

***“Mapeamento dos Índices de Sensibilidade Ambiental ao derramamento de óleo através de imagens SPOT 5, na região portuária de vila do conde - Barcarena - PA”.***

Messiana Beatriz Malato Boulhosa <sup>1</sup>  
Amilcar Carvalho Mendes <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG  
Avenida Perimetral, 1901 – 66077-530 - Belém - PA, Brasil  
biaboulhosa@yahoo.com.br  
amendes@mpeg.br

**Abstract.** Accidents related to exploration and oil transport are a threat to coast zones around the world. Oil spills are an ecological disaster that may cause irreparable damage to the environment affecting living beings that live in these coast zones and also the local economy. In Pará, especially in the area of influence of the port of Vila do Conde, occurs intense flow of ships and ferries carrying oil derivatives and other chemicals, which emphasizes the likelihood of significant environmental impact in the event of any accident involving spillage of these substances, which emphasizes the likelihood of significant environmental impact in the event of any accident involving the oil spill. Towards this context, the objective of this work is to create a map of the coast environment and a rating map of the environmental sensitivity about the oil spills in a certain part of Pará state northeast coast. The methodology consisted on processing digital images from remote SPOT-5, and to the field data collected in SIG (geographical information system) environment. The most important results allowed: 1) Recognizing and describing of the morphological unities. 2) Identifying and classifying of the unities of Environmental Sensitivity index (ISA). The using of remote sensors techniques and SIG proved to be an important tool for recognizing and analyzing coast environments and for generating maps to coast environments and to environmental sensitivity rates to oil spills in the area of influence of the port of Vila do Conde, Barcarena, Pará.

**Palavras-chave:** remote sensing, geomorphology, environmental sensitivity index, port of Vila do Conde, sensoriamento remoto, Geomorfologia, processamento de imagens, índice de sensibilidade ambiental, porto de Vila do Conde.

## **1. Introdução**

Acidentes relacionados à exploração e transporte de petróleo constituem uma ameaça às zonas costeiras de todo o mundo, pois um derrame de óleo, dependendo de sua magnitude, constitui-se em um evento ecologicamente desastroso e pode causar danos irreparáveis ao meio ambiente, afetando, principalmente, os seres vivos que ali habitam e a economia local. No Rio Pará, onde se encontra instalado o Terminal de Vila do Conde, ocorre intenso fluxo de navios e balsas que transportam mensalmente cerca de 20.000 toneladas de óleo A1, além disso há praias fluviais bastante freqüentadas (Caripi, Conde, Itupanema, Beja), o que ressalta a probabilidade de impacto ambiental significativo em caso de eventual acidente envolvendo derramamento destas substâncias.

Um exemplo foi o acidente ocorrido em 4 de fevereiro de 2000, no qual a Balsa Miss Rondônia, que transportava cerca de 1,8 milhões de litros de óleo BPF (derivado de petróleo usado em caldeiras) afundou próximo ao Terminal de Vila do Conde e, durante tentativa de resgate, parte do combustível foi derramada. O óleo BPF é caracterizado pelo baixo ponto de fluidez e tende a se precipitar na coluna d'água e atingir os sedimentos do fundo. Segundo Berredo et.al. (2001), em pesquisa sobre o nível de contaminação dos sedimentos de fundo das águas do Rio Pará, o óleo encontrado nos sedimentos não pôde ser relacionado com precisão ao o óleo derramado, em virtude do teor verificado nas amostras estar abaixo daqueles considerados como referência internacional, contudo estes autores recomendam o

monitoramento constante do composto, devido tratar-se de uma área de intensa atividade portuária e industrial.

Diante desta problemática, este trabalho objetivou o mapeamento das unidades de paisagem através de imagens de sensoriamento remoto em ambiente SIG, para gerar carta de índices de sensibilidade ambiental (ISA), utilizando a metodologia de Souza Filho et al. (2004), que propuseram uma classificação de ISA específica para a zona costeira amazônica.

Os dados aqui apresentados trazem informações importantes acerca da morfologia, e sensibilidade ambiental da área de estudo. Este tipo de mapeamento temático constitui-se em excelente contribuição, uma vez que não existe cartografia temática com tal abordagem para a região. Além disso, são dados essenciais para a elaboração de diagnósticos ambientais e planos de contingência de possíveis eventos poluidores na região portuária, em especial derramamentos de óleo.

## 2. Localização da Área de Estudo

A área estudada encontra-se no setor de influência do Terminal de Vila do Conde, na margem direita estuário do Rio Pará, município de Barcarena. Este setor tem como escopo a movimentação de cargas (minérios) e descarga de óleo combustível e soda cáustica para atender as empresas Albras-Alunorte, Imerys rio Capim e Pará Pigmentos. A área está situada entre os paralelos 1°17'S e 1°40'S e os meridianos 48°49'W e 48°33'W (figura 1).

