

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**Mapeamento de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de  
Petróleo do Sistema Estuarino de Santos, Estado de São Paulo.**

Aluna: Camila Cantagallo Devids

Orientador: Prof. Dr. Gilberto José Garcia

Co-Orientador: Dr. João Carlos Carvalho Milanelli

Dissertação de mestrado elaborado junto ao  
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente,  
Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente  
Para obtenção do Título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2008

Comissão Examinadora

---

---

---

---

---

---

---

Aluna

Rio Claro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Resultado: \_\_\_\_\_



“Fiquei maravilhado da beleza dos sítios que fui atravessando. Não me fartava de admirar as margens do rio, a superfície calma das águas, os maciços de mangues, que por toda a parte surgem no meio da corrente e se alinham nas bordas, o cantar dos pássaros.... Navegávamos por entre ilhas de mangue, cujos grupos dividem o rio em vários canais, alguns tão estreitos, que as árvores entrelaçam os ramos e formam dosséis de verdura ao viajante.... Para o futuro, poderá este ponto tornar-se muito comercial; entretanto a atmosfera não é ali, nem será nunca, perfeitamente salubre...”

(Hercules Florence, 1825, em “Viagem Fluvial do Tietê ao Amazonas de 1825 a 1829”).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Ao Professor Dr. Gilberto J. Garcia, pela orientação, confiança e apoio em todos os momentos;

Ao Dr. João Carlos Carvalho Milanelli pelas contribuições e pelo incentivo, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Dr. Fábio J. Meaulo por acreditar no meu trabalho e através do projeto PIPE/FAPESP nº 04/09218-0 me oferecer todo o financiamento apoio necessário para a execução deste trabalho.

A todos os membros do Grupo de Trabalho Sensibilidade Costeira Arthur Wieczorek, Ágata Romero, Miguel Vieira de Lima, Fábio Pincinato, Tiago Rocha e Fabrício P.da Cunha. Obrigada por todas as contribuições e por todos os momentos que passamos juntos;

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos, PRH – 05, pela estrutura oferecida para a realização deste trabalho;

Ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo pelas ortofotos gentilmente fornecidas para uso neste trabalho.

Ao João Gabriel pelo amor, carinho, dedicação e valorosas contribuições. Agradeço por ter me incentivado e apoiado em todas as etapas do meu trabalho e da minha vida;

Aos meus pais, Valter e Alice, e amigos que estão sempre prontos para ajudar.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. DESCRIÇÃO DO MEIO FÍSICO.....</b>	<b>22</b>
<b>3. MÉTODO.....</b>	<b>37</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>80</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1. Impactos do óleo.....	13
1.2. O método do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL).....	16
1.3. Os Sistemas de Informação Geográfica e as Cartas SAO.....	19
1.4. Objetivos.....	20
1.5. Justificativa.....	20
<b>2. DESCRIÇÃO DO MEIO FÍSICO.....</b>	<b>22</b>
2.1. Área de estudo.....	22
2.1. Clima.....	23
2.2. Geomorfologia.....	24
2.3. Hidrografia.....	25
2.4. Oceanografia e circulação.....	26
2.5. Ambientes.....	28
2.6. Aspectos socioeconômicos.....	31
<b>3. MÉTODO.....</b>	<b>37</b>
3.1. Etapas da pesquisa.....	37
3.2. Levantamento das informações disponíveis.....	38
3.3. Base cartográfica.....	39
3.4. Mapeamento preliminar.....	40
3.5. Estruturação do banco de dados.....	42
3.6. Coleta de dados em campo .....	42
3.7. Organização e análise dos dados coletados em campo.....	43
3.8. Atualização da base cartográfica e do banco de dados.....	43
3.9. Produção e organização do atlas.....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
4.1. Sensibilidade ao óleo dos ambientes do Sistema Estuarino de Santos.....	44
4.1.1. Manguezais.....	46
4.1.2. Bancos de lama.....	48
4.1.3. Costões rochosos.....	49
4.1.4. Restingas.....	52
4.1.5. Estruturas artificiais.....	53
4.2. Fauna e sua sensibilidade ao óleo .....	54
4.3. Aspectos socioeconômicos.....	64
4.4. Impactos antrópicos.....	67
4.5. Acessibilidade e informações para a resposta.....	71
4.6. Cartas de sensibilidade ambiental ao óleo do Sistema Estuarino de Santos.....	72
4.6.1. Articulação das cartas SAO e escalas de representação.....	72
4.6.2. Novas representações para as cartas SAO.....	73
4.7. Áreas de proteção prioritária.....	74
4.8. Zonas de sacrifício.....	76
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>80</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Quadro 1: Comportamento do óleo em alguns tipos comuns de substrato na zona costeira.....</b>	<b>16</b>
<b>Quadro 2: Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL).....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 3: Indústrias de Cubatão.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 4: Dutos em operação.....</b>	<b>33</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	23
Figura 2: Canais e manguezais do estuário de Cubatão.....	30
Figura 3: Visão do Píer 1 de Alemoa.....	34
Figura 4: Visão Ilha de Barnabé.....	35
Figura 5: Visão do Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC).....	36
Figura 6: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	38
Figura 7: Base cartográfica de Cubatão e municípios adjacentes.....	40
Figura 8: Extensão (em metros) dos ambientes na linha de costa.....	45
Figura 9: Percentual de ambientes na linha de costa.....	45
Figura 10: Percentual de ISLs na linha de costa.....	46
Figura 11: Manguezais.....	47
Figura 12: Áreas de sedimentação colonizadas por <i>Spartina sp.</i> .....	47
Figura 13: Vegetação de transição associada ao manguezal.....	48
Figura 14: Colonização de banco de lama próximo a Ilha Caraguatá.....	48
Figura 15: Aves utilizando banco de lama.....	49
Figura 16: Tipos morfológicos de costões rochosos.....	50
Figura 17: Distribuição dos costões rochosos e seus tipos morfológicos.....	50
Figura 18: Percentual dos tipos de costões rochosos.....	51
Figura 19: Ilha de restinga circundada por manguezal na Ilha dos Bagres, Santos.....	53
Figura 20: Exemplo de tipos de estruturas artificiais presentes no estuário.....	54
Figura 21: Número de espécies de invertebrados aquáticos levantadas na bibliografia.....	55
Figura 22: Número de espécies levantadas de vertebrados.....	56
Figura 23: Número de espécies por família de peixes.....	56
Figura 24: Percentual de espécies por família de anfíbios.....	57
Figura 25: Percentual de espécies por família de répteis.....	58
Figura 26: Percentual de espécies por família de mamíferos.....	59
Figura 27: Número de espécies por família de aves.....	60
Figura 28: Percentual da ocorrência de espécies de aves nos manguezais.....	62
Figura 29: Algumas aves registradas em campo.....	63
Figura 30: Terminais localizados no estuário.....	65
Figura 31: Atividades de comércio no estuário.....	65
Figura 32: Náuticas localizadas na Ilha Caraguatá.....	66
Figura 33: Pesca artesanal de siri e caranguejo.....	67
Figura 34: Desaterro de manguezal no Rio Mariana e Rio Paranhos.....	68
Figura 35: Casas em área aterrada sobre manguezal (Vila dos Pescadores).....	69
Figura 36: Manguezal desmatado/degradado em fase de recuperação.....	69
Figura 37: Esgoto e resíduos sólidos no estuário.....	70
Figura 38: Articulação das cartas SAO e escalas de representação.....	73
Figura 39: Áreas prioritárias de proteção.....	75
Figura 40: Barreiras de contenção.....	76
Figura 41: Exemplo de estrutura artificial lisa – ISL 1 (Porto de Santos).....	77
Figura 42: Lagoa Rio Mariana – ISL 8 (São Vicente).....	77
Figura 43: Comporta Rio Cubatão após Refinaria Presidente Bernardes.....	78
Figura 44: Barranco não-vegetado no Rio Cubatão.....	78
Figura 45: CETESB (Agência Ambiental Unificada de Cubatão).....	79
Figura 46: Mapa de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício sugeridas para o estuário de Cubatão e entorno.....	79

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar o mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo do estuário de Cubatão e entorno, em escala de detalhe (operacional), utilizando um Sistema de Informação Geográfica. A metodologia segue as normas de padronização do Ministério do Meio Ambiente. A área do estuário em sua totalidade pode ser considerada de alta sensibilidade, pois o ecossistema predominante é o manguezal. Além de ser um ecossistema de alta biodiversidade e produtividade, o manguezal apresenta baixo hidrodinamismo e sedimento lamoso, resultando em uma significativa persistência do óleo no ecossistema. Além disso, as técnicas que permitem limpar o óleo deste ambiente são limitadas. O estuário de Cubatão e seu entorno pode ser considerado também uma área suscetível a vazamentos de óleo devido à presença de diversas fontes potenciais de poluição como oleodutos, terminais, indústrias e movimentação de navios. Isto torna a área além de muito sensível, muito vulnerável em diversos pontos. Este estudo apresenta um conjunto de sete cartas SAO, sendo uma carta tática, em escala 1: 80.000, e seis cartas operacionais, em escala 1: 25.000, além de mapas temáticos, quadros de recursos visuais e listagem das espécies encontradas no estuário. Em um cenário de vazamento de óleo, as cartas SAO são de extrema utilidade, pois fornecem informações claras para a resposta. Portanto, estes instrumentos representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, pois permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza, minimizando os impactos no ambiente e reforçando os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial.

**PALAVRAS CHAVES:** Sistemas de Informação Geográfica, mapas de sensibilidade, ambientes costeiros, vazamentos de petróleo.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to realize the environmental sensitivity mapping for oil spills of the Cubatão estuary and surroundings areas, in detail spatial scale, using a Geographic Information System. The methodology follows the standards determined by the Brazilian Federal Environment Organ (Ministry of the Environment). The study area can be considered of high sensitivity, because the mangrove is the predominant ecosystem. The mangrove is an ecosystem of high biodiversity and productivity; it presents low hydro energy and mud sediment, resulting in a significant persistence of the oil in this ecosystem. Besides, the techniques that allow cleaning the oil of this environment are limited. The estuary of Cubatão and surroundings areas can be considered also a susceptible area to oil spills due to the presence of several potential fountains of pollution like oil pipelines, terminals, industries and traffic of ships. These turn the area sensitive and very vulnerable in several points. This article shows a set of seven ESI maps including a tactical one, scale 1: 80.000, and six in detail scale, 1:25.000. It also shows thematic maps, visual resources and a species list from the estuary. In oil spill sceneries, sensitivity maps are extremely usefulness, since the maps supply clear informations for the response likes. So, these instruments represent a essential tool for the coordination of actions in oil spills sceneries, while they allow the management of available resources and the most efficient mobilization of the protection and cleaning teams, minimizing the impacts in the environment and reinforcing the political and administrative instruments of territorial ordainment.

**KEYWORDS:** Geographic Information Systems, sensitivity maps, coastal environments, oil spills.

## 1. INTRODUÇÃO

Vazamentos de petróleo e derivados podem gerar graves conseqüências à vida humana, aos ecossistemas costeiros e às atividades socioeconômicas. Nas últimas décadas, percebe-se uma diminuição progressiva no número de acidentes e no volume de óleo vazado tanto internacional como nacionalmente (ITOPF, 2007; Cadastro de Acidentes Ambientais, CADAC, CETESB, 2007). A redução de acidentes está associada a um maior controle e cuidado nas operações envolvendo a exploração, transporte e armazenamento de petróleo, o que reflete um aumento no nível da responsabilidade ambiental induzida por uma cobrança cada vez mais acentuada da sociedade.

O desenvolvimento de acordos, códigos e instrumentos internacionais, como a Convenção de Responsabilidade Civil (CLC, 1969), London Dumping Convention (LDC, 1972/1996) a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL 1973/1978) e Convenção Internacional sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo (OPRC, 1990), também apontam uma preocupação crescente e mudanças significativas no controle da poluição marinha (SILVA e FIGUEIREDO, 2002). No Brasil, a Lei Federal 9.966 de 22 de Abril de 2000, define, entre outros aspectos, que o órgão federal do meio ambiente, em consonância com o disposto na OPRC 90, deve consolidar os planos de contingência locais e regionais na forma de Plano Nacional de Contingência.

Todavia, permanece o risco de que ocorram vazamentos com contaminação dos ecossistemas costeiros. É imprescindível a necessidade de contínuo aprimoramento nos instrumentos de resposta a vazamentos de óleo, nas dimensões jurídica e técnico-científica. As ações destinadas a minimizar os impactos de um vazamento de óleo previstos pelos planos de contingência abrangem diversos aspectos como a definição dos responsáveis pelas ações, recursos disponíveis para o combate e o estabelecimento de áreas prioritárias de proteção. Um

dos principais objetivos é reduzir tanto quanto possível as conseqüências ambientais e os esforços de limpeza das áreas atingidas. Este objetivo é mais facilmente atingido quando os locais mais sensíveis, as áreas prioritárias de proteção e os métodos de limpeza para cada área estão pré definidos. É neste contexto que estão inseridos as cartas de sensibilidade, as **Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo - Cartas SAO** (JENSEN et al., 1998).

As Cartas SAO constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. As Cartas SAO representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar ambientes com prioridade de proteção e aspectos sócioambientais, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza. Além de seu emprego em casos de emergência, as cartas de sensibilidade também podem ser utilizadas no planejamento e estudo de impacto ambiental, na definição de locais de instalação de empreendimentos. Sendo assim, reforça os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial (BRASIL, 2004).

A identificação e mapeamento das áreas sensíveis a derramamentos de óleo tiveram sua origem nos planos de contingência dos Estados Unidos, em meados dos anos 70, e eram baseados apenas em características geomorfológicas/físicas (CETESB, 2002). Os autores Gundlach e Hayes criaram o primeiro índice de vulnerabilidade a derramamentos de óleo (GUNDLACH e HAYES, 1978). A partir daí, as cartas de sensibilidade vem evoluindo e sendo adotados em diversos países, como Mar Vermelho no Egito (HANNA, 1995), Emirados Árabes (JENSEN et al., 1993), Austrália (THOMPSON e McENALLY, 1984), Venezuela (GARCIA, 1986), Ilha de Trinidad no Caribe (NANSIGH e JURAWAN, 1999), Ilha de Svalbart (MOE et al., 2000) e Brasil (AWAZU e POFFO, 1986; SCHAEFFER-NOVELLI, 1990; CARVALHO, 2003; WIECZOREK, 2007).

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), com a finalidade de padronizar a metodologia das cartas de sensibilidade elaborou em 2000 a primeira versão do documento "Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo" (BRASIL, 2000). Nesta mesma época, acidentes ocorridos na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, e em Barcarena, Paraná, resultaram na promulgação da Lei N° 9.966/2000, conhecida como Lei do Óleo, onde a necessidade do mapeamento de áreas sensíveis ao óleo ganha caráter normativo e se torna obrigatório para toda a costa brasileira. A importância das cartas SAO no Brasil foi intensificada pela regulamentação dessa lei através

da Resolução CONAMA N° 293/2001, do Decreto N° 4.136/2002 e do Decreto N° 4.871/2003.

Apesar disto, algumas áreas com intensa atividade petrolífera ainda não foram contempladas com Cartas SAO padronizadas pelo MMA e em escala de detalhe (1:10.000 a 1:50.000), como é o caso Sistema Estuarino de Santos. Esta é uma área altamente suscetível a derramamentos de óleo e considerada de “extrema importância biológica” segundo BRASIL, (2000).

Percebe-se, então, que é de suma importância que sejam desenvolvidos instrumentos, como as Cartas SAO, que representem a sensibilidade dos ecossistemas, dos recursos biológicos e socioeconômicos e que forneçam suporte à tomada de decisão durante ações emergenciais de resposta e no planejamento ambiental, minimizando os impactos negativos causados pelo óleo no ambiente.

### **1.1. Impactos do óleo**

O óleo pode causar impactos nos organismos de duas formas: através do efeito físico, resultante do recobrimento; e do efeito químico, associado à toxicidade dos compostos presentes (ITOPF, 2007).

Estes efeitos podem ocorrer concomitantemente em um vazamento de óleo, o qual vai depender da combinação entre densidade/viscosidade e toxicidade do óleo vazado e sua variação com o tempo. Geralmente, em óleos de baixa densidade predomina o efeito químico relacionado a sua toxicidade e em óleos de alta densidade predomina o efeito físico de recobrimento. O intemperismo pode elevar a densidade/viscosidade de um óleo e, ao mesmo tempo, reduzir sua toxicidade (MILANELLI, 2003).

Os principais efeitos do óleo nos organismos e nas comunidades biológicas costeiras, de acordo com revisão bibliográfica feita por Milanelli (1994; 2003) são: morte direta por recobrimento e asfixia; morte direta por intoxicação, morte de larvas e recrutas; redução na taxa de fertilização; perturbações na teia trófica; incorporação e bioacumulação de compostos; incorporação de substâncias carcinogênicas; efeitos indiretos subletais (série de efeitos que não representam a morte imediata dos organismos, mas que representam perturbações que impedem o organismo de realizar suas funções no ecossistema).

Segundo CETESB ( 2002) em ambientes marinhos e costeiros, existem fatores que atuam na dimensão do impacto do óleo, são eles:

- Condições oceanográficas e meteorológicas: turbulência e ondas podem ou não auxiliar os processos naturais de degradação do óleo. Entretanto, podem favorecer o processo de emulsificação dificultando a degradação. Condições de mar agitado dificultam as ações de contenção e remoção do óleo pelas equipes. Dias quentes e ensolarados favorecem a evaporação dos compostos tóxicos voláteis reduzindo a intensidade de impacto químico nos organismos. Por outro lado, baixas temperaturas tendem a elevar a densidade e viscosidade do óleo, potencializando seu impacto físico e aumentando sua persistência.
- Amplitudes de maré: derrames que ocorrem durante as marés de sizígia atingem áreas muito mais extensas da zona entremarés do que nas marés de quadratura. Entretanto, o movimento contínuo de subida e descida das marés atua como um importante fator de limpeza natural.
- Época do ano: as flutuações sazonais causam consideráveis variações na estrutura e composição das comunidades biológicas costeiras. A época em que se dá um derrame de óleo pode coincidir, por exemplo, com a fase de reprodução de uma ou várias espécies, podendo gerar grandes impactos às populações, a curto e médio prazos. Outro fator importante no grau de impacto do petróleo é o ciclo construtivo-destrutivo das praias arenosas, representado pela entrada e saída de areia em diferentes épocas do ano. Se acontecer um derrame na fase construtiva da praia, o petróleo pode sofrer soterramento e tende a contaminar novamente o ambiente com a chegada do ciclo destrutivo, quando ocorre retirada natural de grande quantidade de sedimento.
- Hidrodinamismo: o grau de hidrodinamismo é determinado pela quantidade, intensidade e forças das ondas e correntes que atuam no ambiente. Quanto maior o hidrodinamismo, maior a dispersão do óleo, reduzindo os impactos deste no ambiente. Nos ambientes abrigados, o petróleo tende a permanecer por muitos meses ou anos, impedindo a recuperação.
- Tipo de substrato: o substrato pode ser dividido em consolidado e não consolidado. Os substratos consolidados são as rochas que formam os costões, matacões e praias rochosas e de seixos. Neste caso, o óleo pode permanecer aderido, afetando diretamente a comunidade biológica. Nos substratos não consolidados, formados pelas areias e lodos, o petróleo pode penetrar verticalmente no sedimento, atingindo camadas profundas. Quanto maior for o grão, maior espaço entre os mesmos e conseqüentemente maior penetração do óleo no sedimento. O grau de selecionamento e angulação das

partículas de areia do sedimento também interferem na capacidade de penetração (Quadro 1).

- Tipo de comunidade: A composição de espécies de cada ambiente, a complexidade das interações ecológicas e das teias tróficas e outros aspectos estruturais e funcionais, podem influir na gravidade do impacto.
- Formas de limpeza do óleo: A forma de limpeza é um fator relevante ao se considerar o grau de impacto de um derrame, já que muitas técnicas de limpeza podem causar grande impacto à comunidade biológica, muitas vezes maior do que o do próprio petróleo.

Entre os ambientes costeiros, o manguezal pode ser classificado como um dos ecossistemas mais sensíveis a vazamentos de óleo. Tal sensibilidade é baseada na interação da costa com processos físicos relacionados com a deposição do óleo, permanência deste no ambiente, e extensão do dano ambiental. O óleo pode persistir no manguezal por anos e as técnicas que permitam limpar ou remover o petróleo deste ecossistema são limitadas (GUNDLACH e HAYES, 1978).

Para Rodrigues (1997) a recomposição de bosques mortos pode levar décadas se o óleo persistir no substrato, e isso é agravado pelo lento crescimento das árvores. Se não ocorrer uma morte imediata do bosque de mangue, numerosas respostas podem ser notadas, incluindo efeitos subletais nas árvores bem como nos organismos associados.

Os vazamentos de petróleo também podem causar impactos nas atividades sócioeconômicas costeiras. Os impactos do óleo no ambiente podem prejudicar toda a população de uma área que dependa da renda do turismo e da pesca, por exemplo. Os principais impactos são: impacto visual; interdição da praia; comprometimento da balneabilidade; impossibilidade de realizar atividades como banho, passeios de barco, pesca e mergulho; contaminação de portos, embarcações e outras estruturas; diminuição do turismo, o que causa prejuízo a hotéis, restaurantes, ao comércio em geral e a prestação de serviços; impactos na pesca e maricultura; infiltração e contaminação do lençol freático; efeitos na saúde humana (ITOPF, 1986; MICHEL, 2000; IPIECA, 2000).

**Quadro 1: Comportamento do óleo em alguns tipos comuns de substrato na zona costeira.**

	<b>TIPO DE SUBSTRATO E GRANULOMETRIA</b>	<b>COMENTÁRIOS</b>
	Costões Rochosos, Matacões e Estruturas Artificiais  > 256 mm	O óleo pode causar recobrimento nas rochas, aderir às superfícies rugosas e porosas. Pode também acumular-se em poças e fendas. O óleo é removido rapidamente pela ação das ondas, mas pode persistir em locais abrigados.
	Cascalho, Seixos e Calhau  2 - 256 mm	A penetração do óleo aumenta com o aumento do tamanho do sedimento. Em áreas de alto hidrodinamismo a superfície é rapidamente limpa, enquanto que o óleo enterrado pode persistir por algum tempo.
	Areia  0,062 - 2 mm	O tamanho da partícula e as características de drenagem determinam a penetração do óleo nas praias de areia. Praias de areia grossa permitem maior penetração do óleo, enquanto que praias de areia fina são menos permeáveis. O óleo pode ser soterrado em condições de tempestade.
	Lama  < 0,062 mm	Substratos lamosos são característicos de ambientes de baixa energia. Ocorre pouca penetração do óleo pelo fato do sedimento estar sempre saturado de água; o óleo, porém, pode persistir na superfície por longos períodos. Se ocorrer uma tempestade o óleo pode ser incorporado no sedimento e persistir indefinidamente. Tocas de animais e cavidades das raízes podem favorecer a penetração do óleo.

Fonte: Modificado de ITOPF, 1986 (CANTAGALLO, 2005)

## 1.2. O método do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL)

As cartas de sensibilidade devem contemplar três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros, recursos biológicos e recursos socioeconômicos.

