

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

AÇÕES DE RESPOSTA À EMERGÊNCIA EM CARTAS SAO: UM ENSAIO  
METODOLÓGICO NO ESTUÁRIO DE SANTOS (SP)

Vinicius Mendes Veiga

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paulina Setti Riedel

Coorientador: Dr. Flávio Henrique Rodrigues

Rio Claro (SP)

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

VINICIUS MENDES VEIGA

AÇÕES DE RESPOSTA À EMERGÊNCIA EM CARTAS SAO:  
UM ENSAIO METODOLÓGICO NO ESTUÁRIO DE SANTOS  
(SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto  
de Geociências e Ciências Exatas – Campus de  
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Engenheiro Ambiental

Rio Claro – SP

2021

V426a Veiga, Vinicius Mendes  
Ações de resposta à emergência em Cartas SAO : um ensaio metodológico no Estuário de Santos (SP) / Vinicius Mendes Veiga. -- Rio Claro, 2021  
89 f.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Paulina Setti Riedel  
Coorientador: Flávio Henrique Rodrigues

1. Meio ambiente. 2. Poluição marinha por óleo. 3. Cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo. 4. Recuperação e remediação ambiental.  
5. Sistemas de informação geográfica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

VINICIUS MENDES VEIGA

AÇÕES DE RESPOSTA À EMERGÊNCIA EM CARTAS SAO: UM  
ENSAIO METODOLÓGICO NO ESTUÁRIO DE SANTOS (SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto  
de Geociências e Ciências Exatas – Campus de  
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista  
Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Engenheiro Ambiental

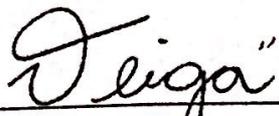
Comissão Examinadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paulina Setti Riedel (Orientadora)

Dr.<sup>a</sup> Lucília do Carmo Giordano

Msc. Daiana Marques Costa

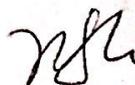
Rio Claro, 09 de março de 2021.



---

Vinicius Mendes Veiga

Aluno



---

Paulina Setti Riedel

Orientadora

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha mãe

*Miriam*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a querida Professora Paulina Setti Riedel, que me orientou durante todo este trabalho e deu todo o suporte necessário, mesmo diante das adversidades.

A Flávio Henrique Rodrigues pela amizade, orientações e conselhos que perpassam a vida acadêmica.

Um agradecimento especial para a minha amada família: minha mãe Miriam, minha tia Marisa, meu tio João e minhas primas Amanda e Flávia. Agradeço também a Rita, a qual ensinou-me muito com sua paciência.

Aos meus amigos e colegas da Engenharia Ambiental e das repúblicas Amada Foca, Tapa e Albergue pela convivência e aprendizado.

Agradeço também a toda a equipe de trabalho do projeto “Geoprocessamentos e Cartas SAO Bacia de Santos”, com os quais muito pude aprender: Professor Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, Lucília do Carmo Giordano, Arthur Wieczorek, Daiana Marques Costa, André Andrade Kolya, Sarah Felix Santos.

A PETROBRAS pela possibilidade de análise do material.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP e a Fundação para o Desenvolvimento da Unesp – FUNDUNESP pelo apoio financeiro.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”*

(NEWTON, 1675)

## RESUMO

O Estuário de Santos é uma região que apresenta grande movimentação marítima e histórico de acidentes de poluição marítima com óleo. O local abriga o principal porto do país, um terminal de petróleo e conta com uma refinaria nas proximidades em Cubatão. A região também apresenta diversas áreas protegidas, muitas das quais encontram-se no litoral e são altamente sensíveis ao óleo, como os manguezais.

O derramamento de petróleo e derivados no mar causa impactos severos na fauna e nos ambientes costeiros atingidos. Para mitigar esses impactos é importante uma resposta rápida e adequada a cada ambiente, buscando a proteção, limpeza e recuperação do meio. A avaliação da sensibilidade dos ambientes ao óleo é realizada com uso das Cartas de Sensibilidade Ambiental à Derramamentos de Óleo (Cartas SAO), instrumentos cartográficos com informações do meio físico, biótico e socioeconômico de uma região.

Este trabalho teve como objetivo o levantamento de alternativas de resposta à derramamentos de óleo recomendados para cada ambiente costeiros e a sua aplicação experimental por meio de ícones em uma Carta SAO operacional (1:25:000) do Estuário de Santos. Foram combinados os softwares ESRI ArcGIS Pro, Google Earth Pro e Microsoft Excel para elaboração de mapas e realização de análises estatísticas e espaciais da área de estudo. Essas informações foram utilizadas como complementação a uma Carta SAO buscando subsidiar as operações de emergência.

**Palavras-chave:** Derramamento de óleo. Poluição marinha por óleo. Cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo. Recuperação e remediação ambiental. Sistemas de informação geográfica.

## ABSTRACT

Santos Estuary presents a heavy marine traffic and a history of oil spills. The main Brazilian port, an oil terminal and an oil refinery are located in the region, which has several protected areas, many of them in the coast and extremely sensitive to oil, as the mangroves.

The spill of oil and derivatives in the marine environment causes severe impacts to the fauna and to the whole coastal area as well. To mitigate such impacts faster responses, suitable for each environment, are required to protect, clean, and recover the ecosystem. The evaluation of environmental sensitivity to oil is performed through Environmental Sensitivity Index (ESI) Maps, which provide information on the physical, biotic, and socioeconomic information, regarding a particular region.

This work aimed to gather data on Santos Estuary oil sensitivity and recommend cleaning operations for each area. The softwares ESRI ArcGIS Pro, Google Earth Pro and Microsoft Excel were used to elaborate maps, spatial and statistical procedures and the results were implemented through icons in an ESI Map (1:25 000 scale) to optimize cleanup efforts in emergency cases.

**Keywords:** Oil pollution of water. ESI Maps. Environmental cleanup. Geographic information systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de entradas e saídas nos <i>softwares</i> .....	20
Figura 2 – Mapa de localização.....	23
Figura 3 – Climograma do município de Santos.....	25
Figura 4 – Áreas protegidas na área de estudo .....	27
Figura 5 – Registro de ocorrências com contaminação do meio aquático no litoral de SP entre 01/01/1978 e 01/08/2020.....	35
Figura 6 – Ícone de representação de áreas importantes para os recursos biológicos .....	44
Figura 7 – Carta SAO operacional da Bacia de Santos .....	45
Figura 8 – Mapa de articulação das Cartas SAO .....	46
Figura 9 – Processos de intemperismo que podem ocorrer em vazamentos de óleo no mar .....	49
Figura 10 – Estrutura básica de uma barreira de contenção de óleo .....	55
Figura 11 – Ícones de ações de resposta elaborados por Romero e Abessa .....	61
Figura 12 – Ícones de ações de resposta utilizados nas Cartas SAO.....	64
Figura 13 – Distribuição percentual dos ambientes costeiros na área de estudo .....	65
Figura 14 – Ambientes costeiros de ISL 1 e suas recomendações.....	66
Figura 15 – Ambiente costeiro de ISL 2 e suas recomendações .....	67
Figura 16 – Ambiente costeiro de ISL 3 e suas recomendações .....	68
Figura 17 – Ambientes costeiros de ISL 4 e suas recomendações.....	69
Figura 18 – Ambientes costeiros de ISL 5 e suas recomendações.....	70
Figura 19 – Ambientes costeiros de ISL 6 e suas recomendações.....	71
Figura 20 – Ambiente costeiro de ISL 7 e suas recomendações .....	72
Figura 21 – Ambientes costeiros de ISL 8 e suas recomendações.....	73
Figura 22 – Ambientes costeiros de ISL 9 e suas recomendações.....	74
Figura 23 – Ambientes costeiros de ISL 10 e suas recomendações.....	75
Figura 24 – Carta SAO operacional SAN 220 com ícones de operações de limpeza .....	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Método e etapas de trabalho .....	16
Quadro 2 – Principais arquivos vetoriais utilizados no Sistema de Informações Geográficas (SIG) .....	19
Quadro 3 – Principais rios da Baixada Santista .....	25
Quadro 4 – Ordem de grandeza de derramamentos de óleo em função do volume derramado .....	39
Quadro 5 – Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL): cores e ambientes costeiros....	41
Quadro 6 – Grupos de recursos biológicos representados nas Cartas SAO e suas respectivas cores .....	43
Quadro 7 – Classificação dos substratos sedimentares segundo sua granulometria	52
Quadro 8 – Principais métodos de limpeza e os ambientes costeiros aplicáveis.....	60
Quadro 9 – Síntese dos ambientes costeiros e ações de resposta recomendadas ..	77
Quadro 10 – Ações de resposta selecionadas para inserção dos ícones na Carta SAO .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas protegidas na área de estudo.....	27
Tabela 2 – Indicadores socioeconômicos dos municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista .....	28
Tabela 3 – Ocorrências com contaminação do meio aquático nos municípios do litoral de SP entre 01/01/1978 e 01/08/2020.....	35
Tabela 4 – Produtos mais envolvidos em ocorrências com contaminação do meio aquático nos municípios da área de estudo .....	36
Tabela 5 – Classificação internacional de óleos mais transportados por via marítima .....	47
Tabela 6 – Distribuição quantitativa dos ambientes costeiros na área de estudo .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
API	Instituto Americano do Petróleo ( <i>American Petroleum Institute</i> )
Cartas SAO	Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo
CBH-BS	Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CLC	Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil por Danos Causados por Poluição por Óleo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
GAA	Grupo de Acompanhamento e Avaliação
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IMO	Organização Marítima Internacional
INTERVENTION	Convenção Internacional Relativa à Intervenção em Alto Mar em Caso de Acidentes por Poluição por Óleo
IOPC <i>Fund</i>	Fundo Internacional de Compensação por Danos pela Poluição por Óleo
IPIECA	Associação Global da Indústria de Petróleo e Gás para questões Ambientais e Sociais ( <i>The global oil and gas industry association for environmental and social issues</i> )
ITOPF	<i>International Tanker Owners Pollution Federation</i>
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOAA	Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos ( <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> )
OILPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por Óleo
OPRC	Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo
PEI	Plano de Emergência Individual

PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
RMBS	Região Metropolitana da Baixada Santista
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes
SIEQ	Sistema de Informações de Emergências Químicas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TEBAR	Terminal Aquaviário de São Sebastião Almirante Barroso

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Revisão bibliográfica</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Compilação de dados</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Elaboração do texto final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)</b> .....	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Legislação pertinente</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Histórico de acidentes no Estado de São Paulo</b> .....	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Cartas SAO: Histórico e importância</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4</b>	<b>Comportamento geral do óleo</b> .....	<b>46</b>
<b>5.5</b>	<b>O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) e os impactos do óleo nos ecossistemas costeiros</b> .....	<b>51</b>
<b>5.6</b>	<b>Ações de resposta a derramamentos de óleo</b> .....	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>62</b>
<b>6.1</b>	<b>Operações recomendadas para os diferentes ISLs e seus ambientes</b> .....	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>
	<b>APÊNDICE A – CARTA SAO OPERACIONAL SAN 220 COM ÍCONES DE OPERAÇÕES DE LIMPEZA</b> .....	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo é um hidrocarboneto formado pela decomposição e sedimentação de organismos sob determinadas condições ambientais de temperatura e pressão. É uma substância conhecida desde a antiguidade, onde era usada como material de liga em construções. Atualmente é fundamental para diversos setores como a indústria química, artigos de plástico, metalurgia e siderurgia, construção civil, e especialmente ao setor energético, onde é uma das principais fontes de energia atreladas ao setor de transportes, que utiliza seus variados subprodutos como a gasolina, o diesel e o querosene como combustível para veículos (UNICAMP - FEM, 2018).

No Brasil, o petróleo e seus derivados apresentam números expressivos de produção e consumo em relação a outras fontes energéticas, sendo responsável por 43,7% da produção energética nacional e consumo de 39,3% comparado ao gás natural, carvão mineral, lenha, eletricidade, entre outros que dividem a parcela restante. Em 2018, o país produziu uma média de 2,6 milhões de barris de petróleo por dia, ocupando a décima posição mundial como produtor, com 96% da produção de origem marítima (ANP, 2019; EPE, 2019).

A exploração offshore do petróleo, de forma simplificada, é realizada por meio de navios-plataforma em alto mar que perfuram as jazidas e extraem o óleo bruto, armazenando e transportando esse material para os navios aliviadores, destinados aos terminais e refinarias. No Pré-Sal, essas jazidas podem estar localizadas a mais de cinco mil metros de profundidade (PETROBRAS, 2015).

Em portos, terminais, navios e plataformas, apesar do rígido controle de segurança operacional e ambiental, acidentes ocasionando o vazamento de produtos oleosos no mar ainda ocorrem, trazendo graves prejuízos ambientais e socioeconômicos. Como foi o caso da plataforma Deepwater Horizon, da British Petroleum (BP) que, após uma explosão no dia 20 de abril de 2010, naufragou dois dias depois no Golfo do México, liberando uma quantidade de petróleo bruto estimada em mais de setecentas mil toneladas (PETRELLA; TESSORE, 2019).

No Brasil, um dos piores desastres dessa natureza ocorreu na região Nordeste, em agosto de 2019. Na ocasião, quatro mil toneladas de resíduos de petróleo bruto atingiram o litoral de 116 municípios, estendendo-se por dois mil quilômetros e meio da costa do país (ESCOBAR, 2019; FIOVARANTI, 2019).

Conforme a legislação brasileira, todos os portos, plataformas instalações portuárias e de apoio devem ter um Plano de Emergência Individual (PEI), que define diretrizes de ações de resposta aos derramamentos de óleo. Os PEIs são consolidados em planos de contingência locais e regionais que, por sua vez, são consolidados na forma do Plano Nacional de Contingência (BRASIL, 2000).

As Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (Cartas SAO), são parte dos planos de contingência e reúnem informações a respeito dos meios físico, biótico e socioeconômico, fundamentais para as tomadas de decisão em resposta a acidentes envolvendo óleo. As informações contidas na carta embasam o direcionamento de recursos e equipes apropriadas para as áreas prioritárias de proteção e limpeza (MMA, 2004).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) traz vantagens para o desenvolvimento, atualização, distribuição, acessibilidade e armazenamento das Cartas SAO, além da possibilidade de inclusão de grandes quantidades de outros dados relevantes como fotografias, dados e cálculos estatísticos sazonais (IPIECA, 2012).

A área de estudo concentra um litoral altamente sensível ao óleo e diversas áreas protegidas no entorno. Junto a elas, áreas urbanas, industriais, uma refinaria e um terminal de petróleo, além de uma forte atividade marítima atraída pelo principal porto do país.

De acordo com dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), no ano de 2019, o porto de Santos foi responsável pela maior parte das movimentações de portos públicos no país, com 28,6% das movimentações, o equivalente a cento e seis milhões de toneladas de carga bruta. Na área do estuário de Santos também se encontram outros portos privados e o Terminal Aquaviário de Santos e a Refinaria Presidente Bernardes da Petrobras (RPBC) (ANTAQ, 2019).

De acordo com dados de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), os principais acidentes no meio aquático da área envolvem petróleo e derivados. A Companhia atua no monitoramento e resposta desses acidentes desde 1978, com grande *expertise* na limpeza de ambientes atingidos por óleo.

Nesse contexto, este trabalho busca levantar as ações de resposta recomendadas para a área de acordo com CETESB (2007), incorporando essas

informações nas Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO), como subsídio às operações de emergência.

Este trabalho está inserido no contexto do projeto “Geoprocessamento e Cartas SAO da Bacia de Santos” com objetivo da elaboração das Cartas SAO, em escala de detalhe, em conjunto a um banco de dados de sete localidades no Sul e Sudeste do Brasil.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é levantar as alternativas de procedimentos de limpeza e ações de combate a derramamentos de óleo utilizadas no Brasil. A partir disso, implementar os ícones das alternativas recomendadas em uma Carta SAO (Carta de Sensibilidade ao Óleo), em escala operacional (1:25 000), localizada no Estuário de Santos (SP), como sugestão de subsídio às operações de emergência.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, apresentadas no Quadro 1, cada uma com suas atividades e métodos específicos, conforme descritos abaixo.

Quadro 1 – Método e etapas de trabalho

<b>Etapas</b>	<b>Atividades</b>	<b>Materiais</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Revisão bibliográfica	Revisão de literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Livros</li> <li>• Trabalhos Acadêmicos</li> <li>• Artigos Científicos</li> <li>• Manuais Técnicos</li> <li>• Legislações</li> </ul>	Embasamento Teórico
			Fundamentação Legal
			Histórico de Acidentes
			Ações de resposta
			Caracterização da área de estudo

Quadro 1 – Método e etapas de trabalho

(conclusão)

<b>Etapas</b>	<b>Atividades</b>	<b>Materiais</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Compilação de dados	Processamento dos arquivos vetoriais e cálculos estatísticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquivos <i>Shapefile</i> IBGE</li> <li>• <i>Geodatabase</i> Cartas SAO</li> <li>• ArcGIS Pro</li> <li>• Microsoft Excel</li> <li>• Google Earth Pro</li> </ul>	Extensão dos Índices de Sensibilidade do Litoral e Ambientes Costeiros
Resultados e discussão	Revisão de literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dados compilados</li> <li>• Manual CETESB (2007)</li> <li>• Manual MMA (2004)</li> <li>• Ícones de ações de resposta</li> </ul>	Ações de resposta recomendadas para os ambientes costeiros
	Processamento dos arquivos vetoriais		Elaboração de Carta SAO Operacional (1:25:000) com ícones de ações de resposta
Elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)	Elaboração do texto final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referências</li> <li>• Resultados obtidos</li> </ul>	Elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 Revisão bibliográfica

A etapa de revisão bibliográfica reuniu os documentos pertinentes para embasar o trabalho. Foram consultados trabalhos acadêmicos, legislações nacionais e internacionais, artigos científicos em periódicos, normas técnicas, manuais e publicações de órgãos governamentais e internacionais.

Na primeira etapa, buscou-se por meio das referências embasar teoricamente as questões relativas à legislação, histórico de acidentes com óleo, as Cartas SAO e

o Índice de Sensibilidade do Litoral e as ações de resposta mais recomendadas para cada ambiente.

As bases de dados pesquisadas compreenderam sistemas governamentais estatísticos, legislativos, normativos e outros dispositivos. Além de buscas em bases de dados científicas como: Biblioteca Digital USP, JSTOR, Repositório Institucional Unesp, *ResearchGate*, SciELO e *ScienceDirect*.

A pesquisa de referências foi realizada nas bases por meio de busca por autor específico ou assunto contendo os termos: derramamento de óleo, poluição por petróleo, Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO), impactos ambientais do petróleo; ecossistemas costeiros; mitigação de impactos ambientais causados por petróleo. Os termos foram adaptados a sinônimos para abranger a pesquisa.

### **3.2 Compilação de dados**

A segunda etapa consistiu na compilação e processamento dos dados espaciais: arquivos no formato *shapefile* e/ou *feature class* de diferentes tipos de feições: pontos, linhas e polígonos. Esses arquivos foram editados por meio de técnicas de geoprocessamento para detalhar somente as informações do Índice de Sensibilidade do Litoral, uma vez que as ações de emergência aqui consideradas estão associadas aos ambientes. O *Software* SIG utilizado nessa etapa foi o ArcGIS Pro versão 2.7.0 (ESRI, 2020).

Os dados ambientais utilizados neste trabalho foram obtidos do “Projeto Santos – Caracterização Ambiental da Bacia de Santos”, coordenado pela PETROBRAS/CENPES. O projeto elaborou, para o Estuário de Santos, duas Cartas SAO Táticas, na escala 1:100 000 e 23 Cartas SAO Operacionais, na escala 1:25 000.

Para os cálculos estatísticos, realizados sobre os dados das tabelas de atributos, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, em especial a ferramenta Tabela Dinâmica.

Os arquivos vetoriais utilizados como dados de entrada estão descritos no Quadro 2. Houve também o uso de um arquivo *raster* contendo a imagem de satélite colorida da área para a produção dos mapas. A imagem foi obtida por um mosaico de diferentes imagens e distribuída no *software* Google Earth Pro (2016).

Para o georreferenciamento, isto é, adição de coordenadas a imagem, foram utilizadas ferramentas próprias para isso do *software* ArcGIS Pro. Também foi usada a ferramenta “*Project Raster*” para alterar a projeção do sistema de Coordenadas WGS 1984 para SIRGAS 2000.

