SAO (Sensibilidade ao Óleo). O estado de Santa Catarina se encontra em vulnerabilidade em um caso de derramamento pela grande biodiversidade da região, e pelos serviços ecossistêmicos e suas funções, afetando a economia estadual por tempo indeterminado, apesar do estado não ter atualmente os royalties de nenhum dos campos de produção.

Palavras-chave: derramamento; GNOME; Carta SAO; impactos; ambientes costeiros.

ABSTRACT

The present study aims to identify and analyze the ISL (Littoral Sensitivity Index) of coastal environments susceptible to the arrival of oil in a hypothetical deterministic spill, on the coast of Santa Catarina, in a case study of well 3-BRSA-1024- SPS, constituent of Campo Baúna. In the methodology, simulations were carried out in two average scenarios: summer (December 2016, January and February 2017) and winter (June, July and August 2017), with the GNOME model (General NOAA Operational Modeling Environment). In the midsummer scenario, oil reached the coast, mainly affecting Ilha do Arvoredo and eastern Florianópolis Island. There were no winter arrivals. The ISL of the affected areas were: 1, 2, 3, 4, 6 and 10, with a total of fifty of four environments being impacted. The impacts of the affected environments were described according to the bibliographic survey on the SAO Charter (Oil Sensitivity). The state of Santa Catarina is vulnerable to a spill due to the great biodiversity of the region, and the ecosystem services and their functions, affecting the state economy for an indefinite period, despite the fact that the state does not currently have royalties from any of the production fields.

Keywords: spill; GNOME; SAO Letters; impacts; coastal environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processos que ocorrem quando o óleo chega ao mar.....	13
Figura 2- Índice de Sensibilidade Litoral (ISL) e suas classes.....	16
Figura 3- Mapa da localização do Campo Baúna e da Boia de Itajaí.....	17
Figura 4- Linha de costa da área de estudo.....	21
Figura 5- Mapa para a visualização dos ISL com foco na região da Grande Florianópolis, SC..	24
Figura 6- Local em que o óleo chegou pela primeira vez na costa (dia 14) no cenário de verão.	26
Figura 7- Espalhamento do óleo após 30 dias de simulação no cenário de verão. A esquerda: mapa detalhando a passagem do óleo ao norte da Ilha de Santa e regiões adjacentes com as respectivas ISL. A direita superior: mapa mostrando o deslocamento do óleo ao final da simulação (dia 30). A direita inferior: distribuição final do derramamento (dia: 30).....	27
Figura 8- Gráfico da quantidade do óleo em % a passar pelos processos de intemperismo e que chega na costa ao longo dos 30 dias de derramamento no cenário de verão.....	29
Figura 9- Valores finais das propriedades do óleo e da emulsificação ao longo dos 30 dias de derramamento no cenário de verão.....	30
Figura 10- Espalhamento do óleo após 30 dias de simulação no cenário de inverno. A esquerda: mapa mostrando o deslocamento do óleo ao final da simulação (dia 30). A direita: distribuição final do derramamento (dia: 30).....	31
Figura 11- Estimativa da densidade de Kernel para as partículas de óleo ao final da simulação do cenário de inverno.....	32
Figura 12- Processos de intemperismos do óleo nos 30 dias de simulação do derrame no cenário de inverno.....	33
Figura 13- Valores finais das propriedades do óleo e da emulsificação ao longo dos 30 dias de derramamento no cenário de inverno.....	35
Figura 14- Mapa de Calor do shapefile de saída ao final da simulação do cenário de verão...	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Propriedades do óleo escolhido para as simulações.....	22
Quadro 2- Configurações gerais do modelo estabelecidas para as duas simulações.....	22
Quadro 3- Quantidade de óleo derramada por dia e o total nos dois cenários de estudo.....	23
Quadro 4- Informações presentes nas Carta SAO para os ambientes com ISL 1 e 2.....	36
Quadro 5- Informações das camadas shapefile de ISL 10 presentes na Carta SAO.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos óleos de acordo com sua densidade e seu grau API.....	15
Tabela 2- Propriedades médias da água e características do vento da região de estudo para inverno e verão.....	20
Tabela 3- Quantidade do óleo que sofreu cada um dos processos de intemperismo ao final do derramamento do cenário de verão.....	28
Tabela 4- Propriedades do óleo ao final do derramamento do cenário de verão.....	30
Tabela 5- Quantidade do óleo que sofreu cada um dos processos de intemperismo ao final do derramamento do cenário de inverno.....	32
Tabela 6- Propriedades do óleo ao final do derramamento do cenário de inverno.....	34

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2 MODELO DE DISPERSÃO.....	19
3.2.1 Aquisição de Dados.....	20
3.2.1.1 Óleo.....	21
3.2.2 Configurações gerais do modelo.....	22
3.2.3 Cenários de dispersão.....	22
3.3 Cartas SAO e ISL.....	23
3.4 ANÁLISE PÓS-PROCESSAMENTO.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Simulação de verão.....	24
4.1 Simulação de inverno.....	29
5. CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXO A- Informações das camadas shapefile de ISL 3, e 4 presentes na Carta SAO.....	46
ANEXO B- Informações das camadas shapefile de ISL 3, e 4 presentes na Carta SAO.....	51

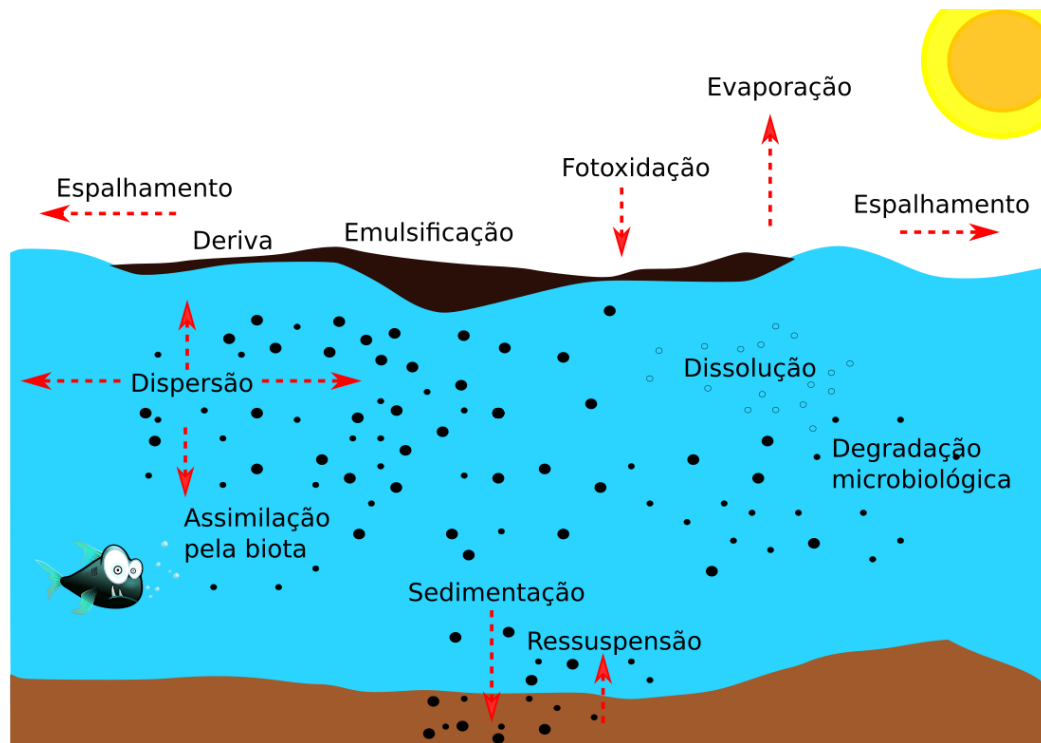
1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos oriundos do retrabalhamento da matéria orgânica sedimentar que pode estar na forma gasosa (gás) ou líquida (óleo) (TISSOT; WELTE, 1984). Ele é o combustível fóssil mais utilizado no mundo desde o século XX e os produtos do seu refino são usados como: combustíveis, asfalto, lubrificantes, e matéria-prima na fabricação do plástico, borrachas, tintas, cosméticos, fertilizantes, etc (SELLEY; SONNENBERG, 2015).

A alta demanda por petróleo resulta em elevadas taxas de extração, refino e intenso transporte ao redor do globo tanto do óleo bruto como de seus derivados; desde a década de 1970, a quantidade de óleo transportado via oceano dobrou (WAN; CHEN, 2018). Essas atividades podem causar derrames de óleo em todos os estágios de produção, como a extração, transporte, transferência e armazenamento (LIMA; DIAS-BRITO; MILANELLI, 2008). Os derrames ocorrem desde os primórdios da exploração petrolífera, causando impactos ambientais, sociais e econômicos, tais como, a morte de organismos, a contaminação de pessoas e a diminuição de recursos nas regiões afetadas (WAN; CHEN, 2018).

Após o derramamento de óleo no mar, ele pode passar por distintos processos físicos, químicos e biológicos de intemperismo (Figura 1). Em função das características ambientais de cada local e do tipo de óleo, esses processos distribuem o óleo nos distintos compartimentos ambientais marinhos e/ou transforma a sua composição. Todos os fatores ocorrem em escalas de tempo distintas afetando o destino desse material e os impactos ambientais gerados. Os principais processos físicos envolvem espalhamento, dispersão vertical e horizontal, sedimentação e deriva. Nos processos químicos, ocorre a dissolução, evaporação, foto-oxidação e emulsificação. E, por fim, tem-se a biodegradação como processo biológico (BEIRAS, 2018).

Figura 1- Processos que ocorrem quando o óleo chega ao mar.



Fonte: Produção Juliana Leonel

O transporte horizontal do óleo abrange principalmente os seguintes processos físicos: o espalhamento e a dispersão. O espalhamento é um dos primeiros processos que ocorre após o derramamento, expandindo horizontalmente a mancha de óleo (SZEWCZYK, 2006). Já a dispersão é a mistura do óleo na coluna d'água, sendo influenciada principalmente pela turbulência do local (BEIRAS, 2018); ela permite que as partículas desprendidas atinjam camadas de água mais profundas (DOERFFER, 1992).

Os demais processos físicos de destaque são a sedimentação e a deriva. A sedimentação pode ocorrer com a parte do petróleo mais densa (antes ou depois de passar por outros processos, como evaporação e emulsificação) ou devido a adsorção do óleo ao material em suspensão na água (NRC, 2003). A deriva é o movimento da mancha como consequência dos ventos na camada superficial (BEIRAS, 2018).

Dentre os processos químicos, a dissolução depende de diversas variáveis do ambiente, como temperatura e turbulência da água, também da composição química do óleo derramado (SZEWCZYK, 2006); ela vai ocorrer com a parte mais solúvel. A foto-oxidação é um importante processo para a dissolução, pois aumenta a quantidade de compostos mais solúveis. Isso tem efeito na toxicidade pós-derrame, já que os componentes mais solúveis apresentam maior toxicidade aguda (NRC, 2003).

De modo similar, a evaporação do óleo depende da sua composição e também das condições ambientais (NRC, 2003). Os componentes aromáticos mais leves, como os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), evaporam rapidamente (BEIRAS, 2018). Ao evaporarem, a densidade aumenta e isso pode contribuir para o afundamento e sedimentação do óleo (SOTO, 2004). A emulsificação é responsável por aumentar a viscosidade do óleo e também o volume em quatro a cinco vezes (DOERFFER, 1992). A biodegradação da mancha de óleo ocorre pelas bactérias e fungos presentes na água do mar. A taxa de biodegradação depende da temperatura, da disponibilidade de oxigênio e de nutrientes, da pressão e das propriedades do óleo (NRC, 2003). É um processo que ocorre lentamente, principalmente por alguns de seus componentes serem muito resistentes à biodegradação, como os elementos cíclicos (DOERFFER, 1992).

Um fator importante para diversos desses processos supracitados é a localização da mancha de óleo na coluna d'água, e isso depende da sua densidade que, por sua vez, também é afetada pelos processos de intemperismo (NOAA, 2012). A maioria dos óleos possui uma densidade menor do que a água do mar, flutuando na superfície e sofrendo influência de ventos e correntes. Assim, animais com maior contato com a superfície da água são impactados diretamente. Por exemplo, as aves marinhas podem se alimentar do óleo e suas penas ficarem sujas, causando hipotermia e dificuldade de voo (LEIGHTON, 1993). Os mamíferos marinhos também podem ser contaminados ao irem à superfície para a respiração (HELM et al., 2015). A distribuição e o transporte do óleo vão depender de suas características físico-químicas, em especial da sua densidade. Internacionalmente, os óleos são classificados pelo seu grau API (American Petroleum Institute), cuja variação é inversamente proporcional a sua densidade relativa (Tabela 1). De maneira análoga, a viscosidade e a tendência de emulsificação também são inversamente proporcionais ao grau de API (DOERFFER, 1992).

Tabela 1- Classificação dos óleos de acordo com sua densidade e seu grau API.

Classificação	Densidade	API
Leve	$< 0,87$	$> 31,1^\circ$
Mediano	$0,87 \leq \rho < 0,92$	$22,3^\circ < \text{API} \leq 31,1^\circ$
Pesado	$0,92 \leq \rho < 1,00$	$10^\circ < \text{API} \leq 22,3^\circ$
Extra pesado	$> 1,00$	$\leq 10^\circ$




Fonte: Tabela adaptada JAFARINEJAD, 2017

Devido a sua natureza, a zona costeira é uma das regiões mais susceptíveis aos impactos de um derramamento de óleo. Isso pode ser exemplificado pelo recente acontecimento (2019-atual) quando mais de cinco mil toneladas de óleo chegaram até dezenas de praias no Brasil, causando impactos ambientais, como morte de animais, diminuição dos recursos pesqueiros, queda da qualidade da praia e da água; e impactos sociais e econômicas, comprometendo a saúde de 144 mil pescadores do nordeste (PENA et al., 2020).

