

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

MAPEAMENTO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTOS DE ÓLEO PARA A REGIÃO COSTEIRA DE SÃO SEBASTIÃO E CARAGUATATUBA, LITORAL NORTE DE SÃO PAULO (SP), COM USO DE MODELAGEM EM SIG DE SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM CONHECIMENTO E ÁRVORE DE DECISÃO.

Fábio Luciano Pincinato

Orientadora: Profª.Dra. Paulina Setti Riedel
Co-orientador: Dr. João Carlos Milanelli

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências - Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro (SP)
2007

Comissão Examinadora

Dra. Paulina Setti Riedel

Dr. Dimas Dias Brito

Dr. Gabriel Henrique da Silva

Fábio Luciano Pincinato

Aluno

Rio Claro, 12 de julho de 2007

Resultado _____

574.5263 Pincinato, Fábio Luciano

P647m Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo (SP), com uso de modelagem em SIG de sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão / Fábio Luciano Pincinato. - Rio Claro: [s.n.], 2007
63 f., figs., gráfs. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciência Exatas

Orientador: Paulina Setti Riedel

Co-orientador: João Carlos Carvalho Milanelli

1. Ecologia aquática. 2. Sistemas de Informação Geográfica. 3. Gerenciamento costeiro. 4. Geotecnologia. 5. Geomorfologia. I Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Dedico este trabalho a meus
pais, Joel e Cidinha, e a meu
filho Yuri.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha orientadora Prof. Dra. Paulina Setti Riedel, pela orientação, por toda a amizade, confiança, motivação e por não medir esforços no suporte ao desenvolvimento do trabalho.

Ao meu co-orientador Dr. João Carlos Milanelli, pela grande amizade construída durante esses anos, pelos ensinamentos, oportunidades, confiança e pelo empenho e seriedade no qual conduziu a co-orientação.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT.

Ao José Maria Cazonatto, Prof. Dr. Dimas Dias Brito e Dr. Décio Semensatto Junior pela amizade e grande apoio dentro do PRH-05.

Ao CEBIMar e todos os seus funcionários pelo suporte durante as campanhas de campo.

Ao Instituto Florestal por fornecer as fotos aéreas usadas no mapeamento e à Prefeitura Municipal de São Sebastião por fornecer os arquivos digitais do município.

À todos os integrantes do Grupo de Trabalho GT Sensibilidade Costeira à Derramamentos de Petróleo pela amizade, pelo ambiente agradável da salinha, pelas campanhas de campo e pela união.

Ao Miguel, Arthur, Ágata, Thiago, Carolina, Rafael Aragi, Alana, Camila, Mineiro, Bruno, Pardal e Pablo pelo apoio em campo.

Aos estagiários Kadu, Malu, Alana, Juliano e Rafael pelo apoio nos ensaios granulométricos e a todos os estagiários de recursos biológicos e aos de SIG do GT Sensibilidade Costeira a derramamentos de petróleo.

Aos meus pais e ao meu filho Yuri pelo apoio, paciência e compreensão.

À Alana pelo carinho, companheirismo, apoio em praticamente todas as etapas deste trabalho e pelo incentivo.

RESUMO

A utilização dos hidrocarbonetos nas sociedades modernas é extremamente necessária, no entanto, quando o petróleo é derramado e atinge locais sensíveis se transforma em um grande problema. O risco de ocorrência de um derrame de óleo nunca será completamente nulo, principalmente em regiões com intensa e crescente movimentação de petróleo, como é o caso da costa de São Sebastião e Caraguatatuba, no litoral norte do estado de São Paulo, considerado o mais impactado pelos vazamentos de óleo das regiões sudeste e sul do Brasil, principalmente em decorrência do Terminal Marítimo da PETROBRAS (TEBAR), por onde passa mais da metade do óleo usado no país. Tendo isso em vista, esse trabalho tem como objetivo a elaboração de um Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO), contendo as Cartas SAO operacionais e táticas da costa de São Sebastião e Caraguatatuba, através de uma abordagem detalhada e integrada ao ambiente SIG, utilizando modelagem com sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão. A região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba mostrou-se extremamente complexa, com uma grande diversidade espacial de habitats e atividades humanas. Os levantamentos detalhados de campo, contemplando variações sazonais e morfológicas, revelaram intensa dinâmica sedimentar, responsável por alteração do índice de sensibilidade do litoral de alguns segmentos no decorrer do ano. A sistematização das informações no banco de dados geográfico forneceu o arcabouço necessário para a avaliação não só da sensibilidade ambiental, como também do comportamento potencial do óleo no ambiente, dos métodos de limpeza recomendados e os recursos em risco. A implementação do sistema especialista baseado em conhecimento, utilizando a técnica de árvore de decisão, proporcionou a dedução automatizada do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de acordo com as normas exigidas pelo Ministério do Meio Ambiente com alta precisão e controle do processo. As informações contempladas no SIG e no Atlas fornecem subsídios efetivos às ações de combate, resposta e diagnóstico de acidentes, contribuindo para a minimização do conflito entre a necessidade de transportar petróleo por essa região e a fragilidade de seus ecossistemas.

Palavras chave: Sistema de Informação Geográfica, geotecnologia, gerenciamento costeiro, geomorfologia.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Conseqüências ambientais dos derramamentos de óleo.....	2
1.2. Mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo.....	5
1.3. Modelagem em SIG baseada em sistema especialista.....	7
1.4. Objetivo.....	9
1.5. Área de estudo.....	9
2. METODOLOGIA.....	11
2.1. Levantamento e aquisição de informações.....	11
2.1.1. Mapeamento de ambientes litorâneos.....	12
2.1.2. Caracterização geomorfológica.....	12
2.1.3. Tipo de Substrato.....	15
2.1.4. Exposição à energia das ondas.....	16
2.1.5. Transporte litorâneo.....	17
2.1.6. Recursos biológicos.....	28
2.1.7. Recursos de uso humano	28
2.1.8. Informações para resposta a derramamentos de óleo.....	19
2.1.9. Fontes potenciais de poluição por óleo e derivados.....	20
2.2. Sistematização de informações.....	21
2.3. Análise e integração de informações.....	23
2.3.1. Classificação do Índice de Sensibilidade ao óleo do Litoral (ISL).....	23
2.3.2. Informações voltadas para a resposta a derramamentos de óleo.....	25
2.4. Saída de informações.....	26
2.4.1. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo.....	26
2.4.2. Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo.....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
3.1. Setor I - do costão da Boracéia até a Ponta Grossa.....	29
3.2. Setor II - da Ponta Grossa à Ponta de Guaecá.....	36
3.3. Setor III - da ponta de Guaecá à Enseada de Caraguatatuba.....	40
3.4. Setor IV - da Enseada de Caraguatatuba à ponta de Martins de Sá.....	44
3.5. Setor V - da Ponta de Martins de Sá à Ilha do Tamanduá.....	48
3.6. Sensibilidade ambiental ao óleo de São Sebastião e Caraguatatuba.....	50
3.7. Áreas prioritárias de proteção.....	53

3.8. Zonas de Sacrifício.....	54
4.CONCLUSÃO.....	56
5.REFERÊNCIAS.....	60
ANEXO I – Planilha de pontos e fotos.....	

1. INTRODUÇÃO

O uso do petróleo pelo homem vem ganhando crescente importância ao longo dos anos, tornando-se profundamente enraizado no modo de vida das sociedades modernas. Usado desde as civilizações antigas, foi com a invenção do motor a explosão, em 1887, que seu uso começou a ganhar maiores proporções. Atualmente, é fonte não só de energia, mas também de matéria prima, estando presente, direta ou indiretamente, em praticamente todos os utensílios e atividades humanas.

O fato de nossa sociedade ter evoluído rapidamente em consequência da utilização desse hidrocarboneto, nos tornou extremamente dependentes dele, porém, essa necessidade e consumo em ampla escala vêm trazendo diversos efeitos colaterais, desde conflitos políticos, guerras e a poluição causada pelo descarte dos resíduos finais, até a contaminação das águas e distúrbios ambientais, sociais e econômicos, gerados por derramamentos de óleo cru e de seus derivados nas fases de transporte e armazenamento.

O tão cobiçado petróleo encontra-se retido em reservatórios naturais extremamente mal distribuídos ao redor do globo, e devido ao consumo mundialmente generalizado, o transporte do produto explorado é feito em enormes quantidades, principalmente por via marítima em gigantescos petroleiros. Isso faz com que muitas das atividades e estruturas relacionadas com a indústria do petróleo se concentrem próximas da zona costeira, trazendo consigo eventuais derrames no mar de resíduos oleosos provenientes dos motores e das lavagens de tanques dos navios petroleiros, da descarga de água de lastro oleosa, das perdas decorrentes das operações de abastecimento, carga e descarga nos portos e terminais e de acidentes envolvendo petroleiros e oleodutos, contaminando águas costeiras e afetando o equilíbrio dos ecossistemas marinhos.

1.1. Conseqüências ambientais dos derramamentos de óleo

As estatísticas internacionais (ITOPF, 2007) revelam que a maior parte dos derramamentos envolvendo petroleiros entre os anos de 1974 e 2006 ocorreu devido a rotinas operacionais como carga, descarga e abastecimento em portos e terminais. A maioria desses vazamentos é considerada de pequeno porte, sendo 84% dos casos com quantidades menores que 7 toneladas. Acidentes envolvendo colisões e encalhes resultam em derramamentos de magnitudes maiores, mesmo assim, o montante anual de descargas de óleo no mar gerado por rotinas de operação continua sendo maior, ficando atrás apenas das exsudações naturais ocorridas no fundo dos oceanos (BURGHERR, 2007).

Porém, apenas o volume derramado não determina o grau de impacto que ele pode causar, o qual depende da combinação entre os efeitos danosos da composição química do óleo, de sua persistência no meio e da sensibilidade ecológica e socioeconômica do sistema afetado.

A magnitude e o tipo de resposta que a poluição por diferentes tipos de óleo irá causar no sistema dependem basicamente da variabilidade no tempo e no espaço das formas, estruturas, processos e da complexidade das interações entre os elementos que constituem o sistema perturbado. Esses fatores são determinantes na resistência e no tempo de recuperação do ecossistema frente a um distúrbio causado por determinado tipo de óleo nos diversos níveis organizacionais, refletindo sua sensibilidade em relação a essa perturbação.

A forma, a estrutura e os processos do meio físico têm papel fundamental na composição e organização espacial de ecossistemas e atividades humanas com diferentes graus de sensibilidade ao óleo. Na zona costeira, a geomorfologia irá influenciar, por exemplo, no tipo e na localização de portos e marinas, de pesca e maricultura, de áreas turísticas, de esportes náuticos, de diferentes habitats e comunidades biológicas e, também, na persistência em que um óleo derramado terá no sistema. Todas essas características contribuem na variação da vulnerabilidade a derramamentos de óleo de uma região, a qual está relacionada não só à sensibilidade, mas também à probabilidade do óleo atingir áreas sensíveis em um derramamento.

Com relação à persistência e o grau de impacto do óleo, existem fatores físicos chaves que são determinantes, como a declividade, o tipo de substrato, e a exposição à energia das ondas e das marés (GUNDLACH; HAYES, 1978).

A declividade influencia na reflexão e quebra das ondas, proporcionando uma maior ou menor eficiência de limpeza natural, além de influenciar no estabelecimento de

comunidades biológicas. O tipo de substrato, por sua vez, influencia parâmetros como a permeabilidade e a mobilidade de sedimentos, que além de afetar o tempo de permanência do óleo, está associado com a presença ou possibilidade de construir refúgios pela fauna. O grau de exposição à energia das ondas e das marés exerce influência na limpeza natural, no retrabalhamento do sedimento e na fixação e estabelecimento da biota. As correntes locais formadas pela refração/ reflexão das ondas também podem afastar o óleo, minimizando os danos. A amplitude de marés, agindo em conjunto com a inclinação, determina a largura da zona entremarés, ou seja, a área mais sujeita a ser coberta em um caso de derramamento (GUNDLACH; HAYES, 1978; MMA, 2002; NOAA, 2002).

A exposição ao óleo pode afetar a biota de diferentes formas e intensidades. A morte direta de organismos pode ocorrer através da intoxicação – principalmente quando estão envolvidos óleos leves com altos teores de elementos aromáticos – e de recobrimento mecânico e asfixia, causados principalmente por óleos mais densos e viscosos (IPIECA, 1991). Além disso, o óleo pode alterar algumas funções vitais nos organismos como, por exemplo, a fotossíntese, os sistemas enzimático e nervoso, alimentação e a resistência a infecções e a outras perturbações, o que pode comprometer sua sobrevivência ou sua função ecológica, afetando outros organismos indiretamente por promover mudanças na estrutura da comunidade através da alteração nas interações de herbivorismo, predação e competição (MOE et al., 2000; GIN et al., 2001; SCHOLS et al., 1992). Há casos extremos de distúrbios catastróficos, onde todos os organismos da comunidade são eliminados (IPIECA, 1991).

A comunidade biológica também pode ser afetada significativamente pelas operações de limpeza, como por exemplo, os impactos gerados pela remoção de macroalgas e outros materiais depositados nas praias, que servem de alimento e abrigo à macrofauna do supralitoral (DE-LA-HUZ et al., 2005). Há procedimentos que podem até mesmo eliminar a maior parte dos indivíduos de uma comunidade, como a remoção da camada superior de sedimento da zona entremarés das praias, local de maior concentração de organismos (MILANELLI; LOPES, 2001); e o jateamento de costões rochosos, que pode causar a supressão de toda a comunidade, gerando conseqüências mais severas que a própria exposição ao óleo (MILANELLI et al., 1991; MILANELLI, 1994).

As espécies não são igualmente afetadas pelo óleo. Algumas são mais sensíveis que outras, ou por estarem mais expostas, ou por apresentarem menos mecanismos de defesa. A sensibilidade ainda pode ser maior em determinadas fases do ciclo de vida de uma espécie, geralmente nos estágios iniciais (HAYES et al., 1992).

Há aquelas que, apesar de não sofrerem danos populacionais significativos, representam elementos chave na complexa rede de relações funcionais do sistema. Muitas espécies são exploradas pelo homem para alimentação e comercialização, e mesmo sendo pouco afetadas por um derrame localizado, podem sofrer alterações nas características de odor e sabor devido à contaminação direta ou através da cadeia alimentar, o que compromete sua comercialização (IPIECA, 2000), causando prejuízos à indústria da pesca e a comunidades tradicionais caiçaras. As perdas podem ser ainda mais drásticas, caso os petrechos utilizados nas atividades de pesca e maricultura sejam contaminados.

Os impactos sociais e econômicos não se restringem apenas às cadeias de relações ligadas à exploração dos recursos marinhos. O comprometimento da qualidade das águas e de locais de recreação e lazer afasta o turista, afetando um dos principais pilares da economia de muitas regiões costeiras. Muitos outros recursos e atividades socioeconômicas ainda podem ser afetados direta ou indiretamente, tanto pelos derramamentos, quanto pelas ações de resposta.

Como pôde ser observado, distúrbios, como os originados por derramamentos de óleo, podem deflagrar reações em cadeia que afetam o meio físico, o biótico e também o socioeconômico, principalmente em decorrência da complexidade e dinâmica da teia de interações que envolvem os sistemas costeiros. A utilização de petróleo como matéria prima e fonte de energia é extremamente necessária nos dias de hoje, porém, quando derramado de forma indevida nas águas e em locais sensíveis, acaba se transformando em um grande problema, tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade, a economia e a imagem das empresas envolvidas.

Como sanar ou minimizar o conflito entre a indispensável necessidade de transportar e armazenar enormes quantidades de petróleo nas regiões costeiras e a fragilidade desses sistemas?

Mesmo com todo o esforço empregado em medidas de prevenção, o risco de ocorrência de um derrame de óleo nunca será completamente nulo. Portanto, a saída para esse conflito está no planejamento prévio e execução eficaz de uma resposta imediata, logo que constatado um derramamento, a fim de conter e remover a mancha de óleo do mar antes que atinja os locais mais sensíveis.

Porém, por mais equipada que seja uma instalação portuária envolvida com as rotinas de operação de petróleo e derivados, nem sempre todos os recursos necessários no combate a um eventual derramamento estarão disponíveis imediatamente. Com isso, identificar as áreas sensíveis de modo a estabelecer prioridades de proteção é tarefa indispensável e de extrema

importância no suporte à tomada de decisão durante as operações de emergência (CETESB, 2002).

As cartas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo (SAO) são ferramentas técnico-gerenciais voltadas principalmente para esse fim. Ao identificar a sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, de seus recursos biológicos e das atividades socioeconômicas, auxiliam a reduzir as conseqüências danosas de um vazamento de óleo (MMA, 2002).

1.2. Mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo

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 (CETESB, 2002). Gundlach e Hayes (1978), associando as características biológicas com as geomorfológicas, criaram o primeiro índice de vulnerabilidade a derramamentos de óleo.

A partir daí, os mapas de sensibilidade vem evoluindo e sendo adotados em diversas localidades, como Austrália (THOMPSON; MC ENALLY, 1984), Mar Vermelho no Egito (WENNINK; NELSON-SMITH, 1979; HANNA, 1995), Venezuela (GARCIA, 1986), Emirados Árabes (JENSEN et al., 1993), Ilha de Trinidad no Caribe (NANSINGH; JURAWAN, 1999), Ilha de Svalbart (MOE et al., 2000), Egito (LOTFY, 2004), Israel (ADLER; INBAR, 2007), entre outros. No Brasil, diversos trabalhos também já foram realizados, como por exemplo, Awazu e Poffo (1986), Gherardi (2001), Beisl et al. (2003), Carvalho (2003), Wieczorek et al. (2007) e muitos outros.

No início, os pesquisadores vinham adotando ou elaborando suas metodologias e classificações de sensibilidade de acordo com as características de sua área de estudos ou de seus interesses técnicos e científicos, o que, apesar da indiscutível importância e contribuição, dificultava a comparação entre áreas distintas e a sua utilização por equipes de resposta de órgãos diferentes.