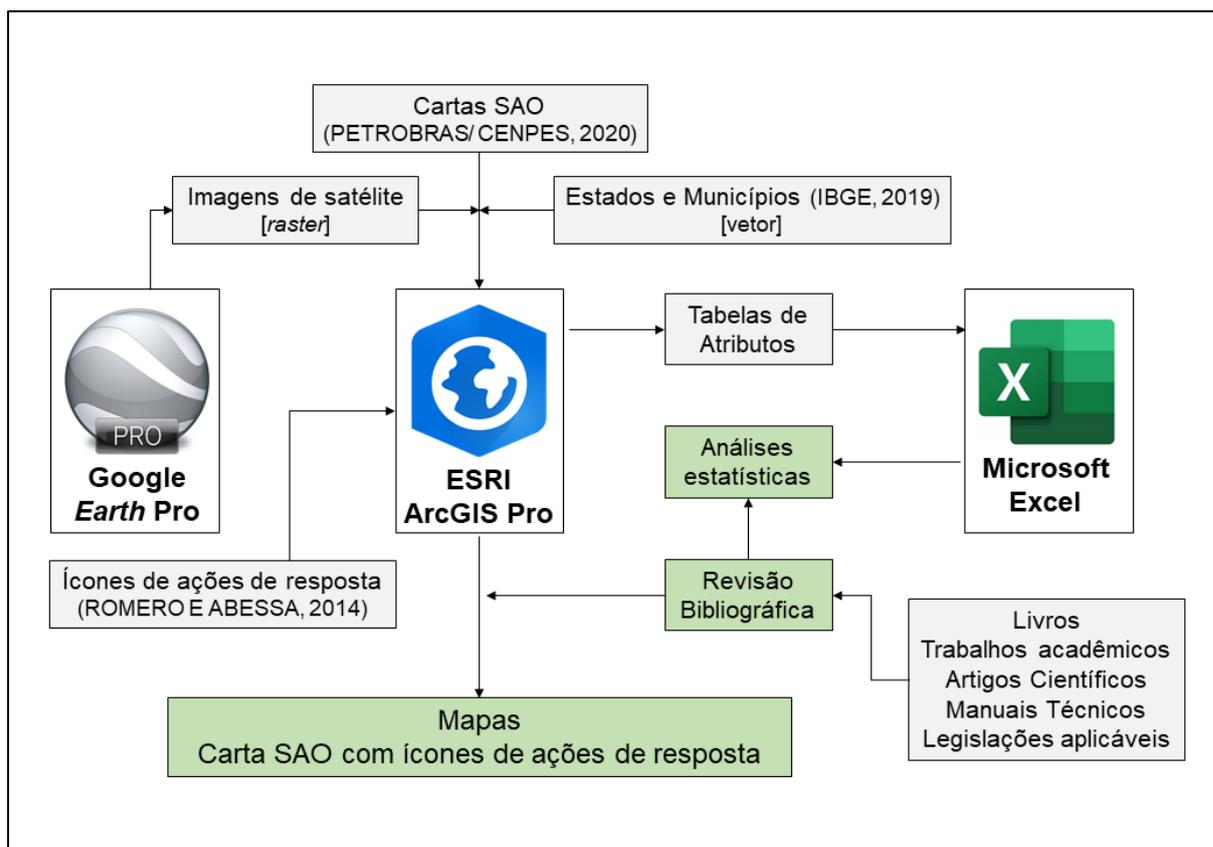
Quadro 2 – Principais arquivos vetoriais utilizados no Sistema de Informações Geográficas (SIG)

<b>Descrição do arquivo</b>	<b>Escala</b>	<b>Feição</b>	<b>Formato</b>	<b>Fonte</b>
Índices de Sensibilidade do Litoral (ISLS) do Estuário de Santos	1:2 300	Linha	<i>Feature Class</i>	PETROBRAS/CENPES (20920)
Ambientes litorâneos (ISL - área) Estuário de Santos	1:2 300	Polígono		
Articulação operacional do Estuário de Santos	1:25 000			
Articulação tática do Estuário de Santos	1:100 000			
Unidades da Federação	1:250 000	Polígono	<i>Shapefile</i>	IBGE (2019a)
Municípios do Brasil				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na segunda etapa foram calculados os valores de extensão para os ISL e seus ambientes costeiros correspondentes. Um

A interoperabilidade entre os softwares utilizados no trabalho permitiu obter dois tipos de produtos: estatísticos e cartográficos. O diagrama da Figura 1 mostra de forma esquematizada as entradas e saídas relacionadas a cada um dos softwares.

Figura 1 – Diagrama de entradas e saídas nos *softwares*

O diagrama apresenta as entradas e saídas dos softwares utilizados no trabalho. As entradas estão representadas em cor cinza e as saídas em cor verde. A revisão bibliográfica é uma saída analógica que fundamentou as saídas digitais. Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de atributos, contendo as informações do Índice de Sensibilidade do Litoral, foi exportada com a ferramenta “*Table to Excel*” do ArcGIS, que converteu as informações para um formato compatível com o Excel.

No Microsoft Excel, as tabelas de atributos das linhas e polígonos de ISL foram processadas com a ferramenta “Tabela Dinâmica”, que apresenta informações personalizadas sobre os dados inseridos. Com isso foi possível obter os diferentes ambientes costeiros na área de estudo e sua extensão ou área total.

Essa análise foi viabilizada a partir do dado Sub-Índice de Sensibilidade do Litoral. Que representa o número do ISL juntamente com uma enumeração alfabética do ambiente costeiro. A partir disso, foi possível avaliar as ações de resposta recomendadas para cada um dos ambientes costeiros mapeados na área de estudo, baseado em CETESB (2007).

Para a seleção da Carta SAO em escala operacional que receberia os ícones de ações de resposta, separou-se o *feature class* principal contendo as articulações em arquivos individuais para cada carta.

Em seguida, com a ferramenta “*Clip*”, que recorta uma camada vetorial através de outra, foi possível segmentar as áreas e linhas de costa mapeadas com ISL para cada uma das Cartas SAO operacionais da área de estudo.

A tabela de atributos de cada uma dessas Cartas SAO foi exportada com a ferramenta “*Table to Excel*” do ArcGIS e processada no Microsoft Excel com a ferramenta “Tabela Dinâmica”. Os resultados foram personalizados para exibir a quantidade de ambientes costeiros diferentes presentes em cada carta.

Com isso, foi possível selecionar a carta considerada mais representativa em termos de variabilidade de ambientes costeiros e índices de sensibilidade. Nessa carta foram inseridos os ícones de ações de resposta recomendadas a cada ambiente.

Os ícones de limpeza foram adaptados dos ícones elaborados por Romero e Abessa (2014). Para a inserção dos ícones, os *shapefiles* de ISL (dos tipos linha e polígono), passaram por ferramentas que transformavam essas feições em novas feições do tipo ponto, geograficamente relacionadas ao arquivo de origem.

Um arquivo vetorial no formato shapefile, contendo os países do continente americano, elaborado por Tapiquén (2015), foi utilizado no projeto para composição dos mapas de localização.

O arquivo contendo o ISL do tipo linha foi utilizado como entrada na ferramenta “*Feature to Point*”, que gerou uma feição contendo pontos localizados na metade de cada um dos segmentos de linha.

O *feature class* de ISL do tipo polígono foi utilizado como entrada na ferramenta “*Feature to Point*”, que como resultado teve uma feição do tipo ponto localizados no centro geométrico de cada um dos polígonos.

As feições do tipo ponto obtidas a partir das feições de linhas e polígonos foram fundidas em uma só com a ferramenta “*Merge*”, que resultou em uma feição ponto contendo todos os pontos da área.

A partir do *feature class* contendo todos os pontos, com a ferramenta “*Select by attributes*”, os pontos foram selecionados e exportados de acordo com as ações de resposta prioritárias para seus ambientes.

Os procedimentos de limpeza e ações de combate considerados prioritários na Carta SAO operacional foram: absorventes (granulados ou materiais absorventes),

barreiras, remoção manual, jateamento a baixa pressão, limpeza natural e remoção manual.

Para refinar a estética da Carta SAO, devido a sua característica estática, é necessário realizar transformações representativas nos pontos do mapa. Para isso foi utilizada a ferramenta “*Buffer*”, que cria um círculo de centro em cada um dos pontos do mapa e com os raios estipulados pelo usuário. Foram realizados testes com valores de 50m, 100m, 150m e 200m, sendo esse último o que atendeu melhor às expectativas em relação à escala da carta. As áreas com sobreposição de “*Buffers*” foram avaliadas e substituídas por somente um ícone representativo de toda a área.

Os ícones também sofreram outros ajustes, como alteração da cor do plano de fundo, supressão em áreas com alta densidade ou alteração na posição, para evitar a sobreposição a outros ícones da Carta SAO.

Com a inserção dos ícones, espera-se uma Carta SAO que forneça uma complementação no apoio às operações de emergência, com relação às cartas tradicionalmente realizadas.

### **3.3 Resultados e discussão**

Esta etapa compreende a análise dos resultados e discussão sobre as ações de emergência na área de estudo, com a elaboração da carta operacional contendo os ícones relativos às operações de emergência recomendadas pelo CETESB.

### **3.4 Elaboração do texto final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**

Esta etapa engloba a elaboração do texto, com as conclusões do trabalho, edição de tabelas e figuras, referências bibliográficas e adequação às normas, para a entrega do Trabalho de Conclusão de Curso.

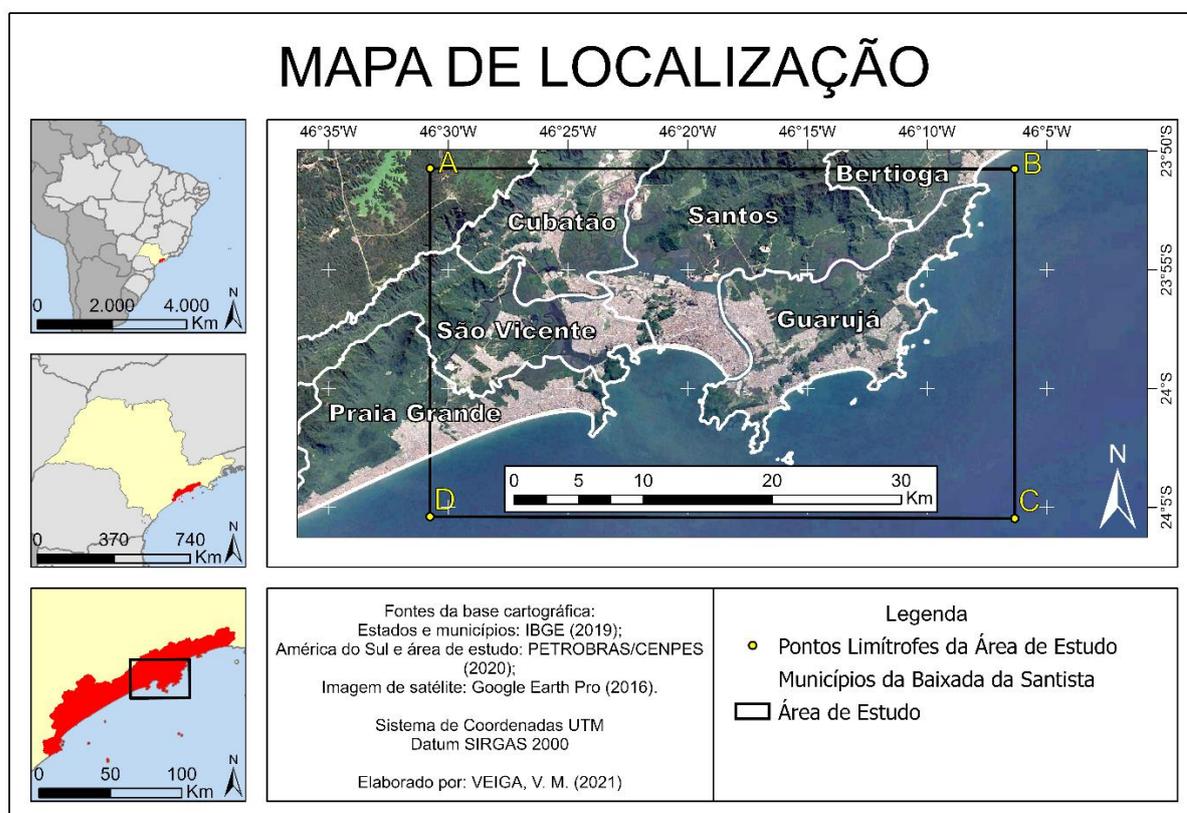
#### 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região Metropolitana da Baixada Santista é uma unidade administrativa do Estado de São Paulo composta pelos municípios de Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente (SÃO PAULO, 1996).

Este projeto compreende a região costeira e estuarina dos seguintes municípios da Baixada Santista: Bertioga, Cubatão, Guarujá, Praia Grande, Santos e São Vicente.

A área de estudo, ilustrada na Figura 2, compreende uma área de aproximadamente 1.123 km<sup>2</sup> está delimitada pelo polígono de vértices **A** (46°30'45"W 23°50'44"S), **B** (46°6'21"W 23°50'45"S), **C** (46°6'20"W 24°5'28"S) e **D** (46°30'46"W 24°5'24"S).

Figura 2 – Mapa de localização



Fontes: conforme figura.

A área de estudo se estende em áreas continentais e em áreas insulares, estas compostas pelas Ilhas de São Vicente e Santo Amaro. Na primeira localizam-se os municípios de Santos e São Vicente e na segunda o município de Guarujá.

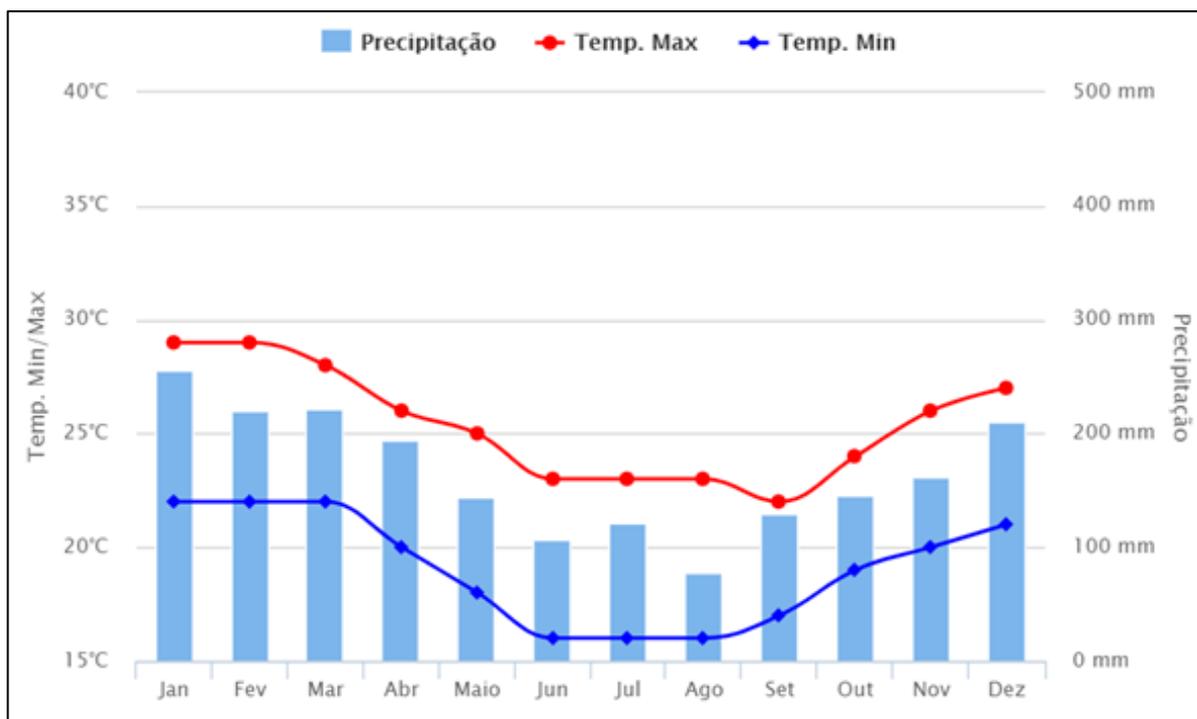
A área de estudo está localizada na Província Costeira do Planalto Atlântico e compreende o Sistema Estuarino de Santos e São Vicente definido por Lamparelli *et al.* (2001). O sistema engloba o estuário de São Vicente, os rios de Cubatão, o estuário de Santos, a baía de Santos, o canal de Bertioga e a zona marinha adjacente.

A Baixada Santista apresenta-se como a transição entre dois compartimentos: a paisagem do Litoral Norte, composta por costas altas, extremamente recortadas com inúmeras enseadas, ilhas e cabos; e o Litoral Sul, predominante retilíneo, com costas baixas e extensas (PERINOTTO, 2010).

A região é formada por planícies costeiras, terraços marinhos e mangues cercados pela Serra do Mar, uma escarpa cristalina constituída de rochas metamórficas e granitos recobertos por manto residual. Os sedimentos que compõem a planície são: areias marinhas, depósitos argilo-arenosos e fluvio-lagunares (DEVIDS, 2008; PERINOTTO, 2010)

A Baixada Santista apresenta clima quente e úmido com temperatura média superior a 20°C e precipitação anual entre 2 000 e 2 500 mm de chuva. O Climograma do município de Santos, ilustrado na Figura 3, mostra predominância de chuvas durante o verão, de dezembro a março, onde também ocorrem as maiores temperaturas (DEVIDS, 2008).

Figura 3 – Climograma do município de Santos



Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados. Fonte: Climatempo, 2021.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Baixada Santista (UGRHI-7) está localizada entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico, com uma área de drenagem de 2 818,40 km<sup>2</sup> (CBH-BS, 2020).

Os rios originam-se na Serra do Mar e desaguam no oceano formando ambientes estuarinos na área de estudo. Os principais rios são: Branco e Preto, Cubatão e Itapanhaú, que formam 3 sub-UGRHI com suas sub-bacias, descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Principais rios da Baixada Santista

Sub-UGRHI	Sub-bacia	Nome
Rio Branco e Rio Preto	1	Praia do Uma
	2	Rio Perequê
	3	Rio Preto do Sul
	4	Rio Itanhaém
	5	Rio Preto

Quadro 3 – Principais rios da Baixada Santista

(conclusão)

<b>Sub-UGRHI</b>	<b>Sub-bacia</b>	<b>Nome</b>
Rio Branco e Rio Preto	6	Rio Aguapeú
	7	Rio Branco
Rio Cubatão	8	Rio Boturoca
	9	Rio Cubatão
	10	Rio Piaçabuçu
	11	Ilha de São Vicente
	12	Rio Mogi
	13	Ilha de Santo Amaro
	14	Rio Cabuçu
	15	Rio Jurubatuba
	16	Rio Quilombo
Rio Itapanhaú	17	Rio Itapanhaú
	18	Rio Itatinga
	19	Rio das Alhas
	20	Ribeirão Sertãozinho
	21	Rio Guaratuba

Fonte: CBH-BS (2019).

Os dados mais recentes sobre saneamento na UGRHI-7 mostram que 91,5% da população urbana têm serviço de abastecimento de água disponível e 74,8% têm o esgoto coletado, dos quais 18,1% são tratados. Existe uma geração de resíduos sólidos de 1 656,6 toneladas ao dia, que são totalmente destinados em aterros considerados adequados pelo órgão ambiental (CBH-BS, 2019, 2020).

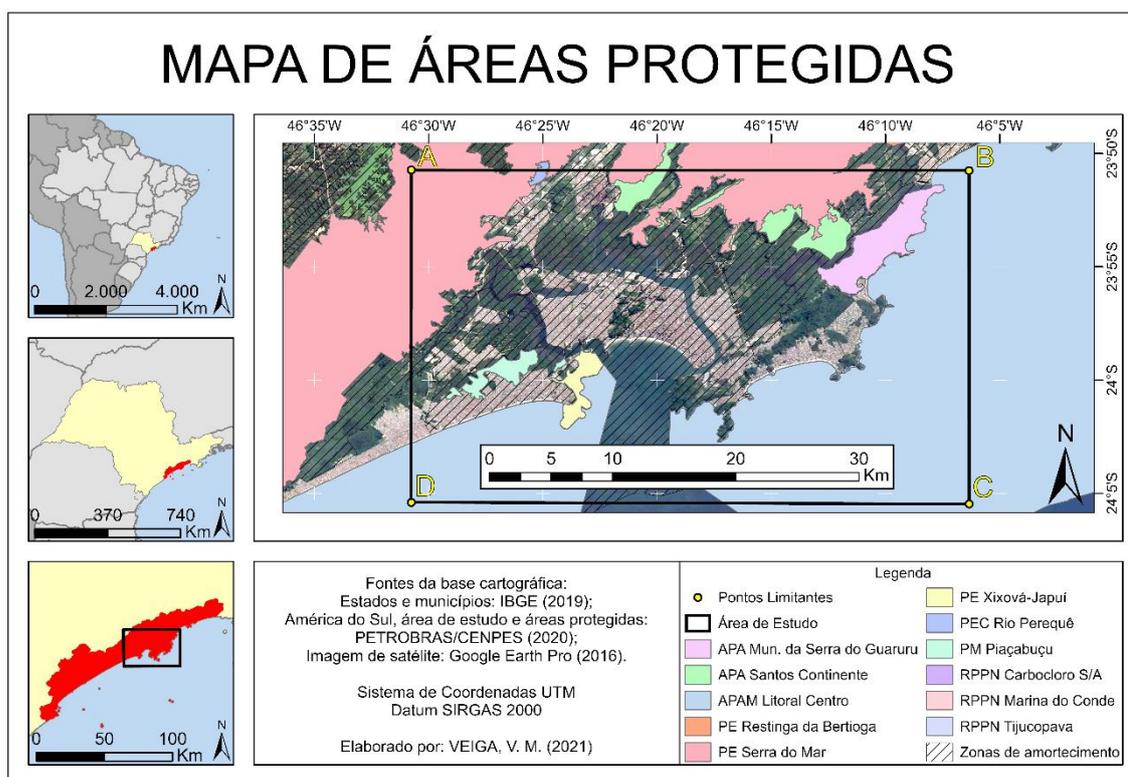
Nos limites do estudo, encontram-se dez áreas protegidas, de diferentes classificações, inseridas total ou parcialmente na área de estudo. Essas áreas ocupam uma área total de 648 km<sup>2</sup> e estão listadas na Tabela 1, considerando suas zonas de amortecimento ocupam quase toda a área, como é possível observar na Figura 4.

Tabela 1 – Áreas protegidas na área de estudo

Unidades	Área (Km <sup>2</sup> )
Total	648,76
Área de Proteção Ambiental Marinha Litoral Centro	414,25
Parque Estadual Serra do Mar	126,36
Área de Proteção Ambiental Santos Continente	63,37
Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Guaruru	25,60
Parque Municipal Piaçabuçu	8,87
Parque Estadual Xixová-Japuí	8,81
Parque Ecológico Rio Perequê	1,01
Reserva Particular do Patrimônio Natural Tijucopava	0,39
Reserva Particular do Patrimônio Natural Marina do Conde	0,09
Reserva Particular do Patrimônio Natural Carbocloro S/A	0,01

Fonte: PETROBRAS/CENPES (2020).

Figura 4 – Áreas protegidas na área de estudo



Fontes: conforme figura.

Mesmo com a existência das áreas protegidas, esses ambientes sofrem pressões devido ao crescimento desordenado. A expansão urbana é o principal indicador de alteração no uso e cobertura do solo na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), alterando áreas de Mata Atlântica, Restingas e Mangues em áreas urbanas (FOLHARINI; OLIVEIRA, 2020).

