



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E
GEOFÍSICA**

CP: 1.639 CEP: 59.072-970 NATAL–RN TEL(FAX): 215-3831

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SISTEMA INTEGRADO PARA TOMADA DE DECISÃO
ESPACIAL EM SITUAÇÕES DE DERRAMAMENTO DE
ÓLEO NO LITORAL NORTE DO ESTADO DO RN**

Autor:

CLENÚBIO FEITOSA DE SOUZA

Orientador:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (DG/PPGG-UFRN)

Natal – RN, setembro de 2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E
GEOFÍSICA**

CP: 1.639 CEP: 59.072-970 NATAL–RN TEL(FAX): 215-3831

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SISTEMA INTEGRADO PARA TOMADA DE DECISÃO
ESPACIAL EM SITUAÇÕES DE DERRAMAMENTO DE
ÓLEO NO LITORAL NORTE DO ESTADO DO RN**

Autor:

CLENÚBIO FEITOSA DE SOUZA

*Dissertação de Mestrado apresentada em
29 de setembro de 2006, para obtenção
do título de Mestre em Geofísica e
Geodinâmica pelo Programa de Pós-
Graduação em Geodinâmica e Geofísica
da UFRN.*

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (Orientador)

Profa. Dra. Helenice Vital (DG/CCET/PPGG/UFRN)

Prof. Dra. Valéria Gonçalves Soares (DI/UFPB)

Natal – RN, setembro de 2006

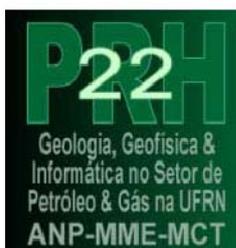


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E
GEOFÍSICA**

CP: 1.639 CEP: 59.072-970 NATAL–RN TEL(FAX): 215-3831

Dissertação desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG/UFRN), tendo sido subsidiada pelos seguintes agentes financiadores:

- Agência Nacional do Petróleo – ANP/PRH-22;
- Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor Petróleo e Gás Natural – PRH-ANP/MME/MCT;
- MARPETRO (FINEP/PETROBRÁS/CTPETRO): Monitoramento Geoambiental de Áreas Costeiras na Zona Petrolífera de Macau, inserida no Estado do Rio Grande do Norte (RN);
- PETRORISCO (FNDCT/FINEP/CNPq/CTPETRO): monitoramento ambiental das áreas de risco a derrames de petróleo e derivados.



AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo...

Aos meus familiares, em especial: a meus pais, Vacilda e Jacob pelo apoio incondicional e por terem me ajudado a trilhar corretamente pelos caminhos da vida; aos meus filhos Davi e Maria Alice, que enchem de afeto e alegria o meu ser e me dão ânimo para vencer os desafios da vida; a minha noiva Jakeline pelo seu amor e companheirismo; a meus irmãos Clélio e Clébio, que me proporcionam muitos momentos descontraídos; a minhas irmãs Cleone e Cleonara pelo grande carinho.

Ao orientador Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, que com sua atenção e muita compreensão, contribuiu decisivamente para o êxito desse trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pela aceitação no referido Curso, e por darem a oportunidade e incentivo para a conclusão do curso de Mestrado, através de seus professores, funcionários e infra-estrutura.

Á Agência Nacional do Petróleo/PRH-22 e CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO), por disponibilizar a infra-estrutura. Bem como aos amigos e colegas dos Laboratórios de Geoprocessamento e GGEMMA, pelas preciosas horas de trabalho e de descontração.

Ainda desejo expressar meus mais sinceros agradecimentos, pela compreensão, amizade e apoio recebido de todos que, voluntária ou involuntariamente, participaram no desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

O litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte (RN) apresenta áreas da bacia Potiguar com intensa atividade da indústria petrolífera. Com a finalidade de prevenir e minimizar os riscos de acidentes com óleo, faz-se necessário compreender a vulnerabilidade natural, mapear os recursos naturais e monitorar os derrames de óleo. O uso de ferramentas computacionais para o monitoramento ambiental, possibilita uma melhor análise e tomada de decisão no planejamento de políticas de conservação ambiental.

A presente dissertação apresenta uma metodologia de trabalho para o monitoramento de impactos ambientais, com o propósito de avaliar e proteger as regiões sensíveis ao contato do óleo. A metodologia consiste em desenvolver e implantar um sistema integrado, constituindo um Sistema de Apoio à Decisão Espacial (*SADE*). O *SADE* apresenta uma infra-estrutura computacional composta pelo *SWIGG* (Sistema *Web* de Informações Geográficas e Geoambientais), o *AutoMSA* (Automatizador de Mapas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo) e o Sistema BAsE de Hidrodinâmica Ambiental (*SisBAHIA* – um Sistema de Modelagem e Simulação Numérica - *SMSN*).

Num cenário de derramamento de óleo ocorrido próximo às áreas costeiras do litoral norte do Estado do RN a integração destes sistemas disponibilizará aos agentes responsáveis pelo gerenciamento dos danos ambientais, um sistema de suporte a tomada de decisão espacial.

PALAVRAS-CHAVES

Monitoramento Ambiental, Derramamento de Óleo, Sistemas de Informações Geográficas, Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo, Sistema de Modelagem e Simulação Numérica, Sistema de Apoio à Decisão Espacial.

ABSTRACT

The northern coast of Rio Grande do Norte State (RN) shows areas of Potiguar basin with high activity in petroleum industry. With the goal of avoiding and reducing the accident risks with oil it is necessary to understand the natural vulnerability, mapping natural resources and monitoring the oil spill. The use of computational tools for environmental monitoring makes possible better analyses and decisions in political management of environmental preservation.

This work shows a methodology for monitoring of environment impacts, with purpose of avoiding and preserving the sensible areas in oil contact. That methodology consists in developing and embedding an integrated computational system. Such system is composed by a Spatial Decision Support System (*SDSS*). The *SDSS* shows a computational infrastructure composed by Web System of Geo-Environmental and Geographic Information - “*SWIGG*”, the System of Environmental Sensibility Maps for Oil Spill – “*AutoMSA*”, and the Basic System of Environmental Hydrodynamic (“*SisBAHIA*” – a System of Modeling and Numerical Simulating – *SMNS*).

In a scenario of oil spill occurred coastwise of Rio Grande do Norte State’s northern coast, the integration of such systems will give support to decision agents for managing of environmental impacts. Such support is supplied through a system of supporting to spatial decisions.

KEYWORDS

Environmental Monitoring, Oil Spill, Geographic Information Systems, Environmental Sensibility Maps for Oil Spill, System of Modeling and Numerical Simulating, Spatial Decision Support System.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
PALAVRAS-CHAVES	ii
ABSTRACT	iii
KEYWORDS	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
GLOSSÁRIO	x

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

1.1	Apresentação	01
1.2	Introdução	02
1.3	Objetivos	04
1.4	Justificativa	05
1.5	Características Gerais da Área Teste	06
1.5.1	Localização	06
1.5.2	Aspectos Fisiográficos	07
1.5.2.1	Clima	07
1.5.2.2	Hidrografias e Marés	08
1.5.2.3	Ventos	08
1.5.2.4	Ondas e Correntes	09
1.5.3	Contexto Geológico	10
1.5.3.1	Geologia Regional	10
1.5.3.2	Geologia Local	11

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1	Monitoramento Ambiental e o Derramamento de Óleo	13
2.2	Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo	15
2.3	Sistemas de Informações Geográficas	16
2.4	Modelagem Ambiental	18
2.4.1	Processo de Modelagem Ambiental	19

2.4.2	Importância dos Sistemas de Modelagem e Simulação Numérica	22
2.4.3	Integração entre SIG e SMSN para Monitoramento Ambiental	22
2.5	Tomada de Decisão Espacial	23
2.5.1	Problema Geográfico e Sistema Geográfico	24
2.5.2	Geotecnologias de Apoio à Decisão Espacial	26
2.5.2.1	Estratégias para Integração dos Componentes do SADE e Implicações Tecnológicas	29

CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO ESPACIAL (SADE)

3.1	Introdução	32
3.2	Concepção do Modelo Conceptual	33
3.3	Desenvolvimento do Ambiente <i>SIG</i>	33
3.4	Implementação do <i>SMSN</i>	34
3.4.1	Escolha do <i>SMSN</i>	34
3.4.2	Pré-processamento	34
3.4.3	Simulação	35
3.4.4	Verificação	36
3.5	Elaboração dos Resultados da Simulação no Ambiente <i>SIG</i>	36
3.6	Tomada de Decisão Espacial	37

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO AMBIENTE INTEGRADO

4.1	Introdução	38
4.2	Concepção do Domínio	38
4.3	Ambiente <i>SIG</i>	38
4.3.1	Metodologia e Tecnologias	39
4.3.1.1	<i>RUP</i>	40
4.3.1.2	Tecnologias	40
4.3.2	Arquitetura de Armazenamento	41
4.3.3	Componentes e Arquitetura do Ambiente <i>SIG</i>	47

4.3.4	Confecção dos Mapas SAO	50
4.4	Implementação do SMSN	55
4.4.1	Escolha do SMSN	55
4.4.2	Pré-processamento e Simulação	57
4.4.3	Verificação	71
4.5	Elaboração dos Resultados da Simulação no ambiente SIG	72
4.6	Processo Decisório	73

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1	Conclusões	75
5.2	Recomendações	76

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas	78
-----------------------------------	-----------

APÊNDICE

Script de Conversão	84
----------------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localização da área teste. Pode-se observar a intensa atividade da indústria petrolífera na área costeira de influência dos dutos e emissários do Pólo Petrolífero de Guamaré.	07
Figura 1.2	Direção predominante do vento na região do litoral Norte do Estado do RN com base em medições efetuadas em estações meteorológicas e direções de dunas. Modificado de Fortes (1987).	09
Figura 1.3	Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. SPA, sedimentos de praia e aluviais. Compilado de Dantas (1998).	11
Figura 1.4	Mapa geológico do Estuário Galinhos-Guamaré na escala 1:50.000. Destacam-se os tipos de formações. Compilado de Amaro <i>et al.</i> (2002).	12
Figura 2.1	Em vermelho, destacam-se os modelos utilizados na dissertação (Rosman 2001).	20
Figura 2.2	Domínios dos problemas geográficos.	25
Figura 2.3	Subsistemas do sistema geográfico.	26
Figura 2.4	Interação entre os domínios dos problemas geográficos e componentes da arquitetura SADE através de uma abordagem sistêmica para solução de problemas geográficos. Adaptado de Neto (2000).	28
Figura 2.5	Tipos de integração (Livre, próximo, Rígido e Pleno) para implementar SADE. Fonte (Neto e Rodrigues 2000).	30
Figura 3.1	Roteiro metodológico proposto para o desenvolvimento e implementação de um sistema computacional.	32
Figura 4.1	Diagrama do Modelo Lógico (referente aos dados do SWIGG que serão armazenados no BDGA).	45
Figura 4.2	Diagrama do Modelo Lógico (referente aos dados do AutoMSA que serão armazenados no BDGA).	46
Figura 4.3	SWIGG <i>on-line</i> adaptado para o contexto SADE.	48

Figura 4.4	Telas do <i>SWIGG</i> on-line.	48
Figura 4.5	Arquitetura do <i>SWIGG</i> / <i>AutoMSA</i> em camadas, mostrando a seqüência de interação dos principais componentes.	50
Figura 4.6	<i>AutoMSA</i> on-line, mostrando a entrada dos arquivos <i>shape</i> para o <i>ISL</i> .	52
Figura 4.7	<i>AutoMSA</i> on-line, mostrando a entrada de dados para o <i>ISL</i> pelo formulário.	53
Figura 4.8	<i>AutoMSA</i> on-line, mostrando a entrada de dados para a <i>Biota</i> .	53
Figura 4.9	<i>AutoMSA</i> on-line, mostrando a entrada de dados para a <i>Socioeconomia</i> .	54
Figura 4.10	<i>AutoMSA</i> on-line, mostrando a saída de dados (<i>ISL</i> , <i>Biota</i> e <i>Socioeconomia</i>).	54
Figura 4.11	Tela inicial do <i>SisBAHIA</i> .	55
Figura 4.12	Mapa base da área de estudo: domínio da modelagem (espaço em branco), contorno de terra (porção amarela), contorno de água (porção azul) e emissários (duas linhas em marrom).	58
Figura 4.13	Malha, de elementos quadrangulares, confeccionada no <i>Argus One</i> . Em vermelho temos o contorno de terra e em azul o contorno de água.	59
Figura 4.14	Tela do <i>SisBAHIA</i> para importação e entrada dos dados da malha.	60
Figura 4.15	Visualização da malha de elementos finitos, isolinhas da batimetria e contornos no <i>SisBAHIA</i> .	60
Figura 4.16	Distribuição da batimetria da região de estudo.	61
Figura 4.17	Tela do <i>SisBAHIA</i> para entrada de dados do modelo hidrodinâmico.	62
Figura 4.18	Instante da simulação do modelo hidrodinâmico.	63
Figura 4.19	Tela do <i>SisBAHIA</i> para entrada de dados do modelo de transporte lagrangeano.	64
Figura 4.20	Localização do lançamento. Tempo da simulação: 11 horas.	65

Figura 4.21	Tempo da simulação: 21 horas.	66
Figura 4.22	Tempo da simulação: 31 horas.	66
Figura 4.23	Tempo da simulação: 41 horas.	66
Figura 4.24	Tempo da simulação: 51 horas.	66
Figura 4.25	Tempo da simulação: 61 horas.	67
Figura 4.26	Tempo da simulação: 71 horas.	67
Figura 4.27	Tempo da simulação: 81 horas.	67
Figura 4.28	Tempo da simulação: 91 horas.	67
Figura 4.29	Tempo da simulação: 101 horas.	68
Figura 4.30	Tempo da simulação: 111 horas.	68
Figura 4.31	Tempo da simulação: 121 horas.	68
Figura 4.32	Tempo da simulação: 131 horas.	68
Figura 4.33	Tempo da simulação: 141 horas.	69
Figura 4.34	Tempo da simulação: 151 horas.	69
Figura 4.35	Tempo da simulação: 161 horas.	69
Figura 4.36	Localização da fonte de lançamento do segundo cenário da simulação hipotética.	70
Figura 4.37	Resultado da simulação do segundo cenário de derrame mostrando uma menor quantidade de partículas absorvidas pelo litoral (partículas em azul).	70
Figura 4.38	Probabilidade de passagem da mancha de Óleo para o primeiro cenário.	71
Figura 4.39	Probabilidade de passagem da mancha de Óleo para o segundo cenário.	71
Figura 4.40	Probabilidade de passagem da mancha de Óleo até 20 horas após o derrame (no segundo cenário).	74
Figura 4.41	SWIGG mostrando os dados integrados para tomada de decisão espacial.	74

GLOSSÁRIO

API	<i>Application Program Interface</i>
AutoMSA	Automatizador de Mapas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo
BDG	Banco de Dados Geográficos
BDGA	Banco de Dados Geográficos Ambientais
BM	Bancos de Modelos
Cartas SAO	Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ISL	Índice de Sensibilidade do Litoral
JDBC	<i>Java DataBase Connectivity</i>
JSP	<i>Java Server Pages</i>
J2EE	<i>Java 2 Enterprise Edition</i>
J2ME	<i>Java 2 Micro Edition</i>
J2SE	<i>Java: Java 2 Standard Edition</i>
Mapas SAO	Mapas de Sensibilidade Ambiental para os Derramamentos de Óleo
MVC	<i>Model View Controller</i>
NOAA	<i>National Oceanographic and Atmospheric Administration</i>
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
SADE	Sistema de Apoio à Decisão Espacial
SCI	Sistema Controlador de Integração
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SI	Sistemas de Informações
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SisBAHIA	Sistema BAse de Hidrodinâmica Ambiental
SMSN	Sistema de Modelagem e Simulação Numérica
SWIGG	Sistema <i>Web</i> de Informações Geográficas e Geoambientais

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

1.1 Apresentação

A presente Dissertação de Mestrado corresponde à etapa final das atividades de pós-graduação desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) do Centro de Ciências Exatas e da Terra (CCET) / Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As atividades de pesquisa desenvolvidas estão vinculadas ao Projeto Cooperativo em Monitoramento Ambiental de Áreas de Risco a Derrames de Petróleo e Seus Derivados (REDE 05/01 – Projeto PETRORISCO, Rede Cooperativa Norte-Nordeste PETROMAR, FINEP-CTPETRO/CNPq/PETROBRAS) de características multidisciplinares e interinstitucional em temas envolvendo o monitoramento ambiental e a atividade petrolífera. Nesta Dissertação de Mestrado foram apresentadas as atividades desenvolvidas no PPGG com o apoio do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO) e do Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA).

A Dissertação de Mestrado teve como motivação principal o monitoramento ambiental integrado da zona costeira quanto aos impactos provocados por derramamentos acidentais de óleo e derivados nos diferentes ecossistemas. A utilização conjunta de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), Mapas de Sensibilidade Ambiental para os Derramamentos de Óleo (Mapas SAO) e um Sistema de Modelagem e Simulação Numérica (SMSN) objetiva favorecer a análise rápida da sensibilidade dos ecossistemas e promover a proteção adequada às regiões altamente sensíveis ao contato com o óleo.

Esta dissertação está dividida de acordo com os seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Considerações Preliminares: apresenta os objetivos da dissertação e justifica-se a necessidade do monitoramento ambiental, principalmente quanto aos impactos provocados pelos derramamentos

de óleo; é apresentada uma descrição geral da área de estudo e suas principais características fisiográficas e geoambientais;

- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: apresenta os aspectos envolvidos no monitoramento ambiental quanto aos derramamentos de óleo, bem como a sustentação conceitual das ferramentas de geoprocessamento utilizadas para a organização do sistema computacional de apoio à decisão espacial;
- Capítulo 3 – Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão Espacial (*SADE*): descreve todas as etapas de desenvolvimento dos sistemas integrados utilizados;
- Capítulo 4 – Resultados do Ambiente Integrado: descreve como o ambiente *SIG* (que inclui um subsistema para confecção de Mapas *SAO*) e o *SMSN* foram desenvolvidos, como também, o mecanismo de integração foi implementado; faz uma breve apresentação do *SMSN* adotado; são feitas previsões da dispersão do óleo em cenários hipotéticos; através da análise dos Mapas *SAO* integrados com as respostas da simulação de derrame de óleo, observa-se regiões da área de estudo potencialmente mais críticas à ocorrência de derrames acidentais;
- Capítulo 5 – Considerações Finais: são apresentadas as conclusões do trabalho, além de sugestões para melhoramentos e pesquisas futuras.

1.2 Introdução

Na atualidade, a sociedade e o setor industrial vem se preocupando com as atividades humanas de risco ao meio ambiente. Como exemplo de grande potencial para catástrofes ambientais, tem-se a exploração e o transporte de petróleo, onde eventuais derrames de óleo no oceano são ecologicamente

prejudiciais, principalmente quando estes atingem as regiões costeiras. Desta forma, é necessário conhecer a trajetória do óleo derramado para estimar os riscos potenciais, determinando as áreas que poderão ser atingidas, permitindo, assim, reduzir as conseqüências danosas e os esforços de limpeza.

Na porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN) há regiões estuarinas e áreas litorâneas que vêm sofrendo alterações na paisagem natural, ocasionadas por interesses econômicos devido à carcinicultura e as salinas, porém principalmente, pela ação da indústria petrolífera. Quanto à produção de petróleo, o Estado do RN ocupa o primeiro lugar nacional em terra e o segundo no mar, com sua produção iniciada na década de 70. Como exemplo dessa produção, tem-se o Município de Macau que possui poços de extração tanto em terra como no mar, com uma produção de 853.000 barris em terra no Campo de Macau e no mar, pelas plataformas de Aratum e Campo de Serra, com uma produção de 346.000 barris (IDEMA 1999).

Para a devida proteção dessas áreas, faz-se necessário compreender a vulnerabilidade natural e mapear os recursos naturais, bem como, monitorar os derramamentos de óleo visando o planejamento de políticas de conservação ambiental.

A partir dessa problemática, a presente dissertação apresenta uma metodologia de trabalho para o monitoramento de impactos ambientais realizada com o propósito de avaliar e proteger as regiões sensíveis ao contato do óleo. A metodologia consiste em desenvolver e implantar um Sistema de Informações Geográficas (*SIG*) para monitoramento geoambiental, um sistema Automatizador de Mapas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo (*AutoMSA*) e um Sistema de Modelagem e Simulação Numérica (*SMSN*).

Portanto, num cenário de derramamento de óleo ocorrido próximo às áreas costeiras do litoral setentrional do Estado do RN a integração desses sistemas disponibilizará aos agentes responsáveis pelo gerenciamento dos danos

ambientais, um sistema computacional de suporte a tomada de decisão.

1.3 Objetivos

Os principais objetivos foram:

- Apresentar uma metodologia para o desenvolvimento e implantação de um sistema computacional capaz de auxiliar a compreensão e avaliação de impactos ambientais provocados por derramamento de óleo em ambiente marinho e costeiro, de modo que sua aplicação e resultados sirvam de suporte à tomada de decisões nos planos de contingência e situações de emergência;
- Desenvolver um *SMSN*, que através da quantificação numérica dos processos fluidodinâmicos e físico-químicos presentes em águas costeiras, simulará (através de modelagem não detalhada da circulação hidrodinâmica) a dispersão da mancha de óleo derramado;
- Realizar uma reengenharia de software no *SWIGG* versão 1.0 (Sistema *Web* de Informações Geográficas e Geoambientais), *SIG* de suporte ao monitoramento geoambiental desenvolvido por Souza (2004), visando a integração e o processamento de novos tipos de dados. É extremamente necessário que o *SWIGG* seja adaptado para o trabalho de análise ambiental em conjunto com os Mapas *SAO* e o *SMSN* desenvolvido (compondo a versão 2.0 do *SWIGG*);
- Auxiliar no desenvolvimento de um sistema automatizador de Mapas *SAO* – o *AutoMSA* (Castro et al. 2005) para compilação / geração e integração dos Mapas *SAO* no *SWIGG*;
- Destacar a viabilidade de utilização de um *SIG* e Mapas *SAO* associados a um *SMSN*, como opção metodológica a ser aplicada num estudo de caso especialmente desenvolvido para análise de risco ambiental das

áreas impactadas por óleo.

Portanto, através da aplicação integrada destas ferramentas computacionais (*SWIGG*, *AutoMSA* e *SMSN*), a presente dissertação tem como objetivo geral construir um ambiente *SIG* de suporte a decisão espacial, ou seja, desenvolver um Sistema de Apoio à Decisão Espacial (*SADE*) que constituirá uma importante geotecnologia para o monitoramento geoambiental.

1.4 Justificativa

Os derramamentos de óleo e seus derivados em meio marinho podem provocar impactos sócio-econômico-ambientais, por exemplo, danificar ecologicamente áreas sensíveis como estuários e litoral adjacente, degradando, assim, ecossistemas e a diversidade biológica. As conseqüências ambientais podem ser complexas se não houver planos efetivos de contenção e limpeza.

A partir da promulgação da Lei no 9.605/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, o monitoramento e prevenção ambiental cresceu em importância, dando aos responsáveis pela defesa ambiental um instrumento de responsabilização criminal da pessoa jurídica e penalizações às corporações que atuam em detrimento do meio ambiente (Sansonowski 2003). Desta forma o monitoramento ambiental das áreas de risco a derrames de petróleo e seus derivados com a finalidade de prevenir e minimizar acidentes com óleo é imperativo.

Tal importância fica evidente nas regiões da Bacia Potiguar *offshore* e regiões costeiras no litoral setentrional do RN, regiões extremamente frágeis do ponto de vista ambiental; principalmente, na região costeira entre os municípios de Galinhos e Macau, onde ocorrem atividades de prospecção, exploração e transporte de petróleo devido à presença do Pólo Petrolífero de Guamaré. Este pólo petrolífero é o maior produtor terrestre de petróleo do Brasil, para o qual converge todo o óleo e gás produzido na Plataforma Continental do RN e grande

parte da produção terrestre (Castro 2002).

Na faixa costeira próxima ao pólo, algumas instalações foram construídas desde o início dos anos oitenta para atender a exploração de óleo e gás, tais como: o canal de acesso ao porto de Guamaré, seis oleodutos e gasodutos ligando as instalações em terras aos campos de Agulha e Ubarana e dois emissários (Guedes 2002). Percebe-se um aumento do número de poços de petróleo, que passou de 26 (em 1999) para 30 poços (em 2000), de acordo com o aumento na produção de óleo e gás natural (Silveira 2002).

1.5 Características Gerais da Área Teste

1.5.1 Localização

A área teste para a aplicação das ferramentas computacionais está localizada no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN) e envolve os municípios costeiros de Macau, Guamaré e Galinhos, compreendendo ambientes terrestres e marinhos (Figura 1.1). Está inserida na Microrregião Salineira do RN, também conhecida por Microrregião Macau. O acesso pode ser realizado pela rodovia federal BR – 406, entre a cidade de Natal (capital do Estado) e a cidade de Macau, até o trevo que dá acesso à cidade de Guamaré através da RN – 401. A sede da cidade de Guamaré dista da cidade de Natal cerca de 190 km.