Com o intuito de sanar essas dificuldades, a *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) desenvolveu um guia para padronizar os mapeamentos de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para os Estados Unidos, baseado na classificação da sensibilidade ambiental da linha de costa e na representação dos recursos biológicos e socioeconômicos sensíveis e relevantes para as operações de resposta. Esse guia acabou se consolidando ao redor do mundo e serviu de base para a elaboração de vários

outros guias, como por exemplo, o da ARPEL (1997), o da IPIECA (1996) e o da Petrobrás (ARAÚJO et al., 2001).

Também com a finalidade de estabelecer uma metodologia padronizada para o mapeamento de sensibilidade ambiental no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) fez uma compilação das proposições do NOAA (1997), da IPIECA (1996) e da Petrobrás (ARAÚJO et al., 2001) no início do ano 2000, originando assim a primeira versão do documento intitulado "Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo" (MMA, 2002).

A partir desta versão, foram consultados os órgãos governamentais responsáveis pela gestão ambiental da atividade petrolífera, ampliando assim o documento com a consolidação das principais propostas. Em 2001, o MMA realizou um workshop para validar a metodologia e oficializar as especificações e normas e, em março de 2002, submeteu-as à apreciação da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), a fim de que as cartas SAO, preparadas de acordo com essa metodologia, pudessem ser consideradas documentos cartográficos oficiais brasileiros (MMA, 2004).

Na mesma época em que o MMA começava a se mobilizar na elaboração dessa metodologia de mapeamento oficial para o território nacional, os incidentes ocorridos na Baía de Guanabara no Rio de Janeiro, em janeiro de 2000; e em Barcarena no Paraná, em fevereiro do mesmo ano, se tornariam decisivos para a aceleração do tramite legislativo do PLC N° 37, de 1996, resultando na promulgação da Lei N° 9.966/2000 (ALENCAR, 2003), onde a necessidade do mapeamento de áreas sensíveis ao óleo ganha caráter normativo e torna-se tarefa obrigatória para toda a costa brasileira. A regulamentação dessa lei pelo Decreto N° 4.136/2002, a Resolução CONAMA N° 293/2001, e o Decreto N° 4.871/2003 intensificaram ainda mais a importância das cartas SAO no Brasil, exigindo que elas fossem itens integrantes dos Planos de Emergência Individuais (PEIs) e, conseqüentemente, dos Planos de Área (PAs) e do próprio Plano Nacional de Contingência (PNC), atualmente em tramitação para aprovação.

Com isso, as cartas SAO tornaram-se exigência no processo de licenciamento das atividades da indústria do petróleo que envolve risco de derramamentos em áreas sob jurisdição brasileira, e a tendência é que fiquem cada vez mais presentes em ações de resposta a derramamentos de óleo, as quais são executadas por um conjunto de equipes de diferentes órgãos que precisam trabalhar de forma rápida, sincronizada e, principalmente, embasada em informações precisas e atualizadas. Nesse contexto, o uso da tecnologia de Sistema de Informações Geográficas (SIG) vem suprir uma lacuna deixada pelos mapas de sensibilidade

ambiental em sua versão tradicional, a impressa a cores em papel, que devido ao alto custo de produção, acaba tendo sua distribuição e atualização limitada.

A sistematização das informações de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente SIG, além de oferecer a visualização espacial, permite a obtenção de respostas a perguntas específicas, através de consultas a informações mais atualizadas e acuradas armazenadas em seu banco de dados, (JENSEN et al. 1990; JENSEN et al. 1998).

O uso dessa tecnologia no mapeamento de sensibilidade ao óleo é uma tendência crescente ao redor do mundo, e sua eficácia, tanto na sistematização como na análise e geração de informações, vem sendo amplamente relatada (ABDEL-KADER et al., 1998; ADLER; INBAR, 2007; JENSEN et al., 1990; JENSEN et al., 1998; LOFTY, 2004; MOE et al., 2000; NOAA, 2002; KRISHNAN, 1995). No Brasil essas vantagens também já foram demonstradas pela Petrobras, que desenvolveu e usa um sistema de armazenamento, visualização e geração de cartas SAO (ARAÚJO et al., 2006).

No entanto, a classificação padronizada da sensibilidade do litoral costuma ser realizada em campo por especialistas familiarizados com as normas técnicas. Os trabalhos que classificam a sensibilidade do litoral através da modelagem em ambiente SIG geralmente incluem diferentes fatores nas análises, como aspectos bióticos e socioeconômicos locais, o que independentemente da qualidade técnica e científica do produto final, acaba gerando índices exclusivamente voltados para a área de estudo, pois como observado por Lofty (2004), o efeito e o peso desses critérios para a sensibilidade ao óleo variam de lugar para lugar e o processo de ponderação entre eles é altamente dependente do julgamento pessoal.

A implementação em SIG de um modelo baseado no conhecimento das normas técnicas para a classificação da sensibilidade ao óleo, como o utilizado atualmente pelos técnicos em campo, é uma saída potencial para o problema da geração automatizada do Índice de Sensibilidade do Litoral ao óleo (ISL) nos padrões estabelecidos pelo MMA (2004). Isso pode ser obtido pela modelagem em SIG baseada em sistema especialista (*expert system*), originado das pesquisas em inteligência artificial.

1.3. Modelagem em SIG baseada em sistema especialista

Sistema especialista é um programa computacional desenhado para emular a habilidade de tomada de decisão de uma pessoa especialista em certa área, onde o componente mais importante é o conhecimento (SHATRI et al., 2004). A aquisição do conhecimento usado no motor de inferência do modelo normalmente é obtido por entrevistas a pessoas especializadas, no entanto, manuais contendo especificações e normas técnicas,

como o elaborado pelo MMA (2004), podem prover a base de conhecimento necessária para a formulação das regras que, no caso, irão delinear a dedução do ISL com base no conhecimento e nos dados ambientais do litoral, armazenados em um banco de dados geográfico em SIG.

A definição do conjunto de regras baseadas no conhecimento pode ser obtido através da abordagem de árvore de decisão. Essa técnica consiste na estruturação de uma sequência de decisões que conduz a uma classificação do grupo de dados em novas informações, representada pelos nós terminais da árvore de decisão. Essa estrutura tem a vantagem de otimizar a busca por considerar apenas os aspectos necessários na produção dos resultados distintos (USERY; ALTHEIDE, 1988), além de ser de fácil compreensão.

Essa metodologia aplicada na formação da base de conhecimento de sistemas especialistas em ambiente SIG vem sendo usada com sucesso por pesquisadores, como Userly e Atheide (1988) na produção de mapas geotécnicos, Scull et al. (2005) na classificação de solos, Lees e Ritman (1991) no mapeamento da vegetação, Zhang et al. (2006) na predição de melhores áreas para a pastagem, Kobler e Adamic (2000) na identificação de habitats do urso marrom na parte sudoeste da Eslovênia, Cardoso (2005) na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos de massa em Peruíbe, Carvalho (1995) no gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas, entre outros. Porém, a aplicação desse método no mapeamento da sensibilidade do litoral ao óleo, respeitando as normas e padrões estabelecidos pelo MMA (2004), obrigatórias nos processos de licenciamento das atividades de produção da indústria do petróleo, ainda não foi explorado.

O uso integrado da tecnologia de SIG e sistemas especialistas com as tradicionais cartas SAO em sua forma impressa pode oferecer um poderoso arcabouço instrumental para as empresas e órgãos ambientais trabalharem juntas no planejamento e execução mais eficaz de todas as ações envolvidas na resposta aos derramamentos de óleo, representando um significativo e importante avanço na minimização das conseqüências causadas por um incidente dessa natureza.

Tendo em conta que o risco de um acidente acontecer nunca será nulo, a adoção dessas ferramentas se torna imprescindível em regiões onde há intensa e crescente movimentação de petróleo, como é o caso das costas de São Sebastião e Caraguatatuba no litoral norte de São Paulo.

Esse setor do litoral paulista é considerado o mais impactado pelos vazamentos de óleo nas regiões sudeste e sul do Brasil (TOMASSI, 1994), principalmente em decorrência do Terminal Marítimo Almirante Barroso da Petrobrás (TEBAR), no Canal de São Sebastião

(CETESB, 2002), o qual é responsável pela estocagem e distribuição de aproximadamente 55% do óleo usado no país (LOPES et al, 1997; POFFO et al., 2001). De acordo com Poffo et al. (2001) e CETESB (2007), 249 eventos envolvendo derramamentos foram registrados nessa área entre os anos de 1974 e 2006.

Apesar de contar com os Planos de Emergência Individuais (PEIs) do TEBAR e do DERSA, estudos que contemplem profundamente aspectos ecologicamente relevantes e não abordados, como a caracterização detalhada da geomorfologia dos ambientes costeiros e suas variações sazonais, são extremamente importantes na minimização das consequências ambientais dos frequentes derramamentos que ocorrem nesse trecho do litoral norte de São Paulo.

1.4. Objetivo

Tendo em vista a suscetibilidade da região à contaminação por óleo, esse trabalho tem como objetivo a elaboração de um Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (SAO), contendo as Cartas SAO operacionais e táticas da costa de São Sebastião e Caraguatatuba, através de uma abordagem detalhada e integrada ao ambiente SIG, utilizando modelagem com sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão.

1.5. Área de estudo

A área de estudo abordada no presente trabalho é referente à região costeira dos municípios de São Sebastião e Caraguatatuba (Figura 1), litoral norte do estado de São Paulo, e está inserida na porção central da Bacia de Santos. Sua localização geográfica fica entre as coordenadas 45°48'W, 23°53'S e as 45°14'W, 23°29'S.



Figura 1: Área de estudo

Essa região é caracterizada por apresentar uma linha de costa extremamente recortada, resultando em grande heterogeneidade espacial de ambientes, onde grande parte dos ecossistemas costeiros do estado está representada.

Além de abrigar o terminal que mais movimenta petróleo do país (TEBAR) e um importante porto comercial para o estado (Porto de São Sebastião), apresenta intenso e complexo uso socioeconômico da zona litorânea e costeira.

2. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, o trabalho foi conduzido em quatro etapas de desenvolvimento: 1) **levantamento e aquisição** de informações necessárias para a formação da base de dados, 2) **sistematização** de informações e armazenagem em um banco de dados orientado ao objeto, 3) **análise e integração** de informações e 4) **saída** de informações através das cartas SAO impressas e do Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo. Os procedimentos e métodos utilizados em cada etapa são descritos a seguir.

2.1. Levantamento e aquisição de informações

Esta etapa está relacionada ao levantamento e aquisição de informações básicas sobre os ambientes litorâneos, recursos biológicos, atividades socioeconômicas e dados de resposta a derramamentos de óleo. As fontes dessas informações foram os levantamentos secundários, o sensoriamento remoto e, principalmente, trabalhos de campo. Algumas informações ainda foram obtidas da derivação dos dados adquiridos.

Para a composição da base cartográfica, foram utilizadas as cartas náuticas oficiais do DHN/MB nº 1641, nº 1642 e nº 1700, e os arquivos digitais do Banco de Dados do projeto intitulado “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 CT-PETRO/MCT/CNPQ, que vem sendo desenvolvido pelo GT Sensibilidade Costeira do PRH 05 da UNESP de Rio Claro, do qual o presente trabalho faz parte.

O levantamento de dados e informações *in situ* foi executado em três campanhas de campo: a campanha preliminar de reconhecimento geral e de logística da área, ocorrida em

novembro de 2005; a campanha sazonal de verão, efetuada nos meses de março e abril de 2006; e a campanha sazonal de inverno, em agosto de 2006.

Nos trabalhos de campo, toda zona litorânea contida na área de abrangência do estudo foi percorrida, onde foram levantadas informações baseadas nas planilhas de campo propostas pelo MMA (2004).

Todas as informações levantadas em campo foram referenciadas geograficamente com um aparelho de aquisição de dados do Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System, GPS), datum SAD 69 e fuso 23, contempladas com registros fotográficos e relacionadas ao segmento onde ocorrem. A organização dessas informações em campo foi feita em uma planilha específica de pontos e fotos do segmento (ANEXO I).

Os procedimentos específicos utilizados na aquisição e levantamento das informações são descritos nos próximos subitens dessa sessão.

2.1.1. Mapeamento de ambientes litorâneos

Os principais ambientes da linha de costa foram mapeados primeiramente através de interpretação visual do mosaico de fotos aéreas digitais (resolução espacial de 0,98 metros por “pixel”), levantadas em sobrevôo ocorrido em 2002 e cedidas pelo Instituto Florestal (IF); sendo posteriormente divididos em novos segmentos com base nos resultados de campo.

Nos levantamentos *in situ*, foram registrados os pontos de início e fim de cada segmento que se apresentava homogêneo em relação às características geomorfológicas e o tipo de substrato, aspectos fundamentais para a definição da sensibilidade ao óleo.

2.1.2. Caracterização geomorfológica

A existência de alguns ambientes está intrinsecamente relacionada às características geomorfológicas locais, como é o caso das planícies de maré, dos terraços de baixa-mar e dos manguezais, no entanto, ambientes como os costões rochosos, estruturas artificiais e praias podem apresentar expressivas variações morfológicas e sazonais – no caso das praias –, o que gera a necessidade da adoção de métodos de amostragem específicos para cada um deles.

a) Praias

Para caracterizar a dinâmica sedimentar e geomorfológica das praias, as duas campanhas de campo foram realizadas para cada período do ciclo construtivo/destrutivo.

As praias foram classificadas, de acordo com sua morfodinâmica, em dissipativas, refletivas ou intermediárias.

A declividade e a largura da faixa de areia foram levantadas utilizando a metodologia proposta pela CETESB (1998), que consiste em amostrar em campo o perfil perpendicular à linha de costa com um instrumento denominado declivímetro. Esse aparelho mede o desnível altimétrico entre dois pontos separados por dois metros na horizontal, como mostrado na figura 2. As medidas são obtidas continuamente do limite superior da praia, com início nas linhas de jundu, falésias em terraços, dunas e estruturas antrópica – como muros, ruas ou casas – até o limite inferior da antepraia, indicado pela cava ou estimado de acordo com a altura da maré no horário de amostragem. Em cada perfil é registrado o limite máximo atingido pela maré noturna, evidenciado pela linha de deixa, que indica o limite da zona entremarés. A declividade é obtida através de cálculo trigonométrico dos valores acumulados na zona entremarés do perfil.

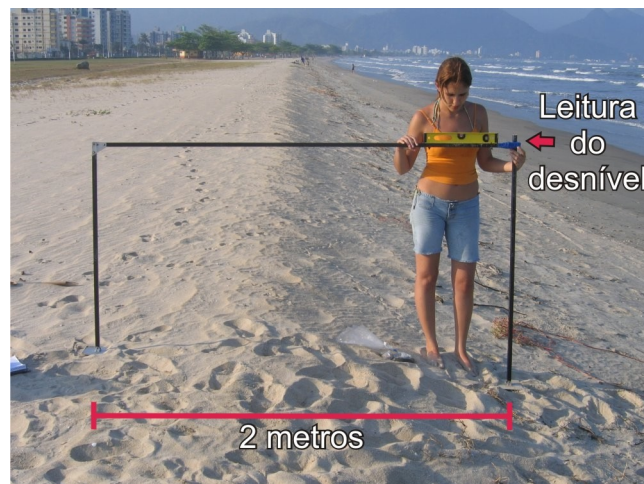


Figura 2: Declivímetro usado na amostragem do perfil.

Faixas de areia com extensões longitudinais menores que cinqüenta metros e de acesso restrito foram caracterizadas apenas visualmente. Praias com extensões de até um quilômetro foram contempladas com uma amostragem central; as de até quatro quilômetros, com uma amostragem a duzentos metros aproximadamente de cada canto e uma central, totalizando três pontos de amostras; as praias com extensões superiores a quatro quilômetros tiveram os pontos amostrais distribuídos de dois em dois quilômetros. Esse desenho amostral foi adotado, após observações na campanha de campo de reconhecimento, por ser considerado adequado para a representação das variações necessárias na caracterização da dinâmica sedimentar das praias da região. Ao todo, foram levantados, tanto no verão como no inverno, 106 pontos amostrais, totalizando 212 perfis.

Aspectos geomorfológicos que representavam armadilhas potenciais ao óleo, como depressões e tómbolos, também foram levantadas.

b) Costões rochosos

Toda estrutura natural formada de substrato rochoso e submetida à influência das ondas e/ou das marés foi chamada nesse trabalho de costão rochoso¹.

Devido à presença de costeiras extensas na área de estudo, de difícil trafegabilidade, a amostragem desse ambiente foi executada principalmente por via marítima. Com isso, as classificações foram feitas visualmente, sem medições quantitativas *in loco*.

Os costões rochosos foram classificados em “depósito de tálus”, quando formados por rochas fragmentadas soltas da estrutura, ou em “costão rochoso” propriamente dito, quando a estrutura era contínua.

A declividade foi classificada visualmente em baixa (menor que 5°), média (entre 5° e 30°) e alta (maior que 30°), segundo MMA (2004).

Características morfológicas relacionadas à heterogeneidade estrutural e presença de refúgios apresentam importância não só ecológica, por fornecer maior diversidade de nichos, como também podem configurar armadilhas ao óleo, influenciando no comportamento deste no ambiente. Levando isso em consideração, esses aspectos foram alvo de levantamentos em campo, sendo sistematizados nos seguintes atributos do segmento: densidade de fendas, profundidades de fendas, densidade de tocas de ouriço, presença de depressões e de poças de maré. Quando presentes em um segmento, esses atributos eram classificados visualmente em alto, médio e baixo.

Armadilhas potenciais ao óleo, como reentrâncias na costa e grandes fendas foram mapeadas como pontos e associadas ao segmento.

c) Estruturas artificiais

As estruturas artificiais estão relacionadas a toda feição construída pelo homem que compõe a linha de costa e sofre influência das ondas e/ou marés.

Esses ambientes foram amostrados em campo onde foram classificados em enrocamentos e muros.

¹ Apesar de apresentar outras nomenclaturas, o termo costão rochoso foi adotado nesse trabalho por ser o mais utilizado pelos órgãos ambientais e em trabalhos de ecologia e sensibilidade ao óleo desse ecossistema costeiro.

2.1.3. Tipo de Substrato

Os principais tipos de substrato dos ambientes do litoral são sedimentar, rochoso e artificial, os quais possuem métodos de amostragem e classificação específicos, como descrito a diante.

a) Substrato sedimentar - praias

As amostras de substrato sedimentar das praias foram obtidas em campo nos mesmos pontos amostrais dos perfis topográficos, onde aproximadamente 100 gramas de sedimento superficial foi coletado na porção mediana da zona de supralitoral, na de mesolitoral e na franja do infralitoral, tanto no inverno como no verão, totalizando 636 amostras.

