

## Estudos de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo no Litoral Sul da Bahia

Adriano de Oliveira Vasconcelos<sup>1</sup>  
Luiz Paulo de Freitas Assad<sup>1</sup>  
Raquel Tostes Ferreira dos Santos<sup>1</sup>  
Luiz Landau<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE  
Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia - LAMCE  
Caixa Postal 68.552 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{adriano, landau}@lamce.coppe.ufrj.br / {rtoste, luizpauloassad}@gmail.com

**Abstract.** The concession of marine blocks for exploration and production of oil and natural gas in the last decade, oil industries activities became to exert greater pressure on the marine and coastal environments of Brazil. The BM-J-2 block is located about 20 km away from the coast of Una, Canavieiras and Belmonte cities in the southern state of Bahia. This region is constituted by important coastal marine ecosystems, some of them protected by law. This context makes the area mentioned sensitive to impacts from potential oil spill accidents. This work aims to structure a knowledge base necessary for physical characterization of these coastal ecosystems which are fundamental to studies of environmental sensitivity to oil spills. Therefore, Environmental Sensitivity Index (ESI) maps were generated based on atmospheric and hydrodynamic scenarios, which were derived from computational model results. Moreover, regional studies of geomorphology, geology, land cover and land use and soil types were also used to construct the ESI charts. Maps revealed levels of environmental sensitivity to oil spill ESI ranging from 1 (least sensitive) to ESI 10. The study discloses the importance of considering the spatial and temporal variability of hydrological, oceanographic and atmospheric processes in order to understanding of environmental sensitivity in coastal ecosystems considered.

**Palavras-chave:** remote sensing, oil spills, Environmental Sensitivity Index, sensoriamento remoto, derrames de óleo, Índice de Sensibilidade Ambiental.

### 1. Introdução

O Bloco BM-J-2 está localizado a cerca de 20 km de distância da costa dos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, no sul do estado da Bahia. Tais cidades são portadoras de importantes ecossistemas marinhos costeiros, alguns protegidos por lei (Unidades de Conservação), e outros sem a guarnição legal, porém igualmente importantes no que tange à sua conservação. A Figura 1 apresenta a área de estudo com destaque para a Reserva Extrativista de Canavieiras e o Bloco BM-J-2. Esse contexto torna a área citada mais sensível aos impactos de eventuais acidentes provenientes de atividades petrolíferas e exerce sobre a empresa concessionária maior precaução na exploração do bloco em questão. Do ponto de vista da estratégia de monitoramento ambiental de possíveis impactos da exploração de óleo sobre a região costeira ao longo de sua vida útil (fases de implantação, operação e desativação), devem-se considerar mudanças nas dinâmicas marinha e atmosférica decorrentes do processo de aquecimento global. Tais mudanças podem interferir no gerenciamento das fases citadas constituindo potenciais riscos e demandando possíveis adaptações do empreendimento a nova condição.

Este trabalho é resultado de estudos de caracterização e monitoramento de ecossistemas costeiros para a região do litoral sul da Bahia compreendida entre os municípios de Belmonte, Canavieiras e Una. Tais estudos consistem na aquisição de dados ambientais oriundos de sensores locais e remotos (de base orbital) em conjunto com aplicação de técnicas de modelagem computacional da hidrodinâmica marinha e atmosférica. Cenários ambientais marinhos e meteorológicos previamente definidos tiveram sua dinâmica detalhada espacialmente a partir da aplicação dos modelos computacionais citados. Além do desenvolvimento das atividades descritas, dados oceanográficos vêm sendo medidos na região a partir do lançamento contínuo e sistemático de derivadores de superfície e da instalação de

sensores fixos de medição de altura e direção de onda e perfis de corrente, além da coleta de dados de vazão fluvial nos três principais rios da região de interesse, a saber: Rio Una, Rio Pardo e Rio Jequitinhonha.