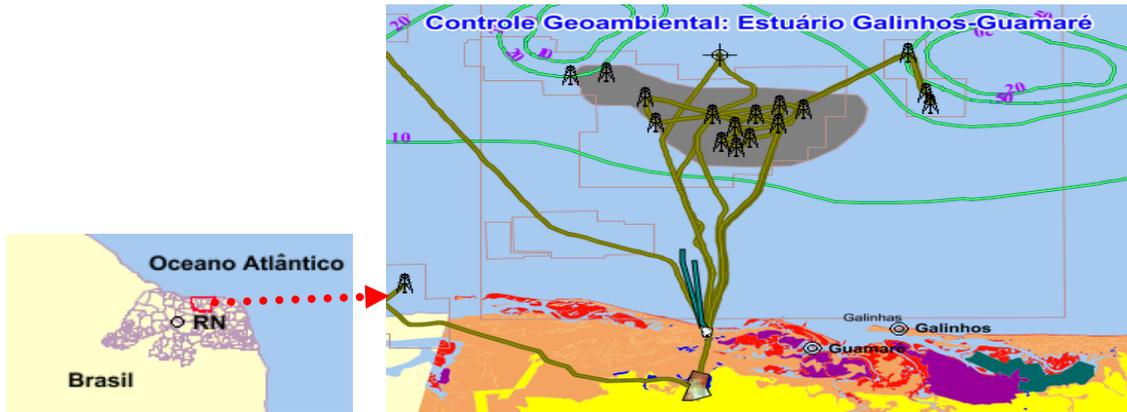


Figura 1.1. Localização da área teste. Pode-se observar a intensa atividade da indústria petrolífera na área costeira de influência dos dutos e emissários do Pólo Petrolífero de Guamaré.

1.5.2 Aspectos Fisiográficos

1.5.2.1 Clima

Nesta região o clima é o semi-árido quente, apresentando altas temperaturas e chuvas escassas, sendo definido por duas estações: uma *estação seca* com período mais longo (de 7 a 8 meses entre junho a janeiro) e uma *estação chuvosa* com período pluvial curto nos meses de fevereiro a maio (período úmido, IDEMA 1999).

Devido à proximidade com o Equador apresenta temperaturas elevadas com média anual de 27,2° C, ultrapassando os 40° C no mês de novembro (período da estação seca), onde a insolação é uma das mais elevadas do Brasil, com médias anuais em torno de 2600 horas/ano e 7,22 horas/diárias, medidas na Estação Meteorológica de Macau/RN entre os anos de 1961 a 1990. Esta situação ocorre devido aos fatores geográficos da região, como a baixa latitude, a baixa altitude, a proximidade do mar e o relevo plano a suavemente ondulado (IDEMA 1999).

1.5.2.2 Hidrografia e Marés

Os rios presentes na área de estudo recebem contribuições do continente por meio de drenagens ativas apenas durante o período chuvoso e com vazões reduzidas. A maioria corresponde a canais influenciados integralmente pela ação das marés, destacando-se nesse caso o chamado Sistema Estuarino de Galinhos-Guamaré. As marés controlam a hidrografia deste litoral, com variação entre a preamar e a baixamar alcançando a máxima de 330 cm e a mínima de 90 cm (Miranda 1983). As marés são do tipo semidiurnas apresentando nível de maré médio da ordem de 133,1 cm, nível médio de maré alta de sizígia de 284,55 cm e a amplitude de maré de quadratura de 127,79 cm (IDEMA 1999). Na região do sistema Galinhos-Guamaré (Lima et al. 2001), as marés e os gradientes de densidade são os principais fatores que afetam o fluxo e a mistura das águas, pois este sistema tem aporte mínimo de águas doces, as tempestades na região são raras, o clima e a temperatura são constantes o ano inteiro. Para esta região, a temperatura média da água do mar é de 28° C, por vezes com 27° C durante o fluxo de maré enchente e com 29° C na maré vazante, sendo de 28° C a temperatura em mar aberto. A salinidade nos canais é alta, cerca de 38,2 %, comparada ao mar aberto (37,2 %), devido à elevada evaporação.

1.5.2.3 Ventos

Na região os ventos sopram predominantemente de E (entre os meses de setembro a abril) e NE (entre os meses de abril a setembro), como indicam a morfologia das dunas eólicas desta região litorânea do RN (Fortes 1987). Os ventos de SE são importantes nos período de maio a agosto, acompanhando a atuação na região do Anticiclone do Atlântico Sul a partir do final do outono, marcando o término da estação chuvosa. A Zona de Convergência Intertropical, definida pela convergência dos ventos alísios dos hemisférios Norte e Sul, passa a atuar do verão ao outono. Fortes (1987) destacou a tendência de orientação E-NE das dunas no segmento E-W da linha de costa da porção oeste do Cabo do

Calcanhar (Figura 1.2). Na região de Macau os produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite) mostram dunas com orientação NE-SW em processo migratório para SW. A velocidade dos ventos, medida na Estação Meteorológica de Macau (NATRONTEC/ECOPLAM 1995) no período de 1961-1990, é maior durante o verão, com máximos da ordem de 8,5 m/s para o mês de outubro e mínimos de 0,7 m/s durante o inverno no mês de abril. Tabosa (2000) realizou medições ao longo das praias de São Bento do Norte-RN durante o mês de novembro de 1999 obtendo velocidades médias de 6,9 m/s, provenientes, sobretudo, de leste. Na área de Galinhos-Guamaré, a velocidade média anual dos ventos é de 5,7 m/s, com ventos menos fortes nos meses de abril a maio (período chuvoso) e ventos mais fortes entre setembro e outubro (Silveira 2002).

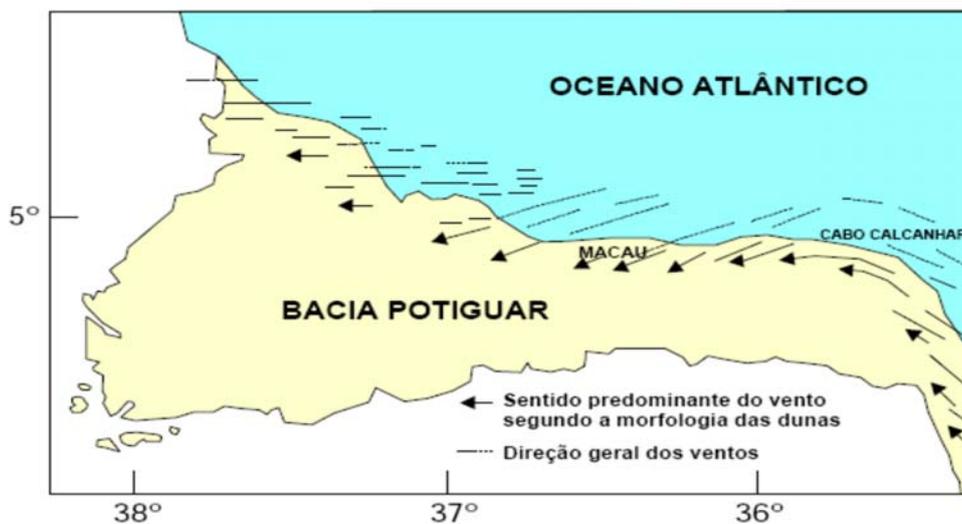


Figura 1.2. Direção predominante do vento na região do litoral Norte do Estado do RN com base em medições efetuadas em estações meteorológicas e direções de dunas. Modificado de Fortes (1987).

1.5.2.4 Ondas e Correntes

Ao se aproximarem da zona costeira, o fluxo das ondas apresenta a mesma direção dos ventos dominantes (NE-E). De acordo com Chaves e Vital (2001), que realizaram o monitoramento com medidas dos parâmetros do meio

físico, no período de novembro de 2000 a junho de 2001 a altura das ondas variou entre 0,125 a 0,722 m, com máximas e mínimas nos meses de novembro e maio, respectivamente. Ainda de acordo com esses autores a média do ângulo de incidência das ondas é de 305° em relação a linha de costa.

Na plataforma externa, a Corrente Norte do Brasil, um ramo da Corrente Sul Equatorial, alcança velocidades superiores a 2,3 m/s para W (Silva 1991). As correntes marinhas formam-se em resposta à ação combinada entre a orientação preferencial EW da linha de costa, a direção preferencial E-SE dos ventos e ao fluxo de ondas provenientes de NE-E, acarretando uma importante corrente de deriva litorânea (*longshore drift*) na direção oeste. Alguns trabalhos sugerem (Lima et al. 2001, Silveira 2002, Souto 2002, Alves et al. 2003) que a direção predominante desta corrente é caracterizada pela orientação EW com migração para W dos pontais arenosos costeiros (*spits*) e canais de maré (*inlets*). As correntes superficiais na região de Macau apresentam velocidades máximas de 1,103 m/s e mínimas de 0,171 m/s para W, nos meses de novembro e maio, respectivamente (Chaves e Vital 2001), variando o ângulo de incidência do *trend* de ondas em relação à linha de costa, numa média de 0,637 m/s.

1.5.3 Contexto Geológico

1.5.3.1 Geologia Regional

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar (Idade Cretácea) que está limitada a oeste pelo Alto de Fortaleza no Estado do Ceará, a sul pelo embasamento cristalino (sobre o qual depositaram-se os sedimentos da Bacia Potiguar) e a norte, nordeste e leste pela cota batimétrica de - 2000 m (Figura 1.3).

A área total da Bacia Potiguar é de 48000 km², sendo 26500 km² na porção submersa e 21500 km² na porção emersa, as quais distribuem-se entre as cidades de Natal e Fortaleza, constituindo, respectivamente, as porções norte e

nordeste dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

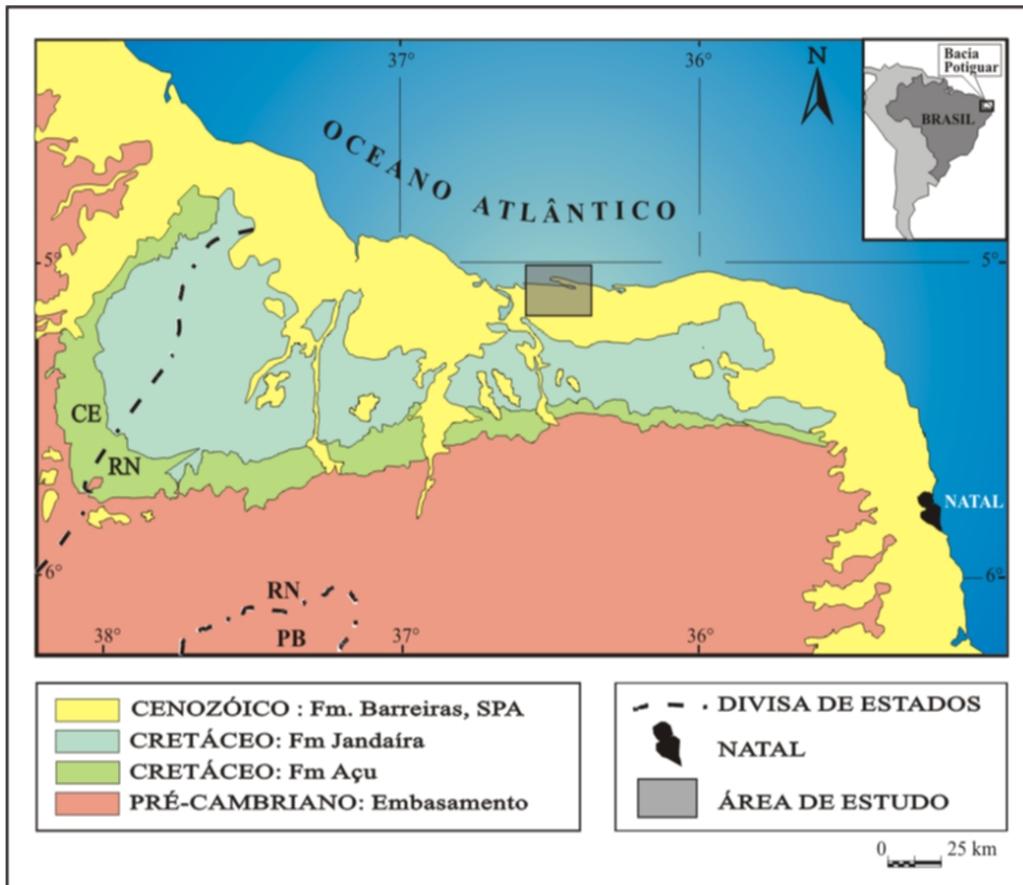


Figura 1.3. Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. SPA, sedimentos de praia e aluviais. Compilado de Dantas (1998).

1.5.3.2 Geologia Local

A geologia descrita para a área mapeada é constituída por rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados (depósitos cenozóicos de sistemas deposicionais costeiros) compreendidos entre o Terciário e o Quaternário. Baseado em trabalhos de campo e nas análises de imagens orbitais foram diferenciados as unidades litológicas apresentadas na Figura 1.4.

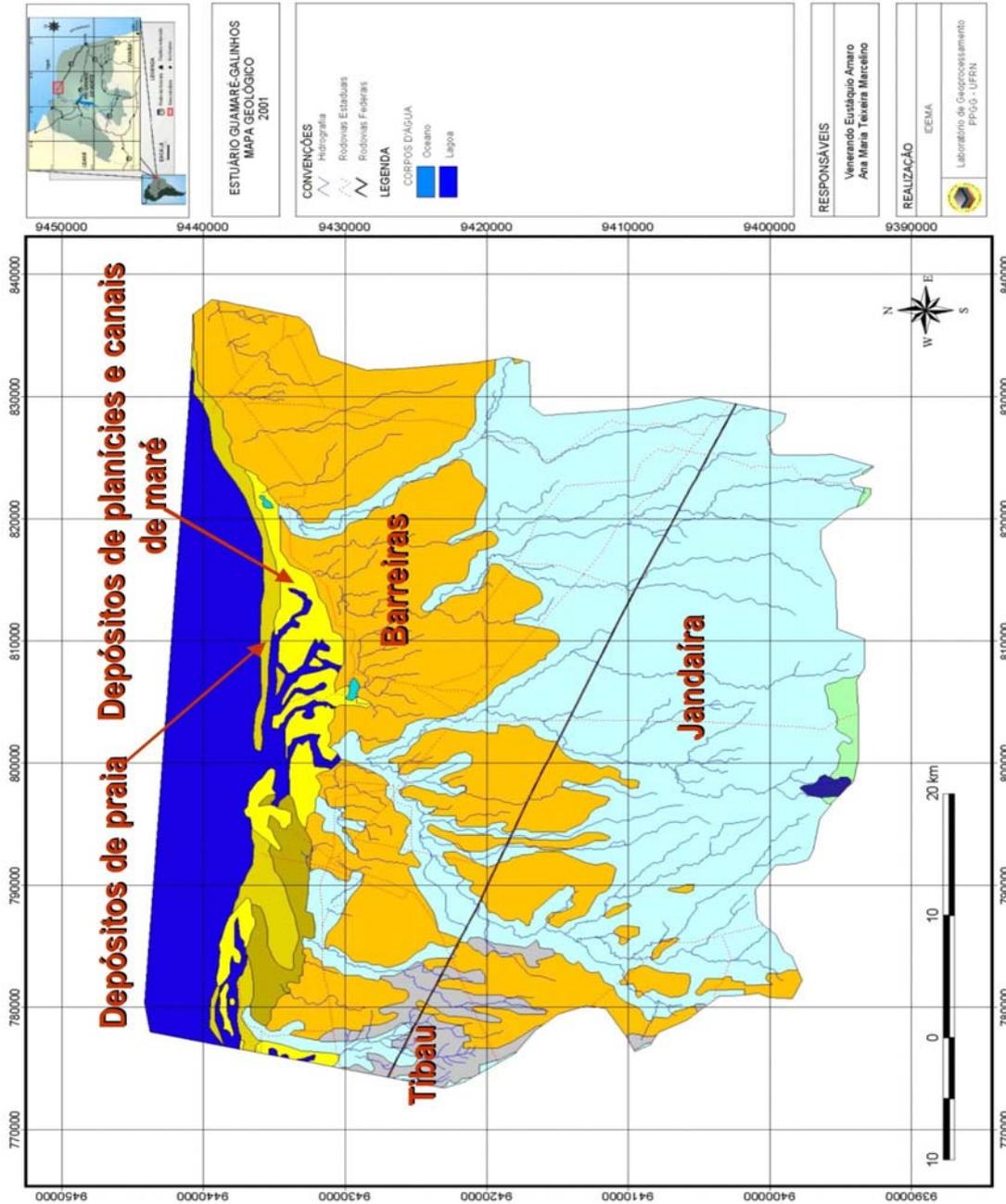


Figura 1.4. Mapa geológico do Estuário Galinhos-Guamaré na escala 1:50.000. Destacam-se os tipos de formações. Compilado de Amaro *et al.* (2002).

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Monitoramento Ambiental e o Derramamento de Óleo

A poluição de corpos d'água marinho por derramamento de óleo (provocada acidentalmente, por exemplo, por vazamentos em grande escala em oleodutos ou em navios petroleiros), um problema de âmbito global, é desde há muito tempo reconhecida como um assunto de extrema importância, pois provoca diversos tipos de impactos, principalmente próximos a regiões costeiras:

- Impactos Econômicos: prejudiciais às indústrias petrolíferas, pesca, turismo e transporte marítimo;
- Impactos sociais: prejuízo às populações economicamente ativas das zonas litorâneas afetadas;
- Impactos ambientais: efeito dos poluentes na biota marinha e em habitat costeiro, degradação das áreas litorâneas mais precárias, incluindo manguezais e várzeas.

A extensão dos efeitos dos impactos provocados por um derrame de hidrocarboneto depende de um conjunto de fatores agravantes, como por exemplo, o volume e propriedade do produto derramado (tipo de óleo e sua composição), condições meteorológicas e oceanográficas durante o derrame (vento, agitação do mar, etc), época do ano, sensibilidade do local e medidas de combate implementadas (recuperação mecânica com barreiras flutuantes de retenção e recolha, utilização de dispersantes químicos, etc).

Num contexto onde haja um derramamento de óleo próximo às zonas costeiras e estuarinas, os ecossistemas e os ambientes costeiros, presentes nessas regiões, ficam totalmente vulneráveis à fonte marinha de poluição. Assim devido ao grande potencial de degradação ambiental, os órgãos responsáveis pelas

tarefas de planejamento e monitoramento ambiental, necessitam analisar os impactos ambientais provocados pelo óleo.

Para a análise dos impactos ambientais¹, faz-se necessário a integração de estudos científicos multidisciplinares e multitemporais através da utilização de técnicas de geoprocessamento. Geoprocessamento é definido como uma tecnologia para planejamento e controle ambiental como também para suporte a tomada de decisão (Bahr e Karlsruhe 1999). Portanto, as técnicas de geoprocessamento possuem importantes ferramentas que podem ser aplicadas no monitoramento e na tomada de decisões voltadas às atividades antrópicas e ambientais, a partir de dados geográficos² (armazenados num Banco de Dados). No processo de monitoramento ambiental quanto ao derramamento de óleo podem ser utilizadas as seguintes ferramentas:

- Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Mapas SAO) - como indicadores da sensibilidade ambiental de áreas potencialmente sensíveis ao contato do óleo; permitindo, assim, tomar medidas para redução das conseqüências ambientais danosas;
- Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) – tecnologia para armazenar, analisar, processar e apresentar / visualizar os dados geográficos necessários no processo de tomada de decisão;
- Modelagem ambiental – utilizando Sistemas de Modelagem e Simulação Numérica (SMSNs) que procuram modelar os fenômenos e eventos dos sistemas ambientais ao longo do espaço e do tempo. No nosso contexto, especificamente, para a determinação da trajetória do óleo, utilizam-se modelos de fluxo (modelos hidrodinâmicos) e modelos

¹ O conceito moderno de impacto ambiental com base em geoprocessamento consiste em estabelecer a sensibilidade de cada ponto do território georreferenciado, diante de uma intervenção humana concreta, e medir o possível impacto ambiental das diversas atividades implementadas pelo homem (Sendra 1992).

² Dados que descrevem entes do mundo real em termos de sua posição (em relação a um sistema de referência espacial), geometria, relacionamentos espaciais (relações topológicas) e atributos (Burrough 1986).

de transporte de contaminantes.

A utilização dessas ferramentas no monitoramento ambiental promove uma análise mais efetiva quanto à vulnerabilidade do local mediante ação do contaminante óleo, permitindo o planejamento adequado das áreas de risco ambiental. Portanto, através da integração conjunta dessas ferramentas, tem-se uma infra-estrutura computacional capaz de diagnosticar os possíveis impactos ambientais, auxiliando, assim, no processo de tomada de decisão quanto às atividades de controle e proteção.

2.2 Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

Uma das ferramentas mais utilizadas na análise de possíveis impactos ambientais e suas conseqüências são as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Cartas *SAO*). As Cartas *SAO* oferecem uma visão espacial ordenada dos parâmetros considerados de grande utilidade para o monitoramento da vulnerabilidade ambiental³ quanto ao contato do óleo.

Segundo MMA (2002) as Cartas *SAO* constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. As Cartas *SAO*, elaboradas pelo Ministério do Meio Ambiente, representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de preservação, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza.

De acordo com MMA (2002) e PETROBRAS (2002), as cartas de sensibilidade incluem três tipos de informações principais: (i) sensibilidade dos

³ A vulnerabilidade ambiental, segundo Tagliani (2002), significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

ecossistemas costeiros e marinhos, (ii) recursos biológicos e (iii) usos humanos e infra-estrutura dos espaços e recursos (atividades socioeconômicas).

Os Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Mapas *SAO*) baseiam-se nas Cartas *SAO* e apresentam características semelhantes. Ademais, os Mapas *SAO*, em desenvolvimento pelo *NOAA* (*National Oceanographic and Atmospheric Administration*) desde a década de 70, são mapas elaborados para aplicação em planos de contingência e situações de emergência em áreas costeiras, disponibilizando informações de suporte a decisão sobre prioridades de proteção e estratégias de limpeza (PETROBRAS 2002).

Portanto os Mapas *SAO*, que mostram como o ambiente e os ecossistemas reagem ao contato do óleo, são utilizados como importantes ferramentas nas seguintes situações (MMA 2002):

- Plano de Contingência: no planejamento de prioridades de proteção, estratégias de contenção e limpeza / remoção e quantificação dos recursos necessários ao combate de derramamentos;
- Planejamento Ambiental: na avaliação de recursos que possam estar em perigo, podendo ser um componente valioso de um estudo de impacto ambiental, auxiliando na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria do petróleo;
- Operações de combate a derramamentos de óleo: possibilitando a avaliação geral de danos e facilitando a identificação dos locais sensíveis, rotas de acesso e quantificação / localização de equipamentos de resposta.

2.3 Sistemas de Informações Geográficas

No monitoramento ambiental, há a necessidade de utilizar ferramentas

que auxiliem os tomadores de decisões na busca por informações que possam favorecer suas atividades. Uma delas de grande importância e que vem revolucionando o modo de analisar o espaço geográfico são os *SIGs*. Esses sistemas, armazenando num Banco de Dados Geográficos (*BDG*) as representações válidas dos meios físicos, fornecem rapidamente, através de análises geográficas sofisticadas, informações para auxiliar no processo de tomada de decisão.

O *SIG* é uma tecnologia em franco processo de desenvolvimento, cuja definição engloba vários aspectos do geoprocessamento, chegando a ser considerado uma ciência e não uma ferramenta (Goodchild et al. 1997). O geoprocessamento, utilizando a potencialidade dos *SIGs*, possibilita a atualização contínua das informações obtidas para análises geográficas, permitindo a realização de simulações de situações consideradas de extrema importância para o monitoramento de determinados impactos (Costa 1999).

Em suma, o *SIG* nada mais é que um conjunto de ferramentas e / ou elementos computacionais / organizacionais composto por *softwares*, *hardwares*, dados, métodos e pessoas no auxílio ao armazenamento, análise e apresentação das informações geográficas. O *SIG* permite explorar os dados armazenados num *BDG*, transformando-os em conhecimento e informação necessária em diversas áreas do conhecimento.

Devido a sua aplicação em várias áreas, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um *SIG* (Câmara e Medeiros 1998):

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um *BDG*, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Essas funções permitem ao *SIG* uma abrangência maior, tornando-se uma tecnologia de investigação científica utilizada por profissionais de diversos campos do saber. O seu futuro tende a ser cada vez mais multidisciplinar, onde cartógrafos, geólogos, geógrafos, analistas de sistemas, engenheiros agrônomos, engenheiros civis, dentre outros necessitarão dele como ferramenta indispensável de trabalho (Castro 2002).

É importante observar que a tecnologia de *SIG* depende umbilicalmente de um *BDG*, importante infra-estrutura computacional implementada através de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (*SGBD*), para armazenamento e recuperação de informações geográficas de maneira rápida e segura (Souza 2004).

Essa dependência ocorre a algumas décadas, onde os Bancos de Dados tornaram-se o componente central dos Sistemas de Informações (*SI*), tanto do ponto de vista de projeto, quanto do ponto de vista de operação. De forma geral os *SIGs* são vistos como um caso especial de *SI*, pois a principal diferença de um *SIG* para *SI* convencionais é sua capacidade de armazenar e analisar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos.

Tendo em vista que os dados geográficos possuem um custo espetacular e constituem a base fundamental dos *SIGs*. É natural, portanto, o projeto e operação dos *SIGs* seguirem o mesmo rumo dos *SI*, adotando os *BDGs* como ponto central da arquitetura.

2.4 Modelagem Ambiental

Os processos ambientais no mundo real são geralmente bastante complexos e são tipicamente tridimensionais e dependentes do tempo. No estudo de sistemas geofísicos, a modelagem ambiental, através de sofisticados modelos ambientais abstratos, vem sendo utilizada como ferramenta que reproduz com

maior representatividade o meio dinâmico e, também, os processos envolvidos nos complexos sistemas naturais.

Os modelos, considerados representações simplificadas da realidade, estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender, além do meio ambiente, o impacto das mudanças ocorridas e prever alterações futuras. Nos últimos anos tais estudos ambientais cresceram em qualidade e popularidade devido, principalmente, aos avanços tecnológicos, que permitiram o uso de computadores pessoais (*PCs*) na realização do grande volume de cálculo dos modelos, anteriormente processados apenas por super computadores de grandes instituições.

Entretanto, é importante reconhecer que um modelo ambiental é, no melhor caso, apenas uma representação dos processos do mundo real (Steyaert 1993); ou seja, os modelos ambientais são apenas uma aproximação simplificada da realidade modelada, servindo como referência mais ou menos apropriada do que é reproduzido.

2.4.1 Processo de Modelagem Ambiental

Adaptado de (Rosman 2001), o processo de modelagem ambiental pode ser sintetizado a seguir (Figura 2.1), ilustrando os vários tipos de modelos utilizados até a obtenção de um modelo computacional que represente os processos ambientais.