Mesmo com baixo crescimento vegetativo, a população da RMBS apresenta uma dinâmica de crescimento devido a migração intrametropolitana (dentro da RMBS) e a migração proveniente da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), que ocupa as periferias dos municípios devido à escassez de espaços propícios nos centros. Essa periferização da ocupação faz da RMBS uma região de elevado grau de urbanização em comparação as demais regiões metropolitanas (FARIAS; BECCENERI, 2019)

A Região Metropolitana da Baixada Santista, criada em 1966, é a primeira região metropolitana sem status de capital estadual. É composta pelos municípios de Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente (PERINOTTO, 2010). Os indicadores socioeconômicos desses municípios estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Indicadores socioeconômicos dos municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População est. (pessoas)	Densid. Dem. (hab/km <sup>2</sup> )	IDHM	PIB <i>per capita</i>
Bertioga	491,546	64 723	97,21	0,510	R\$ 27 066,92
Cubatão	142,879	131 626	830,91	0,517	R\$ 90 717,64
Guarujá	144,794	322 750	2 026,80	0,497	R\$ 26 646,69
Itanhaém	601,711	103 102	144,69	0,523	R\$ 18 751,80
Mongaguá	143,205	57 648	326,00	0,516	R\$ 18 675,32
Peruíbe	326,216	69 001	184,40	0,493	R\$ 19 993,93
Praia Grande	149,253	330 845	1 781,87	0,538	R\$ 21 589,86
Santos	281,033	433 656	1 494,26	0,689	R\$ 51 548,50
São Vicente	148,1	368 355	2 247,88	0,561	R\$ 14 488,59

Fontes: IBGE (1991, 2011, 2017, 2018, 2019b).

Segundo os dados mais recentes disponibilizados pelo IBGE (2018), dentre os municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), a maior e menor área contrastam, respectivamente, entre Itanhaém (601 km<sup>2</sup>) e Cubatão (142 km<sup>2</sup>).

O município de Santos apresenta a maior população (433 mil pessoas) e o maior Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (0,689). Os menores valores desses indicadores estão respectivamente nos municípios de Mongaguá (57 mil pessoas) e Peruíbe (0,493) (IBGE, 1991, 2019b).

Cubatão possui a menor área da RMBS, entretanto seu PIB *per capita* é o mais elevado (R\$ 90 717,64), ao passo que o mesmo indicador para São Vicente (R\$ 14 488,59) apresenta o menor valor da RMBS. São Vicente também apresenta maior densidade demográfica (2 247,88 hab/km<sup>2</sup>) enquanto a menor é a de Bertioga (97,21 hab/km<sup>2</sup>) (IBGE, 2011, 2017, 2018).

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Legislação pertinente

O Brasil e outros países costeiros, por meio da Organização Marítima Internacional cooperam em tratados internacionais para o uso pacífico dos oceanos, o que corresponde à parcimônia na exploração de seus recursos naturais, à prevenção da poluição gerada com estas atividades e à manipulação de instrumentos bélicos (POFFO, 2000; WIECZOREK, 2006).

Dentre as convenções internacionais relacionadas à poluição marinha por óleo, destacam-se:

A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por Óleo de 1954 (**OILPOL 54**) é considerada a primeira convenção internacional sobre a poluição marítima por óleo, foi organizada pelo Reino Unido e contou com a participação de quarenta e dois países, foi atualizada nos anos 1962, 1969, 1971 e em 1973 passou a integrar a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (**MARPOL**).

A Convenção Internacional Relativa à Intervenção em Alto Mar em Caso de Acidentes por Poluição por Óleo de 1969 (**INTERVENTION**), realizada em Bruxelas e atualizada em 1973, buscou unificar a atuação de países em casos de vazamentos de óleo em alto mar, ocasionados por indústrias e transportadoras de petróleo. Foi promulgada no Brasil pelo Decreto Federal nº 6.478 de 2008. Essa intervenção buscou minimizar os danos e proteger a zona econômica exclusiva e o litoral dos

países envolvidos, também abordou questões como a notificação das autoridades ambientais e marítimas e a criação de dos Planos Nacionais de Contingência e Planos de Emergência Individuais.

A Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil por Danos Causados por Poluição por Óleo de 1969 ou **CLC 69** (*International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage*), realizada em Bruxelas e atualizada em 1976 e 1992 foi promulgada no Brasil pelo Decreto Federal nº 79.437 de 1977 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 83.540/79. Essa convenção buscou estabelecer o limite de responsabilidade civil por danos a terceiros em casos de acidentes com óleo e criou um fundo internacional compulsório para indenização das vítimas. Essa indenização é calculada de acordo com o volume interno da embarcação e possui um limite do valor pago.

Em casos que ultrapassam o limite estabelecido pela CLC 69 e a indenização não seja recebida, existe o Fundo Internacional de Compensação por Danos pela Poluição por Óleo (*IOPC Fund*), criado em 1971 e firmado por meio do patrocínio de empresas e pessoas jurídicas, de forma independente da Organização Marítima Internacional (IMO), que utilizam óleo cru e outros óleos pesados. Nesses casos, a avaliação dos danos socioambientais é realizada pela *International Tanker Owners Pollution Federation* (ITOPF).

A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios de 1973 ou **MARPOL 73/78** (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) foi realizada em Londres e atualizada em 1978 e 1984. Essa convenção buscou estabelecer regras para eliminação da poluição por navios e óleo, e é composta por seis anexos dinâmicos, que passam por atualizações em função das inovações e mudanças científicas, tecnológicas e políticas. O Brasil é signatário e sua promulgação se deu por meio do Decreto Legislativo nº 60 de 1995 e Decreto Executivo nº 2.508 de 1998, com restrições, pois partes do acordo são opcionais.

Os Anexos da MARPOL tratam sobre regras para os seguintes assuntos:

- a) Anexo I: Poluição por lançamento de óleo;
- b) Anexo II: Poluição por substâncias líquidas nocivas transportadas a granel;
- c) Anexo III: Poluição por substâncias líquidas nocivas transportadas em fardos, contêineres ou tanques;
- d) Anexo IV: Poluição por lançamento de esgoto de navios;

- e) Anexo V: Poluição por lançamento de resíduos sólidos de navios;
- f) Anexo VI: Poluição por emissão de gases de navios e redução de gases de efeito estufa.

A Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo de 1990 ou **OPRC 90** (*International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-Operation*) foi criada após os acidentes com óleo no Alasca e durante a Guerra do Golfo Pérsico e o Brasil é signatário, ratificado pelo Decreto Legislativo nº 43 de 1998 e promulgado pelo Decreto Executivo nº 2.870 de 1998. Essa convenção é considerada a principal em relação a derramamentos de óleo e orientou os países signatários sobre os procedimentos de prevenção e combate, colocando em evidência os Planos Nacionais de Contingência e as Cartas de Sensibilidade ao Óleo. Além disso, trata sobre a cooperação internacional em casos de acidentes, na cooperação científica para a prevenção, e a colaboração da Organização Marítima Internacional para a promoção de informação, educação, treinamento e serviços em caso de acidentes.

Em âmbito nacional, o Brasil possui legislação a respeito da poluição por óleo no mar, algumas alinhadas aos tratados internacionais que participa. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a mais antiga legislação a respeito da poluição marinha é datada do século XIX. O Decreto Federal nº 3.334 de 05/07/1899, que aprova o regulamento para as Capitânicas dos Portos e, em seu artigo 176, proíbe o lançamento de lixo, cinzas, varreduras de porão e outros ao mar ou rio.

A Lei Federal nº 9.966/2000, conhecida como “A nova lei do óleo”, revogou a Lei Federal nº 5.357/67 e, em conjunto com os decretos Federais nº 4.136/2002, nº 4.871/2003 e nº 8.127/2013 são as principais legislações federais a respeito da poluição por óleo no mar.

A Lei do Óleo estabelece, em caráter obrigatório, que todas as instalações portuárias devem elaborar um Plano de Emergência Individual (PEI) para combate à poluição e dispor de meios para o recebimento e tratamento de resíduos das embarcações. Esses planos de emergência são consolidados em planos locais e regionais, para posteriormente consolidarem o Plano Nacional de Contingência.

Em consonância com a Marpol, a legislação estabelece que todos os navios e plataformas que transportam óleo e outras substâncias nocivas devem manter livros de registros com todas as informações sobre a carga e as operações realizadas,

sendo proibida a descarga dessas e outras substâncias perigosas em águas nacionais.

A Lei nº 9.996/00 tem seu papel reforçado na proteção do meio ambiente e na responsabilização de poluidores por meio do art. 26, que remete à Lei nº 9.605 de 1998, a Lei de Crimes Ambientais. Essa lei, que caracteriza crimes contra o meio ambiente, em seu Art. 54, penaliza os responsáveis pela poluição hídrica, que dificultem ou impeçam o uso público das praias, ou lancem óleos ou substâncias oleosas em desacordo com a lei, tendo como pena o pagamento de multa e reclusão de um a cinco anos.

Para a orientação do uso dos recursos na zona costeira de forma integrada às políticas nacionais de meio ambiente e para os recursos do mar o governo federal sancionou a Lei Federal nº7.661/98 que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). O plano busca realizar o zoneamento de usos e atividades da costa, de forma a garantir que essas atividades sejam realizadas de forma sustentável em relação aos recursos naturais renováveis e não renováveis, os sítios ecológicos e monumentos patrimoniais dessa área, conforme o estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

O PNGC também permite a instituição de Planos Estaduais e Municipais de Gerenciamento Costeiro, no Estado de São Paulo o plano é instituído pela Lei Estadual nº 10.019/98, que cria o Zoneamento Ecológico-Econômico para a região e cinco tipologias de zona:

A Z-1 é a mais restritiva e mantém os ecossistemas primitivos em equilíbrio e com uso permitido para preservação e conservação, pesquisa científica, educação ambiental entre outras atividades de baixos efeitos impactantes.

As demais zonas, Z-2, Z-3, Z-4 e Z-5 têm suas restrições reduzidas em ordem crescente e, de acordo com o impacto das atividades estabelecidas, sendo a Z-5 com a presença de atividades de maior impacto ambiental e consequente degradação do ecossistema e sua funcionalidade natural.

Outra legislação estadual que busca a proteção do meio ambiente é a Lei nº 9.346/96 que estabelece medidas preventivas para evitar poluição por óleo no litoral. A lei estabelece que as embarcações e instalações portuárias que manuseiam petróleo, seus derivados e outros produtos químicos devem adotar medidas preventivas para evitar acidentes além de dispor de equipamentos de combate e equipe técnica compatíveis com as quantidades manuseadas.

O CONAMA apresenta resoluções que tratam sobre a questão da poluição marinha por óleo e produtos químicos e sobre a segurança de instalações portuárias por meio dos Planos de Emergência Individual estabelecidos pela legislação federal.

A resolução CONAMA nº393/07 trata sobre o descarte contínuo da água produzida junto com o petróleo durante o seu processo em plataformas marítimas, e estabelece um limite mensal de vinte e nove miligramas por litro de óleos e graxas na água descartada do processo. A resolução também veda o lançamento em locais que estejam dentro do raio de dez quilômetros de unidades de conservação e cinco quilômetros de áreas ecologicamente sensíveis.

Os Planos de Emergência Individuais de instalações portuárias e semelhantes são tratados pela resolução nº 398/08 que dispõem sobre os conteúdos mínimos do PEI e sua elaboração. Deve ser apresentado no processo do licenciamento ambiental do empreendimento e deve constar, minimamente, a identificação do empreendimento, cenários acidentais, informações e procedimentos para resposta em todas as etapas, como: interrupção da descarga, contenção, recolhimento, limpeza, destinação, monitoramento, proteção de áreas vulneráveis, populações e fauna.

Como parte do Plano de Emergência Individual das instalações, é necessário descrever os procedimentos de dispersão física e química do óleo. No caso da dispersão química no mar, existe a resolução do CONAMA nº 472/15 que trata sobre esse tema.

Essa resolução é restritiva quando ao uso desse tipo de técnica devido aos seus impactos ambientais e exige prévia comunicação ao órgão ambiental federal, além de só ser permitida em casos em que demais técnicas como as mecânicas, de contenção e recolhimento não são efetivas. A aplicação de dispersantes químicos é liberada em hipóteses de deslocamento da mancha para áreas ambientalmente sensíveis, vazamentos contínuos, aplicações subaquáticas em poços de petróleo em descontrole e em óleo emulsionado/ intemperizado.

## **5.2 Histórico de acidentes no Estado de São Paulo**

As atividades do setor do petróleo no litoral do estado de São Paulo tiveram seu início na década de 1930. Na época, grandes navios petroleiros com oitenta e

cinco mil toneladas dirigiam-se para o canal de São Sebastião para fazer o transbordo do material para navios menores, com até vinte e cinco mil toneladas, que conseguiam adentrar no Estuário de Santos, onde podiam atracar nos Terminais Aquaviários da Ilha do Barnabé. Essa operação foi comum até 1968, como o início das operações do Terminal Aquaviário de São Sebastião Almirante Barroso, o TEBAR (CETESB, 2012).

Com a concentração de atividades nessas áreas, a maioria dos casos de acidentes ocorreu nessa região, sendo o primeiro registro de 1951, com o incêndio do petroleiro norte americano *Cerro Gordo* no terminal da Ilha Barnabé ao descarregar derivados de petróleo (CETESB, 2012).

No Porto de Santos, houve o incêndio do petroleiro Guaporé em setembro de 1969, que foi contido com auxílio da equipe de segurança da Ilha Barnabé (CETESB, 2012).

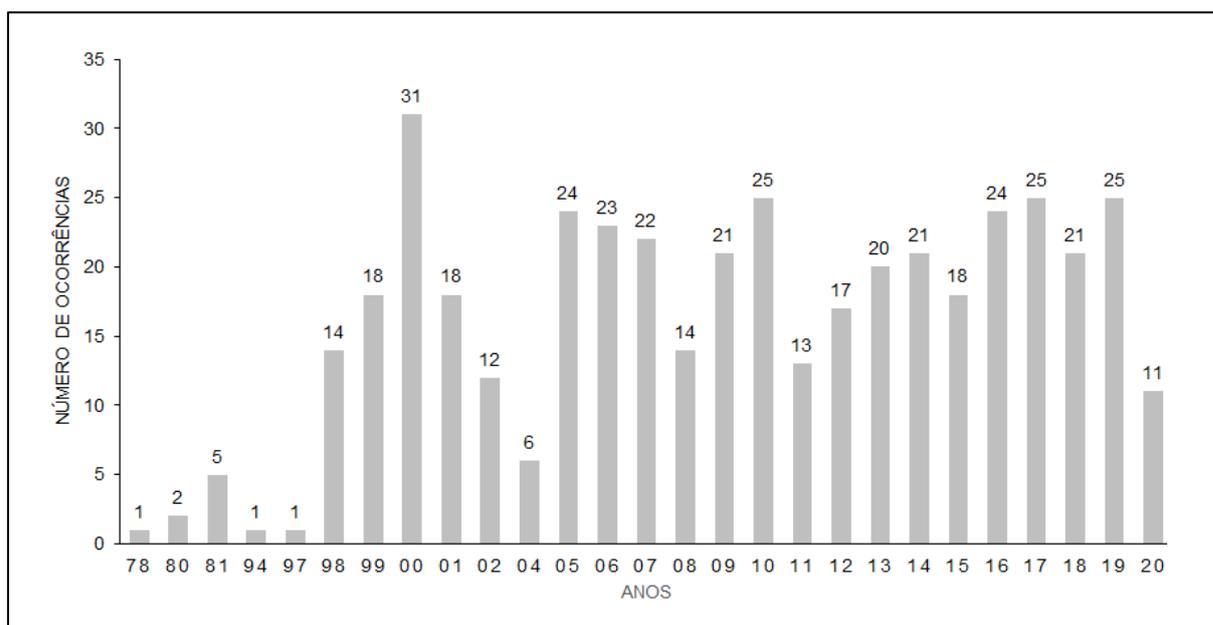
No ano de 1974 foram registradas três ocorrências: em janeiro o cargueiro *Ais Georgius* incendiou-se de forma espontânea no Porto de Santos; em julho a explosão de um tanque de armazenamento na Ilha do Barnabé causou o vazamento de 3 150 L de tolueno; e em agosto o petroleiro *Takimyia Maru* chocou-se com uma rocha no Canal de São Sebastião causando o rompimento do casco e vazamento de seis mil toneladas de petróleo para o mar (CETESB, 2012).

Em janeiro de 1978, o petroleiro *Brazilian Marina* rompeu o casco ao se chocar com uma rocha no Canal de São Sebastião e liberou seis mil toneladas de petróleo no mar, atingindo diversas praias, em especial as de Ubatuba. No mesmo ano, no Terminal de São Sebastião houve a explosão do petroleiro Visconde de Cairú após colisão com o píer do terminal (CETESB, 2012)

A partir de 1978, a CETESB passou a ter um setor para operações de emergência e, a partir da década de 1980, passou a produzir relatórios técnicos e implantou o Sistema de Informações de Emergências Químicas – SIEQ, com informações sobre acidentes envolvendo diversos produtos, entre eles, derivados de petróleo.

A partir da base de dados, é possível acompanhar as ocorrências no litoral do estado com contaminação do meio aquático, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Registro de ocorrências com contaminação do meio aquático no litoral de SP entre 01/01/1978 e 01/08/2020



Fonte: CETESB (2020). Elaborado pelo autor.

Dentre os municípios do litoral do estado com maior número de ocorrências, Santos, São Sebastião e Cubatão apresentam a maioria envolvendo a contaminação do meio aquático no período registrado conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Ocorrências com contaminação do meio aquático nos municípios do litoral de SP entre 01/01/1978 e 01/08/2020

Municípios	Número de ocorrências	Porcentagem do total
Total	433	100%
Santos	184	42%
São Sebastião	65	15%
Cubatão	61	14%
Guarujá	48	11%
Caraguatatuba	17	4%
São Vicente	16	4%
Ubatuba	12	3%

Tabela 3 – Ocorrências com contaminação do meio aquático nos municípios do litoral de SP entre 01/01/1978 e 01/08/2020

		(conclusão)
Bertioga	8	2%
Ilhabela	7	2%
Itanhaém	6	1%
Praia Grande	4	1%
Cananéia	2	0%
Mongaguá	1	0%
Peruíbe	1	0%
Cajati	1	0%

Fonte: Sistema de Informações sobre Emergências Químicas da CETESB, 2020.

Os municípios compreendidos na área de estudo: Santos, Cubatão, Guarujá, São Vicente e Praia Grande, que são responsáveis, em conjunto, por mais de 70% das ocorrências dos últimos anos. E grande parte dessas ocorrências envolvem petróleo, seus derivados e combustíveis (Tabela 4).

Tabela 4 – Produtos mais envolvidos em ocorrências com contaminação do meio aquático nos municípios da área de estudo

Produto	Total	Santos	Cubatão	Guarujá	São Vicente	Praia Grande
Óleo diesel	50	28	11	4	5	2
Óleo combustível marítimo	28	21	1	6	0	0
Óleo diesel marítimo	24	16	1	5	2	0
Resíduo oleoso	20	12	2	5	1	0
Óleo lubrificante	17	4	4	7	2	0
Óleo combustível	14	12	2	0	0	0
Gasolina	11	7	0	2	2	0
Misturas oleosas	10	9	0	1	0	0

Produtos com mínimo de dez ocorrências totais contadas no Período entre 01/01/1978 e 01/08/2020.  
Fonte: Adaptado de Sistema de Informações sobre Emergências Químicas da CETESB, 2020.

Em setembro de 2019 um acidente com o derramamento de óleo no atingiu 11 estados do Brasil, principalmente na região Nordeste. As manchas estenderam-se por mais de 2.500 km da costa, atingindo diferentes ecossistemas sensíveis, como manguezais, e áreas protegidas. Estima-se uma quantidade superior a quatro mil toneladas de petróleo bruto atingiram a costa brasileira (ESCOBAR, 2019).

Os locais atingidos, além de altos níveis de desigualdade social e pobreza, apresentam atividades de pesca artesanal, turismo, esportes náuticos, entre outras dependentes dos recursos naturais contaminados (SOARES *et al.*, 2020).

As fontes do óleo são desconhecidas e o caso foi dado como encerrado no início de abril do ano seguinte, pelo Grupo de Acompanhamento e Avaliação (GAA) do Governo Federal, composto pela Marinha, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

### **5.3 Cartas SAO: Histórico e importância**

Segundo Wieczorek (2006), os primeiros estudos sobre a sensibilidade dos ambientes costeiros ao óleo são datados da década de 70, com Gundlach e Hayes (1978) e o sistema de classificação da sensibilidade ambiental baseado nas interações da linha de costa com os processos físicos de deposição e persistência do óleo nos ambientes.

No sistema proposto, o hidrodinamismo é avaliado de acordo com a energia das ondas e marés. Quanto maior é essa energia, maior é a ação natural de limpeza do ambiente, tornando esse local menos vulnerável com a redução do tempo de permanência do óleo (GUNDLACH; HAYES, 1978; WIECZOREK, 2006).

O tipo de substrato é um parâmetro relacionado à penetração do óleo, sendo o substrato consolidado o menos vulnerável e os inconsolidados mais vulneráveis, de acordo com a ordem crescente de granulometria (WIECZOREK, 2006).

Nos anos seguintes surgiram outros estudos semelhantes, como Owens e Robilliard (1981) contribuindo com a importância das características biológicas na classificação da sensibilidade, além das características geomorfológicas. O detalhamento sobre locais de alimentação e reprodução da biota e os recursos humanos, critérios de limpeza foram introduzidos (OWENS; ROBILLIARD, 1981; WIECZOREK, 2006).

Abdel-Kader *et al.* (1998), a partir do índice proposto por Gundlach e Hayes (1978), propuseram uma classificação de sensibilidade do litoral com uso de SIG para um parque nacional do Egito. Encontraram três classes de áreas com prioridade de proteção após a combinação de elementos culturais, sociais, econômicos, científicos, ecológicos e recreacionais (WIECZOREK, 2006).

O Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) publicou em 2002 um manual para padronização dos mapeamentos de sensibilidade ao óleo no país. No Brasil, o estudo de Araújo (2002) é um dos primeiros do país na busca da padronização do modelo das Cartas SAO, baseando-se no manual de NOAA (2002) (OLIVEIRA, 2014).

Em 2004, o Ministério do Meio Ambiente publicou as especificações e normas técnicas para elaboração das cartas SAO no Brasil e em 2007 a CETESB lançou o manual de orientação sobre a limpeza de ambientes costeiros contaminados por óleo. Essas publicações foram importantes para normatizar e orientar trabalhos sobre essa temática.

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, Cartas SAO, são documentos cartográficos que apresentam informações ambientais relevantes para casos de derramamento de óleo. Elas constituem uma importante ferramenta na tomada de decisão apresentando dados sobre áreas mais sensíveis, a biota, e os recursos socioeconômicos (MULER *et al.*, 2011).

As Cartas SAO armazenam informações sobre o meio físico, a biota e os recursos socioeconômicos, sendo parte indissociável dos planos de contingência dando suporte a tomada de decisão em incidentes de poluição por óleo (MMA, 2004).