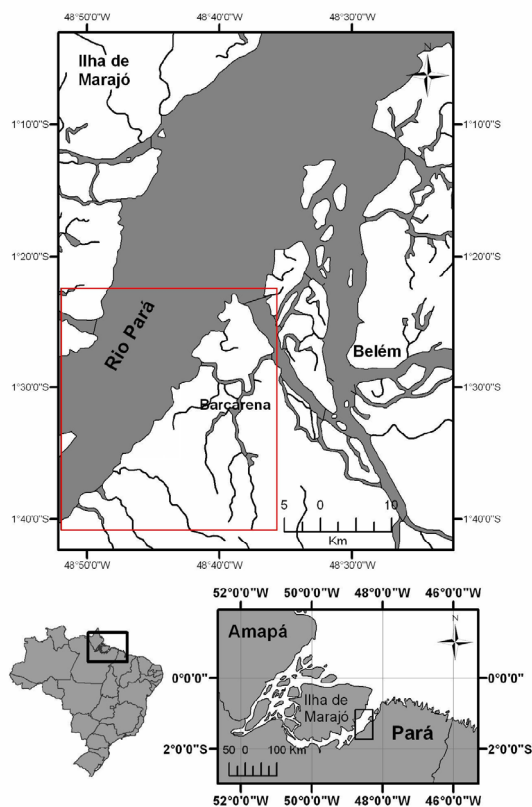


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

## 3. Metodologia de trabalho

A metodologia de trabalho consistiu basicamente em processamento digital de imagem SPOT 5 com 10m de resolução espacial, sensor HRG, bandas 1 (0,50 a 0,59  $\mu\text{m}$ ), 2 (0,61 a

0,68  $\mu\text{m}$ ) e 3 (0,78 a 0,89  $\mu\text{m}$ ), utilizando o software *PCI Geomática 9*, e geração de mapas utilizando o software *Arck view 3.0*.

### **3.1 Processamento digital de imagens**

Inicialmente, a imagem SPOT foi recortada à área de interesse. O passo seguinte consistiu em corrigir distorções radiométricas e geométricas que são erros inerentes ao imageamento, através da correção atmosférica (manipulação de histograma) segundo Jensen (1996) e correção geométrica (ortorretificação). Depois de corrigidas, as bandas espectrais foram combinadas pela composição colorida (2R3G1B). Em seguida foram aplicadas técnicas de Jensen (*op. cit*) para realce, com objetivo de melhorar a qualidade visual das imagens e facilitar a discriminação dos alvos, possibilitando melhores resultados na interpretação. Este procedimento foi realizado através da manipulação dos histogramas de cada banda espectral, e resultou em uma imagem de boa qualidade para análise visual. Na fase de pós-processamento das imagens foram aplicadas técnicas de interpretação visual que tem como base a extração de informações tanto das assinaturas espectrais e propriedades físico-químicas dos alvos, como pela análise visual de forma, textura, cor e contexto dos alvos.

### **3.2. Reconhecimento da morfologia– Verdade Terreno da classificação da imagem**

Nesta etapa foi efetuado o reconhecimento da morfologia dos ambientes fluviais com influência de maré previamente mapeados na classificação das imagens, onde foram coletados pontos de controle, posicionados através do GPS (Global Positioning System) de mão modelo GARMIN Etrex. Simultaneamente foram coletadas amostras de sedimentos e realizado registro fotográfico das unidades de paisagem.

### **3.3. Elaboração de Mapas**

Para a elaboração do mapa geomorfológico a imagem ortorretificada foi inserida no *software Arck view 3.0* para a digitalização das classes, seguindo as normas do sistema ITC de Van Zuidam & Verstappen (1991), na qual o primeiro passo é efetuar uma visão geral da geomorfologia da área de estudo e sua relação com as áreas adjacentes, através das imagens de satélite, sendo que, simultaneamente, foram consultadas outras fontes de informações disponíveis na literatura. Posteriormente, as unidades geomorfológicas e outros dados relevantes são mapeados visualmente, delineando as unidades maiores, as subunidades, e o traçado das formas de relevo, sendo que sua gênese não pode ser interpretada visualmente. A finalização deste levantamento se deu com a seleção de cores e símbolos registrados na legenda, para representar as unidades geomorfológicas. Porém, somente após a aquisição de informações de campo foi possível individualizar com maior segurança o limite entre os ambientes.