Após a eliminação do calcário biodetrítico do sedimento, de acordo com Souza (1990), foram efetuadas análises granulométricas através do método de peneiramento a seco, no qual uma série de peneiras com malhas de 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,250mm, 0,125mm e 0,063mm são utilizadas para separar os grãos em grânulos, areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, segundo Wentworth (1922).

Amostras com mais de 20% de grânulo ou fragmentos de conchas são classificadas como areia mista (MMA, 2004). No caso das areias mistas com conchas, a classificação foi realizada antes da eliminação do calcário biodetrítico. Tanto o tratamento quanto as análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia Aplicada da Unesp de Rio Claro.

As características granulométricas das amostras, como diâmetro médio e grau de seleção, foram obtidas através da análise dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), utilizando o software Sysgran 3.0 (CAMARGO, 1999).

As informações resultantes das análises das amostras do supralitoral e da franja do infralitoral são de caráter complementar, utilizadas como suporte na interpretação da dinâmica de sedimentos e indicativo de possíveis comunidades biológicas, pois o principal foco deste trabalho concentra-se na zona entremarés.

O procedimento de eliminação do calcário biodetrítico das amostras é recomendado por Souza (1990) para a representação mais fiel da hidrodinâmica, necessária nas análises de correntes de deriva litorânea, no entanto, essa técnica deve ser usada com cautela em trabalhos de sensibilidade ao óleo, principalmente os que consideram os valores estatísticos brutos para a avaliação da penetração do óleo no substrato e em litorais onde o calcário apresenta proporções significativas na composição do sedimento. A aplicação desse

procedimento também pode descaracterizar substratos de areia mista com fragmentos de conchas, os quais devem ser classificados antes do ataque com ácido. A descaracterização do substrato a ponto de alterar sua classe granulométrica – segundo Wentworth (1922) – requer mais estudo.

b) Substrato rochoso

O tipo de substrato rochoso foi classificado em campo em compacto, blocos ou matações. O substrato compacto está relacionado aos “costões rochoso”, enquanto os blocos e matações, aos “depósitos de tálus”.

c) Substrato artificial

O substrato artificial dos muros foi classificado em campo de acordo com o tipo de material em madeira, concreto liso e formado por blocos de rocha. O grau do potencial acúmulo de óleo proporcionado por fendas também foi levantado e considerado como atributo do segmento.

2.1.4. Exposição à energia das ondas

A linha de costa foi classificada em “exposta” ou “abrigada” em relação à energia das ondas. Devido ao regime de micromarés, a força das marés não se mostra significativa para a sensibilidade da região, e portanto, não foi considerada no presente trabalho. O mapa de exposição às ondas foi gerado principalmente em ambiente SIG.

O grau de exposição à energia das ondas no litoral em estudo foi determinado principalmente por dois fatores, a orientação da linha de costa e a proteção proporcionada por anteparos às ondas.

Tendo isso em conta; a linha de costa, mapeada através da interpretação das fotografias aéreas, foi segmentada em novas feições e reclassificada de acordo com o quadrante para onde estavam orientadas. Devido aos inúmeros recortes e reentrâncias desse trecho do litoral, principalmente nos costões rochosos, foi utilizado um mapa de orientação das vertentes (aspecto) com resolução espacial de 10m, gerado a partir de modelagem numérica de terreno no 3D Analyst do ArcGIS, para auxiliar na generalização espacial dos segmentos.

Os trens de ondas que atingem essa costa provem dos quadrantes SE, S, SW, E e NE, com predomínio do quadrante SE (SOUZA; SUGUIO, 1996; SOUZA, 1997, SOUZA, 1990), no entanto, as ondulações que atuam com maior energia nesse litoral são as dos quadrantes

SW, S, SE e E²; com isso, as feições voltadas para essas direções foram selecionadas através de consulta *SQL (Structured Query Language)* e receberam o atributo de “expostas”, enquanto as feições voltadas para W, NW, N e NE receberam o atributo “abrigadas”. Após esse procedimento, as feições expostas que eram protegidas da ação das ondas por ilhas ou reentrâncias foram reclassificadas em abrigadas, tendo como suporte e validação os levantamentos visuais em campo do grau de hidrodinamismo, realizados ao longo de todas as campanhas.

2.1.5. Transporte litorâneo

Quando as ondas incidem sobre as praias com certo ângulo, geram correntes longitudinais denominadas de correntes de deriva litorânea (SOUZA, 1997). Essas correntes são responsáveis pela mobilização de sedimentos ao longo da praia, estabelecendo células de circulação com zonas onde predominam processos erosivos, de transporte e deposicionais (SOUZA, 1997), que dependendo da intensidade com que atuam, podem remover ou recobrir o óleo derramado, dificultando as operações de limpeza e aumentando os impactos. A interação entre as células também pode gerar correntes de retorno, importantes para afastar o óleo da costa.

O método utilizado para a definição do transporte litorâneo, gerado pelas correntes de deriva, é o proposto por Taggart e Schwartz (1988), modificado por Souza (1997). Esse método, amplamente aceito na literatura mundial (Souza, 1997), utiliza como parâmetros para a interpretação do sentido da deriva litorânea a largura e a inclinação da praia, o diâmetro médio e o grau de seleção dos sedimentos. Souza (1997) sugeriu a incorporação do parâmetro curtose com a finalidade de complementar o método em relação à indicação da variação da energia das ondas ao longo das células de deriva litorânea.

O aumento da largura da praia, a diminuição da inclinação, o afinamento dos grãos, a melhora no grau de seleção (indicado pelo desvio padrão) e valores altos de curtose indicam a diminuição da energia das ondas ao longo de uma célula de deriva litorânea e a direção do transporte longitudinal do sedimento, de barlar (origem da célula e zona de erosão) para sotamar (término da célula e zona de deposição).

Dessa forma, a comparação da variação desses parâmetros entre amostras adjacentes fornece um indicativo da atuação das correntes de deriva litorânea e, conseqüentemente, da

2 Apesar das ondulações de NE também ocorrerem, normalmente estão associadas a ventos fracos da fase pós frontal, apresentando pouca energia (SOUZA, 1990).

direção do transporte litorâneo e dos processos erosivos e deposicionais que culminaram na morfotextura da praia encontrados no momento da amostragem em campo.

Para essa análise, foram utilizadas as mesmas amostras coletadas para a caracterização do tipo de substrato sedimentar das praias maiores que um quilômetro, pois para a comparação são necessários pelo menos dois pontos amostrais por feição.

2.1.6. Recursos biológicos

O mapeamento dos recursos biológicos foi embasado na ocorrência de espécies para a área e, principalmente, na ecologia dos grupos e na ocorrência de habitats costeiros adequados ao desenvolvimento ou colonização desses grupos.

As listas de espécies, ocorrências sazonais, status de conservação e outras informações consideradas relevantes à sensibilidade ambiental foram levantadas em fontes secundárias pela equipe de recursos biológicos do GT sensibilidade costeira ao óleo do PRH 05.

Em campo, foi registrada a ocorrência, localização e estado de conservação de habitats e os locais de uso, como áreas de alimentação, de reprodução, berçários e de concentração de espécies.

2.1.7. Recursos de uso humano

As estruturas e atividades socioeconômicas relacionadas ao uso dos recursos costeiros e marinhos, foram levantadas tanto em campo como em fontes secundárias. Os principais usos estão relacionados à recreação e turismo, cultivo e extração de recursos naturais, recursos culturais e áreas sob gestão especial.

a) Recreação e turismo

Áreas de importância para atividades de recreação, turismo e lazer que poderiam ser afetadas diretamente por um derramamento de óleo, como praias com uso recreacional, locais de pesca esportiva, áreas de mergulho, de esportes náuticos, de veraneio, etc., foram levantadas através de observações ao longo de todas as campanhas de campo e de conversas informais com moradores locais e frequentadores da região.

Toda infra-estrutura de apoio e serviços ligados às atividades de recreação, turismo e lazer; como hotéis, pousadas, áreas de *camping*, restaurantes, bares, quiosques, barracas ambulantes, aluguel de caiaque, passeios de barco, entre outros; quando localizados próximos à linha de costa, ou seja, com possibilidade de sofrerem impactos mais diretos no caso de um acidente com óleo, também foram mapeadas em campo.

b) Cultivo e extração de recursos naturais

Áreas de aquicultura, pesca artesanal, coleta de recursos naturais, pontos de desembarque de pescado, locais de armazenagem de petrechos de pesca, ranchos de pescadores, cooperativas, e todos os aspectos relacionados com o cultivo e extração de recursos naturais marinhos ou costeiros foram levantados e mapeados ao longo de todas as campanhas de campo.

c) Recursos culturais

Sítios históricos e comunidades tradicionais caiçaras foram levantados e mapeados em campo.

d) Áreas sob gestão especial

A localização e os limites de todas as áreas submetidas a controle normativo de restrição de uso foram levantadas junto a documentos públicos e ao Projeto Biota FAPESP.

e) Instalações marítimas e infra-estrutura de apoio náutico

Foram levantados ao longo de todas as campanhas de campo todas as instalações marítimas, como balsas, portos e terminais; e as infra-estruturas de apoio náutico, como marinas, iate-clubes, garagem náuticas e poitas de atracação.

As instalações marítimas e infra-estrutura de apoio náutico podem ser indicativas de atividades de lazer, fontes de poluição e possíveis acessos náuticos para operações de resposta.

2.1.8. Informações para resposta a derramamentos de óleo

As informações para resposta a derramamentos de óleo são fundamentais no planejamento e execução das operações de contenção, remoção e limpeza do óleo. A acessibilidade à zona litorânea para equipamentos e equipes e a adequação de espaços para operar e manejar máquinas e resíduos, foram alvos de levantamentos em campo.

O acesso à zona litorânea pode ser feito por via terrestre, marítima ou aérea.

a) Acessos terrestres

As rodovias e vias secundárias foram provenientes da base cartográfica do GT sensibilidade costeira a derramamentos de petróleo, PRH 05.

Todos os acessos diretos à zona litorânea foram levantados em campo e posteriormente digitalizados com base nas fotografias aéreas e vias secundárias da base

cartográfica. Foi levantado para cada acesso à linha de costa o potencial de entrada com veículos pesados, veículos leves ou se só permitiam passagem de pedestres. Aspectos relacionados às limitações também foram levantados, indicando se o acesso era público, particular ou limitado por algum obstáculo.

Muitas praias e costas rochosas apresentam acesso somente por trilhas, as quais foram mapeadas com GPS, coletando pontos de referência toda vez que a direção geográfica se alterava. Nos locais de maior altitude e quando ocorriam clareiras no dossel, aumentando a recepção do sinal no GPS, também eram marcados pontos. A possibilidade de tráfego com veículo tracionado também foi observada.

f) Acessos marítimos

As informações sobre os acessos marítimos que foram levantadas em campo estão relacionadas a pontos de lançamento de embarcações no mar, formas de aproximação e de atracação na linha de costa, como píer, rampa, marina, praia, entres outros. Limitações à aproximação ou atracação, como alto hidrodinamismo, rochas e lages pouco profundas e áreas com baixo calado foram levantadas em campo, em entrevistas informais com pescadores locais e com cartas náuticas oficiais do DHN/MB.

Ancoradouros, os quais podem ser usados para o pernoite das embarcações envolvidas nas operações de resposta, também foram alvo de levantamento.

g) Acessos aéreos

As localizações dos helipontos foram obtidas no cadastro de helipontos, Rotaer Eletrônico (WWW.OHELIPONTO.COM.BR, 2005).

2.1.9. Fontes potenciais de poluição por óleo e derivados

A representação espacial do Terminal Marítimo da Petrobrás (TEBAR) foi obtida com base na interpretação de fotografias aéreas.

O traçado dos oleodutos é proveniente de arquivo digital cedido pela Prefeitura Municipal de São Sebastião.

As localizações de postos de combustíveis próximos à linha de costa foram levantadas em campo.

2.2. Sistematização de informações

A sensibilidade ao óleo de uma região envolve muitos aspectos, tanto ambientais, como socioeconômicos, o que acaba por gerar um grande volume de informações resultante das etapas de levantamento e aquisição de dados. A sistematização e armazenamento adequado dessas informações são essenciais para a análise e consulta em situações de emergência envolvidas nas operações de resposta.

Tendo em conta a potencialidade das ferramentas de SIG para esse fim, as informações anteriormente levantadas foram inseridas e organizadas em um banco de dados orientado ao objeto (*Geodatabase*), utilizando o *software* ArcView 9.1 (ESRI, 2006), onde as representações das feições foram armazenadas em duas estruturas diferentes: as de natureza espacial (objetos geográficos), representadas por dados vetoriais do tipo linha, ponto e polígono; e as não espaciais (dados alfanuméricos), representadas em tabelas.

O banco de dados geográfico de sensibilidade ambiental ao óleo para as costas de São Sebastião e Caraguatatuba foi modelado tendo como base as especificações e normas técnicas do MMA (2004) e as características da área de estudos, contemplando informações complementares, cuja representação nas cartas SAO não é possível.

O processo de sistematização das informações foi executado fundamentalmente em duas fases: a alimentação do banco de dados por informações básicas, adquiridas em levantamentos de campo e sensoriamento remoto, e a organização das informações no padrão proposto pelo MMA (2004), onde os dados adquiridos em campo foram reorganizados ou processados e as informações levantadas em fontes secundárias foram importadas, no caso de arquivos digitais; ou plotadas, quando presentes em documentos impressos.

Na figura 3 é apresentada a estrutura representativa do banco de dados geográfico, com os tipos de representações dos dados espaciais e os campos de atributos das feições. Na porção esquerda do diagrama, estão as informações básicas, levantadas em campo e através de sensoriamento remoto; enquanto no lado direito, estão representadas as informações sistematizadas para o suporte na geração de cartas SAO no padrão do MMA (2004).

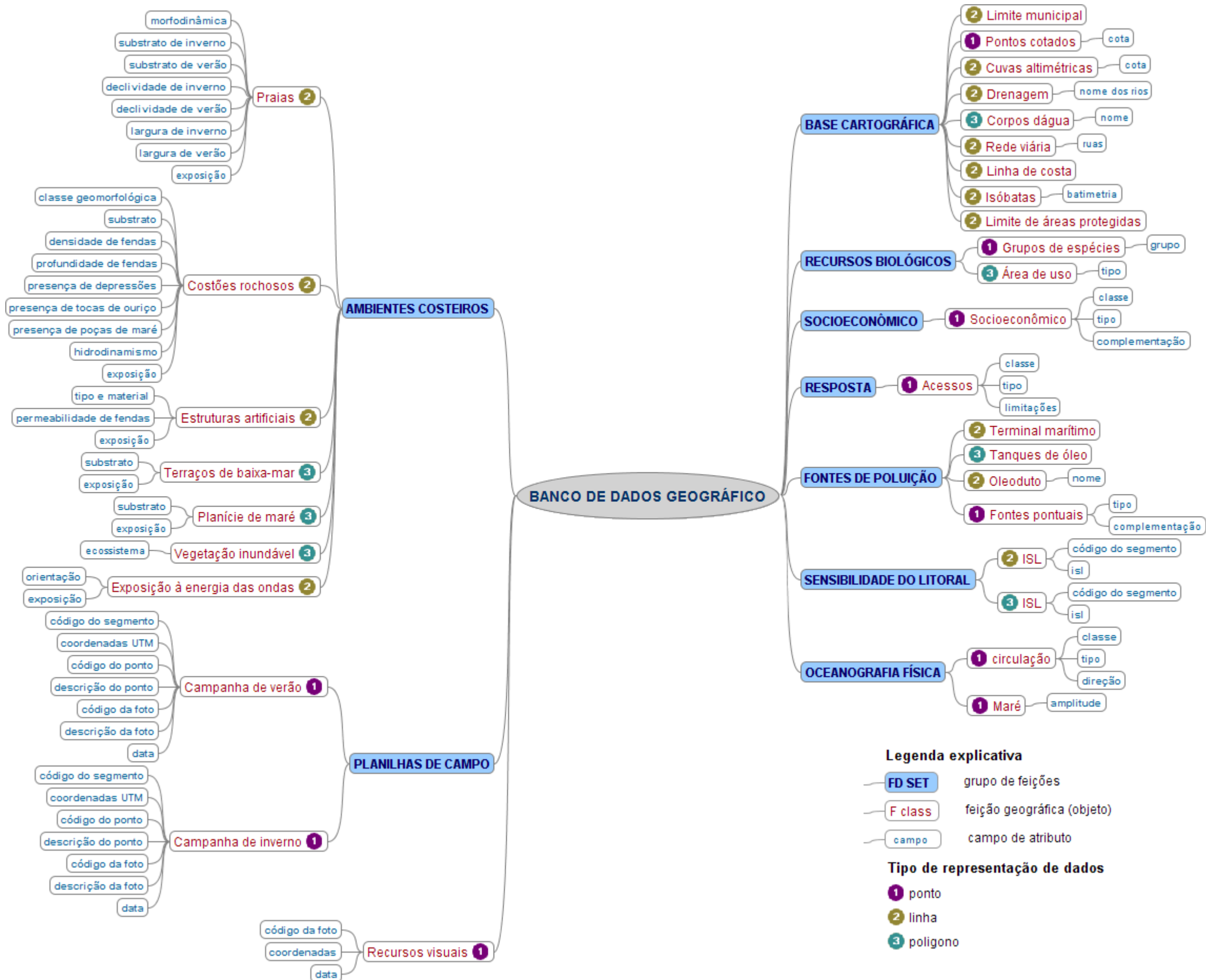


Figura 3 – Representação do banco de dados geográfico de sensibilidade ambiental ao óleo de São Sebastião e Caraguatatuba.

2.3. Análise e integração de informações

Nessa etapa, as informações armazenadas no banco de dados são cruzadas e analisadas com a finalidade de gerar novos produtos, como a classificação da sensibilidade ambiental ao óleo dos ambientes litorâneos e informações voltadas ao suporte nas operações de resposta a derramamentos de óleo.