A sensibilidade da linha de costa é classificada através do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) que hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala crescente

de 1 a 10, sendo quanto maior o índice maior o grau de sensibilidade (Quadro 2). Esta classificação é baseada no conhecimento das características físicas das áreas do litoral, considerando os seguintes fatores: grau de exposição à energia de ondas e marés; declividade do litoral; tipo do substrato. O ISL é baseado em características físicas da costa, fundamentais para a determinação do grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados. Além disso, o meio físico é também determinante para o tipo e a densidade das comunidades biológicas presentes na área (BRASIL, 2004). O litoral deve ser representado por uma linha sem dimensão espacial e com o código de cores padronizado pelo MMA (BRASIL, 2004), referente à classificação da sensibilidade do respectivo segmento. Por exemplo, uma praia arenosa terá toda sua extensão preenchida com a cor do ISL correspondente.

Em relação aos recursos biológicos, o objetivo é mapear e identificar as áreas de maiores concentrações de espécies, as fases ou atividades mais sensíveis do seu ciclo de vida (reprodução, alimentação, nidificação, áreas de migração entre outros) e as espécies protegidas, para subsidiar os responsáveis pelo planejamento e resposta aos acidentes com derramamentos de óleo, na determinação de prioridades de proteção. As informações são obtidas através de revisão de trabalhos existentes e dados coletados em campo. A distribuição espacial dos principais grupos será representada por um ícone associado a um ponto, linha ou polígono nas cores do respectivo grupo de recursos, de acordo com as convenções de BRASIL, 2004. Um número de referência estabelece a correlação com uma tábua de dados que acompanha a Carta SAO, com detalhes sobre as espécies e seus ciclos de vida.

As Cartas SAO são munidas de informações das atividades socioeconômicas que podem ser prejudicadas por derramamentos de óleo ou afetadas pelas ações de resposta, incluindo áreas de recreação, lazer e veraneio no litoral; áreas de pesca e maricultura, áreas sob gerenciamento especial (unidades de conservação, sítios históricos ou culturais), portos e terminais etc. Também são incluídas informações importantes para a implementação de ações de resposta a derrames, como estradas secundárias de acesso à costa, aeroportos, heliportos e helipontos, rampas para barcos, atracadouros, depósitos e locais de concentração para equipamentos de contenção, limpeza e transporte. As informações são obtidas basicamente através de sensoriamento remoto, consulta a órgãos públicos e privados, especialistas e trabalhos de campo. Os recursos de uso humano são indicados por ícones em preto e branco, padronizados pelo MMA (BRASIL, 2004).

Quadro 2: Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL)

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

Fonte: BRASIL, 2004. Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo.

Áreas sob gerenciamento especial têm seus limites mostrados como linhas de traço-ponto, com o ícone correspondente e o nome e tipo da área no interior. Cada carta de sensibilidade é acompanhada de uma tábua de dados com informações complementares sobre os recursos biológicos, a sensibilidade do litoral, as atividades socioeconômicas e de resposta a derramamentos de óleo. A tábua de dados segue normas estabelecidas (BRASIL, 2004) e deve ser impressa no verso da carta a que se refere. As cartas SAO são organizadas em um

Atlas que deve conter instruções e informações sobre a sensibilidade ambiental e a resposta a derramamentos de óleo.

### **1.3. Os Sistemas de Informação Geográfica e as Cartas SAO**

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como “um poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real” (BURROUGH, 1996).

Os dados de um SIG podem ser organizados na forma de um banco de dados geográficos. Um banco de dados consiste em uma coleção de dados interrelacionados. Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) corresponde a um conjunto de programas que permitem acessar os dados pertencentes ao banco. O principal objetivo de um SGBD é proporcionar um ambiente conveniente e eficiente para retirar, armazenar e atualizar as informações contidas no banco de dados (SILVA, 1999).

A produção das Cartas SAO requer grande quantidade de informações, tanto espaciais quanto descritivas, gerando a necessidade de organização dos dados em SGBD. A utilização destas tecnologias trouxe facilidades para os usuários como visualização de cartas em computadores pessoais, manipulação e análise mais rápida de um maior número de informações, além de possibilitar a atualização das cartas na medida em que novas informações são adquiridas (JENSEN et al, 1998).

Os SIGs permitem análises de dados mais rápidas, poderosas e compreensivas, avaliação interativa de mudança de cenários e circunstâncias e integração e sobreposição de dados de diferentes fontes, formatos e escalas dentro de uma matriz geográfica comum. Isto faz do SIG uma ferramenta mais atrativa do que o tradicional mapa impresso (TORTELL, 1992).

Diversos trabalhos demonstram o uso do SIG e banco de dados como ferramenta para o mapeamento de sensibilidade a vazamentos de óleo como Jensen (1990, 1998), Ricketts (1992), Tortell (1992), Moe et al (2000), Castro et al (2003), Wieczorek (2007).

Nas últimas décadas, o mapeamento de sensibilidade deixou de ser um produto estático de distribuição limitada focada somente a vazamentos de óleo na costa evoluindo para uma ferramenta mais versátil e valiosa com aplicações para o gerenciamento de recursos naturais (JENSEN et al, 1998).

A organização de grande quantidade de dados permite disponibilizar o sistema para outras atividades de importância significativa para o país e a sociedade como gerenciamento

costeiro, planejamento ambiental, entre outros. Os dados também podem ser disponibilizados na Internet aumentando a rapidez e eficiência do processo (WIECZOREK, 2007).

#### **1.4. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é realizar o mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo do estuário de Sistema Estuarino de Santos, Cubatão e São Vicente, Estado de São Paulo, em escala de detalhe (1:10.000 a 1:50.000), utilizando a metodologia proposta pelo MMA associada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Esta pesquisa também pretende contemplar objetivos específicos como: estabelecer quais recursos biológicos e socioeconômicos devem ser protegidos prioritariamente; propor áreas de sacrifício visando proteção de áreas sensíveis, como contribuição aos órgãos ambientais e gestores das emergências e propor procedimentos de limpeza e recuperação dos ecossistemas caso ocorra um vazamento de óleo.

#### **1.5. Justificativa**

O Sistema Estuarino de Santos apresenta intensa atividade petrolífera, mas ainda não foi contemplada com Cartas SAO padronizadas pelo MMA em escala de trabalho de detalhe (operacional: de 1:10.000 a 1:50.000). Os mapeamentos realizados geralmente são feitos para atender a legislação e de caráter expedito, desconsiderando muitas informações ambientais relevantes, como levantamentos biológicos e socioeconômicos mais detalhados. O aprofundamento destas informações, assim como a elaboração das cartas em um Sistema de Informação Geográfica, é de grande utilidade nos momentos de tomada de decisão e ações de combate em áreas impactadas.

As Cartas SAO também podem ser um instrumento valioso no planejamento ambiental, pois auxiliam na avaliação de recursos, em estudos de impacto ambiental e na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria do petróleo (BRASIL, 2004). No caso do estuário de Cubatão, essa ferramenta será de grande importância, pois, dentre outras aplicações, pretende-se expandir o setor portuário para áreas de manguezal localizadas no município, visto que áreas disponíveis em Santos e Guarujá estão esgotadas (MOURÃO, 2006).

O Sistema Estuarino de Santos pode ser considerado uma área de alta vulnerabilidade a derramamentos de óleo devido: à presença de um Pólo Petroquímico no município; ao

tráfego de navios que entram no estuário através do Canal da COSIPA; à proximidade do Porto de Santos e a presença de terminais e oleodutos. Um dos acidentes de maior relevância no Estado de São Paulo ocorreu em Cubatão em 1984, quando houve um vazamento de um duto da PETROBRAS que transportava gasolina, ocasionando incêndio e morte de 99 pessoas. Em 1991, foram lançados no rio Cubatão, que deságua no estuário, 10 mil litros de óleo provenientes da Refinaria Presidente Bernardes. Em 1995, uma fissura no casco no navio *Stolt Span* que trafegava no estuário, provocou o vazamento de 3200 litros de estireno contaminando as águas do estuário, a atmosfera e causando incômodos a população de toda a Baixada Santista. Em 2000, problemas em um duto da Petrobrás entre Cubatão e São Bernardo do Campo (SP), provocaram o vazamento de 200 litros de óleo diluente. Os exemplos citados são apenas alguns acidentes que ocorreram na área de estudo, o que reforça a necessidade de instrumentos como as Cartas SAO.

Segundo BRASIL (2000) o Sistema Estuarino de Santos é considerado uma área de “extrema importância biológica” e está entre as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e de vários grupos como invertebrados, peixes, répteis, anfíbios e aves.

## **2. DESCRIÇÃO DO MEIO FÍSICO**

### **2.1. Área de estudo**

O Sistema Estuarino de Santos situa-se na região denominada Baixada Santista, litoral do estado de São Paulo. Dista da capital, São Paulo, em torno de 72 km fazendo limite com os municípios de Santos, São Vicente, Santo André e São Bernardo do Campo. O acesso se dá pelo sistema rodoviário Anchieta-Imigrantes.

A área de estudo (entre as coordenadas  $46^{\circ}29'49.2''\text{W}$   $23^{\circ}59'46.3''\text{S}$  e  $46^{\circ}16'51.8''\text{W}$   $23^{\circ}53'33.1''\text{S}$ ) possui em torno de  $160 \text{ km}^2$  e inclui, além do estuário de Cubatão, que abrange os rios Cubatão, Cascalho, Casqueiro, Mogi e Canal da COSIPA, porções estuarinas de São Vicente a oeste, que inclui o Largo de São Vicente, Largo do Pompeba e rios Paranhos, Santana, Branco e Mariana, e de Santos a leste, que abrange o Largo do Caneu e os rios Jurubatuba, Diana e Sandí. Este complexo estuarino comunica-se com as Baías de Santos e São Vicente e, através destas com o mar aberto (Figura 1).

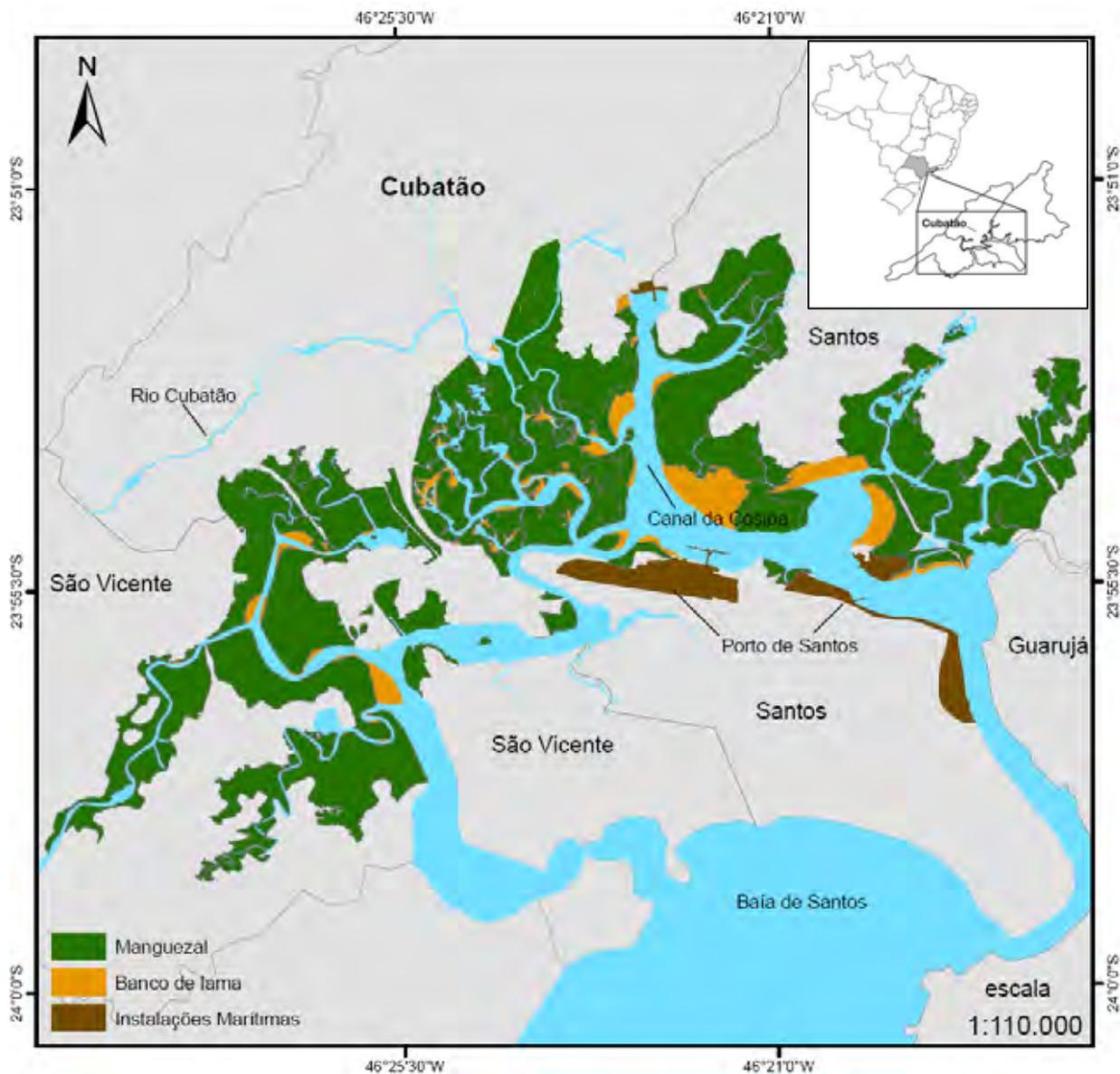


Figura 1: Localização da área de estudo.

## 2.1. Clima

A Baixada Santista possui clima quente e úmido com temperatura média superior a  $20^{\circ}\text{C}$  e precipitação anual variando de 2000 a 2500 mm. A distribuição anual das chuvas mostra uma forte concentração nos meses de verão (janeiro a março) (SANTOS, 1965).

A atmosfera da Baixada apresenta alta umidade relativa do ar ao longo do ano, variando em torno de 80%. Isto se deve ao fato do clima da região ser controlado por massas de ar tropicais e polares (SANT'ANNA-NETO, 1990).

Durante o inverno, eventualmente os ventos equatorial-continentais e tropical-continentais do Noroeste trazem massas de ar quente e seco do interior. Ao se aproximarem do litoral, provocam uma reversão na direção da circulação atmosférica de Cubatão. Isto indica a chegada de uma frente fria vinda do Sul. Quando as massas de ar se estabilizam

seguem-se chuvas fracas e prolongadas. Porém, em condições meteorológicas instáveis iniciam-se chuvas fortes e prolongadas. Se a frente fria estiver estacionada paralela a Serra do Mar predominam os ventos do sudeste e chuvas fortes, em consequência da orografia, podendo durar vários dias. As condições estáveis de inversão nos meses de inverno, no entanto, levam a região a estado de alerta. A escarpa da Serra do Mar funciona como uma barreira para a troca de ar horizontal e com ventos predominantes do Sul, Sudeste e Sudoeste. As emissões distribuem-se e acumulam-se nos vales do rio Mogi e do rio Cubatão, formando uma camada de ar carregada de poluentes que cobre a vegetação da Serra do Mar. Já no verão, em consequência da forte insolação e formação de nuvens cúmulo-nimbos acima da camada de calor produzida pelas indústrias e construções urbanas, podem surgir chuvas intensas por convecção, que também precipitam nas encostas (GUTBERLET, 1996).

Segundo dados meteorológicos registrados pela estação da Rhodia, no período de setembro de 1997 a dezembro de 1998, o regime pluviométrico apresentou variação entre as estações com maior precipitação no mês de Setembro. As temperaturas foram mais elevadas em março e outubro chegando a 30,3° C. A mínima registrada foi 16,8° C no mês de Junho. Os raios solares tiveram maior incidência em dezembro e menor em novembro. A velocidade dos ventos foi mais elevada no mês de junho (KRISTOSCH, 2003).

## **2.2. Geomorfologia**

Na Baixada Santista identificam-se três baixadas alternadas entre as proeminências da Serra do Mar: a de Bertioga, a de Santos e a de Itanhaém, sendo que a de Santos constitui um golfo quase fechado por duas importantes ilhas, a de Santo Amaro e a de São Vicente. Na Baixada Santista existem planícies muito amplas de deposição marinha. O preenchimento por sedimentos de antigas baías se deu durante períodos em que o mar esteve mais alto do que o atual. As ilhas neste setor são predominantemente sedimentares (LAMPARELLI, 1998).

A região é heterogênea, contendo desde planícies costeiras, mangues e formações associadas até relevos bastante acidentados, englobando escarpas de alta declividade, incluindo a serra do mar propriamente dita, bem como a porção de planalto composta pelo reverso da serra e as escarpas de contato abrupto com a baixada. São encontradas ainda baixas vertentes suavizadas, localizadas nas zonas de contato da escarpa da Serra do Mar com a planície costeira sob forma de patamares, rampas e depósitos coluviais.

Pode-se considerar que a região é formada por duas formas de relevo: relevo de degradação em planaltos dissecados e superfícies aplainadas por agradação. A primeira produzida pela ação contínua de processos de denudação é constituída por morrotes, morros e

montanhas, escarpas festonadas e escarpas com espigões digitados. A segunda forma de relevo representa a planície costeira, terraços marinhos e mangues. As planícies costeiras são formadas por terrenos baixos mais ou menos planos, próximo ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante, localmente anastomosados. Os terraços marinhos são terrenos de média declividade, poucos metros acima da planície costeira com drenagem superficial ausente e presença de antigos cordões. Os mangues são terrenos baixos, quase horizontais, ao nível de oscilação das marés caracterizados por sedimentos tipo vaza (lama), vegetação típica e drenagem com padrão difuso. Estão associados a terrenos baixos e planos formados por depósitos marinhos retrabalhados por processos fluviais com aporte de sedimentos finos continentais (argilas especialmente colóides), que nas porções de contato com as águas salinas provenientes das marés altas produzem floculação/deposição de argilas constituindo depósitos lodosos (CETEC, 2000).

A planície de Santos, incluindo a baía e o estuário, é formada predominantemente por areias marinhas, depósitos argilo-arenosos, fluvio-lagunares e sedimentos de fundo de baía com desenvolvimento pronunciado de manguezais (TESSLER, 1994). Os sedimentos de fundo do estuário são predominantemente constituídos por silte fino gradacionado até areia muito fina, não se registrando em geral, tendência de assoreamento rápido (FÚLFARO e PONÇANO, 1976).

### **2.3. Hidrografia**

O Sistema Estuarino de Santos integra a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 7 (UGRHI-7), que corresponde à Bacia Hidrográfica da Baixada Santista. Sua área de drenagem é de 2788,82 km<sup>2</sup> compreendendo a região do estuário de Santos, São Vicente e Cubatão, as bacias do litoral norte em Bertioga e as do litoral sul e centro-sul Peruíbe, Itanhaém, Monguaguá e Praia Grande. Suas nascentes encontram-se na vertente marítima da Serra do Mar, e após vencer desníveis de até 1.100 m, conformam planícies fluvio-marinhas, drenam manguezais e deságuam no oceano ou canais estuarinos. Seus principais cursos d' água são os rios Cubatão, Mogi, Quilombo ao centro; rios Itapanhaú, Guaratinga e Guaratuba ao norte e rios Branco e Itanhaém ao sul (CETEC, 2000).

Os principais rios encontrados na área do projeto são: Casqueiro, Cascalho, Paranhos, Santana, Branco, Cubatão, Diana, Sandi, Jurubatuba, Perequê, Piaçaguera, Mogi e Quilombo.

## 2.4. Oceanografia e circulação

A hidrodinâmica costeira é influenciada pelo movimento das marés, pelas correntes de maré, pelos ventos e pelas descargas de águas fluviais.

A maré no estuário estudado tem caráter semidiurno; a amplitude média de sizígia é de 1,23 m e a de quadratura é igual a 0,27 m (para o Porto de Santos). As frentes frias, freqüentes na região, especialmente durante o inverno, produzem alterações no nível médio do mar, que podem ultrapassar meio metro (HARARI & CAMARGO, 1995).

As características mais importantes das marés são: as diferenças de intensidade de circulação entre a parte costeira profunda e as regiões interiores rasas, contrastes na circulação da Baía de Santos, condições de convergência e divergência nos Canais de Bertiooga e de São Vicente, assimetrias de maré nas regiões rasas e rotação anti-horária das correntes nas áreas costeiras. Estas feições gerais são comuns a todos os ciclos de maré nesta região (HARARI & CAMARGO, 1997).

Em condições meteorológicas normais, ou seja, circulação anticiclônica do ar tropical (brisa marinha), as correntes são governadas principalmente pelas marés. Na maré vazante, verifica-se uma efluência ao longo da baía e ao longo de toda a coluna d'água. Na enchente, a afluência ocorre pelo fundo com uma efluência na camada superior (0 a 1 m) que circula da boca do estuário (canal do Porto), contornando a baía de Santos e escoando na direção SSW. Essa condição é observada em cerca de 80% do tempo. Ocorre também uma estratificação da coluna de água na baía de Santos que cresce para a entrada do estuário. Estratificação esta que existe de forma acentuada desde o canal do Porto de Santos até o interior do canal da COSIPA. São duas massas d'água bem distintas, principalmente com relação à salinidade. A camada superior menos salina e mais quente varia de 1 a 3 m de profundidade e a inferior mais fria e mais salina. A primeira proveniente de águas estuarinas e a segunda de águas costeiras (TOMMASI, 1979; VALENTIN, 1994).

ASA (2007) analisou dados de corrente nas coordenadas 23°53,987'S e 046°22,64'W, no interior do Canal de Piaçaguera. Este local apresenta lâmina d'água de aproximadamente 10 metros. As séries analisadas referem-se às profundidades de 1 metro (superfície) e 9 metros (fundo) durante o período compreendido entre 23 de junho e 11 de julho de 2001. Pôde-se observar que, nesta posição, a corrente tem um eixo predominante em torno de 180° (SSE) e 350° (NNW), com as maiores intensidades e freqüências ocorrendo para SSE na superfície e para N-NW no fundo. As análises mostram que na posição de amostragem o escoamento é praticamente unidirecional, intercalando períodos de enchente e vazante causados por maré astronômica. As correntes de superfície apresentaram magnitudes

superiores às de fundo durante os períodos de vazantes e durante as enchentes as correntes de fundo apresentaram intensidades maiores do que as de superfície. Este padrão de circulação é coerente com a de um estuário estratificado ou parcialmente estratificado (CORRÊA et al, 2007).

Com relação aos ventos, Corrêa et al (2007) analisaram dados através de medições referentes ao período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 1997. Estes dados foram obtidos na posição de latitude 23°55,2'S e longitude 46°22,6'W, em Alemoa. Os autores concluíram que os ventos mais freqüentes são provenientes do setor E-ENE influenciados pela ação da AAS (Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul), e os mais intensos, associados à incidência de sistemas frontais com forte influência de efeitos orográficos, devido à posição do ponto de coleta (em Alemoa), são provenientes de NW e W-NW (verão e inverno) e S-SW (inverno).