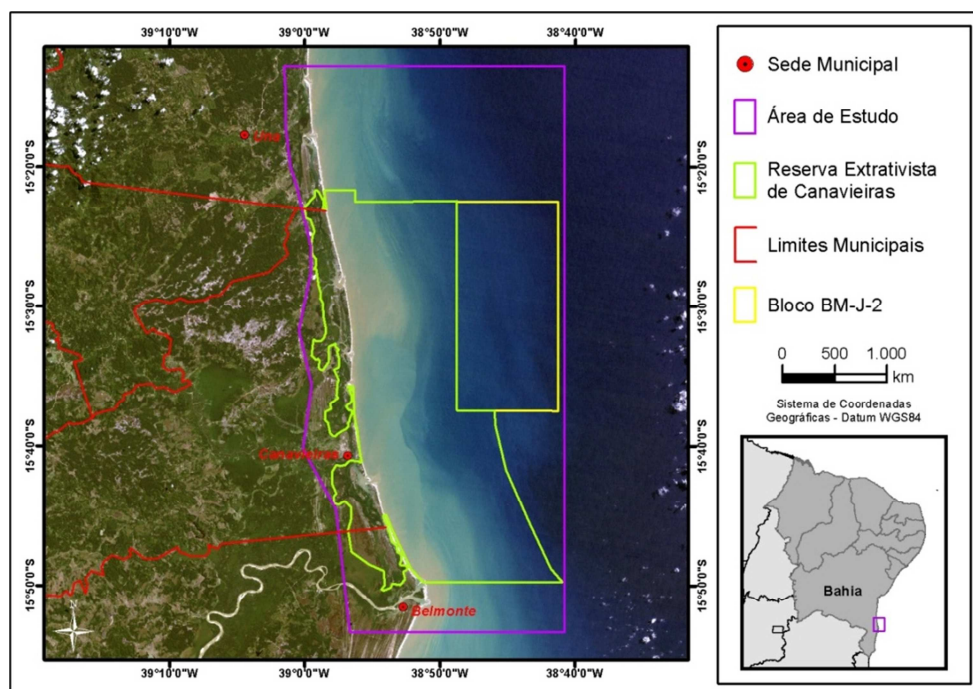


Figura 1 – Apresentação da Área de Estudo

Assim, este trabalho tem como objetivo principal a caracterização e a estruturação de base de conhecimentos necessária ao monitoramento ambiental para ecossistemas costeiros compreendidos na região do litoral Sul da Bahia. Dessa forma, pretende-se gerar mapas de sensibilidade ambiental para diferentes cenários atmosféricos e hidrodinâmicos na região de interesse baseados em resultados de modelos computacionais.

## 2. Metodologia

A proposta metodológica é fundamentalmente baseada em seis etapas como disposto no fluxograma na Figura 2, são estas: Modelagem Hidrodinâmica Marinha, Modelagem Atmosférica, Dados Medidos In Situ, Caracterização do Ambiente Físico, Cenários Ambientais e Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo.

Toda proposta metodológica visa contribuir para elaboração de mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo, uma vez os cenários hidrodinâmicos/atmosféricos podem variar ao longo do dia, estação ou ano, expondo diferentes tipos de substratos e, por conseguinte, diferentes níveis de sensibilidade. De acordo com MMA (2002), o sistema de classificação de sensibilidade é baseado no conhecimento das características geomorfológicas das áreas do litoral, considerando os seguintes fatores: grau de exposição à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo do substrato. Para a classificação da sensibilidade da costa é fundamental o entendimento das inter-relações entre os processos físicos, tipos de substrato e biota associada, que produzem ambientes geomorfológica e ecologicamente específicos. Nesse sentido, a modelagem ambiental em ambiente computacional torna-se fundamental para entender melhor o comportamento de fenômenos como maré, correntes marinhas e ventos, e com seus resultados, determinar o nível de exposição da costa frente à hidrodinâmica marinha ao longo de um determinado período de tempo.