2.3.1. Classificação do Índice de Sensibilidade ao óleo do Litoral (ISL)

A integração das informações, armazenadas na base de dados, para a classificação do ISL é executada através do motor de inferência do sistema especialista, modelado com base no conhecimento empírico especializado, estruturado em um conjunto de regras definidas pela abordagem em árvore de decisão.

A implementação em SIG do sistema especialista baseado em conhecimento envolveu três passos principais: (1) identificação das variáveis envolvidas, (2) definição do conjunto de regras baseadas no conhecimento para a classificação do ISL e (3) modelagem do conjunto de regras em ambiente SIG.

O conhecimento especializado utilizado na identificação das variáveis envolvidas e na definição das regras de inferência é proveniente das normas e especificações para a classificação do ISL, estabelecidas no manual do MMA (2004), o qual foi baseado na experiência de mais de vinte anos em mapeamento e operações de resposta da NOAA, compiladas em seu guia (NOAA, 1997), e na experiência na adaptação desse conhecimento ao contexto brasileiro pela Petrobras.

O ISL (Índice de Sensibilidade do Litoral) hierarquiza os diversos tipos de ambientes litorâneos brasileiros em uma escala de 1 a 10, com base no conhecimento das características geomorfológicas da costa, considerando o **grau de exposição à energia de ondas e marés**, a **declividade do litoral** e o **tipo de substrato**, além da **importância ecológica intrínseca ao ambiente** (MMA, 2004). Quanto maior for o índice, maior será o grau de sensibilidade do ambiente.

Com base nas normas de classificação do MMA (2004), foi definido, através da abordagem em árvore de decisão, o conjunto de regras necessárias para a dedução do ISL padronizado (Figura 4) a partir da combinação das variáveis mencionadas e da base de dados armazenada no SIG .

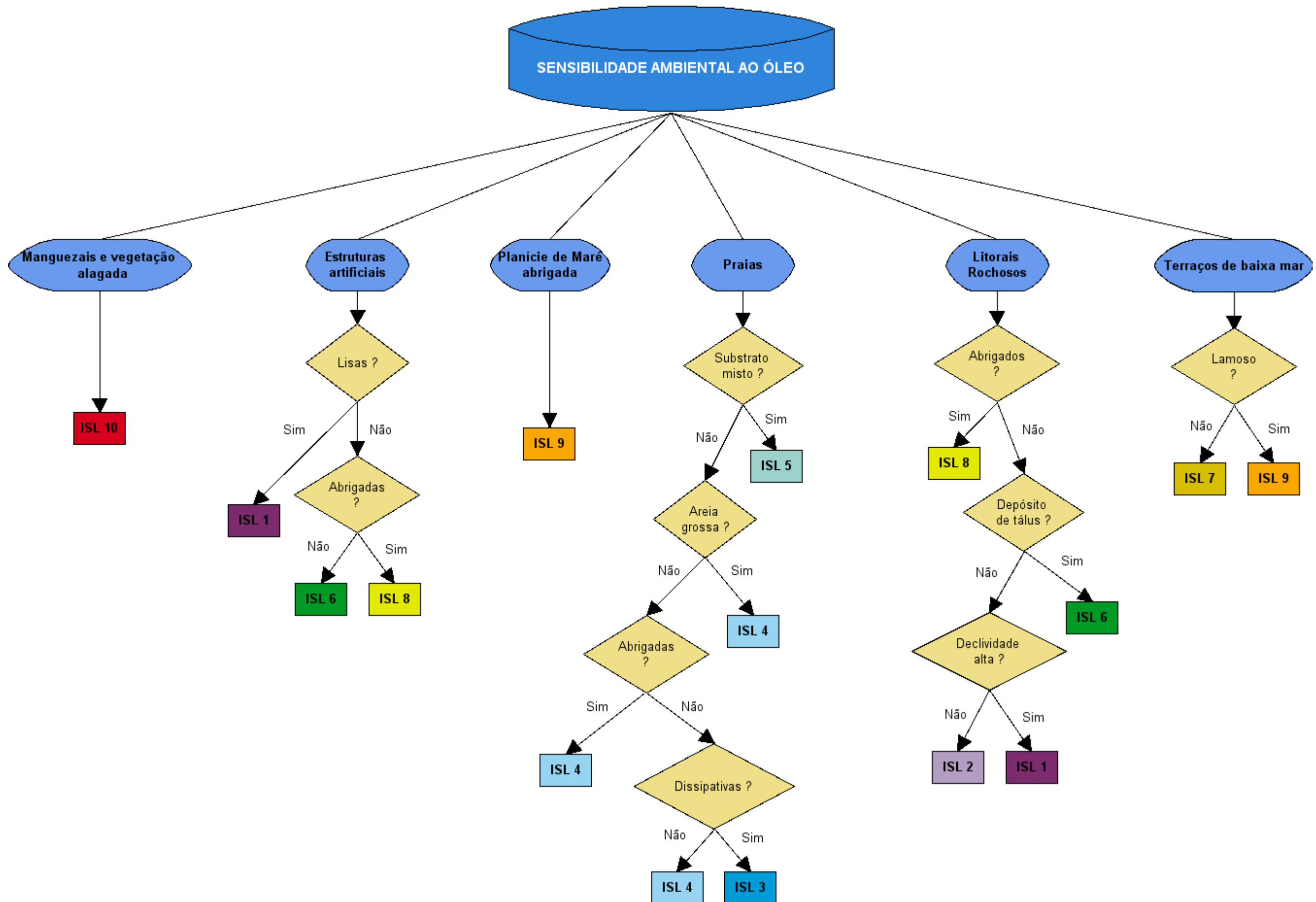


Figura 4 – Árvore de decisão usado na definição do conjunto de regras de inferência para a classificação do índice de sensibilidade do litoral.

No diagrama da figura 4, cada nó dos galhos, representado pelos losangos, é uma decisão a ser tomada devido a uma condição imposta. Cada decisão tomada leva a uma nova decisão ou a um nó terminal em uma extremidade do galho, resultando em uma classe de ISL. Há casos onde a variável é a própria condição para o estabelecimento de um ISL, como os manguezais, e portanto, não há decisão a ser tomada.

Normalmente, a implementação do conjunto de regras baseadas no conhecimento é efetuada através de um sistema especialista em *shell*, do tipo “*if-then*”, acoplado ao SIG, onde a base de dados está armazenada em formato *raster* (geo-campo). Nesse trabalho, foi utilizada uma estratégia diferente com a finalidade de tornar o sistema mais ágil no processamento das informações. A base de dados foi armazenada em um banco de dados orientado a objetos e o sistema especialista foi modelado no *model builder* do ArcView 9.1, onde o conjunto de regras definidas na árvore de decisão é traduzida em linguagem de consulta estruturada (*Structured Query Language, SQL*).

Para cada nó dos galhos é programada uma consulta que recupera a informação do banco de dados de acordo com a decisão positiva, excluindo as decisões negativas de todos os nós anteriores. O modelo, implementado no ArcToolbox do ArcGIS como uma nova ferramenta, agrupa todas as regras programadas, e ao ser disparado, recupera todas as combinações de informações necessárias, realimentando-o em seguida com os segmentos de ISL classificados, de acordo com MMA (2004).

Os segmentos com ISL, gerados pelo modelo, receberam um código nos padrões do MMA (2004) e são as unidades fundamentais do mapeamento de sensibilidade, onde todos os outros elementos são relacionados.

2.3.2. Informações voltadas para a resposta a derramamentos de óleo

Tendo como base as unidades espaciais representadas pelos segmentos da análise anterior, foram analisadas todas as características geomorfológicas, de substrato, de exposição às ondas e de dinâmica de sedimentos para avaliar o comportamento potencial do óleo para cada um deles, de acordo com documentos técnicos e estudos pretéritos (CETESB; 2006; MICHEL; HAYES, 1992; MMA, 2004; NOAA, 2002).

Também foram analisadas para cada segmento as características ambientais e usos humanos para avaliar os métodos de limpeza recomendados e os não recomendados, de acordo com Cantagallo et al. (2007) e CETESB (2006).

Fundamentado em critérios técnicos como a sensibilidade dos ecossistemas, as condições de acessibilidade, a possibilidade de intervenção (remediação, mitigação e limpeza)

e as demandas socioeconômicas, bem como a possibilidade de mitigação dos danos, foram sugeridas áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício.

2.4. Saída de informações

Nessa etapa, as informações foram organizadas e estruturadas para saída do SIG. Os produtos gerados nessa fase foram as Cartas SAO e o Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo para os municípios de São Sebastião e Caraguatatuba, litoral norte do estado de São Paulo.

2.4.1. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

As cartas SAO, relativas à costa de São Sebastião e Caraguatatuba, foram editadas no ArcView 9.1 usando as informações armazenadas no banco de dados e seguindo as especificações e normas técnicas do Ministério do Meio Ambiente (2004).

Foram elaboradas 35 cartas no nível operacional cobrindo toda a área de estudo, em tamanho A3; sendo 32 na escala 1:10.000 e 3 na escala 1:20.000, relativas à enseada de Caraguatatuba. As escalas das cartas foram adotadas de acordo com as características geográficas da costa, de modo a não torná-las visualmente poluídas e nem deixar de contemplar aspectos sensíveis e relevantes para a resposta à incidentes com óleo. Cada carta recebeu um código, de acordo com MMA (2004), com as iniciais da bacia marítima em que ocorrem e o número da carta.

As cartas SAO incluem três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, elementos biológicos e recursos de uso humano.

O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) nos ambientes da linha de costa é representado por uma linha e com o código de cores padronizado pelo MMA (2004) referente à classificação da sensibilidade do respectivo segmento. Onde a zona entremarés for larga, e sua representação espacial for poligonal, toda a extensão do habitat é preenchida com a cor do ISL correspondente. Quando mais de um tipo de linha de costa estiver presente em um mesmo trecho do litoral, o habitat mais interiorizado é representado com seu ISL do lado do continente e o habitat mais próximo do mar representado do lado da água, com seu respectivo ISL.

Na representação dos elementos biológicos mais sensíveis, a distribuição espacial de cada grupo de espécies é representada por um ícone associado a um ponto, ou polígono nas cores do respectivo grupo de recursos, de acordo com as convenções presentes em MMA

(2004). Uma “caixa” vermelha envolvendo um ícone indica que a espécie por ele representada está nas listas internacionais, federal ou estadual de espécies protegidas, raras, ameaçadas ou em perigo de extinção.

Os recursos de uso humano e de acessos são indicados por ícones em preto e branco, padronizados pelo MMA (2004). Foram criados, no âmbito do GT sensibilidade costeira a derramamentos de óleo - PRH05, novos ícones que se mostraram necessários.

Todas as convenções e representações dos temas adotados são especificadas pelo Ministério do Meio Ambiente e se encontram tanto em MMA (2002) como em MMA (2004). Os novos ícones, criados no GT Sensibilidade costeira a derramamentos de petróleo são apresentados na figura 5.

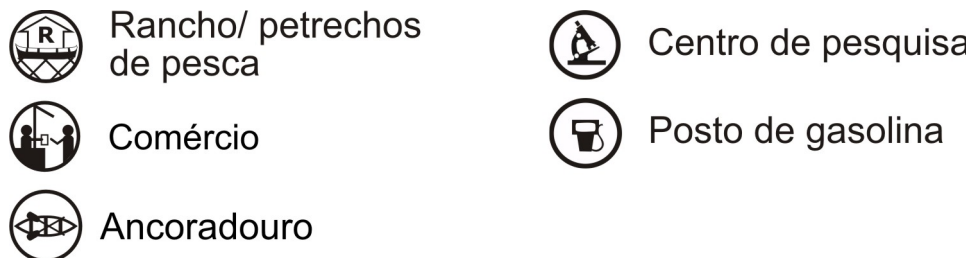


Figura 5: Ícones criados no GT sensibilidade costeira a derramamentos de petróleo.

2.4.2. Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

O Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo segue as normas do MMA (2004), contendo as Cartas SAO operacionais, informações sobre a sensibilidade ambiental e a resposta a derramamentos, a lista com os recursos biológicos que ocorrem na região e a lista dos recursos de uso humano, contendo informações complementares que não são passíveis de representação nas cartas SAO.

As informações são organizadas em cinco setores, onde estão descritos os tipos de ecossistemas ocorrentes, as atividades socioeconômicas predominantes e os quadros descritivos de cada segmento, contendo a descrição geral do segmento, seu ISL, o comportamento potencial do óleo, os aspectos operacionais, os métodos de limpeza recomendados e os não recomendados, os recursos em risco e os recursos visuais (fotografias) do segmento.

Visando facilitar a distribuição, o Atlas também foi elaborado em uma versão digital (pdf) em CDROM, onde também serão disponibilizados os arquivos digitais para uso em SIG pelos órgãos ambientais e comunidade científica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em conta a dimensão e heterogeneidade da área de estudo, os resultados foram organizados em cinco setores diferentes (Figura 6), de acordo com suas características fisiográficas: setor I, do costão da Boracéia até a Ponta Grossa; setor II, da Ponta Grossa à Ponta de Guaecá; setor III, da Ponta de Guaecá à Enseada de Caraguatatuba; setor IV, da Enseada de Caraguatatuba à Ponta de Martins de Sá; setor V, da Ponta de Martins de Sá à Ilha do Tamanduá. Serão apresentadas, principalmente, as tendências regionais, pois os resultados detalhados para cada segmento encontram-se no Atlas de Sensibilidade Ambiental a derramamentos de óleo de São Sebastião e Caraguatatuba.

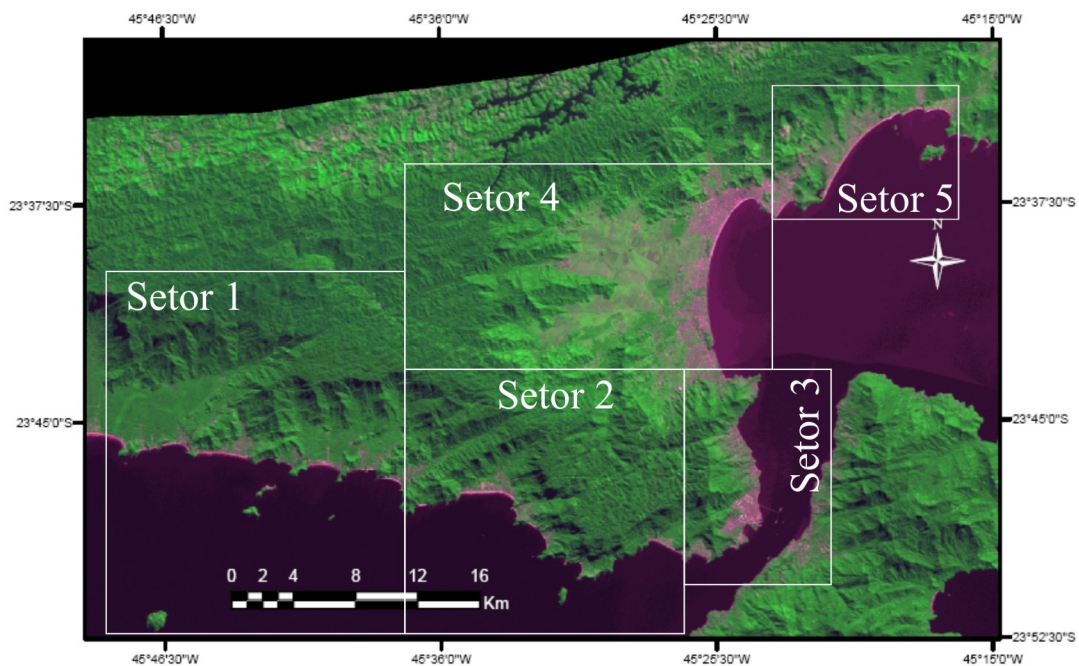


Figura 6: Localização dos Setores.

3.1. Setor I - do costão da Boracéia até a Ponta Grossa

Esse setor apresenta sua linha de costa extremamente recortada, com a presença de diversas ilhas e ilhotes. O relevo imerso próximo ao continente apresenta em geral declividade mais suave que o do setor II. Os ecossistemas litorâneos que aparecem nessa região são: praia, costão rochoso, marisma, manguezal, vegetação alagada de margem fluvial e terraço de baixa mar arenoso.

As praias desta região além de serem altamente diversificadas em suas características geomorfológicas, sofreram grande variação sazonal (Quadro 1).

Quadro 1: Morfodinâmica, granulometria e declividades das praias do Setor I.

Nome	Morfodinâmica	Gran ver	Gran inv	Decl ver	Decl inv
Juréia	refletiva	areia média	areia média	13°	26°
Engenho	dissipativa	areia muito fina	areia fina	1°	7°
Barra do Una	intermediária	areia média	areia média	26°	31°
Juquehy	intermediária	areia fina	areia média	3°	8°
Conchas Sul	intermediária	areia grossa	areia média	2°	8°
Preta Sul	dissipativa	areia fina	areia muito fina	1°	7°
Barra do Say	intermediária	areia fina	areia grossa	5°	13°
Baleia	dissipativa	areia muito fina	areia fina	1°	2°
Camburi	intermediária	areia fina	areia fina	5°	5°
Camburizinho	intermediária	areia média	areia média	4°	8°
Boiçucanga	refletiva	areia grossa	areia média	35°	14°
As ilhas 1	intermediária	areia fina	areia fina	4°	4°
As ilhas 2	intermediária	areia fina	areia fina	9°	7°
Brava Boracéia	refletiva	areia grossa	areia grossa	24°	32°

Gran ver- granulometria no verão; **Gran inv-** granulometria no inverno; **Decl ver-** declividade no verão; **Decl inv-** declividade no inverno

Do verão para o inverno, foi observada na zona entremarés uma diminuição de proporção de areia muito fina, areia fina e areia grossa e o aumento apenas de areia média (Figura 7). A diminuição da proporção de areia grossa para o inverno é devido à diminuição de granulometria das praias de Boiçucanga e praia das Conchas para esse período.