Os mesmos autores analisaram dados de vazão para dois importantes rios que deságuam no estuário: Cubatão e Quilombo. O Rio Cubatão é o mais importante da região, a vazão média deste rio para o período amostrado é de, aproximadamente, 10,0 m<sup>3</sup>/s. Para este rio o período de cheia tem início em novembro, com o máximo da vazão em março (aproximadamente 21,5 m<sup>3</sup>/s). O período de seca ocorre entre os meses de maio a agosto. Para o rio Quilombo a vazão média é de 3,0 m<sup>3</sup>/s, sendo o período de cheia de novembro a abril e de seca de maio a agosto.

As variações entre volume de descarga fluvial e amplitude de marés, além de fatores como ondas e ventos, promovem modificações nos padrões de circulação estuarina permitindo a classificação dos estuários. Quando o estuário é dominado pelo rio é classificado como um estuário altamente estratificado ou de cunha salina. Neste tipo de estuário a salinidade das águas de superfície é bem menor que a salinidade das águas de fundo, apresentando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade. Quando no interior do estuário os efeitos de turbulência causados pelas correntes de maré e ondas são dominantes, o estuário é classificado como totalmente misturado. Neste caso a salinidade só varia lateralmente. Quando a velocidade da descarga fluvial e as correntes de maré são comparáveis, o estuário é classificado como parcialmente estratificado, em que a salinidade se dá de maneira gradativa, tanto na vertical quanto na horizontal. É importante salientar que um mesmo estuário pode apresentar mais de um tipo de estratificação simultaneamente. Além disso, a circulação e estratificação de um estuário dependem diretamente das condições hidrodinâmicas reinantes (SILVA et al. 2004).

Não há na literatura uma classificação para o estuário estudado na presente pesquisa, mas, com base em Tommasi (1967), verifica-se a existência de uma cunha salina que penetra

pelo canal de Santos (entrada do Porto), sugerindo a entrada de um maior volume de água costeira pelo lado leste da baía e uma maior saída de água estuarina pelo lado oeste da mesma. Verifica-se, no estuário, uma área de assoreamento em frente aos cais do Valongo e Paquetá e Ilha de Barnabé. Isso leva a tendência de formação de um grande giro de águas no largo em frente ao canal de Bertioga, Ilha de Barnabé, Ilha de São Vicente e Ilha de Santo Amaro.

## **2.5. Ambientes**

Os ambientes existentes na área de estudo serão descritos a seguir.

### ***Manguezais***

O manguezal é um ecossistema tropical, ocorrendo entre as latitudes 23°30' N e 23°30' S, com extensões subtropicais até 30°, quando há condições favoráveis. Seu maior desenvolvimento, no entanto, é encontrado na região equatorial (BDT, 2006).

Sua faixa de distribuição no Brasil está entre 4°30' N, no Cabo Orange (Amapá), e 29° S, em Laguna (Santa Catarina) (KJERFVE e LACERDA, 1993).

É caracterizado por ser um sistema dominado por espécies vegetais típicas, às quais se associam outros componentes da flora e da fauna, micro e macroscópicos, adaptados a um substrato periodicamente inundado pelas marés, com grandes variações de salinidade. Manguezais são inquestionavelmente considerados como um dos ecossistemas mais produtivos do planeta. Este ecossistema geralmente está associado à margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar. São sistemas funcionalmente complexos. A cobertura vegetal se instala em substratos de vasa de formação recente, de baixa declividade, sob a ação diária das marés de água salgada ou salobra. A riqueza biológica dos ecossistemas costeiros faz com que essas áreas sejam os grandes "berçários" naturais, tanto para as espécies características desses ambientes como para animais que migram para as áreas costeiras durante, pelo menos, uma fase do ciclo de vida (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

A fauna e a flora de áreas litorâneas representam significativa fonte de alimentos para as populações humanas. Os estoques de peixes, moluscos e crustáceos apresentam expressiva biomassa, constituindo fontes de proteína animal de alto valor nutricional. Os recursos pesqueiros são considerados como indispensáveis à subsistência das populações tradicionais da zona costeira, além de alcançarem altos preços no mercado internacional, caracterizando-se como importante fonte de divisas para o país (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Com relação à cobertura vegetal, as angiospermas do mangue do litoral brasileiro pertencem a três gêneros, contando com um total de 6 espécies (SCHAEFFER-NOVELLI e CINTRÓN, 1986):

- Gênero *Rhizophora*

Mangue vermelho, sapateiro ou verdadeiro: encontra-se geralmente nas franjas dos bosques ao longo dos canais, na desembocadura de alguns rios, ou nas partes internas dos estuários onde a salinidade não é muito elevada. As espécies são: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii*.

- Gênero *Avicennia*

Siriúba ou mangue preto: ocupa terrenos da zona entremarés, ao longo das margens lamacentas dos rios desde que submetidas a intrusões salinas. Essas plantas toleram salinidades intersticiais muito mais altas que os demais gêneros de mangue. As espécies são: *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*.

- Gênero *Laguncularia*

Mangue branco ou tinteira: encontrado em costas banhadas por águas de baixa salinidade, às vezes ao longo de canais de água salobra ou em praias arenosas protegidas. Possui apenas uma espécie: *Laguncularia racemosa*.

O manguezal é considerado no Brasil como Área de Preservação Permanente, incluído em diversos dispositivos constitucionais (Constituição Federal e Constituições Estaduais) e infra-constitucionais (leis, decretos, resoluções, convenções). A observação desses instrumentos legais impõe uma série de ordenações do uso e/ou de ações em áreas de manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI, 1994 apud BDT, 2005).

O manguezal existente na área de estudo concentra-se principalmente ao longo dos rios Cubatão e Cascalho, Rio Branco, Largo do Caneu, Canal de Piaçaguera e Largo de Santa Rita. Estima-se, através de dados obtidos de fotointerpretação e, posteriormente, processados em um SIG, que o manguezal da área de estudo possui em torno de 55 km<sup>2</sup>. Somente no município de Cubatão, segundo Mello (2001), existe aproximadamente 19 km<sup>2</sup> de cobertura de mangue, sendo que deste valor 7,7 km<sup>2</sup> encontram-se razoavelmente preservados. Originalmente o município possuía 29 km<sup>2</sup> de manguezais que, ao longo da ocupação desordenada do território, passou por um processo de degradação (Figura 2).



**Figura 2: Canais e manguezais do Sistema Estuarino de Santos.**

### ***Bancos de lama***

Os bancos de lama ou lodo são ambientes de grande importância no ecossistema manguezal. Estes bancos são formados pela deposição de sedimentos finos em áreas abrigadas de correntes. Geralmente ocorrem onde rios chegam ao mar e perdem velocidade, depositando o material que carregam ao longo das margens de rios e canais (OLMOS e SILVA, 2003). Os bancos de lama podem atingir grandes extensões, como pode ser observado na área de estudo, e permanecem expostos durante a maré baixa. Um dos maiores bancos situa-se no Largo do Caneu na entrada do Canal de Piaçaguera que chega a medir 1,345 km<sup>2</sup>.

Os autores citados acima consideram que a sedimentação é o primeiro passo para o estabelecimento de um bosque de mangue. Além disso, os bancos de lama são muito utilizados pela fauna como área de alimentação. É comum observar siris, caranguejos e dezenas de aves como garças, guarás, batuíras, maçaricos e marrecos alimentando-se nos bancos de lama.

### ***Áreas alagadas por água doce***

Em direção às cabeceiras dos rios, a salinidade vai diminuindo e pode-se observar um ambiente de transição. As espécies típicas de manguezais vão sendo substituídas por outras, comuns em brejos de água doce e restingas. Nas margens surgem ma vegetação rica e diversa de capins, juncus, taboas, samambaias e outras herbáceas.

Segundo OLMOS e SILVA, 2003, estas várzeas constituem um dos ambientes mais raros na Baixada Santista devido ao seu aproveitamento para o cultivo de banana no passado e, recentemente, para os processos de urbanização e industrialização.

É possível encontrar também algumas lagoas e brejos de água doce nas áreas urbanas e industriais de Cubatão e Santos, a maioria formada por represamento indevido de linhas de

drenagem e canais de escoamento. Pode-se citar o “Dique do Furadinho” junto a siderúrgica Cosipa e a “Lagoa de Alemoa” na porção insular de Santos ao lado de uma empresa de contêineres. Esses locais são utilizados por diversos animais que vivem nos manguezais adjacentes além de espécies típicas (OLMOS e SILVA, 2003).

## **2.6. Aspectos socioeconômicos**

A indústria e as atividades portuárias constituem a base econômica do Sistema Estuarino de Santos. A partir de 1955, ocorreu o estabelecimento sistemático de indústrias de porte no município de Cubatão. A escolha dessa região se deu exclusivamente pela sua posição geográfica privilegiada: proximidade com o porto de Santos e a capital, obtenção de energia abundante e barata, além das condições favoráveis dos sistemas rodovias e ferroviário (VARGAS, 1995).

Em 1953, instituiu-se o monopólio do petróleo no Brasil e conseqüente criação da PETROBRAS. A Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão (RPBC) iniciou suas operações em 1955, desencadeando o processo industrial no município e atraindo indústrias de derivados de petróleo. Ocupando uma área de 7 km<sup>2</sup> e capacidade de produção de 170 mil barris/dia, a refinaria está ligada ao Terminal Marítimo Almirante Barroso (Tebar), em São Sebastião, SP, através de um oleoduto (PETROBRAS, 2006).

A consolidação do processo industrial torna-se evidente em 1963, com o início das operações da Cia. Siderúrgica Paulista, localizada entre os rios Quilombo e Mogi. No fim dos anos 70, Cubatão havia se consolidado como o maior pólo industrial da América Latina, na produção de energia, aço e petróleo.

Esta nova fase significou a ocupação indiscriminada dos manguezais, poluição do ar, do solo e dos recursos hídricos, aumento da temperatura local, desestruturação da mão-de-obra local e regional (VARGAS, 1995).

Atualmente existem 24 indústrias instaladas em Cubatão de acordo com MOURÃO (2006) sendo que algumas delas localizadas dentro do estuário (tabela 3).

Estes empreendimentos atraíram um elevado contingente de mão-de-obra de outras regiões do país o que causou sérios problemas sócioambientais. A procura de habitações próximas ao local de trabalho e a falta de recursos para a aquisição de moradias pela população mais pobre, leva a ocupação de terras inaptas à construção ou próximo a áreas industriais. A ocupação ilegal ocorre em terrenos pouco valorizados ou públicos, às margens de rodovias ou ferrovias, nas escarpas (e.g., Cota 200, Cota 400, Cota 500) ou em regiões de manguezais (e.g., Vila dos Pescadores). Cubatão pode ser considerada uma cidade

desestruturada e caótica devido a falta de planejamento da ocupação do solo e descaso com a população pobre (GUTBERLET, 1996).

A área de estudo possui uma extensa malha de dutos que cortam terrenos de alta declividade na Serra do Mar, extensas áreas de manguezal, áreas urbanas e industriais e instalações portuárias. Atualmente existem 31 dutos em operação que transportam petróleo e derivados (tabela 4) (TRANSPETRO, 2006).

**Tabela 3: Indústrias de Cubatão.**

<b>INDÚSTRIA</b>	<b>Ramo de atividade</b>
Santista de Papel	Papel
Usina Henry Borden	Energia
PETROBRAS - RPBC	Petroquímico
PETROCOQUE	Petroquímico
COPEBRÁS LTDA	Químico
CBE- Cia Brasileira de Estireno	Químico
Carbocloro Indústrias Químicas	Químico
Engelcor Ind. e Comércio Ltda	Químico
Columbian Chemicals Brasil Ltda	Químico
Dow Química	Químico
Cimento Rio Branco	Cimento
ULTRAFERTIL	Químico
IFC - Ind.de Fertilizantes Cubatão	Fertilizantes
BUNGE Fertilizantes	Fertilizantes
BUNGE Fertilizantes	Fertilizantes
COSIPA- Cia Siderúrgica Paulista	Siderúrgico
Mosaic (SOLORRICO /CARGIL)	Fertilizantes
AGA	Gases industriais e medicinais
WHITE MARTINS Gases Industriais Ltda	Gases industriais
Liquid Química	Químico/Gases industriais
BOC- Gases do Brasil	Gases industriais
Engebasa- Mecânica e Usinagem S/A	Usinagem
Brastubo	Metalúrgico
Dufer	Metalúrgico
Hidromar	Químico

Fonte: modificado de Mourão, 2006.

Tabela 4: Dutos em operação.

Operador	Tipo de Operação	Origem	Município	Destino	Município	Produto	Diâm.(pol)	Ext.(km)	Operação
Transpetro	Transferência	Terminal Cubatão	Cubatão	Recap	Capuava	Petróleo	12	34,4	1954
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Utinga	Santo André	Claros/GLP	14	46,2	1989
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Utinga	Santo André	Claros/GLP	10	37	1972
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Utinga	Santo André	Óleo combustível	18	37,9	1980
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Utinga	Santo André	Claros	18	37,8	1952
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Base de Cubatão	Cubatão	Claros	14	2	1993
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Base de Cubatão	Cubatão	Claros	14	2	1993
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Cubatão	Cubatão	Claros	18	2	1993
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Cubatão	Cubatão	Escuros	18	2	1993
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Cubatão	Cubatão	Escuros	18	2	1993
Transpetro	Transferência	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Cubatão	Cubatão	Petróleo	24	3,6	1993
Transpetro	Transporte	Terminal Cubatão	Cubatão	Terminal Cubatão	Cubatão	GLP	10	2,2	1993
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Cia Bras. Estireno	Cubatão	Benzeno	3	3,2	1986
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Gasolina aviação	6	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Óleo diesel	6	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Nafta	6	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Óleo combustível	8	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Hexano	4	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Benzeno	3	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Tolueno	4	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Xileno	3	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Butano	3	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Gasolina veic.	4	2,3	1974
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Gasolina aviação	6	2,3	1984
Petrobras	Transferência	RPBC	Cubatão	Br	Cubatão	Solventes	3	2,3	1974
Transpetro	Transporte	Terminal Alemoa	Santos	Terminal Cubatão	Cubatão	Claros	14	9,6	1988
Transpetro	Transporte	Terminal Alemoa	Santos	Terminal Cubatão	Cubatão	Claros	18	9,6	1988
Transpetro	Transporte	Terminal Alemoa	Santos	Terminal Cubatão	Cubatão	Claros	14	9,6	1988
Transpetro	Transporte	Terminal Alemoa	Santos	Terminal Cubatão	Cubatão	Óleo combustível	18	9,7	1951
Transpetro	Transporte	Terminal Alemoa	Santos	Terminal Cubatão	Cubatão	GLP	10	11	1951
Transpetro	Transferência	Tebar	São Sebastião	Terminal Cubatão	Cubatão	Petróleo	24	121	1968

Fonte: Modificado de TRANSPETRO, 2006.

No estuário estão presentes o Terminal de Alemoa de Santos, o Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC) e o Terminal da Ilha Barnabé.

**Terminal de Alemoa de Santos** - localiza-se no Porto de Santos e é empregado principalmente em operações de carga e descarga de produtos derivados de petróleo, GLP e Bunker para navios. O Terminal possui dois píeres distintos para navios, conhecidos como Píer 1A e Píer 2 A. O Píer 1 A é de uso exclusivo da PETROBRAS e o Píer 2A é compartilhado com outras empresas químicas. Outros dois píeres no lado interno se destinam ao carregamento de barcas com bunker, destinados ao fornecimento a navios no porto de Santos. Os píeres principais 1A e 2 A, são utilizados tanto para carga quanto para descarga de derivados claros e escuros de petróleo, além de GLP (Figura 3). O Terminal opera ininterruptamente, podendo transferir produtos durante 24 horas por dia (TRANSPETRO, 2006).



**Figura 3: Visão do Píer 1 de Alemoa**

O Porto de Santos é o principal porto brasileiro. Ele apresenta grande diversidade de terminais de movimentação de cargas - granéis sólidos e líquidos e carga geral. É o porto líder brasileiro na movimentação de contêineres. O sistema de acessos terrestres ao porto é formado pelas rodovias Anchieta e Imigrantes e pelas ferrovias Ferroban e MRS. Em 2005, o porto movimentou 71.902.494 toneladas, 5.535 navios, sendo o óleo diesel, dos derivados de petróleo, o produto mais expressivo com 1.869.033 toneladas (CODESP, 2006).

Com relação a planos de emergência, o Porto de Santos dispõe de um PCE, Plano de Combate a Emergências e um PGR, Plano de Gerenciamento de Riscos, que abrange também a Ilha Barnabé. Coordena também o PAM- PORTO, Plano de Auxílio Mútuo do Porto de Santos. Além disso, conta com equipamentos para emergências, como mantas absorventes, barreiras de contenção, mangotes, skimmers, esteiras recolhedoras, equipamentos de comunicação, proteção individual e sinalização, veículos terrestres e marítimos, profissionais especializados e um container para armazenamento de equipamentos (CODESP, 2006).

**Terminal da Ilha Barnabé** - A partir de 1930, a Ilha Barnabé começou a ser usada como depósito de combustíveis e produtos químicos perigosos. Atualmente é um importante terminal de granéis líquidos da Baixada Santista. Possui 360 m de cais e 90 m de profundidade (Figura 4). As empresas situadas no terminal são: Granel Química, Potenza, Brasterminais e Argemil. Movimenta anualmente mais de 3 milhões de toneladas de produtos da indústria química e petroquímica (CODESP, 2006). Graves incêndios com liberação de produtos químicos no ambiente e morte de operários ocorreram na ilha com destaque para os anos de 1951, 1969, 1974, 1991 e 1998 (NOVO MILÊNIO, 2002).



Foto de Milanelli, J.C.C.

**Figura 4: Visão Ilha de Barnabé.**

**Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC)** - o Terminal é controlado pela Usiminas desde 1999. A capacidade para movimentação do Terminal é de 12 milhões de toneladas por ano, e atracação em 5 berços. A localização estratégica do terminal facilita o recebimento e despacho de produtos, tendo em vista a facilidade de acesso rodoviário (Rodovia Piaçaguera) e sua infra-estrutura ferroviária (ramais da MRS, Ferroban e Ferronorte). Os objetivos operacionais do Terminal são principalmente de abastecer a Siderúrgica Cosipa de matérias primas - carvão importado, minério de ferro e fundentes - e exportar os produtos siderúrgicos produzidos pela mesma (Figura 5). Além disso, o TMPC investe constantemente na prestação de serviços a terceiros, como embarque e desembarque de produtos siderúrgicos, granéis sólidos, carga geral, máquinas e equipamentos (BRASIL, 2006).



Foto de Milanelli.

**Figura 5: Visão do Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC).**

Com relação à pesca, pode-se observar pesca artesanal com vara e linha, rede e pesca de siri na área do estuário, principalmente no Largo de São Vicente. Estes utilizam-se de barcos com motor de popa ou canoas para adentrar na região dos mangues (LOREJAN e RAIMUNDO, 1998). A captura e a comercialização do siri (gênero *Callinectes*) ocorre o ano todo sendo importante fonte de renda para as comunidades locais (SEVERINO-RODRIGUES et al., 2001).

A região de Santos abriga o maior banco de mexilhões do Sudeste brasileiro (MORAES, 1999), com grande potencial de aproveitamento para coleta de sementes (mesmo em áreas contaminadas) destinadas à maricultura na região ou fora dela (litoral Norte ou Sul). O estuário de Santos, portanto, desempenha um papel fundamental no ciclo de vida de inúmeras espécies de peixes, crustáceos e moluscos marinhos de interesse comercial. Muitos ainda são capturados no interior do estuário, e sustentam diversas comunidades de pescadores. A degradação do estuário causou a diminuição e o desaparecimento de algumas espécies de pescado, e vem mudando os hábitos culturais da pesca artesanal na região (SILVA E FIGUEIREDO, 2002).

O município de Cubatão tem atualmente investido e divulgado o turismo e o ecoturismo na região da mata atlântica e manguezais. No núcleo Cubatão do Parque Estadual da Serra do Mar há uma demanda significativa por atividades turístico-recreativas como pesca, caminhadas, turismo de aventura e místico e/ou religioso. Já na área de manguezais, observa-se passeios de barco para pesca no Largo do Caneu, rios Casqueiro e Cubatão e avistamento do guará-vermelho que voltou a se reproduzir na região.

O acervo histórico-cultural da área de estudo é bastante rico, pois conta parte da história da colonização brasileira e da economia paulista. Existem três sítios arqueológicos de sambaqui em Cubatão: o sambaqui de Piaçaguera (localizado dentro da área da Cosipa, com três metros de espessura e é o mais antigo do Brasil, aproximadamente 5000 anos); sambaqui da Ilha do Casqueirinho (também situada na área da Cosipa e contem três jazidas com idade de 2155); sambaqui do Sítio Cotia-Pará (junto a Vila Natal, ainda inexplorado) (LOREJAN e RAIMUNDO, 1998). Além disso, Cubatão possui também a primeira estrada brasileira revestida em concreto, o Caminho do Mar, tombado pelo CONDEPHAAT. Associados a estrada existem outras construções de grande valor histórico pra o município como o Pouso de Paranapiacaba (casa de pedra), Belvedere do km 45 e o Padrão Lorena, Pouso da Serra e Cruzeiro.

### **3. MÉTODO**

O método adotado para o mapeamento de sensibilidade a vazamentos de petróleo foi proposto pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2004). As Cartas SAO serão agregadas a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um Sistema de Banco de Dados Geográficos. Estas ferramentas facilitam o manuseio de grande volume de informações e possibilita a integração entre as diversas informações sobre os ambientes envolvidos, sua sensibilidade ao óleo, localização dos equipamentos de emergência, ações de resposta, recursos biológicos e socioeconômicos.

As Cartas SAO devem atender a todos os níveis de derramamentos de óleo, desde grandes vazamentos em áreas remotas (*offshore*) até pequenos derramamentos localizados. Para tanto, foram definidos pelo MMA em 2004, três níveis de elaboração das cartas: cartas estratégicas (abrangência regional, em escala da ordem de 1: 500.000), cartas táticas (escala intermediária 1: 150.000) e cartas operacionais/ de detalhe (locais de alto risco/ sensibilidade, em escalas de 1: 10.000 a 1: 50.000). Nesta pesquisa as cartas serão confeccionadas em escala operacional.

#### **3.1. Etapas da pesquisa**

A presente pesquisa está sendo realizada de acordo com seguintes etapas: levantamento das informações disponíveis, preparação da base cartográfica, mapeamento preliminar, montagem do banco de dados, coleta de dados em campo, organização e análise dos dados, atualizações, produção e organização do atlas e redação da dissertação. Estas etapas estão mostradas no fluxograma a seguir.