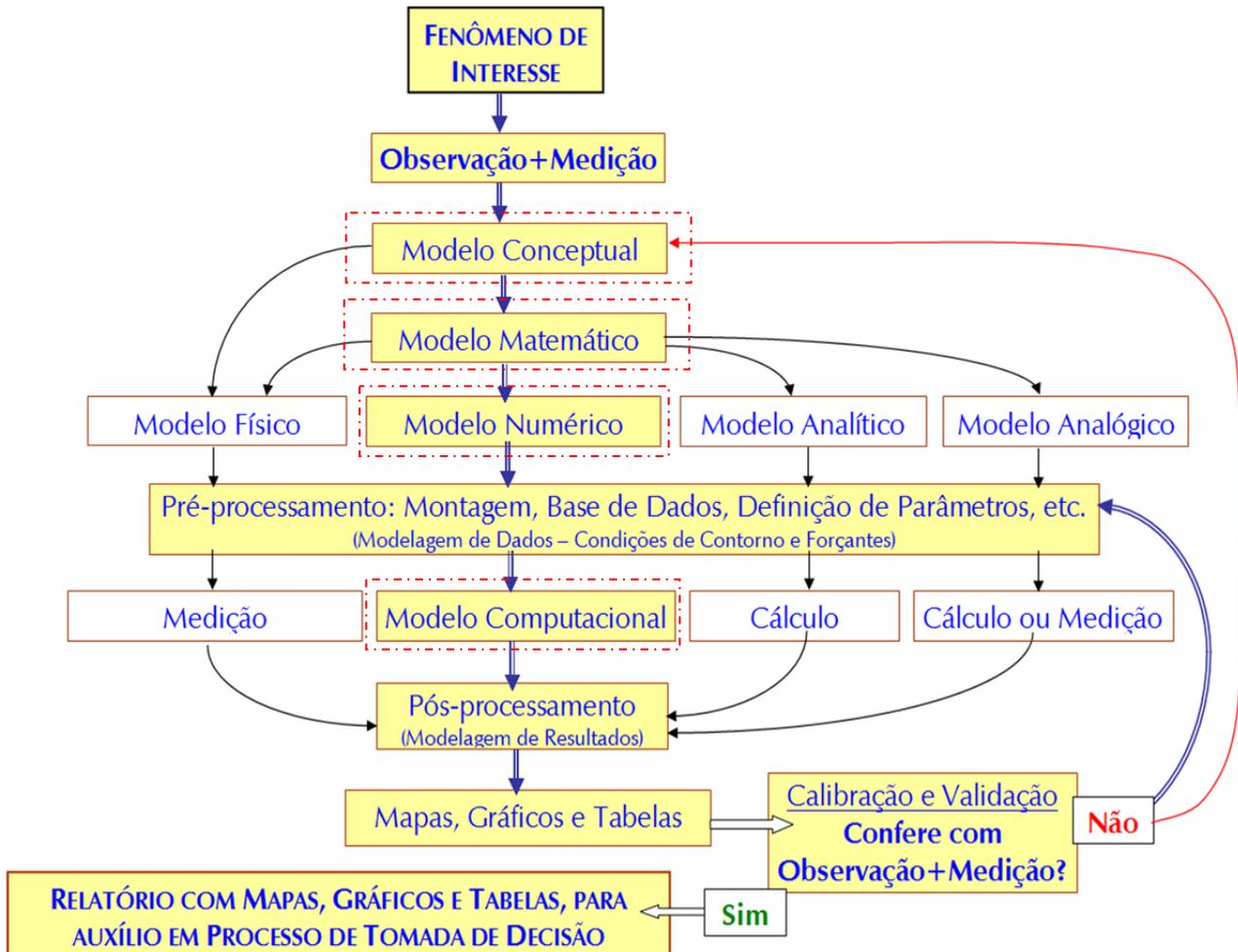


Figura 2.1. Em vermelho, destacam-se os modelos utilizados na dissertação (Rosman 2001).

O modelo conceptual é o primeiro e mais fundamental dos modelos. A modelagem conceptual corresponde a formar, na mente do modelador, a concepção do fenômeno / processo observado, conhecer suas causas e efeitos, definir as escalas espaço-temporais, compreender as interações e relevância dos agentes intervenientes na sua ocorrência, como também, suas interações com as condições ao seu redor. Assim, para a concepção desse modelo conceptual, devem ser efetuadas observações e medições do fenômeno / processo de interesse, de forma a obter conhecimento qualitativo e quantitativo sobre o mesmo.

O modelo matemático consiste na tradução do modelo conceptual do fenómeno de interesse para a linguagem matemática; ou seja, traduzir a formulação física do fenómeno / processo que se quer modelar, baseado em leis universais ou empíricas, em uma formalização matemática.

O modelo numérico é uma tradução do modelo matemático adaptado-o para os diferentes métodos de cálculo, por exemplo, diferenças finitas, volumes finitos e elementos finitos. Portanto, os modelos numéricos implicam geralmente na mudança do espaço contínuo para o discreto, onde aplicam-se filtros de forma a tentar obter soluções numéricas para as equações governantes do fenómeno / processo que se modela.

A última etapa é a transformação do modelo numérico para o modelo computacional. O modelo computacional é a tradução do modelo numérico para um código computacional que possa ser compilado e executado em um computador; compondo, assim, um ambiente computacional chamado Sistema de Modelagem e Simulação Numérica (*SMSNs*).

É importante observar que para cada etapa de tradução há uma perda de informação embutida. Basta observar a representação dos fenómenos / processos naturais através da linguagem científica da física e / ou da matemática que produz uma simplificação da realidade (perda de informação). Assim, torna-se necessário conhecer as aproximações e limitações dos modelos, de forma a poder interpretar quão próxima está a solução apresentada pelo modelo computacional e a “solução” que a natureza apresenta.

E mesmo que o fenómeno / processo fosse muito bem modelado teríamos erros de representação, pois esbarraríamos nas limitações impostas pelos meios computacionais devido à necessidade de processar um enorme espaço de soluções (por exemplo: para modelagem do comportamento de fluidos geofísicos e sua interação com o meio, teríamos que representar cada molécula do fluido através de uma malha de pontos extremamente refinada; portanto, uma

malha de cálculo que exige uma enorme quantidade de processamento computacional não viável na prática).

2.4.2 Importância dos Sistemas de Modelagem e Simulação Numérica

Sistemas de Modelagem e Simulação Numérica (*SMSNs*) são ferramentas indispensáveis à gestão e ao gerenciamento de sistemas ambientais (por exemplo, corpos de água naturais), pois permitem (Rosman 2001):

- Otimização de custos de monitoramento e medição, integrando e interpolando informações espacialmente dispersas, permitindo, desta forma, um conhecimento mais completo das regiões sem medições;
- Entender processos dinâmicos para diversas condições ambientais, ajudando na interpretação de medições feitas em estações pontuais;
- Prever situações simulando cenários futuros (Modelagem Preditiva), por exemplo, na determinação de destinos prováveis, para as horas seguintes, de contaminantes acidentalmente derramados.

Portanto, *SMSNs* são ferramentas integradoras que expandem a compreensão dos experimentos e métodos feitos de forma tradicional, promovendo uma visão dinâmica dos processos presentes nos complexos sistemas ambientais.

2.4.3 Integração entre SIG e SMSN para Monitoramento Ambiental

Cada vez mais, nos atuais *SMSNs* responsáveis pelo monitoramento e previsão de impactos ambientais, vem sendo utilizada uma infra-estrutura computacional para auxiliar a resolução dos complexos problemas relacionados. Para compor essa infra-estrutura, vem se destacando a utilização dos *SIGs* como

plataformas de integração que permitem compilar, organizar e analisar dados, facilitando, assim, a calibração dos modelos ambientais, bem como, o seu processamento e a apresentação dos resultados finais (Tsou e Whitemore 2002).

Os *SIGs*, utilizando técnicas recentes, disponibilizam a transferência das informações georreferenciadas, armazenadas no *BDG*, diretamente para os *SMSNs* (que as utilizam nas importantes etapas de pré e pós-processamento). Através dessa associação, obtém-se um importante ambiente computacional de suporte a decisão espacial para os projetos de monitoramento ambiental.

2.5 Tomada de Decisão Espacial

O processo de tomada de decisão é um aspecto importante no planejamento, na gerência e principalmente nas atividades operacionais das organizações responsáveis pela preservação ambiental. A tomada de decisão é a etapa final de todo um processo que objetiva solucionar problemas referentes ao monitoramento ambiental.

Esses problemas se apresentam de forma mal estruturada e, na maioria das vezes, são grandes e complexos (apresentam comportamento espaço-temporal de difícil tratamento). Assim, normalmente nesse tipo de contexto, o tomador de decisão apresenta capacidades cognitivas limitadas e tem diante de si uma variedade de desafios, que dependem de uma série de complexos fatores (Hendriks e Vriens 1995):

- Geográficos: processa-se variáveis que apresentam não apenas atributos alfanuméricos mais feições geográficas;
- Temporais: a maioria das variáveis apresentam um aspecto temporal de difícil modelagem e tratamento;
- Organizacionais: necessidade de uma eficiente estrutura organizacional, bem como, de uma grande soma de recursos para solução dos

problemas referentes ao espaço geográfico;

- Sociais: eficientes / experientes tomadores de decisão na equipe de trabalho;
- Técnicos: necessidade de uma equipe especialista e de um aparato tecnológico altamente eficiente.

O processo de tomada de decisão, associado ao monitoramento ambiental onde a localização geográfica representa critério de decisão, pode ser chamado de tomada de decisão espacial. A tomada de decisão espacial, efetuada no domínio dos sistemas geográficos⁴, tenta solucionar os problemas geográficos⁵ que se manifestam de forma caótica e imprevisível.

2.5.1 Problema Geográfico e Sistema Geográfico

Podemos compreender um problema geográfico formado por três domínios distintos (Figura 2.2):

- domínio do problema: representa todos os fatores relacionados aos aspectos geográficos e temporais do problema geográfico;
- domínio humano / estrutural: representa todos os fatores relacionados aos aspectos sociais e organizacionais do problema geográfico;
- domínio da tecnologia: representa todos os fatores relacionados aos aspectos técnicos e ao aparato tecnológico do problema geográfico.

⁴ Sistemas geofísicos / ambientais associados a um contexto espaço-temporal (posicionamento geográfico e tempo de observação / utilização).

⁵ Classe de problemas em que ocorrem eventos / fenômenos prejudiciais, estritamente referentes ao espaço geográfico.

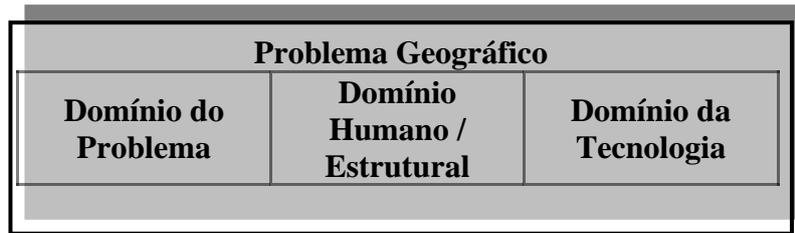


Figura 2.2. Domínios dos problemas geográficos.

Para trabalharmos nestes domínios altamente complexos, domínios dos problemas geográficos, é necessário adotarmos uma abordagem sistêmica, onde decomposmos o sistema geográfico grande e complexo em subsistemas menores e mais fáceis de analisar. Segundo Chorley e Kennedy (1971), o sistema geográfico pode ser decomposto em dois subsistemas (Figura 2.3):

- **Sistema Morfológico:** representa a porção reconhecível da realidade física como, por exemplo, o sistema viário de uma cidade, o sistema de rios numa bacia hidrográfica, o sistema de escolas de uma rede escolar estadual, o sistema de postos de saúde, o relevo topográfico, e outros. Os componentes desse sistema são comumente conhecidos como entidades, feições geográficas, geo-objetos e geo-campos. A ênfase é na representação espacial desses componentes, seus relacionamentos topológicos e atributos associados;
- **Sistema em Cascata:** representa o caminho percorrido pelo fluxo de massa ou energia quando esta se transfere de um componente do sistema para outro; por exemplo, fluxo de drenagem hídrica, fluxo de trânsito e fluxo climático. Esse sistema é bem mais dinâmico que o morfológico, representando o comportamento dinâmico da massa ou energia que circula pelo sistema geográfico. A ênfase é dada na modelagem do comportamento dinâmico da massa ou energia.

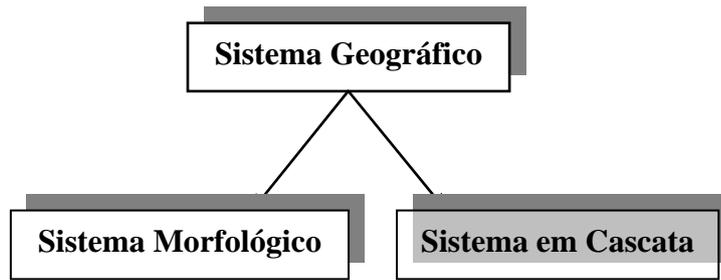


Figura 2.3. Subsistemas do sistema geográfico.

Nas aplicações de geoprocessamento pode-se considerar que o sistema em cascata existe sempre associado ao sistema morfológico. A “massa”, presente no sistema em cascata como o fluxo de massa, pode representar elementos físicos do sistema morfológico, por exemplo, pessoas, automóveis, ar ou água.

Nesse processo, a “massa” entra e sai de subsistemas, percorre trajetórias limitadas por restrições e assim define o seu comportamento espacial. Essa dinâmica comportamental é estudada por especialistas que buscam desenvolver modelos matemáticos e/ ou numéricos representativos dos sistemas geográficos. Esses modelos, integrados nas ferramentas de modelagem ambiental, são úteis para previsão de comportamentos e auxílio ao planejamento de ações futuras.

2.5.2 Geotecnologias de Apoio à Decisão Espacial

O domínio da tecnologia, de um problema geográfico, surge como importante aparato de suporte ao decisor, que a utiliza por todo o processo de tomada de decisão espacial.

Nesse domínio, os Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (*SADE*) são as principais tecnologias de suporte as decisões baseadas em dados geométricos e posicionais (Neto 2000). Segundo Armstrong, Densham e Rushton (1986), os *SADEs* vêm sendo utilizados como arcabouço teórico para o desenvolvimento de sistemas computacionais, voltados para apoio a processos decisórios sobre

problemas geográficos.

O aparecimento do conceito de *SADE* está relacionado com a necessidade de expansão das capacidades dos *SIGs* para a resolução de problemas complexos de decisão espacial (Densham 1991). Uma dessas capacidades seria a disponibilização de modelos computacionais para simulação numérica.

Os *SADEs*, formados por uma agregação de tecnologias para localização, análise, estratégia e predição, apresentam arquitetura composta por um componente de *software* que representa os modelos numéricos do sistema em cascata e um outro componente de *software* que representa o conhecimento do domínio referente ao sistema morfológico (Figura 2.4):

- Componente que representa os modelos numéricos: os *SMSNs* e seus Bancos de Modelos (*BM*) que armazenam, num *SGBD*, os valores obtidos e parâmetros⁶ / configurações dos modelos numéricos que representam o comportamento dinâmico do sistema geográfico;
- Componente que representa o conhecimento do domínio: o *SIG* e seu *BDG*.

⁶ Valores para as equações matemáticas do modelo computacional. Representa as propriedades fixas do sistema geográfico, como por exemplo, a rugosidade do fundo. Eventualmente esses parâmetros podem variar no espaço e mesmo no tempo.

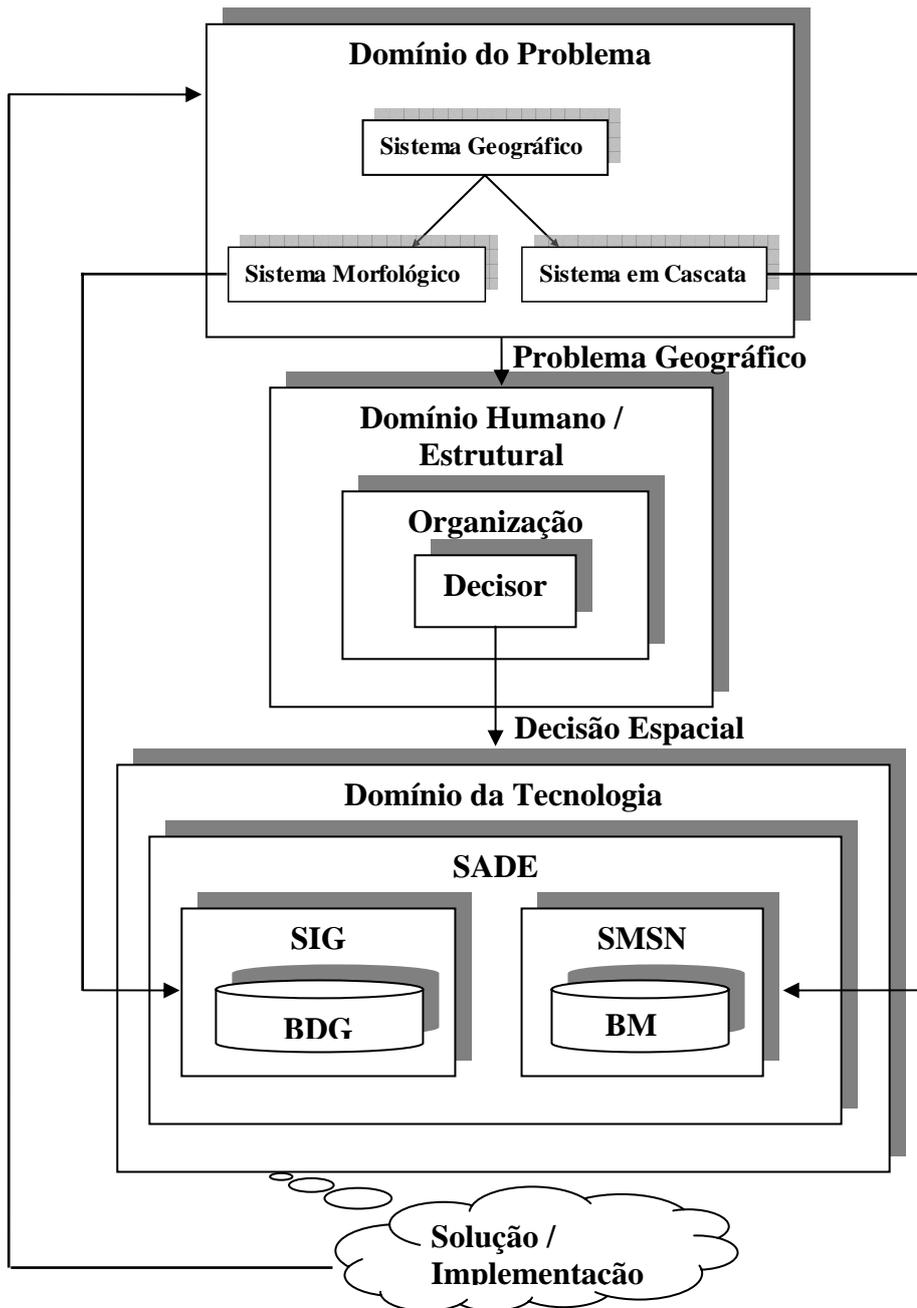


Figura 2.4. Interação entre os domínios dos problemas geográficos e componentes da arquitetura *SADE* através de uma abordagem sistêmica para solução de problemas geográficos. Adaptado de Neto (2000).

Assim os *SADEs*, representando uma recente área explorada no campo dos sistemas de informações da Ciência da Computação, incluem ferramentas de manipulação, análise e síntese de dados, capacidade de modelagem numérica de sistemas em cascata, interfaces gráficas e gerador de relatórios.

2.5.2.1 Estratégias para Integração dos Componentes do SADE e Implicações Tecnológicas

SADEs são sistemas especialmente projetados visando vários domínios de atuação; para o domínio de aplicação ambiental, temos seu projeto arquitetural todo baseado na integração dos *SIGs* e *SMSNs*, que é a abordagem tecnológica mais comum para o projeto de desenvolvimento. Segundo Neto e Rodrigues (2000), temos quatro tipos de integração, implementados através de um Sistema Controlador de Integração (*SCI*), que é o responsável pelo controle da integração na arquitetura do *SADE* (Figura 2.5):

- acoplamento livre: *SADE* formado por três componentes de *software* independentes (*SIG*, *SMSN* e *SCI*) integrados através de uma interface arquivo; ou seja, toda a integração se baseia através da troca de dados contidas no arquivo de transferência⁷;
- acoplamento próximo: *SADE* formado por dois componentes de *software* independentes (*SIG* e *SMSN*), sendo o *SCI* parte do *SIG*, integrados através de uma interface arquivo;
- acoplamento rígido: *SADE* formado por dois componentes de *software* independentes (*SIG* e *SMSN*), sendo o *SCI* parte do *SIG*, integrados através da comunicação direta de dados entre os mesmos;
- acoplamento pleno: *SADE* formado por um único componente de *software* (*SIG* inteiramente acoplado com um *SMSN* e um *SCI*)

⁷ Arquivo no padrão ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*).

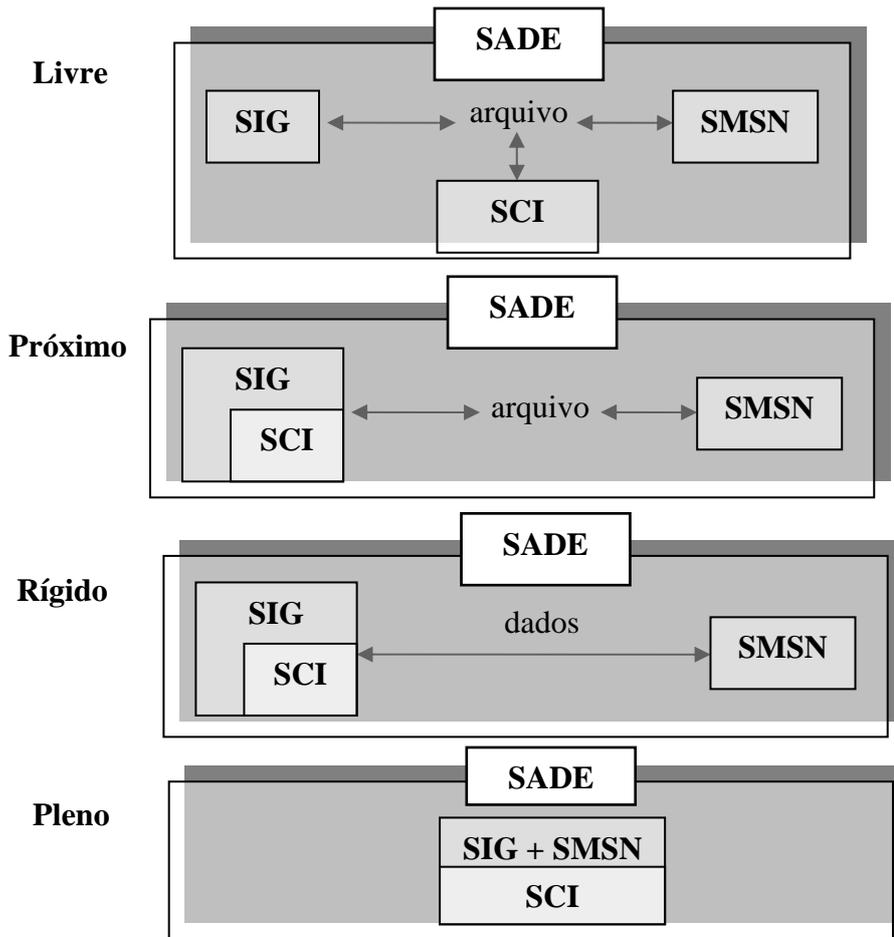


Figura 2.5. Tipos de integração (Livre, próximo, Rígido e Pleno) para implementar SADE. Fonte (Neto e Rodrigues 2000).

Os esforços empreendidos na integração dos SIGs e dos SMSNs são relativamente recentes, porém mostram-se essenciais e necessários como demonstram, nos dias atuais, os sistemas computacionais de várias empresas comerciais. Esses sistemas, baseados nessas duas ferramentas base e no desenvolvimento de interconexões entre os mesmos, compreendem uma tecnologia de informação que além de simples gerenciadores de dados geográficos, podem também efetuar, do ponto de vista dinâmico, análises e simulações complexas.

A indústria desses sistemas procura integrar, num único ambiente computacional, *softwares* existentes que implementam as ferramentas base, no

sentido de reduzir custos, tempo de desenvolvimento e promover uma integração semântica dos conceitos.

É importante observar, para esses tipos de integração apresentados acima, que na integração de *softwares* já desenvolvidos (*SIG* e *SMSN*), há uma maior necessidade de intervenção nos códigos dos mesmos partindo do acoplamento livre para o acoplamento pleno. Esse fato é verificado pela maior necessidade de programação adaptativa quanto mais os *softwares* precisarem trabalhar de forma totalmente integrada. Essa programação adaptativa exige maiores esforços e conhecimentos devido à falta, comumente encontrada, de um ambiente amigável de programação junto as ferramentas base do *SADE*.

Por outro lado, porém, observa-se que há uma maior facilidade de utilização conjunta / integrada desses *softwares* partindo do tipo livre para o pleno; pois o acoplamento pleno promove, de forma transparente num único ambiente computacional, uma convergência semântica dos conceitos envolvidos nas duas ferramentas base.

Portanto, a integração *SIGs* e *SMSNs* no atual estágio de desenvolvimento, se mostra uma área de pesquisa interessante e de perspectivas significativas, uma vez que em ambos os segmentos ainda não foram alcançados o total amadurecimento tecnológico que permitisse um pleno trabalho integrado.

CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL (SADE)

3.1 Introdução

O roteiro metodológico proposto para o desenvolvimento de um sistema computacional (um ambiente *SIG* com características de *SADE*) para monitoramento ambiental dos sistemas costeiros do litoral setentrional do Estado do RN é apresentado na Figura 3.1. Os *SADEs*, compostos pela integração entre um *SIG*, Mapas *SAO* e um *SMSN*, visa compreender e avaliar os impactos ambientais provocados por derrames de óleo em corpos d'água costeiro. O capítulo 4, seguindo o roteiro metodológico, mostrará os resultados do ambiente integrado. Nos próximos tópicos, será apresentada uma descrição resumida do que deve ser feito em cada etapa proposta pelo roteiro metodológico.

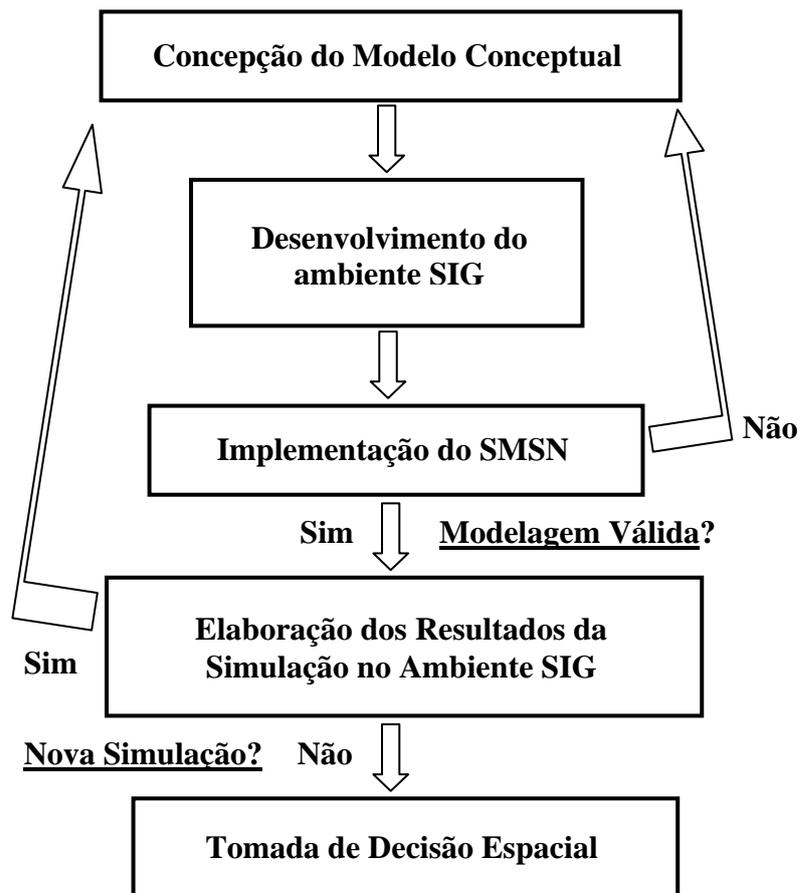


Figura 3.1. Roteiro metodológico proposto para o desenvolvimento e implementação de um sistema computacional.

3.2 Concepção do Modelo Conceptual

O passo inicial é especificar claramente o domínio de atuação; ou seja, compreender o problema a ser estudado, delimitando a área de estudo e identificando a problemática envolvida. Depois desse esclarecimento inicial, será feita uma caracterização geral da área e seus fenômenos atuantes, através da organização dos dados bibliográficos e coletados em campo, visando o entendimento do sistema ambiental a ser modelado.

O objetivo é elaborar um Modelo Conceptual que represente, de forma simples, a realidade apresentada, permitindo a definição do domínio do modelo, o tipo de corpo d'água a ser modelado, as condições iniciais e de contorno e as entradas e saídas de água do sistema. O Modelo Conceptual corresponde um entendimento global, formando em nossa mente, do problema em questão, podendo ser ou não explicitamente formalizado.

Quanto mais bem estabelecido for o Modelo Conceptual do sistema ambiental, melhor será a interpretação e análise do funcionamento do sistema, resultando uma melhor modelagem ambiental para o domínio de atuação.

3.3 Desenvolvimento do Ambiente SIG

Consiste na estruturação do ambiente *SIG* (*SADE* para o contexto), responsável pela infra-estrutura de processamento e armazenamento dos dados e Mapas *SAO* do domínio, visando o tratamento dos conceitos / entidades e dados levantados no Modelo Conceptual. Para isso é necessário efetuar um projeto de desenvolvimento, objetivando: a sistematização dos dados / parâmetros utilizados posteriormente pelo *SMSN* e o processamento / armazenamento dos resultados do processo de simulação numérica. O projeto de desenvolvimento do ambiente *SIG* passará basicamente por quatro fases:

- Escolha da metodologia de desenvolvimento de software e das

tecnologias de informação;

- Construção da arquitetura de armazenamento (modelagem do *BDG* através dos modelos de dados: conceitual, lógico e físico);
- Construção dos componentes de software (por exemplo, o desenvolvimento da interface gráfica responsável pela visualização, navegação e consultas aos dados geográficos). E por fim, desenvolvimento da arquitetura de software do ambiente *SIG*;
- Confecção dos Mapas *SAO* (que serão armazenados no *BDG*).

3.4 Implementação do *SMSN*

Essa etapa consiste em implementar um *SMSN* para a simulação preditiva da trajetória do óleo derramado. O *SMSN* será desenvolvido através da configuração e calibração de um programa de computador que, contendo os algoritmos adequados para resolver de forma numérica os modelos matemáticos (modelo hidrodinâmico e modelo de transporte de contaminantes), foi escolhido para representar o modelo computacional do domínio de atuação. Em seguida, será apresentada uma descrição resumida das fases necessárias para o desenvolvimento do *SMSN*.

3.4.1 Escolha do *SMSN*

Essa fase corresponde a escolha da melhor ferramenta que represente o *SMSN* para o domínio de atuação.

3.4.2 Pré-processamento

Essa fase efetua a discretização espacial e temporal do domínio da modelagem utilizada no *SMSN*; ou seja, definir, para o processamento

computacional, os contornos geométricos (geometria dos corpos de água e terra com as fronteiras abertas e fechadas); a malha de elementos finitos relacionada e a escala de tempo para a simulação.

Também, condizente com os fenômenos observados, temos a definição: das condições de contorno (condições iniciais nas fronteiras abertas) através dos valores que representam as forçantes atuantes no sistema (ventos, correntes de maré, diferença de fase da maré e descarga de rios); dos parâmetros úteis para modelagem de corpos d'água (batimetria e rugosidade do fundo) em cada nó da malha.

Neste ponto observamos a importância do ambiente *SIG*, onde possivelmente estão armazenados e, portanto, disponíveis todos ou alguns dados e parâmetros de entrada. Os dados do *BDG*, a serem utilizados pelo *SMSN*, podem ser fornecidos pelo Sistema Controlador de Integração caso o mesmo tenha sido desenvolvido.

3.4.3 Simulação

Essa fase consiste em duas subfases: a modelagem das condições hidrodinâmicas da área de estudo e a simulação da dispersão do poluente óleo. A simulação das condições hidrodinâmicas é feita após o pré-processamento do modelo hidrodinâmico e a simulação da dispersão do poluente após o pré-processamento do modelo de transporte Lagrangeano.

Portanto, tomando como base os resultados da circulação hidrodinâmica da área de estudo, esta fase consiste na quantificação da resposta do *SMSN* a simulações de futuros eventos (Modelagem Preditiva) através de análises probabilísticas, por exemplo, a probabilidade de passagem do óleo numa determinada região.

3.4.4 Verificação

A verificação tem por objetivo avaliar, através do conjunto dos parâmetros coletados em campo (formalmente validado por um processo sistemático de calibração), se o modelo ambiental desenvolvido descreve de forma precisa os processos físicos que ocorrem no meio, verificando, assim, sua confiabilidade.

Se o modelo for considerado validado e representativo da realidade modelada, o processo de modelagem ambiental termina com os resultados sendo armazenados no *SIG* (próxima etapa). Mas caso o modelo não seja validado, entra-se no processo de calibração (volta para a etapa de Concepção do Modelo Conceptual) para corrigir os possíveis erros de modelagem.

3.5 Elaboração dos Resultados da Simulação no Ambiente SIG

O *SMSN*, representando coerentemente o domínio de atuação, disponibiliza uma grande quantidade de dados quantitativos como resultados do processo de modelagem ambiental. Para uma melhor análise dos dados é necessário organizá-los adequadamente no ambiente *SIG*. Esse ambiente, representando os dados do *BDG* através de mapas, gráficos, tabelas e arquivos de animações, ajudará na compreensão e utilização dos mesmos.

Esta etapa objetiva a incorporação dos resultados no *SIG*, através do *SCI*, aumentando, portanto, o acervo de informações a serem consideradas no processo de tomada de decisão espacial.

Nessa etapa, caso seja necessário, o *SCI* será desenvolvido, através de uma estratégia para integração dos componentes do ambiente *SIG*, visando o fornecimento dos dados da simulação para o *BDG*.

Se houver necessidade de um novo contexto de simulação, o processo

de modelagem ambiental volta para a etapa de Concepção do Modelo Conceptual. Caso contrário passa-se para o processo de tomada de decisão espacial (etapa seguinte).

3.6 Tomada de Decisão Espacial

O ambiente computacional, tendo incorporado o(s) resultado(s) da(s) fase(s) de simulação do derrame de óleo, efetua um melhor monitoramento dos impactos ambientais através da análise integrada desse(s) resultado(s) nos Mapas SAO (disponíveis no BDG do SIG). O processamento analítico realizado, através desse ambiente computacional, provê informações necessárias para análise de situações, identificação de tendências e padrões de informação que possibilitem a eficácia no processo decisório. Portanto, em ocasiões de acidentes ambientais, utilizando este ambiente SIG (SADE), é possível realizar eficientes ações decisórias direcionando recursos de resposta ao derrame.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO AMBIENTE INTEGRADO

4.1 Introdução

Para o estudo de situações de derramamento de óleo no litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, será aplicada a metodologia (proposta no capítulo 3) para a construção de um ambiente computacional *SIG* de característica *SADE*. O desenvolvimento do *SADE*, focado no domínio da tecnologia de suporte ao decisor, é baseado na integração de subsistemas que visam compreender e avaliar os impactos ambientais provocados por derrames de óleo em corpos d'água costeiro.

4.2 Concepção do Domínio

Esta primeira etapa se configurou numa etapa de preparação, onde foram realizados estudos específicos das referências bibliográficas existentes sobre a área de estudo, visando um entendimento geral do domínio geoambiental (descrito no capítulo 1), bem como, a atuação da indústria petrolífera sobre o domínio.

4.3 Ambiente *SIG*

Esta etapa consiste no desenvolvimento de um ambiente *SIG* que seja eficiente no monitoramento geoambiental e sirva de sistema base para o desenvolvimento do *SADE*. Esse ambiente *SIG* foi desenvolvido através da reestruturação do *SWIGG* versão 1.0 (Sistema Web de Informações Geográficas e Geoambientais) (Souza 2004), objetivando sua adaptação para os propósitos da presente dissertação (versão 2.0 do *SWIGG*), e da construção de um sistema automatizador de Mapas *SAO* (o *AutoMSA* - Automatizador de Mapas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo). O *SWIGG* foi escolhido, principalmente, por sua arquitetura de *software* totalmente aberta que proporciona uma evolução funcional / adaptativa satisfatória, permitindo,

portanto, uma maior integração com outras tecnologias de informações (*AutoMSA* e *SMSN*).

O *SWIGG* é um *SIG* de arquitetura distribuída (infra-estrutura abrangente para aplicações centradas na *Web*) que visa transferência de tecnologia / informações aos responsáveis pelo monitoramento geoambiental. Desta forma, o *SWIGG* viabiliza estudos que permitam identificar, avaliar, eliminar ou minimizar os efeitos negativos das atividades antrópicas presentes no espaço estuarino e costeiras do litoral norte do Estado do RN.

Em Souza (2004) há uma descrição detalhada do processo de desenvolvimento do *SWIGG* versão 1.0 (descrição do domínio de atuação, delimitação do escopo, definição dos requisitos, estrutura da aplicação e etc), bem como, da modelagem, tipos de dados e construção do seu *BDG* - o Banco de Dados Geográficos Ambientais (*BDGA*).

4.3.1 Metodologia e Tecnologias

Nessa fase, temos uma breve descrição da metodologia de desenvolvimento de *software* e tecnologias de informações escolhidas para desenvolver o *SWIGG* versão 2.0 e o *AutoMSA*. Serão mostradas as principais tecnologias para a publicação das informações geográficas na *Web* (através das tecnologias da plataforma *J2EE*¹ da linguagem de programação *Java*), como também, será feita uma descrição das tecnologias utilizadas para tratamento dos dados geográficos (conjuntos de ferramentas da Oracle Corporation: *SGBD* objeto-relacional *Oracle 9i*, *Oracle Spatial 9i*, *Oracle9iAS MapViewer* e *Oracle interMedia*).

¹ *Java 2 Enterprise Edition*. *J2EE* provê suporte para aplicações empresarias / corporativas e distribuídas (processadas em larga escala em máquinas servidoras).

4.3.1.1 RUP

- Metodologia de desenvolvimento de *software* – o *RUP* (*Rational Unified Process* da Rational Software Corporation – <http://www.rational.com>), um *framework* genérico para processos configuráveis de desenvolvimento de *software*, pode ser configurado para ser usado eficientemente em vários tipos de projetos de *software*. O *RUP* apresenta as seguintes características: implementa as seis boas práticas de desenvolvimento (desenvolvimento iterativo, gerenciamento de requisitos, arquitetura componentizada, modelagem visual, verificação contínua de qualidade, controle de mudanças); apresenta características de metodologias consolidadas (Cascata, Prototipação e Espiral). O *RUP* é constituído por um conjunto de processos caracterizados por serem orientados a casos de uso, centrados na arquitetura, iterativos e incrementais (Booch, Rumbaugh e Jacobson 1999).

4.3.1.2 Tecnologias

- *Java* (<http://java.sun.com>) - compreende além de uma moderna linguagem de programação orientada a objetos, uma plataforma completa projetada para oferecer soluções para os principais desafios inerentes ao desenvolvimento de aplicações em ambientes heterogêneos e distribuídos (Sun Microsystems 1994). A Sun Microsystems desenvolveu uma plataforma *Java* para atender aos diferentes ambientes computacionais. Temos então a *Java 2 Platform*, que reúne três novas edições *Java*: *Java 2 Standard Edition (J2SE)*, *Java 2 Enterprise Edition (J2EE)* e *Java 2 Micro Edition (J2ME)*;
- Ambiente de desenvolvimento do *software* - *Oracle Jdeveloper 9i*, um *IDE* (*Integrated Development Environment*), facilita a escrita de código

Java de vários tipos e a construção da camada de objetos de acesso ao Banco de Dados, através do *JDBC (Java DataBase Connectivity) – API*² responsáveis pelo acesso ao banco a partir de chamada de métodos;

- *Servlets* - classes *Java*, desenvolvidas de acordo com uma estrutura para aplicações *HTTP*³ bem definida que, quando instaladas numa máquina servidora que contenha um *Servlet Container*⁴ (ou *Web Container*), podem tratar requisições recebidas de *browsers Web*, através do protocolo da *HTTP*, devolvendo a resposta do processamento numa página *HTML*⁵. A presente dissertação utiliza o *Web Container OC4J (Oracle Container for J2EE)* da Oracle Corporation;
- *JSP (Java Server Pages)* - criadas para contornar algumas das limitações no desenvolvimento com *Servlets*. Se em um *Servlet* a formatação da página *HTML* resultante do processamento de uma requisição se mistura com a programação da lógica da aplicação em si, dificultando a alteração dessa formatação, em uma página *JSP* essa formatação se encontra separada da programação, podendo ser modificada sem afetar o restante da aplicação. Assim, um *JSP* consiste de uma página *HTML* com alguns elementos especiais, que conferem o caráter dinâmico da página. Esses elementos podem tanto realizar um processamento por si, como podem recuperar o resultado do processamento realizado em um *Servlet*, por exemplo, e apresentar esse conteúdo dinâmico junto a página *JSP*;
- *Javascript* - linguagem de programação criada pela Netscape Communications Corporation (<http://www.netscape.com>) para

² *Application Program Interface (API)*.

³ *HTTP (HyperText Transfer Protocol)* - protocolo de transferência de hipertexto, usado nas páginas *WWW* da *Internet*. Ou seja, é um protocolo de comunicação cliente-servidor utilizado para navegação de páginas *Web* na *Internet*.

⁴ Sistema servidor que permite a execução de *Servlets*, muitas vezes chamado de Servidor de Aplicações *Java*.

⁵ *HTML (Hyper Text Markup Language)* - código de linguagem para escrever páginas *Web* que veiculam textos e imagens na *Internet*.

promover recursos avançados em páginas *Web* em conjunto com a linguagem *HTML*, por exemplo, validar dinamicamente formulários e botões de seleção no navegador do cliente;

- Sistema Gerenciador de Banco de Dados (*SGBD*)⁶ – O *Oracle 9i* – <http://otn.oracle.com>, ferramenta da Oracle Corporation para implementação de Banco de Dados corporativos. O *Oracle 9i* armazena e acessa os dados de forma consistente e segura usando um modelo de dados objeto-relacional;
- *Oracle Spatial* - a Oracle Corporation lançou, em 1995, uma versão de seu *SGBD* objeto-relacional *Oracle 9i* com uma extensão para tratamento de entidades geo-espaciais. Esta extensão, o *Oracle Spatial* - <http://otn.oracle.com/products/spatial/index.html>, contém um conjunto de funcionalidades e procedimentos que permite armazenar, acessar e analisar dados espaciais em um banco de dados Oracle. Seu modelo de dados consiste em uma estrutura hierárquica de elementos (*Point*, *LineString* e *Polygon*), geometrias e planos; onde planos são compostos por geometrias, que por sua vez são compostas por elementos. Uma geometria pode ser formada por um único elemento ou por um conjunto homogêneo (*MultiPoint*, *MultiLinesString* ou *MultiPolygon*) ou heterogêneo (*Collection*) de elementos. E, finalmente, um plano é formado por um conjunto de geometrias que possuem os mesmos atributos. Como o *Oracle Spatial* utiliza o modelo de dados objeto-relacional, uma dada geometria é armazenada em um objeto chamado *SDO_GEOMETRY* (contendo a geometria em si, suas coordenadas, e informações sobre seu tipo e projeção). Assim, numa tabela espacial, os atributos alfanuméricos da geometria são definidos como colunas de tipos básicos (*VARCHAR2*, *NUMBER*, etc) e a geometria, como uma coluna do tipo *SDO_GEOMETRY*;

⁶ *SGBD* é um conjunto de programas para criação, gerenciamento e manutenção de banco de dados.

- *Oracle Application Server MapViewer* (ou simplesmente, *MapViewer*) <http://otn.oracle.com/products/mapviewer/index.html> - complementa o *Oracle Spatial* provendo um mecanismo genérico, baseado na *web*, para processar, navegar e visualizar dados geográficos mapeados pelo *Oracle Spatial*. O *MapViewer* prove um poderoso serviço de visualização e busca aos dados geo-espaciais. O *MapViewer*, escrito totalmente em *Java* e executado na arquitetura *J2EE* (roda dentro do *OC4J*), oferece aos desenvolvedores de aplicações *web* um versátil mecanismo para integrar e visualizar dados geo-espaciais, no formato vetorial, através de um mapa (Murray 2003). Através de componentes *Java* “*Java Client API*” (*MapViewer JavaBean-Based API*), os desenvolvedores da aplicação tem acesso, de forma transparente, aos complexos recursos de busca / navegação aos dados geográficos, como também aos recursos de visualização cartográfica;

- *Oracle interMedia* - recurso do *Oracle9i* para processar, armazenar e consultar informações em arquivos (dados não estruturados, por exemplo: Imagens de Satélite, Fotográficas Aéreas, Mapas de Sensibilidade Ambiental, Documentos e arquivos de GIF animado) (Ward 2001). Aplicações *Java*, utilizando os recursos oferecidos pelos tipos de objetos do *Oracle interMedia* (*OrdDoc* e *OrdImage*) através do *Oracle interMedia Java Classes*, podem facilmente ser construídas, disponibilizando sistemas computacionais robustos de tratamento integrado aos dados não estruturados e aos dados alfanuméricos.

4.3.2 Arquitetura de Armazenamento

Essa fase consiste na construção dos modelos de dados conceitual e lógico do banco de dados do ambiente *SIG*; atividade de extrema importância e cautela no projeto do *BDG*. Um modelo de dados é uma descrição dos tipos de informações que serão armazenadas no banco de dados (Heuser 2001).

Durante essa fase, é necessário identificar todos os objetos do mundo real que de alguma forma estarão presentes no cenário de derramamento de óleo. É uma descrição geral desses objetos envolvidos e os relacionamentos existentes entre eles.

Como o desenvolvimento do ambiente *SIG* está todo baseado na reestruturação do *SWIGG*, a construção da arquitetura de armazenamento foi desenvolvida a partir do modelo de dados inicial do *BDGA* (o *BDG* do *SWIGG*). Assim, foi feita uma adaptação dos modelos conceitual, lógico e físico do *BDGA* para os propósitos do ambiente *SIG*. As figuras 4.1 e 4.2 mostram os diagramas entidade-relacionamento da modelagem lógica (para o modelo de dados relacional) produzidos nessa fase.

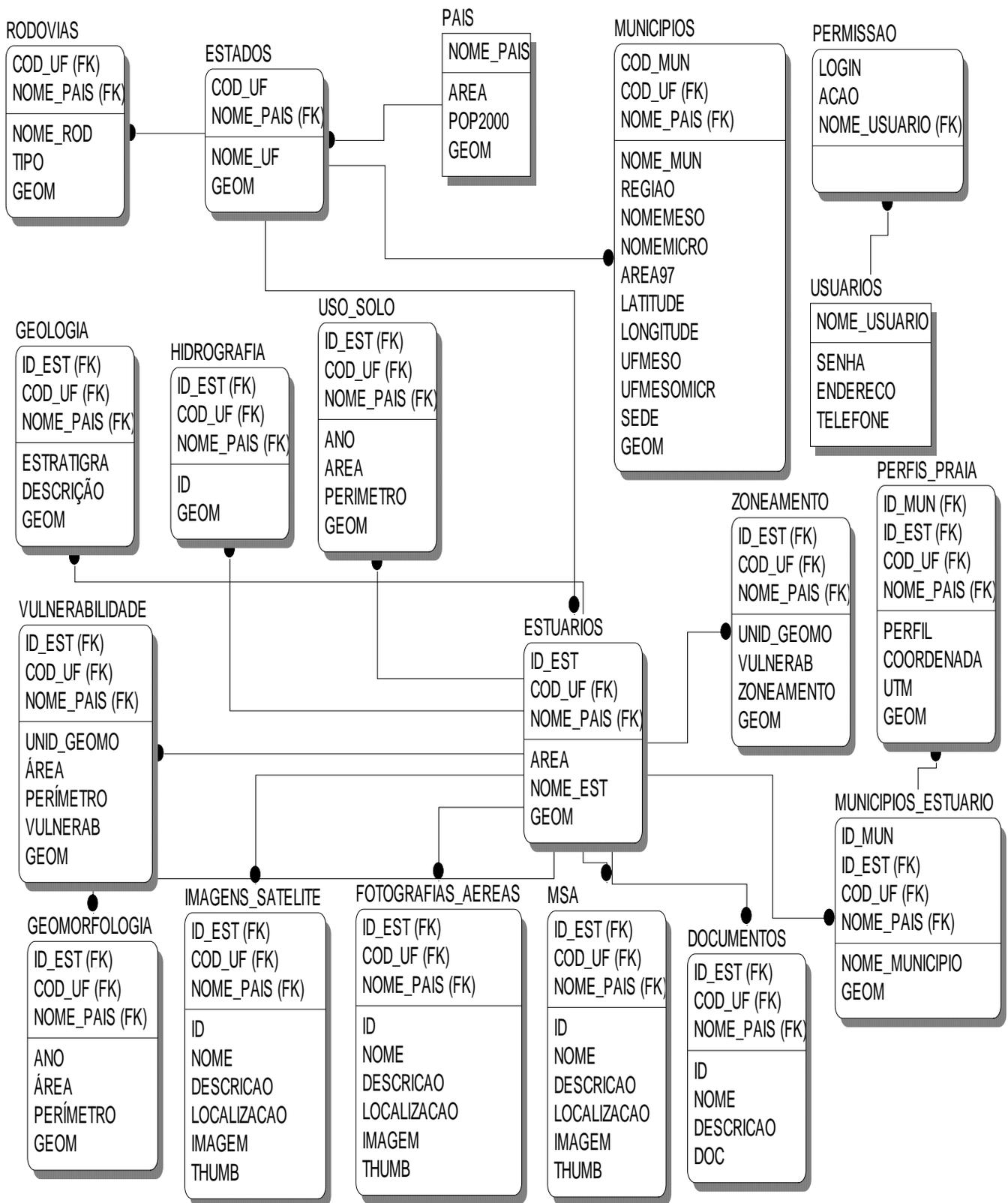


Figura 4.1. Diagrama do Modelo Lógico (referente aos dados do SWIGG que serão armazenados no *BDGA*).