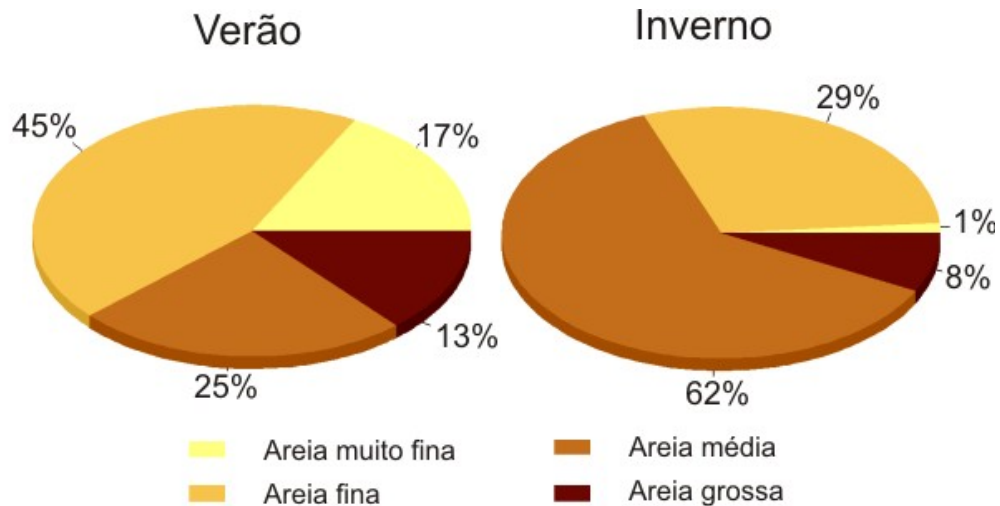


Figura 7: Granulometria por extensão das praias do Setor I.

Em geral, a declividade aumentou do verão para o inverno, com exceção da praia de Boiçucanga, que sofreu diminuição significativa de declividade para o verão (Figura 8). Na praia de As Ilhas, votada para norte, também houve a diminuição da declividade no inverno. Isso é explicado pela remoção de areia, por ondas de tempestade combinadas a maré de sizígia, que se difratam na ilha e se espraiam de WSW-ENE, removendo grande quantidade de areia do supralitoral. Nessa praia foi observada em campo a remoção de quase um metro de areia no inverno, evidenciada pela falésia em terraço que se formou.

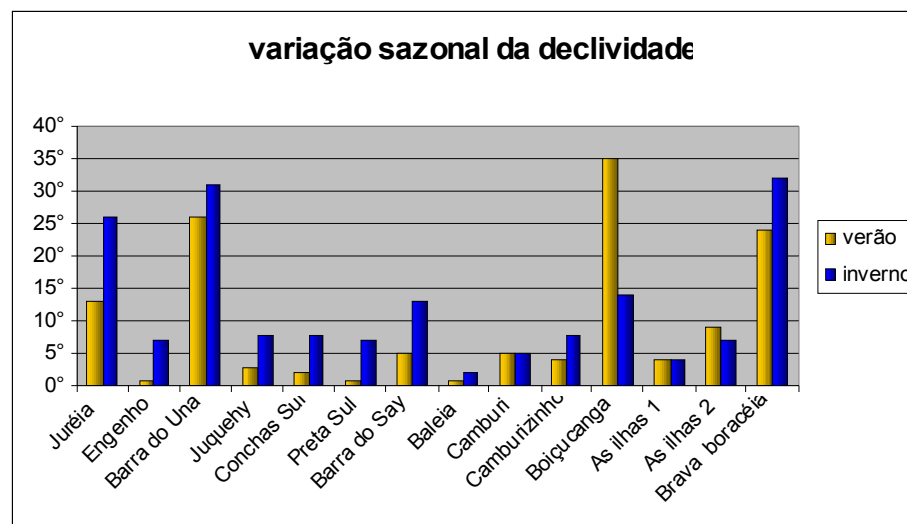


Figura 8: Variação sazonal da declividade nas praias do Setor I.

O padrão encontrado para esse setor está relacionado ao aumento do hidrodinamismo no inverno, principalmente da passagem de frentes frias. No entanto, a exceção representada

por Boiçucanga, pode estar associada à alteração no balanço de sedimento causado pela recente construção do espigão costeiro na desembocadura do Rio Grande, obra voltada a minimizar o processo de assoreamento que vinha ocorrendo nesse ponto, prejudicando a navegação.

A intensidade dessas variações indica uma forte dinâmica de sedimentos atuando nesse setor, que pode estar associada à orientação da costa, ao seu recorte e a presença das ilhas, que influenciam na difração das ondas e nas correntes de deriva. Essa dinâmica pode contribuir para a remoção do óleo ou do soterramento, dependendo do local e da época do ano.

Os costões rochosos também se mostram bastante heterogêneos, com mais da metade do substrato associado a depósitos de tálus, onde predominaram os formados por matacões (Figura 9). O substrato compacto nesse setor é caracterizado por ser altamente fraturado, com presença de muitos refúgios e grandes fendas.

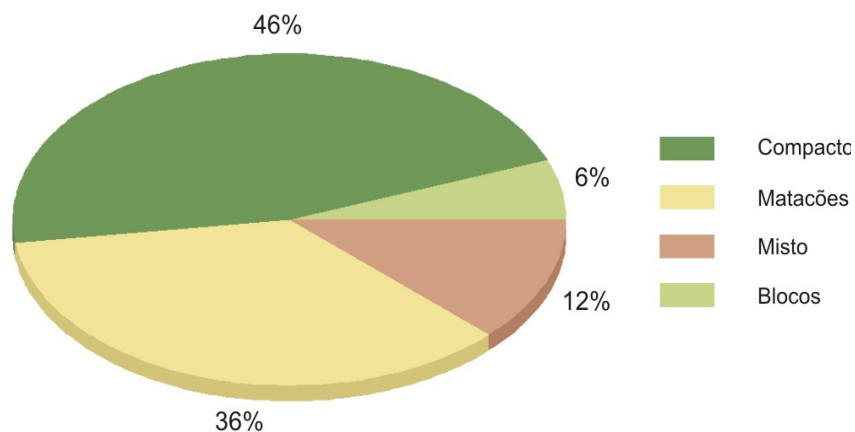


Figura 9: Tipo de substrato rochosos no Setor I.

A grande quantidade de refúgios nos costões desse setor, além de aumentar a potencial persistência do óleo no ambiente, propicia a formação de ricas comunidades biológicas (MILANELLI, 2003). A presença significativa do substrato rochoso misto, onde mais de uma feição se intercalam em curtos espaços, contribui para aumentar ainda mais a heterogeneidade estrutural local, proporcionando a formação de mosaicos de habitats para diferentes espécies colonizarem, podendo resultar em alta riqueza biológica e importantes matrizes de larvas para a colonização e recuperação de outros costões afetados por distúrbios.

O marisma mais expressivo do setor está localizado na lagoa da Juréia, ambiente altamente sensível, de grande importância ecológica. Esse ambiente é sítio de alimentação de

diversas aves e berçário natural para peixes e invertebrados. Esse ambiente ainda aparece associado aos manguezais e a algumas vegetações alagadas de margens fluviais.

O manguezal da Barra do Say é o ambiente mais sensível do setor, pois apresenta muitas funções ecológicas, agindo como berçário natural de muitas espécies costeiras. As operações de limpeza são limitadas, tendendo a agravar os danos. Esse manguezal ainda se encontra em bom estado de conservação, comparado com os outros da região.

As vegetações alagadas ocorrem em algumas margens de rios da região e também são considerados de alta importância, apresentando alta sensibilidade.

Na desembocadura do rio se forma um pequeno terraço de baixa-mar arenoso, o qual é bastante frequentado por aves para a alimentação.

Nesse setor ainda ocorrem expressivos parciais, importantes habitats submersos, principalmente para a fauna nectônica, que usa esse ambiente como abrigo e alimentação. Apresentam ricas comunidades biológicas e são muito utilizados para a alimentação pela tartaruga verde (*Chelonia midas*), tida como espécie vulnerável pela lista da fauna brasileira ameaçada de extinção (IBAMA, 2007)

Em geral, os ambientes desse setor ainda se encontram em bom estado de conservação. Isso se deve principalmente pela sua ocupação tardia, ocorrida após a melhoria da Rodovia Rio Santos e Mogi-Bertioga, na década de 80, que trouxe um crescimento baseado essencialmente no turismo.

Diversas praias desse setor são propícias para a prática de surf, sendo bastante procuradas para esse fim.

O principal local para a pesca comercial nesse setor é a praia de Boiçucanga, que contém um porto de desembarque de pescado e uma frota importante de embarcações pesqueiras. A pesca tradicional ocorre principalmente na Ilha Montão de Trigo, onde há uma comunidade tradicional caiçara. A pesca recreativa também é praticada em alguns locais, espalhados por todo esse trecho.

Na Barra do Una concentram-se marinas e um Iate Clube, onde são realizados passeios turísticos para as ilhas da região.

A presença do oleoduto OSBAT cruzando diversas drenagens que desaguam no mar configura o grande risco a derramamentos de óleo para essa região.

3.2. Setor II - da Ponta Grossa à Ponta de Guaecá

O litoral nesse setor também é bastante recortado, porém, a Serra do Mar torna-se mais próxima da linha de costa, o que faz com que a maior parte das bacias de drenagem seja

menor, quando comparadas às do setor I. A declividade do fundo próximo à costa também se torna maior e a orientação, mais variada. Os ecossistemas litorâneos que ocorrem são: praias, costões rochosos e uma pequena mancha de vegetação alagada em Toque-toque Grande.

Nesse setor, as praias refletivas ganharam maior destaque (Quadro 2).

Quadro 2: Morfodinâmica, granulometrias e declividades das praias do Setor II

Nome	Morfodinâmica	Gran ver	Gran inv	Decl ver	Decl inv
Brava de Boiçucanga	intermediária	areia média	areia grossa	5°	22°
Maresias	intermediária	areia media	areia média	11°	11°
Paúba	refletiva	areia grossa	areia média	7°	13°
Santhiago	intermediária	areia média	areia média	6°	1°
Toque-Toque Pequeno	refletiva	areia média	areia média	30°	12°
Calhetas	intermediária	areia fina	areia média	7°	4°
Toque-Toque Grande	intermediária	areia grossa	areia média	18°	14°
Brava do Toque-Toque	refletiva	areia grossa	areia média	15°	4°
Brava de Guaecá 1	refletiva	areia mista	areia mista	10°	11°
Guaecá	dissipativa	areia fina	areia fina	5°	8°

Gran ver- granulometria no verão; Gran inv- granulometria no inverno; Decl ver- declividade no verão; Decl inv- declividade no inverno.

Do verão para o inverno, a proporção de areia média aumentou, com a concomitante diminuição de areia fina e areia grossa (Figura 10). A classe de areia muito fina não ocorreu nesse setor.

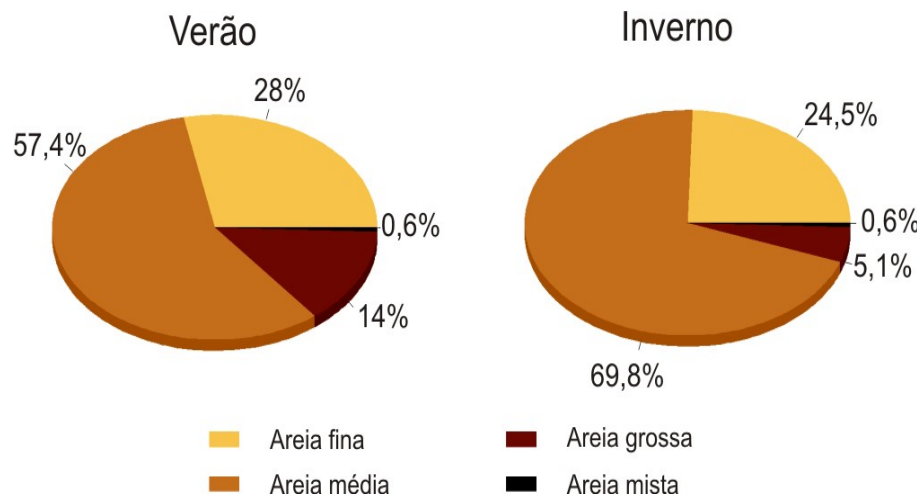


Figura 10: Granulometria por extensão das praias do Setor II.

As praias de Paúba, Toque-toque Grande e Brava do Toque-toque sofreram uma diminuição da granulometria no inverno, que passou de areia grossa para areia média.

Nesse setor, a diminuição da declividade no inverno foi significativa (Figura 11).

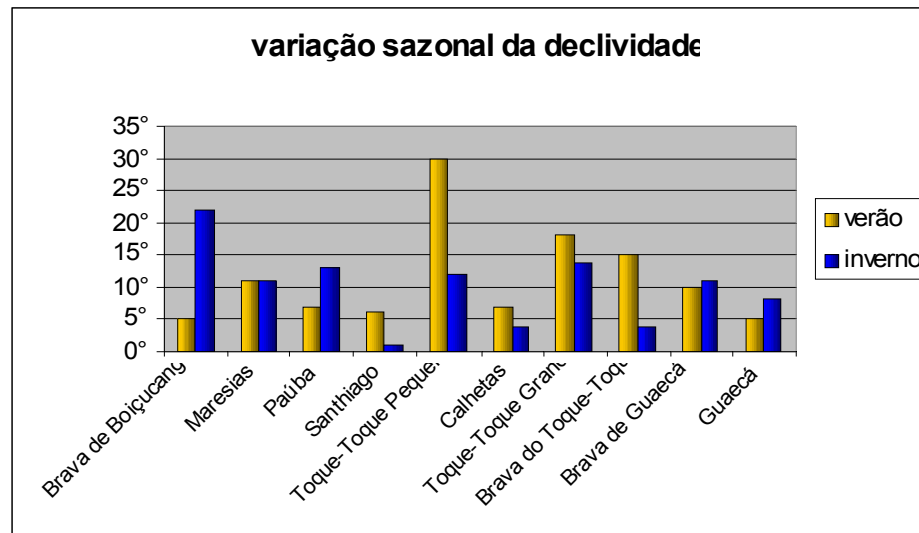


Figura 11: Variação sazonal da declividade nas praias do Setor II.

A zona entremarés menos íngreme no inverno ocorreu principalmente em praias com maior declividade e granulometria, e pode ter sido causada pelo maior espraiamento das ondas em eventos de tempestade, recuando e suavizando a transição da face praial com a berma, devido ao avanço das ondas. Uma exceção é a praia de Santhiago, onde a diminuição da declividade no inverno foi causada por interferência humana, tendo em vista que foi construído um campo de futebol de areia no ponto de amostragem.

A prainha de Calhetas e a Brava de Toque-toque sofreram intenso processo erosivo no inverno. Na praia Brava, foram removidos aproximadamente um metro de sedimentos do extremo leste, onde a erosão foi mais intensa. Na prainha de Calhetas, à noroeste, houve a remoção de quase todo o sedimento no inverno, expondo os matações que estavam soterrados, aumentando o ISL da maior parte desse segmento de 4 para 8. Caso esse segmento seja afetado por um vazamento de óleo nessas condições, o óleo ainda pode ser soterrado com início do período construtivo.

Os costões rochosos representam 71% da linha de costa desse setor. O substrato rochoso predominante é o compacto, seguido por blocos (Figura 12). A alta densidade de fendas bem entalhadas nesse setor estão associadas quase que exclusivamente à segmentos

expostos orientados para SE, o que indica uma forte atuação da energia das ondas no intemperismo das rochas e geração desses refúgios.

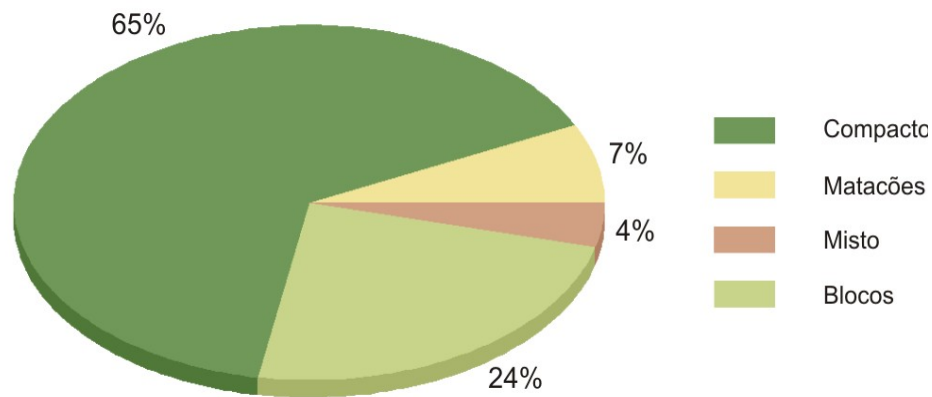


Figura 12: Tipo de substrato rochoso no Setor II.

Nesse setor ocorrem duas Áreas Sob Proteção Especial (ASPE), a ASPE de Boiucanga (resolução SMA de 11 de fevereiro de 1987) e a ASPE Costa do Navio (resolução SMA de 10 de fevereiro de 1987).

Com relação aos aspectos socioeconômicos, as atividades turísticas desempenham papel de grande importância nessa região. A praia de Maresias se destaca pela infraestrutura hoteleira e de serviços voltados ao turismo. Nessa praia também ocorrem importantes eventos ligados à prática do surf e desembarque de pescado.

A pesca tradicional ocorre principalmente entre Toque-Toque Grande e Maresias, trecho onde estão instalados diversos cercos e redes de espera flutuantes. As principais comunidades de pescadores tradicionais localizam-se em Paúba, Toque-Toque Pequeno e Toque-Toque Grande.

A presença do oleoduto OSBAT nas encostas íngremes, sujeitas a movimentos gravitacionais de massa, representa uma fonte potencial de vazamentos de óleo.

3.3. Setor III - da ponta de Guacá à Enseada de Caraguatatuba

O setor III está relacionado ao Canal de São Sebastião, o qual é caracterizado por ser uma região abrigada da ação direta das ondas em decorrência da proteção exercida pela Ilha de São Sebastião. É uma área de transição onde ocorre a mudança de orientação da linha de costa de EW para NNE. A área submersa no lado do continente apresenta declividade suave e

pouca profundidade. Os principais ambientes que ocorrem nessa região são: praias, costões, terraço de baixa mar lamoso e estruturas artificiais.

As praias desse setor apresentam grande diversidade geomorfológica (Quadro 3).