Dessa forma, é necessário que existam planos de contingência bem estabelecidos e implementados que considerem as características de cada região. Neste intuito, as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Cartas SAO), usadas no Brasil a partir da década de 90 como ferramentas nos planos de contingência, são fundamentais para o planejamento e para a avaliação dos impactos causados (MMA, 2007). As Cartas SAO devem atender a derramamentos de qualquer dimensão, e necessitam fornecer três informações: a sensibilidade ambiental de acordo com o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL); as atividades socioeconômicas que podem ser afetadas ou pelo derramamento ou pelos impactos; e os recursos biológicos sensíveis ao óleo na região da carta, destacando espécies raras, ameaçadas ou em extinção, ou em fases vitais de seus ciclos.

Dentre os fatores presentes nas Cartas SAO, o ISL (Figura 2) utiliza conhecimentos geomorfológicos da costa, como: o grau de exposição das ondas e marés, a declividade, e o tipo de substrato na sua elaboração (MMA, 2007). Esses fatores se relacionam com a infiltração do óleo no substrato e com a facilidade da hidrodinâmica de lavar o ambiente contaminado, determinando os impactos e a resistência do óleo (MMA, 2007).

Figura 2- Índice de Sensibilidade Litoral (ISL) e suas classes.

COR	ÍNDICE	CÓDIGO			TIPOS DE COSTA
		R	G	B	
	ISL 1	119	38	105	<ul style="list-style-type: none"> ■ Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos ■ Falésias em rochas sedimentares, expostas ■ Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
	ISL 2	174	153	191	<ul style="list-style-type: none"> ■ Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos ■ Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
	ISL 3	0	151	212	<ul style="list-style-type: none"> ■ Praias dissipativas de areia média a fina, expostas ■ Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach") ■ Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos ■ Campos de dunas expostas
	ISL 4	146	209	241	<ul style="list-style-type: none"> ■ Praias de areia grossa ■ Praias intermediárias de areia fina a média, expostas ■ Praias de areia fina a média, abrigadas
	ISL 5	152	206	201	<ul style="list-style-type: none"> ■ Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais ■ Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação ■ Recifes areníticos em franja
	ISL 6	0	149	32	<ul style="list-style-type: none"> ■ Praias de cascalho (seixos e calhaus) ■ Costa de detritos calcários ■ Depósito de tálus ■ Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos ■ Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	ISL 7	214	186	0	<ul style="list-style-type: none"> ■ Planície de maré arenosa exposta ■ Terraço de baixa-mar
	ISL 8	225	232	0	<ul style="list-style-type: none"> ■ Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada ■ Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada ■ Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados ■ Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
	ISL 9	248	163	0	<ul style="list-style-type: none"> ■ Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas ■ Terraço de baixa-mar lamoso abrigado ■ Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	ISL 10	214	0	24	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deltas e barras de rio vegetadas ■ Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas ■ Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum ■ Marismas ■ Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Fonte: MMA, 2007.

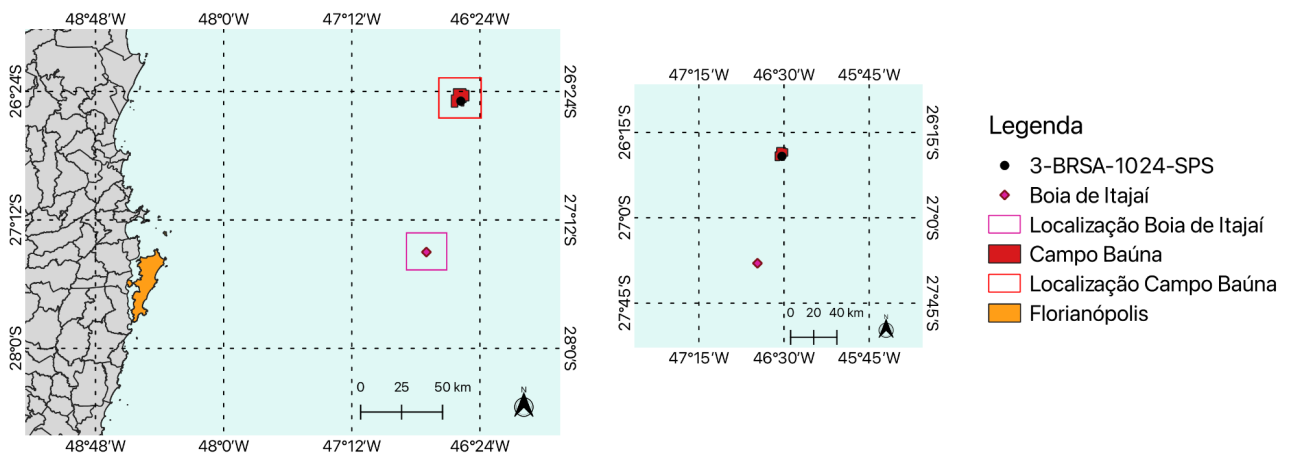
A extração brasileira de petróleo em alto-mar (*offshore*) iniciou em 1968 (MORAIS, 2013), e atualmente tem foco na Bacia de Campos; ela representa 30% da produção de óleo no país, de acordo com o site da Petrobrás. Mesmo a exploração *offshore* ocorrendo afastada da costa, caso ocorra um acidente, o óleo pode ser trazido para a costa através das correntes. Dessa forma, além dessa Carta SAO, são necessários estudos que avaliem o potencial de chegada do óleo à costa a partir dos blocos que estão em exploração ou em processo de leilão.

A demarcação interestadual marítima para distribuir os royalties das explorações dos blocos petrolíferos foi realizada em 1986 pelo IBGE (BRASIL, 1986). Segundo essa divisão, Santa Catarina não tem direito aos royalties de nenhum dos blocos já leiloados, embora alguns deles estejam próximos da sua linha de costa. Em 2022, o estado venceu a ação que

estava há mais de três décadas na justiça, determinando que o IBGE refaça o traçado de linha dos limites da costa, dando direito à Santa Catarina aos royalties que estejam na nova área traçada, além de que São Paulo e Paraná deverão ressarcir o estado dos valores de royalties já explorados (STF, 2020); entretanto, ainda hoje, a implementação das decisões não foi finalizada.

Um exemplo disso é o campo Baúna, que faz parte do bloco BMS40 e da instalação Cidade de Itajaí, localizado a cerca de 180 km do município de Penha, SC (Figura 3). Neste campo, o poço de exploração 3-BRSA-1024-SPS possui a maior produção (1,087 m³/dia), e pertence ao estado de São Paulo. O campo encontra-se em uma lâmina d'água de 280 metros, e seus reservatórios estão a 2.000 metros (KAROON ENERGY, 2021). Embora pertença ao estado de SP, a proximidade com a costa catarinense traz preocupações com os potenciais danos econômicos, sociais e ambientais no caso de um derrame em que o óleo seja trazido para a zona costeira.

Figura 3- Mapa da localização do Campo Baúna e da Boia de Itajaí.



Fonte: Elaborado pela autora

O alto potencial de impactos na região catarinense em caso de um derramamento não reflete proporcionalmente em pesquisas de modelagem acerca do tema. Um dos únicos encontrados foi a dissertação de Maria Paula Lebrão Graziotto, "Modelagem numérica como ferramenta para caracterizar a dispersão da pluma de um derrame de óleo em São Francisco do Sul, Santa Catarina." de 2019. Assim, este presente trabalho visa destacar a importância da modelagem para casos de derramamento e trazer mais atenção ao tema para o estado de Santa Catarina.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Identificar, na costa de Santa Catarina, as possíveis áreas afetadas e pontuar seus potenciais impactos pela dispersão do óleo proveniente de um derramamento hipotético do poço 3-BRSA-1024-SPS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Avaliar a trajetória do óleo em diferentes cenários: médio de verão e médio de inverno;
- ii. Pontuar as áreas vulneráveis atingidas pelo óleo, identificando os possíveis impactos;
- iii. Classificar os ambientes afetados conforme o ISL.

3. METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de SC é destaque nacional no turismo, na produção pesqueira e na aquicultura. O turismo representa 12% do PIB catarinense, atraindo muitos turistas em razão das belezas naturais (FERREIRA; TONELLI; PEREIRA, 2019). Já a pesca representa 25% da produção brasileira (UNIVALI/CTTMar, 2013); além da pesca industrial, a pesca artesanal contribui com cerca de 30% da produção catarinense, com representatividade cultural e mais de 25 mil pescadores artesanais no estado (SEVERO, 2008). Com relação à aquicultura, mais de 90% dos bivalves consumidos no Brasil são oriundos de SC (SOUZA; PETCOV, 2013). Adicionalmente, a costa catarinense tem uma ampla variedade de ecossistemas e riqueza de espécies marinhas, sendo uma importante área de proteção e reprodução de espécies, como da baleia-franca (DANIELSKI, 2015).

A produtividade pesqueira da região é consequência da ressurgência sazonal, que ocorre pela mudança de padrões de vento nas estações (PAES; MORAES, 2007). Vale destacar que o padrão de ventos de Santa Catarina é dominado pelo vento Leste e vento Nordeste na maior parte do ano, com destaque para o mês de junho em que o vento Sul também é predominante (SILVEIRA; ALVES; MURARA, 2014).

Em termos de circulação, ao largo da costa catarinense, há a Corrente do Brasil (CB) que transporta Água Tropical (AT) em superfície e abaixo dela a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (STRAMMA; IKEDA; PETERSON, 1990). Apesar de o fluxo superficial dominante ser para sudoeste, há importantes variações sazonais: as correntes são mais fracas no outono se comparadas com as intensidades da primavera; no verão há ressurgências devido ao fluxo para sudeste e, no outono e inverno, pode haver correntes para o norte que geram subsidência (PALMA; MATANO; PIOLA, 2008; PIMENTA et al., 2005). Durante o verão, há maior concentração de Água Costeira no embaiamento sul brasileiro, o que aumenta a salinidade durante a estação (PIOLA et al., 2018). A circulação interna dessa região é dominada pelos ventos, o que a faz ser mais sensível às mudanças sazonais (PIOLA et al., 2018).

Além disso, a CB está na borda da plataforma, a cerca de 200 km da costa, sendo a responsável pela entrada da ACAS na parte central da plataforma e de áreas costeiras, principalmente durante o verão (MATANO; PALMA; PIOLA, 2010). Ademais, durante o inverno, a pluma do Rio da Prata chega mais ao norte até 28°S, chegando ao embaiamento sul brasileiro (PIOLA et al., 2018).

De uma forma geral, a distribuição das massas de água e sua circulação na região são condicionadas por forçantes meteorológicas, sendo que as condições transientes, como passagem de frentes, são mais importantes que o padrão sazonal de ventos (HARARI et al. 2011).

3.2 MODELO DE DISPERSÃO

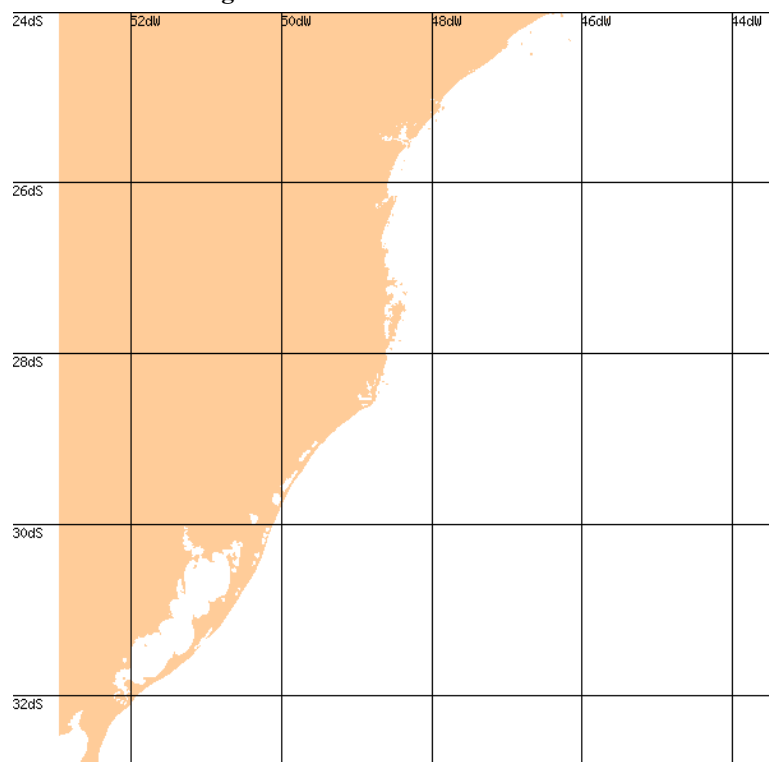
Para avaliar como o padrão de ventos, correntes e o intemperismo influenciaram no transporte do óleo, foi utilizado o modelo GNOME - General NOAA Operational Modeling Environment (NOAA, 2002). Ele é um modelo lagrangiano que permite simular o comportamento dos processos de espalhamento e de intemperismo sofridos pelo óleo (evaporação, dispersão natural e sedimentação). É utilizado pela divisão do *Office of*

Response and Restoration da NOAA. O modelo acompanha o intemperismo do óleo até o momento da chegada na costa (denominada *beached*), ou seja, enquanto ele está na água do mar. Na porção do óleo que chega na costa não são considerados os processos de intemperismo.

3.2.1 Aquisição de Dados

A grade espacial utilizada tem limites latitudinais de 24°S e 33°S, e limites longitudinais de 44°W e 53°W. O modelo usado requer a importação de um mapa da linha de costa para que a área seja modelada (Figura 4). Assim, o mapa foi adquirido através da base de dados de linhas de costas da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) disponível no GOODS (GNOME Online Oceanographic Data Server).

Figura 4- Linha de costa da área de estudo.