No combate a um derramamento de óleo no mar, é prioritário realizar a contenção e a remoção *in situ*, evitando a contaminação da costa e a necessidade de limpeza. Entretanto, em casos em que isso ocorre, é necessário conhecer a vulnerabilidade dos ambientes atingidos para a definição de áreas prioritárias de proteção e áreas de eventuais sacrifícios e o uso de técnicas adequadas e ambientalmente eficientes (CETESB, 2007).

Segundo a Associação Global da Indústria de Petróleo e Gás para questões ambientais e sociais, IPIECA (2012), o uso de sistemas de informações geográficas (SIG), na confecção das Cartas SAO apresenta uma série de vantagens, como

armazenamento de grandes quantidades de informações, velocidade de atualização e a realização cálculos estatísticos com os dados (IPIECA; IMO; OGP, 2012).

As Cartas SAO são confeccionadas em três escalas: estratégica, tática e operacional. A escala estratégica é da ordem de 1:500 000 e abrange toda a área da bacia marítima, que é a unidade cartográfica do sistema. A escala tática é em ordem de 1:150 000 para todo o litoral da bacia e a escala operacional é em ordem de 1:10 000 a 1:50 000, para locais de alto risco/sensibilidade (MMA, 2004).

Segundo o MMA, as ordens de grandeza dos derramamentos de óleo, em função do volume derramado segue o Quadro 4.

Quadro 4 – Ordem de grandeza de derramamentos de óleo em função do volume derramado

<b>Tipo</b>	<b>Volume derramado</b>
Descargas pequenas	Até 7 toneladas
Descargas médias	De 7 toneladas a 700 toneladas
Grandes descargas	Acima de 700 toneladas

Fonte: MMA, 2004.

Na Carta SAO, a linha de costa é representada por uma linha que contorna o continente. Essa linha é segmentada de acordo com seu valor no ISL e recebe a cor correspondente (MMA, 2004).

Segundo as especificações do manual brasileiro, as características geomorfológicas considerados no ISL são: o grau de exposição à energia das ondas e marés; a declividade do litoral; e o tipo do substrato. Esses fatores permitem a previsão de padrões de comportamento do óleo, de transporte de sedimentos e impactos na biota.

A exposição à energia das ondas e marés é um fator relacionado ao tempo de permanência do óleo no ambiente: quanto maior a exposição à energia, maior é a capacidade natural de limpeza do ambiente, diminuindo o tempo de permanência do óleo (MMA, 2004).

A energia das ondas gera limpeza natural durante o impacto e sua reflexão pode afastar o óleo. A energia das marés, em conjunto com a declividade, determina

a superfície potencial de contaminação de acordo com a largura da zona intermarés (MMA, 2004).

A declividade do litoral é um fator relacionado a quebra e reflexão das ondas e, em conjunto com a energia das marés, influencia na largura da zona intermarés. A inclinação do litoral é classificada como alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e pequena ou plana (menor que 5°) (MMA, 2004).

Litorais que apresentam alta declividade rompem as ondas de forma abrupta, com tendência a remover naturalmente o óleo de forma rápida. Litorais planos ou com baixas declividades apresentam menor capacidade de limpeza natural, mantendo o óleo por mais tempo (WIECZOREK, 2006).

O tipo de substrato influencia parâmetros como: permeabilidade, mobilidade do sedimento, permanência do óleo e determina a trafegabilidade para equipamentos de resposta (MULER, 2008).

Os substratos consolidados apresentam resistência à penetração, por isso a ação do óleo será influenciada pela textura, rugosidade e fragmentação da superfície (PERINOTTO, 2010a).

Os substratos inconsolidados que apresentam maior granulometria possuem alto potencial de penetração do óleo, em relação ao de menor granulometria, devido ao espaço intersticial entre os grãos. Também influenciam o diâmetro, esfericidade e uniformidade dos sedimentos (WIECZOREK, 2006).

A mobilidade do substrato é o parâmetro avaliado pelo movimento do substrato em função da ação das ondas e tempestades, esse movimento pode facilitar a remoção do óleo ou, ao contrário, causar seu enterramento (MMA, 2004).

A relação entre essas informações do meio físico permite prever padrões de comportamento do óleo derramado e de transporte de sedimentos nos ambientes. A partir do resultado dessa combinação, os ambientes são agrupados de acordo com sua sensibilidade em escala crescente de 1 a 10, em um sistema denominado Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL).

O Quadro 5 apresenta o agrupamento de ambientes costeiros pelo Índice de Sensibilidade do Litoral, sua cor e seu respectivo código no sistema RGB.

Quadro 5 – Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL): cores e ambientes costeiros

ISL	Cor RGB	Ambientes Costeiros
1	119	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos
	38	Falésias em rochas sedimentares, expostas
	105	Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
2	174	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos
	153	Terraços ou substratos de declividade média expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado etc.)
	191	
3	0	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas
	151	Faixas arenosas contíguas a praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "Long Beach")
	212	Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos
		Campos de dunas expostas
4	146	Praias de areia grossa
	209	Praias intermediárias de areia fina a média, expostas
	241	Praias de areia fina a média, abrigadas
5	152	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais
	206	Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação
	201	Recifes areníticos em franja
6		Praias de cascalho (seixos e calaus)
	0	Costa de detritos calcários
	149	Depósito de tálus
	32	Enrocamentos ("Rip Rap", guia corrente, quebra-mar) expostos
		Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
7	214	Planície de maré arenosa exposta
	186	Terraço de baixa-mar
	0	

Quadro 5 – Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL): cores e ambientes costeiros

(conclusão)

8	225	Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada
	232	Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada
	0	Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados
	0	Enrocamentos ("Rip Rap" e outras estruturas artificiais não lisas), abrigados
9	248	Planície de maré arenosa/ lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas
	163	Terraço de baixa-mar lamoso abrigado
	0	Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
10	214	Deltas e barras de rio vegetadas
	0	Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas
	0	Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado
	24	Apicum
	0	Marismas
	0	Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Fonte: MMA, 2004.

No mapeamento realizado por PETROBRAS/CENPES (2020) cada um dos índices de sensibilidade do litoral teve seus ambientes costeiros enumerados em ordem alfabética, de forma a padronizar um código para cada ambiente associado a seu ISL.

Os valores do ISL são determinados de acordo com as características geomorfológicas locais e, portanto, não representam a sensibilidade do ambiente ao óleo associada aos recursos biológicos e socioeconômicos, também representados nas Cartas SAO.

Os recursos biológicos das Cartas SAO representam aqueles com maior risco em caso de derramamentos de óleo. Esse risco é identificado em locais com: alta concentração de indivíduos; ocorrência de fases ou atividades mais sensíveis do seu ciclo de vida; e as espécies protegidas, raras, ameaçadas ou em perigo de extinção.

A representação é feita por círculos redondas, preenchidas em cor RGB específica e com ícone representativo do grupo (ou subgrupo, caso exista). O Quadro 6 apresenta os grupos de recursos biológicos e sua coloração específica de ícone.

Quadro 6 – Grupos de recursos biológicos representados nas Cartas SAO e suas respectivas cores

Cor RGB	Grupo de Recursos Bióticos
136 185 0	Aves
215 153 52	Mamíferos (aquáticos e terrestres)
0 159 230	Peixes
180 165 40	Invertebrados marinhos (moluscos, crustáceos e equinodermos)
216 0 67	Répteis e anfíbios
168 0 102	Algas e plantas marinhas submersas
255 184 0	Recifes de corais, recifes algálicos e outros recifes orgânicos
10 155 245	Plâncton (ictio, zoo e fito) marinho
210 210 210	Outros grupos bentônicos
0 0 0	Grupos de múltiplos recursos

Fonte: MMA, 2004.

As Cartas SAO são acompanhadas de tábuas de dados contendo detalhes dos recursos biológicos. A representação de áreas de nidificação, reprodução e alimentação são representadas por ícones redondos, sem preenchimento, com estampas na cor do grupo. O formato das estampas pode ser de: círculos; losangos ou quadrados, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Ícone de representação de áreas importantes para os recursos biológicos



A cor dos ícones deve seguir o padrão do Quadro 6. Na figura, a cor dos ícones representa o grupo dos mamíferos. Fonte: MMA, 2004.

Os recursos socioeconômicos são apresentados nas Cartas SAO por ícones em preto e branco de acordo com o subgrupo. Os grupos são: Recreação, Áreas sob gestão especial, Uso/ extração de recursos naturais, Cultural, Transporte e Resposta, e apresentam diversos subgrupos cada, de acordo com a temática do grupo.

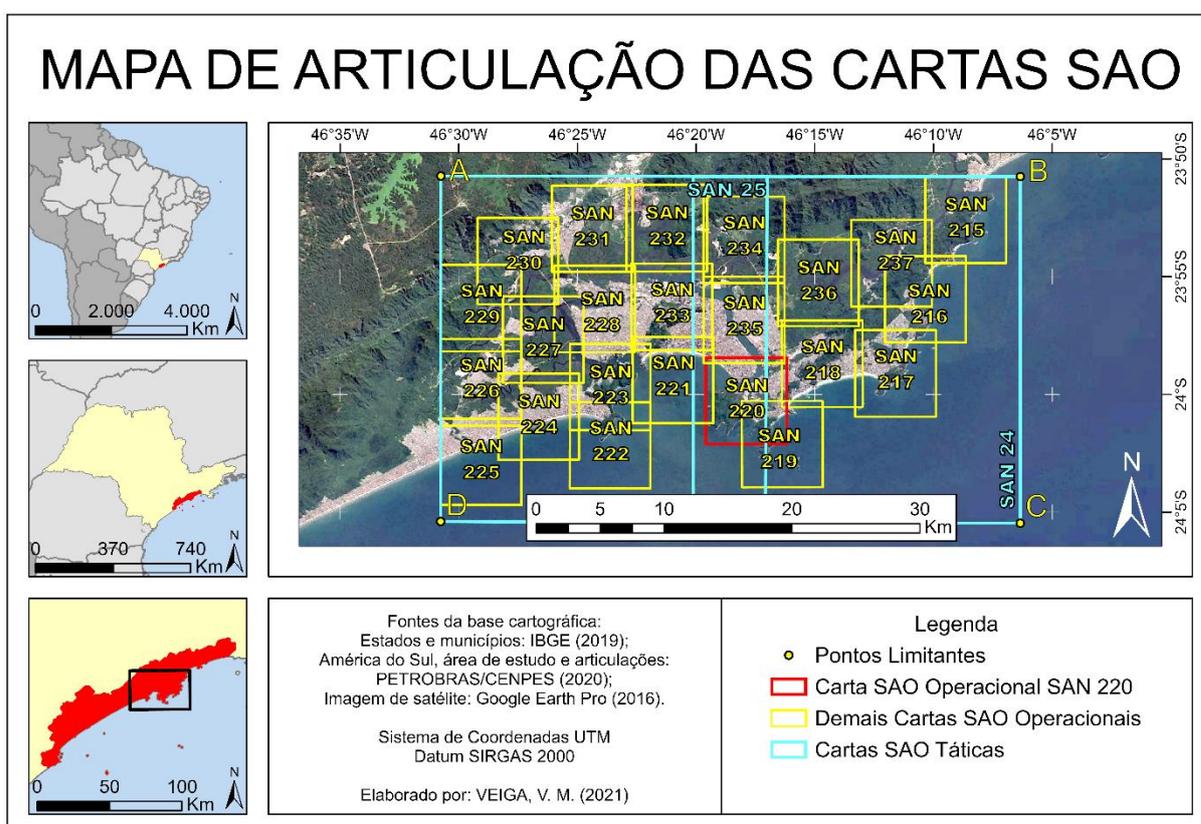
Os recursos socioeconômicos apresentam subgrupos como praia, pesca artesanal, comunidade tradicional, hospital, área protegida, mineração, refinaria e terminal de petróleo, casa, entre diversos outros que representem pontos de interesse.

Um exemplo de Carta SAO com representação dos ISLs, dos aspectos bióticos e socioeconômicos pode ser visualizado na Figura 7.



O conjunto de mapas realizado por PETROBRAS/ CENPES (2020) na área de estudo compreendeu 2 Cartas SAO Táticas, na escala 1:100 000 e 23 Cartas SAO Operacionais, na escala 1:25 000. As cartas foram numeradas sequencialmente de norte a sul e de leste a oeste e distribuídas de forma a permitir áreas de sobreposição entre as cartas, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Mapa de articulação das Cartas SAO



Fontes: conforme figura.

#### 5.4 Comportamento geral do óleo

No contexto da legislação brasileira, óleo é qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e derivados), óleo cru, óleo combustível, borra, resíduos de petróleo e produtos refinados. Com essa diversidade de materiais, em caso de derramamento de óleo a análise é fundamental para sua caracterização (BRASIL, 2000).

A caracterização e identificação do óleo auxiliam na previsão do seu comportamento subsidiando o planejamento de técnicas e equipamentos adequados

à situação. As principais características avaliadas são: densidade relativa, persistência, viscosidade, ponto de fulgor, solubilidade e tensão superficial (CETESB, 2007).

A densidade relativa é uma grandeza adimensional obtida pela razão entre a densidade do óleo e a da água pura. Esta grandeza é representada pela unidade grau API, estabelecida pelo Instituto Americano do Petróleo (American Petroleum Institute – API) e adotada internacionalmente (POFFO, 2000).

A persistência dos óleos é avaliada de acordo com a meia vida do material no ambiente. O óleo pode ser classificado em persistente ou não-persistente (CETESB, 2007).

Os não-persistentes são os compostos leves e altamente voláteis, com meia vida entre 24 e 48 horas. Estão agrupados no Grupo I da (CETESB, 2007).

Os persistentes são os óleos crus e os mistos de compostos leves, médios e pesados. Estes apresentam meia vida mais elevada e precisam ser removidos dos ambientes costeiros pois sufocam os organismos (CETESB, 2007).

A viscosidade é a propriedade do óleo de resistir ao escoamento representada pela unidade centistoke (cSt). É influenciada pela temperatura ambiente e composição de componentes aromáticos do óleo – o aumento da viscosidade ocorre com o aumento de temperatura, e vice-versa (CETESB, 2007; POFFO, 2000).

A partir das características citadas anteriormente os principais óleos foram classificados em quatro grupos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação internacional de óleos mais transportados por via marítima

<b>Grupo</b>	<b>Densidade Relativa</b>	<b>°API</b>	<b>Meia-Vida</b>	<b>Viscosidade (10-20°C)</b>
1	<0,8	> 45	~ 24 h	< 3 CSt
2	0,80 < 0,85	35 A 45	~ 24 h	4 CSt
3	0,85 < 0,95	17,5 A 35	~ 48 h	8 CSt
4	> 0,95	< 17,5	~ 72 h	1500 CSt

A classificação dos óleos baseia-se na densidade relativa, viscosidade e grau API. Fonte: (CETESB, 2007; ITOPI, 2011).

Ocasionalmente, considera-se um quinto grupo para óleos combustíveis muito pesados, com densidade relativa maior que 1 e grau API menor que 10. Esse grupo

de óleos tende a afundar devido a sua densidade ser maior que a densidade da água marinha (ITOPF, 2011).

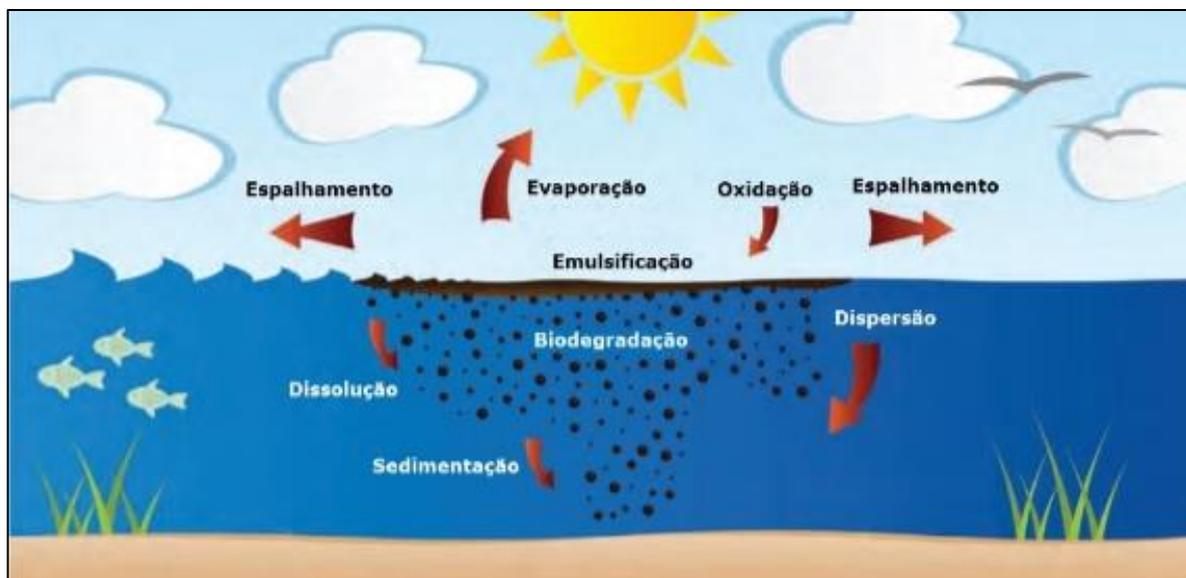
Segundo o manual publicado por CETESB (2007), a caracterização do óleo também compreende a avaliação de:

- a) Ponto de fulgor (Flash Point): é a menor temperatura na qual uma substância libera vapores em quantidades suficientes para que a mistura de vapor e ar logo acima de sua superfície propague uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição. A periculosidade é aumentada em casos com óleos de baixo ponto de fulgor pois a concentração de compostos voláteis gera uma nuvem inflamável nos primeiros momentos do acidente.
- b) Solubilidade: é a quantidade de soluto que dissolve em uma quantidade de solvente. A solubilidade do óleo é baixa em água, entretanto alguns compostos leves podem ter solubilidade maior, como a gasolina;
- c) Tensão superficial: é a força de atração entre as moléculas na superfície e determina o espalhamento, em conjunto com a viscosidade e em função da temperatura ambiente.

Imediatamente após um vazamento de óleo no mar inicia-se o intemperismo deste poluente. Esse processo ocorre por meio de diferentes maneiras, conforme a Figura 9 e é influenciado pelas características físicas e químicas do óleo, das condições ambientais e pelo tempo decorrido. Os principais fatores ambientais a serem considerados no processo são: incidência solar, temperatura, ventos, correntezas e ondas.

Segundo Milanelli (2003), o processo de intemperismo pode elevar a densidade/viscosidade de um óleo enquanto reduz sua toxicidade. Os principais processos que podem ocorrer estão ilustrados na Figura 9.

Figura 9 – Processos de intemperismo que podem ocorrer em vazamentos de óleo no mar



Fonte: Marinha do Brasil, adaptado de ITOPF (2011).

Após um acidente, os principais processos que atuam são: espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução, com o aumento do tempo de permanência do óleo no ambiente, processos como oxidação, sedimentação e biodegradação tomam parte no processo de intemperismo.

O espalhamento do óleo é influenciado pela viscosidade do material com auxílio da força das correntezas e marés. Óleos com alta viscosidade tendem a espalhar menos na superfície acumulando-se em camadas mais espessas, enquanto aqueles com menor viscosidade tendem a espalhar-se mais e de forma uniforme por toda a superfície (ITOPF, 2011).

A evaporação dos compostos voláteis da mancha de óleo ocorre em condições de temperatura elevada, baixa umidade relativa e alta incidência de raios solares, que em conjunto fazem esses compostos serem liberados para a atmosfera (CETESB, 2007).

A força de dispersão das ondas, correntezas e ventos influencia na fragmentação da mancha de óleo em partículas menores, mais suscetíveis a processos como dissolução, sedimentação e biodegradação. A dispersão também pode ser causada pela passagem de embarcações ou pela aplicação de produtos químicos com essa finalidade (CETESB, 2007).

O óleo em contato com a água pode sofrer o processo de emulsificação, em que absorve parte da água e expande seu volume, compondo uma emulsão viscosa de difícil degradação (MILANELLI, 2003).

A dissolução do óleo na água é um processo que depende de fatores como a temperatura e turbulência da água e a composição do óleo. Como óleos leves tendem a evaporar antes de dissolverem e óleos pesados tendem a ser insolúveis, é um processo que ocorre em caráter reduzido (ITOPF, 2011).

O processo de oxidação ou foto-oxidação ocorre com a incidência dos raios solares nas camadas externas de óleo na superfície do mar, aumentando a presença de oxigênio nos componentes e formando compostos solúveis e mais tóxicos (CETESB, 2007).

A sedimentação e o afundamento são processos que ocasionam a deposição do óleo no leito marinho. A sedimentação ocorre quando as partículas de óleo entram em contato com os sólidos presentes na lâmina d'água sedimentam e o afundamento ocorre em casos de óleos pesados e emulsões óleo e água com densidade superior à da água do mar (CETESB, 2007; ITOPF, 2011).

A sedimentação é mais efetiva em locais com grande presença de sólidos suspensos, como em estuários, fozes de rios e águas costeiras em relação às águas oceânicas (ITOPF, 2011).

O processo de biodegradação é realizado pela microbiota presente na água do mar, composta por uma diversidade de algas, bactérias, fungos, leveduras e protozoários capazes de transformar os componentes do óleo em dióxido de carbono e água. Ocorre na lâmina e na coluna d'água, no sedimento e nos ambientes costeiros contaminados (CETESB, 2007; ITOPF, 2011).

A biodegradação é influenciada pela temperatura da água e pela disponibilidade de oxigênio e nutrientes como nitrogênio e fósforo. O processo pode iniciar a partir da primeira semana de derramamento e persistir por até um ano (CETESB, 2007; MILANELLI, 2003).

Em casos de vazamento de óleo no mar é fundamental realizar a contenção e remoção do poluente do ambiente. A efetividade dessas atividades minimiza o impacto posterior nos ambientes costeiros, pois certamente essas áreas serão atingidas (CETESB, 2007).

## 5.5 O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) e os impactos do óleo nos ecossistemas costeiros

Com a contaminação dos ambientes costeiros, é necessário compreender como será o comportamento do óleo e quais alternativas são mais adequadas para mitigar os impactos ambientais. É de costume priorizar a agilidade na limpeza nos vazamentos de óleo com uso de técnicas e equipamentos que podem acabar gerando impactos adicionais nos ambientes. Segundo Lopes e Milanelli (2012):

[...] um procedimento de limpeza eficiente é aquele que possibilita a remoção do contaminante, com mínimos impactos adicionais ao ecossistema atingido e que favorece a recuperação do ambiente no menor tempo possível.