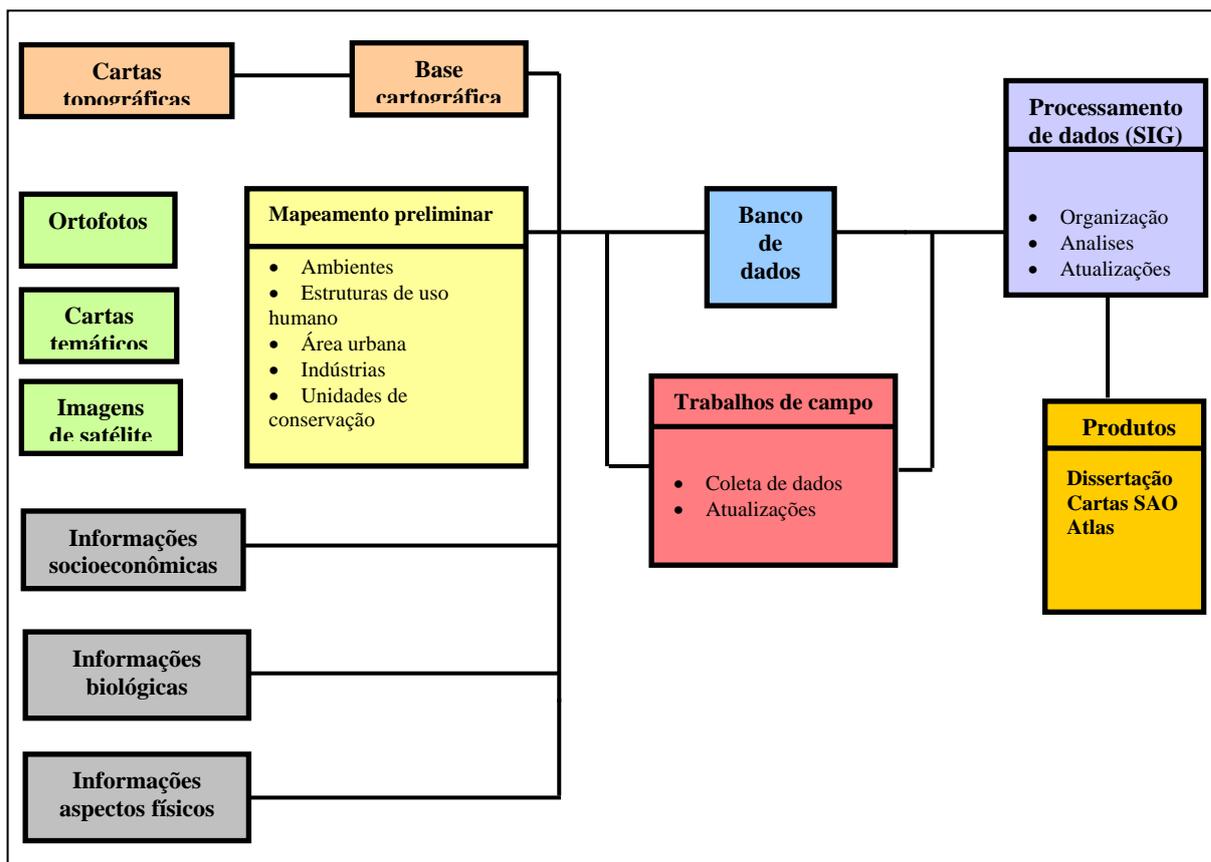


Figura 6: Fluxograma das etapas da pesquisa

### 3.2. Levantamento das informações disponíveis

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica a respeito de aspectos físicos, recursos biológicos e socioeconômicos presentes na área de estudo, bem como outros trabalhos que abordam o tema. O levantamento das informações foi feito de acordo com o previsto no método proposto pelo MMA (BRASIL, 2004).

Quanto aos recursos socioeconômicos, foram levantadas informações a respeito do uso humano, ocupação, presença de áreas de pesca, aqüicultura, recreação, sítios arqueológicos, locais históricos, entre outros. Para a caracterização dos aspectos biológicos da área de estudo levantou-se as espécies presentes, e informações como época de reprodução, locais de nidificação, alimentação e reprodução. Os aspectos físicos levantados nesta etapa são relativos à caracterização geomorfológica, climatológica e oceanográfica das áreas mapeadas.

A pesquisa bibliográfica foi efetuada em bases digitais através da Internet além de visitas às bibliotecas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Universidade

Santa Cecília (UNISANTA). Para o levantamento de dados biológicos foi utilizado bases de dados que pesquisam dentro de coleções biológicas, como “*Species Link*” e a “*Global Biodiversity Information Facility*” (GBIF).

As informações dos documentos científicos e técnicos foram reunidas e organizadas visando a inserção no banco de dados.

### **3.3. Base cartográfica**

A base cartográfica utilizada neste estudo foi digitalizada a partir de cartas topográficas do IBGE, escala 1: 50.000 (1969 a 1972) e ajustadas às ortofotos digitais do Instituto Florestal, escala 1: 5.000 (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SMA, 2002). Obteve-se esta base para a elaboração das cartas de sensibilidade através do projeto: “Concepção, desenvolvimento e implementação de um sistema de informação aplicado à elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derrames de petróleo: litoral paulista.”, financiado pelo CNPq / CTPETRO 550233/2005-9 (Figura 6). A linha de costa foi digitalizada, utilizando o software *ArcMap*, em escala apropriada para representar as feições estuarinas referentes aos cartas de sensibilidade.

Com relação à batimetria, as principais isolinhas, ou seja, as de maior profundidade, que são de 6, 10 e 12 m foram digitalizadas a partir das Cartas Náuticas do DHN (B1701- Canal de Piaçaguera, 1:15.000, B1701- Porto de Santos, 1:23.000, 1975).

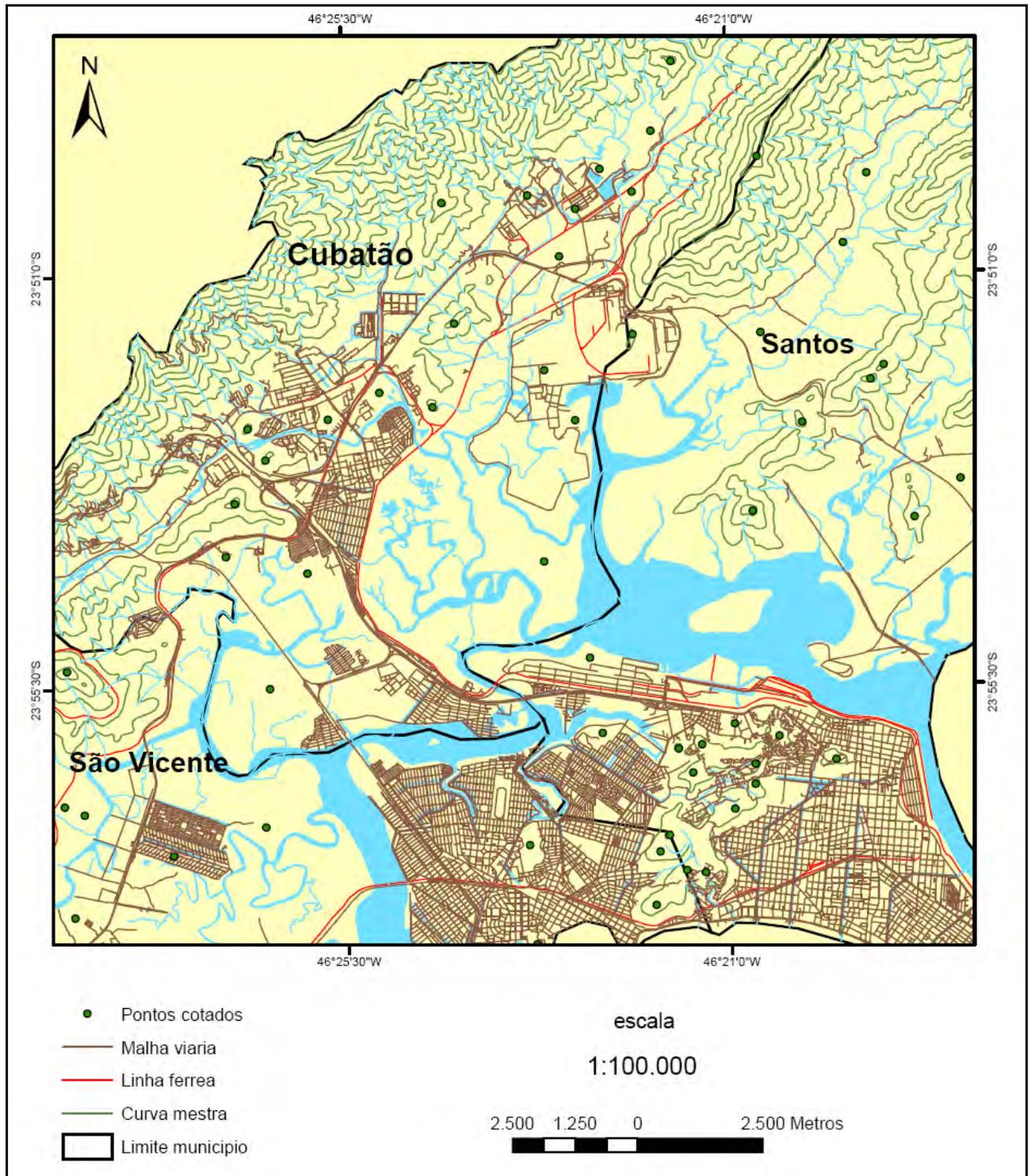


Figura 7: Base cartográfica do Sistema Estuarino de Santos.

### 3.4. Mapeamento preliminar

Através da interpretação das ortofotos (SMA, 2002), da base cartográfica, da base de dados de vegetação remanescente do Estado de São Paulo do programa Biota/Fapesp (2004) e outras referências, realizou-se, utilizando a ferramenta computacional *ArcMap*, um

mapeamento preliminar da área de estudo. Foram mapeadas as seguintes feições: área urbana, principais indústrias, estruturas artificiais de uso humano, unidades de conservação, bancos de lama, manguezais, canais, principais vias de acesso e limite de municípios.

As ortofotos permitiram mapear as feições em uma escala de 1: 5.000 possibilitando um trabalho detalhado. Este mapeamento preliminar foi utilizado como referência para os trabalhos de campo, e posteriormente foi refinado com estes dados para compor as cartas de sensibilidade. Todas as feições foram mapeadas como polígonos e linhas, com exceção das vias de acesso, que foram mapeadas somente como linhas. Isto se deve ao fato dos polígonos permitirem melhor visualização espacial e cálculo da área do ambiente, já o mapeamento em linha segue a metodologia do MMA (BRASIL, 2004) e facilitará posteriormente a edição do Índice de Sensibilidade do Litoral nos cartas finais.

### **3.5. Estruturação do banco de dados**

A estrutura do banco de dados foi montada dentro do software *ArcGIS 9.0*. Este possui uma forma hierárquica de organização de dados espaciais e tabulares. Dentro do aplicativo foi criado um “*Geodatabase*” com o nome “Sistema Estuarino de Santos”, sendo definido seu retângulo envolvente ( $x_1$ : 330008,  $y_2$ : 7334492;  $x_2$ : 382017,  $y_2$ : 7376958). O *Geodatabase* gerencia todas as informações espaciais e não espaciais que serão utilizadas nas Cartas SAO. Dentro deste *Geodatabase* foram criados os “*Feature Datasets*” que consistem em agrupamentos de elementos espaciais que possuem a mesma referência espacial e são os planos principais de informação.

Procurou-se organizar os *Feature Datasets* por temas, são eles: Ambientes, Recursos Biológicos, Recursos Socioeconômicos, Aspectos Físicos e Resposta, além da Base Cartográfica. Dentro dos *Feature Datasets* foram criados os “*Feature Classes*” que são elementos espaciais com a mesma geometria que podem ser pontos, linhas ou polígonos. Por exemplo, todos os *Feature Classes* referentes a informações socioeconômicas foram organizados dentro de um *Feature Dataset* chamado “Recursos Socioeconômicos”. Cada *Feature Class* possui uma tabela de dados associados sendo que cada ponto, linha ou polígono representa uma linha na tabela. A definição dos atributos dos objetos baseou-se no projeto citado anteriormente e que está em andamento (“Concepção, desenvolvimento e implementação de um sistema de informação aplicado à elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derrames de petróleo: litoral paulista” CNPq / CTPETRO 550233/2005-9).

### 3.6. Coleta de dados em campo

A coleta de dados em campo foi realizada em Julho e Dezembro de 2006. Todo o estuário foi percorrido com embarcação de pequeno porte, porém em uma porção de manguezal foi possível ser mapeada por terra (Ilha Caraguatá). A área foi dividida em segmentos homogêneos e devidamente nomeados de acordo com BRASIL (2004). Por exemplo, segmento SPCU001: “SP” referente a São Paulo, “CU” referente a Cubatão e “001” referente ao número do segmento. No total a área foi dividida em 28 segmentos. Para a delimitação de cada segmento foi utilizado o critério da homogeneidade das características geomorfológicas (e.g. trechos contínuos de praia, costão, recifes areníticos) e biológicas (e.g. manguezal, marisma). Ocorrências de feições ou elementos pontuais em trechos onde a feição predominante é diferente (e.g. a existência de uma formação rochosa) foram mapeadas como pontos, fotografadas e suas coordenadas registradas em GPS, calibrado para o *datum* SAD 69.

As informações foram colocadas em planilhas de campo de acordo com modelo proposto pelo MMA, com algumas adaptações que visaram o detalhamento de algumas informações e a otimização do tempo em campo.

Foram levantadas informações referentes a localização e caracterização dos ambientes estuarinos: manguezais, vegetação alagada, afloramentos rochosos, estruturas artificiais, bem como seu estado de conservação, uso humano (áreas e estruturas de pesca, lazer, comércio, ocupação) e fontes de poluição. Também foram localizados e caracterizados os acessos e os recursos biológicos presentes na área.

O levantamento biológico em campo foi mais focado no grupo das aves, por ser o grupo mais fácil de visualizar e estar presente em quantidade considerável em ambientes estuarinos. Como não possui o objetivo de levantamento sistemático de fauna, este trabalho priorizou o mapeamento das áreas de concentração, alimentação, reprodução e repouso de aves. As informações biológicas foram complementadas com levantamentos bibliográficos.

Em todos os segmentos foram obtidas fotografias de feições predominantes, ocupações humanas e elementos de fauna e flora. Todos os pontos e fotos foram localizados por coordenadas geográficas.

As atividades e locais de uso humano como ocupações, estruturas náuticas, áreas de mineração, áreas de pesca e lazer foram localizadas e descritas brevemente nas planilhas. As fontes potenciais de poluição e impactos antrópicos como desmatamentos, presença de resíduos sólidos, esgoto entre outros também foram mapeados.

Informações relevantes para a resposta a vazamentos de óleo, como acesso e localização de equipamentos foram georeferenciados e descritos.

Para o mapeamento do Rio Cubatão, devido à presença de uma fonte potencial de poluição de grande magnitude a montante (Refinaria Presidente Bernardes), optou-se por mapear o rio até esta fonte. Porém, a partir de certo ponto, houve o surgimento de feições fluviais, portanto foi utilizado, para a classificação da sensibilidade, uma metodologia elaborado por Araújo et al (2002) especificamente para feições fluviais.

### **3.7. Organização e análise dos dados coletados em campo**

Os dados coletados em campo foram organizados em planilhas no Excel. Os dados também foram separados em planilhas específicas (e.g. recursos biológicos, bancos de lama, afloramentos, fontes de poluição, coleta de sedimento etc) para ser inseridos no Sistema de Informação Geográfica.

### **3.8. Atualização da base cartográfica e do banco de dados**

Após a organização dos dados de campo, estes foram inseridos no banco de dados dentro dos temas geográficos pré-definidos. As feições mapeadas preliminarmente foram editadas e detalhadas para a produção das cartas definitivas. A base cartográfica foi atualizada. O banco de dados foi alimentado com as informações de campo como acessos, recursos biológicos e socioeconômicos. Cada segmento dos ambientes está associado ao banco de dados através de um código, incluindo o banco de imagens. No banco de dados constarão informações que definirão o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL).

### **3.9. Produção e organização do atlas**

Após a atualização da base cartográfica e do banco de dados foram produzidas as cartas de sensibilidade finais. Foi adotada a simbologia e as representações cartográficas seguindo a metodologia padronizada do MMA (BRASIL, 2004).

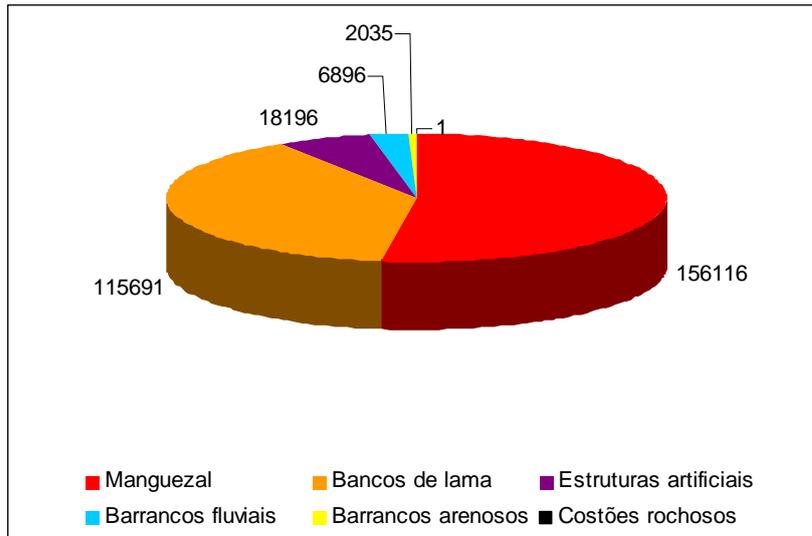
Elaborou-se um atlas que contem as Cartas SAO operacionais, de acordo com MMA (BRASIL, 2004) cartas temáticas, documentação fotográfica, os procedimentos recomendados de limpeza e recuperação dos ecossistemas, recomendações de áreas prioritárias de proteção e sugestões de zonas de sacrifício. O atlas é apresentado de forma impressa, junto com um DVD, que contem uma versão digital. O número de cartas e suas respectivas escalas, que podem variar de 1: 10.000 a 1: 50.000, foram definidos de acordo com o nível de detalhe das informações que se julgarem indispensáveis, com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados e dar suporte à tomada de decisão em uma situação de emergência.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

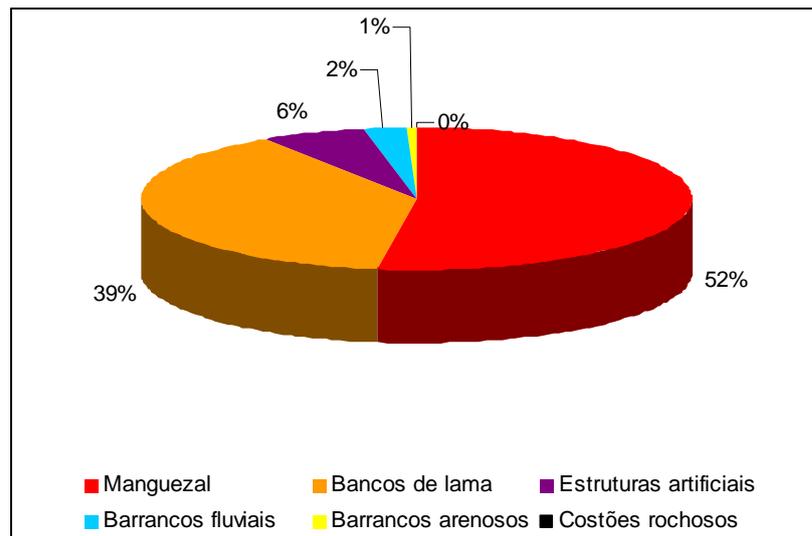
### **4.1. Sensibilidade ao óleo dos ambientes do Sistema Estuarino de Santos**

Os ambientes que ocorrem na área de estudo são: manguezais, bancos de lama, restingas, estruturas artificiais, costões rochosos, barrancos fluviais e arenosos. A linha de costa mapeada possui aproximadamente 299.000 m (299 km) de comprimento, sendo 156.116 m de manguezais, 115.691 m de bancos de lama, 18.196 m de estruturas artificiais, 6.896 m de barrancos fluviais e 2.035 m de barrancos arenosos. Os costões rochosos ocorrem pontualmente ao longo do estuário e, como foram mapeados como pontos, não apresentam dimensão (Figura 8).

Os manguezais e bancos de lama predominam entre os ambientes presentes na linha de costa com 52 % e 39 % respectivamente (Figura 9). Conseqüentemente, os Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL) dominantes são 9 e 10 (Figura 10), ou seja, os mais altos na escala de sensibilidade o que torna o estuário uma área de alta sensibilidade ao óleo.



**Figura 8: Extensão (em metros) dos ambientes na linha de costa.**



**Figura 9: Percentual de ambientes na linha de costa.**

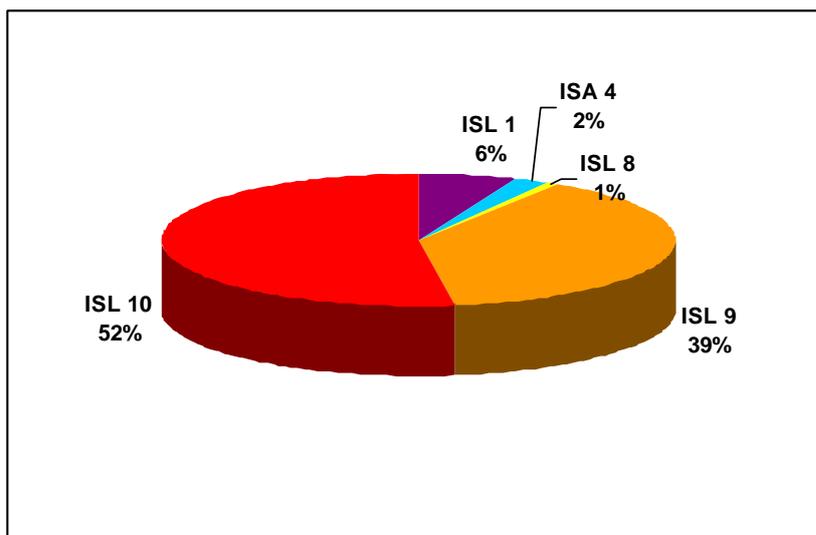


Figura 10: Percentual de ISLs na linha de costa.

#### 4.1.1. Manguezais

Os manguezais constituem o ambiente mais representativo na área de estudo apresentando uma área de 54,8 km<sup>2</sup>. É considerado, na escala de sensibilidade, o ambiente mais sensível a contaminação por óleo, sendo classificado com o ISL 10. Isto se deve, entre outros fatores: ao baixo hidrodinamismo, que dificulta a remoção natural do óleo; a presença de sedimento lamoso pobre em oxigênio, o que torna a biodegradação mais lenta e a escassez de procedimentos de limpeza eficientes que não causem impactos adicionais ao ecossistema. Tudo isto, faz com que o óleo permaneça neste ambiente por um longo período de tempo que pode superar 20 anos (BURNS, 1993).

O manguezal da área de estudo é composto por três espécies arbóreas principais. A espécie *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho) predomina em áreas com maior correnteza crescendo em margens de rios e áreas mais expostas como pode ser observado ao longo de rios como o Quilombo e o Morrão (Figura 11). Outra espécie é a *Avicennia schaueriana* (mangue-preto) que pode ser considerada a mais abundante do estuário de Cubatão, Santos e São Vicente. Esta espécie resiste a salinidades mais altas e ocorrem afastadas das margens de rios (Figura). A terceira espécie é a *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) que são mais frequentemente encontradas em áreas de deposição de sedimento fino como nas curvas dos rios, praias estuarinas lodosas e no interior das florestas de mangue (OLMOS e SILVA, 2003).