Fonte: GOODS

Os dados de temperatura, altura de onda, velocidade e direção do vento foram obtidos da Boia Itajaí (27°24,36'S e 47°15,93'W) que faz parte do Programa Nacional de Boias (PNBOIAS). Foram utilizadas as médias dos valores para os meses de verão (dez/2016 - fev/2017) e inverno (jun - ago/2017). A escolha desse período ocorreu por fazer parte da série

temporal mais longa disponível da Boia Itajaí, visto que em outros momentos a mesma foi retirada diversas vezes devido a problemas operacionais.

Como a boia não tem sensor de salinidade, optou-se por usar o valor sugerido no manual do modelo. Ressalta-se aqui que os dados supracitados são usados para os processos de intemperismos do óleo.

Tabela 2- Propriedades médias da água e características do vento da região de estudo para inverno e verão.

Variáveis	Cenário médio de verão	Cenário médio de inverno
Salinidade	35	35
Temperatura (K)	299	294
Altura de onda (m)	1,5	1,9
Velocidade do vento (m/s)	6,9	7,9
Direção do vento	175°S	228°SW

Fonte: Boia de Itajaí

As variáveis dos dados hidrodinâmicos utilizados foram: temperatura e salinidade da água, altura da superfície do oceano (*sea surface height*) e velocidade da água para o leste e norte. Elas foram obtidas do experimento GLUB 0.08 91.2 (resolução de 1/12° e grade entre 80,48°S e 80,48°N) do *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM). Foram adquiridos os dados diários, de hora em hora, de dezembro de 2016 a dezembro de 2017. Com esses dados foram feitas as médias para o verão (jan/2016 - fev/2017) e inverno (jun - ago/2017).

Os dados de vento foram adquiridos do modelo ERA 5. Nele, as variáveis são estimadas de hora em hora, com resolução de 137 níveis, chegando até 80 km acima da superfície terrestre (EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS, 2016). Os dados englobam as variantes u , correspondente a componente leste do vento de 10 metros, e v , componente norte do vento de 10 metros, de forma a termos a componente horizontal do vento (HERSBACH et al., 2023). Para o cenário do verão, os dados foram de janeiro de 2017, e, para o do inverno, julho de 2017.

3.2.1.1 Óleo

Os dados do óleo utilizado na simulação utilizaram como base o ADIOS Oil Database (NOAA, 2002). Ele possui a listagem das propriedades químicas e físicas de diversos óleos. Seu banco de dados é proveniente de diversas fontes, como estudos da indústria petrolífera e dados coletados pela NOAA.

O óleo escolhido possui baixa viscosidade e grau API 34, assim como o óleo produzido no poço 3-BRSA-1024-SPS (Quadro 1) ([KAROON ENERGY LTD., 2021](#)).

Quadro 1- Propriedades do óleo escolhido para as simulações.

Nome do óleo	Loreto
ID no ADIOS database	AD 02216
Localização	Peru
API	34
Tipo	Óleo cru leve
Densidade (15,01° C)	0,854 g cm ³
Viscosidade cinemática (27° C)	8,25 cSt

Fonte: ADIOS (NOAA). Disponível em: < <https://adios.orr.noaa.gov/oils/AD02216> >

3.2.2 Configurações gerais do modelo

O GNOME é um modelo desenvolvido pela NOAA em 1999 (NOAA, 2019) e atualmente sua versão de código aberto, PyGnome, é a utilizada. O modelo foi configurado conforme o Quadro 2. Optou-se por usar os valores *default* por serem padronizados pelo modelo (ZELENKE; O'CONNOR; BARKER, 2021), capazes de abranger mais casos de derramamento, como no tipo contínuo, que foi o escolhido. A duração do derramamento escolhida foi de 30 dias consecutivos com perda de controle do poço, que é o caso mais grave conforme a Resolução N°398 de 11 de junho de 2008 (MMA, 2008).

Quadro 2- Configurações gerais do modelo estabelecidas para as duas simulações.

Difusão horizontal	Coeficiente de difusão	1e+5 (default)
	Fator de incerteza	2 (default)
Configurações do derramamento	Duração do derrame	30 dias
	Tipo de derrame	Contínuo
	Número de partículas	1.000 (default)
	Coordenadas da ocorrência do derrame	-26.4162525, -46.4819844
	Windage	1 a 4% (default)
	Windage persist	15 min (default)

Fonte: Elaborado pela autora

3.2.3 Cenários de dispersão

Foram estabelecidos dois cenários de dispersão: cenário médio de verão e cenário médio de inverno. Cada cenário foi calculado a partir da média da estação. Os dados de produção do poço foram retirados dos Boletim da Produção de Petróleo e de Gás Natural dos anos de 2016 e de 2017 disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Assim, os dados hidrodinâmicos e de produção do poço (Quadro 3) usaram os valores de dezembro de 2016, janeiro e fevereiro de 2017 para o cenário médio de verão, e, para o cenário médio de inverno, de junho, julho e agosto de 2017.

Quadro 3- Quantidade de óleo derramada por dia e o total nos dois cenários de estudo.

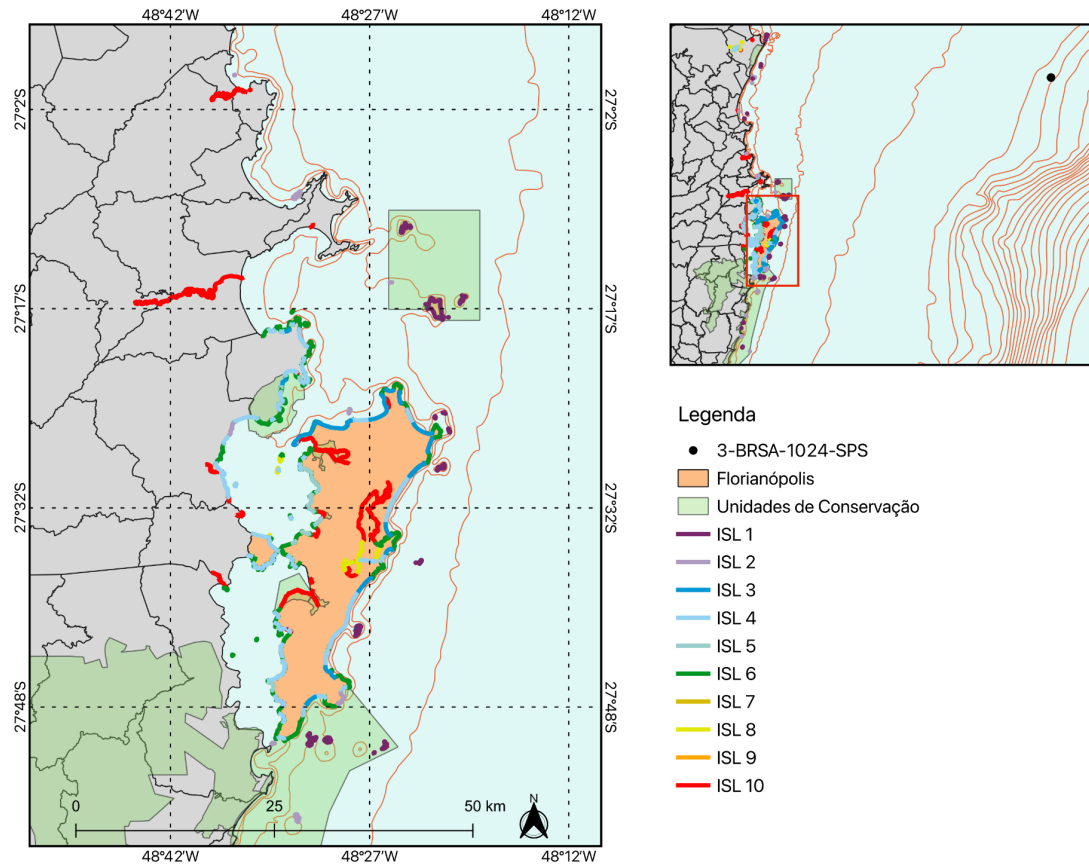
Cenário médio verão	Quantidade derramada por dia	1,096 m ³ (6,89 bbl)
	Quantidade total derramada	32,776 m ³ (206,79 bbl)
Cenário médio inverno	Quantidade derramada por dia	2,16 m ³ (13,58 bbl)
	Quantidade total derramada	64,809 m ³ (407,65 bbl)

Fonte: Elaborado pela autora

3.3 Cartas SAO e ISL

As Cartas SAO utilizadas foram a carta tática e operacional da Bacia de Santos e de Pelotas do ano de 2017, que estão disponibilizadas no site do Ministério do Meio Ambiente na seção de Segurança Química- Sensibilidade ao Óleo (MMA, 2017). A partir delas, usou-se as tabelas de atributo das camadas de ISL, batimetria, unidades de conservação, recursos biológicos e recursos socioeconômicos, para entender as vulnerabilidades das áreas costeiras afetadas pelo óleo após modelagem da dispersão (Figura 5).

Figura 5- Mapa para a visualização dos ISL com foco na região da Grande Florianópolis, SC.



fonte: Elaborado pela autora

3.4 ANÁLISE PÓS-PROCESSAMENTO

Os resultados de espalhamento e intemperismo do óleo foram analisadas no Excel e no QGIS. Para os dados, dois gráficos de linhas foram criados para cada um dos cenários. Os valores utilizados foram das saídas diárias, sendo as variáveis: evaporação, dispersão natural, sedimentação, espalhamento e emulsificação, além das variações de densidade média e de viscosidade média do óleo. As quantidades de óleo que chegaram na costa também foram analisadas. Já os dados no formato *shapefile* foram utilizados para a criação de mapas que descrevem o resultado final das simulações e as áreas afetadas, com destaque dos ambientes costeiros de acordo com seus ISL.

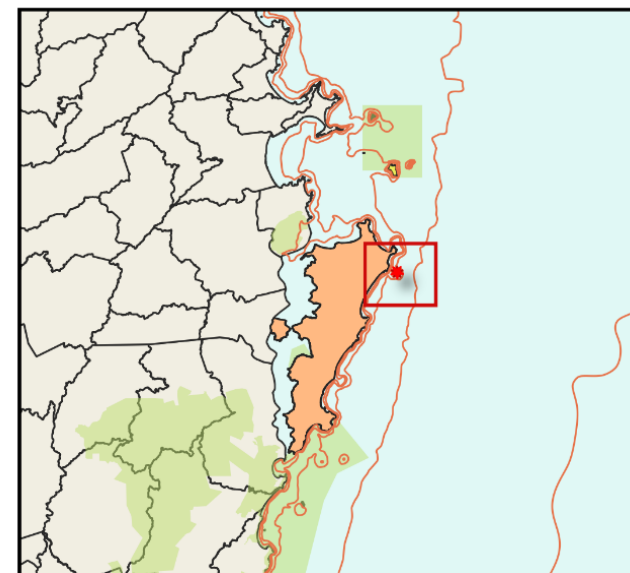
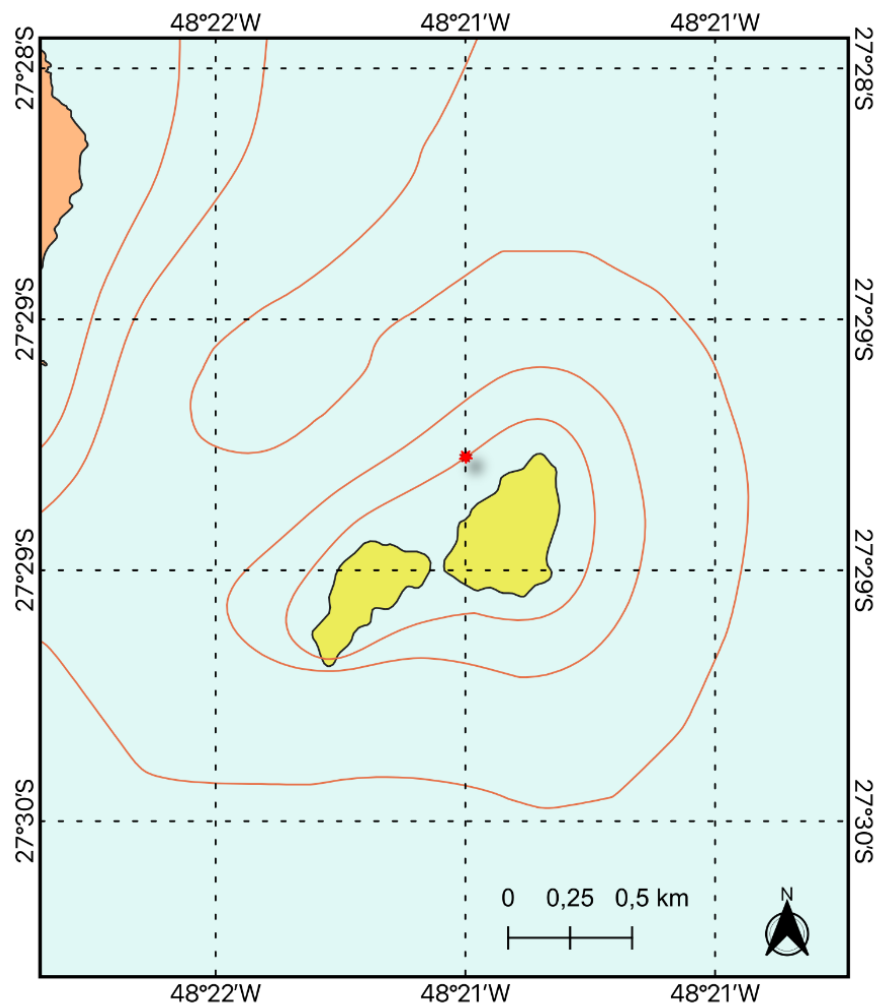
Dessa forma, as simulações foram analisadas considerando o ISL dos locais atingidos pelo óleo ao final da simulação, a quantidade de óleo recebida por eles, e quando ocorreu a chegada da primeira partícula de óleo. Foram determinados os ambientes e seus ISL, além dos quilômetros de costa afetados; além disso os possíveis impactos causados pelo óleo foram discutidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Simulação de verão

No cenário de verão, após 14 dias do início do derramamento, uma fração do óleo chegou na costa (0,14 bbl) ao norte da Ilha das Aranhas, na costa nordeste da Ilha de Santa Catarina (Figura 6). A chegada do óleo na costa acontece até o final da simulação e a mancha se estende da altura do município de São Francisco do Sul até Florianópolis. A trajetória percorrida pelo óleo está dentro do esperado em função das condições meteo-oceanográficas da região para o cenário de verão, quando as correntes são mais fortes e predominante de sudoeste (MATANO; PALMA; PIOLA, 2010).