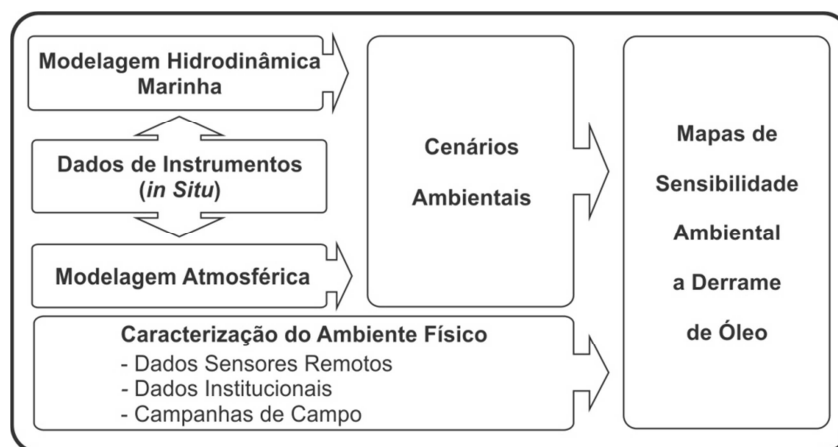


Figura 2. Fluxograma da proposta metodológica

### 2.1 Cenários Ambientais

Os cenários ambientais foram elaborados em função de características oceanográficas (representadas principalmente pelas marés e circulação marinha de grande escala) e atmosféricas (representadas principalmente pelos ventos) que representam os principais forçantes ambientais que influenciam na dinâmica das correntes marinhas costeiras da região de interesse. É necessário destacar a importância de cada cenário para o entendimento dos fenômenos ambientais atuantes em uma determinada época do ano, os quais interferem diretamente no comportamento da hidrodinâmica e conseqüentemente na susceptibilidade ambiental da área de estudo. Neste sentido, quatro cenários foram previamente selecionados: cenário de verão (com maré de sizígia enchente e sizígia vazante) e cenário de inverno (sizígia enchente e sizígia vazante).

### 3. Resultados

Neste item, serão apresentados alguns dos resultados obtidos para cada uma das cinco etapas metodológicas exibidas na Figura 2.

#### 3.1 Modelagem Atmosférica

Essa atividade se concentra na obtenção da distribuição espacial e temporal detalhada de variáveis atmosféricas essenciais para a obtenção dos cenários ambientais como o campo de ventos junto à superfície do oceano. O modelo escolhido para o estudo foi o modelo atmosférico Weather Research and Forecasting (WRF), o qual foi desenvolvido pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR). O modelo regional fornece informações do campo de ventos com detalhamento espacial de 900 metros para toda a região de interesse. Tal resolução espacial é capaz de fornecer uma boa representatividade da dinâmica atmosférica para a região a ser estudada. Os resultados obtidos para algumas variáveis prognósticas atmosféricas foram comparados aos dados observados (medidos) na região para julgar e avaliar a eficiência das simulações computacionais em diferentes períodos.

#### 3.2 Modelagem Hidrodinâmica Marinha

A modelagem da hidrodinâmica marinha em escala regional constituiu uma etapa da metodologia para o estudo descritivo da oceanografia física da região de interesse do projeto. Para o modelo hidrodinâmico foi utilizado o ROMS (*Regional Ocean Modelling System*). Para a caracterização da dinâmica marinha da área de interesse foram simulados dois períodos distintos, um para condições de inverno e outro para condições de verão, a fim de verificar a variação sazonal. Os resultados gerados pelo modelo apresentaram resolução espacial horizontal de 200 metros. As simulações foram feitas utilizando como forçantes ambientais:

ventos, marés e correntes marinhas de grande escala. Com os resultados foi possível obter os campos de correntes marinhas superficiais, assim como as variações na elevação da superfície livre do mar para toda a região de interesse do estudo. Os resultados gerados pelo modelo hidrodinâmico puderam ser comparados a dados de corrente (velocidade e direção) obtidos a partir da utilização de sensores na região. Com as simulações realizadas foi possível representar os principais processos oceanográficos associados à circulação marinha costeira na região. Dentre os quatro cenários previamente considerados e citados na seção de metodologia, conclui-se que dois cenários interferem de forma mais significativa sobre as condições de sensibilidade ambiental a derrame de óleo, a saber: Sízígia Enchente e Sízígia Vazante durante o Verão. Deste modo, os mapas de sensibilidade foram construídos com base nos dois cenários hidrodinâmicos citados. A Figura 3 expõe resultados de um momento da modelagem hidrodinâmica para enchente e vazante, durante o verão de 2013.

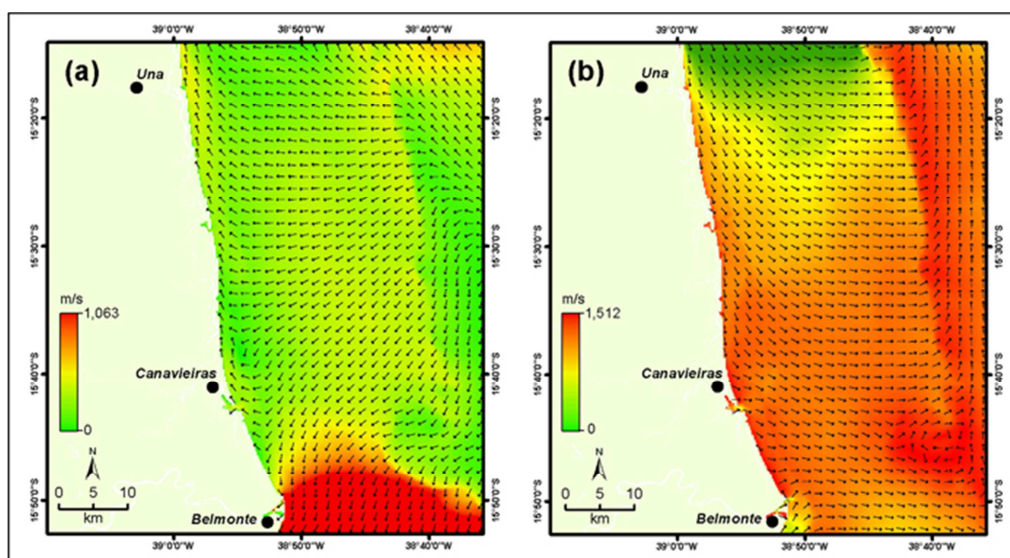


Figura 3. Resultado da modelagem hidrodinâmica para um momento de enchente (a) e vazante (b) durante o verão de 2013

### 3.3 Análise de dados oceanográficos *in situ*

Para a caracterização ambiental de uma região também é necessária a aquisição e análise de dados ambientais *in situ* (oceanográficos e meteorológicos) que possam não apenas auxiliar na caracterização ambiental da dinâmica marinha e atmosférica, mas que também possam ser utilizados como importantes fontes de informação para a validação e avaliação dos modelos computacionais oceanográficos e meteorológicos. Dados oriundos de derivadores de superfície e perfiladores acústicos foram adquiridos na região. Tais sensores coletam informações relativas à velocidade e direção de corrente em superfície, altura e direção de ondas e vazão fluvial em três dos principais estuários da região.

### 3.4 Caracterização do Ambiente Físico

Para caracterizar o ambiente físico da região de interesse, imagens de RADAR e ópticas de sensores orbitais foram processadas e analisadas a fim de elaborar mapas temáticos como Uso da Terra, Cobertura Vegetal e Geomorfologia, além de extrair margens dos baixos cursos dos rios e linha de costa da área de estudo. Os dados orbitais também contribuíram para subsidiar com mais qualidade a modelagem hidrodinâmica e atmosférica em escala local tornando os resultados dos modelos computacionais mais consistentes.