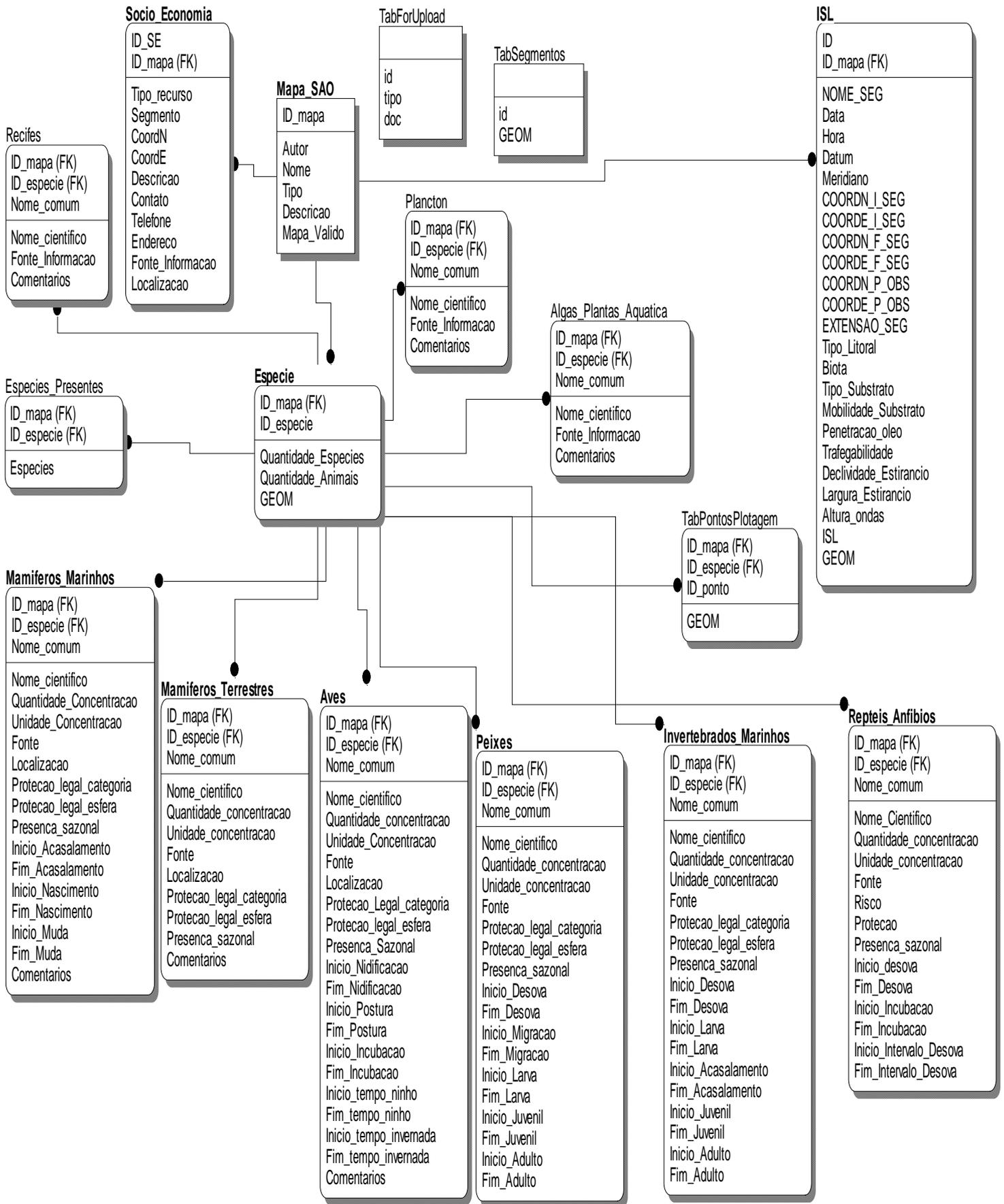


Figura 4.2. Diagrama do Modelo Lógico (referente aos dados do AutoMSA que

serão armazenados no BDGA).

4.3.3 Componentes e Arquitetura do Ambiente SIG

A aplicação SIG, o SWIGG, tendo como função principal o acesso ao Banco de Dados Geográfico (BDG) – o BDGA, apresenta componentes de *software* que implementam a interface gráfica responsável pela visualização, navegação e consulta aos dados geográficos. Para efetuar as consultas, o sistema disponibiliza uma navegação pictórica interativa de acesso ao BDGA, ou seja, as informações geográficas poderão ser selecionadas através de apontamentos em mapas temáticos digitais, promovendo acesso ao dado com base em sua localização. Assim as requisições são processadas pelo servidor que devolve a resposta em forma de mapa, tabelas ou relatórios.

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam *screenshots*⁷ ilustrativos do SWIGG, mostrando algumas funcionalidades como: seleção de temas (Planos de Informação, Feições, Geometrias do Mapa SAO e Simulação-Derrame-Óleo) e legendas (feições básicas, geoambiental e biota), lista de dados geoambientais e dados da simulação de derrames de óleo, consultas geográficas, barra de navegação que permite ao usuário navegar pelo mapa (*zoom*, *pan*, escala de trabalho, localização geográfica e identificação de atributos).

⁷ Formato de imagem instantânea – *on-line*.

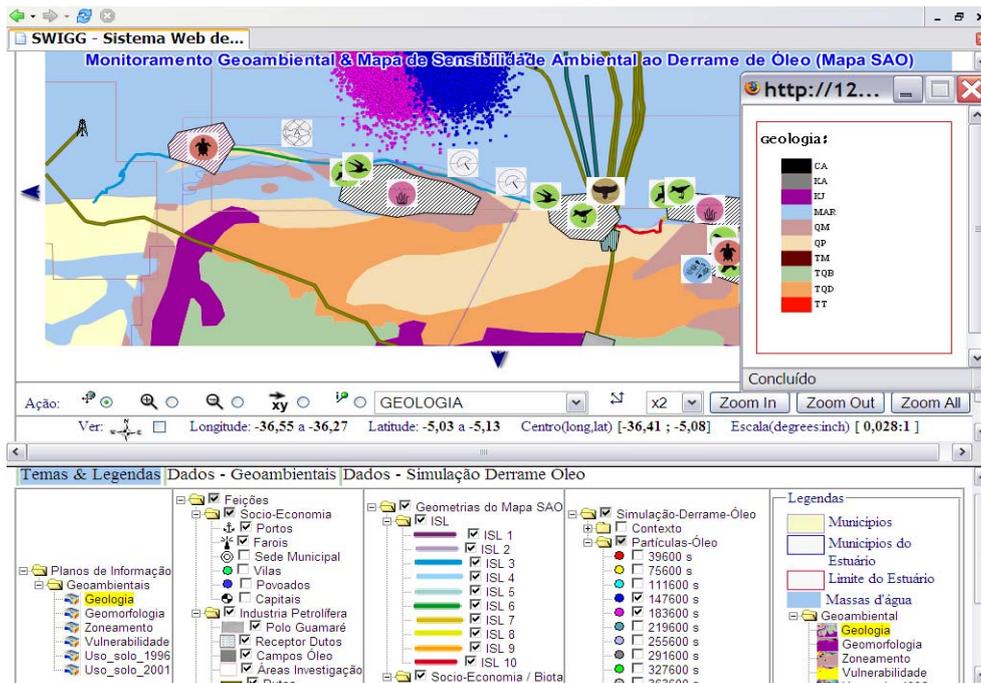


Figura 4.3. SWIGG on-line adaptado para o contexto SADE.

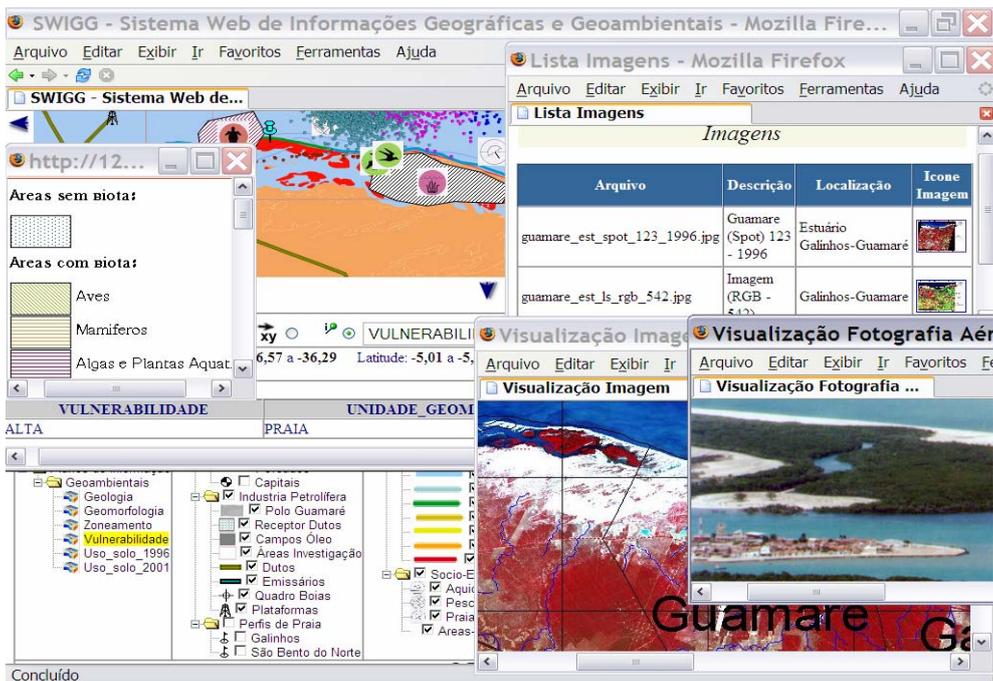


Figura 4.4. Telas do SWIGG on-line.

A arquitetura de *software* para as aplicações *SWIGG* e *AutoMSA*, arquitetura *MVC* (*Model View Controller*) de três camadas para geração de conteúdo dinâmico na *Web*, possui as seguintes camadas (Souza 2004) (Figura 4.5):

- Camada de Visualização: efetua a interface com usuário enviando dados ao navegador *Web* padrão. Tem-se nessa camada o envio de código *HTML* e *JavaScript* para um navegador *Web* (camada do usuário), que ao processar tais códigos organiza e controla a interface da aplicação. A camada de visualização possibilita a visualização dos dados, por exemplo, através dos mapas de objetos geográficos, imagens no formato de dados *PNG* embutidas nos arquivos *HTML*, gerados pela camada de controle, bem como disponibiliza o mecanismo de consulta aos mesmos;
- Camada de Controle (decide como a solicitação do cliente deve ser tratada e que informação deve ser retornada): nessa camada temos o servidor para o protocolo *HTTP* (*container Web OC4J*) com capacidade de executar *Servlets Java* e páginas *JSP*, que permanecem em execução no servidor aguardando por solicitações dos clientes, possuindo a capacidade de atender diversas solicitações simultaneamente. Os *Servlets* e páginas *JSP's* interagem, através do uso da “*Java Client API*”, com o *Oracle9iAS MapViewer* para efetuar a navegação e consulta aos dados geográficos que estão armazenados na camada de recurso (banco de dados no *SGBD Objeto-relacional Oracle 9i*);
- Camada de Modelo: camada que acessa, através de componentes de *software JavaBeans* (responsáveis pelo acesso à base de dados através do *JDBC*), a camada de recurso para gerenciamento e armazenamento dos dados geográficos.

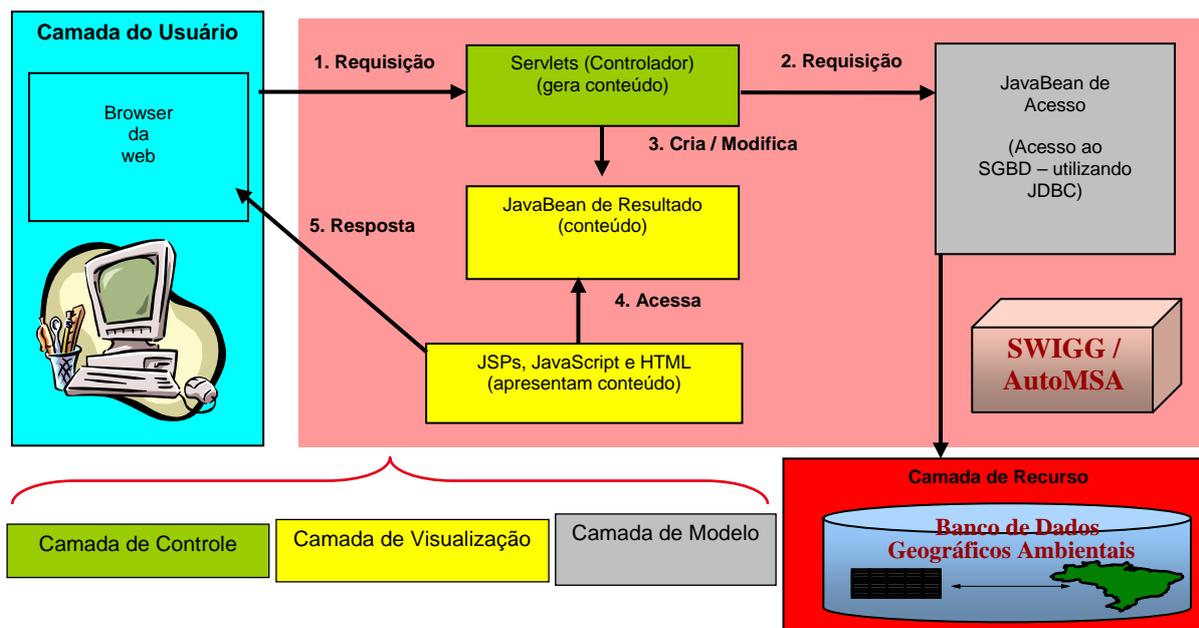


Figura 4.5. Arquitetura do *SWIGG / AutoMSA* em camadas, mostrando a seqüência de interação dos principais componentes.

4.3.4 Confeção dos Mapas SAO

A confecção dos Mapas SAO se processa através do *AutoMSA*, que disponibiliza no ambiente SIG tais mapas para a análise integrada com as respostas da simulação do derrame de óleo. Portanto, esta fase se constituiu no desenvolvimento do *AutoMSA*.

A automação do processo de confecção dos Mapas SAO justifica-se pelo fato de diminuir as tarefas manuais do usuário e deixar que o sistema processe as informações de entrada, gerando como resultado mapas que possam ajudar na contenção de limpeza e planejamento de contingência caso ocorra um derramamento de óleo na costa. Essa automação tende a produzir os mapas digitais com mais rapidez, confiança e precisão nos dados.

A confecção utilizando o *AutoMSA* se baseia em três informações que serão armazenadas no BDGA do SWIGG. Essas informações são fornecidas pelos usuários através de formulários de entrada: Índice de Sensibilidade do Litoral

(ISL), Dados Biológicos e Dados Socioeconômicos. O processamento dessas informações segue os seguintes passos:

- Entrada de Dados - Para gerar o ISL o usuário deve fornecer os *arquivos shape*⁸ dos segmentos da costa (representado por feições de linha), como também, preencher formulário de entrada contendo informações sobre data, tipo do litoral, biota existente, tipo de substrato (além de penetração do óleo, mobilidade e trafegabilidade), declividade e largura do estirâncio, exposição à energia de ondas e marés; Para gerar os dados Biológicos o usuário deve fornecer os *arquivos shape* com os polígonos onde existe biologia e a identificação de quais espécies existem em cada polígono; Na geração dos dados socioeconômicos o usuário deve fornecer *arquivos shape* com os recursos socioeconômicos existentes e informações detalhadas (tipo, descrição, contato, telefone, endereço, fonte de informação e localização);
- Processamento dos Dados - Na geração do ISL, o sistema avalia os dados inseridos, principalmente o tipo de litoral de cada segmento. Essa informação é peça-chave na determinação do ISL. Definido cada ISL, o sistema atribui uma cor para cada um deles, de acordo com a tabela de cores definida em MMA (2002); Na designação dos dados biológicos, para cada polígono de entrada, se houver mais de uma espécie o polígono recebe a cor preta, caso exista uma única espécie o polígono recebe uma cor pré-determinada tomando como base o tipo de espécie. Uma vez que o usuário identifica os animais existentes em cada polígono, cada um deles possui um ícone específico e o *AutoMSA* insere esses ícones representativos dentro do polígono. Assim, todas as áreas

⁸ Arquivos *shape* (também conhecidos por *shapefiles*) são arquivos que possuem um formato especial para armazenar informações de localização geográfica e atributos de feições geográficas (ponto, linha e polígono). Um *shapefile* é um formato de arquivo usado pelo *ArcView* da ESRI Corporation. Basicamente o formato *shapefile* define as informações das feições geográficas através de três extensões de arquivos: *.shp* – o arquivo que armazena a geometria das feições; *.shx* – o arquivo que armazena o índice da geometria das feições; *.dbf* – o arquivo *dBASE* que armazena os atributos alfanuméricos das feições.

com biologia terão os animais existentes representados em forma de ícones; Na socioeconomia, depois das atividades existentes serem inseridas pelo usuário, o *AutoMSA* substitui cada uma delas pelo seu respectivo ícone. Dessa forma, todas essas informações são representadas em forma gráfica pelo sistema;

- Saída de Dados - O *AutoMSA* gera como resultado final um mapa temático digital apresentando: a sensibilidade da área requisitada pelo usuário, através das cores do *ISL* (numa escala de 1 a 10); a biologia existente, com as áreas hachuradas e os ícones das espécies existentes; e a socioeconomia também representada através de ícones.

As Figuras 4.6 a 4.10 apresentam *screenshots* ilustrativos do *AutoMSA*, mostrando exemplos do processamento da entrada e saída de dados.

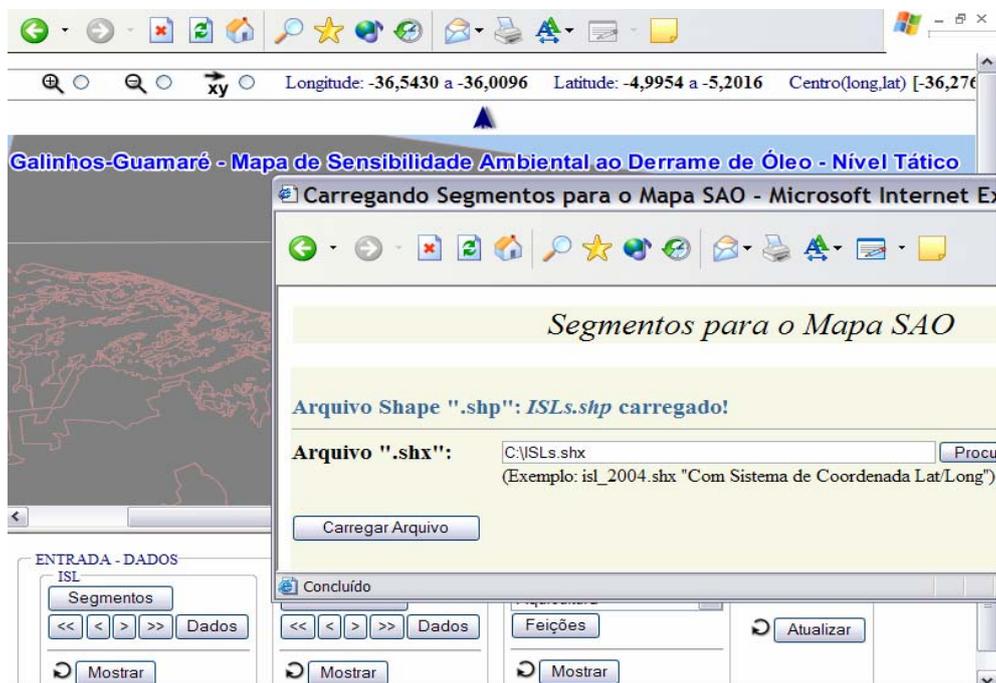


Figura 4.6. *AutoMSA on-line*, mostrando a entrada dos arquivos *shape* para o *ISL*.

The screenshot shows a web-based data entry form titled "Dados do segmento". It includes several sections for data collection:

- Nome:** RNGN 0287 -S
- Data - Hora da Inspeção:** Data: 8 / 10 / 2005, Hora: 8 : 22 AM
- Coordenadas UTM:** Datum: SAD 69, Meridiano: 234 °, Início: CoordN: 9437972, CoordE: 773074, Fim: CoordN: 775445, CoordE: 9439591
- Coordenadas do Ponto de Observação:** CoordN: 773074, CoordE: 9439591, Extensão: 2100 m
- Características Ambientais:** Tipo de Litoral: Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários), Biota: Coberto de algas e outros organismos
- Substrato:** Tipo: Areia, Mobilidade: Baixa
- Penetração do Óleo:** Altamente permeável (menor ou igual a 100 cm), Trafegabilidade: Baixa trafegabilidade de ve
- Faixa Intermaré (Estirâncio):** Declividade da Praia: média (entre 5 e 30 graus), Largura: Larqa
- Ondas:** Tamanho Médio das Onda

Figura 4.7. AutoMSA on-line, mostrando a entrada de dados para o ISL pelo formulário.

The screenshot displays the AutoMSA on-line interface. At the top, it shows the map title "Galinhos-Guararé - Mapa de Sensibilidade Ambiental ao Derrame de Óleo - Nível Tático" and coordinates: Ação: Longitude: -36,4190 a -36,2857, Latitude: -5,0614 a -5,1129, Centro(long,lat) [-36,3524 ; -5,0872]. The map shows a coastal area with various icons representing different environmental features. Below the map, there are navigation controls like "Zoom In", "Zoom Out", and "Zoom All".

An "Entrada de dados para a área de biota" window is open, showing "Dados Biológicos" with the question "Qual(is) espécie(s) existente(s)?" and a list of bird species:

- Aves
- Aves marinhas
- Aves aquáticas
- Aves limícolas
- Aves de rapina

At the bottom, there are three tabs: "ENTRADA - DADOS" (with sub-tabs for ISL and SOCIOECONOMIA), "BIOTA" (with sub-tab for Áreas Biota), and "SOCIOECONOMIA" (with sub-tabs for Hotéis and Feições). Each tab has a "Mostrar" button.

Figura 4.8. AutoMSA on-line, mostrando a entrada de dados para a Biota.

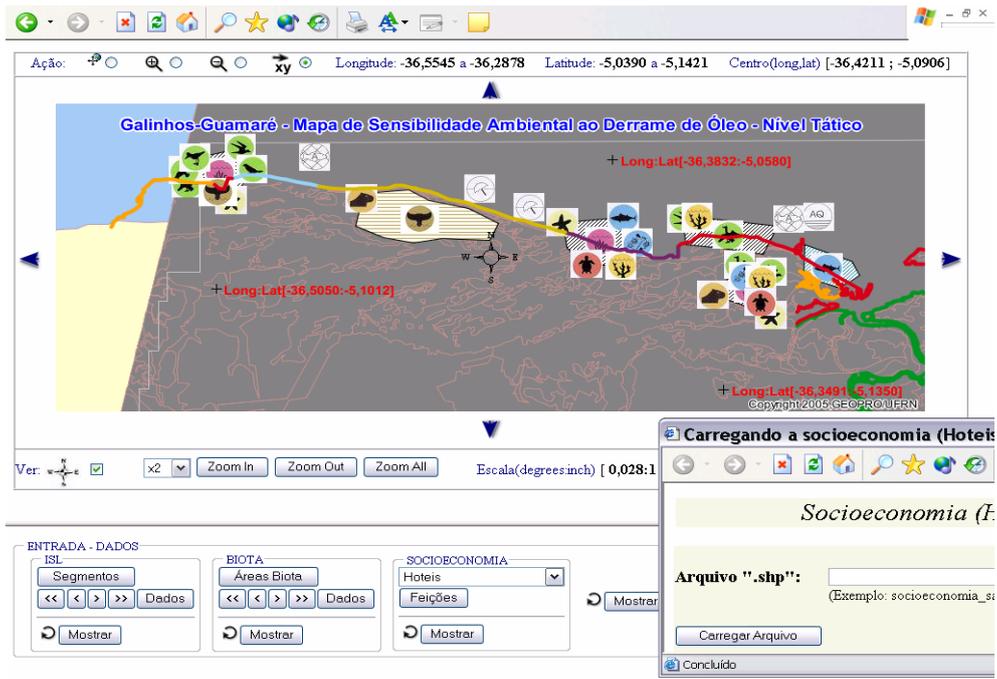


Figura 4.9. AutoMSA on-line, mostrando a entrada de dados para a Socioeconomia.

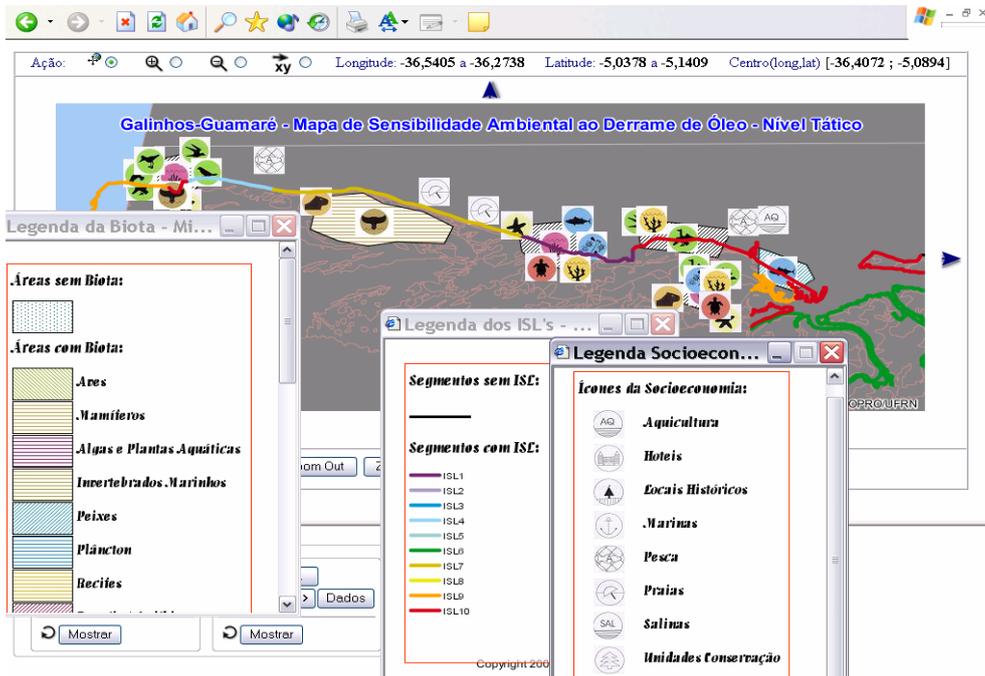


Figura 4.10. AutoMSA on-line, mostrando a saída de dados (ISL, Biota e Socioeconomia).