Figura 6- Local em que o óleo chegou pela primeira vez na costa (dia 14) no cenário de verão.



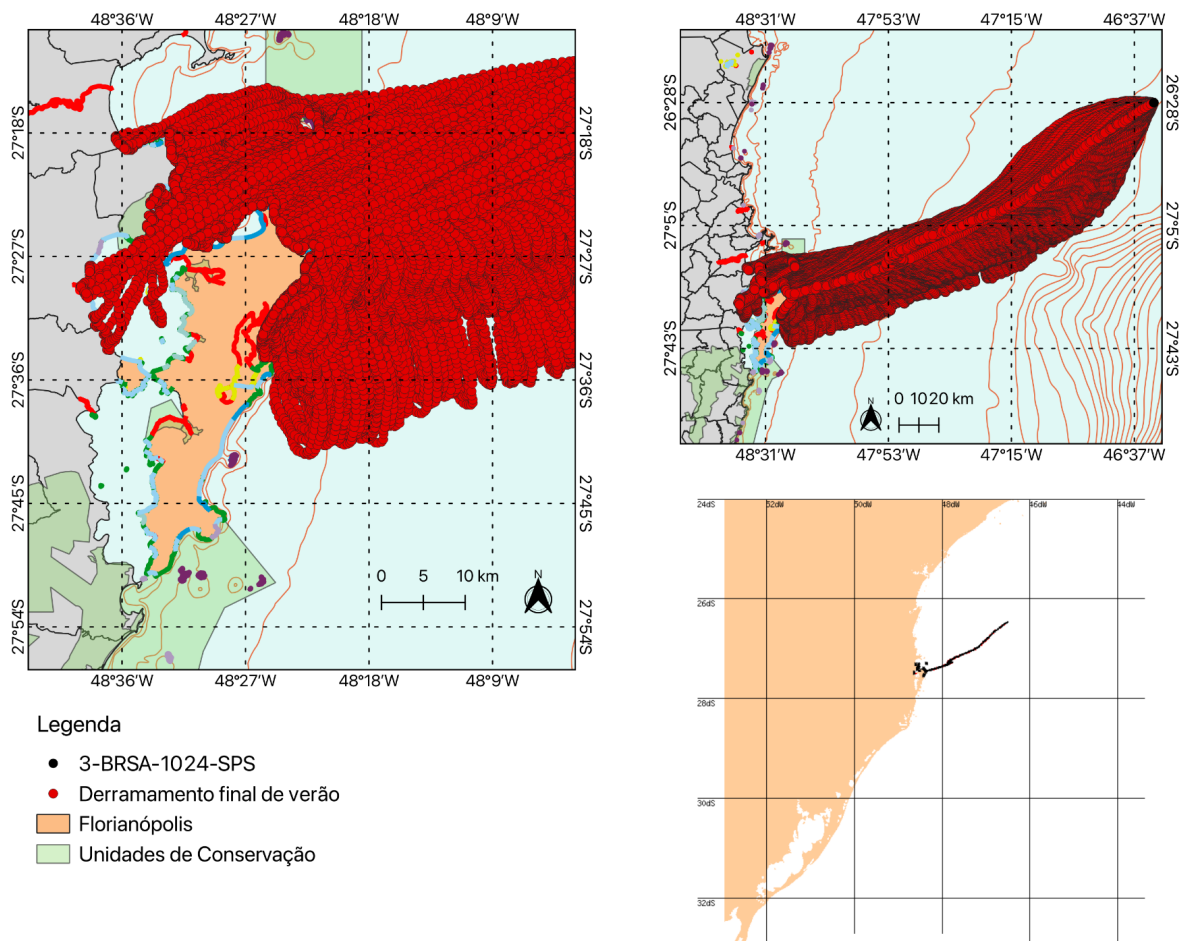
Legenda

- * Óleo "beached"
- Batimetria
- Ilha das Aranhas
- Localização Ilha das Aranhas
- Unidades de Conservação
- Florianópolis

Fonte: Elaborado pela autora

Ao final dos 30 dias de simulação, o óleo manteve o percurso de 35 graus no sentido sudoeste em relação ao poço e não houve grande espalhamento latitudinal (Figura 7). De forma geral, os pontos de chegada do óleo na costa concentraram-se em uma pequena região do centro-norte da Ilha de Santa Catarina até alguns municípios nos arredores de Florianópolis, como São José, Biguaçu, e Governador Celso Ramos. A região mais ao norte a ser afetada se encontra a 5,7 km ao sul da desembocadura do Rio Tijucas, e a região mais ao sul onde o óleo chegou está a 6,4 km a oeste da Ilha do Campeche.

Figura 7- Espalhamento do óleo após 30 dias de simulação no cenário de verão. A esquerda: mapa detalhando a passagem do óleo ao norte da Ilha de Santa e regiões adjacentes com as respectivas ISL. A direita superior: mapa mostrando o deslocamento do óleo ao final da simulação (dia 30). A direita inferior: distribuição final do derramamento (dia 30).



Fonte: Elaborado pela autora

É importante ressaltar que os dados hidrodinâmicos foram obtidos pelas simulações do HYCOM que é um modelo global e, portanto, não tem resolução para regiões costeiras, como é o caso da Baía Sul e da Baía Norte de Florianópolis. Assim, a entrada do óleo na Baía Norte

deve ser vista com cautela e, no futuro, um modelo hidrodinâmico regional deve ser usado para avaliar e discutir tal possibilidade.

Entre os processos de intemperismo do óleo avaliados pelo modelo, a evaporação foi o mais importante, afetando 67,29% do óleo, seguido pelo espalhamento (11,10%) e dispersão natural (10,54%); a sedimentação foi o menos significativo, afetando apenas 1,09% do óleo derramado (Tabela 3). A evaporação tem papel importante no processo de intemperismo, principalmente de óleos leves como o usado neste estudo. Enquanto a sedimentação afetou uma parte menor do óleo derramado, especialmente devido à baixa densidade. As propriedades do óleo podem ter maior influência nos processos de intemperismos do que as condições hidrodinâmicas. Dessa forma, óleos com API de mesma classe podem apresentar resultados similares quanto a expressividades dos processos de intemperismo. Em um estudo conduzido por Korotenko em 2018, usando um óleo de API 39, os processos mais expressivos, assim como neste trabalho, foram: a evaporação seguida da dispersão, e a sedimentação com os menores resultados.

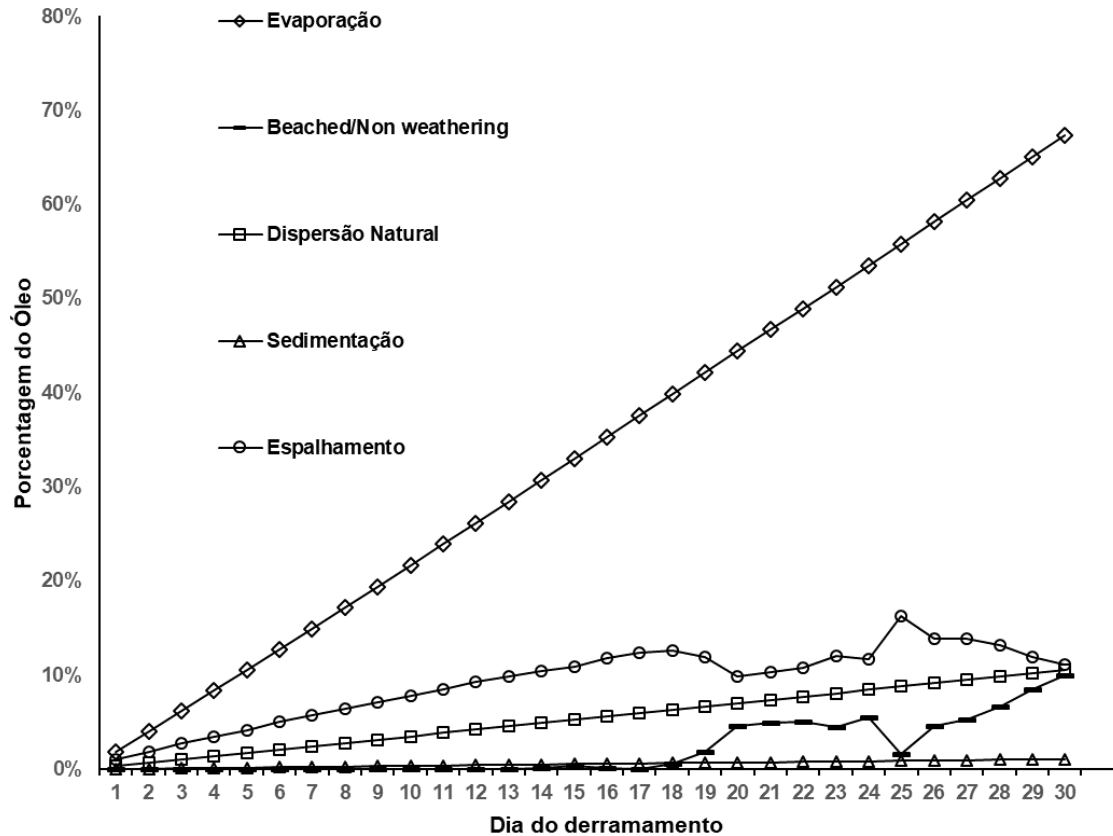
Tabela 3- Quantidade do óleo que sofreu cada um dos processos de intemperismo ao final do derramamento do cenário de verão.

Processos de intemperismo	Quantidade de óleo em m³	Porcentagem de óleo
Evaporação (m ³)	22,1307	67,29%
<i>Beached/Non weathering</i> ¹	3,2817	9,98%
Dispersão Natural (m ³)	3,4666	10,54%
Sedimentação (m ³)	0,3582	1,09%
Espalhamento (m ³)	3,6493	11,10%
Emulsificação	0,8848	-

Fonte: Output Pygnome

¹ O modelo GNOME não considera o óleo que chegou à costa como disponível para os processos do intemperismo. Assim, os valores de óleo *beached* (óleo que chega à costa) são iguais aos *non weathering* (óleo sem processos de intemperismo).

Figura 8- Gráfico da quantidade do óleo em % a passar pelos processos de intemperismo e que chega na costa ao longo dos 30 dias de derramamento no cenário de verão.



Fonte: Elaborado pela autora

Em função dos processos de intemperismo, principalmente da evaporação- a densidade do óleo aumentou de $0,854 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,016 \text{ g cm}^{-3}$ ao final da simulação (Tabela 4 e Figura 9). Também em função dos processos de evaporação, assim como de emulsificação, ao longo dos 30 dias, também é observado um aumento na viscosidade média do óleo. Aqui a emulsificação é avaliada a partir do conteúdo máximo de água na mistura água-óleo (emulsão tipo “mousse de chocolate”). Neste estudo, a emulsificação apresentou valores maiores que 0,8 a partir do segundo dia da simulação; estes se mantiveram relativamente estáveis até o dia 30. Tal comportamento está de acordo com os estudos que reportam que a emulsificação aumenta nas primeiras horas pós-derrame e, após alguns dias, se estabiliza. Quando a emulsificação apresenta valores de 0,6 a 0,8, o volume do derramamento aumenta de duas a cinco vezes (HAJIVAND; VAZIRI, 2015); tal consequência influencia na escolha dos processos de limpeza a serem aplicados após o derrame. De acordo com French-McCay et al. (2022), a emulsificação pode prolongar o espalhamento do óleo e, conseqüentemente,

diminuir a dispersão vertical deste na coluna de água e também a evaporação. Além disso, óleos emulsificados têm maior probabilidade de serem transportados para a costa.

Tabela 4- Propriedades do óleo ao final do derramamento do cenário de verão.