**Figura 11: Manguezais. A: *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho); B: *Avicennia schaueriana* (mangue-preto).**

Outras plantas também fazem parte dos manguezais. Há a ocorrência nas bordas dos manguezais, em alguns pontos, áreas colonizadas por *Spartina* sp., indicando áreas em processo de sedimentação ativa (DIAS-BRITO e ZANINETTI, 1979). Dentro do ecossistema manguezal, esses “bancos de *Spartina*” devem ser considerados de proteção prioritária no caso de um vazamento de óleo (Figura 12).



**Figura 12: Áreas de sedimentação colonizadas por *Spartina* sp. A: Rio Santana; B: próximo a Vila dos Pescadores; C: próximo a Ilha Caragatá (Cubatão); D: Rio Cubatão.**

Foi registrado a presença de espécies típicas de transição associadas aos manguezais como *Hibicus pernambucensi* (conhecidas como Hibisco) (Figura 13) e *Acrostichum aureum* (conhecidas como samambaia-do-mangue).



**Figura 13: Vegetação de transição associada ao manguezal.**

#### **4.1.2. Bancos de lama**

Os bancos de lama constituem o segundo ambiente mais representativo do estuário de Cubatão e entorno ocupando uma área de 5 km<sup>2</sup> de área total. São considerados, na escala de sensibilidade, como um dos ambientes mais sensíveis sendo classificados com o ISL 9.

Estes ambientes ocorrem, na área de estudo, sempre associados aos manguezais, em áreas onde o hidrodinamismo é baixo propiciando a deposição dos sedimentos. Estas áreas podem ser chamadas de áreas de progradação e possibilitam a colonização da vegetação de mangue segundo Dias-Brito e Zaninetti (1979) (Figura 14).



**Figura 14: Colonização de banco de lama próximo a Ilha Caraguatá A: banco de lama em Julho de 2006; B: banco de lama colonizado por *Spatina* sp. em Dezembro de 2006 (foto em ângulos diferentes de visão).**

Foram mapeados diversos bancos de lama ao longo do estuário sendo que o maior possui em torno de 1,35 km<sup>2</sup> e localiza-se na entrada do Canal da COSIPA no Largo do Caneu. A grande quantidade de bancos de lama presentes na região, de acordo com os autores Olmos e Silva (2003), deve-se a dragagem dos canais de acesso ao Porto de Santos na década de 80 e deposição do material dragado nas margens dos manguezais do estuário.

De qualquer forma, esses bancos de lama são extremamente importantes para a fauna local. Uma série de animais como moluscos, crustáceos e vermes vivem em tocas escavadas na lama. Durante a maré alta, peixes, siris e caranguejos vêm alimentar-se destes animais, podendo ficar presos em poças quando a maré baixa. Neste período aves como garças, guarás, maçaricos, batuíras entre outros vem alimentar-se destes animais (OLMOS e SILVA, 2003) (Figura 15A). Os bancos também servem de área de descanso para aves costeiras (Figura 15B).



**Figura 15: Aves utilizando banco de lama. A: Guarás (*Eudocimus ruber*) alimentando-se em banco de lama; B: grupo de talha-mares (*Rynchops niger*) descansando em banco de lama.**

#### 4.1.3. Costões rochosos

Os costões rochosos ocorrem pontualmente ao longo do estuário. Foram mapeados neste estudo 37 pontos de costões rochosos e classificados de acordo com sua morfologia: blocos e matacões, seixos e costão liso (Figura 16). A distribuição dos costões rochosos por tipos morfológicos pode ser observada na Figura 17. Os costões formados por blocos, matacões e seixos são os tipos predominantes na área de estudo somando 86% dos costões mapeados (Figura 18).



Figura 16: Tipos morfológicos de costões rochosos. A: Costão rochoso formado por blocos e matacões; B: Costão formado por seixos; C: Costão rochoso liso.

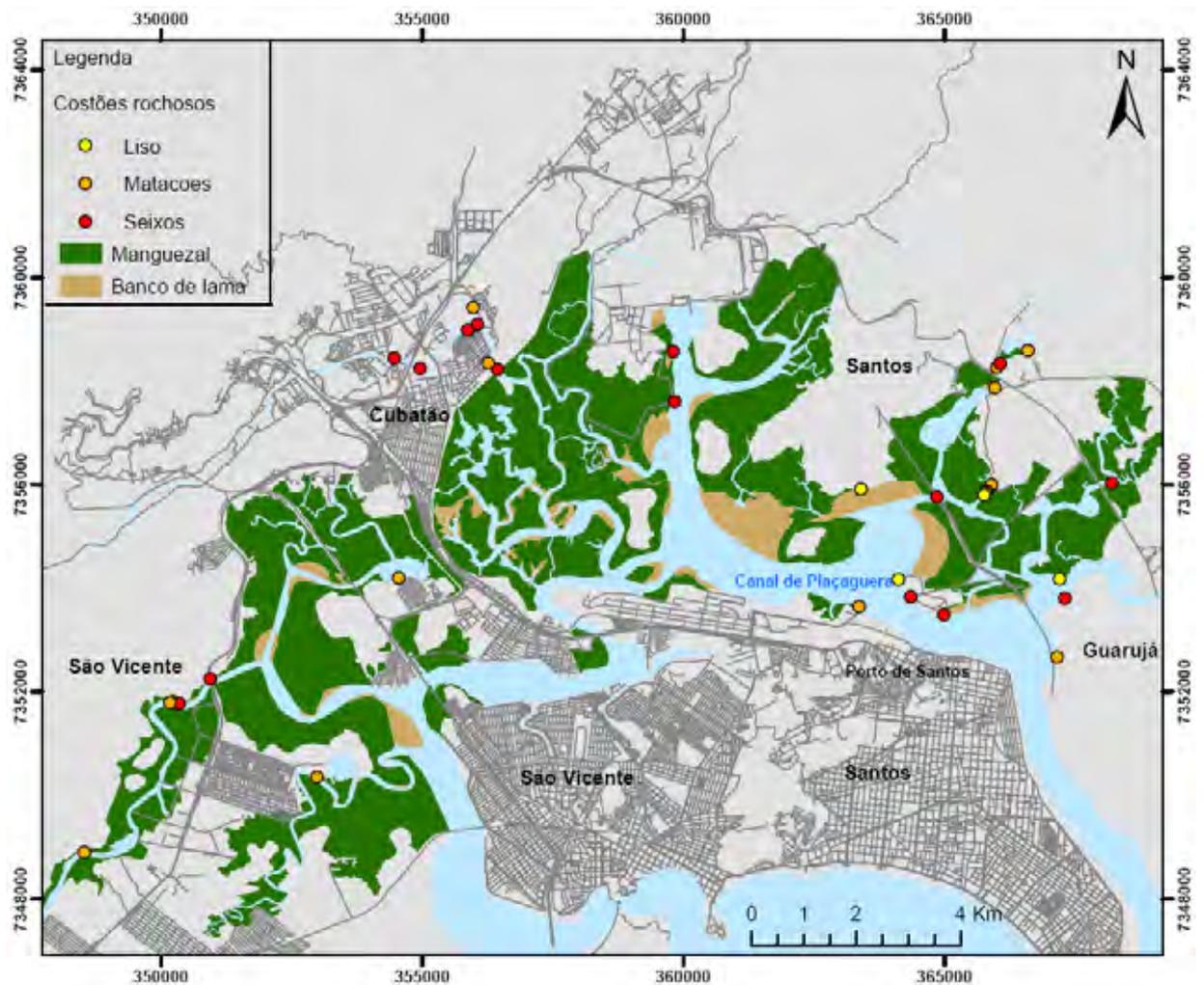
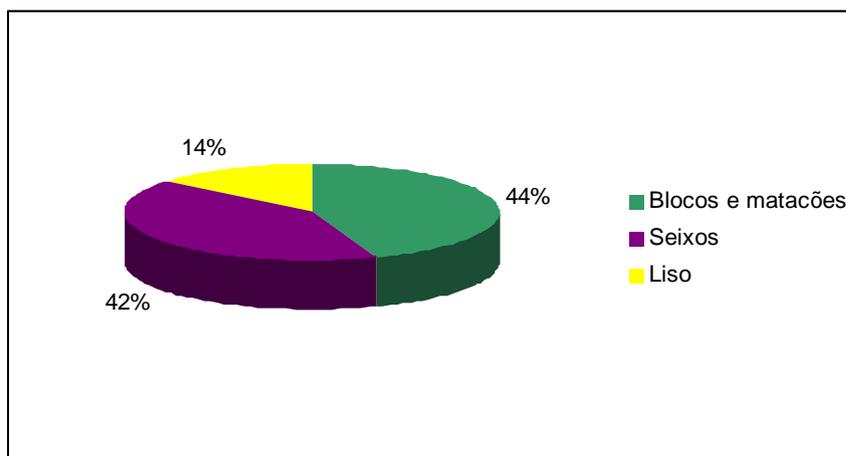


Figura 17: Distribuição dos costões rochosos e seus tipos morfológicos.



**Figura 18: Percentual dos tipos de costões rochosos.**

Os costões formados por blocos, matacões e seixos possuem grande quantidade de fendas, depressões e cavidades que propiciam o desenvolvimento de micro-habitats tornando-se refúgios para a biota. Os refúgios são de extrema importância para a manutenção das populações que vivem nestes ambientes (MILANELLI, 2003).

Devido a isso, estes costões devem ser considerados de alta sensibilidade ao óleo, pois além da importância biológica, os refúgios favorecem a penetração do óleo e funcionam como armadilhas, dificultando sua remoção.

Infelizmente, este critério não é considerado, pela metodologia adotada, na a definição do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), sendo o hidrodinamismo o aspecto principal na definição da sensibilidade ao óleo. Isto deve ao tempo de permanência do óleo no ambiente, visto que em costões mais expostos a ação das ondas, o óleo tende a ser removido mais rapidamente.

BRASIL (2004) classifica a sensibilidade dos costões rochosos da seguinte maneira:

**ISL 1:** Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos

**ISL 2:** Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos

**ISL 6:** Depósito de tálus

**ISL 8:** Encosta de rocha lisa, abrigada; encosta de rocha não lisa, abrigada

Como é possível observar, a classificação mostrada acima não contempla os diferentes tipos de costões que ocorrem em ambientes abrigados. Os costões lisos abrigados e os costões de matacões abrigados são ambos classificados como ISL 8.

Segundo WIECZOREK (2006), costões rochosos podem ser considerados abrigados tanto em ambiente estuarino quanto em ambiente marinho, porém, no primeiro caso, o hidrodinamismo é menor. Logo, estas diferenças devem ser levadas em consideração.

O autor propôs uma nova classificação do ISL dos costões rochosos de acordo com a textura da rocha e hidrodinamismo:

<b>ISL</b>	<b>Ambientes e características</b>
1	Costão rochoso liso, exposto, marinho
6-A	Litoral heterogêneo, exposto, marinho
6-B	Litoral de matacões, exposto, marinho
8-A	Costão rochoso liso, abrigado, marinho
8-B	Costão rochoso liso, estuarino
8-C	Litoral heterogêneo, abrigado, marinho
8-D	Litoral de matacões, abrigado, marinho
8-E	Litoral de matacões, estuarino
8-F	Litoral heterogêneo, estuarino

A classificação proposta por WIECZOREK (2006) é bastante interessante, pois permite um refinamento dos dados quando o mapeamento é realizado em escalas em que pequenas variações podem ser representadas. No entanto, esta classificação aumenta muito o nível de detalhe e a quantidade de informações presentes nos mapas de sensibilidade, podendo dificultar a interpretação dos mapas.

Portanto, para este trabalho os costões mapeados foram classificados com o ISL 8 de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2004). Entretanto, propõe-se que estes ambientes sejam incluídos na metodologia para elaboração das Cartas SAO.

#### **4.1.4. Restingas**

As restingas também estão presentes no estuário ocupando uma área de 1,4 km<sup>2</sup>. Estes ambientes formam “ilhas” circundadas por florestas de mangue (Figura 19). Isto se deve ao processo de elevação do solo em relação às marés fazendo com que as chuvas lavem o excesso de sal do solo e uma camada de água-doce, mais leve que a salgada, forma-se abaixo da superfície do solo e espécies de plantas sem muitas adaptações a água salgada se estabelecem neste terreno mais elevado (OLMOS e SILVA, 2003).



**Figura 19: Ilha de restinga circundada por manguezal na Ilha dos Bagres, Santos.**

De acordo com Brasil (2004), as restingas apresentam baixa sensibilidade e são classificadas com o ISL 3. Como as restingas localizam-se no supralitoral (região que raramente fica submersa), são mais afetadas pelos impactos indiretos causados nas operações de combate e limpeza em um vazamento de óleo como: supressão de vegetação, abertura de trilhas, disposição de resíduos, pisoteio e tráfego de veículos.

Apesar da baixa sensibilidade ao óleo, as restingas são ambientes de grande diversidade ecológica sendo habitada por muitas espécies e utilizada também por animais são utilizadas por diversas espécies como áreas de reprodução, alimentação, descanso e rota migratória. Portanto, as ações de combate devem ser bem planejadas para que sejam minimizados os impactos nestes ambientes (CANTAGALLO et al, 2007).

#### **4.1.5. Estruturas artificiais**

As estruturas artificiais estão bastante presentes na área de estudo, sempre associadas a atividades humanas como em bairros e terminais. Esta feição corresponde a 18.196 m de extensão e pode ser de dois tipos: enrocamentos abrigados de pedras e estruturas artificiais lisas abrigadas de concreto ou blocos (Figura 20).

A primeira feição, enrocamentos, foi classificada com o ISL 8 de acordo com a metodologia adotada. Para a segunda feição, estruturas artificiais lisas abrigadas, não há na metodologia um ISL específico. Existem dois índices que contemplam as estruturas artificiais o ISL 1 que abrange as estruturas artificiais lisas, de alta declividade e expostas à ação das ondas e o ISL 8 que contempla as estruturas artificiais não lisas abrigadas.



**Figura 20: Exemplo de tipos de estruturas artificiais presentes no estuário. A: enrocamentos abrigados; B: estruturas lisas de blocos**

Optou-se neste trabalho por classificar as estruturas artificiais lisas abrigadas com o ISL 1, pois suas características aproximam-se mais deste índice, sendo que a única característica que difere é o hidrodinamismo. Apesar dessas estruturas serem abrigadas da ação das ondas há uma forte correnteza que se forma no Canal de Piaçaguera, local onde as estruturas estão mais concentradas. Porém, sugere-se que este ambiente seja incluído na metodologia existente para Cartas SAO.

#### **4.2. Fauna e sua sensibilidade ao óleo**

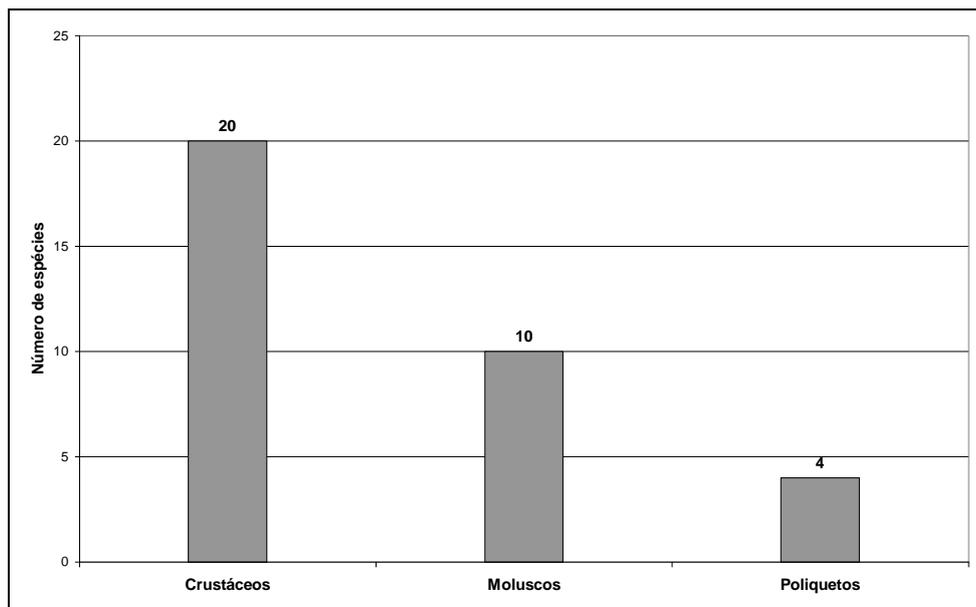
A fauna de invertebrados é bastante rica em áreas estuarinas, porém para a o estuário de Cubatão, Santos e São Vicente os levantamentos (já feitos e bibliográficos) para este grupo são escassos e concentrados para poucos grupos. Foram levantadas 37 espécies de invertebrados aquáticos sendo 20 espécies de crustáceos, 10 de moluscos e 4 de anelídeos poliquetas (Figura 21).

Os invertebrados mais comuns nos sedimentos dos bancos de lama são os anelidos poliquetas *Heteromatus filiformes* e *Nereis succinea*. Também são indicadores de poluição orgânica. Um animal também bastante presente nos bancos de lama é o crustáceo *Kalliapseudes schubarti*, que apresenta vários picos de abundância ao longo do ano (OLMOS e SILVA, 2003).

Também podem ser encontrados nos sedimentos diversas espécies de moluscos bivalves como *Tagelus plebeiu* e *Lucina pectinata*. Alguns moluscos crescem sobre as raízes de mangue como a ostra *Crassostrea rizophorae*, os mexilhões *Mytella falcata* e *M. guyanensis* e os caramujos *Littorina angulifera* e *Melampus coffeus*. Ostras são geralmente raras no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente, talvez devido à contaminação crônica por

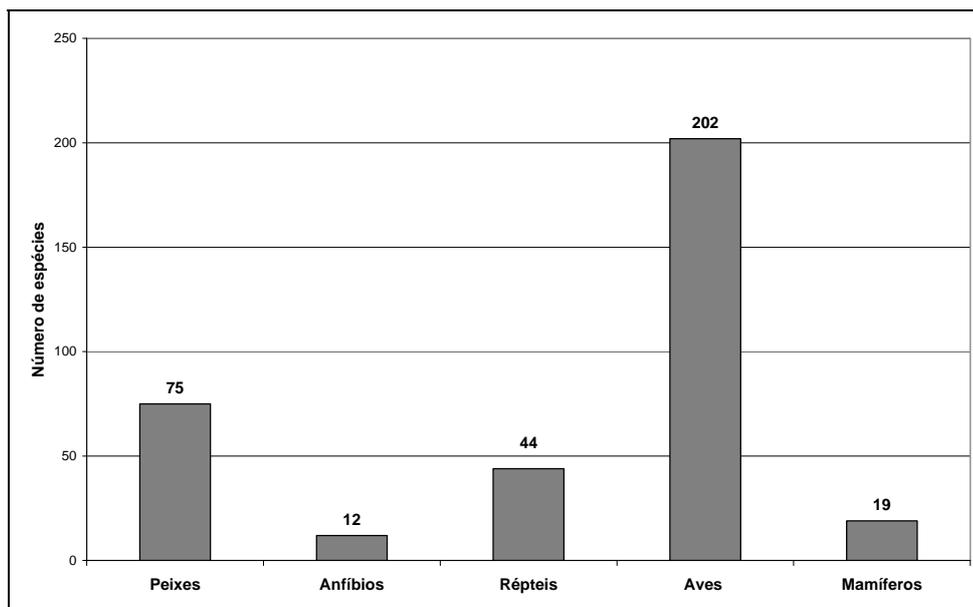
óleo. As árvores existentes ao longo dos rios Cubatão, Cascalho, Saboó e Quilombo têm marcas de óleo em seus troncos, testemunhos de derrames ocorridos recentemente (OLMOS e SILVA, 2003).

Os crustáceos são o grupo mais presente entre os invertebrados levantados. As cracas estão entre os mais abundantes e destaca-se a espécie *Chthamalus rhizophorae*. Nos canais, rios, e poças vivem camarões de diversos grupos (*Penaeus* sp, *Xiphopenaeus* sp e *Macrobranchium* sp) que utilizam os manguezais como áreas de desenvolvimento (OLMOS e SILVA, 2003). Os caranguejos e siris são os crustáceos mais visíveis nos manguezais. O siri mais comum na região é o *Callinectes danae* (siri-azul). Procuram alimento nos bancos de lama e florestas de mangue durante a maré alta. Nestes locais também estão presentes caranguejos do gênero *Uca* e outros como *Chasmagnatus granulata*, *Sesarma rectum*, *Goniopsis cruentata* (Aratu), *Eurythium limosum*, *Aratus pisonii*.



**Figura 21: Número de espécies de invertebrados aquáticos levantadas na bibliografia.**

O levantamento das espécies presentes no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente indica a presença de 352 espécies de vertebrados sendo 75 de peixes, 12 de anfíbios, 44 de répteis, 19 de mamíferos e 202 de aves (Figura 22).



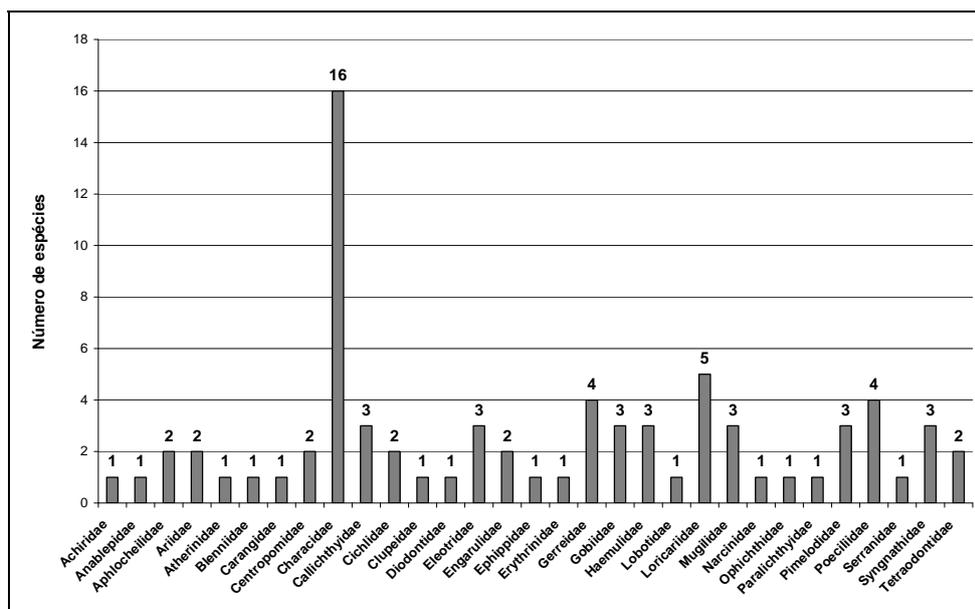
**Figura 22: Número de espécies levantadas de vertebrados.**

O estuário de Cubatão, Santos e São Vicente abrigam grande biodiversidade no que diz respeito à ictiofauna. Diversas espécies de peixes, que ocorrem nos manguezais e estuários, colonizam estes ambientes durante a fase larval ou juvenil e depois migram para o mar na fase adulta (e.g. tainhas e paratis). É por isso que os estuários em geral são considerados verdadeiros “berçários”. Há também as espécies que adentram os manguezais apenas durante o período da maré alta para se alimentarem e há também espécies que passam toda a vida nos estuários (e.g. robalos).