Diversas instituições de referência nacional e internacional em produção e disseminação de dados primários e secundários foram consultadas a fim de obter elementos que ajudassem a

caracterizar, mensurar ou classificar a área de estudo.

Quatro campanhas de campo foram realizadas com objetivo de observar, reconhecer, medir e registrar classes de uso e cobertura da terra, feições geomorfológicas e aspectos da batimetria fluvial. Esta etapa é fundamental para avaliar e validar os estudos laboratoriais em curso e consequentemente obter resultados com maior acurácia com a realidade.

Os resultados mostraram que a região é marcada por extensos manguezais preservados ao longo dos baixos cursos dos rios. A classe Floresta Densa é a mais representativa, atingindo 37,8% da área de estudo. Pastagem representa 22,87%, seguido por Manguezais, Pântano e Brejo e Rio Permanente, com 14,65%, 8,88% e 5,28%, respectivamente. Estas cinco classes somam quase 90% da área de estudo, sendo que destas quatro classes são de formação natural o que expõe o bom estado de preservação natural da região de interesse. A Tabela 1 exhibe maiores detalhes das classes de uso e cobertura da terra mais representativas. A Figura 4 apresenta os mapas temáticos que contribuirão na caracterização do ambiente físico.

Tabela 1. Classes de Uso e Cobertura mais representativas na área de estudo

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção
Floresta Densa	265.33	37.80%
Pastagem	160.55	22.87%
Manguezais	102.82	14.65%
Pântano ou Brejo	62.36	8.88%
Rio Permanente	37.06	5.28%

### 3.5. Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo

As cartas de sensibilidade classificam a linha de costa utilizando um Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Este índice hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala de 1 a 10, sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade. O ISL é baseado nas características geomorfológicas da costa, fundamentais para a determinação do grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados.

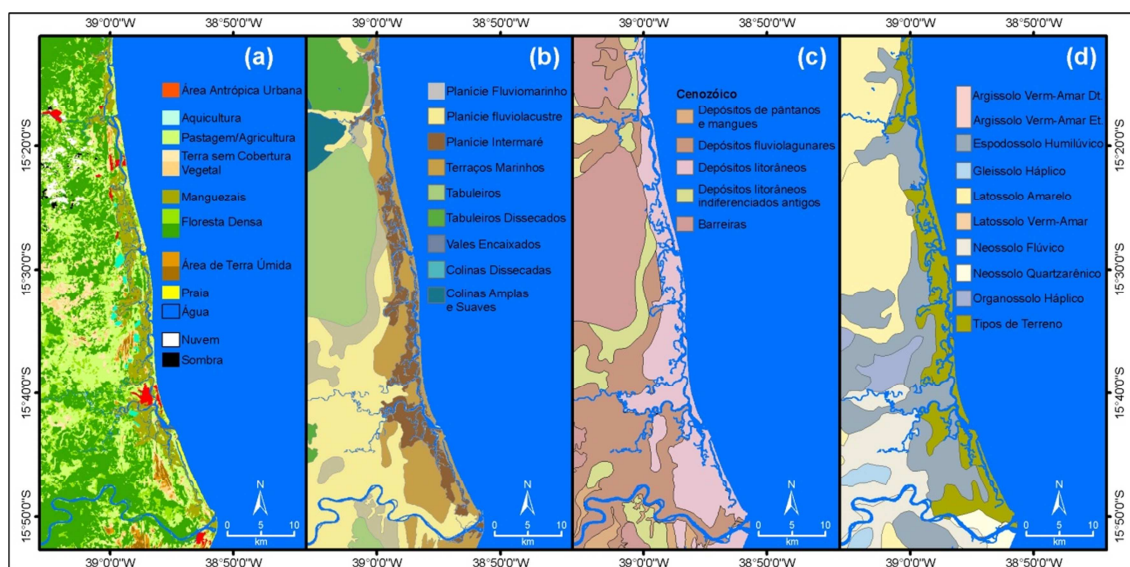


Figura 4. Mapas de caracterização do ambiente físico. Uso e Cobertura da Terra (a). Geomorfologia (b). Geologia (c). Tipos de Solo (d).