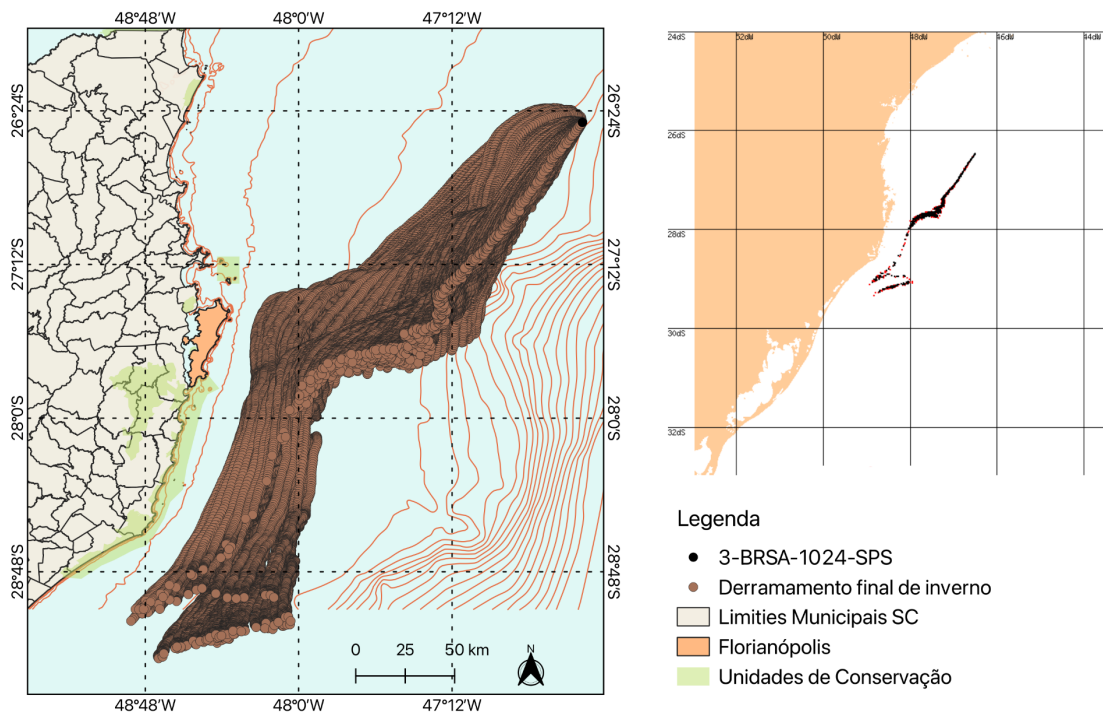
Propriedades do óleo	Valor no dia 0 (antes do derramamento)	Valor no dia 30	Aumento em %
Viscosidade Média(m ² s)	8,25 x 10 ⁻⁶	0,0457	554.498%
Densidade Média (g cm ⁻³)	0,854	1,015	18,95%

Fonte: Output Pygnome

4.1 Simulação de inverno

No cenário de inverno, o óleo não chegou na costa após os 30 dias de simulação e, portanto, não atingiu nenhuma das áreas delimitadas pelo ISL (Figura 9). No entanto, ele ficou próximo da costa na região da Ilha das Aranhas (14 km) e da praia da Barra da Lagoa (20 km). Ao final dos 30 dias, o derramamento se estendeu da altura do município de São Francisco do Sul ao de Balneário Gaivota.

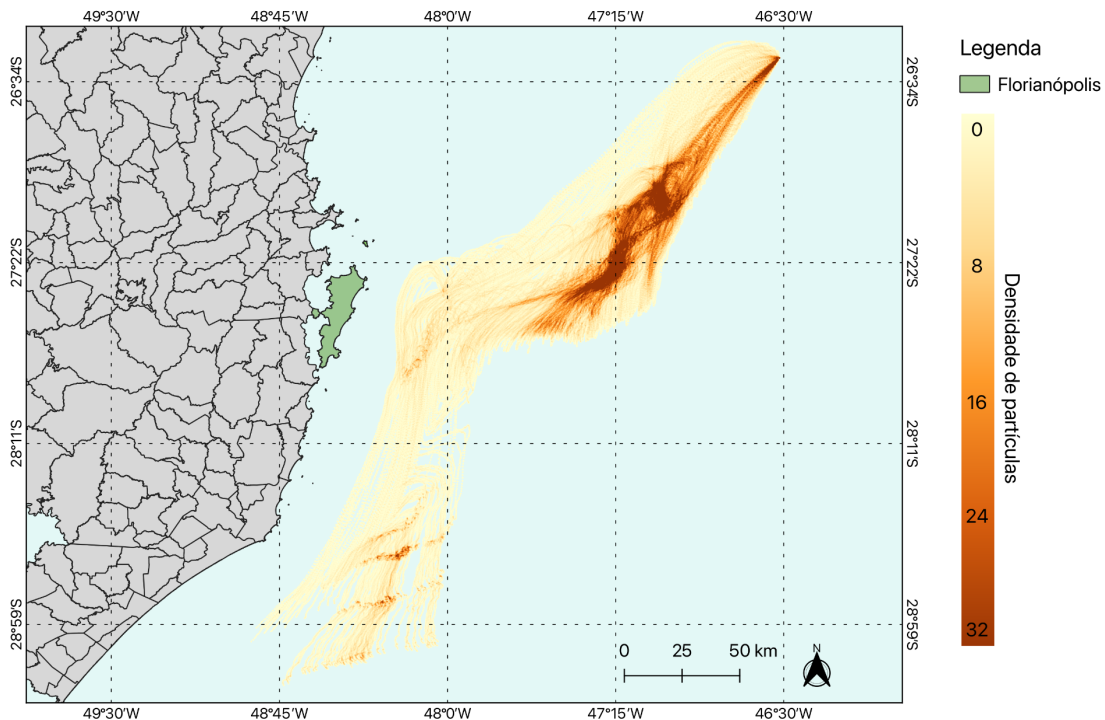
Figura 9- Espalhamento do óleo após 30 dias de simulação no cenário de inverno. A esquerda: mapa mostrando o deslocamento do óleo ao final da simulação (dia 30). A direita: distribuição final do derramamento (dia: 30).



Fonte: Elaborado pela autora

Apesar de parte da mancha de óleo ter se aproximado da costa durante as simulações no cenário de inverno, os dados da estimativa da densidade de Kernel mostram que a maior parte dele ficou em regiões mais afastadas (Figura 10). Isso pode ser resultado do enfraquecimento das correntes superficiais nesse período do ano que levam a um menor espalhamento da mancha de óleo (MATANO; PALMA; PIOLA, 2010). Apesar do óleo não chegar na costa neste cenário, é importante lembrar que aqui trabalhou-se com cenários médios e usando dados de um modelo hidrodinâmico global, ou seja, com valores suavizados e sem considerar eventos de sub e mesoescala, como entradas de frentes e ciclones que podem contribuir para o transporte da mancha de óleo até a costa (SHAPIRO et al., 2022).

Figura 10- Estimativa da densidade de Kernel para as partículas de óleo ao final da simulação do cenário de inverno.



Fonte:Elaborado pela autora

Mesmo não chegando à costa, a mancha de óleo encontra-se nas proximidades da APA da Baleia-Franca, que se estende da Ponta da Lagoinha em Florianópolis até a Praia de Garopaba e abrange uma área marinha que varia entre 5,5 km e 13 km ao longo da costa (ICMBIO, 2018). Assim, há o potencial de impactos à baleia-franca, que seriam melhor descritos com o uso de um modelo hidrodinâmico regional, afinando as regiões atingidas.

Assim como para o cenário de verão, ao final da simulação de inverno, a evaporação foi o processo mais importante, com 66,28% do óleo sendo evaporado. O espalhamento foi o

segundo processo de maior porcentagem com 21,89%, enquanto a dispersão natural apresentou 10,29%, e a sedimentação sendo o menos expressivo com 1,54%.

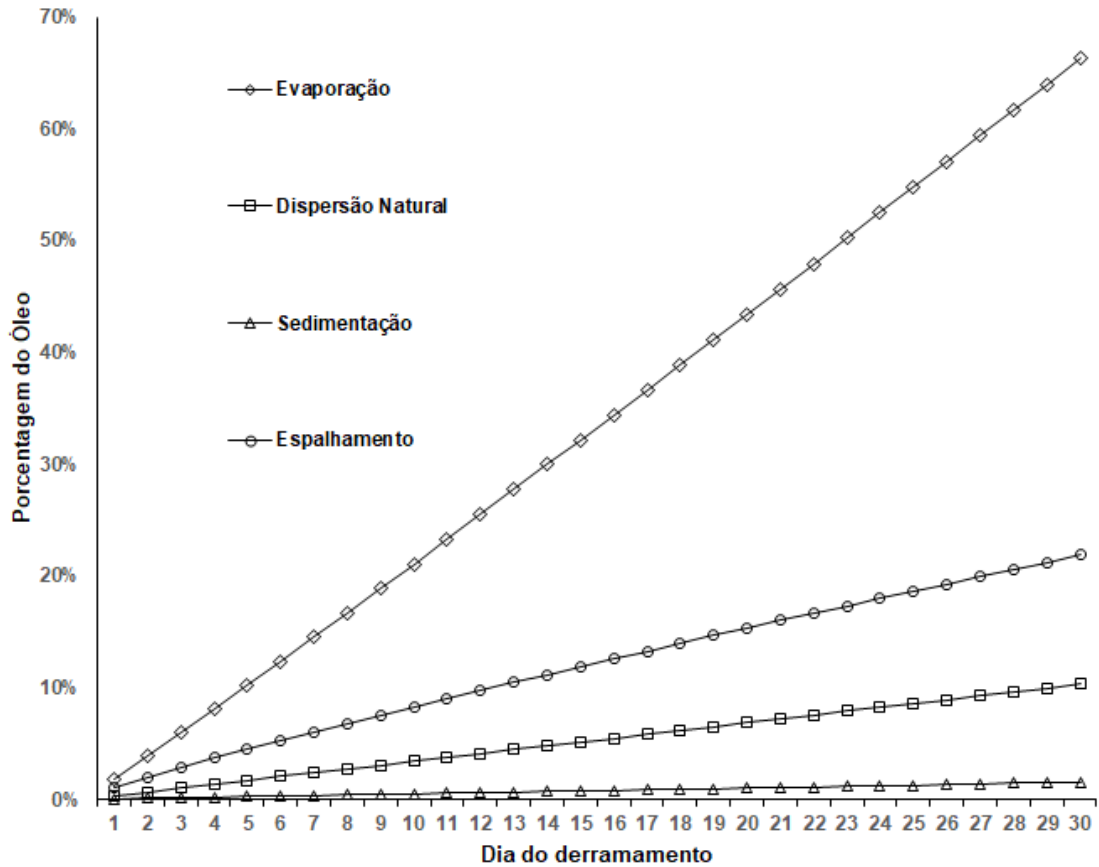
Tabela 5- Quantidade do óleo que sofreu cada um dos processos de intemperismo ao final do derramamento do cenário de inverno.

Processos de intemperismo	Quantidade de óleo em m³	Porcentagem de óleo
Evaporação (m ³)	42,9556	66,28%
Dispersão Natural (m ³)	6,6714	10,29%
Sedimentação (m ³)	0,9973	1,54%
Espalhamento (m ³)	14,1845	21,89%
Emulsificação	0,8936	-

Fonte: Output Pygnome

Todos os processos, com exceção da emulsificação, apresentaram valores crescentes ao longo de todo o derramamento. A evaporação e o espalhamento apresentaram valores máximos e mínimos diários em dias opostos. Em comparação ao verão, a evaporação foi menor em virtude da menor temperatura do inverno e pela maior viscosidade do óleo nesta estação. Os valores de *beached* são zerados em toda a simulação por não chegar óleo à costa. O espalhamento foi o segundo processo mais expressivo com 21,89%. No inverno, o espalhamento é maior que no verão em razão de todo o volume do óleo estar na água ao fim do derramamento, não chegando à costa. A dispersão natural é menor no inverno, o que pode ter sido influenciada pela menor viscosidade. A sedimentação foi o processo menos expressivo e, devido à maior densidade, ela foi maior no inverno que no verão.

Figura 11- Processos de intemperismos do óleo nos 30 dias de simulação do derrame no cenário de inverno.



Fonte: Produção da autora

Assim como aconteceu para o cenário de verão, densidade e viscosidade aumentaram ao longo do período de simulação (Tabela 6). Neste cenário, a emulsificação também apresentou valores maiores de 0,8 a partir do segundo dia, com menores variações ao longo da simulação, o que mostra maior estabilidade das emulsões.

Tabela 6- Propriedades do óleo ao final do derramamento do cenário de inverno.

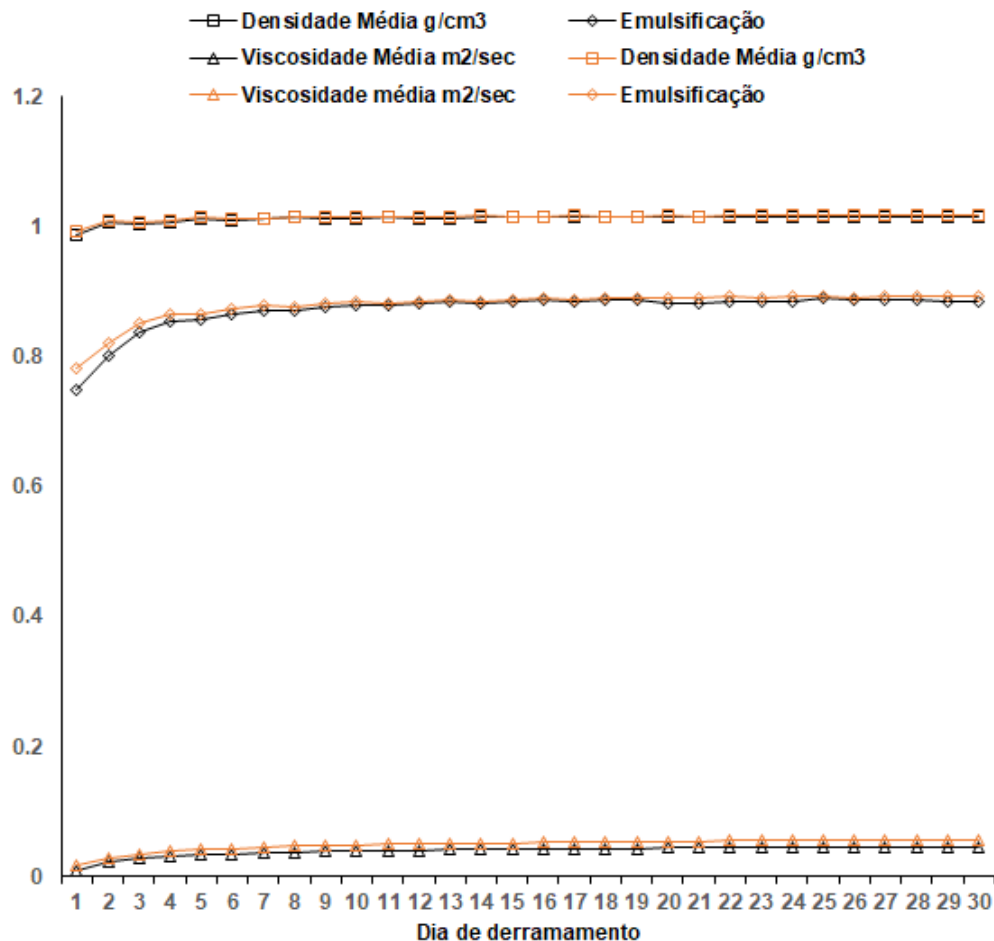
Propriedades do óleo	Valor no dia 0 (antes do derramamento)	Valor no dia 30	Aumento em %
Viscosidade Média(m ² s)	8,25 x 10 ⁻⁶	0,0572	692.928%
Densidade Média (g cm ⁻³)	0,854	1,017	19,1%

Fonte: Output Pygnome

A variação ao longo das simulações de ambos os cenários pode ser vista na Figura 12. A densidade média seguiu padrões muito similares, enquanto que a emulsificação se mostrou

maior ao decorrer da simulação do inverno e menor no verão. A viscosidade foi menor no início do cenário do verão e manteve-se semelhante ao inverno, havendo momentos com maiores quedas.