Quadro 3: Morfodinâmica, granulometrias e declividades das praias do Setor III.

Nome	Morfodinâmica	Gran ver	Gran inv	Decl ver	Decl inv
Barequeçaba	dissipativa	areia muito fina	areia muito fina	1°	1°
Segredo	refletiva	areia média	areia média	11°	12°
Cabelo Gordo	intermediária	areia muito fina	areia fina	6°	6°
Pitangueiras	intermediária	areia média	areia média	8°	20°
Jimbo	intermediária	areia média	areia grossa	10°	17°
Cigarras	intermediária	areia média	areia média	7°	7°
Caiçara	intermediária	areia média	areia média	9°	5°
Sem nome 1	intermediária	areia fina	areia fina	9°	10°
Sem nome 2	refletiva	areia média	areia média	11°	12°
Camaroieiro SS	refletiva	areia grossa	areia grossa	17°	12°
Grande	dissipativa	areia muito fina	areia grossa	3°	4°
Preta	intermediária	areia muito fina	areia média	5°	8°
Deodato	refletiva	areia média	areia mista	4°	6°
Porto Grande	intermediária	areia grossa	areia grossa	5°	6°
Deserta	intermediária	areia muito grossa	areia média	6°	6°
Pontal da Cruz	intermediária	areia grossa	areia grossa	8°	4°
Arrastão	intermediária	areia média	areia grossa	9°	10°
São Francisco	intermediária	areia média	areia grossa	5°	5°
Portal da Olaria	intermediária	areia média	areia grossa	4°	3°
Araçá	intermediária	areia mista	areia mista	6°	3°

Gran ver- granulometria no verão; **Gran inv-** granulometria no inverno; **Decl ver-** declividade no verão; **Decl inv-** declividade no inverno.

Houve o aumento das areias grossas e, em menor proporção, das finas e mistas (Figura 13).

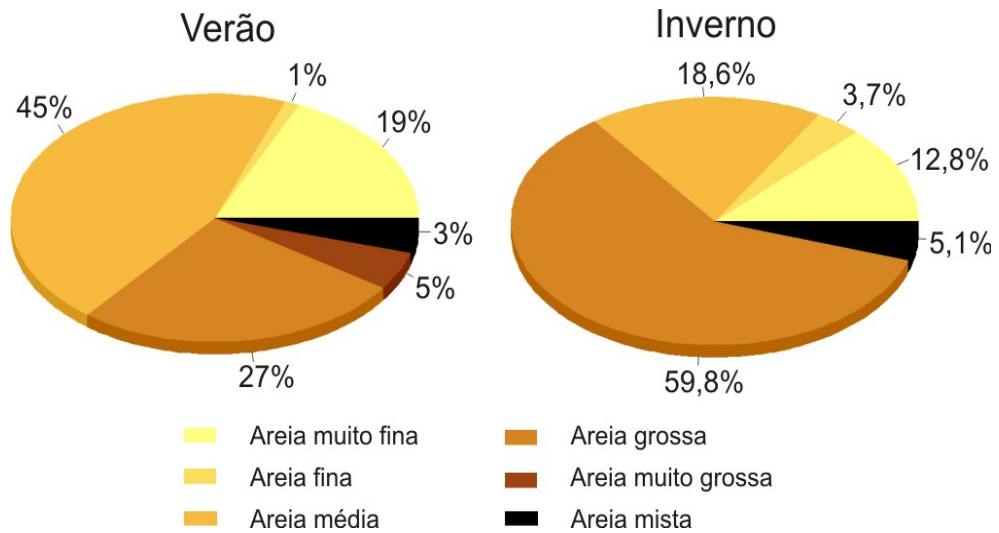


Figura 13: Granulometria por extensão das praias do Setor III.

Na porção entre o TEBAR e Barequeçaba ocorreram substratos estratificados, onde areias mais grossas estavam recobertas por sedimento mais fino. Esse aspecto deve ser levado em consideração em ações de resposta, pois a remoção da camada de sedimento mais fino pode aumentar a penetração do óleo. As areias mistas com fragmentos de conchas, encontradas no Araçá/Conchas, também elevam o potencial de penetração do óleo. A praia do Deodato recebeu grande aporte de fragmentos de conchas durante as ondulações de tempestade do inverno, tornando o substrato misto, o que causou a elevação do ISL de 4 para 5 durante o período sazonal amostrado.

O aumento da declividade foi predominante no inverno, no entanto, declividades maiores no verão também foram observadas para esse setor (Figura 14).

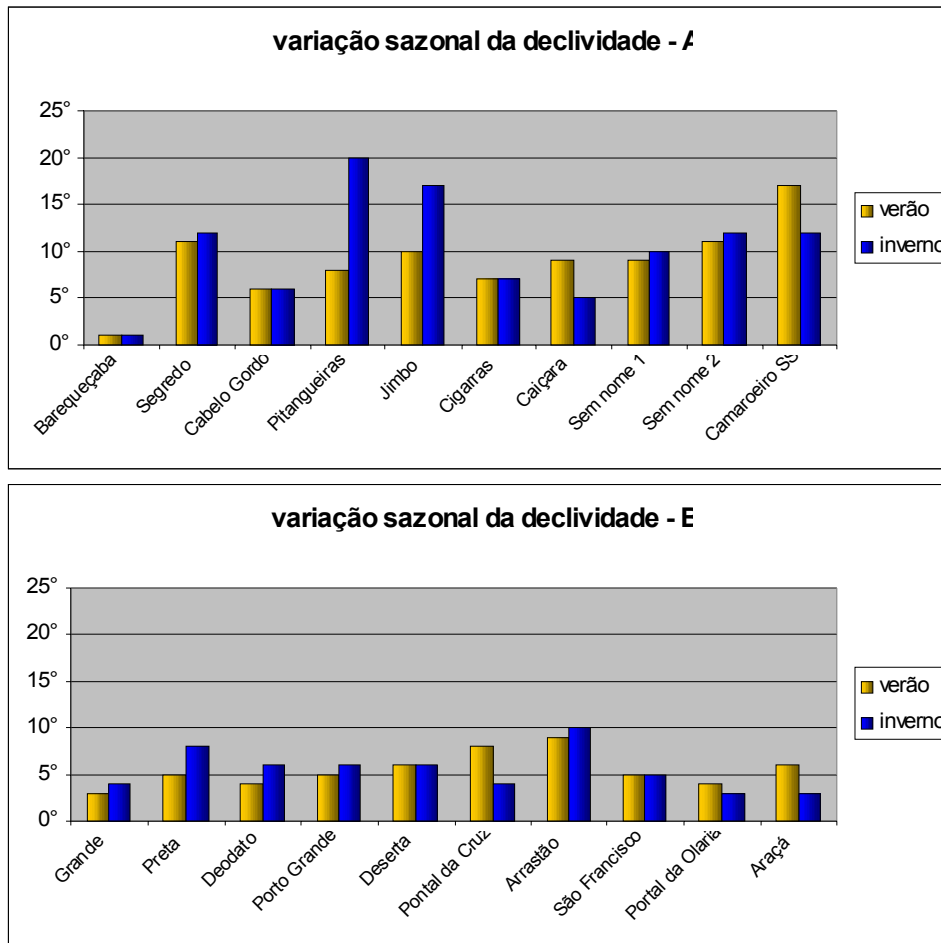


Figura 14: Variação sazonal da declividade nas praias do Setor III.

Nos costões rochosos, houve a predominância do substrato compacto, e significativa presença de costões mistos (Figura 15), de grande heterogeneidade, localizados ao sul da praia da Cigarras e à oeste da Ponta da Caiçara. O substrato compacto nesse setor é marcado pela elevada densidade de fendas bem entalhadas, o que proporciona grande quantidade de refúgio à fauna. Essa característica somada ao hidrodinamismo mais brando é propícia à formação de ricas comunidades biológicas de costões.

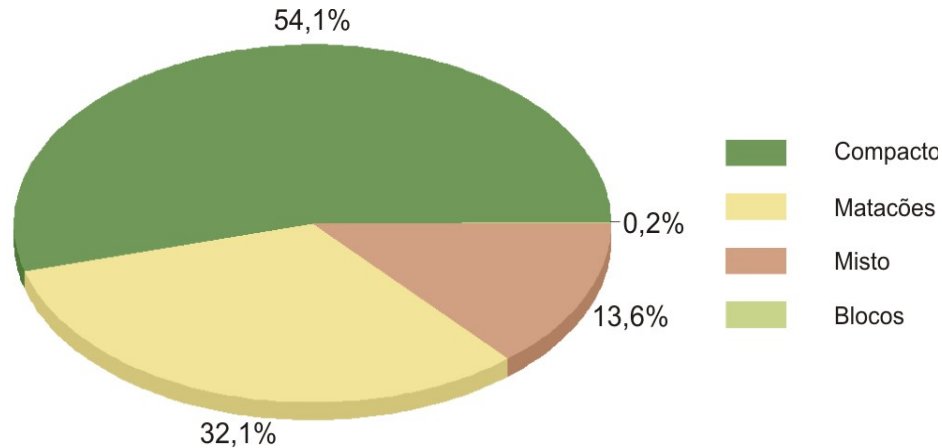


Figura 15: Tipo de substrato rochoso no Setor III.

Na região do Araçá forma-se um terraço de baixa-mar lamoso com alguns fragmentos de manguezais associados. Esse local, apesar de degradado, apresenta alta riqueza de espécies e é usado por muitas aves para a alimentação, além de fornecer recursos para o homem, pois na baixa mar ocorre a coleta de siri, berbigão e pesca de picaré. Essa região está submetida a diversos tensores antrópicos, como a emissão de efluentes líquidos na ponta do Araçá, o que torna a comunidade biológica mais frágil a impactos agudos.

O setor III é o local que mais sofreu alterações de sua linha de costa pelo homem. As estruturas artificiais compõem 21% da extensão desse litoral, dos quais 65% são enrocamentos.

Nessa região ocorre a ASPE do CEBIMar (resolução SMA de 10 de fevereiro de 1987), local onde também são desenvolvidas pesquisas e situa-se o Centro de Biologia Marinha da USP.

Um dos locais mais importantes para a atividade pesqueira é o Bairro São Francisco, onde está localizada a colônia de pescadores e um píer de desembarque de pescado.

A atividade náutica também é marcante, com muitas instalações voltadas para esse fim, como garagens náuticas, marinas e Iate Clubes.

Na porção central ocorre o Porto de São Sebastião, a balsa da DERSA e o Terminal Marítimo da Petrobrás (TEBAR), local com grande histórico de vazamentos e ponto de maior risco de toda a área de estudos.

3.4. Setor IV - da Enseada de Caraguatatuba à ponta de Martins de Sá

O Setor IV é caracterizado pela mudança da orientação da linha de costa para S-N. A declividade do relevo imerso é suave, apresentando pouca profundidade. Os principais

ecossistemas que ocorrem são: praias, costões rochosos, terraço de baixa-mar, planície de maré e manguezal.

O litoral nesse setor é dominado pela longa faixa de areia da Enseada de Caraguatubá, que apresenta forte característica dissipativa, devido a pouca profundidade nessa região. A numeração dos pontos amostrais da praia da Enseada cresce de sul para norte (Quadro 4).

Quadro 4: Morfodinâmica, granulometrias e declividades das praias do Setor IV.

Nome	Morfodinâmica	Gran ver	Gran inv	Decl ver	Decl inv
Enseada SS 1	dissipativa	areia grossa	areia fina	4°	6°
Enseada SS 2	dissipativa	areia média	areia muito fina	4°	1°
Enseada SS 3	dissipativa	areia fina	areia muito fina	1°	1°
Enseada CA 4	dissipativa	areia muito fina	areia muito fina	3°	2°
Enseada CA 5	dissipativa	areia muito fina	areia fina	1°	1°
Enseada CA 6	dissipativa	areia muito fina	areia muito fina	1°	1°
Enseada CA 7	dissipativa	areia muito fina	areia fina	6°	3°
Enseada CA 8	dissipativa	areia média	areia média	7°	7°
Enseada CA 9	dissipativa	areia fina	areia fina	2°	4°
Enseada CA 10	dissipativa	areia fina	areia fina	2°	7°
Enseada CA 11	dissipativa	areia média	areia muito fina	3°	6°
Enseada CA 12	dissipativa	areia fina	areia fina	5°	4°
Camaroeiro CA	dissipativa	areia fina	areia fina	9°	2°
Praia da Freira	intermediária	areia média	areia média	7°	6°
Prainha	intermediária	areia média	areia média	5°	9°

Gran ver- granulometria no verão; **Gran inv-** granulometria no inverno; **Decl ver-** declividade no verão; **Decl inv-** declividade no inverno

Devido ao baixo hidrodinamismo proporcionado pela proteção e difração das ondas na Ilhabela e reflexão no fundo raso, o sedimento é composto predominantemente por areias muito finas. No inverno, houve um aumento das areias finas e diminuição na proporção das outras classes granulométricas para esse litoral (Figura 16). No extremo sul da enseada (Enseada SS 1) houve a deposição de areias mais finas no inverno, mudando drasticamente a granulometria nesse ponto. Essa variação na composição do sedimento durante o ciclo sazonal também influencia no ciclo das comunidades biológicas de praia, que se tornam mais ricas nos substratos mais finos.

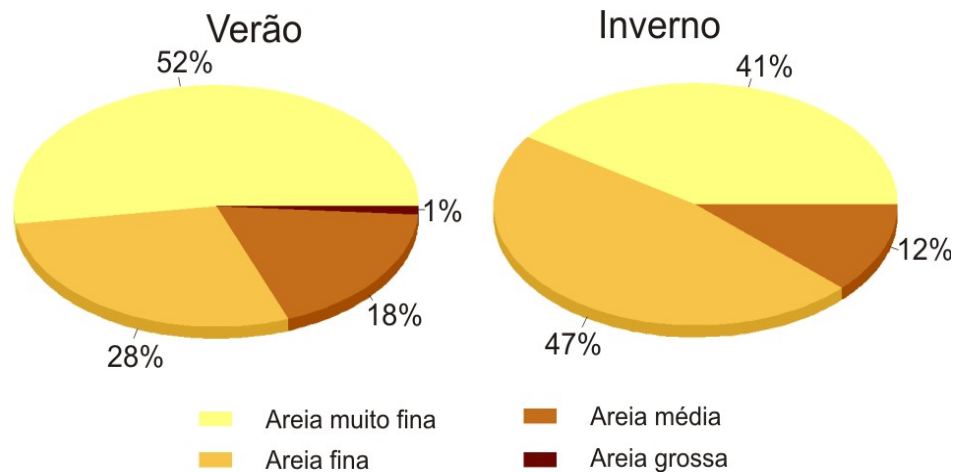


Figura 16: Granulometria por extensão das praias do Setor IV.

A declividade da porção norte da Enseada e da Praia do Camaroeiro variou significativamente durante o ano, como pode ser observado na Figura 17 .

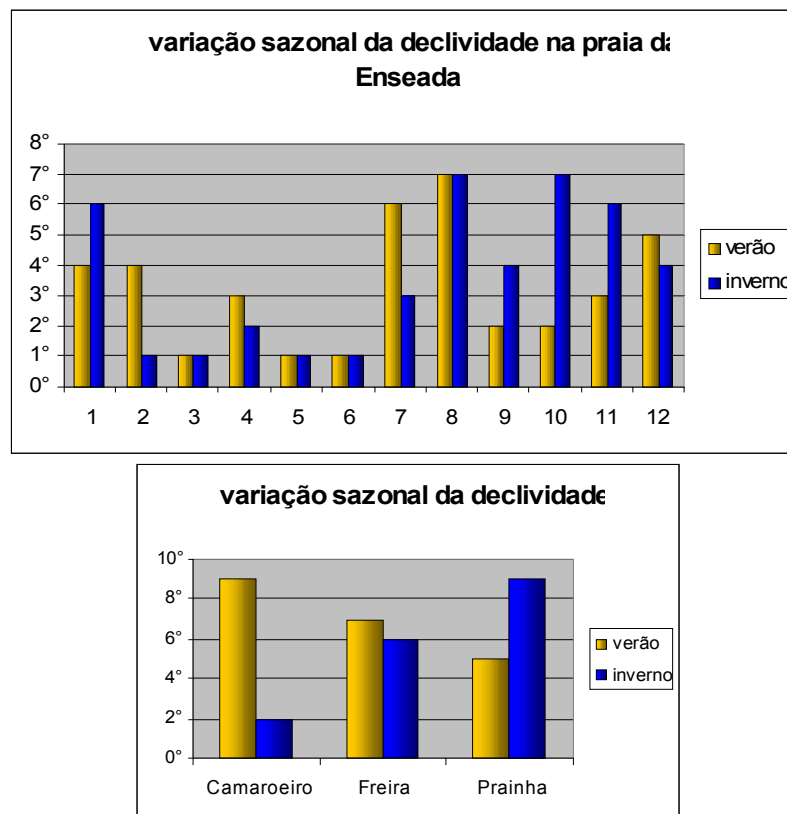


Figura 17: Variação sazonal da declividade nas praias do Setor IV.

Com relação à dinâmica de sedimentos, foram observados dois pontos principais de deposição, o extremo sul e a porção central da Enseada. A região mais ao norte, ponto de

maior hidrodinamismo da Enseada, está submetida a um intenso processo de erosão. Esses resultados, obtidos através do método de Taggart e Schwartz (1988), modificado por Souza (1997), podem ser comprovados por evidências de campo.

Na praia do Camaroeiro, foi observada remoção de grande parte de sedimento do verão para o inverno, segmentando a praia em duas faixas de areia. Informações obtidas junto a pescadores locais indicam que esse ponto está submetido a um intenso ciclo construtivo/destrutivo.

A dinâmica de sedimentos acentuada em alguns pontos desse setor, evidenciada pelas variações espaciais e sazonais, pode representar um fator agravante da sensibilidade, pois o transporte litorâneo e a deposição de sedimentos tendem a recobrir o óleo nos pontos onde atuam com maior intensidade.

Os costões rochosos aparecem de forma menos significativa, apenas 6% da linha de costa, localizados ao norte do setor. O substrato predominante é o formado por matacões (Figura 18).