Neste estudo foram contemplados alguns critérios na definição da sensibilidade litorânea da área de estudo, tais como: granulometria, mobilidade e grau de penetração do óleo no substrato; declividade da face de praia; grau de exposição às ondas e largura da praia.

Para mapear a sensibilidade da área de estudo, as feições geomorfológicas foram divididas em dois ambientes: ambiente costeiro (feições expostas diretamente às ações oceânicas); e ambiente estuarino (feições abrigadas das ondas marinhas). A Tabela 2 apresenta a extensão e proporção de cada tipo de costa, bem como seu respectivo índice de sensibilidade litorânea.

Tabela 2. Extensão e de cada tipo de costa encontrada na área de estudo

Ambiente	Índice	TIPO DE COSTA	Extensão (km)	(%)
COSTEIRO	ISL7	Planícies de maré arenosas, expostas	126,56	10,94
	ISL3	Praias dissipativas de areia fina a média, expostas	92,03	7,95
	ISL4	Praias intermediárias de areia fina a média, expostas	16,60	1,43
	ISL3	Faixas arenosas contígua à praia não vegetadas	12,74	1,10
<b>Total Costeiro</b>			<b>247,92</b>	<b>21,43</b>
ESTUARINO	ISL10	Manguezais (Mangue de Estuário)	725,04	62,66
	ISL10	Margens de rios	90,12	7,79
	ISL9	Planícies de maré arenosas abrigadas	46,11	3,98
	ISL9	Planícies de maré lamosas abrigadas	33,55	2,90
	ISL4	Praias de areia fina a média, abrigadas	5,27	0,46
	ISL1	Estruturas artificiais lisas	4,77	0,41
	ISL10	Barras de rio vegetadas	4,31	0,37
<b>Total Estuarino</b>			<b>909,17</b>	<b>78,57</b>
<b>Total Geral</b>			<b>1157,10</b>	<b>100,00</b>

Praias dissipativas de areia fina a média são predominantes ao longo da costa, chegando a pouco mais de 90 km de extensão. Possuem declividade da face de praia que varia de 0° a 3°. Praias intermediárias de areia fina a média vêm em seguida com cerca de 16 km. Faixas arenosas tem a menor representatividade dentro do ambiente costeiro, com pouco mais de 12 km de extensão. A partir do recuo do mar em função da maré baixa, fica exposto a face de praia podendo chegar a 100 metros de largura, esta planície de maré arenosa pode alcançar 126 km de extensão e é o momento onde a costa fica mais sensível a derrame de óleo.

No ambiente estuarino, os manguezais dominam os rios com 725 km de margens fluviais. Margens de rio sem mangue alcançam 90 km de extensão. As planícies de maré arenosas e lamosas também são bem representativas, atingindo quase 80 km. Ressalta-se que estas feições ficam expostas em condições de maré baixa. Praias abrigadas possuem pouco mais de 5 km. Estruturas artificiais vêm em seguida com 4,7 km e por fim barras vegetadas tem a menor proporção dentro do ambiente estuarino com 4,3 km.

A Figura 5 apresenta mapas de sensibilidade ambiental a derrame de óleo para os principais rios da região. Como discutido anteriormente, foram considerados dois cenários ambientais: Preamar e Baixa-Mar para o verão. No cenário de preamar, algumas feições geomorfológicas ficam submersas, enquanto que na baixa-mar tais feições emergem, expondo-as ao risco de contaminação por óleo. Na Figura 5 (a), observa-se o momento em que a elevação marinha atinge 1,65 m na foz do Rio Una. A Figura 5 (b) revela o momento em que a elevação marinha alcança -1,37 m e nesse contexto feições como planícies de maré lamosa ou arenosa, bancos de areia e barra ficam expostas. O mesmo fenômeno ocorre na foz do Rio Pardo em Canavieiras como mostra a Figura 5 (c) e (d), e na foz do Rio Jequitinhonha em Belmonte, como exibe a Figura 5 (e) e (f). Ressalta-se que a Figura 5 expõe apenas algumas amostras para o que foi realizado para toda área costeira da área de estudo. Os resultados dos modelos hidrodinâmicos estão integrados nos mapas, o que permite entender o comportamento das correntes superficiais marinhas durante um determinado cenário.