Figura 12- Valores finais das propriedades do óleo e da emulsificação ao longo dos 30 dias de derramamento no cenário de verão (preto) e de inverno (laranja).



Fonte: Elaborado pela autora

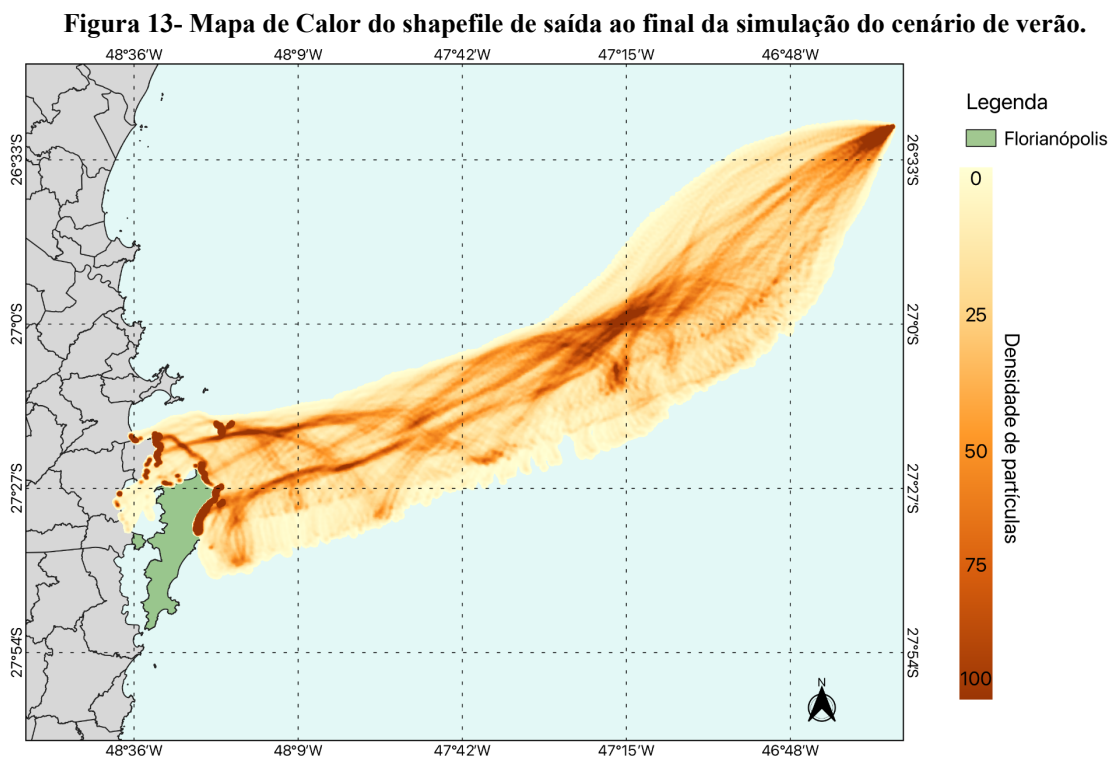
4.3 Áreas afetadas pelo óleo

4.3.1 Simulação verão

Na figura 13, é possível visualizar as regiões com maior probabilidade de receber o óleo; lembrando que se deve olhar com cautela para os dados que indicam que o óleo entraria na Baía Norte de Florianópolis. As praias mais afetadas pela chegada do óleo foram: Prainha da Barra, Praia da Barra, Praia do Moçambique, Praia do Santinho, Praia dos Ingleses e Praia Brava; todas no município de Florianópolis. Destaca-se também que o óleo chegou a duas

Unidades de Conservação: Área de Proteção de Anhatomirim (APA Anhatomirim) e Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (REBIO Arvoredo).

Com objetivo de avaliar a vulnerabilidade das áreas costeiras afetadas pela eventual chegada do óleo, os Quadros 4, 5, 6 e 7 reúnem as informações contidas na Carta SAO e dos ISL para tais locais. No entanto, não há uma padronização na escala da demarcação das camadas e nas informações disponíveis para as diferentes classes de ISL. Por exemplo, para os ISL 3 e 4, há dados sobre recursos biológicos, recursos socioeconômicos, classificação da praia, acessibilidade para equipamentos, presença de banco de areia ou substrato rochoso. Mas, para os ISL 1 e 2, há apenas dados sobre os recursos biológicos e recursos socioeconômicos. Ademais, os dados utilizados para a criação dos shapefiles são de datas entre 30/12/1899-09/04/2007, nos quais muitos estão listados sem data ou demarcação de regiões específicas.



Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 4- Informações presentes nas Carta SAO para os ambientes com ISL 1 e 2.

ISL	Ambiente	Cidade	Recurso Biológico	Recurso Socioeconômico
1	Ilha do Arvoredo	Florianópolis	Algas, plantas aquáticas, crustáceos e peixes pelágicos	-
	Ilha das Aranhas		Crustáceos	Área de mergulho
	Ilha Moleques do Norte		-	-
	Ilha do Xavier		Crustáceos	Área de mergulho
2	Ilha do Francês		-	-

Fonte: Elaborado pela autora

Não há informações completas sobre as ilhas e seus recursos na tabela de atributos, o que mostra que as Cartas SAO encontram-se incompletas e defasadas diante da realidade atual dos ambientes, não podendo ser mensuradas as perdas em caso de derramamento. A presença de óleo nessas ilhas prejudicaria o ciclo de muitas espécies que as utilizam para reprodução, como crustáceos e moluscos, e para alimentação, além de afetar a biodiversidade de fauna e flora, e a rota migratória de aves vindas de muitos locais, como da Amazônia (SORIANO-SIERRA, 2016). O turismo, que é um dos motores da economia no estado (ASCOM|SICOM, 2023), diminuiria em virtude da queda da atratividade da região para os turistas pela menor gama e a qualidade dos serviços oferecidos.

A Ilha do Arvoredo possui diversos recursos e, como consequência, oferece serviços ecossistêmicos, como o turismo, mergulho, e pesca artesanal (JARDEWESKI; MARENZI; GARCIA, 2021). A chegada de óleo na ilha seria devastadora para diversas espécies abrigadas na região, como para algumas espécies de peixes ameaçadas de extinção e outras raras, o banco de algas calcárias e os crustáceos que usam a região como parte do seu ciclo de vida (IBAMA, 2004). A REBIO do Arvoredo abriga ainda 50% das espécies de algas registradas em toda a costa catarinense (SEGAL, 2017), e, assim como nas Ilhas do Xavier e das Aranhas, espécies de esponjas e ascídias também são encontradas (SEGAL, 2017). Na região, há espécies de peixes recifais e, em locais de fundo inconsolidados próximos aos costões, anelídeos e crustáceos representam 90% da fauna (SEGAL, 2017).

Em virtude da maior concentração de chegada de óleo, espécies presentes na porção leste seriam as mais afetadas, causando um imensurável desequilíbrio ambiental, comprometendo a saúde dos ecossistemas marinhos da ilha e resultando em uma grande perda de biodiversidade para o sul do país. Já a Ilha das Aranhas, assim como a Ilha Moleques do

Norte, é rodeada por costões rochosos, onde há a prática de mergulho e pesca (SORIANO-SIERRA, 2016). Por fim, a Ilha do Francês é patrimônio particular, e possui costões rochosos e uma praia de enseada, tendo aves marinhas como recurso biológico (SORIANO-SIERRA, 2016), que estão sujeitas à alta contaminação. A remoção do óleo nessas ilhas pelas ondas e marés é facilitada já que o óleo não se adere nos costões rochosos, diminuindo os impactos às espécies se comparado a outros ambientes.

Os recursos biológicos seriam gravemente impactados principalmente nas praias e costões rochosos de Florianópolis por receberem uma maior quantidade de óleo. A contaminação da areia por óleo muda suas propriedades (ABOUSHINA; LIM ALLISTER, 2022), alterando sua permeabilidade e podendo causar hipóxia, uma vez que os organismos são predominantemente infaunais, (BEJARANO; MICHEL, 2016), além de dificultar as atividades biológicas, como alimentação, reprodução e filtração dos animais bentônicos (BEJARANO; MICHEL, 2016). Tanto nos ISL 3 e 4 (Anexo A), esses animais, como algumas espécies de crustáceos e poliquetas, seriam intoxicados pelo óleo. No ISL3, de modo geral, os locais possuem areia de granulometria fina, o que facilita a adesão do óleo na costa (CHEN et al., 2022), e limita o óleo nas camadas mais superficiais do sedimento (SIMEONOVA; STANKOVICH, 2019). Nos ambientes de ISL 4, a areia tem a granulometria majoritariamente grossa, o que torna o ambiente suscetível para o óleo se acumular em camadas mais profundas de sedimento (EPA, 1999), resultando em impactos mais duradouros (BEJARANO; MICHEL, 2016). A chegada do óleo em bancos de areia pode resultar em pouca exposição aos agentes ambientais, o que dificulta a limpeza do óleo e diminui os processos de intemperismo (EPA, 1999) de modo a aumentar a chance da biota a ter contato com um óleo mais tóxico que em outros locais da praia, onde processos de intemperismo são mais fáceis de acontecer. Praias expostas sofrem com maior intensidade as ações de ondas e de marés, o que diminui os riscos para os organismos se comparado com praias em regiões mais fechadas (EPA, 1999) em virtude da pouca dispersão natural desses ambientes. Assim, praias da Baía Norte ficariam em um maior contato com o óleo, aumentando os impactos para as espécies de modo que a região demoraria um maior tempo para se recuperar, afetando drasticamente o cultivo de moluscos e a pesca, colocando em risco a saúde de pescadores e impactando a sua economia. É importante destacar que, na Baía Norte, há a Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé, local com a presença de manguezais, que pode vir a ser impactada pelo óleo em outras simulações com o uso de um modelo hidrodinâmico regional mais detalhado.

A área APA do Anhatomirim seria duramente afetada, impactando o bem-estar de espécies ameaçadas, como do golfinho-cinza, baleia-franca, e toninha, além de colocar em risco a economia da comunidade de pescadores artesanais, que contam com a região para a sobrevivência (BRASIL, 1992).

Por fim, todos os ambientes do ISL 6 (Anexo B) são costões rochosos, o que diminui a adesão do óleo, sendo levado pela maré ou pelas ondas (EPA, 1999) de forma que os processos de intemperismo aconteçam mais facilmente. Os impactos nos recursos tendem a ser menores do que em outros ambientes, podendo ainda afetar o turismo da região, além de colocar em risco os animais e comunidades locais (MCCLLENACHAN; EUGENE TURNER; TWEEL, 2013), como os pescadores artesanais.

Apenas dois ambientes de ISL 10 tiveram a chegada de óleo (Quadro 5). O óleo chegou na desembocadura do Rio Biguaçu, havendo o potencial de atingir a porção mais interna do rio, visto que, na desembocadura, há uma mudança da direção do fluxo de água pela interação da água do rio com a maré (NOAA, 2015). Os impactos na região do Rio Biguaçu tendem a ser menores pela pouca quantidade de óleo, mas ainda não se deve descartar o potencial impacto na biodiversidade e na pesca local.

Quadro 5- Informações das camadas shapefile de ISL 10 presentes na Carta SAO.

ISL	Ambiente	Cidade	Classificação	Recurso Biológico	Recurso Socioeconômico
10	Rio Biguaçu	Biguaçu	Margem vegetada	Aves marinhas	Pesca artesanal e esportiva, esportes náuticos
	Praia da Bina			-	Pesca artesanal e cultivo de moluscos

Fonte: Elaborado pela autora

Em síntese, os recursos seriam vastamente afetados, assim como ocorreu no acidente de óleo no nordeste em 2019, em que produtos da aquicultura e da pesca foram afetados e seu comércio caiu em em 60%, com diminuição do preço em 50% no estado de Pernambuco (ARAÚJO; RAMALHO; MELO, 2020). A queda de vendas afetou também o poder de compra das comunidades pesqueiras locais, limitando o acesso aos itens básicos de alimentação, por exemplo, e paralisou o setor do turismo (ARAÚJO; RAMALHO; MELO, 2020).

De modo similar, o impacto do óleo em Santa Catarina afetaria diretamente a malacocultura do país por ser o estado responsável por 99% da produção brasileira (MPA, 2021), sendo destaque de produção na América Latina (MPA, 2020). O grande recebimento

em Florianópolis resultaria em persistentes problemas nesse cultivo para o estado, já que a cidade é uma das mais importantes na produção estadual de bivalves com 66% (MPA, 2021). Além disso, a produção pesqueira diminuiria, podendo a comercialização dos pescados ficar paralisada em algumas regiões de maior recebimento de óleo sem previsão de retorno até que fosse confirmada a segurança para a alimentação. Assim, o impacto no Produto Interno Bruto (PIB) seria significativo, considerando que a produção florestal, pesca e aquicultura corresponde a 3 milhões de reais do valor bruto de produção do estado, uma participação de 0,9% (IBGE, 2020).