A linha de costa brasileira tem uma extensão de oito mil quilômetros, aproximadamente, e abriga uma variedade de ecossistemas costeiros com diferentes sensibilidades e comportamentos em casos de derramamentos de óleo. Um resumo dos principais ecossistemas, agrupados de acordo com sua sensibilidade, são apresentados abaixo.

Os ambientes menos sensíveis em casos de derramamento de óleo são aqueles expostos à ação das ondas, com declividade média a alta e impermeáveis. Essas características condicionam o óleo a permanecer apenas de forma superficial e com grandes chances de remoção natural. Costões rochosos lisos, falésias em rochas sedimentares e estruturas artificiais lisas, desde que sigam as condições explicitadas recebem o valor 1 no Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) (MMA, 2004).

Os costões rochosos são afloramentos de rochas na linha do mar, podem ser estruturas consolidadas, fraturadas ou composta por matacões e pedras roladas. Os costões com maior heterogeneidade e fraturas abrigam uma maior biodiversidade nesses espaços vazios (NASCIMENTO, 2008).

Em casos de acidentes com óleo, esses espaços vazios também podem abrigar o óleo, que penetra de forma que se torna inviável sua remoção. A permanência do óleo nesses ambientes causa o recobrimento físico dos animais, o que pode levar à morte por asfixia (MILANELLI, 2003).

O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de valor 2 contempla os substratos impermeáveis, sub-horizontais, expostos. Nesses ecossistemas, as características são semelhantes ao ISL 1, mas devido a menor declividade é possível que

permaneçam depósitos de óleo que necessitem ser removidos em áreas de recreação ou de proteção animal (MMA, 2004).

As dunas, restingas, escarpas e taludes íngremes e as praias dissipativas de areia média a fina são ecossistemas agrupados no ISL 3, considerados substratos semipermeáveis, com baixa penetração e soterramento de petróleo. Nestes ambientes a penetração máxima de óleo é 10 cm, e existe a possibilidade de tráfego de veículos (MMA, 2004).

A classificação das praias pode ser conforme o grau de exposição a ondas (exposta e abrigada), assim como na dissipação de energia das ondas. As praias com grandes declividades e pequenas zonas de arrebentação são consideradas reflexivas e as que apresentam baixa declividade e longas zonas de arrebentação são consideradas dissipativas (MULER, 2008).

As praias são ambientes costeiros com presença de sedimentos arenosos de granulometria variável. Essa composição torna o ambiente suscetível a retrabalhos por forças naturais de caráter eólico, biológico e hidráulico (WIECZOREK, 2006).

Praias com granulometrias elevadas apresentam uma maior declividade e uma menor diversidade e abundância específica, ao passo que as com menores granulometrias apresentam uma declividade menor e são biologicamente mais ricas (CETESB, 2007).

A granulometria tem influência direta na capacidade de penetração do óleo nesses ambientes: sedimentos com granulometria elevada apresentam maiores espaços intersticiais entre os grãos, o que favorece a percolação do óleo por esses espaços (WIECZOREK, 2006).

Os substratos sedimentares são divididos conforme o diâmetro do grão, de acordo com o Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação dos substratos sedimentares segundo sua granulometria

<b>Diâmetro (em mm)</b>	<b>Subdivisão</b>
< 0,06	Lama
< 0,06 a 1	Areia muito fina a média
1 a 2	Areia grossa
2 a 4	Grânulo
4 a 64	Seixos

Quadro 7 – Classificação dos substratos sedimentares segundo sua granulometria

(conclusão)

<b>Diâmetro (em mm)</b>	<b>Subdivisão</b>
64 a 256	Calhaus

Fonte: MMA, 2004.

Os ambientes agrupados no ISL 4 são aqueles considerados substratos de média permeabilidade com moderada penetração e soterramento de óleo. Contemplam: as praias com areia grossa, as praias intermediárias de areia fina a média, expostas e as praias de areia fina a média, abrigadas (MMA, 2004).

Nesses ambientes a penetração do óleo pode atingir até 25 cm de profundidade e o hidrodinamismo pode atuar para a remoção ou soterramento de óleo. O tráfego de veículos pode não ser possível (MMA, 2004).

Ambientes com ISL 5 e 6 apresentam sedimentos maiores que permitem uma penetração do óleo por cerca de 50 cm a 100 cm. Aqueles com média permeabilidade estão classificados no 5 e os com alta permeabilidade estão classificados no 6 (MMA, 2004).

Os ISL 5 e 6 agrupam: praias de cascalho ou mistas com areia, conchas e/ou fragmentos de corais; recifes areníticos em franja; costa de detritos calcários; depósito de tálus; enrocamentos expostos e plataformas ou terraços. A trafegabilidade nesses ambientes costuma ser baixa (MMA, 2004).

As planícies de maré e terraços de baixa mar são ambientes de baixa declividade expostos no período de baixa-mar compostos por sedimentos como silte, argila e partículas finas de areia. Esses ambientes apresentam baixa penetração do óleo no substrato, entretanto, como o tempo de permanência pode ser elevado, a depender da variação das marés, recebe o valor 7 no Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) (CETESB, 2007).

Os ambientes do ISL 7 apresentam grande diversidade biológica no substrato que podem ser impactados com pisoteio e maquinário pesado. Nesses casos a limpeza natural pode ser considerada uma alternativa, desde que com expressa autorização do órgão ambiental. A remoção manual do óleo pode ser considerada em casos intensos de poluição (CETESB, 2007).

Alguns dos ecossistemas citados em Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL) anteriores, considerados impermeáveis a moderadamente permeáveis, em casos de

estarem abrigados da ação das ondas apresentam maior sensibilidade. Esses ambientes são: as escarpas e encostas de rochas lisas e não lisas; as escarpas e taludes íngremes de areia e os enrocamentos (MMA, 2004).

Esses ecossistemas estão agrupados no ISL 8 onde o óleo costuma persistir devido ao reduzido hidrodinamismo e a limpeza é frequentemente necessária (MMA, 2004).

De forma semelhante ao item anterior, alguns ecossistemas, especialmente do ISL 7, quando abrigados das ondas, apresentam maior sensibilidade ao óleo. Os ambientes do ISL 9 são os substratos semipermeáveis planos, abrigados ou recifes com concreções bioconstrucionais, como: Planície de maré arenosa/ lamosa e áreas úmidas costeiras não vegetadas, terraços de baixa-mar lamosos e recifes areníticos com colônias de corais (MMA, 2004).

Esses ambientes apresentam uma lenta taxa de remoção natural e uma grande dificuldade de acesso tornam operações de limpeza impraticáveis (MMA, 2004).

Os ambientes costeiros mais sensíveis estão classificados no ISL 10, que compreende as zonas pantanosas com vegetação acima d'água. Esses ambientes são: deltas e barras de rios vegetadas, terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas, brejos salobros, apicuns, marismas, manguezais (MMA, 2004).

## **5.6 Ações de resposta a derramamentos de óleo**

Na ocasião de um vazamento de óleo no mar, a prioridade é realizar a contenção e remoção do material. Com um volume menor de contaminante no ambiente os possíveis impactos aos ecossistemas costeiros são reduzidos, e os recursos necessários para a limpeza dos ambientes podem ser alocados para proteção de áreas prioritárias (CETESB, 2007).

Mesmo com ações de contenção no mar, em muitos casos o óleo atinge a costa e outras ações de resposta precisam ser tomadas para mitigar os impactos ambientais. Considerando a grande variedade de ambientes costeiros existentes no Brasil, é fundamental conhecer as vantagens e desvantagens de cada ação de resposta em termos ambientais e seus possíveis impactos adicionais (LOPES; MILANELLI, 2012).

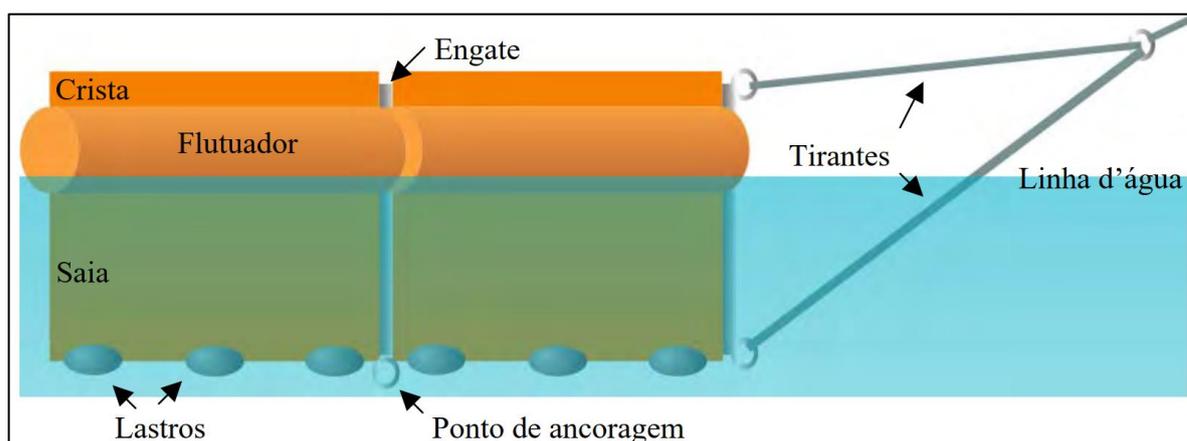
Como um vazamento de óleo pode atingir áreas de grandes extensões, é importante conhecer previamente ao acidente os locais prioritários para proteção e eventuais zonas de sacrifício, de acordo com suas características. As principais são: o tipo de ambiente costeiro, sua função ambiental e antrópica e a capacidade de atuação e infraestrutura no local – todas essas informações integram as Cartas SAO (NASCIMENTO, 2008).

As ações de resposta podem ser de contenção, remoção ou limpeza, e são aplicadas de acordo com a situação e particularidades do acidente, podendo apresentar modificações ou aplicação combinada. Após as ações de resposta, é importante realizar o gerenciamento dos resíduos oleosos coletados para garantir sua disposição final ambientalmente adequada.

As ações de contenção são aquelas tomadas imediatamente após o vazamento de óleo para controle da dispersão da mancha. Para isso são usadas as barreiras, geralmente em conjunto a recolhedores de óleo.

Existem diversos modelos de barreiras de contenção com diferentes características que permitem o uso em diferentes situações, entretanto a estrutura geral é semelhante e composta por barreiras modulares, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Estrutura básica de uma barreira de contenção de óleo



Fonte: Nascimento, 2008.

Os flutuadores mantêm a barreira na posição com auxílio dos lastros e ancoragens além de criarem uma borda acima do nível d'água que pode ser combinada com as cristas. A saia e os flutuadores conseguem conter o óleo dentro

da barreira evitando seu espalhamento e sua passagem por cima ou por baixo da estrutura.

Os engates permitem o aumento da extensão da barreira, unindo duas ou mais e os tirantes servem para fixar as extremidades da barreira em pontos fixos ou embarcações.

Existem diversos tipos de barreira, com diferentes características e formas, para cada tipo de situação. As principais descritas por Nascimento (2008) são:

- a) Barreiras do tipo cortina: é o modelo mais comum e seguro para contenção de óleo em águas agitadas, podendo ter flutuadores infláveis ou sólidos. Apresentam um grande volume e uma baixa resistência a abrasão.
- b) Barreiras do tipo cerca: é o modelo mais adequado para águas calmas, com flutuadores rígidos com grande capacidade de armazenamento e contenção de óleo.
- c) Barreiras do tipo absorventes: esse modelo é usado em conjunto com outro mais robusto de contenção em locais com baixa velocidade de corrente. É formado por um material absorvente hidrofóbico e oleofílico de origem natural ou sintética com capacidade de remover filmes de óleo,
- d) Barreiras de praia: É recomendada para praias e interfaces de transição entre a água e terra. Esse modelo é semelhante a barreira de cortina, mas apresenta uma saia dupla preenchida com água como lastro, que permite a adequação natural ao solo.
- e) Barreiras à prova de fogo: indicada para o caso de queima in situ, esse modelo é construído com materiais resistentes as chamas, o que permite a operação controlada de queima.
- f) Barreiras de bolhas: são indicadas para locais onde o tráfego não pode ser impedido. Uma tubulação posicionada no substrato recebe uma injeção de ar e forma uma cortina de bolhas que impede a fuga do óleo.

Após o uso das barreiras para contenção do poluente é necessário realizar a sua remoção o mais breve possível. Existem diferentes técnicas para situações em águas abertas ou na costa.

Os pompons assemelham-se às barreiras, mas apresentam função diferente: são materiais que, em contato com o óleo, são capazes de absorver grandes

quantidades de poluente. Sua disposição é semelhante a das barreiras e o seu uso pode ser combinado, posicionando os pompons no perímetro interno das barreiras de contenção (CETESB, 2007).

Além dos pompons, existem outros tipos de materiais que podem ser utilizados para absorver o óleo e facilitar o seu recolhimento. Esses produtos podem ser de origem sintética ou natural, e no segundo caso podendo ser mineral ou orgânico.

Os absorventes químicos apresentam componentes oleofílicos com alta capacidade de absorção, que se agregam ao óleo e facilitam sua remoção. Esses materiais podem ser constituídos por poliuretano, polietileno, polietileno e outros polímeros com baixa biodegradabilidade no ambiente (NASCIMENTO, 2008).

Os materiais orgânicos são mais adequados do ponto de vista ambiental pois causam menos impactos adicionais. A turfa vegetal é um material frequentemente utilizado nessas situações, mas existem outras opções como feno, cortiça, palha, bagaço de cana-de-açúcar e casca de coco (NASCIMENTO, 2008).

A fibra de *Cocos nucifera* é um material que apresenta lenta degradação natural no ambiente, podendo levar até oito anos para que o processo se complete. Sua reutilização como absorvente de óleo em casos de acidente é uma opção interessante devido a sua alta capacidade de absorção além de ser economicamente viável e ambientalmente adequada (CALDAS; VIANA; SANTOS, 2017).

Após a contenção do óleo é necessário removê-lo do ambiente, seja no mar aberto ou em ambientes costeiros, essa remoção pode ser feita de forma manual ou mecânica.

A remoção manual é feita com o uso de materiais simples como pás, rodos e rastelos, carrinhos de mão em locais com áreas de difícil acesso de maquinários. Em casos em que o óleo atinge a vegetação, a remoção manual também pode ser realizada com o corte seletivo da vegetação (LOPES; MILANELLI, 2012).

A remoção mecânica do óleo pode ser realizada por meio de diferentes métodos, conforme a situação.

Os recolhedores, também conhecidos como *skimmers* são mecanismos capazes de recolher a mancha óleo presente na superfície da água e podem atuar de duas formas: cilindros ou discos mecânicos que rotacionam recolhendo o óleo que adere à sua superfície, ou como um vertedor que coleta toda a água superficial do entorno. No modelo vertedouro, devido a grande quantidade de água recolhida com o óleo gera-se uma quantidade maior de resíduos oleosos (CETESB, 2007).

O bombeamento a vácuo do óleo é uma técnica de baixo impacto e que pode ser realizada com bombas portáteis ou em áreas com possibilidade de adentrar com caminhões-vácuo que realizam a sucção do poluente (MULER, 2008).

Para áreas coleta do óleo em abrigadas são usadas barcaças recolhedoras, conhecidas como *Oil Spill Responde Vessel* (OSVR). Essas embarcações são equipadas com esteiras rolantes que vão removendo o óleo de baixo para cima da superfície (CETESB, 2007).

Em situações em que grandes quantidades de óleo atingem a costa, são empregados maquinários pesados, como escavadeiras, para recolhimento do material. Entretanto essa técnica só é possível em locais que permitam a chegada e a atuação desse tipo de maquinário, além de apresentar impactos adicionais que podem agravar mais a situação do ambiente (NASCIMENTO, 2008).

O uso de maquinário pesado em algumas áreas, como praias, pode causar a compactação do solo, esmagamento da comunidade faunística do substrato e uma grande geração de resíduos devido a pouca seletividade da coleta com essas máquinas (NASCIMENTO, 2008).

Além das ações de contenção e remoção, as ações que buscam a limpeza do ambiente são aplicadas conjuntamente as demais. É importante ressaltar que as ações de limpeza muitas vezes podem causar impactos adicionais mais complexos que o próprio óleo, removendo a comunidade biológica presente e dificultando o retorno ao seu estado anterior.

Uma técnica de limpeza que causa poucos impactos adicionais é a limpeza natural pela força das ondas e marés, entretanto isso gera exposição e um consequente desgaste pela mídia, devido a uma cultura de que os ambientes devem apresentar-se visualmente limpos e no menor tempo possível (LOPES; MILANELLI, 2012). Ressalta-se que a limpeza natural ocorre em todos os ambientes, entretanto só deve considerada uma ação de resposta ao ser autorizada pelo órgão ambiental a partir de análises técnicas.

Os processos de limpeza que utilizam agentes químicos costumam apresentar bons resultados, entretanto, seu uso gera questionamentos devido aos impactos secundários que esses agentes podem causar as comunidades bióticas. As substâncias podem ter função gelatinizante, aglutinante ou dispersante, entretanto devido aos impactos o seu uso não é recomendado e é estritamente regulado pelas agências ambientais e pela resolução CONAMA nº 472/15.

Os agentes gelatinizantes são aqueles que, quando aplicados a mancha de óleo aumentam a polimerização dos hidrocarbonetos transformando a mancha em uma massa que consegue aprisionar até mesmo as porções mais voláteis do material. Os agentes aglutinantes repelem o óleo e são aplicados no entorno da mancha evitando o espalhamento e contendo quimicamente o material (NASCIMENTO, 2008).

Os dispersantes são agentes químicos que reduzem a tensão superficial do óleo, fragmentando a mancha em partículas menores que são mais facilmente degradáveis no ambiente (MULER, 2008).

O uso deve ser condicionado a uma avaliação do impacto do óleo com aplicação e sem aplicação do produto, evitando sua aplicação em situações ambientalmente desfavoráveis. As partículas de óleo no ambiente podem impactar a comunidade biológica afetando a cadeia trófica e causando a bioacumulação nos organismos (LOPES; MILANELLI, 2012).

A queima *in situ* do óleo no mar é uma técnica de limpeza com uma elevada taxa de remoção, porém causa impactos adicionais na atmosfera, liberando gases, fumos e cinzas prejudiciais. Essa técnica exige um distanciamento de áreas urbanizadas e locais com águas calmas (MULER, 2008).

Em alguns casos, o óleo adere a superfícies cuja remoção só é possível com uso da força mecânica de jatos de água ou areia, combinados ou não com outras substâncias como vapor, dispersantes ou surfactantes químicos (NASCIMENTO, 2008).

O jateamento das superfícies remove não somente o óleo, mas também as comunidades biológicas presentes. Em alguns casos, os impactos dessa técnica podem ser mais severos que o óleo pois o retorno das comunidades é prejudicado e muitas vezes o ambiente passa a ser estéril, dificultando ainda mais a recuperação ambiental (CETESB, 2007).

O processo de biorremediação de ambientes contaminados com óleo é uma área que vem sendo estudada e que apresenta grande potencial devido a sua alta efetividade e baixo impacto. A biorremediação no estado de São Paulo se dá somente pela bioestimulação da comunidade já presente no local, não sendo permitida a adição de cepas provenientes de laboratório (CETESB, 2007).

Existem diversos estudos que mostram a eficiência do uso da biorremediação de ambientes, especialmente estudos internacionais sobre a fisiologia, metabolismo e

ecologia de comunidades microbianas capazes de reduzir o potencial impactante do óleo no ambiente (MAPELLI *et al.*, 2017).

Os principais métodos de limpeza de óleo e os ambientes aos quais essas técnicas se aplicam podem ser observadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Principais métodos de limpeza e os ambientes costeiros aplicáveis

<b>Método de Limpeza</b>	<b>Ambientes Aplicáveis</b>
Absorventes	Áreas abrigadas em contaminação superficial do solo e em áreas restritas e específicas (praias, mangues, planícies de maré)
Remoção mecânica	Praias
Enterramento/ revolvimento do sedimento	Praias
Jateamento com água a alta ou baixa pressão	Costões rochosos e estruturas artificiais
Jateamento com areia	Costões rochosos e substratos artificiais
Jateamento com vapor	Costões rochosos e substratos artificiais
Remoção manual	Praia, manguezal, marisma, planície de maré, áreas menos acessíveis (costões rochosos)
Limpeza natural	Todos, desde que autorizado pelo órgão ambiental mediante estudos técnicos
Corte da vegetação	Mangues, marismas, estuários, lagoas costeiras ou mesmo margens de rios
Biorremediação	Todos
Queima <i>in situ</i>	Mar ou linha de costa
Dispersantes	Mar ou linha de costa

Fonte: Muler, 2008 (Adaptado).

Romero e Abessa (2014) elaboraram ícones de procedimentos de combate e limpeza de derramamentos de óleo para aplicação em Cartas SAO da região do Litoral Sul paulista, buscando facilitar a visualização das as ações de resposta recomendadas aos ambientes costeiros. Esses ícones estão expostos na Figura 11 e foram adaptados para este trabalho.

Figura 11 – Ícones de ações de resposta elaborados por Romero e Abessa

Ícone	Descrição	Ícone	Descrição
	Absorvente sintético		Limpeza natural
	Absorvente orgânico granel		Limpeza manual
	Absorvente inorgânico		Trincheiras
	Corte criterioso de vegetação		Dispersante
	Jato de água baixa pressão		Bombeamento à vácuo
	Jato de água alta pressão		Bioremediação
	Água corrente		Esteira recolhedora
	Remoção de sedimento		Barreira de contenção
	Skimmer		

Fonte: Romero e Abessa, 2014.

Independentemente do método utilizado, é imprescindível que toda a equipe que atua no acidente tenha equipamentos de proteção individuais (EPI) disponíveis e compatíveis com atividade, evitando contaminações pela toxicidade do óleo.