Há a presença de espécies de grande importância comercial para as comunidades da região, principalmente das famílias Mugilidae e Gerreidae como *Mugil curema* (parati), *Mugil platanus* (tainha), *Eucinostomus melanoterus* e *Eucinostomus argenteus* (carapicus). As espécies *Centropomus undecimalis* e *Centropomus mexicanus* são bastante apreciados na pesca esportiva e sustentam a atividade comercial das náuticas localizadas na Ilha Caraguatá (Cubatão). Outros peixes de importância comercial são os bagres (Ariidae), as pescadas (Scianidae), os badejos (Serranidae).

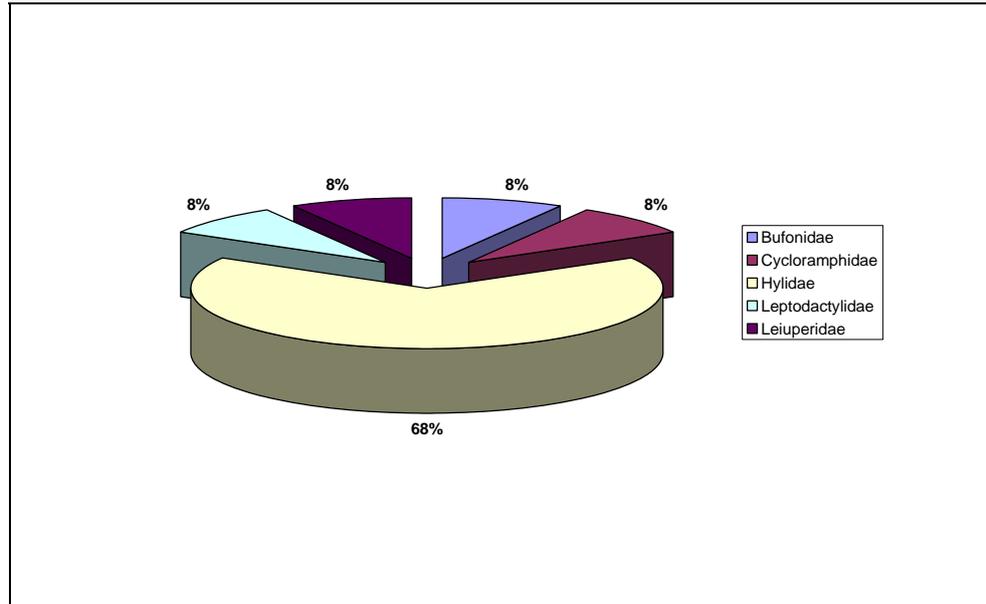
A família de peixes que possui maior quantidade de espécies levantadas é a família Characidae (lambaris) (Figura 23). São peixes de água doce que podem viver nos manguezais durante a época chuvosa devido a diminuição da salinidade e a correnteza que os arrasta pelos rios até os estuários. As espécies deste grupo servem de alimento para as aves. As espécies *Anchoiella lepidentostole* e *Anchoa clupeioides* (manjubas) e *Harengula clupeiola* (sardinhas) também são bastante abundantes e fazem parte da dieta das aves do estuário.

Há também a presença de espécies endêmicas de manguezais como exemplo o *Lupinoblennius paivai* (macaco-do-mangue). Durante a maré baixa este peixe pode ser encontrado fora da água em ramos de mangue escavados por moluscos. Estes túneis são usados como abrigo e desova pelo macaco-do-mangue (SAZIMA e OLMOS, 2003).



**Figura 23: Número de espécies por família de peixes.**

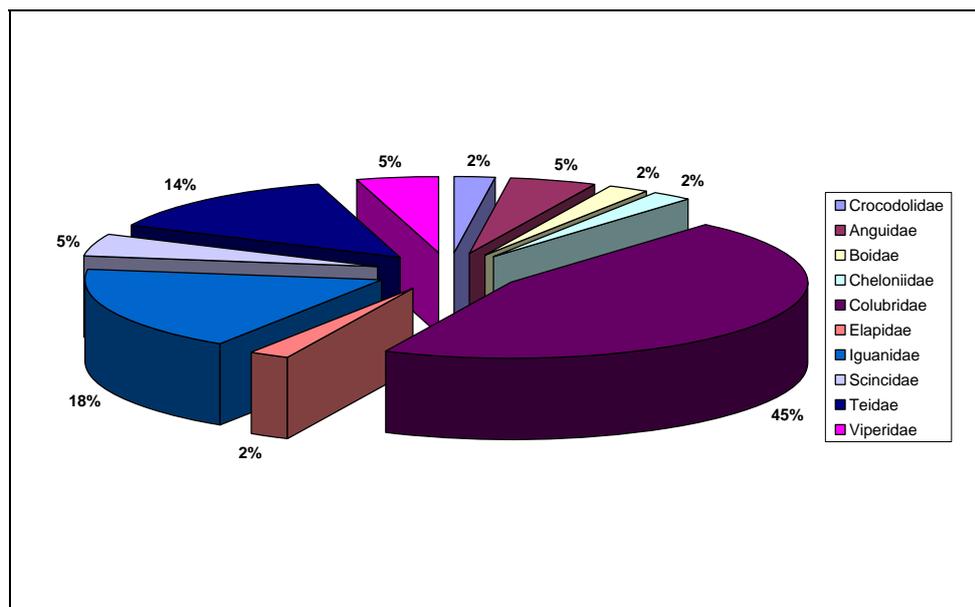
A presença de anfíbios na área do estuário é restrita devido principalmente à água salobra que impede o estabelecimento destes animais. Como os anfíbios possuem pele fina e permeável estão sujeitos à desidratação caso entrem em contato com água salgada. Entretanto, existem registros de algumas espécies de anfíbios em brejos e lagoas de água doce que ocorrem na área como o Dique do Furadinho e no Terminal Marítimo da Ultrafértil (OLMOS e SILVA, 2003; coleções MHN-anfíbios; DZSJRP e CFBH). As espécies mais registradas pertencem à família Hylidae (Figura 24).



**Figura 24: Percentual de espécies por família de anfíbios.**

Entre os répteis, destaca-se a espécie *Caiman latirostris* (jacaré-de-papo-amarelo). Pode ser encontrado no Rio Morrão e no Canal da COSIPA, porém são raros e sofrem grande pressão antrópica referente a caça. A tartaruga marinha *Chelonia mydas* que é frequentemente encontrada nas baías de Santos e São Vicente, também foram encontradas nos manguezais (OLMOS e SILVA, 2003).

As serpentes da família Colubridae são as mais registradas no Sistema Estuarino de Santos (Figura 25). Duas espécies bastante comuns são *Liophis miliaris* e *Helicops carinicaudus* conhecidas como cobra-verde e cobras-d'água respectivamente. Nas ilhas de restinga, também podem ser encontradas espécies de maior porte como *Bothrops jararacussu* (jararacuçu).



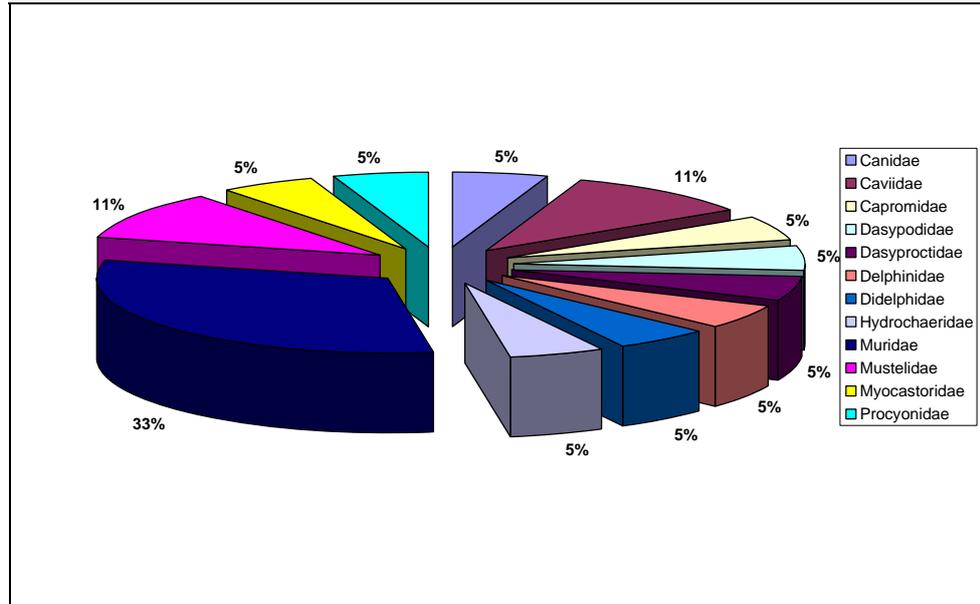
**Figura 25: Percentual de espécies por família de répteis.**

São poucos os mamíferos encontrados nos manguezais de Cubatão, Santos e São Vicente. As 19 espécies levantadas pertencem a 12 famílias, sendo que a família Muridae (pequenos mamíferos roedores) predomina somando 33% (Figura 26).

A espécie mais característica dos manguezais da região é o *Procyon cancrivorus*, um carnívoro de hábitos noturnos conhecido como mão-pelada. Foi registrada a presença desta espécie nos rios Saboó, Alemoa, Quilombo, Cubatão e Cascalho. Outro carnívoro encontrado é a *Lutra longicaudis* (lontra) presente nos cursos superiores dos rios, mas já foi observada no Rio Cubatão (OLMOS e SILVA, 2003).

Nas áreas de capim alto e nos brejos podem ser encontradas as espécies *Hydrochaerus hydrochaeris* (capivara) e *Myocastor coypus* (rato-do-banhado).

De acordo com os autores Olmos e Silva (2003), até a década de 50 era comum ver botos no estuário de Cubatão e Santos. Hoje esta visão é bastante rara e apenas ocasionalmente observa-se indivíduos de *Sotalia brasiliensis* (boto-cinza) no Rio Diana e Rio Jurubatuba.



**Figura 26: Percentual de espécies por família de mamíferos.**

Deve-se destacar o grupo das aves aquáticas, as quais ocorrem em grande densidade e diversidade em todo o estuário formando o grupo mais bem estudado. Foram levantadas 202 espécies através de referências bibliográficas. Foi bastante utilizado o trabalho de Olmos e Silva (2003) que realizam pesquisa nesta área desde 1993.

As espécies da família Tyrannidae (bem-te-vis, anambés, araponga e uirapuru) são as mais registradas (Figura 27). São aves passeriformes que formam um grupo extenso, diverso e adaptado a habitats e modos de alimentação variados.

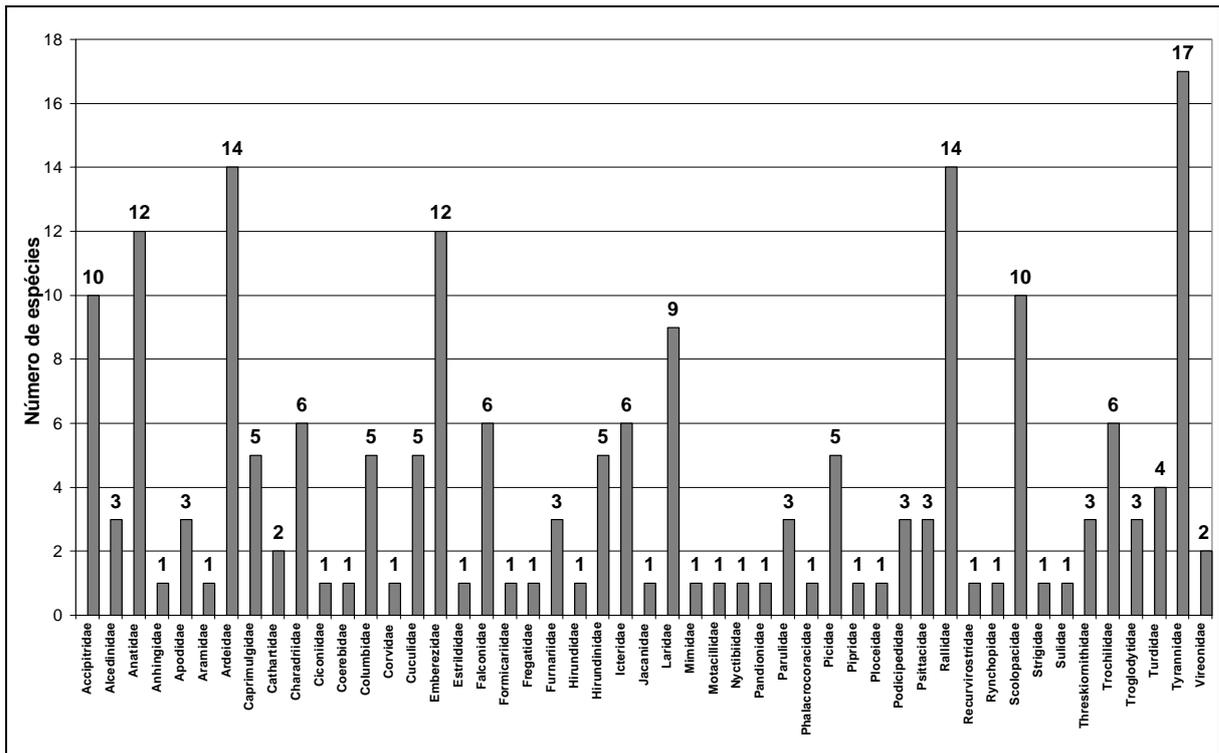
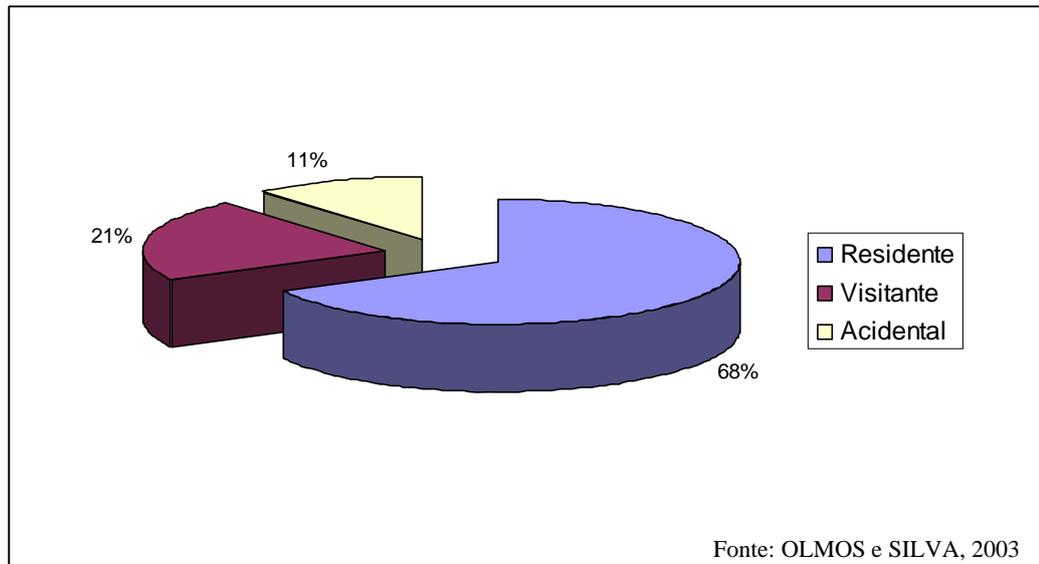


Figura 27: Número de espécies por família de aves.

Dentre as espécies levantadas 136 (68%) são consideradas residentes dos manguezais, 43 (21%) visitantes e 23 (11%) acidentais (Figura 28). Para ilustrar, as principais espécies residentes são as garças, socós, trinta-réis, talha-mares, guará, saracuras, maçaricos, alguns gaviões entre outras. As espécies visitantes são os atobás, o carão, batuira-de-coleira etc. Algumas espécies podem ocorrer acidentalmente como é o caso do cisne-de-pescoço-preto observado no Dique do Furadinho uma única vez, biguatinga, marreca-cabocla dentre outras. Há o registro também de algumas espécies migrantes no estuário como o maçarico-de-perna-amarela (*Tringa favipes*), o maçarico-grande-de-perna-amarela (*Tringa melanoleuca*), a batuira-de-bando (*Charadrius semipalmatus*) e a águia-pescadora (*Pandion haliaetus*).

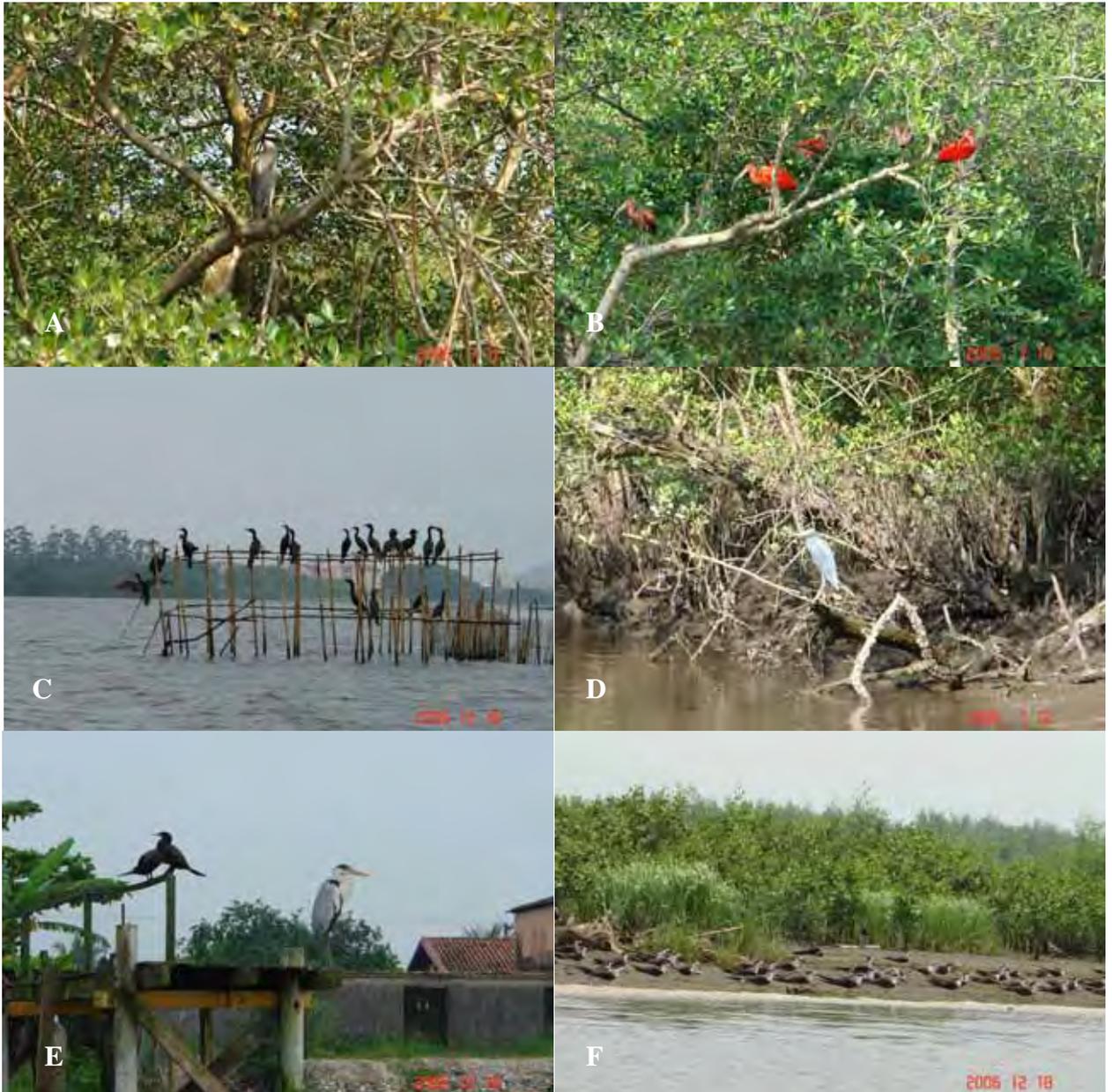
Com relação às aves aquáticas foram levantadas 100 espécies que ocorrem no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente e dependem dos rios, canais, florestas de mangue, brejos ou vindas do oceano. Algumas são vistas com mais facilidade como é o caso das garças, socós, biguás e o guará. Durante as campanhas de campo foi registrada a presença de algumas



**Figura 28: Percentual da ocorrência de espécies de aves nos manguezais.**

espécies (29) que constam nas referências bibliográficas. A mais observada no período foi a garça-azul (*Egretta caerulea*) somando 1090 indivíduos avistados ao longo do estuário. Em segundo lugar ficou o guará-vermelho (*Eudocimus ruber*) com 465 indivíduos avistados. O biguá (*Phalacrocorax brasilianus*), a garça-branca-pequena (*Egretta thulae*) o socó-caranguejeiro (*Nyctanassa violacea*) também foram bastante avistados (414, 386 e 100 indivíduos respectivamente). Outras espécies foram registradas durante as visitas ao estuário porem com menor freqüência e em menor número como a garça-branca-grande, a garça-cinza, o talha-mar, o trinta-reis, a marreca-toucinho, a saracura, a gaivota, martim-pescador, urubu, gaivota, colhereiro e alguns gaviões (Figura 29).

Pôde-se observar que há dominância de poucas espécies embora a diversidade de aves seja grande. De acordo com os censos realizados por Olmos e Silva (2003) as espécies mais numerosas foram a garça-azul (29%), guará (13%), biguá (13%), marreca-toucinho (7,5%), maçarico-de-perna-amarela (7%) e talha-mar (6%). Quando consideramos a biomassa (somatória do peso das aves censadas) o biguá correspondeu a 29%, garça-azul (17,4%), guará (15%), marreca-toucinho (7%), talha-mar (3,6%) e colhereiro (5%). As espécies que se alimentam de crustáceos correspondem a 44,5% dos indivíduos censados e os que se alimentam de peixes 31% (OLMOS e SILVA, 2003).



**Figura 29:** Algumas aves registradas em campo. A: *Nyctanassa violacea* (socó-caranguejeiro); B: *Eudocimus ruber* (Guará); C: *Phalacrocorax brasilianus* (Biguá); D: *Egretta caerulea* (Garça-azul); E: *Ardea cocoi* (garça-cinza); F: *Rynchops nigra* (talha-mar).