4.4 Implementação do SMSN

Tendo sido desenvolvido o ambiente *SIG* como sistema base para o *SADE*, falta apenas a implementação do *SMSN* e sua integração como o ambiente *SIG* para completar o desenvolvimento do *SADE*.

4.4.1 Escolha do SMSN

Como não é objetivo da presente dissertação descrever um estudo pormenorizado da hidrodinâmica da área de estudo, a seguir tem-se uma pequena contextualização dos principais conceitos englobados pelo *SisBAHIA* (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) (Rosman 2000) - *SMSN* escolhido para ser integrado ao ambiente *SIG* (Figura 4.11).

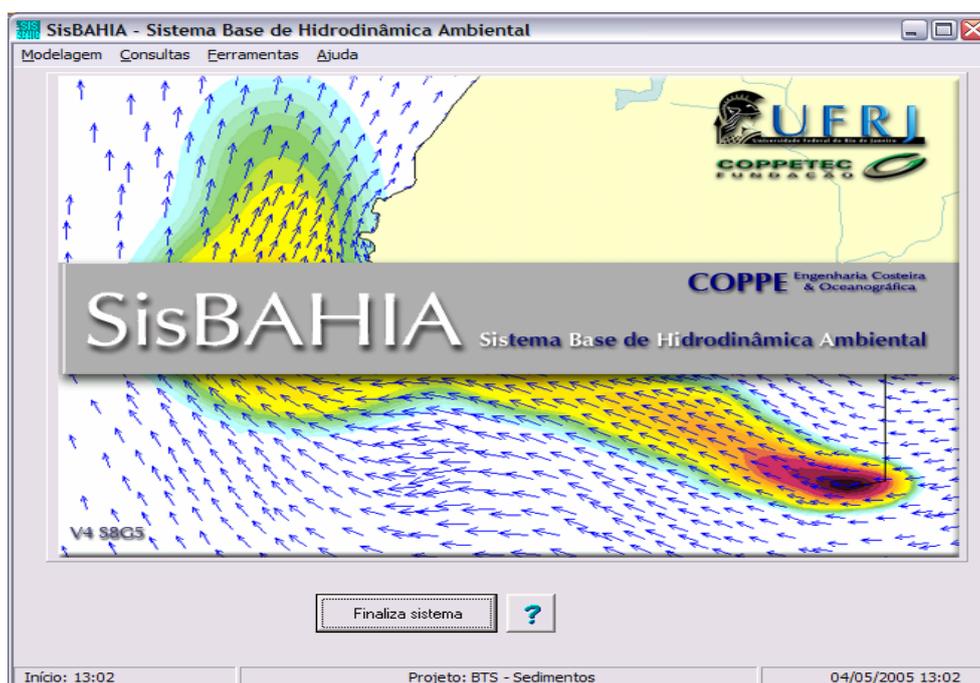


Figura 4.11. Tela inicial do *SisBAHIA*.

Rosman (2000) faz uma descrição das equações utilizadas e suas aproximações, seu esquema numérico, vantagens, limitações e suas aplicações.

Esses tópicos não serão abordados, sendo necessário acessar tal referência bibliográfica caso o leitor queira analisar esses assuntos.

O *SisBAHIA*⁹ é um *SMSN* registrado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. O *SisBAHIA*, composto por um conjunto de modelos computacionais integrados numa interface gráfica amigável para o Sistema Operacional *Windows*, constitui um sistema para modelagem da circulação hidrodinâmica e do transporte de escalares passivos em corpos de água naturais. Nesta classe de corpos de água pode-se encontrar rios, canais, lagos, lagoas, reservatórios, estuários, baías e águas costeiras.

Através de uma interface intuitiva para profissionais com conhecimentos básicos de hidrodinâmica e transporte de escalares em corpos de água costeiros, o *SisBAHIA* utiliza três modelos computacionais básicos; um para previsão do escoamento ou movimento das águas (Modelo Hidrodinâmico) e dois para o transporte de grandezas escalares (Modelos de Transporte ou Dispersão que utilizam como base hidrodinâmica o Modelo Hidrodinâmico) (Rosman 2000):

- Modelo hidrodinâmico para simular a circulação hidrodinâmica (tridimensional – 3D ou promediada na vertical – 2DH) em corpos de água rasos sob diferentes cenários;
- Modelo de transporte Euleriano advectivo-difusivo do tipo 2DH, promediado na vertical, para simular o transporte de substâncias, contaminantes, ou parâmetros de qualidade da água que se encontram bem misturados ao longo da coluna d'água;

⁹ O *SisBAHIA* – acrônimo de Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, é fruto de um desenvolvimento conjunto entre a Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica do Programa de Engenharia de Oceanica e da Área de Banco de Dados do Programa de Engenharia de Sistemas & Computação, ambos da Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia (COPPE / UFRJ).

- Modelo de transporte Lagrangeano advectivo-difusivo, para simular o transporte de contaminantes que possam estar em qualquer faixa da coluna de água, inclusive flutuantes, ou dissolvidos em toda a coluna de água.

Na implementação do *SMSN*, recorreu-se essencialmente ao modelo hidrodinâmico e o modelo de transporte lagrangeano. O primeiro processou os dados hidrodinâmicos necessários (campo de velocidades das correntes induzidas pela maré ou pelo vento), enquanto que o segundo calculou as possíveis trajetórias de petróleo com base no campo de velocidades gerado pelo modelo hidrodinâmico. No modelo lagrangeano, a evolução espacial e temporal do petróleo é calculada a partir do pressuposto que o petróleo pode ser idealizado como sendo um largo número de partículas que se movimentam na água.

4.4.2 Pré-processamento e Simulação

Segue-se a discretização espacial do domínio da modelagem definida pelos contornos¹⁰ de terra e água e a definição do mapa base (Figura 4.12). O mapa base, representando a discretização espacial formada pelos contornos e o domínio da modelagem, pode ser construído através das feições geográficas representadas pelos *shapefiles* armazenados no *SWIGG*.

Para a construção dos contornos e do mapa base foram utilizados os seguintes programas:

- *ArcView GIS 3.2* da ESRI Corporation: para geração das feições geográficas, polígonos que representam os contornos de água e terra. Os contornos são salvos em *shapefiles* e integrados no *BDGA* do *SWIGG*;

¹⁰ Contorno é o valor ou conjunto de valores que impõem limiares de validade ao comportamento do modelo matemático. Ou seja, os contornos de terra e água representam as margens que demarcam o domínio de modelagem (por exemplo: estuários, desembocaduras de rios, corpos oceânicos externos).

- *Surfer 8.0* da Golden Software Corporation: recebe os arquivos *shapefiles* gerados no *ArcView* e cria o mapa base através do formato *.bln*.

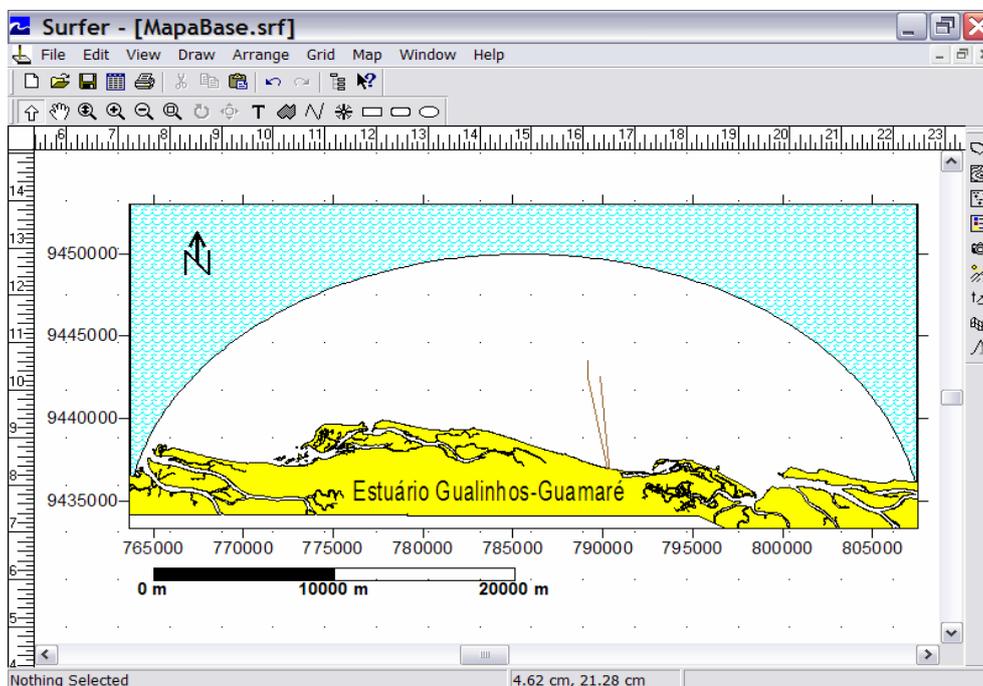


Figura 4.12. Mapa base da área de estudo: domínio da modelagem (espaço em branco), contorno de terra (porção amarela), contorno de água (porção azul) e emissários (duas linhas em marrom).

Depois da construção do mapa base iniciou-se a confecção da malha de elementos finitos (Figura 4.13). Como não tem-se o objetivo de realizar uma modelagem detalhada da hidrodinâmica da região de estudo, foi construída uma malha não detalhada visando um melhor processamento dos cálculos dos modelos. Para a construção da malha, no domínio da modelagem do mapa base, foi utilizado o seguinte programa:

- *Argus ONE (Open Numerical Environments)* da Argus Holding Ltda.: programa que, utilizando os contornos já definidos anteriormente, confecciona a malha e exporta-a utilizando o formato padrão de exportação *.exp*.

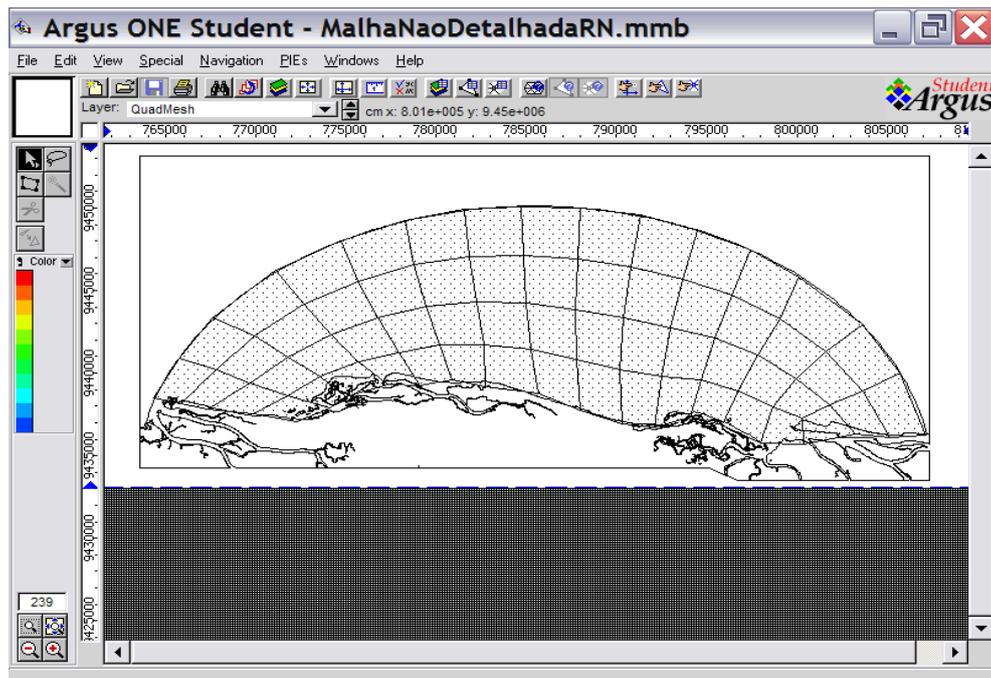


Figura 4.13. Malha, de elementos quadrangulares, confeccionada no *Argus One*.

Depois da criação da malha iniciou-se o processo de importação e preenchimento das informações referentes à mesma no *SisBAHIA* (Figuras 4.14 e 4.15). A malha gerada pelo *ArgusOne* é diretamente importada pela interface do *SisBAHIA*. No processo de importação os nós intermediários em cada lado de elemento e no centro dos elementos quadrangulares são automaticamente gerados. As informações referentes a malha, a serem preenchidas, são a batimetria, rugosidade do fundo¹¹ e constantes de maré (constantes harmônicas: período, amplitude e fase). Além da malha também são inseridos os contornos de terra e água e o mapa base.

¹¹ A rugosidade do fundo é um parâmetro usado para calcular a resistência ao escoamento em uma dada posição. Um fundo liso oferece menos resistência e um fundo rugoso mais resistência.

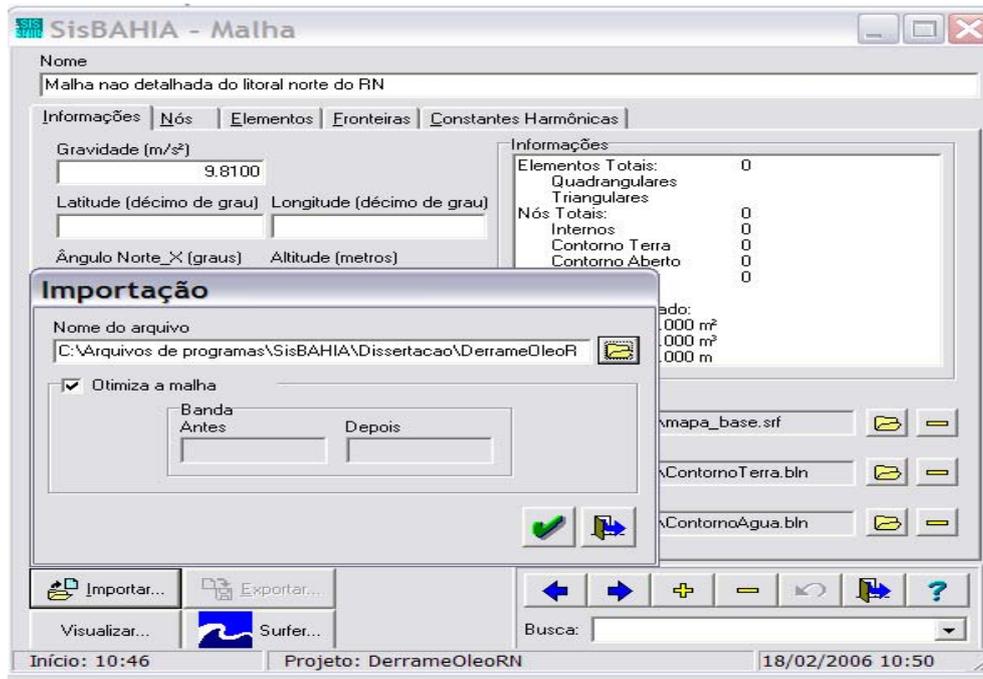


Figura 4.14. Tela do *SisBAHIA* para importação e entrada dos dados da malha.

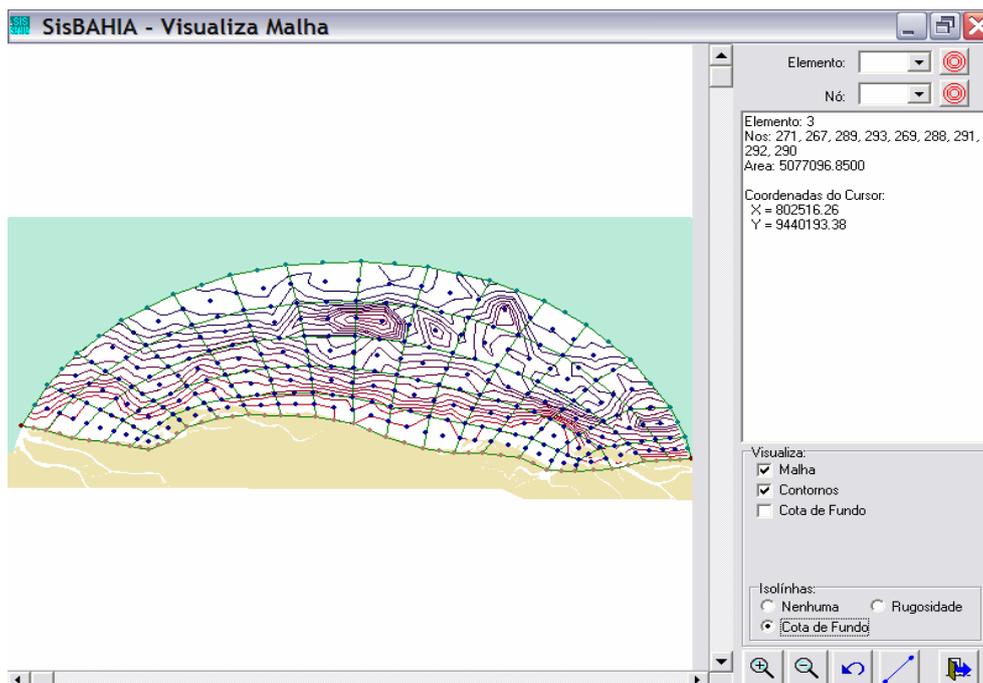


Figura 4.15. Visualização da malha de elementos finitos, isolinhas da batimetria e contornos no *SisBAHIA*.

Os dados batimétricos foram adquiridos na campanha de batimetria na Bacia Potiguar no período de 02 a 18 de junho de 2004. Essa campanha gerou cartas batimétricas da plataforma continental setentrional do Estado do RN, em

áreas de atuação da PETROBRAS, entre Galinhos e a Ponta do Mel (Figura 4.16). Tais dados foram obtidos pelo Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA) do Departamento de Geologia da UFRN.

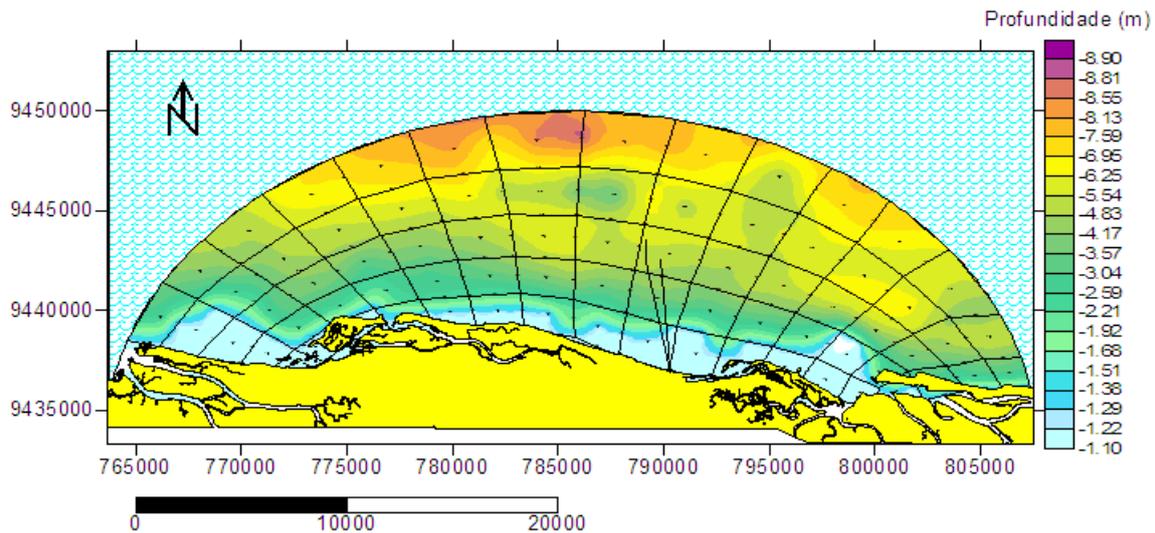


Figura 4.16. Distribuição da batimetria da região de estudo.

Os valores recomendados para a rugosidade de fundo (ϵ), segundo Rosman (2000), são mostrados na tabela abaixo. Para a modelagem foi adotado o valor 0.25m (Leito com obstáculos) para a rugosidade de fundo.

Terreno ou leito de terra	
Leito com transporte de sedimentos	$0.0070\text{m} < \epsilon < 0.0500\text{m}$
Leito com vegetação	$0.0500\text{m} < \epsilon < 0.1500\text{m}$
Leito com obstáculos	$0.1500\text{m} < \epsilon < 0.4000\text{m}$
Fundo de pedra ou rochoso	
Fundo de alvenaria	$0.0003\text{m} < \epsilon < 0.0010\text{m}$
Fundo de pedra lisa	$0.0010\text{m} < \epsilon < 0.0030\text{m}$
Fundo de asfalto	$0.0030\text{m} < \epsilon < 0.0070\text{m}$
Fundo com pedregulho	$0.0070\text{m} < \epsilon < 0.0150\text{m}$
Fundo com pedras médias	$0.0150\text{m} < \epsilon < 0.0400\text{m}$
Fundo com pedras	$0.0400\text{m} < \epsilon < 0.1000\text{m}$
Fundo com rochas	$0.1000\text{m} < \epsilon < 0.2000\text{m}$
Fundo de Concreto	
Fundo de concreto liso	$0.0001\text{m} < \epsilon < 0.0005\text{m}$
Fundo de concreto inacabado	$0.0005\text{m} < \epsilon < 0.0030\text{m}$

Fundo de concreto antigo	$0.0030\text{m} < \varepsilon < 0.0100\text{m}$
--------------------------	---

Tabela. Valores recomendados para a rugosidade de fundo.

As constantes de maré foram extraídas do catálogo de estações maregráficas brasileiras do FEMAR (Fundação de Estudos do Mar) – no site <http://www.femar.com.br>. A estação utilizada foi a estação GUAMARÉ – RN localizada na Foz do Rio Guamaré – no pier de atracação da cidade.

Após ter preenchido todas as informações referentes a malha no *SisBAHIA*, inicia-se o pré-processamento dos dados de entrada para o modelo hidrodinâmico (Figura 4.17).

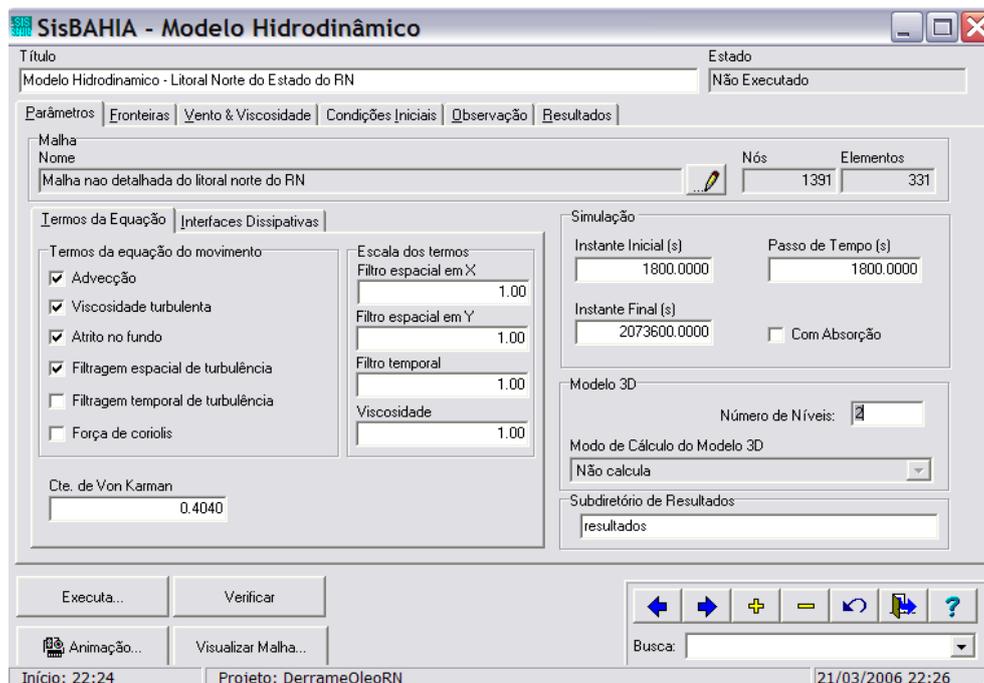


Figura 4.17. Tela do *SisBAHIA* para entrada de dados do modelo hidrodinâmico.

O modelo hidrodinâmico, referente a malha anteriormente construída, foi executado com vento permanente e constante de intensidade 6 m/s na direção -160 graus (Tipo de direção do vento: AngVento_x). Em condições iniciais, para todos os nós foi dada uma elevação de 1.32 m. O instante inicial foi de 36000 s o

passo de tempo da simulação foi de 360 s, segundo a Equação do Número de Courant (Cr) (Rosman 2000), e o instante final foi 1728000 s. O intervalo de tempo dos resultados espaciais e temporais foi de 3600 s. Depois do preenchimento dos parâmetros necessários para simular o modelo hidrodinâmico é feita a simulação do modelo hidrodinâmico (Figura 4.18).

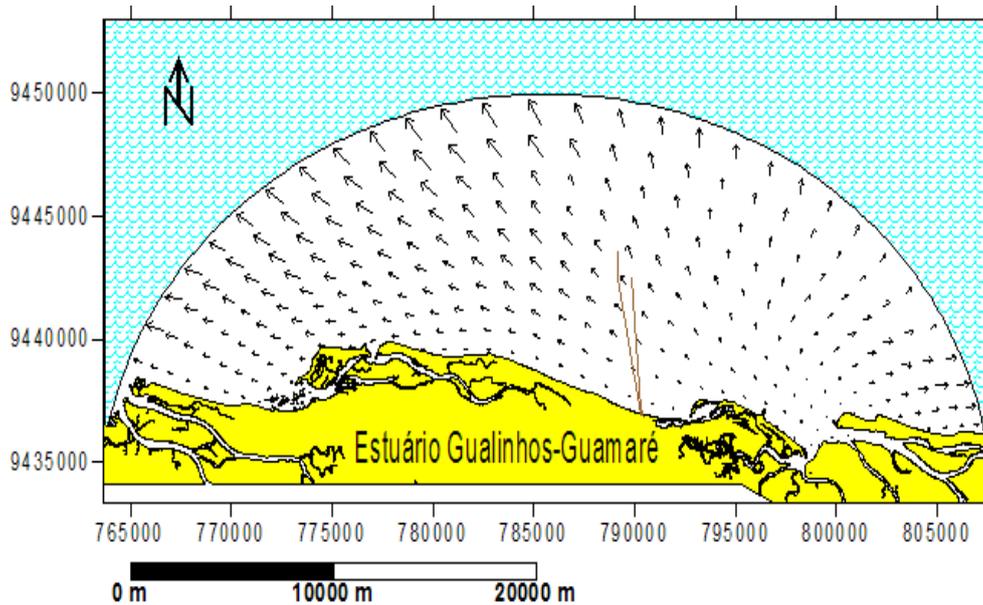


Figura 4.18. Instante da simulação do modelo hidrodinâmico.