O mapa dos índices de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo foi gerado seguindo a metodologia proposta por Souza Filho et al. (2004), a qual desenvolve classificação de ISA específica para a zona costeira amazônica. Segundo NOAA (2002), os mapas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleos consideram três tipos de informações: índice de sensibilidade da costa, recursos biológicos e atividades socioeconômicas, sendo que os dois últimos não fazem parte do escopo deste trabalho. Esta abordagem proporciona uma classificação baseada no entendimento do ambiente, como os processos físicos e o substrato, que permitem prever padrões de comportamento e transporte do óleo derramado.

O índice de sensibilidade ambiental (ISA) ao óleo hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala numérica de 1 a 10, sendo o índice tanto maior quanto mais sensível for o ambiente, baseado nas suas características geomorfológicas e sedimentológicas. Os parâmetros considerados para esta análise de ISA foram: a) tipo de substrato, relacionado com a permeabilidade e capacidade de infiltração e o tempo de permanência do óleo,

trafegabilidade e biota; b) declividade do litoral, que determina a extensão da zona intermarés, e conseqüentemente o seu efeito na reflexão e quebra das ondas; e c) grau de exposição à energia de ondas e marés, que tem associação direta com as comunidades biológicas existentes na área e com o tempo de permanência do óleo.

#### 4. Resultados e discussão

##### 4.1. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes:

Foram reconhecidas três unidades morfoesculturais (Planalto Rebaixado da Amazônia, Planície Amazônica e Sistema Antropogênico) e cinco unidades morfológicas (Terra firme, planície aluvial, praias fluviais, canais de maré, e área urbanizada), a partir da abordagem proposta por Ross (1996), que estabelece táxons para classificação geomorfológica. Na Tabela 1 estão sintetizadas as principais características das referidas unidades..

**Tabela 1: Unidades morfológicas e ambientes costeiros mapeados segundo a metodologia de Ross (1996)**

Unidades morfológicas	Unidades de paisagem	Características
Planalto rebaixado da Amazônia	Regiões de terra firme	Faz contato geobotânico com a unidade Planície de Inundação, e abrupto com a margem do rio, onde desenvolve Barrancos.
Planície Amazônica	Planície aluvial (regiões de várzea)	Individualizadas principalmente pelo seu posicionamento geográfico, ao redor dos baixos cursos dos canais fluviais, com extensão lateral relacionada ao efeito de inundação causado pelas marés de enchente e vazante. Essas inundações diárias depositam uma sucessão de argilas ricas em matéria orgânica.
	“Praias” fluviais	Depósitos arenosos localizados, com extensão ( $\pm 500\text{m}$ ) e largura em torno de 100 m, constituídos por sedimentos de granulometria fina a média, ricos em quartzo e minerais pesados, cuja fonte está provavelmente associada ao retrabalhamento das margens.
	Canais fluviais	Corresponde à calha dos rios.
Sistema Antropogênico	Área urbana e industrial	Arruamentos das comunidades, estradas que as interligam, e região industrial onde estão instalados os portos das empresas Albrás-Alunorte e Rio Capim Caulim-RCC

O mapa que sintetiza a distribuição espacial das unidades de paisagem é mostrado na figura 2.

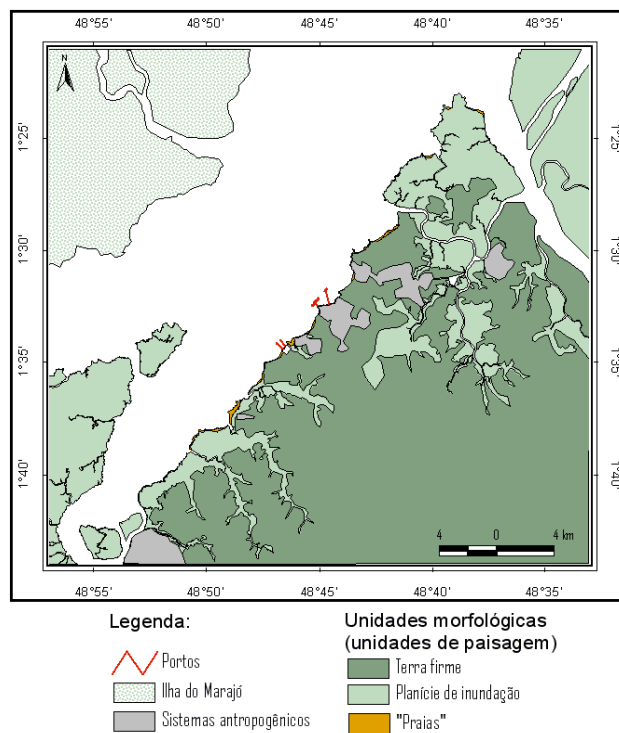


Figura 2: Mapa de unidades de paisagem da área de influência do porto de Vila do Conde.