O gerenciamento de resíduos sólidos e oleosos em caso de acidentes é responsabilidade do poluidor e deve ser feito de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010, a resolução CONAMA 398/2008 sobre o PEI de instalações portuárias e com o órgão ambiental estadual, garantindo o correto armazenamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, especialmente aqueles considerados como resíduos perigosos, evitando novos impactos e contaminações (CETESB, 2007; MULER, 2008).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo apresenta linha de costa mapeada com 1.278,69 km de extensão composta por dezesseis ambientes costeiros distintos. Mais da metade do comprimento total representa ambientes de manguezais, considerados de alta sensibilidade ao óleo.

As áreas mapeadas como polígono compreendem uma área de 84,56 km<sup>2</sup>, distribuídas em quatro ambientes costeiros de ISL 9 e 10. Esses ambientes correspondem aos manguezais; banhados, brejos, margens de rios, lagoas costeiras e cordões arenosos vegetados; planície de maré arenosa ou lamosa, abrigada, e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas; Apicuns e marismas.

Os resultados encontrados para a linha de costa e para as áreas encontram-se sintetizados na Tabela 6.

Nos dados das Cartas SAO, os ambientes costeiros já recebem um valor de ISL, entretanto, como cada Índice pode abarcar diversos ambientes, cada um deles recebeu uma letra, delimitando o Sub-Índice de Sensibilidade do Litoral, formado pelo conjunto dos números e letra.

Tabela 6 – Distribuição quantitativa dos ambientes costeiros na área de estudo

Ambiente Costeiro	Sub ISL	Comprimento (Km)	Área (Km <sup>2</sup> )
Total.....		1278,69	84,56
Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos.....	1A	4,55	..
Estruturas artificiais lisas, expostas.....	1B	0,58	..
Costões rochosos lisos, de média a baixa declividade, expostos.....	2A	16,31	..
Praias dissipativas de areia média fina, expostas.....	3A	20,53	..
Praias de areia grossa.....	4A	2,41	..
Praias intermediárias de areia fina a média, expostas.....	4B	16,83	..
Praias de areia fina a média, abrigadas.....	4C	6,72	..
Praias de cascalho.....	6A	0,50	..

Tabela 6 – Distribuição quantitativa dos ambientes costeiros na área de estudo  
(conclusão)

Ambiente Costeiro	Sub ISL	Comprimento (Km)	Área (Km <sup>2</sup> )
Depósito de tálus ou costões rochosos não lisos, exposto.....	6B	40,70	..
Escarpa ou costões rochosos lisos abrigados.....	8A	1,20	..
Escarpa, costões rochosos não lisos ou depósito de tálus, abrigados.....	8B	6,86	..
Escarpas ou taludes íngremes de areia abrigado.....	8C	240,38	..
Estruturas artificiais abrigadas.....	8D	120,86	..
Planície de maré arenosa ou lamosa, abrigada, e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas.....	9A	102,89	2,63
Banhados, brejos, margens de rios, lagoas costeiras e cordões arenosos vegetados.....	10B	3,05	5,02
Apicuns e marismas.....	10C	..	2,53
Manguezais.....	10D	694,30	74,38

Fonte: Adaptado de PETROBRAS/CENPES (2020).

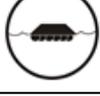
A compilação dos ambientes costeiros permite a avaliação das alternativas de limpeza e ações de combate aplicáveis a cada um. Para o conjunto de ambientes da área de estudo, recomenda-se as seguintes alternativas de operações de emergência, segundo CETESB (2007), que serão especificadas para os diferentes índices de sensibilidade e seus ambientes associados:

Uso de absorventes granulados ou mantas; barcas equipadas com esteiras recolhedoras de óleo; barreiras combinadas com elementos absorventes (ex. pompons); bombeamento a vácuo; corte controlado da vegetação; dispersantes; jateamento pressurizado; lavagem sem pressão; limpeza natural e remoção manual.

Os ícones dessas alternativas implementados na Carta SAO operacional encontram-se na Figura 12.

Apesar da quantidade de métodos apresentados como recomendados para a área de estudo, devido à diversidade e particularidade dos ambientes costeiros, sua aplicação só deve ocorrer nos locais indicados. A inexistência da contraindicação do uso não pode ser considerada como premissa para aplicação do método.

Figura 12 – Ícones de ações de resposta utilizados nas Cartas SAO

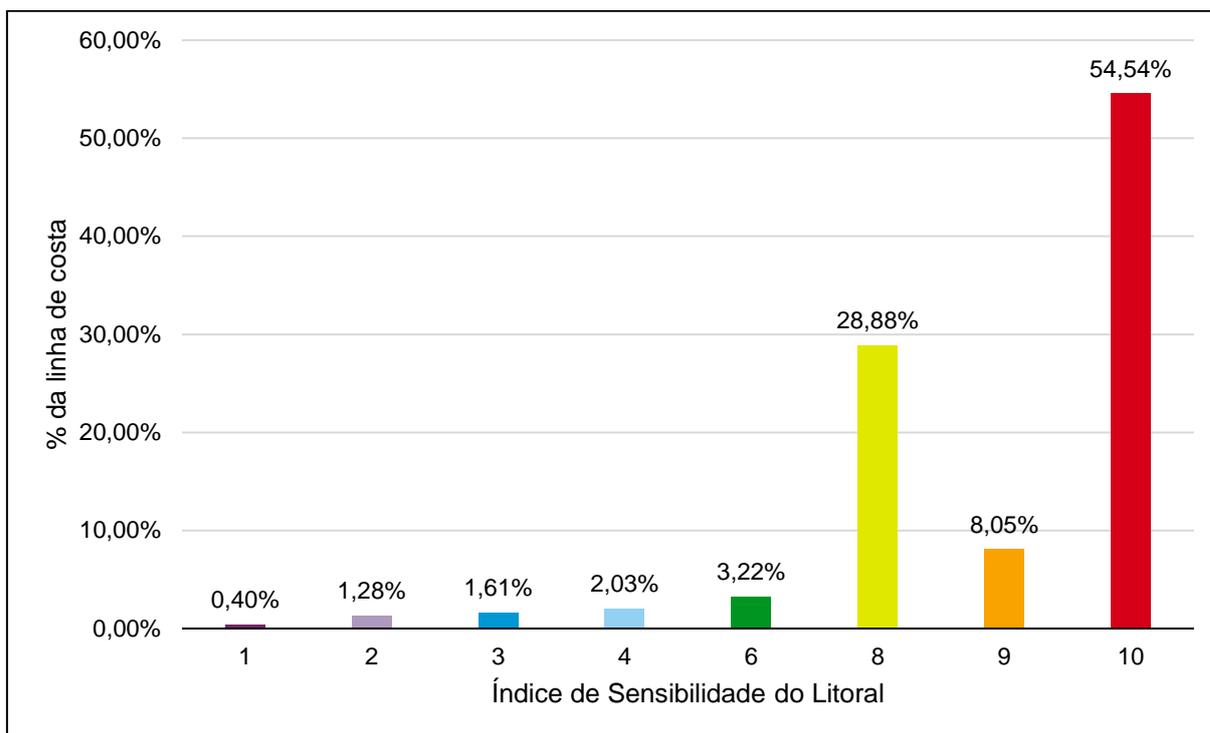
Ícone	Descrição	Ícone	Descrição
	Limpeza Natural		Lavagem sem pressão
	Remoção manual		Jateamento a baixa pressão
	Absorventes		Jateamento a alta pressão
	Bombeamento a vácuo		Esteira recolhadora
	Barreiras		Corte controlado da vegetação
	Skimmers		Dispersantes

Fonte: Adaptado de Romero e Abessa (2014).

Os resultados das análises mostram que a área de estudo contempla 16 ambientes costeiros diferentes. Esses ambientes estão distribuídos em oito dos dez índices de sensibilidade do litoral, com exceção dos ISL 5 e 7 que não foram mapeados na área de estudo.

A Figura 13 exibe a distribuição dos ambientes costeiros mapeados como linha na área de estudo. A área conta com expressiva presença de ambientes de sensibilidade ao óleo elevada, com mais de 90% dos 1.278 km totais de linha de costa distribuída entre os ISL 8, 9 e 10.

Figura 13 – Distribuição percentual dos ambientes costeiros na área de estudo



Fonte: Adaptado de PETROBRAS/CENPES (2020).

A partir dos resultados obtidos, foi possível definir as alternativas de resposta recomendadas para os ambientes da área de estudo de acordo com as particularidades de cada um deles.

A limpeza natural é tida recomendada apenas para os ambientes que se encontram nos ISL 1 e 10. No caso do ISL 1 devido à combinação de substrato, declividade e hidrodinamismo, a deposição e permanência do óleo no ambiente será bastante reduzida.

No caso do ISL 10, devido à alta sensibilidade dos ambientes, as ações de resposta podem causar mais impactos do que a permanência do óleo, especialmente quando envolvem o uso de maquinário pesado e/ou o pisoteamento do substrato desses ambientes, compactando o substrato e impactando a comunidade biológica.

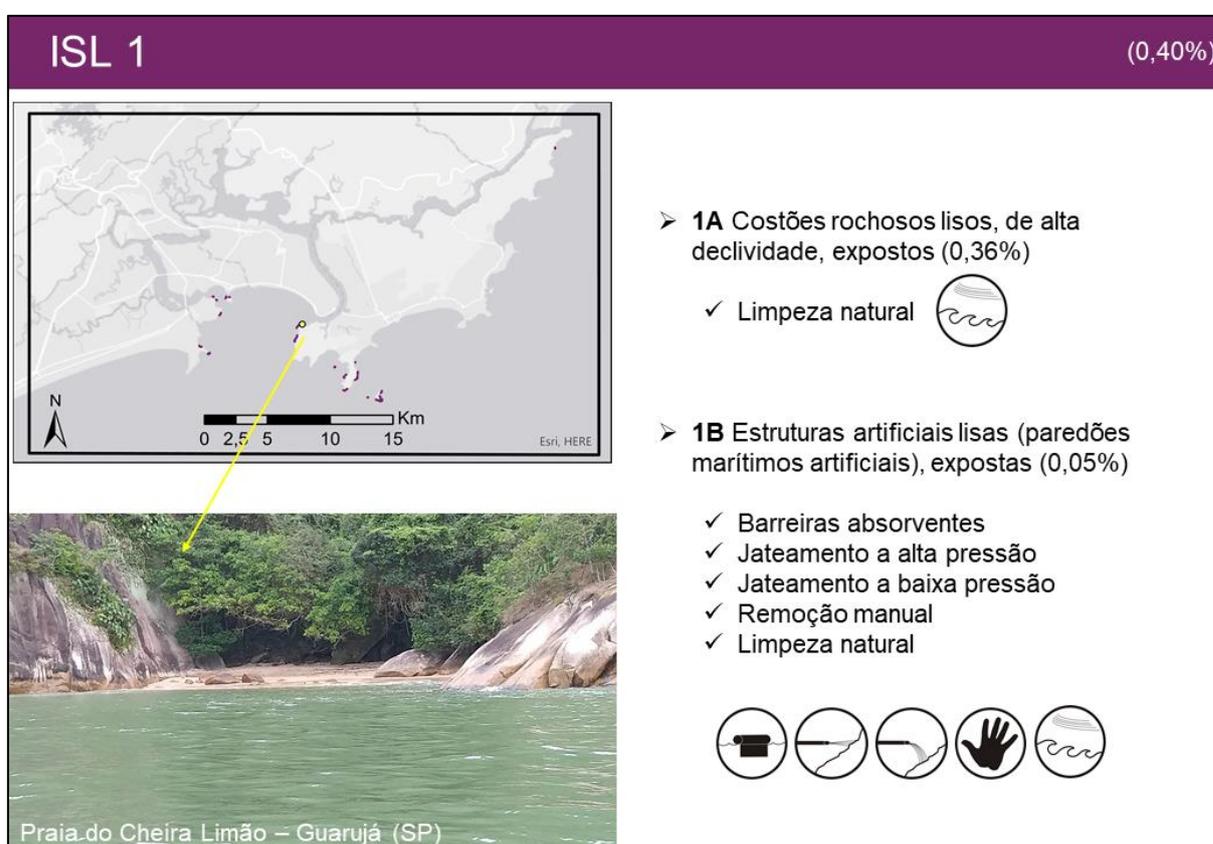
Independentemente de recomendações, a limpeza natural atua em todos os ambientes atingidos, pois mesmo com a combinação de diversas ações de resposta, é impossível remover todo o óleo do ambiente.

## 6.1 Operações recomendadas para os diferentes ISLs e seus ambientes

O ISL 1 estende-se por 5,14 km da linha de costa, sendo esse valor dividido entre dois tipos de ambientes conforme a Figura 14. Os ambientes são os costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos; e as estruturas artificiais lisas, expostas.

Os costões rochosos ocupam 4,55 km do total e o 0,58 km restante é ocupado pelas estruturas artificiais.

Figura 14 – Ambientes costeiros de ISL 1 e suas recomendações



Fonte: dados do trabalho.

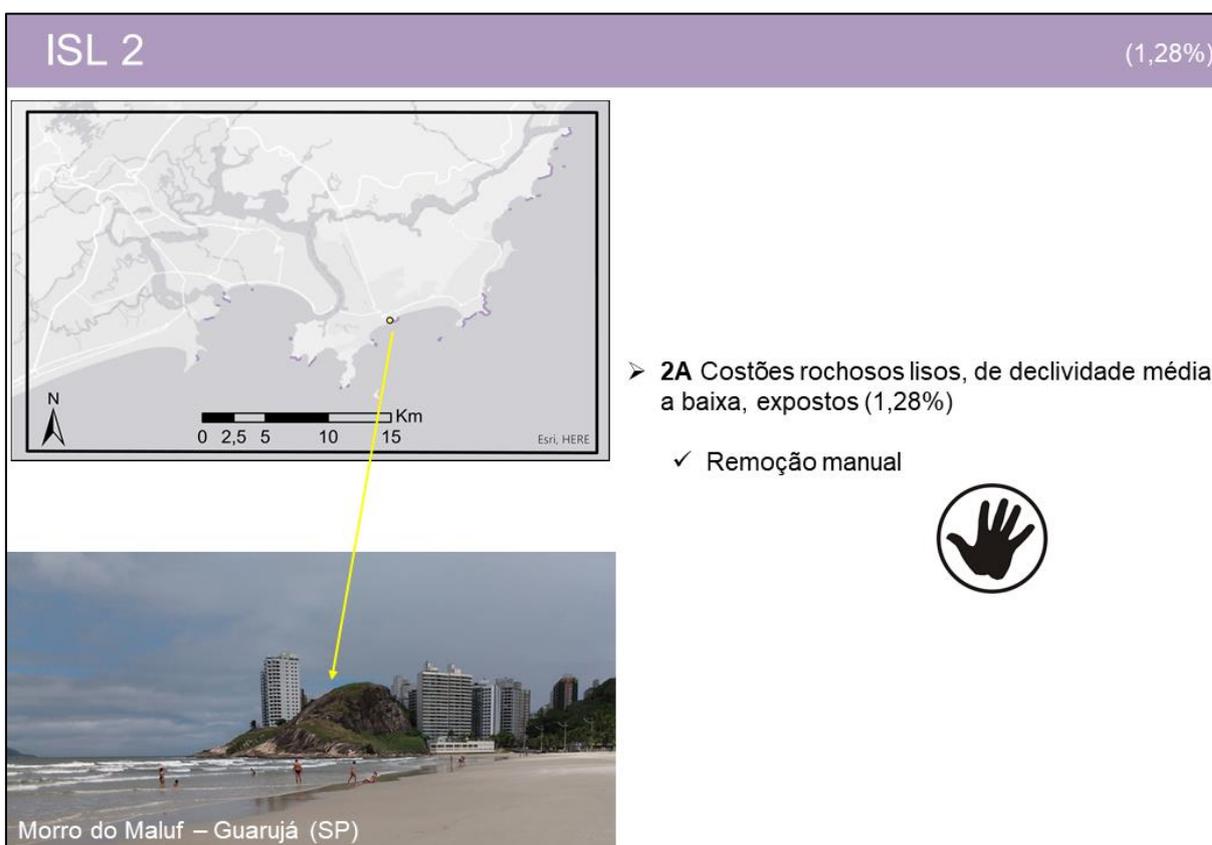
Os costões rochosos descritos nesse ISL, recebem o valor mais baixo de sensibilidade devido a algumas características: por serem lisos, não oferecem sulcos para penetração do óleo; por apresentarem alta declividade, dificultam a fixação do óleo e, por serem expostos às ações de ondas e marés, beneficiam-se da limpeza natural.

Devido à baixa sensibilidade do ambiente ao óleo e à exposição hidrodinâmica, a única recomendação para estes ambientes é a limpeza natural. Essa recomendação também leva em conta a distribuição de equipes e recursos em lugares mais prioritários para receber proteção.

As estruturas artificiais lisas expostas, correspondem aos paredões marítimos artificiais e ocupam uma parcela pequena da área de estudo. Para esses ambientes, as barreiras absorventes são recomendadas para a proteção em conjunto com ações de limpeza como: jateamento pressurizado e remoção manual.

Os ambientes mapeados com ISL 2 ocupam 16,31 km da linha de costa e correspondem aos costões rochosos lisos, de declividade média a baixa e expostos, representados na Figura 15.

Figura 15 – Ambiente costeiro de ISL 2 e suas recomendações



Fonte: dados do trabalho.

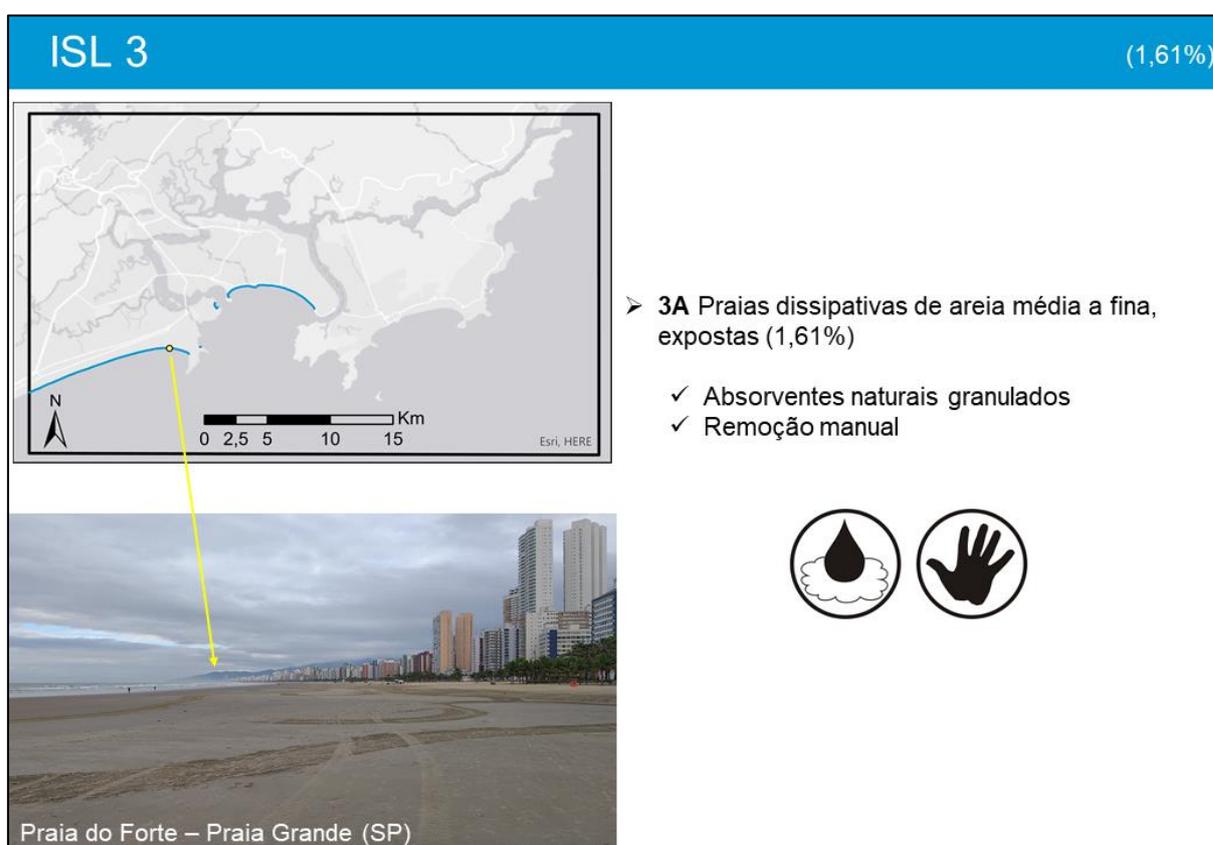
Esse ambiente, assim como os costões rochosos lisos do ISL 1, apresenta baixa sensibilidade ao óleo, entretanto, devido a sua menor declividade, que facilita a

deposição do óleo em sua superfície. Em vista dessas características recomenda-se a remoção manual do óleo.

Na área de estudo, o ISL 3 apresenta-se apenas na forma de um ambiente: as praias dissipativas de areia média a fina, expostas à ação das ondas e marés. Esses ambientes ocupam uma extensão de 20,53 km da linha de costa.

As recomendações para esses ambientes, conforme Figura 16, são para o uso de absorventes naturais granulados e a remoção manual.