A alta densidade de algumas espécies no Sistema Estuarino de Santos possui uma hipótese sugerida pelos autores citados anteriormente, para explicar este fato: a eutrofização das águas e degradação dos manguezais possibilitaram o surgimento de outros habitats como áreas abertas e bancos de lama. Isto favoreceu algumas espécies como garças, guarás e socós. De acordo com os autores, áreas consideradas degradadas com pouca cobertura arbórea e aterros nos manguezais são as mais importantes para as aves. Se for feita uma comparação com os manguezais de Iguape-Cananéia considerados preservados, a presença de atobás,

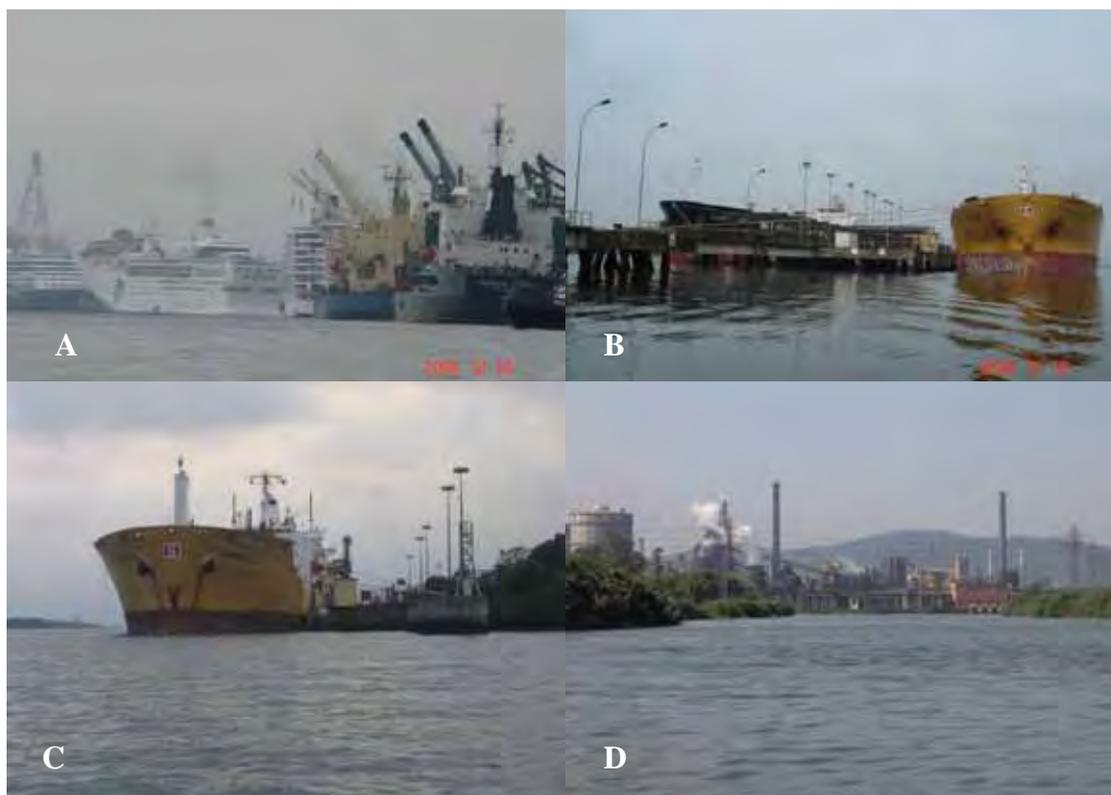
fragatas, trinta-réis e gaivotas é bem maior do que de garças, socós, guarás e maçaricos. O contrário ocorre no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente. Isto mostra que a comunidade que existe hoje é resultado das alterações no ecossistema.

É importante ressaltar que todas as espécies levantadas fazem parte de uma complexa cadeia trófica e uma perturbação como um vazamento de óleo pode causar sérios impactos. As aves aquáticas podem ser consideradas um grupo bastante sensível a vazamentos de óleo, pois habitam, reproduzem-se, alimentam-se e descansam em ambientes localizados na interface água-terra como os bancos de lama e os manguezais. Devido a isto, é de extrema importância que estes ambientes sejam protegidos com prioridade.

Com relação ao levantamento de informações sobre recursos biológicos exigidos na metodologia do Ministério do Meio Ambiente deve ser feita uma observação. É estabelecido que para cada espécie levantada na literatura deve conter informações ecológicas sobre densidade, presença sazonal, períodos especiais do ciclo de vida e dados a respeito da reprodução e desenvolvimento (desova, incubação, acasalamento etc). Certamente estas informações são de extrema importância para a tomada de decisões nas emergências e também para avaliação de impacto, todavia é praticamente inviável o levantamento de todas estes dados tendo em vista a grande diversidade de espécies presentes em ambientes costeiros e estuarinos e a carência de informações biológicas/ecológicas disponíveis sobre estas espécies. Além disso, quando se trata de espacializar a ocorrência e área de vida de uma espécie a deficiência de informações é ainda maior. Portanto, a proposta do Ministério do Meio Ambiente para a compilação de dados biológicos pode ser considerada ideal, porém inviável.

### **4.3. Aspectos socioeconômicos**

A região de estudo possui na indústria e nas atividades portuárias sua base econômica. Foram mapeados em campo os empreendimentos que se localizam em contato direto com o estuário como os terminas de Alemoa, Ilha Barnabé e da siderúrgica COSIPA e o Porto de Santos (Figura 30). Estes empreendimentos podem ser considerados as fontes potenciais de poluição de maior magnitude dentro do estuário.



**Figura 30: Terminais localizados no estuário. A: Porto de Santos; B: Terminal de Alemoa; C: Terminal Ilha de Barnabé, D: Terminal da Siderúrgica COSIPA.**

As atividades de comércio e serviços disponíveis na área de estudo são escassas. Há a presença de alguns bares na beira de rios e canais e alguns restaurantes localizado na comunidade Diana e no Rio Cubatão (Figura 31).



**Figura 31: Atividades de comércio no estuário. A: Vila Diana; B: Rio Cubatão.**

No bairro Ilha Caraguatá em Cubatão há a presença de empresas náuticas que funcionam como garagens náuticas, possuem lanchonetes e oferecem barcos para serem

alugados para pesca e passeios (Figura 32). O turismo também gira em torno destas empresas náuticas. Observa-se nas áreas de manguezais passeios de barco para pesca no Largo do Caneu, rios Casqueiro e Cubatão e para visitas aos manguezais, avistamento do guará-vermelho que voltou a se reproduzir na região.



**Figura 32: Náuticas localizadas na Ilha Caraguatá que funcionam como garagem náutica e oferecem serviços voltados ao turismo.**

Com relação à pesca, observou-se que a pesca artesanal, para subsistência e lazer, é bastante intensa em todo o estuário. Além de peixes, pesca-se siris e coleta-se caranguejos nos manguezais durante o ano todo (Figura 33). Estes recursos são intensamente utilizados pela comunidade de pescadores artesanais da Vila dos Pescadores (Município de Cubatão) os quais movimentam dezenas de canoas voltadas exclusivamente à captura desses crustáceos. Segundo SEVERINO-RODRIGUES et al. (2001) estas embarcações atuam em 12 locais de pesca na região, sendo que as capturas dos desembarques amostrados ocorreram no Rio Cascalho (37%), Rio Cubatão (16%), Rio Capivari (11%), Ilha dos Bagres (10%), Rio Casqueiro (10%), Rio das Neves (10%) e Rio Branco (3%). Os cinco locais restantes (Rio Pedreira, Rio Morrão, Rio Jurubatuba, Rio Mariana e Rio Quilombo), em conjunto, foram responsáveis por apenas 3% dos desembarques.



**Figura 33: Pesca artesanal de siri e caranguejo.**

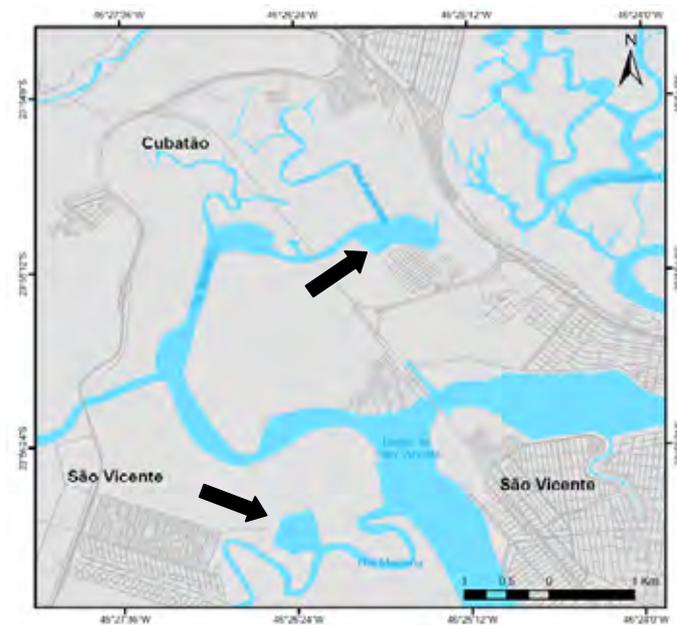
Com relação ao acervo histórico-cultural de Santos, Cubatão e São Vicente, sabe-se que é bastante rico. Existem três sítios arqueológicos de sambaqui em Cubatão: o sambaqui de Piaçaguera (localizado dentro da área da Cosipa; sambaqui da Ilha do Casqueirinho; sambaqui do Sítio Cotia-Pará (junto a Vila Natal, ainda inexplorado) (LOREJAN e RAIMUNDO, 1998). Entretanto, nenhum deles pôde ser mapeado visto que se localizam dentro de áreas particulares. Nos mapas foram apenas colocados as referências espaciais de cada sítio. Há a presença também de um Forte histórico no canal de Piaçaguera e que se encontra em péssimas condições. Além disso, a comunidade Vila Diana é considerada uma comunidade tradicional de pescadores e que deve ser protegida prioritariamente no caso de um vazamento de óleo.

#### **4.4. Impactos antrópicos**

São muitos os impactos antrópicos no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente. Desde o final do século XIX, com o estabelecimento da primeira indústria (*Cia. Curtidora Fomex*) e da *São Paulo Railway* (Estrada de Ferro Santos-Jundiaí), o estuário vem sofrendo grandes pressões. Em 1925, iniciou-se a instalação do pólo industrial de Cubatão destinado ao processamento de matérias-primas. A partir daí, diversas indústrias (petroquímicas, de fertilizantes, de cimento etc) estabeleceram-se em Cubatão e, no início dos anos 80 o pólo industrial, juntamente com o Porto de Santos operavam com grande impacto social, econômico e ambiental.

Extensas áreas de mangue foram suprimidas e aterradas para dar lugar às indústrias. Brejos de água-doce foram quase completamente eliminados. A necessidade de dar acesso marítimo às indústrias fez com que fossem abertos vários canais. O canal de Piaçaguera foi

aprofundado, o que exigiu a dragagem de toneladas de sedimento, boa parte jogadas no próprio canal e sobre os manguezais segundo KUCINSKI (1982). Estas e outras obras alteraram a fisionomia da região, o que pode ser notado quando se comparam mapas e fotos antigas. Áreas de manguezais foram removidas, como a Lagoa do Rio Mariana, que tornou-se uma área de lazer e o encontro do Rio Paranhos com o Rio Santana (Figura 34). Um outro caso de intervenção antrópica é a abertura de um canal ligando o Rio Cubatão ao Rio Cascalho a fim de aumentar a vazão do Rio Cubatão e diminuir as enchentes na cidade de Cubatão.



**Figura 34: Remoção de manguezal no Rio Mariana e Rio Paranhos.**

Muitas áreas de manguezais também foram aterradas para a construção de bairros residenciais (Jardim Casqueiro, Vila Natal, entre outros) ou casas de palafitas (Figura 35).



**Figura 35: Casas em área aterrada sobre manguezal (Vila dos Pescadores).**

Além das áreas aterradas, pode-se observar áreas de manguezais degradados e áreas que foram desmatadas, como é caso do manguezal próximo à siderúrgica COSIPA (Figura 36).



**Figura 36: Manguezal desmatado/degradado em fase de recuperação.**

A construção do pólo industrial de Cubatão atraiu milhares de pessoas em busca de emprego nas indústrias e isto, juntamente com a falta de planejamento, tanto do poder público quanto da iniciativa privada, levou à ocupação desordenada das encostas da Serra do Mar e dos manguezais não só em Cubatão, mas também nos municípios de Santos e São Vicente.

Devido à falta de estrutura e saneamento básico nestes bairros, todo o esgoto e lixo da população é jogado nos canais e nos manguezais. A quantidade de resíduo sólido, incluindo resíduos de construção civil, navios e equipamentos sucateados é impressionante (Figura 37).



**Figura 37: Esgoto e resíduos sólidos no estuário. A: Lixo no Largo do Pompeba; B: Lixo no manguezal próximo ao Bairro Casqueiro; C: Resíduo de construção civil (postes) próximo ao Porto de Santos; D: Cemitério de barcos próximo ao Porto de Santos; E: Esgoto a céu aberto próximo ao Centro de Cubatão; F: Ferro-velho (equipamentos antigos próximo a siderúrgica COSIPA).**

Além disso, as emissões e resíduos das indústrias lançados indiscriminadamente nas águas e no ar tornaram-se não só um sério problema ambiental, mas de saúde pública. Cubatão ficou conhecida como “Vale da Morte” e sinônimo de catástrofe ecológica. A população começou a apresentar doenças respiratórias em quantidade fora do normal, muitas vezes fatais como a Leucopenia (doença causada pela inalação do benzeno), altos índices de má formação congênita e câncer. Muitas espécies de aves e peixes desapareceram do estuário.

Para ler sobre a situação da poluição em Cubatão e seus efeitos na biota e a saúde humana ver Gutberlet (1996).

Com relação a vazamentos de petróleo e derivados, a situação é uma das piores do Estado. Em 1979, estimava-se que os manguezais do estuário e a baía de Santos recebiam diariamente de 70 a 100 toneladas de óleos e graxas (OLMOS e SILVA, 2003). De acordo com os dados do Cadastro de Acidentes Ambientais da CETESB de 1978 a 2006 ocorreram em torno de 500 acidentes envolvendo petróleo e derivados. Um exemplo marcante ocorreu em 1984, quando um vazamento de gasolina de um Duto da PETROBRAS causou um incêndio que consumiu a favela da Vila Socó matando em torno de 200 pessoas.

Devido a grandes pressões nacionais e internacionais, o aumento da consciência ecológica e principalmente a criação de leis ambientais foram tomadas medidas para a diminuição da poluição no estuário (como filtros e sistemas de tratamentos de esgoto e resíduos industriais, navios com casco duplo etc), permitindo que o ecossistema começasse a se recuperar. Apesar dos altos níveis de metais pesados e outros poluentes na água e sedimento do estuário (CETESB, 2001) e Cubatão estar entre as cidades mais poluídas do mundo - 35º lugar- (BLACKSMITH INSTITUTE, 2006) a situação melhorou em relação às décadas de 70 e 80. A poluição diminuiu, os peixes retornaram e a diversidade de aves é bastante grande.

#### **4.5. Acessibilidade e informações para a resposta**

As informações sobre condições de acesso são fundamentais em casos de emergência envolvendo vazamentos de óleo, pois facilita o planejamento das ações de resposta: a mobilização de pessoal, o tipo de veículo e os equipamentos mais adequados a serem utilizados.

O acesso terrestre é viável devido a presença de rodovias que cortam o estuário como o sistema Anchieta-Imigrantes (SP 150 e SP160), rodovia Pe. Manoel da Nóbrega (SP 055), rodovia Piaçaguera-Guarujá (SP 055), Rio-Santos (BR 101) e pelas ruas de bairros e comunidades presentes dentro do estuário (e.g. Vila dos Pescadores, Casqueiro, Ilha Caraguatá, bairros as margens do Rio Cubatão, Jardim Humaitá em São Vicente entre outros). Toda esta malha de acessos está presente nas cartas SAO.

Certamente, em muitos locais não há a possibilidade de acesso terrestre. Nestes casos, é mais indicado acessar estes locais por meio aquático utilizando embarcações leves. Através dos canais é possível chegar a qualquer local no estuário, desde que a maré não esteja baixa, e

com maior rapidez. Cabe aqui ressaltar que no estuário há a presença de muitos bancos de lama que ficam encobertos pela maré alta, podendo causar acidentes. Todas as estruturas náuticas que permitem atracação foram mapeadas e estão presentes nas cartas e no banco de dados.

Apenas no Canal de Piaçaguera é possível o uso de embarcações pesadas, devido ao calado mais profundo, consequência da presença do Porto de Santos e outros terminais (Ilha Barnabé, Alemoa e COSIPA). O porto, assim como os outros terminais, pode funcionar como áreas para concentração de equipamentos e disposição de resíduos.

Com relação a planos de emergência, o Porto de Santos dispõe de um PCE, Plano de Combate a Emergências e um PGR, Plano de Gerenciamento de Riscos, que abrange também a Ilha Barnabé. Coordena também o PAM- PORTO, Plano de Auxílio Mútuo do Porto de Santos. Além disso, conta com equipamentos para emergências, como mantas absorventes, barreiras de contenção, mangotes, skimmers, esteiras recolhedoras, equipamentos de comunicação, proteção individual e sinalização, veículos terrestres e marítimos, profissionais especializados e um container para armazenamento de equipamentos (CODESP, 2006).

Com relação ao acesso aéreo foi identificado um heliponto oficial e público localizado na Refinaria Presidente Bernardes (23°53'16''S 46°25'40''W).

#### **4.6. Cartas de sensibilidade ambiental ao óleo do Sistema Estuarino de Santos**

##### **4.6.1. Articulação das cartas SAO e escalas de representação**

Como as Cartas SAO são utilizadas principalmente como ferramentas no gerenciamento do combate a derramamentos de óleo, as informações devem ser representadas detalhadamente, porém sem que haja excessos que prejudiquem a compreensão das mesmas. Neste trabalho optou-se por duas escalas: 1: 80.000 e 1: 25.000.

A área de estudo foi contemplada ao todo com sete cartas SAO, sendo uma carta SAO tática, em escala 1: 80.000, e seis cartas SAO operacionais, em escala 1: 25.000. A carta tática apresenta uma visão de toda a área de estudo e um menor detalhamento das informações. Priorizou-se a sensibilidade dos ambientes e feições, principais aspectos socioeconômicos e biológicos. Para as cartas operacionais levou-se em consideração as características dos ambientes visto que a área apresenta extensos segmentos de manguezais. A escala 1: 25.000 mostrou-se adequada para a representação de todas as informações importantes sem que houvesse perda de noção espacial.

A numeração das cartas foi feita de acordo com as normas do MMA (BRASIL, 2004). Todas foram impressas em formato A3 e estão disponíveis no Volume 2.

A figura 39 apresenta o mapa de articulação das cartas SAO, seus números e escalas:

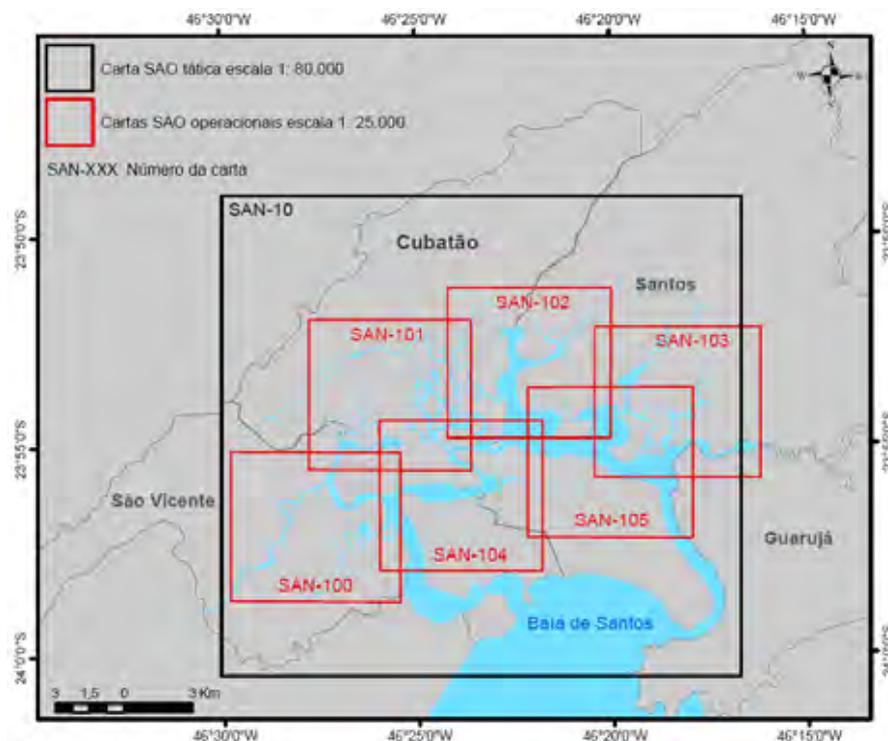


Figura 38: Articulação das cartas SAO e escalas de representação.

#### 4.6.2. Novas representações para as cartas SAO

Informações pontuais relevantes levantadas ao longo deste mapeamento não possuem representação espacial adequada, portanto será sugerida aqui a criação de ícones novos para serem adotados nas cartas SAO.

As casas de palafitas, moradias construídas em áreas alagadas, geralmente de baixo padrão feitas de madeira e sem saneamento básico, constituem um cenário frequente no estuário de Cubatão, Santos e São Vicente. São comunidades de baixo poder aquisitivo, que obtêm parte de sua subsistência pescando e coletando siris e caranguejos dos manguezais. Essas áreas devem ser protegidas para evitar prejuízos e agravar a situação econômica dos moradores destas regiões. Portanto, é muito importante em uma situação de emergência saber exatamente onde essas comunidades estão localizadas. Devido a isto, foi elaborado e adotado nas cartas o seguinte ícone:



Outros aspectos importantes que poderiam ser representados nas cartas SAO como ícones são os bancos de *Spartina* sp., que podem ser consideradas áreas de expansão dos manguezais e conseqüentemente muito sensíveis, e os costões rochosos pontuais e isolados, que neste trabalho foi representado como pontos da cor do ISL correspondente.

#### **4.7. Áreas de proteção prioritária**

A identificação de áreas prioritárias de proteção é um instrumento de suporte à tomada de decisão em situações de emergência, pois fornece subsídios ao planejamento das ações na medida em que aponta os locais em que devem ser concentrados os maiores esforços, o que inclui mobilização de recursos humanos e equipamentos. Deve-se ressaltar que a definição de uma área prioritária de proteção deve ser necessariamente feita em concordância com os órgãos ambientais. Portanto, as áreas indicadas neste trabalho funcionam como sugestão aos gestores de emergências.

Para a definição destas áreas foram levados em consideração os seguintes critérios:

- a sensibilidade do ambiente
- áreas de alimentação e reprodução de aves
- a possibilidade de intervenção (limpeza, remediação, mitigação) em caso de acidente
- condições de acessibilidade
- usos socioeconômicos

No caso específico do Sistema Estuarino de Santos, todo o estuário pode ser considerado uma área prioritária de proteção, pois apresenta os mais altos Índices de Sensibilidade (ISL 9 e 10); os ambientes predominantes são os manguezais e bancos de lama que apresentam alta biodiversidade e complexidade trófica; a possibilidade de intervenção é baixíssima já que qualquer procedimento de limpeza pode causar danos adicionais relevantes;

e, o estuário proporciona diversos e importantes usos socioeconômicos para as comunidades locais como pesca, maricultura, turismo e lazer.