Tomando como base os resultados da circulação hidrodinâmica da área de estudo, passa-se para o pré-processamento do modelo de transporte Lagrangeano (Figura 4.19).

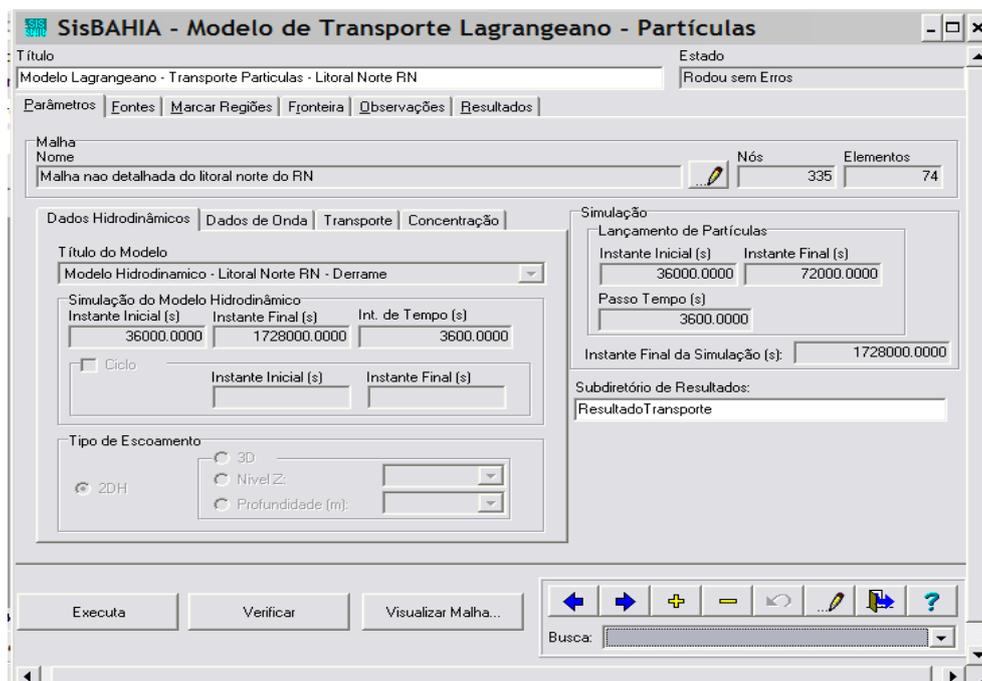


Figura 4.19. Tela do *SisBAHIA* para entrada de dados do modelo de transporte lagrangeano.

Após esse pré-processamento efetua-se a simulação da dispersão do contaminante Óleo, onde a mancha é transportada pelo campo de correntes gerado pelas forçantes hidrodinâmicas e pelo vento. Os dados inseridos, para um cenário hipotético de derramamento de óleo na porção *off-shore* da baía Potiguar, foram os seguintes:

- Instante inicial e final do lançamento de partículas de 36000 s e 72000 s respectivamente. Passo de tempo de 3600 s e o instante final da simulação de 1728000 s;
- Posição do centro da região da fonte de dispersão: 790081.5470 (coordenada X) e 9438806.0900 (coordenada Y). Nessa região retangular¹² (de 1000 m de comprimento e largura) foram lançadas,

¹² Imediatamente após o derrame, o óleo começa a se espalhar e a formar uma mancha cobrindo uma área retangular da superfície da água. Essa área é o que se deve considerar no modelamento realizado como região fonte do derrame.

numa vazão de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, 500 partículas por passo de tempo (ou seja, a cada 3600 s são lançadas 500 partículas). Sendo o começo e o fim do lançamento de partículas respectivamente 36000 s e 72000 s, foram lançados no meio marinho 5000 partículas de óleo com volume total derramado de 36000 m^3 ;

- Para os nós da fronteira de terra foi dado um coeficiente de absorção mais ou menos relacionado com o valor do *ISL* no trecho da fronteira atingido, ou seja, a partícula retorna ao meio mas tem parte de sua massa retida no trecho atingido. Assim, por exemplo, para trechos de mangue de *ISL* igual a 10 temos um coeficiente de absorção bem maior do que um costão rochoso exposto de *ISL* igual a 1

Para o caso das partículas atravessarem os contornos abertos, elas saem do domínio modelado, e conseqüentemente são perdidas. As figuras 4.20 a 4.35 mostram 14 instantes de tempo num cenário hipotética de derrame. As partículas que tocaram no litoral e tem parte de sua massa absorvida aparecem em azul.

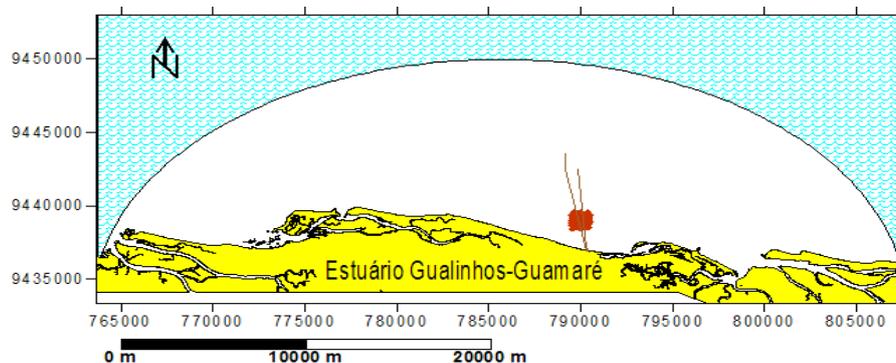


Figura 4.20. Localização do lançamento. Tempo da simulação: 11 horas.

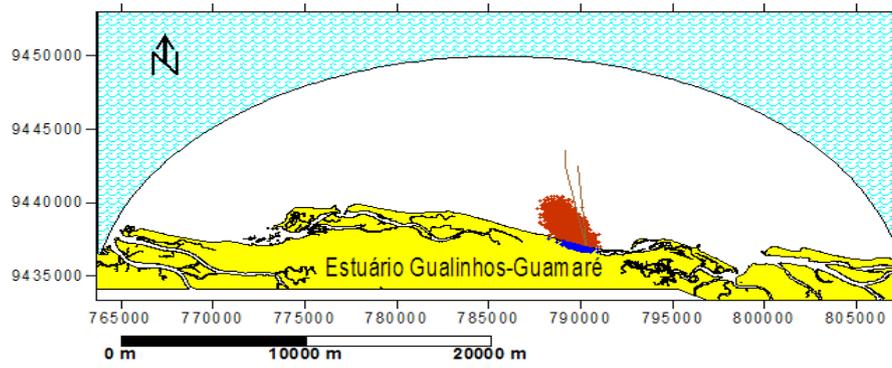


Figura 4.21. Tempo da simulação: 21 horas.

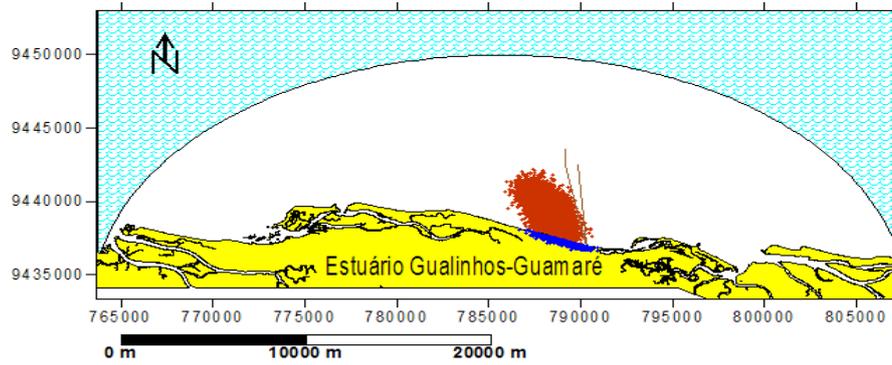


Figura 4.22. Tempo da simulação: 31 horas.

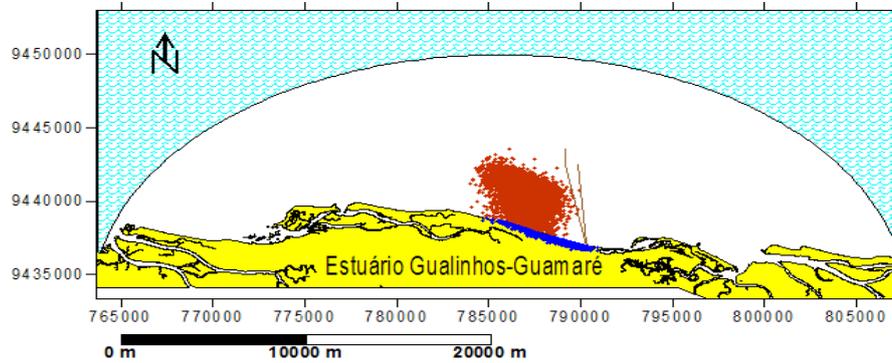


Figura 4.23. Tempo da simulação: 41 horas.

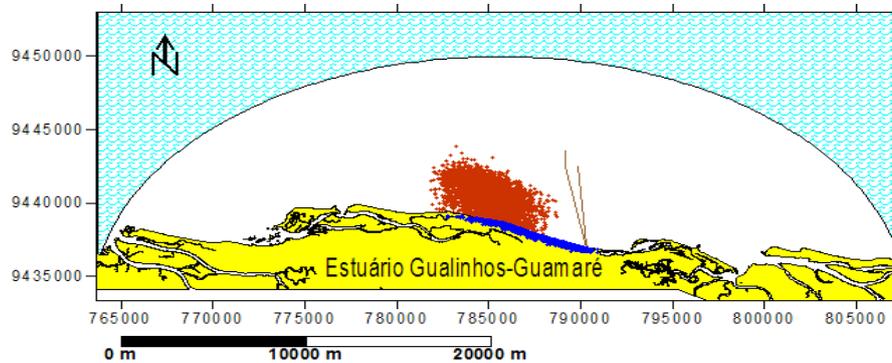


Figura 4.24. Tempo da simulação: 51 horas.

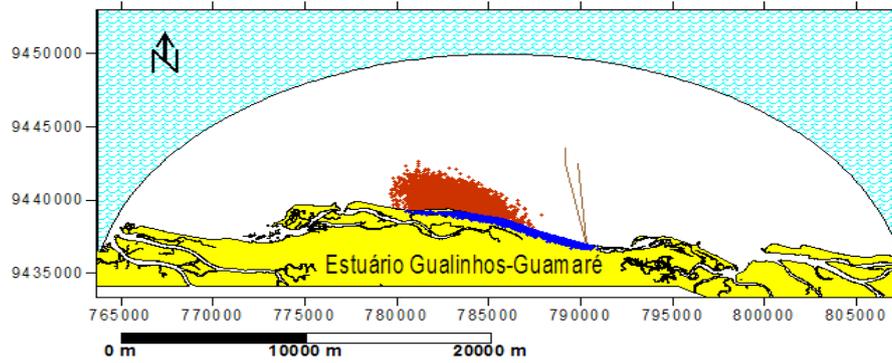


Figura 4.25. Tempo da simulação: 61 horas.

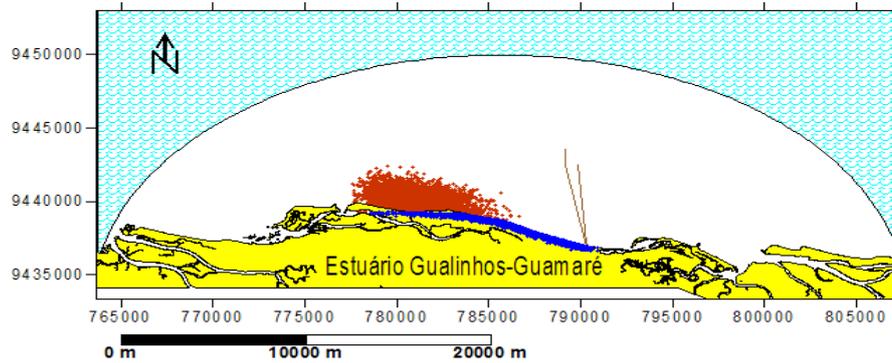


Figura 4.26. Tempo da simulação: 71 horas.

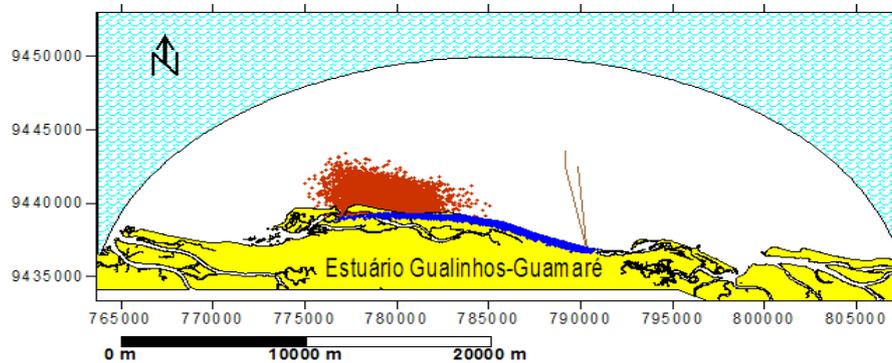


Figura 4.27. Tempo da simulação: 81 horas.

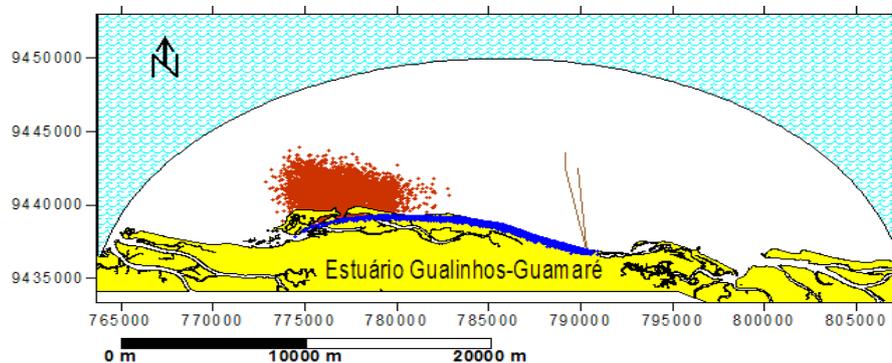


Figura 4.28. Tempo da simulação: 91 horas.

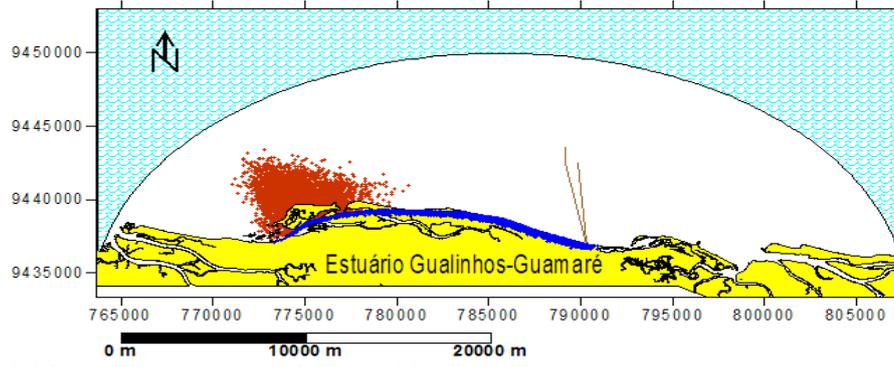


Figura 4.29. Tempo da simulação: 101 horas.

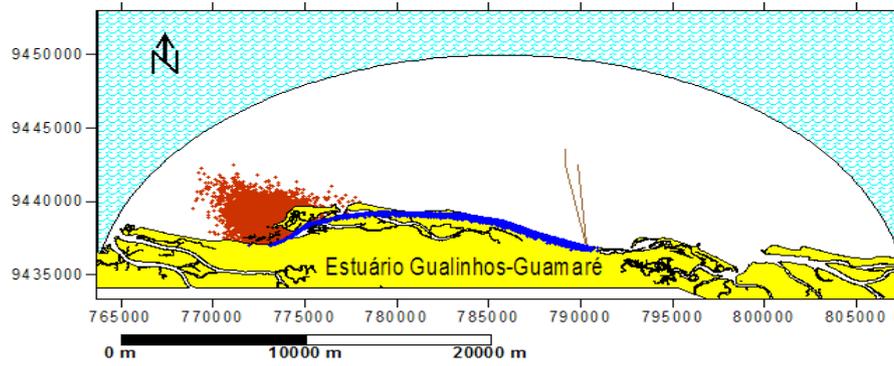


Figura 4.30. Tempo da simulação: 111 horas.

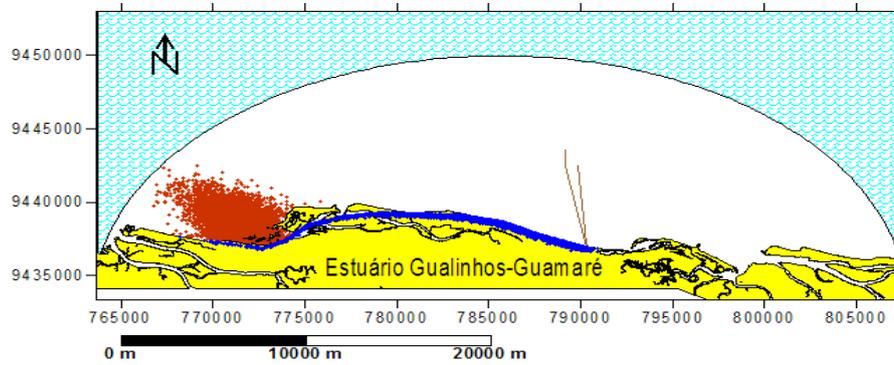


Figura 4.31. Tempo da simulação: 121 horas.

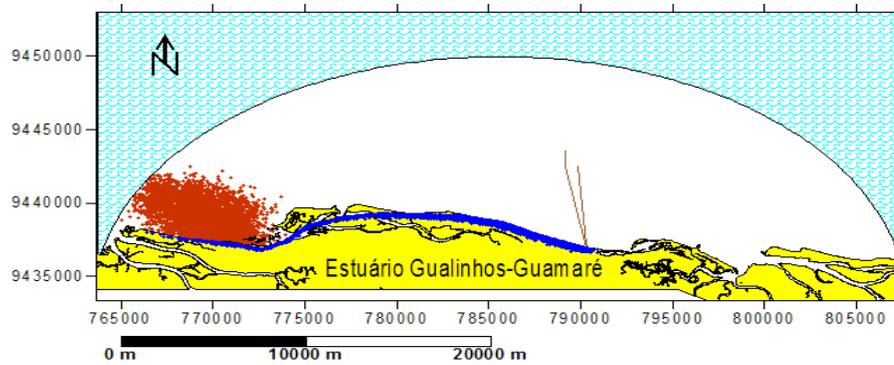


Figura 4.32. Tempo da simulação: 131 horas.

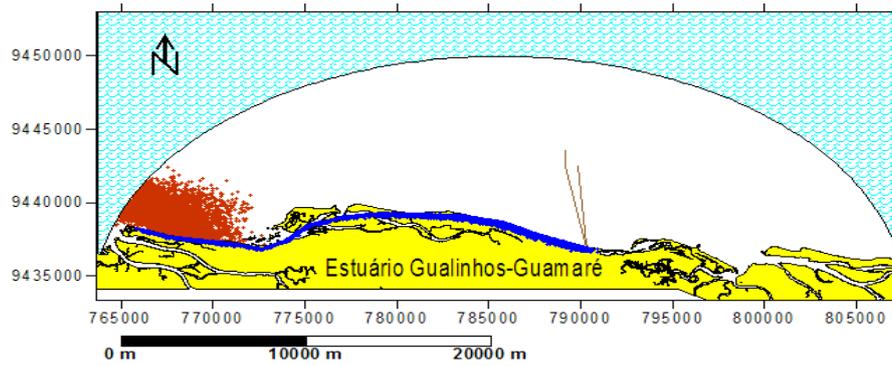


Figura 4.33. Tempo da simulação: 141 horas.

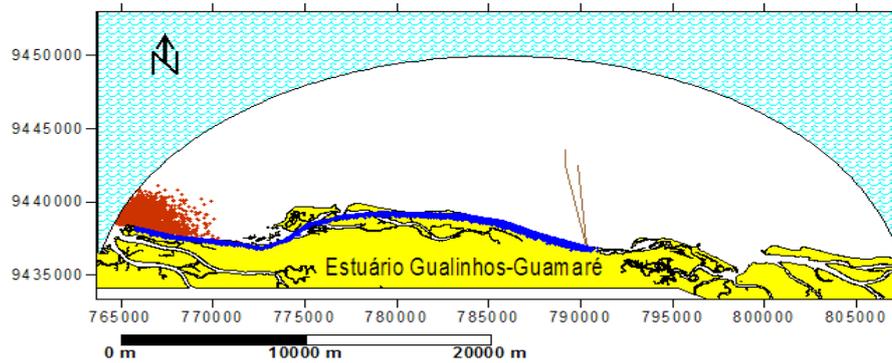


Figura 4.34. Tempo da simulação: 151 horas.

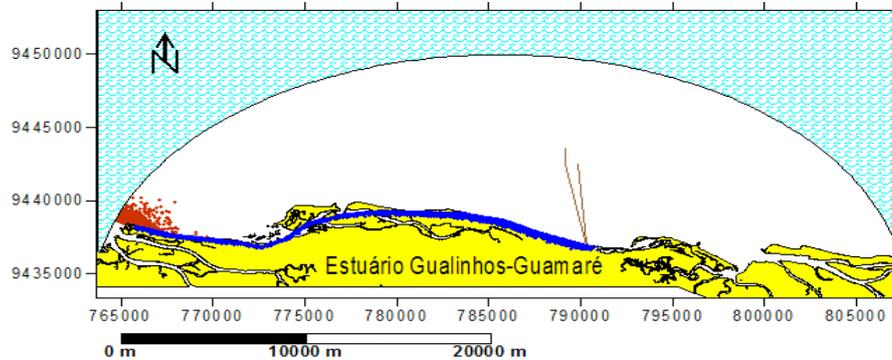


Figura 4.35. Tempo da simulação: 161 horas.

Foi realizada outra simulação hipotética usando os mesmos parâmetros da simulação anterior, exceto pela localização da fonte do derrame (Coordenada X = 789958.7090; Coordenada Y = 9441689.8500) (Figura 4.36) e o número de partículas lançadas por passo de tempo (1000 partículas de óleo). Esse segundo cenário de derrame, mesmo lançando mais partículas (10000 lançadas no meio marinho) do que o cenário anterior, apresentou uma menor área de contato óleo-litoral devido ao maior afastamento da fonte do derrame (Figura 4.37).

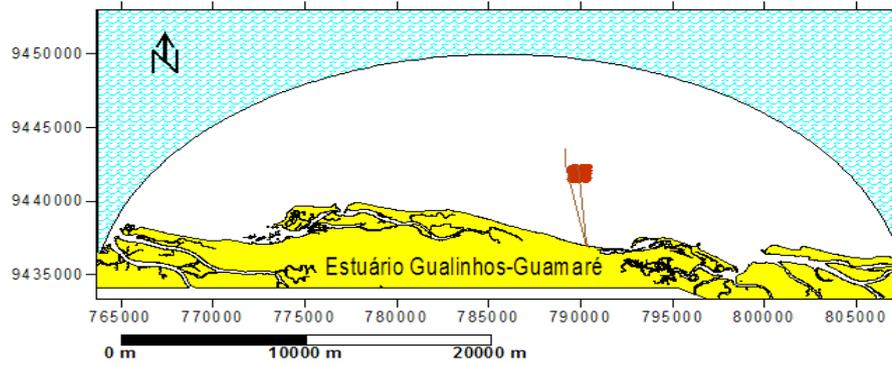


Figura 4.36. Localização da fonte de lançamento do segundo cenário da simulação hipotética.

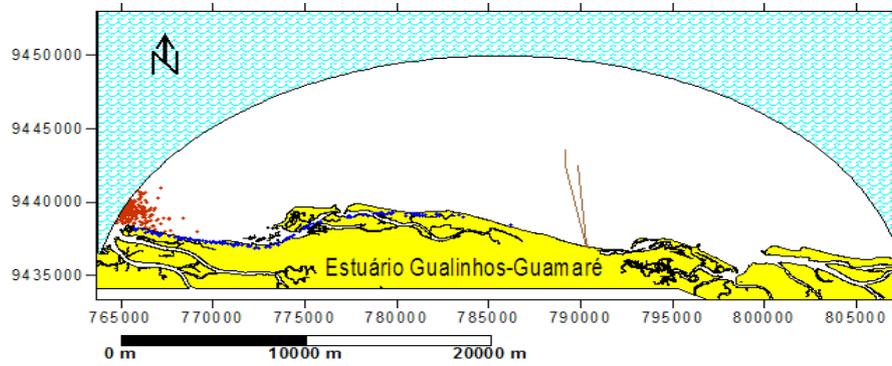


Figura 4.37. Resultado da simulação do segundo cenário de derrame mostrando uma menor quantidade de partículas absorvidas pelo litoral (partículas em azul).