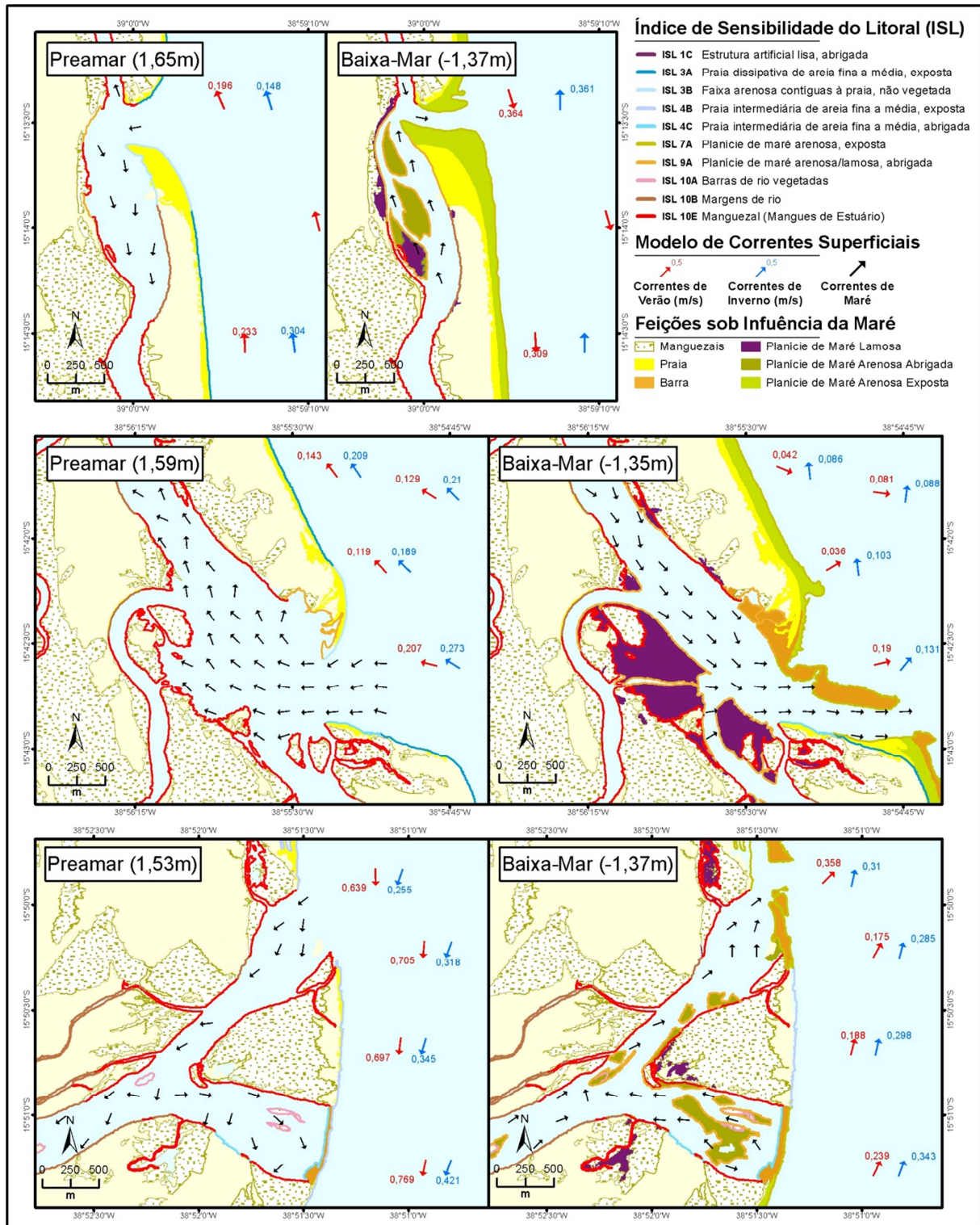


Figura 5. Mapas de sensibilidade ambiental a derrame de óleo. Rio Una em condições de preamar (a), e em condições de baixa-mar (b). Rio Pardo durante a preamar (c) e durante a baixa-mar (d). Rio Jequitinhonha em preamar (e), e em baixa-mar (f).

#### 4. Considerações Finais

Diante de todas as análises apresentadas e resultados de modelos computacionais, o trabalho se concentrou na elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrame de óleo. Feições geomorfológicas específicas para estudos de sensibilidade foram analisadas,

mapeadas, quantificadas e qualificadas de acordo com o índice de sensibilidade litorânea proposto pelo Ministério do Meio Ambiente.

Foram identificadas onze feições geomorfológicas que se enquadram em seis níveis do índice de sensibilidade litorânea. Dois ambientes foram considerados de acordo com o local de ocorrência de cada feição: fluvial (ambiente estuarino) e marinho (ambiente costeiro).

Como era esperado, o ambiente estuarino é bem mais sensível do que o ambiente costeiro devido ao domínio dos extensos manguezais ao longo dos estuários. Já ambiente costeiro predomina a praia dissipativa de areia fina a média conjugado com planícies de maré arenosa, o qual é resultante da exposição destas praias pela ação da maré.

O mapeamento dos dois cenários ambientais considerados pode ser integrado aos planos de contingência e, assim, aumentar a eficiência das equipes em campo para contenção do óleo. Esta distinção de condições favorece o entendimento do quão importante é proceder com emergência diante de um eventual derrame de óleo, pois em um mesmo dia as condições hidrodinâmicas podem determinar maior ou menor impacto sobre o ambiente.