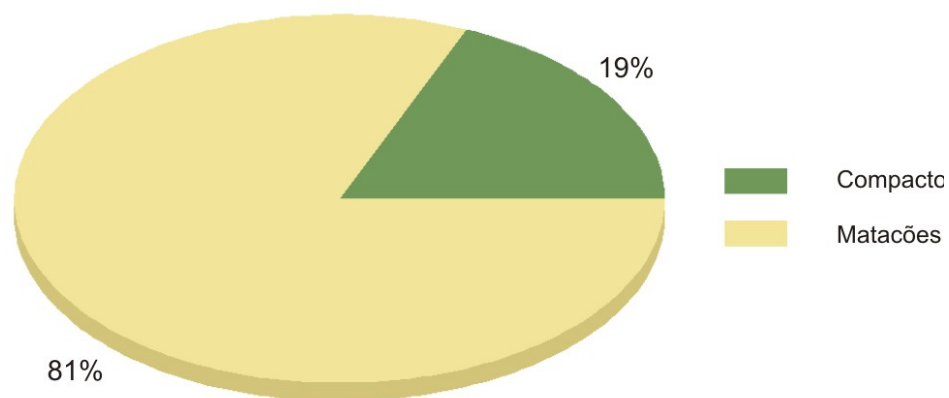


Figura 18: Tipo de substrato rochoso no Setor IV.

Apesar da presença pouco expressiva no contexto do setor, esses costões apresentam sensibilidade alta, com elevado potencial de acúmulo do óleo e comunidades biológicas potencialmente ricas.

Em frente à praia do Camaroeiro ocorre um pequeno terraço de baixa-mar arenoso, muito utilizado por aves para a alimentação.

Na porção sul da Enseada, ocorre uma planície de maré predominantemente arenosa com elevada riqueza biológica. Esse ambiente também é sítio de alimentação de aves e berçário para várias espécies de invertebrados e peixes, além de fornecer diversos recursos

naturais para homem. A limpeza desse ambiente é extremamente dificultada pelas limitações de trafegabilidade e tendência de inserir o óleo para camadas mais profundas.

Nesse setor ainda ocorrem alguns fragmentos expressivos de manguezais, no entanto, grande parte deles encontra-se bastante degradada por ações antrópicas.

O turismo desempenha importante papel na economia desse setor, principalmente na porção mais ao norte da praia da Enseada e na Prainha.

3.5. Setor V - da Ponta de Martins de Sá à Ilha do Tamanduá

A linha de costa do Setor V está orientada de SW para NE e volta a sofrer maior influência das ondas, apresentando maior hidrodinamismo que o Setor IV. Os principais ecossistemas são: praias, costões rochosos, vegetação alagada e terraço de baixa mar arenoso.

As praias desse setor apresentam características predominantemente refletivas (Quadro 5).

Quadro 5: Morfodinâmica, granulometrias e declividades das praias do Setor V.

Nome	Morfodinâmica	Gran ver	Gran inv	Decl ver	Decl inv
Martim de Sá	refletiva	areia grossa	areia media	20°	36°
Brava CA	refletiva	areia fina	areia grossa	25°	32°
Mocooca	intermediária	areia media	areia media	18°	8°
Tabatinga	intermediária	areia media	areia fina	18°	7°
IT - Fogaça	intermediária	areia fina	areia fina	6°	2°
IT - Praia do Sul	intermediária	-	areia media	-	8°
Massaguassu 1	refletiva	areia media	areia media	35°	19°
Massaguassu 2	refletiva	areia grossa	areia grossa	32°	21°
Massaguassu 3	refletiva	areia grossa	areia muito grossa	20°	22°
Massaguassu 4	refletiva	areia grossa	areia grossa	31°	23°
Cocanha	refletiva	areia media	areia media	14°	11°

Gran ver- granulometria no verão; **Gran inv-** granulometria no inverno; **Decl ver-** declividade no verão; **Decl inv-** declividade no inverno.

A granulometria, em geral, foi mais alta que nos outros setores. No inverno, houve a diminuição da proporção de areia média com o aumento de areia fina, areia grossa e areia muito grossa (Figura 19).

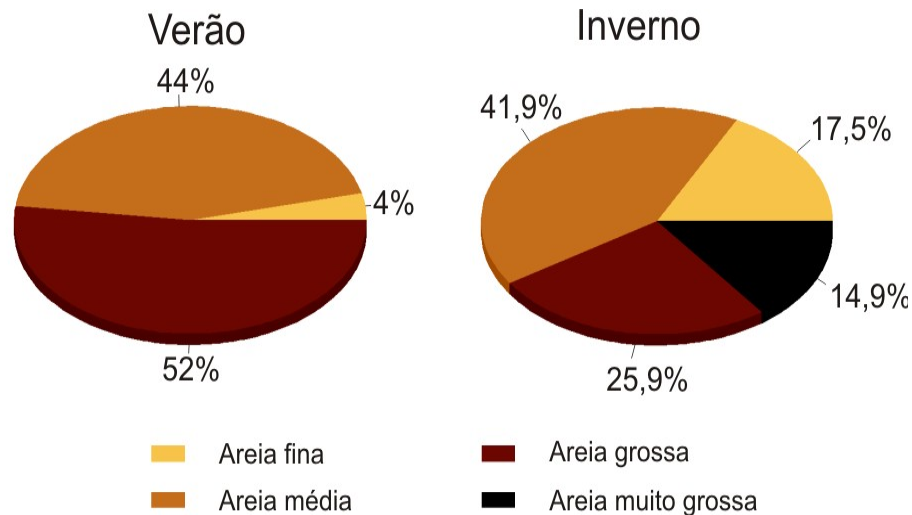


Figura 19: Granulometria por extensão das praias do Setor V.

Predominaram as declividades mais elevadas, principalmente no verão (Figura 20).

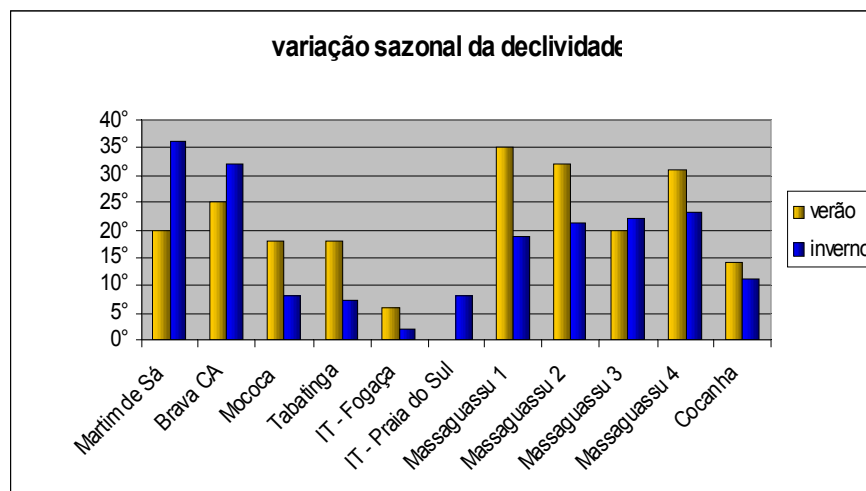


Figura 20: Variação sazonal da declividade nas praias do Setor V.

Foram observados indícios de erosão acentuada, tanto em campo como pelo método de Taggart e Schwartz (1988) modificado por Souza (1997), no centro-nordeste de Martim de Sá e à nordeste de Massaguçu. Isso deve ser levado em consideração nas operações de limpeza, pois a alteração na morfologia da praia nesses pontos pode intensificar o processo erosivo.

Os costões rochosos representam 47% da linha de costa desse setor, principalmente devido à presença dominante desses ambientes na Ilha do Tamanduá e Ilhote de Massaguçu. O substrato predominante foi o compacto (Figura 21).

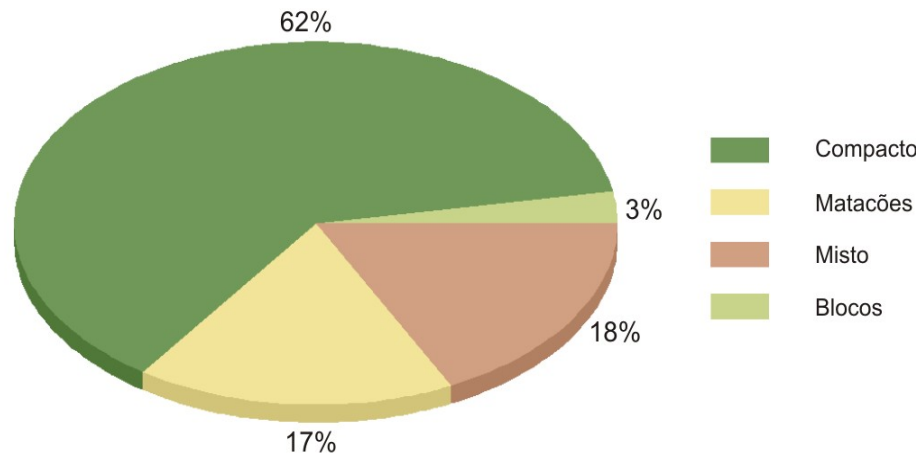


Figura 21: Tipo de substrato rochoso no Setor V.

Os costões rochosos com substrato compacto nesse trecho do litoral estudado são os que apresentam menor densidade de refúgios e heterogeneidades de todos os setores, no entanto, 90% deles apresentam declividades médias, o que proporciona a diminuição do impacto das ondas e zonas entremarés mais amplas, proporcionando o desenvolvimento de densas populações de mexilhões em vários locais.

Na porção leste de Tabatinga, a região mais abrigada desse segmento, forma-se um terraço de baixa-mar arenoso bastante utilizado por aves para a alimentação.

Um dos ambientes mais sensíveis desse setor é a Lagoa Azul, à SE de Massaguaçu, onde se desenvolvem marismas e vegetações alagadas. Além de servir como sítio de alimentação de aves, o local é bastante usado para a recreação.

A economia desse setor é baseada principalmente no turismo, no entanto as atividades ligadas à aquicultura, concentradas na Cocanha, também merecem destaque, pois as fazendas de mexilhão no Ilhote de Massaguaçu são as mais expressivas de todo o litoral norte do estado de São Paulo.

3.6. Sensibilidade ambiental ao óleo de São Sebastião e Caraguatatuba

Os 155 Km de linha de costa de São Sebastião e Caraguatatuba foram classificados em 317 segmentos, onde houve o predomínio dos ISL 4 e ISL 8 (Quadro 6).

Quadro 6: Relação entre os segmentos avaliados e os Índices de Sensibilidade do Litoral (ISLs).

ISL	Nº de Segmentos	Extensão total	Porcentagem
1	42	17,5 km	9,3%
2	31	16 km	8,5%
3	4	5,4 km	2,9%
4	81	57,7 km	30,7%
5	3	0,7 km	0,4%
6	39	16,2 km	8,6%
7	5	2,9 km	1,5%
8	98	43,4 km	23%
9	2	11 km	5,8%
10	12	17 km	9%

No entanto, as características e tendências ambientais encontradas para cada setor refletem combinações diferentes de ISL (Quadro 7 e Figura 22).

Quadro 7: Extensão total de classes de ISL por Setores.

ISL	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
1	5,8 Km	8,2 Km	2,5 Km	0,3 Km	0,8 Km
2	7,1 Km	5,7 Km	0 Km	0,2 Km	3,5 Km
3	2,8 Km	2,5 Km	0 Km	0 Km	0 Km
4	12,5 Km	7,9 Km	9,5 Km	14,5 Km	13,5 Km
5	0 Km	0,1 Km	0,6 Km	0 Km	0 Km
6	8,8 Km	5 Km	0,2 Km	0 Km	2,3 Km
7	0,7 Km	0 Km	0,8 Km	0,7 Km	0,8 Km
8	13,1 Km	7,5 Km	16,2 Km	1,3 Km	5,7 Km
9	0 Km	0 Km	2,5 Km	8,5 Km	0 Km
10	7,4 Km	0,5 Km	0,5 Km	4,7 Km	4 Km

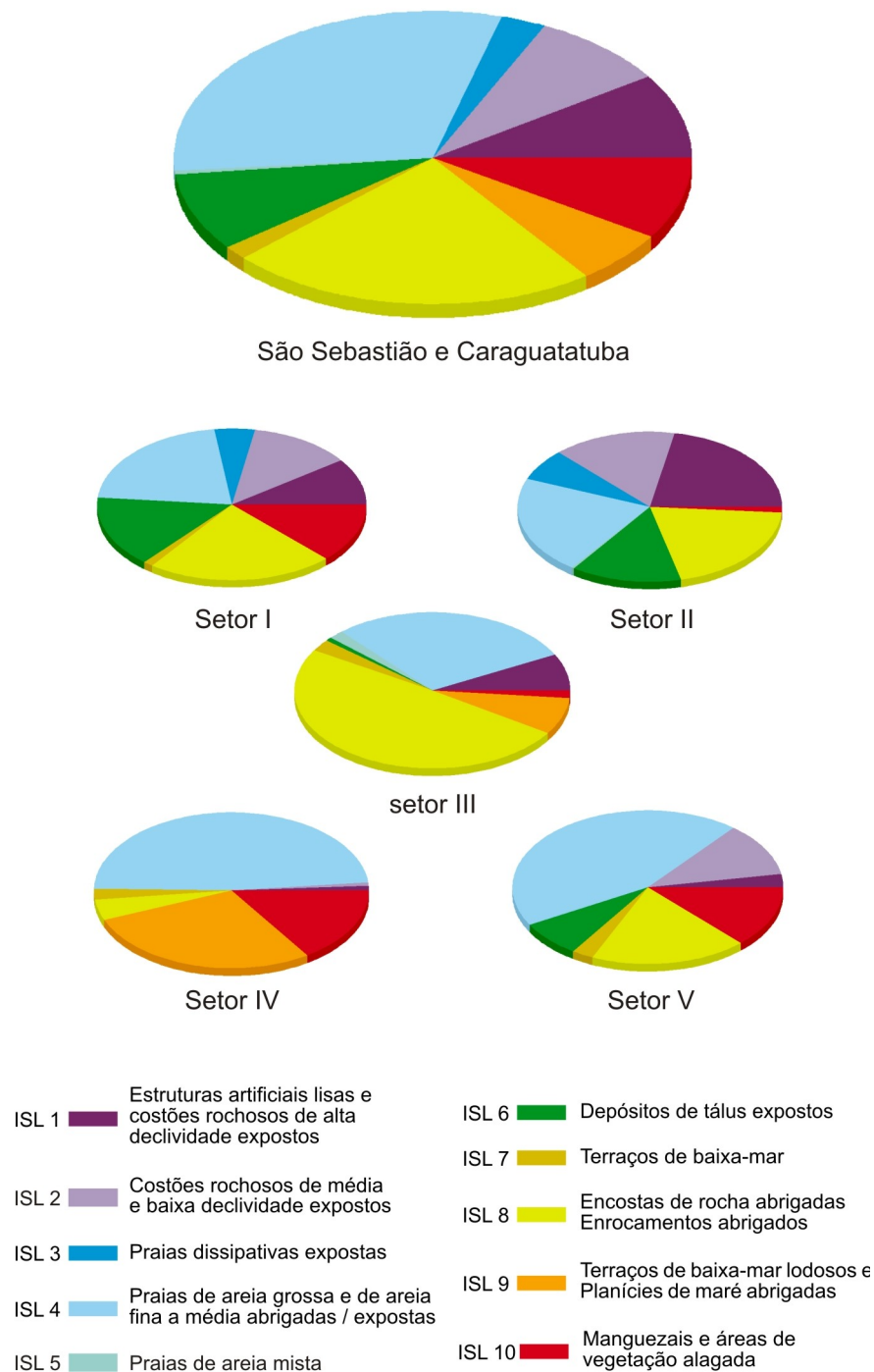


Figura 22: Comparação entre os ISLs atribuídos para a área de estudo.

A costa sul de São Sebastião, por ser mais recortada, apresentou maior equilíbrio nas proporções de ISL. A expressividade dos índices 1, 2, 6 e 8 é decorrente de grande parte desse litoral ser composta por costões rochosos. No entanto, foi observado que no Setor I, esses ambientes apresentam maior quantidade de armadilhas ao óleo e de refúgios à fauna, o que não é representado nos índices de sensibilidade ao óleo. Os ambientes com índice 10 aparecem com maior importância no Setor I, principalmente decorrente de maiores planícies

costeiras e maiores bacias de drenagens, proporcionando locais adequados para a formação de manguezais, marismas e vegetações alagadas nas margens dos rios.

No Setor III, prevaleceu o ISL 8, principalmente por toda essa região ser protegida da ação das ondas e esse índice englobar todos os tipos de costões rochosos e enrocamentos abrigados.

No Setor IV, o ISL 4 foi o índice mais expressivo, principalmente devido à longa faixa de areia da Enseada de Caraguatatuba. Os índices 9 e 10, relacionados à planície de marés e aos manguezais, também se mostraram marcantes.

No Setor V o ISL 4 também foi predominante, no entanto, os índices 1, 2, 6 e 8, relacionados aos costões rochosos, apareceram com maior expressão que no Setor IV.

A pesar dos índices 4 e 8 serem os predominantes na área de estudos, foi observada grande variação das características geomorfológicas e ecológicas nos ambientes que compõe esses dois índices. Essas variações resultam em sensibilidades diferentes que podem ser importantes em uma operação de resposta, como observado por Wieczorek (2006), que propôs uma subdivisão dos índices do MMA (2004).

3.7. Áreas prioritárias de proteção

Levando em consideração a sensibilidade do ecossistema, a possibilidade de intervenção (remediação, mitigação e limpeza), as condições de acessibilidade e as demandas socioeconômicas, são sugeridas algumas áreas prioritárias de proteção, ressaltando-se que essas sugestões devem ser inseridos no contexto específico de cada contingência, e que a definição de uma área prioritária de proteção deve ter necessariamente a participação e anuência dos órgãos ambientais e governamentais competentes.