Foram feitas várias análises probabilísticas, através do módulo probabilístico do *SisBAHIA*, por exemplo, análise da probabilidade de passagem da mancha de Óleo para o primeiro (Figura 4.38) e segundo cenário (Figura 4.39).

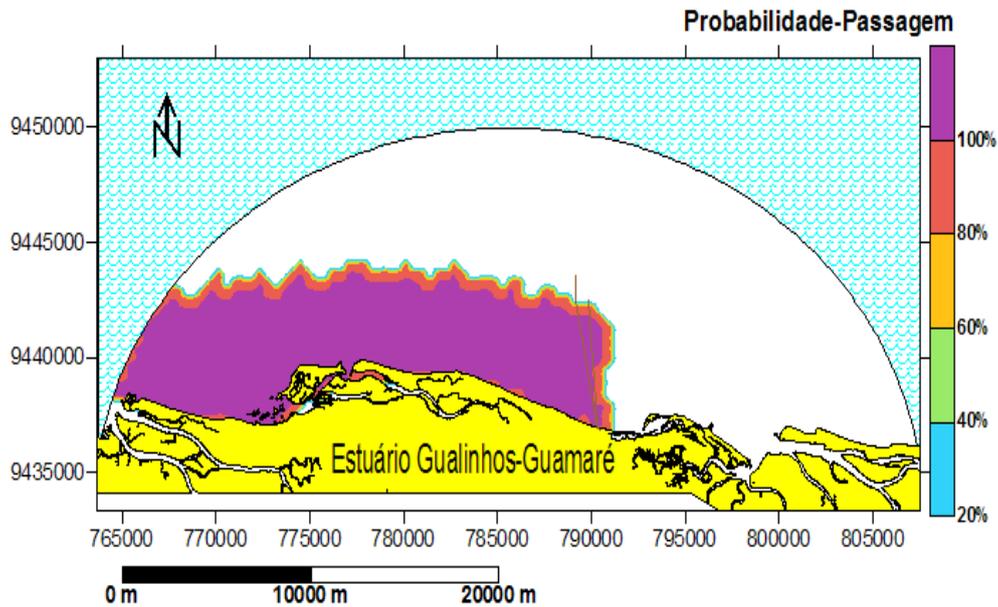


Figura 4.38. Probabilidade de passagem da mancha de Óleo para o primeiro cenário.

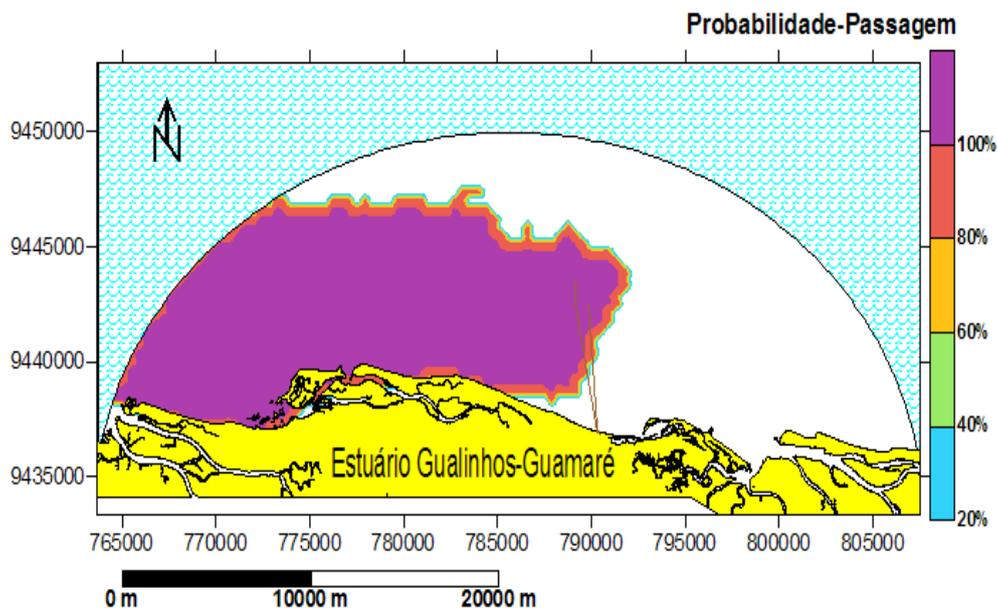


Figura 4.39. Probabilidade de passagem da mancha de Óleo para o segundo cenário.

4.4.3 Verificação

Não tendo como objetivo realizar uma modelagem detalhada da circulação hidrodinâmica do meio marinho, não houve um processo de calibração e validação sistemático; mas através da utilização dos principais indicadores e

parâmetros obtidos na etapa de Concepção do Modelo Conceptual, adota-se o estudo de caso representativo para mostrar a viabilidade da utilização do ambiente *SADE*.

4.5 Elaboração dos Resultados da Simulação no ambiente SIG

Essa etapa consistiu no desenvolvimento do mecanismo manual de integração que compõe o Sistema Controlador de Integração. De forma geral adotou-se o acoplamento livre como forma de integração do *SMSN* e o *SWIGG*, gerando para cada categoria de dados um procedimento diferente de integração:

- Para a integração das geometrias geradas pelo *SMSN* no *BDGA* do *SWIGG* realizou-se o seguinte:
 - Os resultados da concentração, massa, tempo de vida e posição das partículas dispersas pelo modelo de transporte lagrangeano são encontrados no subdiretório de resultados (informado como parâmetro da simulação) em arquivos no formato *dBase* (extensão *dbf* ou *db*); Coloca-se tais arquivos no formato de entrada do *script* *Particulas2Shp.ave* (códigos em *Avenue*¹³ presente no apêndice – Script de Conversão) que transformará os dados relacionados as partículas em arquivos *shapefiles* do tipo ponto;
 - Vetorização das geometrias da probabilidade de passagem da mancha de óleo processadas no *Sufer*: 1) criar um Contour Map com a geometria da Grid gerada no *SisBAHIA* (*Grid File* com extensão “.GRD”) e 2) exportar para ESRI *Shapefile* (*.shp);
 - Converter as geometrias criadas em UTM para coordenadas geográficas (Longitude, Latitude) através do módulo de

¹³ *Avenue* – Linguagem de programação *script* do *ArcView*. Um *Script Avenue* pode ser executado no editor de *Script* do *ArcView*.

extensão *Projection Utility Wizard* do *ArcView*;

- Para a integração de dados de saída (tabelas, gráficos, imagens e arquivos de animações) processados pelo *SMSN*:
 - Colocar esses conjuntos de dados em tabelas do *SGBD Oracle* gerenciados pelos recursos do *Oracle interMedia*;
 - Usar o programa “Gerente de Animação”, que faz parte da interface geral de modelagem *SisBAHIA*. A animação é preferencialmente feita em formato de GIF (arquivo GIF animado para o intervalo de simulação especificado) por ser muito mais otimizável.

4.6 Processo Decisório

De posse dos resultados das simulações e dos Mapas *SAO* integrados no ambiente *SIG*, pode-se determinar as áreas prioritárias para o combate a poluição e analisar os possíveis impactos ambientais. Por exemplo, no segundo cenário de derrame, identifica-se que até 20 horas após o derrame, o óleo praticamente permanece apenas no meio marinho, tendo assim uma janela de tempo de 20 horas para planejar a implantação de barreiras de retenção promovendo, assim, a redução da contaminação (Figura 4.40).

Já no primeiro cenário de derrame, identifica-se que logo após o derrame a mancha de óleo atinge o litoral, provocando possivelmente um impacto ambiental prejudicial a biota (aves e mamíferos) e socioeconomia (praias) presente (Figura 4.41). Nesse momento, tem-se duas porções do litoral de possíveis atuações para o combate a poluição: área de *ISL 3* e área de *ISL 10* (a qual deve-se dar maior atenção devido a presença de compartimento geomorfológico de estrutura mais frágil ao contato do óleo).

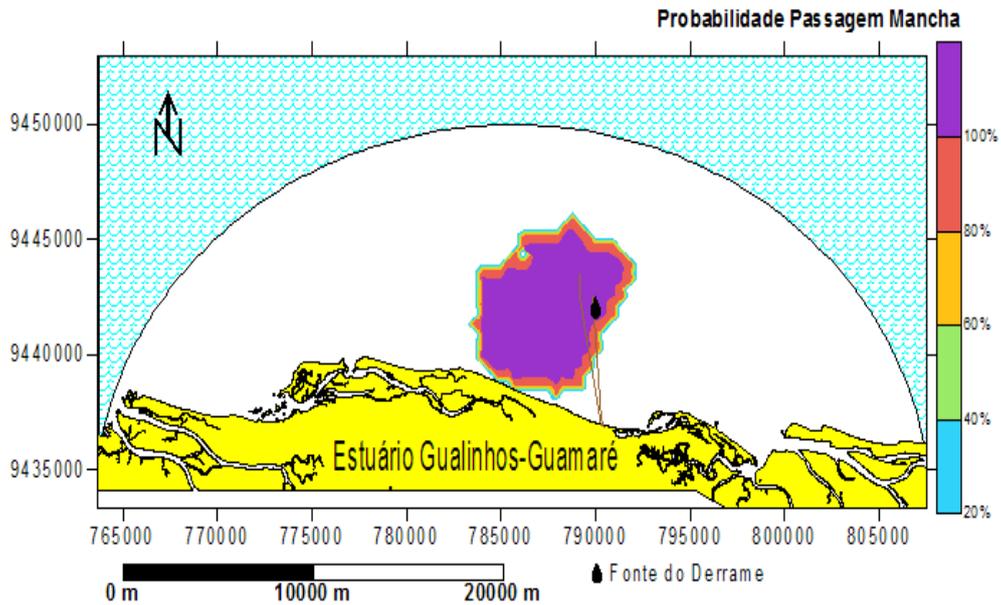


Figura 4.40. Probabilidade de passagem da mancha de Óleo até 20 horas após o derrame (no segundo cenário).

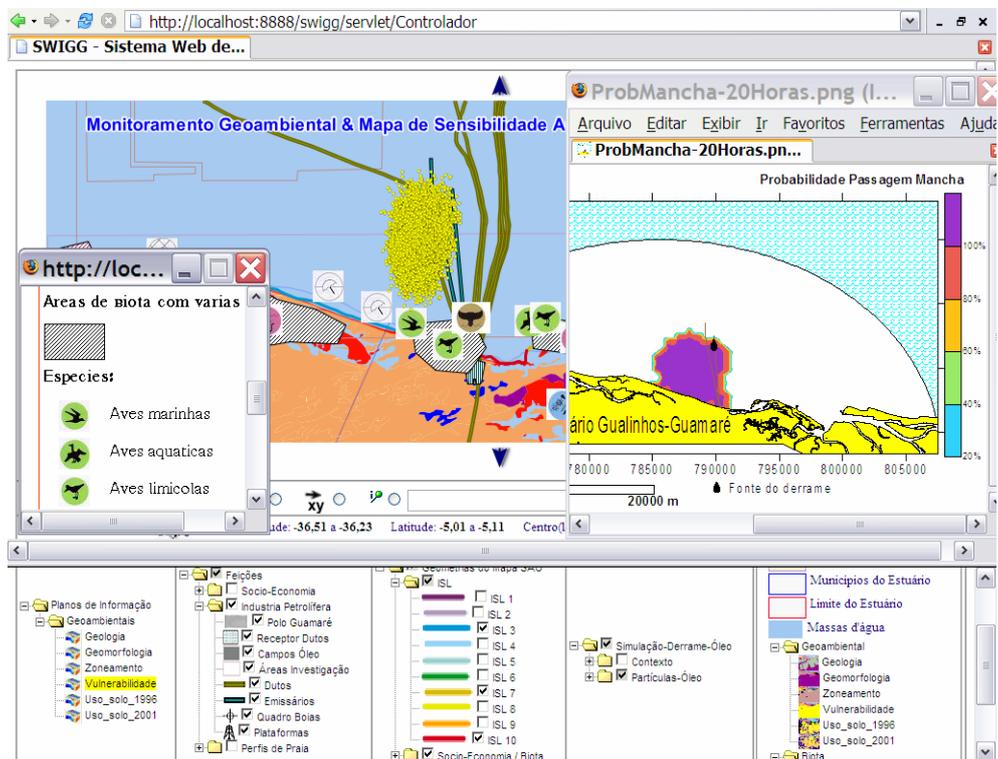


Figura 4.41. SWIGG mostrando os dados integrados para tomada de decisão espacial.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

As atividades desenvolvidas nesse trabalho permitiram as seguintes conclusões:

- A metodologia aplicada mostrou-se satisfatória em atender o objetivo de desenvolver e implementar um sistema computacional de apoio à decisão espacial para situações emergenciais de derramamento de óleo em áreas como o sistema costeiro do litoral norte do Estado do RN;
- O sistema chamado de *SWIGG*, integrando os dados oriundos de diferentes fontes (*SIG*, Mapas *SAO* e *SMSN*) mostrou-se eficiente no acesso, entendimento e monitoramento dos efeitos de eventuais acidentes com derramamento de óleo. O *SWIGG* representa uma geotecnologia relevante quanto à identificação de ambientes com prioridade de preservação, permitindo o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza;
- O *SWIGG*, através da sua arquitetura distribuída para sistemas *Web*, disponibiliza o compartilhamento da geoinformação, por níveis diferenciados de acesso, à comunidade de usuários responsáveis pelo monitoramento ambiental e a sociedade em geral;
- A Modelagem Ambiental, utilizando modelos hidrodinâmicos e de transporte de partículas para simulação numérica de processos dependentes do tempo, mostrou-se importante para suplantar as limitações dos atuais ambientes *SIGs*, fortemente baseados numa visão estática e bidimensional do espaço geográfico;

- A elaboração de Mapas *SAO* automatizados é importante para a identificação da sensibilidade da linha de costa de áreas dinâmicas, de ampla variação da linha de costa, considerando as atividades sócio-econômicas existentes e as medidas de proteção possíveis;
- O *AutoMSA* é uma ferramenta importante no mapeamento da sensibilidade ambiental facilitando a construção dos Mapas *SAO* e sua integração automática com o ambiente do *SWIGG*.

5.2 Recomendações

De acordo com os resultados obtidos, algumas recomendações são sugeridas de modo a conduzir a uma ampliação dos resultados em futuro próximo:

- Necessidade de monitoramento constante das condições ambientais do meio modelado obtendo dados que deverão passar por um processo adequado de verificação e calibração;
- Efetuar um estudo de modelagem ambiental mais detalhado para o domínio de atuação;
- A continuação do desenvolvimento do *BDGA* para que possa atender aos novos requisitos que serão levantados no decorrer de novas pesquisas que venham a ser feitas na região;
- Desenvolver um mecanismo de integração entre o *SWIGG* e o *SisBAHIA* automático (através da estratégia plena de integração), pois atualmente tem-se uma grande necessidade de se conhecer bem esses dois sistemas e outros de suporte para migração, como por exemplo, *ArcView* e *Sufer*;

- Readaptação do *AutoMSA*, pois atualmente o mesmo produz mapas em nível tático. Deve-se estender o domínio do *AutoMSA* de modo que ele produza também mapas de sensibilidade estratégicos (de abrangência regional, escala 1:300.000) e operacionais (ou de detalhes, com escala 1:10.000);
- Incorporar a característica temporal no *BDGA*, ou seja, implementar também um Banco de Dados Temporal (*BDT*), pois o *SWIGG* atual instalado captura apenas uma cena da realidade, pelo fato de armazenar apenas o dado atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A.L., Amaro, V.E., Vital, H. 2003. Application of Remote Sensing for Monitoring and Evaluation of Coastal Morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil: The Açu River Mouth Example. *Journal of Coastal Research*. Special Issue: *Brazilian sandy beaches* n. 35.
- Amaro, V. E., Vital, H., Alves, A. L., Lima, Z. M. C., Tabosa, W. F., Caldas, L. H. O., Souto, M. 2002. Application of remote sensing multitemporal/multisensor analysis and GIS database for coastline change monitoring and nearshore morphology detection in RN State, NE Brazil. In: *Congresso de Ocean Sciences Meeting*, Honolulu. Ocean Sciences Meeting. Estados Unidos : Ocean Sciences Meeting, 2002. v. 83.
- Armstrong, M., Densham, P., Rushton, G. 1986. Architecture for a microcomputer based spatial decision support system. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING*, 2., Seattle, Washington. Proceedings. International Geographical Union. p. 120-131.
- Bahr, H. P., Karlsruhe. 1999. GIS Introduction. In: Bahr H.P. e Vogtle T. (eds.) *GIS for Environmental Monitoring*. Alemanha, p. 1-9.
- Booch, G., Rumbaugh J., Jacobson, I. 1999. Rational Unified Process. In: *Unified Modeling Language – Guia do Usuário*. Apêndice C. Editora Campus, p. 442- 448.
- Burrough, P. 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press.
- Caldas, L.H. de O. 1996. *Geologia Costeira da Região de São Bento do Norte e Caiçara, Litoral Potiguar*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 83 p.

- Câmara, G., Medeiros, J.S. 1998. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: Assad E.D. e Sano E.E. (eds.) *Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, p. 3-11.
- Castro, A.F. 2002. *Modelagem e desenvolvimento de um banco de dados geográficos: Aplicação à elaboração de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na área costeira entre Galinhos e São Bento do Norte – RN*. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado.
- Castro, A. F., Souza, C. F., Amaro, V. E., Vital, H. 2005. *Automação de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo utilizando técnicas de geoprocessamento em áreas costeiras da porção setentrional do estado do Rio Grande do Norte*. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia 2005. Anais XII SBSR, 2005. v. 1. p. 2109-2111.
- Chaves, M.S., Vital, H. 2001. Caracterização Geoambiental dos Parâmetros de Onda entre o trecho Praial da Ponta do Tubarão e Gamboa do Corta-Cachorro, Macau/RN. In: ABEQUA, 8, Imbé/RS, *Anais*, p. 55.
- Chorley, R., Kennedy, B. 1971. *Physical geography: a systems approach*. London, Prentice-Hall.
- Costa, N.M.C. 1999. *O Geoprocessamento nos Estudos de Impactos Ambientais: Uma Análise Crítica*. Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Exame de Qualificação, 11 p.
- Dantas, E.P. 1998. *Gravimetria e Sensoriamento Remoto: Uma Aplicação ao Estudo da Tectônica Recente entre Macau e São Bento do Norte (RN)*. Dissertação de Mestrado, PPGG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 98 p.

- Densham, P. 1991. Spatial Decision Support Systems. In: D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind (Ed.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman, London, p. 403-412.
- Fortes, F. P. 1987. Mapa geológico da Bacia Potiguar (1:100.000). PETROBRÁS/DEBAR/DINTER/SEBAT, *Relatório Interno*, 125 p.
- Guedes, I.M.G. 2002. *Mapeamento da área de influência dos dutos de gás e óleo do Pólo de Guamaré (RN)*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 78 p.
- Goodchild, M.F., Proctor, J.D., Wright, D.J. 1997. Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as “Tool” Versus “Science”. In: *The Annals of the Association of American Geographers*, Annals.
- Hendriks, P., Vriens, D., 1995. Collaborative exploration of spatial problems. In: *P. J. Densham, M. Armstrong, K. Kemp, Collaborative spatial decision-making*. Research Initiative 17, London, NCGIA.
- Heuser, C.A. 2001. *Projeto de Banco de Dados*. 4 ed. Porto Alegre, Editora Sagra Luzzato, 204 p.
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do RN. 1999. In: *Informativo Municipal – Macau*. Natal/RN, v. 05, p. 1-14.
- Lima, Z.M.C., Amaro V.E., Vital H. 2001. Monitoramento da Variação da Linha de Costa de Galinhos / RN Utilizando Fotografias Aéreas e Imagens Landsat5 TM e Landsat 7 ETM +. In: Congresso da Abequa, VIII. Imbé, *Anais*. Resumos. Imbé/RS, v. 1, p. 551-552.
- Miranda, F.M. 1983. *Geologia da Área de Macauzinho, Litoral Leste do Estado do Rio Grande do Norte*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 168 p.

- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2002. *Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.
- Murray, Chuck. 2003. *Oracle Application Server MapViewer User's Guide, Release 10G (9.0.4)*. Oracle Corporation.
- NATRONTEC/ECOPLAN 1995. *Estudo de Impacto Ambiental da Fábrica de Barrilha da ALCANORTE e Implantação de Emissário Submarino no Município de Macau-RN*. Diagnostico, Análise de Impactos e Programa de Gestão Ambiental, Relatório Final. Rio de Janeiro/Natal.
- Neto, S. L. R., Rodrigues, M. 2000. A taxonomy of strategies for developing spatial decision support systems. In: W. Wojtkowski, W. G. Wojtkowski, S. Wrycza, J. Zupancic (ed.), *Systems development methods for databases, enterprise, modeling, and workflow management*. New York, Kluwer Academic/Plenum, p. 139-155.
- Neto, S. L. R. 2000. *Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações*. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese doutorado.
- PETROBRAS. 2002. *Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos*. Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS.
- Rosman, P. C. C. 2000. *Referência Técnica do SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental*. 151f. Relatório COPPETEC-PENO-565, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

- Rosman, P. C. C. 2001. Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental. In: *da SILVA, R. C. V. (editor). Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*, v. 5, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, p. 1-161.
- Sansonowski, R. C. 2003. *A Modelagem Numérica como Instrumento de Apoio à Avaliação Ambiental*. Faculdade de Engenharia Mecânica/Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Dissertação de Mestrado, 115 p.
- Sendra, J.B. 1992. Evaluacion del Impacto Ambiental. In: *Sistemas de Información Geográfica*. Cap. XVIII. Editora Rialp, S.A. Madri, Espanha, p. 366-370.
- Silva, C.G. 1991. *Holocene Stratigraphy and Evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. Duke University, United States, Doctor Philosophy Theses, 359 p.
- Silveira, I. M. da. 2002. *Estudo evolutivo das condições ambientais da região costeira do Município de Guamaré-RN*. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 177 p.
- Souto, M.V.S. 2002. *Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e SIG*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 67 p.
- Souza, C.F. 2004. *Sistema Web de Informação Geográfica para Gestão Ambiental: Monitoramento da ação da indústria petrolífera nas áreas costeiras do litoral norte do RN*. Departamento de Informática e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Relatório de Graduação em Ciências da Computação.

- Steyaert, L.T. 1993. A perspective on the state of environmental simulation modeling. In: *Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press. Cap. 3, p. 16-30.
- Sun Microsystems.1994. *The Java Language: a White paper*.
- Tabosa, W. F. 2000. *Dinâmica costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara do Norte-RN*. Departamento de Geologia da Universidade do rio Grande do Norte, Natal. Relatório de Graduação, 76 p.
- Tagliani, C. R. A. 2002. *Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informação*. Galeria de artigos acadêmicos. Disponível em www.fatorgis.com.br. Acessado em 08/06/2004. 8 p.
- Tsou, M. S., Whittermore, D. O. 2002. User interface for groundwater modeling: ArcView Extension. *Journal of Hydrologic Engineering*, New York, 6, n. 3, p. 251-258,2001. In.: *Cavalcanti, Malva A. M. P., A modelagem matemática associada ao sistema de informação geográfica como instrumento de previsão no estudo do impacto hidrogeológico de reservatórios*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade do Estado de São Paulo – Instituto de Geociências, São Paulo, Tese de Doutorado.
- Ward, R. 2001. *Oracle interMedia User's Guide and Referente, Release 9.0.1*, Oracle Corporation.

APÊNDICE - SCRIPT DE CONVERSÃO

' Nome: Particulas2Shp.ave

' Descrição:

' Converte arquivo ASCII (que contém informações das partículas)

' num arquivo shapefile (do tipo ponto).

' Formato do arquivo de entrada:

' Este script assume que o arquivo ASCII de entrada apresenta o seguinte

' formato:

' tempo_simulacao;x_coordinate;y_coordinate

' tempo_simulacao;x_coordinate;y_coordinate

'

' Escolhe o arquivo ASCII...

```
gpsName = FileDialog.Show("*.*", "Arquivo shape_particula_entrada em  
UTM", "Selecione a arquivo de entrada")
```

```
if (gpsName = nil) then
```

```
    exit
```

```
end
```

```
gpsFile = LineFile.Make (gpsName, #FILE_PERM_READ)

totalRecs = gpsFile.GetSize

' output shapefile...

defaultName = FileName.Make("$HOME").MakeTmp("shape","shp")

shpName = FileDialog.Put(defaultName,"*.shp","Arquivo shape de saida")

if (shpName = nil) then

    exit

end

shpName.SetExtension("shp")

shpFTab = Ftab.MakeNew(shpName,Point)

fields = List.Make

fields.Add(Field.Make("tempo", #FIELD_SHORT, 4, 0))

shpFTab.AddFields(fields)

shpField = shpFTab.FindField("Shape")

tempoField = shpFTab.FindField("tempo")

gpsRec = 0

av.ShowStopButton

av.ShowMsg("Convertendo "++gpsName.GetBaseName+"...")

while (true)
```

```
buf = gpsFile.ReadElt

if (buf = Nil) then

    break

end

if (buf = "END") then

    break

end

gpsTokens = buf.AsTokens(";")

tempo = gpsTokens.Get(0)

thePoint =
gpsTokens.Get(1).trim.AsNumber@gpsTokens.Get(2).trim.AsNumber

rec = shpFTab.AddRecord

shpFTab.SetValueNumber( tempoField, rec, tempo.trim.AsNumber )

shpFTab.SetValue( shpField, rec, thePoint )

gpsRec = gpsRec + 1

progress = (gpsRec / totalRecs) * 100

proceed = av.SetStatus( progress )

if (proceed.Not) then

    av.ClearStatus
```

```
av.ShowMsg( "Stopped" )
```

```
exit
```

```
end
```

```
end
```

```
av.ClearStatus
```

```
av.ClearMsg
```

```
shpFTab.Flush
```

```
MsgBox.Info( gpsRec.AsString++"registros convertidos." , "Conversao  
completa")
```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)