Santa Catarina encontra-se vulnerável aos acidentes de derramamento pela proximidade de diversos poços. O cenário coloca o estado em uma situação desfavorável economicamente, que não ainda recebeu os royalties dos diversos campos, como do campo Baúna, mas que seria o grande impactado por um acidente. Além disso, logo após um derramamento, os órgãos ambientais e portos do estado seriam envolvidos na contingência do derramamento segundo Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC) do Decreto N° 10.950 de 27 de janeiro de 2022 (BRASIL, 2022), afetando os cofres estatais até que o estado poluidor fosse multado.

5. CONCLUSÃO

O óleo chegou à costa na região centro-norte de Florianópolis durante o verão, afetando cidades próximas, como São José, Biguaçu e Governador Celso Ramos; não havendo nenhuma chegada no cenário do inverno. Dentre as áreas afetadas, a Ilha do Arvoredo é a que mais recebeu óleo, estando em uma Unidade de Conservação, e não possuindo informações completas sobre a ilha e seus recursos na tabela de atributos da Carta SAO. A segunda região mais afetada foi o leste da Ilha de Florianópolis.

Entre os processos de intemperismo, fica claro que as variáveis são influenciadas pelas condições do modelo. A falta de um modelo regional pode ter causado perda de detalhes nos processos e nos locais que receberam óleo, apresentando cenários com resultados mais suavizados, principalmente na região da Baía Norte.

A chegada do óleo é capaz de causar grandes impactos à biodiversidade catarinense, atingindo espécies raras e em extinção que utilizam da região como importantes ambientes para seus ciclos de vida, alimentação e reprodução, com destaque para as espécies nas unidades de conservação APA do Anhatomirim e REBIO Arvoredo. A repercussão não se

limitaria aos recursos biológicos, afetando os recursos socioeconômicos em um contexto estadual, como o turismo, e também nacional com a queda da produção pesqueira e da malacocultura por tempo indeterminado em casos mais severos de intoxicação pelo óleo. Conseqüentemente, os trabalhadores que dependem do turismo seriam afetados, assim como a sobrevivência e a qualidade de vida das comunidades de pescadores, mostrando-se uma economia vulnerável em caso de derramamento. Tais contextualizações não são descritas nas Cartas SAO, o que restringe a eficiência das cartas e limita o entendimento de como um derramamento pode refletir na economia, no bem-estar e na qualidade de vida das comunidades dentro de um contexto regional.

Por fim, a modelagem é uma ferramenta fundamental para a eficiência de planos de contingência de derramamentos de óleo e para a mitigação das áreas afetadas. Com ela, é possível antecipar as ações de respostas aos acidentes e trocar a tomada de decisões para a proteção dos ambientes e de suas funções ecossistêmicas.

REFERÊNCIAS

- ABOUSHINA, Rajab; ROCHSTAD, Lim Allister. **Oil Contaminated Sand: Sources, Properties, Remediation, and Engineering Applications**. 2022. Sand in Construction. IntechOpen. DOI: doi:10.5772/intechopen.103802. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/81381>>. Acesso em 18 de jun. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Boletim da Produção de Petróleo e de Gás Natural de 2016**. 2016. Disponíveis em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>>. Acesso em 28 de mai. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Boletim da Produção de Petróleo e de Gás Natural de 2017**. 2017. Disponíveis em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>>. Acesso em 28 de mai. 2023.
- ARAÚJO, Maria; RAMALHO, Cristiano, DE MELO, Paulo. 2020. **Artisanal fishers, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil**. Cadernos de Saúde Pública. DOI: 10.1590/0102-311x00230319. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csp/a/66t7BVfM6X4pBBCJwLcqmf/?lang=en>>. Acesso em 10 de jun. 2023.
- ASCOM | SICOS. **Atividades turísticas de Santa Catarina acumulam alta de 25% nos últimos 12 meses**. Santa Catarina, 17 de maio de 2023. Disponível em: <<https://estado.sc.gov.br/noticias/atividades-turisticas-de-santa-catarina-acumulam-alta-de-25-nos-ultimos-12-meses/>>. Acesso em: 15 de jun. 2023.
- BEIRAS, Ricardo. **Hydrocarbons and Oil Spills**. Marine Pollution. Elsevier, 2018. p. 89–106. DOI: 10.1016/B978-0-12-813736-9.00007-6. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128137369000076>>. Acesso em: 12 jul. 2022.
- BEJARANO, Adriana C.; MICHEL, Jacqueline. Oil spills and their impacts on sand beach invertebrate communities: A literature review. *Environmental Pollution*, v 218, 2016, p. 709-722, ISSN 0269-7491. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.07.065. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116306406>>. Acesso em 20 de jun. 2023.
- BRASIL. Decreto N°528, de 20 de Maio de 1992. **Declara como Área de Proteção Ambiental Anhatomirim, no Estado de Santa Catarina, a região que delimita e dá outras providências**. 21 de maio de 1992. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D0528.htm>. Acesso em 16 de jun. 2023.
- BRASIL. Decreto N° 10.950, de 27 de Janeiro de 2022. **Dispõe sobre o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional**. 27 de Janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10950.htm>. Acesso em 25 de Julho de 2022.

BRASIL. Lei Nº 7.525, de 22 de Julho de 1986. **Estabelece normas complementares para a execução do disposto no art. 27 da Lei no 2.004, de 3 de outubro de 1953, com a redação da Lei no 7.453, de 27 de dezembro de 1985, e dá outras providências.** 22 de Julho de 1986. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/17525.htm>. Acesso em 20 de Março de 2023.

CHEN, Xinya; BI, Huifang; YUE, Rengyu; CHEN, Zhikun; AN, Chunjiang. **Effects of oil characteristics on the performance of shoreline response operations: A review.** Front. Environ. 2022. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1033909. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1033909/full>>. Acesso em 4 de jun. 2023.

DANIELSKI, Mônica Lauriano. **ÁREAS MARINHAS PROTEGIDAS RESPONDEM ÀS NECESSIDADES DE SUAS ESPÉCIES-ALVO? UM ESTUDO DE CASO NA APA DA BALEIA FRANCA.** Universidade Federal do Paraná. 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/40331/R%20-%20T%20-%20MONICA%20LAURIANO%20DANIELSKI.pdf?sequence=2>>. Acesso em 5 de jun. 2023.

DOERFFER, Jerzy Wojciech. **Oil Spill Response in the Marine Environment.** Kent: Elsevier Science, 1992. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780080410005/oil-spill-response-in-the-marine-environment>>. Acesso em: 31 out. 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Office of Emergency and Remedial Response. **Understanding Oil Spills and Oil Spill Response- Understanding Oil Spills in Freshwater Environments.** Office Program Center. 1999. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/ospguide99.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. **ERA5 reanalysis is in production.** 2016. Disponível em: <<https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>>

FERREIRA, Cláudio; TONELLI, Soraya; PEREIRA, Paulo Teixeira do Vale. **Cadernos de Desenvolvimento de Santa Catarina- Pescaria Brava.** Sebrae/SC. 2019. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/municipios/sc/m/Pescaria%20Brava%20-%20Cadernos%20de%20Desenvolvimento.pdf>.

FRENCH-MCCAY, Deborah; FREDIANI, Matthew; GLOEKLER, Melissa D. **Modeling Emulsification Influence on Oil Properties and Fate to Inform Effective Spill Response.** Front. Environ. 2022. DOI: 10.3389/fenvs.2022.908984. Disponível: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.908984/full>>.

HAJIVAND, Pegah; VAZIRI, Ali. **OPTIMIZATION OF DEMULSIFIER FORMULATION FOR SEPARATION OF WATER FROM CRUDE OIL EMULSIONS.** Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 32, n. 01, p. 107-118. 2015 DOI: dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150321s00002755. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjce/a/84h5qHgwjywtKK3GRbdxB7j/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em 10 de jun. 2023.

HARARI, J., CECILIO, R. O., COELHO, T. M., & CHIXARO NETO, P. C. F. (2011). **Numerical modeling of the hydrodynamics of Santa Catarina State – Southern Brazil.** In Proceedings of The XI Safety, Health and Environment World Congress. Santos.

HELM, Roger C.; COSTA, Daniel P.; DEBRUYN, Terry D.; O'SHEA, Thomas J.; WELLS, Randall S.; WILLIAMS, Terrie M. **Overview of Effects of Oil Spills on Marine Mammals.** Handbook of Oil Spill Science and Technology. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2015. p. 455–475. DOI 10.1002/9781118989982.ch18. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118989982.ch18>> . Acesso em: 12 jul. 2022.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.adbb2d47.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA). Portaria IBAMA 81, de 10 de outubro de 2004. **Aprova o plano de manejo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.** 2004. Brasília: DOU de 13/09/2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDE. **Tabelas Completas dos Dados de PIB de 2020.** Disponível em: <<https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/pib-1/pib-regional/2020-1>>. Acesso em 17 de jun. 2023.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BALEIA FRANCA. **PLANO DE MANEJO ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BALEIA FRANCA.** Imbituba, dez, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-da-baleia-franca/arquivos/plano_de_manejo_apa_da_baleia_franca.pdf>.

JARDEWESKI, Cleiton Luiz Foster; MARENZI, Rosemeri Carvalho; GARCIA, Junior Ruiz. **Análise de impactos da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo sobre os serviços ecossistêmicos e os stakeholders.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 58, 8 dez. 2021. DOI: 10.5380/dma.v58i0.75786.

KAROON ENERGY LTD. **Strategy Refresh Investor Briefing.** 28 out. 2021. 28 out. 2021. Disponível em: <<https://www.karoonenergy.com.au/wp-content/uploads/2021-Karoon-Strategy-Refresh-Presentation-1.pdf>>

KOROTENKO, Konstantin A. 2018. **Effects of mesoscale eddies on behavior of an oil spill resulting from an accidental deepwater blowout in the Black Sea: an assessment of the environmental impacts.** DOI: 10.7717/peerj.5448.

LEIGHTON, Frederick A. **The toxicity of petroleum oils to birds.** Environmental Reviews, v. 1, n. 2, p. 92–103, 1 jul. 1993. DOI: 10.1139/a93-008.

LIMA, Miguel Vieira; DIAS-BRITO, Dimas; MILANELLI, João Carlos Carvalho. **MAPEAMENTO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO EM ILHABELA, SÃO PAULO**. Revista Brasileira de Cartografia, 2008. Disponível em: <<http://www.oads.org.br/livros/57.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

MATANO, Ricardo; PALMA, Elbio D; PIOLA, Alberto R. **The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation**. Ocean Science, v. 6, n. 4, p. 983–995, 30 nov. 2010. DOI: 10.5194/os-6-983-2010. Disponível: <<https://os.copernicus.org/articles/6/983/2010/>>.

MCCLLENACHAN, Giovanna; TURNER, R. Eugene; TWEEL, Andrew W. **Effects of oil on the rate and trajectory of Louisiana marsh shoreline erosion**. 2023. Environmental Research Letters, v. 8, ed. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/8/4/044030. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/4/044030>>. Acesso em 13 de jun. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Cartas de Sensibilidade ao óleo da Bacia de Campos e de Pelotas, 2017- Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Zona Costeira e Marinha**. Segurança Química, Sensibilidade ao óleo. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo.html>>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade, 2007. Disponível em: <http://iepa.ap.gov.br/saofza/pdf/anexoIII_especificacoes_normas_tecnicas_elaboracao_cartas_sao.pdf>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). RESOLUÇÃO No 398, DE 11 DE JUNHO DE 2008. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração**. 12 de jun. 2008. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=114131>>.

MORAIS, José Mauro de. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1147>>. Acesso em 30 jan. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MPA). **Boletim Aquicultura em Águas da União 2020, Relatório Anual de Produção- RAP**. Brasília, 2 ed., 2021. Disponível em: <<http://192.168.3.118:8080/handle/1/210>>. Acesso em 17 de jun. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MPA). Secretária da Aquicultura e Pesca. **Boletim da Maricultura em em Águas da União 2017- 2018- 2019**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2020.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2003. **Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and**

Effects. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10388>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **How Is an Oil Spill in a River Different Than One in the Ocean?**. 2015. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/about/media/how-oil-spill-river-different-one-ocean.html>. Acesso em 20 de jun. 2023.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Office of Response and Restoration. Hazardous Materials Response Division. **GNOME Development History**. 2019. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/response-tools/gnome-development-history.html>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Office of Response and Restoration. Hazardous Materials Response Division. **GNOME'S MANUAL**. 2002. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/GNOME_Manual.pdf.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Oil Spills at the Water Surface**. 2012. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/oil-spills-water-surface.html>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PAES, Eduardo; MORAES, Luiz. **A new hypothesis on the influence of the El Niño/La Niña upon the biological productivity, ecology and fisheries of the Southern Brazilian Bight**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v. 2, 1 jan. 2007.

PALMA, Elbio D.; MATANO, Ricardo P.; PIOLA, Alberto R. **A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing**. Journal of Geophysical Research, v. 113, n. C11, p. C11010, 11 nov. 2008. <https://doi.org/10.1029/2007JC004720>.

PALMA, Elbio D.; MATANO, Ricardo P. **Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight**. Continental Shelf Research, v. 29, n. 11–12, p. 1525–1534, jun. 2009. DOI: 10.1016/j.csr.2009.04.002. Acesso em 11 de mai. de 2023.

PENA, PGL; NORTHCROSS, AL; LIMA, MAG; RÊGO, RCF. **Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão**. Cadernos de Saúde Pública, v. 36, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311xer231019>.

PETROBRAS. **Bacia de Campos**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm>. Acesso em 26 de abril 2022.

PIMENTA, Felipe M.; CAMPOS, Edmo José Dias; MILLER, Jerry L.; PIOLA, Alberto R. **A numerical study of the Plata River plume along the southeastern South American continental shelf**. Brazilian Journal of Oceanography, v. 53, n. 3–4, p. 129–146, dez. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592005000200004>.