#### 4.2. Mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo

Foram identificados quatro índices de sensibilidade ambiental (ISA) ao derramamento de óleo na área estudada. O mapa da figura 3 demonstra a distribuição espacial dos ISA que são descritos na tabela 2.

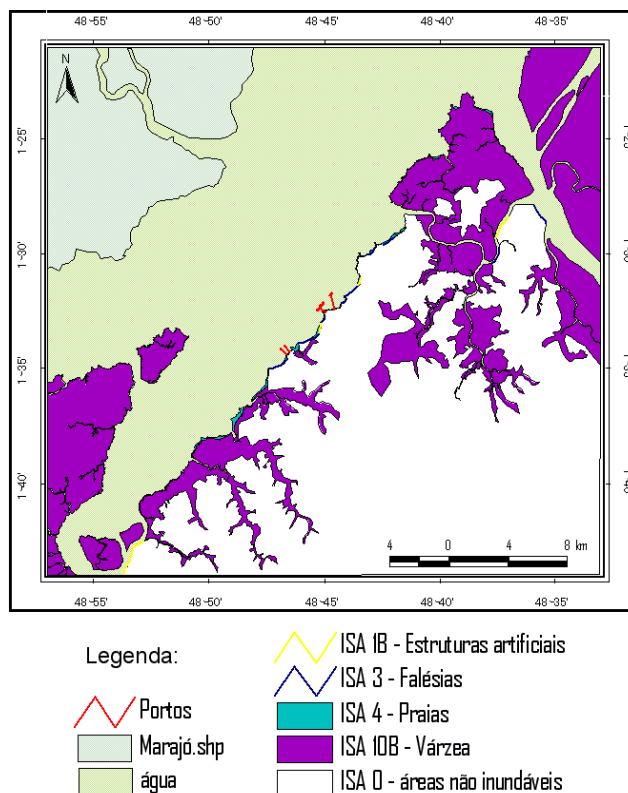


Figura 3: Mapa dos índices de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo da região de influência do complexo portuário de Vila do Conde

**Tabela 2: Índices de sensibilidade ambiental mapeados na área de estudo.**

ISA	Ambiente	Características	Comportamento do óleo	Ações de resposta
1B	Estruturas artificiais (Muro de arrimo)	-Estruturas sólidas expostas construídas pelo homem com o objetivo de proteger áreas contra erosão provocada pela ação de ondas e marés e, no caso dos terminais portuários, para permitir a atracação de navios. -Paredão artificial com superfície lisa, declividade alta, construído com concreto ou madeira. -Exposição freqüente a ondas e/ou a fortes correntes de maré; tendência refletiva; -substrato impermeável e sem rugosidades; declividade superior a 30°.	Não há penetração e nem permanência do óleo	A remoção do óleo tende a ser naturalmente e de maneira rápida.
3A	“Praias” de granulometria fina a média	-Praias de areia fina, sedimentos bem selecionados e geralmente compactos (fundo duro) moderadamente permeáveis. Sedimentos superficiais sujeitos a remobilização freqüente por ação hidrodinâmica -Declividade média, reflexão baixa das ondas -Região de uso recreacional e com intensa atividade socioeconômica, incluindo pesca.	Penetração do óleo inferior a 10 cm. Possibilidade de soterramento do óleo em praias expostas, após a fase erosiva das tempestades.	Geralmente a limpeza do óleo é necessária. Geralmente, diante da presença de óleo, a limpeza da praia se faz necessária.
3B	Escarpas expostas com declives íngremes em areia (Barrancos)	-Substratos semipermeáveis com pequena penetração de petróleo. -Formam escarpas ao longo dos cursos fluviais e falésias ao longo das praias fluviais a partir da ação dos processos hidrodinâmicos (Grupo Barreiras). -Reflexão média das ondas e marés, com sedimentos bem selecionados e geralmente compactos, sujeitos a remobilização freqüente por ação hidrodinâmica. -No caso de escarpas íngremes expostas do Grupo Barreiras, a ação das correntes de maré e ondas, durante os períodos de maré alta, atingem a base da barreira, erodindo sua porção inferior, enquanto as porções superiores são desgastadas pela água da chuva e outras descargas que se infiltram no terreno. Como resultado desta ação conjugada, a escarpa é erodida e recua.	Penetração do óleo geralmente menor que 10 cm; mínima possibilidade de soterramento do óleo devido à lenta mobilidade da massa sedimentar; a possibilidade existe, porém, em praias expostas, após a fase erosiva das tempestades;	Geralmente a limpeza é necessária, sendo comumente possível o tráfego de veículos, respeitando o ciclo de marés e as eventuais restrições ambientais locais. No caso dos sedimentos Barreiras, o óleo pode se entranhar no material desmoronado, acumulado na base da escarpa, tornando a limpeza necessária na faixa da preamar.
10D	Várzea	-Terraços alagadiços formados nas margens e planícies de inundação dos rios. -Formada em planícies aluviais ou estuarina, sendo caracterizada por uma zona com baixa declividade, sujeita a níveis de energia mais baixos. -Possui ampla superfície de inundação, que permite o estabelecimento de rica comunidade biológica. -Substrato plano constituído por sedimentos arenoso a lamoso, saturados em água, com baixa permeabilidade e baixa mobilidade.	A penetração de óleo é limitada, com possibilidade de cobertura direta da vegetação pelo óleo na zona intermarés, podendo sufocar os sistemas de raízes; o impacto na biota pode ser alto devido à exposição tóxica ou asfíxia.	A remoção natural ocorre de forma extremamente lenta, devido aos baixos níveis de energia. As dificuldades de acesso devido a grande densidade e diversidade de vegetação tornam a limpeza mecanizada muito difícil. Assim, de maneira geral, não é possível a utilização de equipamentos de limpeza, admitindo-se apenas limpeza manual.