O entendimento do funcionamento de tais ambientes em função resultados apresentados neste estudo permite ao tomador de decisões a obtenção da dinâmica de susceptibilidade ambiental de determinado ecossistema à ocorrência de acidentes ambientais como potenciais derrames de óleo no mar. Dessa forma, o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem o maior conhecimento e caracterização de ambientes costeiros assegura as empresas de óleo e gás maior capacidade e agilidade no processo de prevenção e mitigação e monitoramento de tais ambientes.

## **5. Agradecimentos**

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e à empresa Queiroz Galvão Exploração e Produção pelo apoio financeiro através do projeto “Caracterização e Monitoramento de Ecossistemas Costeiros para a Região do Litoral Sul da Bahia Compreendida entre os Municípios de Belmonte, Canavieiras e Una”.

Agradecimentos ao Núcleo de Estudos Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia pelo apoio laboratorial das análises das amostras de sedimentos de praia e apoio logístico nas campanhas de campo.

Por fim, um agradecimento especial aos pescadores e marisqueiras da Reserva Extrativista de Canavieiras pela receptividade, atenção e apoio logístico e gastronômico durante as campanhas de campo.

## **6. Referências Bibliográficas**

- IPIECA. A guide to contingency planning for oil spills on water London, 28 p. (IPIECA Report Series, 2), 2000.
- ITOPF. Effects of marine oil spill. London, 8 p. (Technical Information Paper, 10), 1985.
- LOPES, C. F. Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 122 p. 2007.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Brasília: MMA, 95 p. 2002.
- MORAES FILHO, J. C. R.; LIMA, E.S. Região de Itapetinga, sul da Bahia (borda SE do cráton do São Francisco): geologia e recursos minerais. Salvador: CBPM-CPRM. 72 p. 2007.