Setor I:

- lagoa da Juréia e marismas associados (SPSS020-S)
- vegetação alagada de Juquehy (SPSS037-S)
- manguezais da Barra do Say (SPSS046-S, SPSS047-S)
- vegetação alagada de Camburizinho (SPSS056-S)

Setor II:

- ASPE costão de Boiçucanga, Praia Brava (SPSS073-S, SPSS076-S)
- vegetação alagada de Toque-toque Grande (SPSS118-S)
- ASPE costão do navio, Brava de Toque Toque, Bravas de Guaecá (SPSS123-S, SPSS127-S, SPSS130-S)

Setor III:

- ASPE do CEBIMar (SPSS141-S, SPSS142-S, SPSS143-S, SPSS144-S, SPSS145-S, SPSS146-S, SPSS147-S, SPSS148-S, SPSS149-S)
- terraço de baixa mar lamoso (SPSS158-S)
- costão das cigarras (SPSS158-S)

Setor IV

- planície de maré arenosa (SPSS244-S)
- manguezais da Enseada de Caraguatatuba (SPSS277-S, SPCA064-S, SPCA062-S)
- vegetação alagada da Lagoa Azul (SPCA063-S)
- fazenda de mexilhões da Cocanha (SPCA030-S, SPCA029-S)

3.8. Zonas de Sacrifício

As zonas de sacrifício são instrumentos efetivos de tomada de decisão quando áreas prioritárias de proteção são ameaçadas e não há mais a possibilidade de contenção e recolhimento. Constituem locais de baixa sensibilidade, que apresentam condições para a efetiva implantação das ações de combate (contenção e recolhimento) e onde as conseqüências sócio-econômicas de eventuais danos sejam reduzidas, controláveis e passíveis de mitigação. Reconhecendo a importância das zonas de sacrifício em operações de combate e resposta, são sugeridas algumas áreas que podem ser usadas para esse fim, ressaltando-se que essas sugestões devem ser balizadas caso a caso e, principalmente, com a participação e concordância dos órgãos ambientais competentes, envolvidos na ocorrência.

Setor I:

- costão direito da Barra do Una (SPSS026-S)
- costão direito de Juquehy (SPSS031-S)
- costão da Ponta do Saí (SPSS049-S)

Setor II:

- Costão de Santhiago (SPSS091-S)
- Costão da Ponta do Apara (SPSS103-S)
- Costão da Ponta do Saco d'água (SPSS120-S)

Setor III:

- estruturas artificiais da praia de Porto Grande (SPSS188-S)
- muro da no costão do São Francisco (SPSS216-S)
- muro próximo à Ponta do Arpoador (SPSS230-S)

Setor IV:

- proximidades das coordenadas 45°25'6,334"W e 23°38'5,382"S da praia da Enseada (SPCA001-S)
- costão da Ponta do Martins de Sá (SPCA016-S)

Setor V:

- costão da Ponta do Massaguaçu (SPCA025-S)

4. CONCLUSÃO

A região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba mostrou-se extremamente complexa, com uma grande diversidade espacial de habitats e atividades humanas.

A presença de ambientes extremamente sensíveis e o uso humano altamente dependente da zona litorânea e costeira, se mesclam com áreas de intensa movimentação de petróleo, tanto por mar, com navios petroleiros e operações no Terminal da Petrobras, como por terra, através do oleoduto OSBAT.

Potenciais zonas de sacrifício são escassas em locais com alta sensibilidade, principalmente no Canal de São Sebastião, que além de ser o local de maior suscetibilidade, é abrigado da ação das ondas, o que dificulta sua limpeza natural e aumenta a persistência do óleo no ambiente. As estruturas artificiais são em sua grande maioria enrocamentos, que possibilitam a infiltração do óleo em suas fendas.

Os levantamentos detalhados de campo, contemplando variações morfológicas e sazonais, revelaram aspectos que agravam ainda mais as consequências de uma eventual contaminação por óleo, como praias com intensa dinâmica sedimentar, ocasionada pelo ciclo construtivo/destrutivo, e costões rochosos repletos de fendas e heterogeneidades, os quais proporcionam comunidades biológicas mais ricas, além de estarem sujeitos a um maior acúmulo de óleo.

Durante o ciclo sazonal das praias, foi constatado a mudança de características que influenciam na penetração do óleo no substrato, como o aporte de grande quantidade de conchas com as ondulações de inverno, ou a remoção quase completa dos sedimentos arenosos, expondo matacões que ficam soterrados no verão. Essas variações sazonais foram suficientes para a alteração significativa do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) no local onde ocorreram.

Os atributos dos costões rochosos relacionados à densidade e profundidade de fendas, informações de grande importância para a sensibilidade ambiental ao óleo, foram de fácil levantamento em campo, devendo ser incorporados em trabalhos de mapeamento voltados ao tema. Já o levantamento dos atributos relacionados à presença de tocas de ouriço e de poças de maré foi limitado devido a impossibilidade de observá-los na preamar.

O uso em campo da planilha de pontos e fotos em complementação da planilha de segmentos, proposta pelo MMA (2004), foi de extrema importância na representação fiel dos elementos socioeconômicos, pois muitas vezes estes estão distribuídos de forma agregada dentro do segmento. A abordagem pontual e de detalhe no mapeamento dos aspectos socioeconômicos, ao invés de apenas considerá-los como atributos dos segmentos, permite identificar locais de prioridade em uma ação de emergência e evita que segmentos geomorfologicamente homogêneos tenham que ser quebrados para que a representação espacial dos recursos de uso humano seja preservada.

A sistematização no banco de dados geográfico das informações levantadas em campo e de fontes secundárias forneceu o arcabouço necessário para a avaliação não só da sensibilidade ambiental ao óleo, como também do comportamento potencial do óleo no ambiente e dos métodos de limpeza recomendados, além de fornecer subsídios para uma melhor avaliação dos recursos em risco. Com isso, o sistema de informação mostrou-se um potencial instrumento na complementação das cartas SAO na versão impressa no suporte durante as operações de emergência, principalmente quando a contaminação já se efetivou. No entanto, devido à dinâmica ambiental e socioeconômica, o banco de dados deve ser atualizado constantemente para que continue fornecendo informações precisas para os órgãos ambientais e empresas envolvidas nas operações de combate à derramamentos de óleo e no gerenciamento costeiro.

A implementação do sistema especialista baseado em conhecimento, utilizando a técnica de árvore de decisão na definição do conjunto de regras de inferência, proporcionou a dedução automatizada do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de acordo com as normas exigidas pelo MMA (2004) com alta precisão e controle do processo. Isso torna o modelo apto à geração de produtos que possam ser integrados em documentos oficiais para o território nacional, os quais são obrigatórios nos Planos de Emergência Individuais (PEIs) e no licenciamento das atividades da indústria do petróleo. Essa metodologia também apresenta grande potencial de uso em análises relacionadas às operações de resposta, como a definição dos métodos de limpeza recomendados e os não recomendados e a indicação de áreas prioritárias de proteção e zonas de sacrifício.

Tendo em vista o caráter dinâmico de ambientes costeiros sedimentares, como os observados nas praias de São Sebastião, o conhecimento dos aspectos ambientais no momento de um vazamento são de grande importância na avaliação dos possíveis danos. O banco de dados geográfico permite a constante atualização dos dados, possibilitando o fornecimento de dados mais próximos da realidade encontrada no momento de uma emergência. Esse fato, aliado ao sistema baseado em conhecimento, permite que os ISL das cartas SAO sejam atualizados através de levantamento rápido de variáveis específicas em campo, até mesmo enquanto a mancha de óleo derramada se desloca no mar.

As informações contempladas no SIG e no Atlas, obtidas através de uma abordagem detalhada dos aspectos geomorfológicos e ecológicos, fornecem subsídios efetivos às ações de combate, resposta e diagnóstico de acidentes, complementando os planos de emergência já existentes para a área e contribuindo para a minimização do conflito entre a necessidade de transportar petróleo por essa região e a fragilidade de seus ecossistemas.

5. REFERÊNCIAS

ABDEL-KADER, A. F.; NASR, S. M.; EL-GAMILY, H. I.; EL-RAEY M. Environmental sensitivity analysis of potential oil spill for Ras-Mohammed coastal zone, Egypt. **Journal of Coastal Research**, v.14, n.2, p.502-511. 1998.

ADLER, E., M. INBAR. Shoreline sensitivity to oil spills, the Mediterranean coast of Israel: Assessment and analysis. **Ocean & Coastal Management**, v.50, n.1-2, p. 24-34. 2007.

ALENCAR, C.A.G. **Mapeamento de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: Estudo de caso para Icapuí, Ceará, Brasil**. 2003. 95p. + apêndices. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

ARAUJO, S.I.; SILVA, G.H; MUEHE, D. 2000. **Manual Básico para Elaboração de Cartas de Sensibilidade no Sistema PETROBRAS**. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, PETROBRAS, 2000. 170p.

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Mapas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro, Cenpes/Petrobras. 168p. 2006.

ARPEL. **Guia para elaboração de mapas de sensibilidade**. Elaborado por Wotherspoon Environmental Inc./Countspill Research Inc. ARPEL. 1997.

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.** CETESB, São Paulo, 1986. 40p. + anexo.

BEISL, C.H.; MIRANDA, F.P.; PEDROSO, E.C., LANDAU, L. Generation of oil sensitivity index information in western Amazonia, Brazil, using dual season SAR image mosaics of the Global Rain Forest Mapping Project. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 823-830.

BRASIL. Decreto Federal nº4.871, de 11 de junho de 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 07 nov. 2003.

BRASIL. Lei nº 9.966/2000, de 28 de abril de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 de abril de 2000.

BRASIL. Resolução CONAMA nº293, de 12 de dezembro de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 abr. 2002.

BURGHERR, P. In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources. **Journal of Hazardous Materials**, v.140, n.1-2, p.245-256. 2007.

CAMARGO, M.G. 1999. **SYSGRAN para Windows: Sistema de análises granulométricas.** [mcamargo@cem.ufpr.br].

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.

CARDOSO, D. **Análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Peruíbe – SP, com o apoio de um sistema integrador de informações georreferenciadas.** 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP. 128p.

CARVALHO, C. S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na tomada de decisão**. 1996. Tese (Doutorado) EPUSP, São Paulo. v. 1, 192 p.

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**. 253p. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) – INPE, São José dos Campos, 2003. (INPE-9876-TDI/872).

CETESB. 1998. **Determinação do declive, perfil e área entre-marés de praias de areia**. *Procedimento Operacional Padronizado – P.O.P.nº DAHC-MA-042*. 21p.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Derrames de Óleo e os Ecossistemas Costeiros**. SMA/CETESB – Setor de Operações de Emergência, São Paulo, 2002. 269p. (Apostila de Curso).

CETESB. **Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação** / Carlos Ferreira Lopes, João Carlos Carvalho Milanelli, Íris Regina Fernandes Poffo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2006 120 p.

CETESB. Emergências químicas. Tipos de acidentes. Vazamentos de óleo. Principais acidentes em São Paulo. 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/acidentes/acidentes.asp>> Acesso em: 3, jun. 2007.

DE-LA-HUZ, R.; LASTRA, M.; JUNOY J.; CASTELLANOS C.; VIÉITEZ J.M. Biological impacts of oil pollution and cleaning in the intertidal zone of exposed sandy beaches: Preliminary study of the “Prestige” oil spill. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 65, n. 1-2, p. 19-29. 2005.

ESRI. ArcGIS ArcView 9.1. 2006.

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.

GHERARDI, D.F.M.; BRAGA, C.Z.F.; EICHENBERGER, C. Utilização de imagens TM Landsat para o mapeamento do Índice de Vulnerabilidade Ambiental ao impacto por óleo da zona costeira entre Rio Grande do Norte e Ceará, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001.

GIN, K.Y.H; HUDA, M.K.; LIM, W.K.;TKALICH, P. An oil spill-food chain interaction model for coastal waters. **Marine Pollution Bulletin**, v.42, n.7, p.590-597, 2001.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, v.2, 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.

HAYES, M.O.; HOFF, R.; MICHEL, J.; SHOLZ, D.; SHIGENAKA, G. **An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response**. Hazardous materials response and assessment division, NOAA, USA. 1992.

IBAMA. Lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção IBAMA. 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm>> Acesso em: 30 abr. 2007

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). **Biological impacts of oil pollution: fisheries**. IPIECA Report Series: volume 8, London. 2000. 28 p.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). **Guidelines on biological impacts of oil pollution**. IPIECA Report Series: volume 1, London. 1991. 15 p.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). **Sensitivity Mapping for Oil Spill Response**. IMO/IPIECA Report Series: volume 1. 1996. 24 p.

ITOPF (The International Tankers Owners Pollution Federation Ltd). **Oil tanker spill statistics: 2006**. ITOPF. 2007. 8 p. Disponível em: <<http://www.itopf.com/stats06.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2007.

JENSEN, J. R.; J. N. HALLS; MICHEL, J. A systems approach to Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.64, n.10, p.1003-1014. 1998.

JENSEN, J. R.; RAMSEY E. W.; HOLMES, J. M.; MICHEL, J.; SAVITSKY, B.; DAVIS, B. A. Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping for oil spills using remote sensing and geographic information system technology. **International journal of 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**, v.2, p.5-13, 1993.

KOBLER, A.; ADAMIC, M. Identifying brown bear habitat by a combined GIS and machine learning method. **Ecological Modelling** v. 135, p. 291–300. 2000.

KRISHNAN, P. Research Report - a Geographical Information-System for Oil-Spills Sensitivity Mapping in the Shetland-Islands (United-Kingdom). **Ocean & Coastal Management**, v.26, n.3, p.247-255. 1995.

LEES, B. G. E K. RITMAN. Decision-Tree and Rule-Induction Approach to Integration of Remotely Sensed and Gis Data in Mapping Vegetation in Disturbed or Hilly Environments. **Environmental Management**, v.15, n.6, Nov-Dec, p.823-831. 1991.

LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; PROSPERI, V.A.; ZANARDI, E.; TRUZZI, A.C.

Coastal monitoring program of São Sebastião channel: assessing the effects of "Tebar V" oil spill on rocky shore population. **Marine Pollution Bulletin**, v.34, n.11, p.923-927, 1997.

LOTIFY, I. N. **GIS-based Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping for oil spills: Case study in Sharm El-Sheikh, Egypt**. 2004. (Dissertação de mestrado). Physical Land Resources, Universiteit Gent, Brussel. 104 p.

MICHEL, J.; HAYES, O. Sensitivity of coastal environments to oil. In: NOAA. **An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response**. [S.L.], 1992. (NOAA Report, HMRAD 92-4). Available from: <<"http://ww.response.restoration.noaa.gov/oilaid/monterey.html">. Acesso em: 4 de jul. de 2004.

MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da praia de Barequeçaba, São Sebastião, SP**. 1994. 103 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 94.

MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F. Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo: procedimentos emergenciais adotados pela CETESB In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA: oceanografia e sociedade - um desafio à teoria e prática, 14., 2001, Rio Grande, RS. **Anais...** [S.L.: s.n., 2001?]. Trabalho n° 83.

MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F.; JOHNSCHER-FORNASARO, G. **Estudo de metodologias para a recuperação de costões rochosos impactados por óleo**. São Paulo: CETESB, 1991. 28 p.

MMA / SQA (Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos). **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, 2002. 22 p. + anexos.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_arquivos/especificacoes_cartas_sao.pdf> Acesso em: 3 jun. 2007.

MMA / SQA (Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos). **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, 2004. 107 p.

MOE, K.A.; SKEIE, G.M.; BRUDE, O.W.; LØVÅS, S.M.; NEDREBØ, M.; WESLAWSKI, J.M. The Svalbart 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.

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.

NOAA (National Oceanography and Atmospheric Administration). **Environmental sensitivity index guidelines, Version 2.0**. Seattle: Hazardous material response and assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1997. 79p.+apêndice. (NOAA Technical memorandum NOS ORCA 115)

NOAA (National Oceanography and Atmospheric Administration). **Environmental sensitivity index guidelines, Version 3.0**. Seattle: Hazardous material response and assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002. 89p.+apêndice. (NOAA Technical memorandum NOS OR&R 11)

POFFO, I.R.F.; XAVIER, J.C.M.; SERPA, R.R. A História dos 27 anos de Vazamento de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo (1974-2000). **Revista Meio Ambiente Industrial**, n.30, p.98-104. 2001.

SCULL, P., J. FRANKLIN, *et al.* The application of classification tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. **Ecological Modelling**, v.181, n.1, Jan 10, p.1- 15. 2005.

SHASTRI, S., C. P. LAM, *et al.* A machine learning approach to generate rules for process fault diagnosis. **Journal of Chemical Engineering of Japan**, v.37, n.6, Jun, p.691-697. 2004.

SCHOLZ, D.; MICHEL, J.; SHIGENAKA, G.; HOFF, R. Biological Resources. In: NOAA. **An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response**. [S.L.],

1992. (NOAA Report, HMRAD 92-4). Disponível em: <<http://ww.response.restoration.noaa.gov/oilaid/monterey.html>>. Acesso em: 4 jul. 2004.

SOUZA, C. R. G. 1990. **Considerações sobre os processos sedimentares quaternários e atuais na região de Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física. Instituto Oceanográfico. USP. 334p.

SOUZA, C. R. G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. USP. 184p.

SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 68 (3): 405-424, 1996.

TAGGART, B. E.; SCHUARTZ, M. L.; Net shore drift direction determination: A systematic approach. **Journal of Shoreline Management**, v.3, n.4, p.285-309. 1988.

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

TOMASSI, L.R. 1994. **Diagnóstico ambiental oceânico e costeiro das regiões sul e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: FUNDESPA/PETROBRÁS. 10v. v 9: Poluição.

USERY, E. L.; ALTHEIDE, P. Knowledge-Based GIS Techniques Applied to Geological Engineering. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** v.54, n.11, p.1623-1628. 1988.

WENNINK, C.J.; NELSON-SMITH, A. **Coastal Oil Pollution Evaluation Study for the Gulf of Suez and the Red Sea Coast of the Republic of Egypt**. London, IMO. 1979.

WENTWORTH, W. C. Grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**. v.30, p. 377-392. 1922.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de Sensibilidade a Derrames de Petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC) e áreas adjacentes**. 2006. Dissertação (Mestrado em

Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP. 57p. + Atlas.

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** (2007), doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.04.007.

WWW.OHELIPONTO.COM.BR. Rotaer Eletrônico. 2005. Disponível em:
<<http://www.oheliponto.com.br/oheliponto/helipontos.asp>> Acesso em: 15 mar. 2007.

ANEXO I – Planilha de Pontos e Fotos