## 5. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos pôde-se concluir que a utilização das tecnologias de sensoriamento remoto e SIG têm se revelado uma combinação poderosa para a identificação da geomorfologia da área e na elaboração do mapa de índice sensibilidade ambiental a derramamento. Isso confirma que este é um importante segmento do Geoprocessamento aplicado ao estudo de zonas costeiras principalmente em áreas com base cartográfica desatualizada ou inexistente, comum na Amazônia.

Os ambientes definidos na área de estudo apresentaram-se com índices de sensibilidade 1B, 3A, 3B e 10D, correspondendo respectivamente a Estruturas artificiais (Muro de arrimo), “Praias” de granulometria fina a média, Escarpas expostas com declives íngremes em areia (Barrancos) e Várzea.

Se for levado em consideração dados socioeconômicos, certamente os índices deverão ser revistos/reavaliados, sobretudo no que diz respeito ao ambiente praias, dada a importância do mesmo na análise ambiental.

Os mapas de distribuição espacial das unidades morfológicas e de paisagem e o de índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo poderão ser usados em situações emergenciais e planos de contingência para a proteção de ambientes sensíveis aos danos gerados por um evento de derramamento de óleo, sendo, portanto, uma ferramenta importante que pode auxiliar em projetos de estratégias de prevenção e controle de acidentes, durante as atividades de produção e transporte de óleo pelas companhias de petróleo.

### Agradecimentos

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi / Centro de Ciências da Terra e Ecologia, e ao CNPq pela concessão da bolsa de PCI - nível 7H.

A Petrobrás S.A. pelo suporte financeiro ao projeto PIATAM mar II (Petrobras/UFPA/FADESP # 1728 e 1731) e a todas as demais iniciativas decorrentes do mesmo.

### Referências Bibliográficas

Berredo, J.F.; Mendes, A.C.; Sales, M.E.C.; Sarmiento, J.P. 2001. **Nível de Contaminação por Óleo nos Sedimentos de Fundo e na Água do Rio Pará, Decorrente do Acidente com a Balsa Miss Rondônia**. In: PROST, M.T. *Ecosistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*, Museu Paraense Emílio Goeldi.

Jensen, J.R. 1996. **Introductory digital image processing - A remote sensing perspective**. Prentice Hall, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, second edition, New Jersey, 318p.

Noaa. 2002. Petersen, J; Michel, J.; Zengel, S.; White, M.; Lord, C.; Plank, C, *Environmental sensitivity index guidelines*, NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Version 3.0. Seattle. NOAA Technical Memorandum NOS OR&A 11, 2002. 89p.

Ross, J.L.S. 1996. *Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs*. In: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p.291-336.

Souza Filho, P.W.M.; Miranda, F.P.; Beisl, C.H.; Almeida, E.F.; Gonçalves, F.D. 2004. *Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology*. In: *International Geoscience And Remote Sensing Symposium – IGARSS 2004*, Anchorage, Alaska. *Proceedings...* Anchorage: IEEE Geoscience and Remote Sensing, 2004.

Van Zuidam R. A. & Verstappen H. T, 1991. **The ITC system of Geomorphologic Survey**, 89p.