Figura 16 – Ambiente costeiro de ISL 3 e suas recomendações



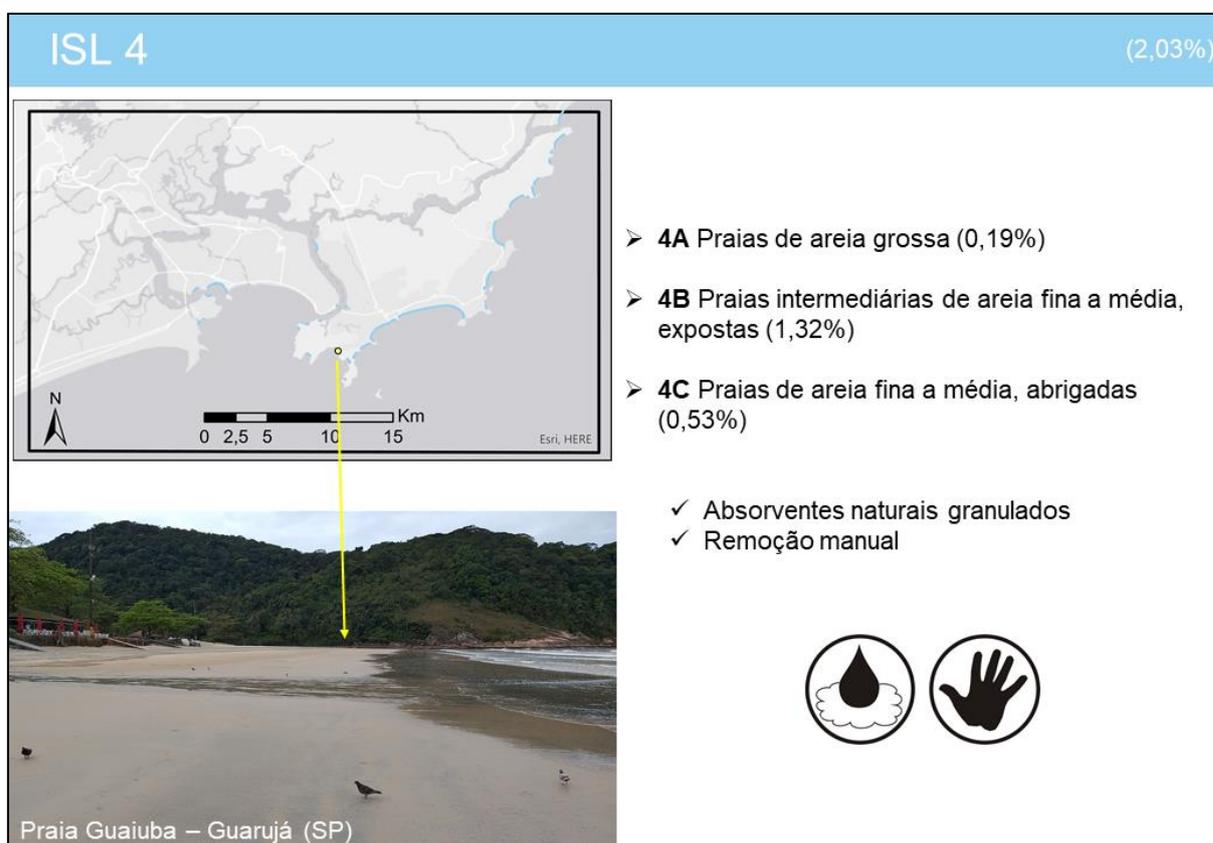
Fonte: dados do trabalho.

Em relação às praias, é importante salientar que procedimentos de limpeza com máquinas pesadas e veículos na zona entremarés não são recomendados, devido à possibilidade de compactação do solo e da comunidade biológica. Também não se recomenda a remoção de grandes quantidades de areia devido à remoção conjunta da biota (CETESB, 2007; MULER *et al.*, 2011).

As mesmas recomendações e restrições avaliadas para o ISL 3 são aplicáveis ao ISL 4, que também apresenta ambientes de praias. O ISL 4 ocupa 25,96 km da linha de costa da área de estudo, distribuído em três ambientes, conforme a Figura 17 e listados abaixo:

- a) Praias de areia grossa, que se estendem por 2,41 km da linha de costa;
- b) Praias de areia fina a média, abrigadas, que ocupam 6,72 km;
- c) Praias intermediárias de areia fina a média, expostas, ocupando 16,83 km da linha de costa.

Figura 17 – Ambientes costeiros de ISL 4 e suas recomendações



Fonte: dados do trabalho.

O ISL 5 representa os ambientes de praias mistas de areia ou cascalho, ou conchas e fragmentos de corais; os terraços ou plataformas de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação; e os recifes areníticos em franja. Nenhum desses ambientes está presente na área de estudo, mas estão presentes em outros locais da costa brasileira, como na Baía de Guanabara exposta na Figura 18.

Figura 18 – Ambientes costeiros de ISL 5 e suas recomendações

ISL 5



Praia do Anil – Magé (RJ)

- **5A** Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais
  - ✓ Absorventes naturais granulados
  - ✓ Remoção manual




- **5B** Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação.
  - ✓ Absorventes: almofadas, cordões, mantas
  - ✓ Barreiras absorventes e pompons
  - ✓ Bombeamento a vácuo
  - ✓ Remoção manual






Fonte: dados do trabalho.

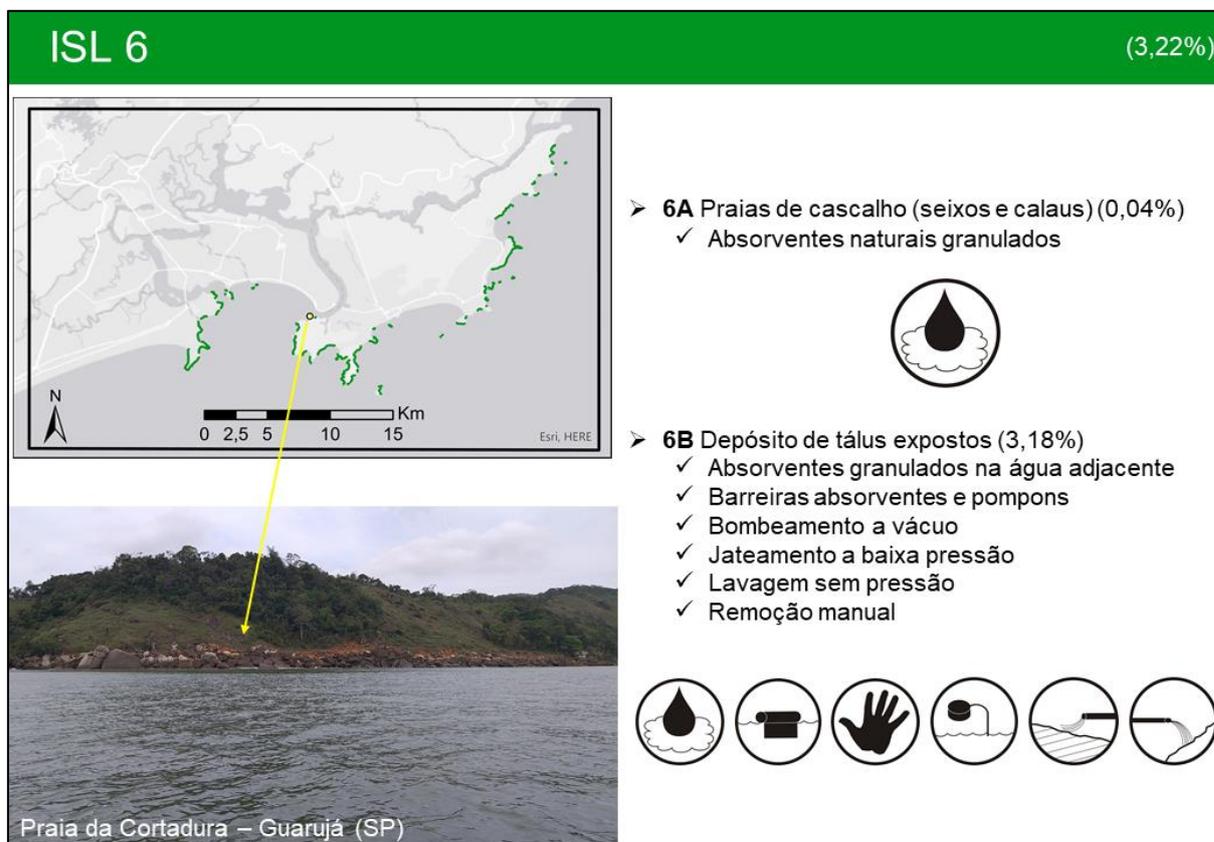
Para as praias, as mesmas recomendações e restrições já citadas anteriormente continuam válidas. Para os recifes areníticos em franja, além das operações aplicáveis nas praias, é possível aplicar barreiras de contenção e absorção (pompons) e outros materiais absorventes como almofadas, mantas e cordões.

As praias de cascalho e os depósitos de tálus recebem o ISL 6, que ocupa 41,20 km da linha de costa da área de estudo.

As praias de cascalho representam pequena parte da área de estudo, ocupando apenas 0,50 km da linha de costa e sua recomendação de limpeza consta apenas o uso de absorventes naturais granulados.

Para os depósitos de tálus, conforme a Figura 19, além dos absorventes granulados aplicados na água adjacente para reter o óleo, são recomendadas o uso de barreiras combinadas a absorventes, bombeamento a vácuo, jateamento a baixa pressão, lavagem sem pressão e remoção manual. Os depósitos de tálus estendem-se por 40,70 km da linha de costa da área de estudo.

Figura 19 – Ambientes costeiros de ISL 6 e suas recomendações

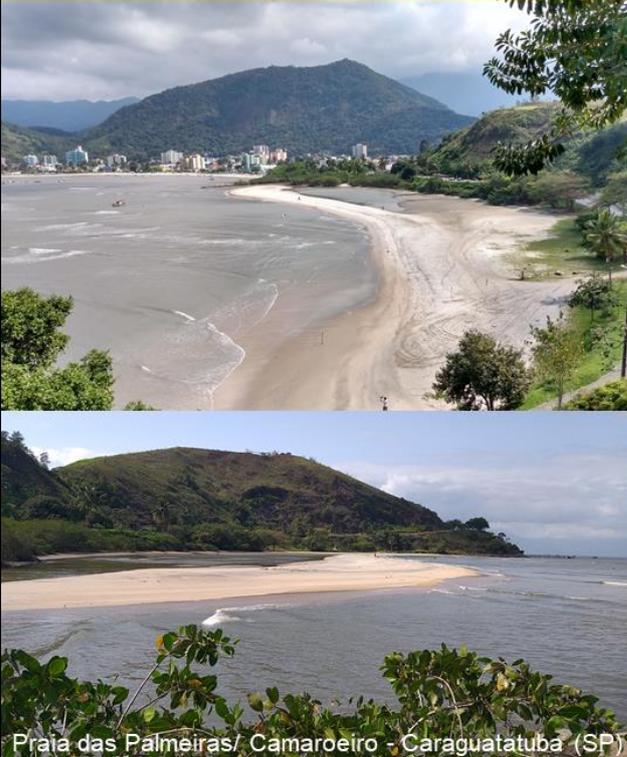


Fonte: dados do trabalho.

O ISL 7 agrega as planícies de maré arenosas expostas e os terraços de baixa mar. Esses ambientes não foram mapeados na área de estudo, mas podem ser encontrados em outros locais, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Ambiente costeiro de ISL 7 e suas recomendações

**ISL 7** (Praia das Palmeiras/ Camaroeiro)



➤ **7A** Planície de maré arenosa exposta

- ✓ Absorventes naturais granulados
- ✓ Remoção manual
- ✓ Limpeza natural



Praia das Palmeiras/ Camaroeiro - Caraguatatuba (SP)

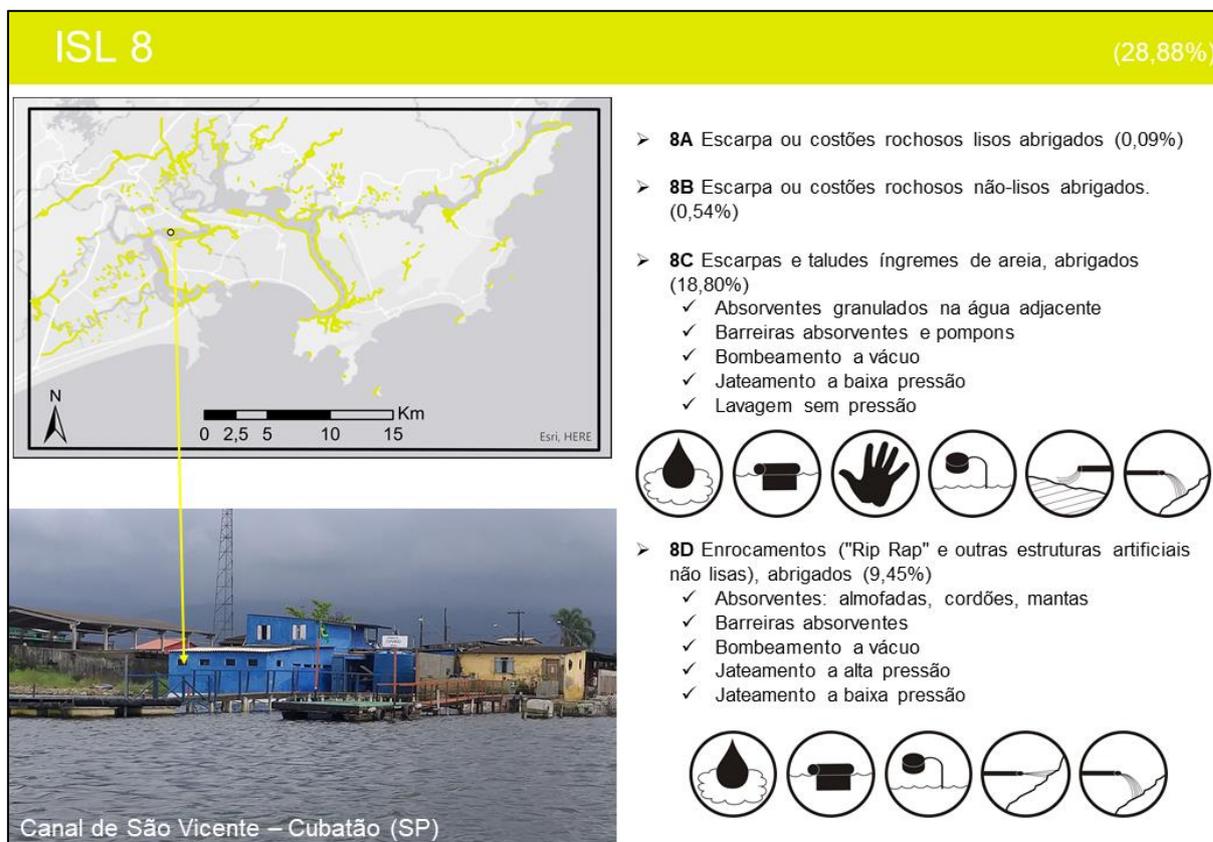
Fonte: dados do trabalho.

Para os ambientes costeiros de ISL 7, as recomendações são: o uso de absorventes naturais granulados e a remoção manual.

O ISL 8 aparece na segunda posição em distribuição dos ambientes costeiros, ocupado 369 km da linha de costa. Este valor é dividido entre quatro ambientes diferentes mostrados na Figura 21 e descritos abaixo:

- a) Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada, ocupando 1,20 km da linha de costa;
- b) Escarpa/ encosta de rocha não lisa ou depósitos de tálus, abrigada, estendendo-se por 6,86; km da linha de costa;
- c) Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados, ocupando 240,38 km da costa;
- d) Enrocamentos (“Rip Rap” e outras estruturas artificiais não lisas), abrigados estendendo-se por 120,86 km.

Figura 21 – Ambientes costeiros de ISL 8 e suas recomendações



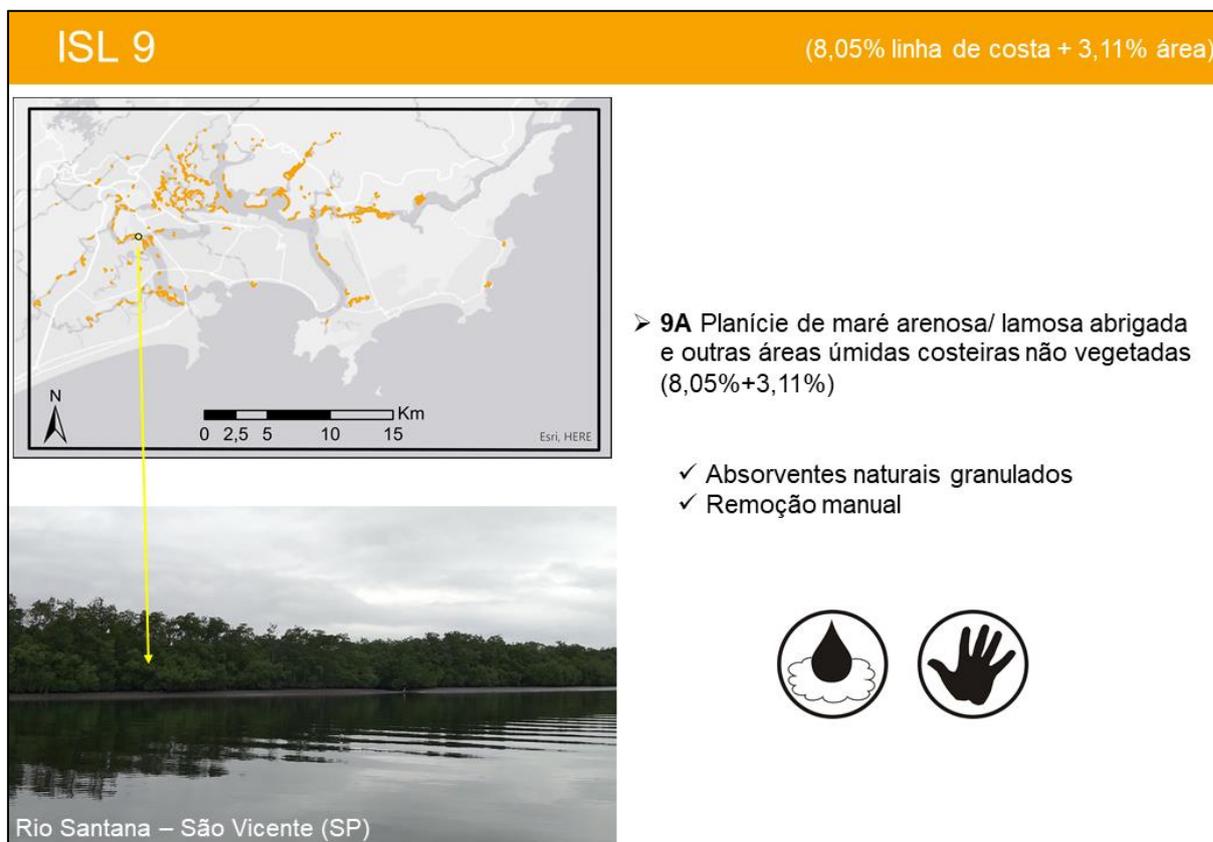
Fonte: dados do trabalho.

As recomendações para esses ambientes são parcialmente semelhantes para todos. A aplicação de barreiras e absorventes é recomendada, assim como o bombeamento a vácuo e o jateamento a baixa pressão.

Para os ambientes de escarpas e encostas, recomenda-se também a lavagem sem pressão, ao passo que para as estruturas artificiais, representadas por enrocamentos recomenda-se o jateamento a alta pressão.

O ISL 9, ilustrado na Figura 22, representa os ambientes de planícies de maré arenosas/ lamosas abrigadas e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas. Esse ISL estende-se por 102,89 km da linha de costa e 2,63 km<sup>2</sup> dos ambientes mapeados como polígonos.

Figura 22 – Ambientes costeiros de ISL 9 e suas recomendações



Fonte: dados do trabalho.

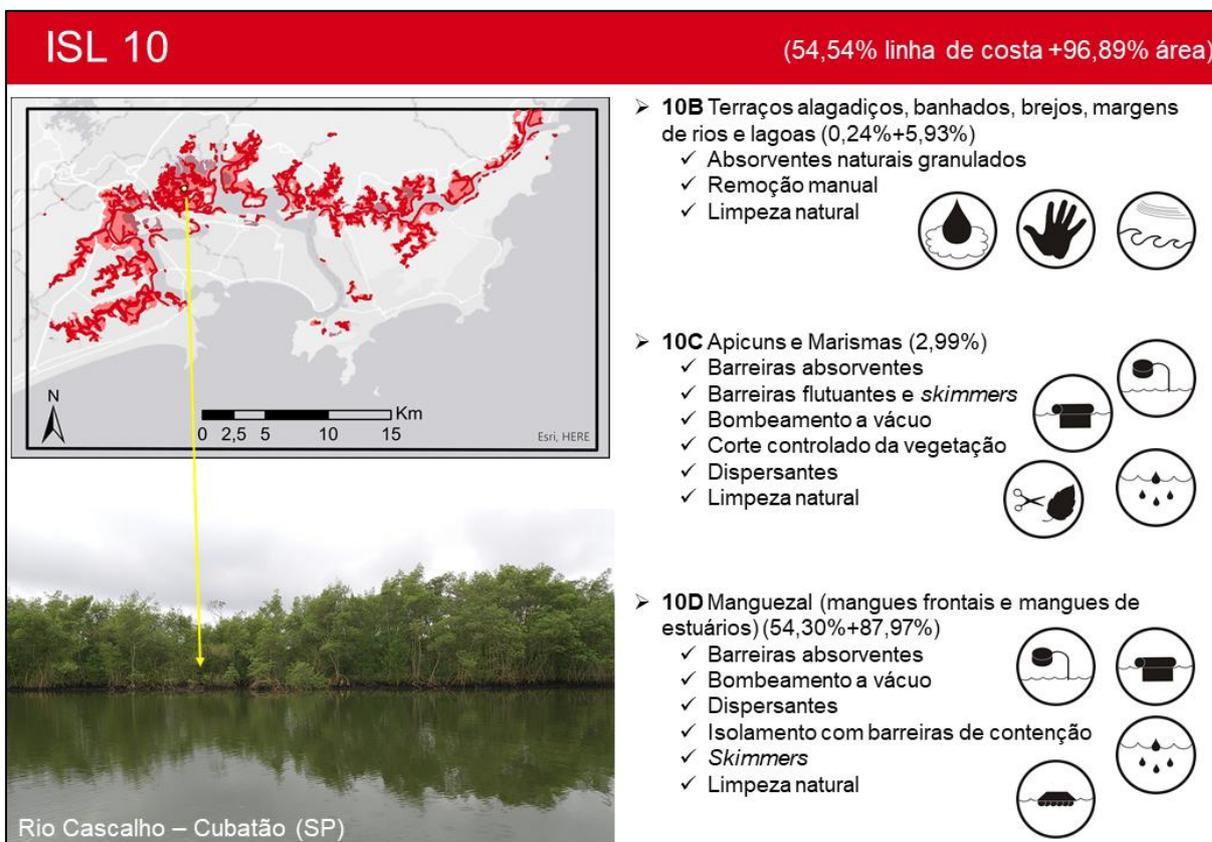
Para esses ambientes, as recomendações são absorventes naturais granulados e remoção manual. Não são recomendados procedimentos que necessitem intervenção dentro dessas áreas (MULER *et al.*, 2011).

Os ambientes da Figura 23 são considerados os mais sensíveis ao óleo, recebendo ISL 10 e ocupando a maior parte da linha de costa com 694,30 km e 81,93 km<sup>2</sup> das áreas mapeadas.