PIOLA, Alberto R.; PALMA, Elbio D.; BIANCHI, Alejandro A.; CASTRO, Belmiro M.; DOTTORI, Marcelo; GUERRERO, Raul A.; MARRARI, Marina; MATANO, Ricardo P.; MOLLER JR, Osmar; SARACENO, Martin. **Physical Oceanography of the SW Atlantic**

Shelf: A Review. Em: HOFFMEYER, M. S. et al. (Eds.). Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 37–56. DOI: [10.1007/978-3-319-77869-3_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77869-3_2).

SEGAL, Bárbara; FREIRE, Andrea Santarosa; LINDNER, Alberto; KRAJEWSKI, João Paulo; SOLDATELO, Marcio. **MAArE - Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno.** 1ª ed, Florianópolis, SC: Editora Universitária. 2017. Disponível em: https://www.maare.ufsc.br/wp-content/uploads/2018/06/Livro_MAArE_Oficial_crip-.pdf>. Acesso em 19 de jun. 2023.

SELLEY, Richard C.; SONNENBERG, Stephen A. **The Physical and Chemical Properties of Petroleum.** Elements of Petroleum Geology. Elsevier, 2015. p. 13–39. DOI 10.1016/B978-0-12-386031-6.00002-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123860316000023>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

SEVERO, Christiane Marques. **Pesca artesanal em Santa Catarina : evolução e diferenciação dos pescadores da Praia da Pinheira.** 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15012>>. Acesso em 10 de abril 2023.

SHAPIRO, Georgy I.; GONZALEZ-ONDINA, Jose M.; SALIM, Mohammed; TU, Jiada; ASIF, Muhammad. **Crisis Ocean Modelling with a Relocatable Operational Forecasting System and Its Application to the Lakshadweep Sea (Indian Ocean).** 2022. Journal of Marine Science and Engineering, v. 10, ed. 11. DOI: 10.3390/jmse10111579. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/11/1579>>. Acesso em 16 de jun. 2023.

SILVEIRA, Rafael Brito; ALVES, Maikon Passos Amiltos; MURARA, Pedro. **ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS NO LITORAL DE SANTA CATARINA.** v. 1, n. X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica V Simpósio Paranaense de Climatologia, p. 380–392, 2014. Disponível em: <http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/80.pdf>>. Acesso em 19 de mar. 2023.

SIMEONOVA, A.; STANKOVICH, K. **Oil spills behavior on various sandy beaches along the Bulgarian Black Sea coast.** Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies – Georgiev & Guedes Soares. 2020. Londres. ISBN 978-0-367-40951-7. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781000751055/chapters/10.1201/9780367810085-69>>. Acesso em 8 de jun. 2023.

SORIANO-SIERRA, Eduardo Juan. As pequenas ilhas do arquipélago de Santa Catarina, Brasil. Revista Internacional em Língua Portuguesa, v. 3, p. 29-41, 2016. Disponível em: https://aulp.org/wp-content/uploads/2021/10/RILP2014_IMP.pdf>. Acesso em 18 de mai. 2023.

SOTO, Y.J.M. **A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do complexo estuarino Antonina-Paranaguá-PR.** 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/1887>>. Acesso em 10 de mar. 2023.

SOUZA, R.V. de; PETCOV, H.F.D. Comércio Legal de Moluscos Bivalves. v. no 95, n. Epagri, 2013. Disponível em:
<https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Publicacao-Seriada/5-Publicacao-seriada-maricultura-mexilhao-processamento-transporte>

STRAMMA, Lothar; IKEDA, Yoshimine; PETERSON, Ray G. Geostrophic transport in the Brazil current region north of 20°S. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 37, n. 12, p. 1875–1886, dez. 1990. DOI:
[https://doi.org/10.1016/0198-0149\(90\)90083-8](https://doi.org/10.1016/0198-0149(90)90083-8).

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. **Ação Cível Originária nº 444**. Processo Eletrônico Público. Número Único: 0001723-83.1991.1.00.0000. Origem: SC - Santa Catarina. Relator: Ministro Roberto Barroso. Relator do último incidente: Ministro Roberto Barroso. Data do julgamento: 22 de junho de 2020. Publicação: Acórdão Eletrônico. DJe-268, Divulgado em 09-11-2020, Publicado em 10-11-2020. Disponível em:
<<https://jurisprudencia.stf.jus.br/pages/search/sjur436118/false>>

SZEWCZYK, Susana Beatris Oliveira. **Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar**. FURG, 2006. Disponível em: <<https://semengo.furg.br/images/2006/36.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

TISSOT, B.P.; WELTE, D.H. **Petroleum Formation and Occurrence**. Springer-Verlag, 1984. v. 2 ed., . Disponível em:
<<https://raregeologybooks.files.wordpress.com/2014/12/b-p-tissot-and-d-h-welte-petroleum-formation-and-occurrence.pdf>>. Acesso em 10 de fev. 2022.

UNIVALI/CTTMar, 2013. **Boletim estatístico da pesca industrial de Santa Catarina - Ano 2011**. Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, SC. 59 p. Disponível em:
<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/estatistica/SC/est_2011_producao_pesqueira.pdf>. Acesso em 10 de jun. 2023.

WAN, Zheng; CHEN, Jihong. **Human errors are behind most oil-tanker spills**. Nature, v. 560, n. 7717, p. 161–163, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05852-0>

ZELLENKE, B., C. O'CONNOR, C., BARKER, and C.J. BEEGLE-KRAUSE. 2012. **General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation: Data Formats**. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 41. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. 49 pp. Disponível em:
<http://response.restoration.noaa.gov/gnome_manual>. Acesso em 5 de mai. 2022.

ANEXO A- Informações das camadas shapefile de ISL 3, e 4 presentes na Carta SAO.

ISL	Ambiente	Cidade	Classificação	Acessibilidade de equipamentos	Granulometria	Recursos Biológicos	Recursos Socioeconômicos	Banco de areia	Substrato rochoso
3	Praia Henrique da Costa	Governador Celso Ramos	Praia arenosa	Baixo acesso: estradas de terra, pier para barcos de médio porte. Acesso por propriedade privada (pousada)	Areia média	Aves marinhas e pequenos cetáceos	APA do Anhatomirim e pousada na praia	√	X
	Praia da Daniela	Florianópolis	Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas	Areia fina	-	Lazer, turismo e pesca recreativa	√	X
	Praia de Jurerê		Praia arenosa	Fácil acesso com rampas para embarcações e trapiche	Areia muito fina	-	Lazer, turismo e pesca recreativa	√	X
	Praia dos Ingleses		Praia arenosa	Relativo fácil acesso. Há dunas de 350 m, uma embarcação naufragada e bóias de marcação	Areia fina	-	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos	√	X
	Praia da Barra da Lagoa		Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há redes de pesca.	Areia fina	Tartarugas	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos, Projeto Tamar	√	X
	Praia do Moçambique		Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há poças de maré.	Areia fina	Vegetação de dunas	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos	√	X
	Praia Brava		Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há poças de maré.	Areia fina	Vegetação de dunas	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos	√	X
	Praia do Santinho		Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas.	Areia fina	Pequenos cetáceos	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos	√	X
	Praia da Lagoinha do Norte		Praia arenosa	Fácil acesso, necessário permissão. Há poças de maré.	Areia fina	-	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos	√	X

4	Praia da Bina	Biguaçu	Praia arenosa	Baixa trafegabilidade de veículos	Areia grossa	Aves marinhas	Casas residenciais, populações ribeirinhas, pesca artesanal, e cultivo de moluscos	√	√
	Praia Bento Francisco		Praia arenosa	Acesso por vias muito estreitas	Areia grossa	Aves marinhas	Casas residenciais, populações ribeirinhas, pesca artesanal	√	√
	Praia João Rosa		Praia arenosa	Acesso por vias muito estreitas	Areia grossa	Aves marinhas	Casas residenciais, populações ribeirinhas, pesca artesanal e industrial	√	√
	Praia do Moçambique	Florianópolis	Praia arenosa	-	Areia média	-	Lazer, turismo, esportes náuticos	√	X
	Praia dos Ingleses		Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas	Areia média	-	Lazer, turismo, esportes náuticos, pesca artesanal e recreativa, residências e bares	√	X
	Praia das Palmas	Governador Celso Ramos	Praia arenosa	Fácil acesso por vias pavimentadas	Areia fina/média	Aves marinhas	Turismo, lazer, esportes náuticos	X	√
	Praia da Figueira		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra	Areia fina	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Lazer, turismo e pesca artesanal	X	√
	Praia dos Currais		Praia arenosa	Acesso com permissão por estradas de terra	Areia muito grossa	Aves marinhas e pequenos cetáceos	APA do Anhatomirim	X	X
	Praia da Armação da Piedade		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra e baixa trafegabilidade	Areia muito grossa	-	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos, local de fundeios para embarcações de pesca	X	X
	Praia de		Praia arenosa	Acesso por estradas de	Areia grossa	Aves marinhas e	APA do Anhatomirim,	X	√

	Magalhães			terra		pequenos cetáceos	ranchos de pesca e cultivo de moluscos		
	Praia Antonio Correa		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra e com baixa trafegabilidade	Areia grossa	Aves marinhas e pequenos cetáceos	APA do Anhatomirim, ranchos de pesca e cultivo de moluscos	X	√
4	Praia Grande/das Caravelas	Governador Celso Ramos	Praia arenosa	Acesso restrito pela vegetação e por estradas de terra	Areia média	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Lazer, esportes náuticos, pesca artesanal, turismo	X	X
	Praia das Cordas/Banan eiras		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra e com baixa trafegabilidade	Areia média	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Lazer, esportes náuticos, pesca artesanal, turismo, casas residenciais	X	√
	Ponta da Cruz		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra e rampa para embarcações	Areia muito grossa	Aves marinhas	Área de fundeio de barcos de pesca artesanal, e cultivo de moluscos	X	√
	Praia do Porto		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra, média trafegabilidade e pier para embarcações pequenas	Areia muito grossa	Aves marinhas e pequenos cetáceos	APA do Anhatomirim; Fundeio de Embarcações de Pesca; Colônia de Pesca artesanal Residente	X	√
	Praia do Sissial		Praia arenosa	Acesso por estradas de terra	Areia fina	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Lazer, esportes náuticos e pesca artesanal	X	√

Fonte: Elaborado pela autora

ANEXO B- Informações das camadas shapefile de ISL 3, e 4 presentes na Carta SAO.

ISL	Ambiente	Cidade	Classificação	Tipo	Acessibilidade de equipamentos	Recursos Biológicos	Recursos Socioeconômicos
6	Ponta do Caboclo	Biguaçu	Costão rochoso	Exposto	Sem acesso	-	-
	Costão da Daniela	Florianópolis	Costão rochoso	Exposto	Difícil acesso, sem trafegabilidade	-	Pesca recreacional, lazer, turismo
	Ponta da Laje/Canas		Costão rochoso	Exposto	Difícil acesso, sem trafegabilidade	-	Pesca recreativa
	Ponta Fucinho de Burro		Costão rochoso	Exposto	Difícil acesso, sem trafegabilidade		Pesca artesanal e recreativa
	Ponta da Feiticeira		Costão rochoso	Exposto	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há redes de pesca.	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Pesca artesanal e recreativa
	Ponta do Barcelos		Costão rochoso	Exposto	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há poças de maré.	Aves marinhas e pequenos cetáceos	Pesca artesanal e recreativa, turismo
	Ponta do Caçador		Costão rochoso	Exposto	Fácil acesso por vias pavimentadas. Há poças de maré.	-	Lazer, turismo, bares, esportes náuticos
	Molhes da Barra da Lagoa		Estrutura artificial	-	Difícil trafegabilidade sobre os molhes	-	Pesca recreativa, turismo; lazer
	Ponta do Simão		Governador Celso Ramos	Costão rochoso	Exposto	Acesso por estradas de terra, baixa trafegabilidade	-
	Ponta da Ilhota	Costão rochoso		Exposto	Acesso por estradas de terra, baixa trafegabilidade	-	Cultivo de moluscos, área de fundeio para barcos de pesca artesanal

6	Ponta do Isidro	Governador Celso Ramos	Costão rochoso	Abrigado com bancos de areia	Sem acesso direto	Aves marinhas	-
	Ponta do Trinta-Réis		Costão rochoso	Exposto	Sem acesso direto	-	-
	Ponta dos Ganchos		Costão rochoso	Exposto	Sem acesso direto	-	Cultivo de moluscos, área de fundeio para barcos de pesca artesanal
	Ponta dos Currais		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estradas de terra sem trafegabilidade	Aves marinhas e pequeno cetáceos	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos
	Ponta do Cirurgião		Costão rochoso	Exposto	Sem acesso direto	-	-
	Ponta dos Magalhães		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estradas de terra sem trafegabilidade	Aves marinhas e pequeno cetáceos	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos
	Ponta do João Porto		Costão rochoso	Abrigado	Acesso por estradas de terra sem trafegabilidade	Aves marinhas e pequeno cetáceos	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos
	Ponta do Vigia/da Armação		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estrada de terra. Acesso direto pela Praia da Figueira ou das Cordas	Aves marinhas e pequeno cetáceos	Lazer, turismo e pesca artesanal
	Ponta da Cruz		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estradas de terra sem trafegabilidade	Aves marinhas e pequeno cetáceos	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos
	Ponta da Costeira		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estradas de terra sem trafegabilidade	Aves marinhas e pequeno cetáceos	APA do Anhatomirim, cultivo de moluscos
	Ponta do Mata-Mata		Costão rochoso	Exposto	Acesso por estrada de terra. Acesso direto pela Praia da Figueira ou da Armação	Aves marinhas e pequeno cetáceos	Início da APA do Anhatomirim

Fonte: Elaborado pela autora