Portanto, devem ser protegidos prioritariamente todos os manguezais e bancos de lama, as comunidades que se utilizam da pesca, como a Vila dos Pescadores e Vila Diana e também os bairros constituídos de casas de palafitas que estão em contato direto com as águas do estuário (Figura 40).



**Figura 39: Áreas prioritárias de proteção. A: Vila dos Pescadores (Cubatão); B: Vila Diana (Santos); C e D: comunidades em São Vicente.**

Como medida preventiva, para proteger os ambientes contra a contaminação por óleo, sugere-se: cercar áreas sensíveis e navios atracados nos terminais que contém óleo com barreiras de contenção. Isto pode impedir que o óleo vazado eventualmente contamine áreas sensíveis. Isto já pode ser observado nas proximidades do Terminal de Alemoa de Santos (Figura 41).



**Figura 39: Barreiras de contenção. A: barreiras de contenção cercando área de manguezal; B: barreiras de contenção cercando navio petroleiro.**

#### **4.8. Zonas de sacrifício**

No contexto de um vazamento de óleo, levando-se em consideração a possibilidade real de contaminação do litoral e a necessidade de se proteger as áreas prioritárias, muitas vezes é necessário conduzir o óleo para algum local. Estes locais são chamados de zonas de sacrifício. As zonas de sacrifício são instrumentos efetivos de tomada de decisão e, da mesma forma que as áreas prioritárias de proteção, devem ser decididas pelos órgãos ambientais competentes e levando em conta as condições do evento.

As zonas de sacrifício devem ser áreas com:

- com baixa sensibilidade ambiental
- com facilidade de acesso
- que apresentem condições favoráveis para as ações de combate (contenção, remoção e limpeza)
- em que as conseqüências socioeconômicas sejam reduzidas, controláveis e passíveis de mitigação.

Desta forma sugere-se no caso de vazamento de óleo, quando houver possibilidade, cercar a mancha de óleo, direcioná-la a uma isóbara mais profunda e proceder o recolhimento do óleo através de bombas e “skimmers”. Quando estas medidas não forem possíveis de serem realizadas propõe-se, como zona de sacrifício, as estruturas artificiais lisas de ISL 1, já que estas áreas contemplam os requisitos citados anteriormente. Localizam-se no Porto de Santos, Terminal Alemoa, Terminal Ilha de Barnabé, Terminal da siderúrgica COSIPA (TMPC) e Base Aérea de Santos (Figura 42).



**Figura 40: Exemplo de estrutura artificial lisa – ISL 1 (Porto de Santos).**

Como as estruturas artificiais citadas anteriormente localizam-se na parte centro-leste do estuário, caso ocorra um vazamento na parte oeste sugere-se como zona de sacrifício as margens da lagoa situada no Rio Marina. Esta lagoa, apesar de ser classificada com ISL 8 e ser uma área de lazer para a população é o ambiente menos sensível da região, visto que toda a área ao redor é formada por manguezais e bancos de lama (ISL 10 e 9). Além disso, as margens da lagoa assemelham-se a uma praia arenosa abrigada e apresentam condições favoráveis para as ações de combate como o fácil acesso para veículos, máquinas e pessoas, a possibilidade de remoção e limpeza do óleo e locais para a disposição de resíduos (Figura 43).



**Figura 41: Lagoa Rio Mariana – ISL 8 (São Vicente).**

No caso de um vazamento na Refinaria Presidente Bernardes (RPBC) que se localiza a montante do estuário no Rio Cubatão o óleo vazado pode chegar a atingir os manguezais. Há a presença de uma comporta que pode ser fechada bloqueando a passagem do óleo (Figura 44).



**Figura 42: Comporta Rio Cubatão após Refinaria Presidente Bernardes.**

No entanto, se mesmo assim, por algum motivo, o óleo ultrapassar a comporta sugere-se como zona de sacrifício os barrancos do Rio Cubatão (Figura 45). Estes barrancos apresentam baixa sensibilidade (ISL 4) e condições favoráveis as operações de combate a emergência. É importante lembrar que às margens do Rio Cubatão há a presença de uma agência ambiental da CETESB (Agência Ambiental Unificada de Cubatão) (Figura 45). As zonas de sacrifício podem ser visualizadas no mapa a seguir (Figura 47).



**Figura 43: Barranco não-vegetado no Rio Cubatão.**



Figura 44: CETESB (Agência Ambiental Unificada de Cubatão).

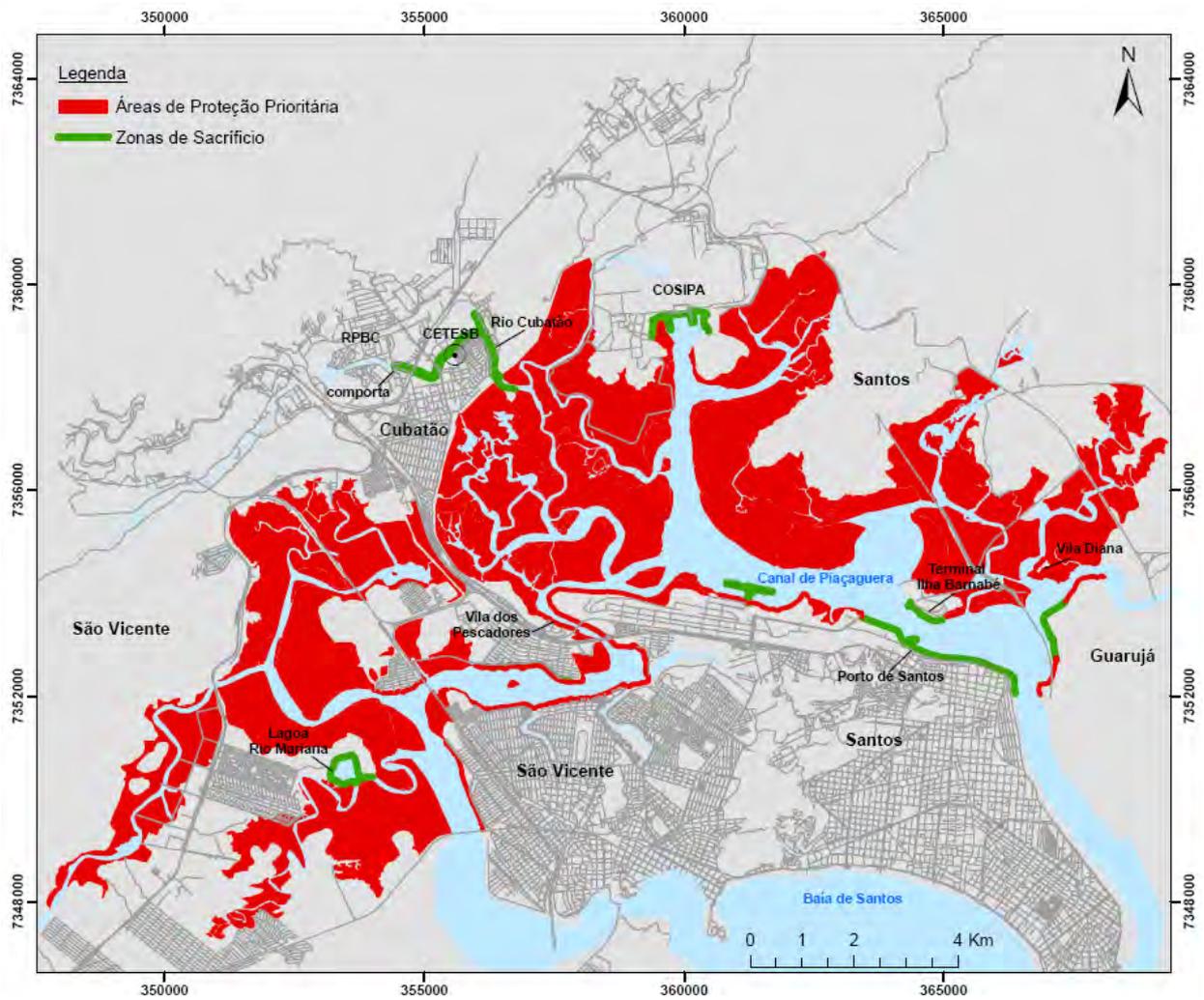


Figura 45: Mapa de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício sugeridas para o Sistema Estuarino de Santos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através a avaliação da sensibilidade do Sistema Estuarino de Santos foi possível concluir que a região é altamente sensível a derramamentos de óleo. Além disso, a área mostrou-se extremamente complexa, pois há um mosaico de ambientes sensíveis, alta biodiversidade, comunidades dependentes da extração de recursos, presença de fontes potenciais de poluição de grande magnitude e diversos problemas sociais.

As zonas de sacrifício são escassas, pois a maior parte da área de estudo é de alta sensibilidade, abrigada da ação das ondas, possuem sedimento lamoso e baixa declividade o que dificulta a limpeza natural e aumenta a persistência do óleo no ambiente. Apesar disto, foram sugeridas algumas zonas de sacrifício tendo em vista a alta suscetibilidade do estuário a vazamentos de óleo e seu relevante histórico de acidentes.

Foi constatado que algumas feições presentes na área de estudo, como os costões rochosos abrigados, as estruturas artificiais lisas abrigadas e algumas feições fluviais presente entre os manguezais, não estão contemplados dentro dos Índices de Sensibilidade do Litoral propostos pela metodologia do Ministério do Meio Ambiente. Sugere-se, então, que estes ambientes sejam incorporados na metodologia existente para Cartas SAO. Também foi sugerida a criação de novos ícones que representem as casas de palafitas, os bancos de *Spartina* sp. e os costões rochosos que ocorrem pontualmente.

O mapeamento detalhado em campo, associado a um banco de dados geográfico, permitiu que fossem produzidas Cartas com alto nível de detalhe e riqueza de informações. Essas cartas estão consolidadas em um Atlas que poderá servir de ferramenta nas ações de combate a vazamentos de óleo, na elaboração de planos de emergência e no planejamento ambiental com o intuito de minimizar os impactos causados por derrames de óleo.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Manual básico para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2001.

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D.; PEREIRA, T.A.A. **Adaptação do Índice de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo da National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA às Feições Fluviais Amazônicas**. Rio de Janeiro CENPES: 2002.

APPLIED SCIENCE ASSOCITES - ASA. **Caracterização Meteorológica e Oceanográfica da Região Estuarina de Santos e São Vicente**. São Paulo: Asa South America, 2007. Relatório não publicado.

AWAZU, L.A.; POFFO, I.R.F. **Mapeamento de áreas a serem protegidas quando da ocorrência de derrames de petróleo e derivados no Litoral Norte de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1986. 40p. Anexo.

BASE de dados tropical - BDT. Divulga informações ambientais de interesse da comunidade científica nacional e internacional. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br>> Acesso em: 09 nov. 2006.

INSTITUTO FLORESTAL. **Mapa da vegetação remanescente do Estado de São Paulo**: Centro de Referência em Informação Ambiental, 2004. Programa Biota FAPESP.

BLACKSMITH INSTITUTE. **The World's Worst Polluted Places – top ten**. Disponível em <<http://www.blacksmithinstitute.org>> Acesso em: 27 out. 2006.

BRASIL. Decreto nº. 4.136, de 20da Fevereiro de 2002. Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às infrações às regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional, prevista na Lei no 9.966, de 28 de abril de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 fev. 2002.

BRASIL. Resolução nº. 293, de 12 de Dezembro de 2001. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua elaboração. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 fev. 2002. Seção 1, p. 128-133.

BRASIL. Decreto nº. 4.871 de 6 de Novembro de 2003. Dispõe sobre a instituição dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 7 nov. 2003. Seção 217.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Brasília, 2000. 40p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Apresenta informações sobre todo o sistema de transporte terrestre e aquaviário do Brasil. Disponível em: < <http://www.transportes.gov.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2006.

BURNS, K.A.; STEPHEN, D.G.; SALLY, C.L. How many years until mangrove ecosystems recover from catastrophic oil spills? **Marine Pollution Bulletin**. v. 26, n. 5, p. 239-348. 1993.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems: methods and requirements for landuse planning**. Oxford: Clarendon, 1996.

CANTAGALLO, C. **Avaliação dos métodos de limpeza usados em ambientes costeiros atingidos por óleo**. 2005. 188 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

CANTAGALLO, C.; MILANELLI, J. C. C.; DIAS-BRITO, D. Limpeza de Ambientes Costeiros Brasileiros Contaminados por Petróleo: uma revisão. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**. v. 2, n. 1, p. 1-12, 2007.

CARVALHO, M. **Mapeamento da sensibilidade ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará utilizando imagens ETM+/Landsat 7 e geoprocessamento**. 2003. 253f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos.

CASTRO, A.F.; AMARO, V.E.; VITAL, H. Desenvolvimento de um banco de dados geográficos em um ambiente SIG e sua aplicação na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo em áreas costeiras do Estado do Rio Grande do Norte. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1533-1540.

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO – CETEC. **Minuta Preliminar do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 7**. Belo Horizonte, 2000.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Características y Desarrollo Estructural de los Manglares de Norte y Sur América. **Ciência Interamericana**, Washington, v.25, n.15, 1985.

COMPANHIA DE DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – CODESP. Apresenta informações diversas a respeito do porto de Santos. Disponível em: < <http://www.portodesantos.com.br/>> Acesso em: 14 jun. 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Derrames de Óleo no Mar e os Ecossistemas Costeiros**. Apostila de Curso. São Paulo, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Cadastro de Acidentes Ambientais da CETESB**. 2007. Disponível em: <[http:// www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 6 fev. 2007.

DIAS-BRITO, D. ; ZANINETTI, L. Étude géobotanique comparative de trois mangroves du litoral brésilien: Acupe (Bahia), Guaratiba (RJ), et Iguape (São Paulo). **Notes du Laboratoire de Paleontologia de L'Université de Genève**, Gênova, Fasc. 4, n. 6, p. 57-65, 1979.

FULFARO, V.J.; PONÇANO, W.L. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1: 1976, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1976. v.2, p. 67-90.

GARCIA, N. Venezuela National Oil Spill Contingency Plan. In: **OIL Spills Research in Tropical Environments and Contingency Planning in the Wider Caribbean**. London: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, 1986.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY – GBIF. Base de dados de localização e ocorrência de espécies. Disponível em: <<http://www.gbif.org> >. Acesso em: 22 set. 2006.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Journal of Marine Technology Society**, Carolina do Sul, v.12, n. 4, p. 18-27, 1978.

HANNA, R.G.M. An approach to evaluate the application of vulnerability index for oil spills in tropical Red Sea environments. **Spill Science & Technology Bulletin**, v.2, n.2/3, p. 181-186, 1995.

GUTBERLET, J. **Cubatão**: desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental. São Paulo: Edusp, 1996. 248 p.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; CACCIARI, P.L. Implantação de um sistema de previsão de marés e de correntes de maré na Baixada Santista através de modelo numérico tridimensional. **Relatório Técnico do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 45, p.1-21, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Apresenta informações sobre população, economia, indicadores sociais dos municípios brasileiros. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION – IPIECA. **Biological Impacts of Oil Pollution** : Fisheries. Londres, 2000.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION - ITOPF. **Response to Marine Oil Spills**. Londres: Witherby & Co., 1986. 113p.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION - ITOPF. 2007. Apresenta informações, publicações, conselhos e assistência técnica com relação a respostas a poluição por vazamentos de óleo. Disponível em: <[http:// www.itopf.com](http://www.itopf.com)>. Acesso em: 15 abr. 2007.

JENSEN, J.R.; RAMSEY, E.W.; HOLMES, J.M.; MICHEL, J.E.; SAVITSKY, B. DAVIS, B.A. Environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spills using remote sensing and geographic information system technology. **Geographical Information Systems**, v. 4, n. 2, p. 181-201, 1990.

JENSEN, J.R.; NARUMALANI, S.; WEATHERBEE, O.; MURDAY, M.; SEXTON, W.J.; GREEN, C.J. Coastal environmental sensitivity mapping for oil spills in the United Arab Emirates using remote sensing and GIS technology. **Geocarto International**, Hong Kong, v.2, p. 5-13, 1993.

JENSEN, J.R.; HALLS, J.N.; MICHEL, J. A Systems Approach to Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping for Oil Spill Contingency Planning and Response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Nevada, v.64, n.10p, 1003-1014, Oct. 1998.

KJERFVE, B.; LACERDA, L.D. Mangroves of Brazil. In: LACERDA, L.D. (Coord.). **Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa regions**. Part I: Latin America. ISME, 1993. p. 245-272. Mangrove Ecosystems Technical Reports.

KRISTOSCH, G.C. Ecologia alimentar, abundancia e sazonalidade de Charadriidae e Scolapacidae (Aves, Charadriiformes) em áreas poluídas na Baixada Santista – SP. 2003. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

LAMPARELLI, C.C.; MOURA, D.O. (Coord.). **Mapeamento dos ecossistemas costeiros do estado de São Paulo**. São Paulo: Páginas & Letras, 1998. 108 p.

LOREJAN, S.F.; RAIMUNDO, S. (Org.) et al. **Planos de Manejo das Unidades de Conservação: Parque estadual da Serra do Mar - Núcleo Cubatão**. São Paulo: SMA, 1998.

MICHEL, J. Assessment and Recommendations for the Oil Spill Cleanup of Guanabara Bay, Brazil. **Spill Science & Technology Bulletin**, Londres, v. 6, n.1, p 89-96. 2000.

MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da praia de Barequeçaba, São Sebastião, São Paulo**. 1994. 2v. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

MILANELLI, J.C.C. **Biomonitoramento de Costões Rochosos: Instrumento para Avaliação de Impactos gerados por vazamentos de Óleo na Região do Canal de São Sebastião – São Paulo**. 2003. 293 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MOE, K.A.; SKEIE, G.M.; BRUDE O.W.; LOYAS, S.M.; NEDREBO, M.; WESLAWISKI, J.M.. The Svalbard intertidal zone: a concept for the use of GIS in applied oil sensitivity, vulnerability and impact analyses. **Spill Science & Technology Bulletin**, v.6, n. 2, p. 187-206, 2000.

MOURÃO, J. (Coord.). **Cubatão 2020: a cidade que queremos**. Cubatão: Ciesp, 2006. 190 p.

NANSINGH, P.; JURAWAN, S. Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. **Spill Science & Technology Bulletin**, v.5, n.2, p.161-172, 1999.

NOVO MILÊNIO. *Jornal Eletrônico da Baixada Santista*. Disponível em: <<http://www.novomilenio.inf.br/santos>>. Acesso em: 17 dez. 2006.

OLMOS, F.; SILVA, R.S. **Guará: ambiente, flora e fauna dos manguezais de Santos-Cubatão**. São Paulo: Empresa das Artes, 2003.

PETROLEO BRASILEIRO S.A. Dispõe de informações sobre as refinarias da Petrobras. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.asp>> Acesso em: 2 dez. 2007.

PETROBRAS TRANSPORTE S.A. – TRANSPETRO. Informações Portuárias: Terminal de Alemoa. Disponível em: <<http://www.transpetro.com.br>>. Acesso em: 2 dez. 2007.

RICKETTS, P.J. Currents Approaches in Geographic Information Systems for Coastal Management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 25, p. 82-87, 1992.

RODRIGUES, F.O. **Derramamentos de óleo no ecossistema manguezal**: Limpeza de ambientes, efeitos e metodologia de estudo. 1997.175 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS, E.O. Características climáticas. In: AZEVEDO, A. (Coord.). **A baixada santista**: aspectos geográficos. São Paulo: Edusp, 1965, v. 1, cap. 4, p. 95-150.

SANTANNA-NETO, J.L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. 156 f. Dissertação (Mestrado em Climatologia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SAZIMA, I.; OLMOS, F. Peixes do Manguezal. In: OLMOS, F.; SILVA, R.S. **Guará**: ambiente, flora e fauna dos manguezais de Santos-Cubatão. São Paulo: Empresa das Artes, 2003. p. 65-77.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal**: estrutura, função e flora. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986. 150p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Vulnerabilidade do litoral norte do Estado de São Paulo a vazamentos de petróleo e derivados. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: 2, 1990, São Paulo. **Síntese de conhecimentos**: Anais... São Paulo: Academia de Ciências do Estado, 1990, n.2, p.375-399.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha – Grupo de Ecossistemas: Manguezal, Marisma e Apicum. PRONABIO & PROBIO. São Paulo: Base de Dados Tropical, 1999. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br>>. Acesso em 15 out. 2006.

SEVERINO-RODRIGUES, E; PITTA, J.B.; GRAÇA-LOPES, R. Pesca Artesanal de Siris (Crustacea, Decapoda, Portunidae) na Região Estuarina de Santos e São Vicente (SP), Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 1, n. 27, p. 7 - 19, 2001.

SILVA, G.; ARAUJO, S. I. de. **Gerenciamento de derrames de petróleo**: sensibilidade ambiental x suscetibilidade ambiental x vulnerabilidade ambiental. Salvador, II ENCOGERCO, nov. 1994.

SILVA, O.R.; FIGUEIREDO, P.J.M. Considerações ambientais para o desenvolvimento sustentável da atividade portuária: uma análise da interface porto-estuário. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Recife, v. 11, n. 20, p. 99-104, 2002.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S.M.; NETO, J.A.B. PONZI, V.R.A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: NETO, J.A.B; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. (Org.). **Introdução a geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 175-218.

SPECIES LINK. Sistema distribuído de Informação que integra em tempo real, dados primários de coleções científicas do Estado de São Paulo, da Rede Paranaense de Coleções Biológicas Taxonline, da rede SiCol, do herbário do Jardim Botânico do Rio de Janeiro e dados de observação do projeto Biot/Fapesp. Disponível em: <<http://splink.cria.org.br>>. Acesso em: 13 abr. 2007.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. SMA. **Ortofotos Digitais**: Projeto de Preservação da Mata Atlântica. São Paulo, 2002.

TESSLER, M. G. (Coord). **Diagnóstico ambiental oceânico e costeiro das regiões sul e sudeste do Brasil**. São Paulo : Fundespa/Iousp/Petrobras, 1994. v. 2, 347 p.

THOMPSON, G.B.; McENALLY, J.M. **Coastal Resource Atlas for Oil Spills in Trial Bay**. Sydney: Australian State Pollution Control Commission, 1984.

TOMMASI, L.R. **Considerações ecológicas sobre o sistema estuarino de Santos (SP)**. 1979. Tese (Livre Docência em Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

TORTELL, P. Coastal zone sensitivity mapping and its role in marine environmental management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 25, p. 88-93, 1992.

VARGAS, H.C. (Coord). **Plano diretor de desenvolvimento do município de Cubatão**. São Paulo: Prefeitura do Município de Cubatão/FUPAM/FAUUSP, 1995.

VALENTIN, J.L. (Coord). Oceanografia biológica: plâncton. In: **Diagnostico ambiental oceânico e costeiro das regiões sul e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1994, v. 4. 362 p.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Petroleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso – PEIC e Áreas do Entorno**. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

WIECZOREK, A; DIAS-BRITO, D; MILANELLI, J.C.C. Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surroundings areas, São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, n. 11-12, p. 872-886, 2007.

ZACHARIAS, M. A.; GREGR, E. J. Sensitivity and vulnerability in marine environments: an approach to identifying vulnerable marine areas. **Conservation Biology**, Arlington, v. 19, n. 1, p. 86-97, 2005.