O ISL 10 agrupa os seguintes ambientes:

- a) Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; que ocupam 5,02 km<sup>2</sup> das áreas mapeadas e 3,05 km da linha de costa;
- b) Apicuns e Marismas que ocupam 2,53 km<sup>2</sup> das áreas mapeadas;
- c) Manguezais que ocupam 694,30 km de extensão em conjunto com 74,38 km<sup>2</sup> de área mapeada.

Figura 23 – Ambientes costeiros de ISL 10 e suas recomendações



Fonte: dados do trabalho.

As recomendações para os terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas são a aplicação de absorventes naturais granulados, remoção manual e limpeza natural.

Para os apicuns e marismas, recomenda-se prioritariamente o uso de barreiras para evitar a poluição pelo óleo. As barreiras podem ser combinadas com materiais absorventes e *skimmers* para remoção do óleo. O bombeamento a vácuo é outra opção recomendada assim como a limpeza natural e o corte controlado da vegetação das marismas.

Uma recomendação controversa é sobre o uso dos dispersantes, que são recomendados somente para casos em que sua aplicação cause menos impacto que a sua não aplicação. Seu uso deve ser autorizado e acompanhado pelo órgão ambiental.

Instituições internacionais como API, NOAA, IPIECA e outras consideram os manguezais como o ambiente mais sensível ao óleo. No Brasil são reconhecidos pela

sua importante função ecológica recebendo o valor de ISL 10, o mais sensível, e sendo os ambientes prioritários para receberem ações de resposta (CETESB, 2007).

Para os manguezais, recomenda-se também a proteção prioritária com barreiras de contenção, podendo ser associadas a materiais absorventes e a *skimmers* para remoção.

O bombeamento a vácuo e a aplicação dos dispersantes nos manguezais também é recomendada e segue os mesmos critérios dos apicuns e marismas. Apesar disso, as ações de resposta em ambientes de alta sensibilidade, aplicadas sem critérios técnicos de proteção ao meio ambiente, podem resultar em impactos ambientais adicionais. Nesses casos específicos cabe ao órgão ambiental avaliar a recomendação da limpeza natural.

Além dos resultados anteriores, ao generalizarmos alguns ambientes, além das ações recomendadas, é possível indicar quais as ações de resposta não são recomendadas.

Segundo MULER *et al.* (2011) as praias são ambientes nos quais não se recomendam procedimentos com tráfego de máquinas e veículos na zona entremarés e nem a remoção de grandes quantidades de areia. Essas recomendações baseiam-se na possibilidade de compactação ou remoção da camada de areia e das comunidades que habitam essa região.

Para os bancos de lama e manguezais, não são recomendados procedimentos que necessitem adentrar ao local, pois o pisoteio prejudicaria a comunidade biológica que habita o substrato.

A síntese das referências a respeito da relação entre os ambientes costeiros e ISLs resultou no Quadro 9 abaixo, o qual foi resumido no Quadro 10, contendo apenas as ações mais prioritárias ou mais recomendadas a cada ambiente, para implementação do ícone na Carta SAO.

Quadro 9 – Síntese dos ambientes costeiros e ações de resposta recomendadas

ISL	Cor	Ambientes Costeiros	Ações de Resposta Recomendadas																						
			Absorventes (cordões, almofadas, mentes)	Absorventes na água adjacente	Absorventes granulados	Barcaças recolhedoras	Barreiras naturais	Barreiras absorvedoras	Barreiras absorventes pompons	Barreiras absorventes e skimmers	Bombeamento flutuantes e skimmers	Corte de vegetação	Dispersantes*	Isolamento de contenção	Jateamento com pressão	Jateamento a alta pressão	Lavagem sem pressão	Remoção a baixa pressão	Skimmers						
1	Púrpura	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos																							
		Falésias em rochas sedimentares, expostas																							
2	Lilás	Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas																							
		Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos																							
3	Azul	Terraços ou substratos de declividade média expostos																							
		Praias dissipativas de areia média a fina, expostas																							
4	Ciano	Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos																							
		Praias de areia grossa																							
5	Azul claro	Praias intermediárias de areia fina a média, expostas																							
		Praias de areia fina a média, abrigadas																							
6	Verde	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais																							
		Recifes areníticos em franja																							
7	Amarelo	Praias de cascalho (seixos e calaus)																							
		Costa de detritos calcários																							
8	Amarelo claro	Depósito de tálus																							
		Enrocamentos ("Rip Rap", guia corrente, quebra-mar) expostos																							
9	Laranja	Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)																							
		Planície de maré arenosa exposta																							
10	Vermelho	Terraço de baixa-mar																							
		Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada																							
10	Vermelho	Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada																							
		Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados																							
10	Vermelho	Enrocamentos ("Rip Rap" e outras estruturas artificiais não lisas), abrigados																							
		Planície de maré arenosa/ lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas																							
10	Vermelho	Terraço de baixa-mar lamoso abrigado																							
		Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais																							
10	Vermelho	Deltas e barras de rio vegetadas																							
		Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas																							
10	Vermelho	Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado																							
		Marismas																							
10	Vermelho	Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)																							

Fonte: Adaptado de CETESB (2007); MMA (2004).

Quadro 10 – Ações de resposta selecionadas para inserção dos ícones na Carta  
SAO

<b>Ação de Resposta</b>	<b>Ambiente Costeiro</b>
Limpeza Natural	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos
	Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
Remoção manual	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos
Absorventes	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas
	Praias de areia fina a média, abrigadas
	Praias de areia grossa
	Praias intermediárias de areia fina a média, expostas
	Praias de cascalho (seixos e calaus)
	Planície de maré arenosa/ lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas
	Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas
Lavagem/ Jateamento pressurizado	Depósito de tálus
	Enrocamentos ("Rip Rap" e outras estruturas artificiais não lisas), abrigados
	Escarpa/ encosta de rocha lisa, abrigada
	Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada
	Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados
Barreiras de contenção e absorventes	Apicuns e Marismas
	Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Fonte: Adaptado de CETESB (2007) e MULER *et al.* (2011).

As barreiras de contenção e absorventes são recomendadas para os ambientes de sensibilidade elevada, pois é prioritária a sua proteção ao contato do óleo, dispensando operações de limpeza. Nesses casos, recomenda-se aplicação conjugada de operações de remoção do óleo, para minimizar a possibilidade de poluição.

Para as praias de todos os tipos, as planícies de maré e terrenos alagadiços, o uso de absorventes naturais granulados na areia ou nas adjacências é recomendado. Em alguns casos, pode optar-se por materiais absorventes como mantas, almofadas e cordões.

A limpeza natural foi considerada para os ambientes com ISL mais baixo, como costões lisos e estruturas artificiais, menos sensíveis ao óleo e cuja proteção não é

prioritária. Para ISL ainda baixos, mas mais sensíveis que os ambientes anteriores, como os costões com menor declividade, recomenda-se a remoção manual.

As operações de lavagem sem pressão e jateamento pressurizado foram aglutinadas em uma única categoria devido a sua similaridade. Foram consideradas recomendadas para os ambientes em que um dos três tipos seria aplicável devido a seu caráter semelhante de aplicação com diferenciação apenas da pressão aplicada.

A partir dos resultados anteriores e com essas informações inseridas nos arquivos vetoriais, foi possível elaborar a Carta SAO com ícones das ações de resposta recomendadas pelo órgão ambiental.

Para a escolha da Carta SAO operacional em que os ícones seriam inseridos, foram avaliadas quais apresentavam maior variedade de ambientes costeiros mapeados. A que melhor atendia esses requisitos foi a Carta SAO Operacional SAN 220, por alocar treze diferentes ambientes costeiros e três dos quatro ambientes mapeados como polígono em sua área de cobertura.

Com objetivo de diferenciação visual dos ícones dos recursos socioeconômicos, os ícones das ações de resposta tiveram seu plano de fundo alterado para cinza.

O resultado, que sintetiza a discussão, pode ser observado na Carta SAO operacional onde estão inseridos os ícones representativos das ações de resposta recomendadas. Esta carta pode ser visualizada na Figura 24.



treinadas, equipadas com EPIs e materiais para execução técnica, assim como exige a legislação.

No Brasil, além das empresas privadas especializadas no combate à poluição por óleo, a Petrobras tem os Centros de Defesa Ambiental (CDA), espalhados em pontos estratégicos que permitem atuar em todo o território nacional em algumas horas. Nos CDAs, recursos e pessoal ficam dispostos de sobreaviso para atuarem no combate à poluição por óleo

Apesar da disponibilidade de recursos técnicos e humanos, muitas vezes não é possível atender a ocorrências em todos os ambientes ao mesmo tempo, sendo necessário priorizar a atuação aos mais sensíveis. Para a delimitação dos ambientes prioritários são utilizadas as Cartas SAO, parte integrante dos planos de contingência e de emergência de instalações portuárias. Essas cartas avaliam as características físicas, biológicas e socioeconômicas dos diferentes ambientes costeiros e os classificam segundo sua sensibilidade.

Devido à heterogeneidade de ambientes costeiros e a existência de diferentes ações de resposta, é importante fundamentar tecnicamente a escolha das ações adequadas. Como essa etapa precede a aplicação da técnica, a agilidade na escolha é crucial. Nesse contexto, esse trabalho busca inserir os ícones das ações de resposta mais recomendadas para cada ambiente em uma Cartas SAO, complementando as informações já agregadas.

Para isso foram utilizadas técnicas de geoprocessamento que permitiram analisar de forma espacial e estatística os ambientes costeiros do Estuário de Santos. Com o uso do ArcGIS, a partir do *geodatabase* das Cartas SAO para o local, foi possível obter todas as informações espaciais e tabulares dos ambientes mapeados. Essas informações tabulares foram analisadas estatisticamente pela ferramenta “Tabela Dinâmica” do Excel.

Os resultados mostraram que a maior parte da área de estudo é intensamente ocupada por áreas altamente sensíveis ao óleo e áreas menos sensíveis em proporção bem menor. As áreas mais sensíveis são especialmente os manguezais, ambientes costeiros de conhecida função ambiental, e que não suportam ações de resposta com pisoteamento de seu substrato. Para esse ambiente a recomendação principal é o seu isolamento da mancha de óleo pelo uso de barreiras de contenção.

Para os demais ambientes encontrados, foram recomendados outros tipos de ações de resposta, mas de uma forma bastante ampla, recorreu-se ao uso de

absorventes granulados naturais para as praias e ambientes arenosos, que permitem a remoção do óleo sem remoção de uma grande camada de substrato, além de apresentarem alta biodegradabilidade.

Para ambientes de substrato consolidado, como costões rochosos e estruturas artificiais, as recomendações foram em torno de ações de remoção pela força física da água, com diferentes pressões.

É importante ressaltar que, mesmo com a ágil contenção, remoção e limpeza do óleo a efetividade dessas ações nunca é total, sempre ocasionando em materiais residuais que permanecem no ambiente e são degradados pela limpeza natural.

Considerando a região estudada, as recomendações de resposta são baseadas no manual do órgão ambiental estadual, que reúne a *expertise* da recuperação ambiental de ambientes contaminados por óleo no litoral do Estado. Apesar disso, novas propostas de mitigação surgiram e estão em desenvolvimento, como biorremediação, aglutinantes, gelatinizantes, entre outros e devem ser consideradas se fundamentadas em estudos técnicos.

Durante a etapa de inserção dos ícones na Carta SAO, devido à diversidade de técnicas disponíveis e a aplicabilidade de cada uma em diferentes ambientes, foi necessário escolher uma dentre as demais para ser representada na forma de ícone. Além disso, devido à diferença entre a escala de mapeamento e a escala de apresentação da carta, cada ícone tem uma área de influência em seus 200 metros adjacentes.

Apesar das restrições de representação, a manipulação dessas informações em ambiente digital é recomendada, pois permitem uma melhor visualização, distribuição, atualização e compartilhamento. Em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) cliente ou na nuvem (*WebGIS*), é possível que cada segmento do mapa tenha o seu próprio ícone ou vários, de um de acordo com o *zoom* ou por meio de janelas *pop-up*.

De forma a agilizar ainda mais o processo de disponibilização de informações ações de resposta, sugere-se a elaboração de um algoritmo relacionando o sub-Índice de Sensibilidade do Litoral (ambientes costeiros) com suas ações de resposta recomendadas. Resultando em um algoritmo de fácil atualização, execução e de aplicação universal independente da área mapeada.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-KADER, A. F. *et al.* Environmental sensitivity analysis of potential oil spill for Ras-Mohammed coastal zone, Egypt. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 502–510, 1998. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4298804?refreqid=excelsior%3A7115cdca59a009c8638436b0d61e2498>
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuário Estatístico 2019**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Anuário-2019-vFinal-revisado.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019**. Rio de Janeiro: ANP, 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2019/2019-anuario-versao-impressao.pdf>. Acesso em: 19 maio 2020.
- BRASIL. **Lei Nº 9.966 de 28 de Abril de 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Brasília (DF): Presidência da República, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9966.htm). Acesso em: 28 dez. 2020.
- CALDAS, Alex Soares; VIANA, Zenira Cardoso Vilasboas; SANTOS, Vera Lucia Cancio Souza. Fibras de Cocos nucifera como sorvente de petróleo em ambiente marinho. **Acta Brasiliensis**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22571/actabra1120179>. Acesso em: 7 jan. 2021.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BAIXADA SANTISTA (CBH-BS). **Relatório de Situação**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: [http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BS/17490/rs\\_2019\\_bs\\_atualizado\\_30\\_08\\_2019\\_final.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BS/17490/rs_2019_bs_atualizado_30_08_2019_final.pdf). Acesso em: 20 jan. 2021.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BAIXADA SANTISTA (CBH-BS). **Relatório de Situação**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BS/19500/rs-2020-formatado-02-12-rev1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo - Procedimentos de Limpeza**. São Paulo (SP): CETESB, 2007. *E-book*.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Histórico das principais ocorrências no Litoral Paulista (1950 a 2010)**. [S. l.]: CETESB, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/Principais-ocorrencias-litoral-paulista.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Sistema de Informações sobre Emergências Químicas (SIEQ) da CETESB**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/emergencia/relatorio.php>. Acesso em: 12 jun. 2020.

DEVIDS, Camila Cantagallo. **Mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de petróleo do sistema estuarino de Santos, Estado de São Paulo**. 86 f. 2008. - UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/92780>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2019 - Ano base 2018**. Brasília (DF): [s. n.], 2019. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN\\_2019\\_Completo\\_WEB.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN_2019_Completo_WEB.pdf). Acesso em: 19 maio 2020.

ESCOBAR, Herton. Mysterious oil spill threatens marine biodiversity haven in Brazil. **Science**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aba1003>  
ESRI. **ArcGIS Pro**. Versão 2.7.0. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

FARIAS, Luiz Antonio Chaves de; BECCENERI, Leandro Blanque. Condicionantes próximos da migração na Baixada Santista nos anos 2000. **XI Encontro Nacional sobre Migrações**, São Paulo (SP), 2019. Disponível em: <http://abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/viewFile/3485/3343>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FIOVARANTI, Carlos. Os caminhos da mancha. **Revista Pesquisa FAPESP**, [s. l.], n. 286, p. 48–50, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/os-caminhos-da-mancha/>

FOLHARINI, Saulo; OLIVEIRA, Regina. Utilização do Land Change Modeler® na modelação prospetiva do uso e cobertura do solo na microrregião de Santos, Brasil para o ano de 2022. **GOT - Journal of Geography and Spatial Planning**, [s. l.], v. 5, n. 19, p. 57–73, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17127/got/2020.19.003>. Acesso em: 22 jan. 2021.

GOOGLE EARTH PRO. **Imagem de satélite da área de estudo**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: [https://earth.google.com/web/@-23.95372534,-46.31032299,63122.36850308a,0d,35y,0.0004h,0.0000t,0.0000r?utm\\_source=earth7&utm\\_campaign=vine&hl=pt-BR](https://earth.google.com/web/@-23.95372534,-46.31032299,63122.36850308a,0d,35y,0.0004h,0.0000t,0.0000r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=pt-BR). Acesso em: 25 fev. 2021.

GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 18–27, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro (RJ), 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Densidade demográfica**. Rio de Janeiro (RJ), 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IDHM Índice de Desenvolvimento Humano Municipal: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD**. Rio de Janeiro (RJ): Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha Municipal Digital da Divisão Político - Administrativa Brasileira**. [S. l.: s. n.], 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=sobre>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PIB per capita**. Rio de Janeiro (RJ), 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População estimada**. Rio de Janeiro (RJ), 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION (ITOPF). TIP 02: Fate of Marine Oil Spills. **ITOPF Technical Information Paper**, [s. l.], n. 2, p. 12, 2011. Disponível em: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/technical-information-papers/>

IPIECA; ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL; ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DOS PRODUTORES DE ÓLEO E GÁS. **Sensitivity mapping for oil spill response**. Londres: [s. n.], 2012. *E-book*.

LAMPARELLI, Marta *et al.* **Sistema Estuarino de Santos e São Vicente**. São Paulo (SP): [s. n.], 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3288.9764>. Acesso em: 17 jan. 2021.

LOPES, Carlos Ferreira; MILANELLI, João Carlos Carvalho. **Limpeza de ambientes costeiros atingidos por óleo**. [S. l.: s. n.], 2012. *E-book*.

MAPELLI, Francesca *et al.* Biotechnologies for Marine Oil Spill Cleanup: Indissoluble Ties with Microorganisms. **Trends in Biotechnology**, [s. l.], v. 35, n. 9, p. 860–870, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.04.003>. Acesso em: 7 jan. 2021.

MILANELLI, João Carlos Carvalho. **Biomonitoramento de costões rochosos - Instrumento para avaliação de impactos gerados por vazamentos de óleo na região do Canal de São Sebastião - São Paulo**. 341 f. 2003. - Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-03042007-215200/pt-br.php>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima de Santos**. Brasília: IBAMA, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**. Brasília (DF): [s. n.], 2004. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/\\_publicacao/especificacoes\\_normas\\_tecnicas\\_cartas\\_sao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_publicacao/especificacoes_normas_tecnicas_cartas_sao.pdf). Acesso em: 10 maio 2020.

MULER, Mariela *et al.* Ações de Resposta para Emergência em caso de Derrames de Óleo no Mar e Proposta de Implementação de Sistema de Informação voltado à Sensibilidade Ambiental para o Litoral Sul Paulista, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 397–407, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5894/rgci250>

MULER, Mariela. **Implementação de um sistema de informação voltado à sensibilidade ambiental ao óleo do Litoral Sul Paulista e avaliação das ações de resposta a derramamentos de óleo**. 82 f. 2008. - UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP), 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/120119>. Acesso em: 17 dez. 2020.

NASCIMENTO, Pedro Henrique Rodrigues. **Organização e implementação de um banco de dados para a sensibilidade ambiental ao óleo e avaliação de ações adequadas de resposta a derramamentos - São Sebastião (SP)**. 67 f. 2008. - UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP), 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/120158>

NEWTON, Isaac; HOOKE, Robert. **Isaac Newton letter to Robert Hooke**. [S. l.]: Historical Society of Pennsylvania, 1675. Disponível em: <https://discover.hsp.org/Record/dc-9792/Description>. Acesso em: 2 fev. 2021.

OLIVEIRA, Elaine Baroni de. **Determinação da influência de sangradouros na sensibilidade ao óleo das praias arenosas do RS**. 65 f. 2014. - Universidade Federal do Rio Grande (FURG), [s. l.], 2014. Disponível em: [https://saopelotas.furg.br/images/stories/documentosdereferencia/tcc\\_elaine\\_baroni.pdf](https://saopelotas.furg.br/images/stories/documentosdereferencia/tcc_elaine_baroni.pdf)

OWENS, E. H.; ROBILLIARD, G. A. Shoreline sensitivity and oil spills-a re-evaluation for the 1980's. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 75–78, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(81\)90196-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(81)90196-X)

PERINOTTO, Rafael Riani Costa. **Mapeamento de sensibilidade ao derrame de óleos dos ambientes costeiros dos municípios de São Vicente, Santos e Guarujá - SP**. 344 f. 2010. - UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP), 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/92773>

PETRELLA, Carlos; TESSORE, Carlos. **El caso de British Petroleum: Incertumbre, Riesgo y Ética** 2019. p. 46. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12008/23885>

PETROBRAS/CENPES. **Projeto Santos – Caracterização Ambiental da Bacia de Santos**. Rio de Janeiro (RJ): [s. n.], 2020.

PETROBRAS. **Novo poço confirma potencial de petróleo leve na área de Carcará, no pré-sal da Bacia de Santos**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/novo-poco-confirma-potencial-de-petroleo-leve-na-area-de-carcara-no-pre-sal-da-bacia-de-santos.htm>. Acesso em: 19 maio 2020.

POFFO, Íris Regina Fernandes. **Vazamentos de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo: Análise Histórica (1974-1999)**. 133 f. 2000. - Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2000. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2018/02/mestrado\\_IrisPoffo-1.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2018/02/mestrado_IrisPoffo-1.pdf)

ROMERO, Ágata Fernandes; ABESSA, Denis Moledo de Souza. Mapa de procedimentos de limpeza e ações de combate a derramamentos de óleo. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 1–3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.14210/bjast.v18n2.pnb1-3>

SÃO PAULO. **Lei Complementar Nº 815 de 30 de Julho de 1996**. Cria a Região Metropolitana da Baixada Santista e autoriza o Poder Executivo a instituir o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana da Baixada Santista, a criar entidade autárquica e a constituir o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano da Baixada Santista, e dá providências correlatas. São Paulo (SP): Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 1996. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/1996/lei.complementar-815-30.07.1996.html>. Acesso em: 11 jan. 2021.

SOARES, Marcelo de Oliveira *et al.* Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, [s. l.], v. 115, n. February, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>

TAPIQUÉN, Carlos Efraín Porto. **America**. Porlamar, Venezuela: Geografía, SIG y Cartografía Digital, 2015. Disponível em: <https://tapiquen-sig.jimdofree.com/english-version/free-downloads/americas/>. Acesso em: 9 fev. 2020.

UNICAMP - FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA. **O que é petróleo**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.fem.unicamp.br/index.php/pt-br/o-que-e-petroleo-dep>. Acesso em: 19 maio 2020.

WIECZOREK, Arthur. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - PEIC e áreas do entorno**. 157 f. 2006. - UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro (SP), 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/92742>

**APÊNDICE A – CARTA SAO OPERACIONAL SAN 220 COM ÍCONES DE  
OPERAÇÕES DE LIMPEZA**

