

## **Índice de sensibilidade ambiental (ISA) a partir do processamento de imagens Landsat TM para o noroeste do Pará (Curuçá - Pa, Brasil).**

Suzan Waleska Pequeno Rodrigues  
Pedro Walfir Martins e Souza Filho

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Caixa Postal: 66075-110 - Belém - Pará, Brasil.  
{suzan,walfir}@ufpa.br

**Abstract** Environmental sensitivity index (ESI) is composed of a rating scale ranging from 1 to 10, representing the impact scale caused by oil. The oil spill has become a fact not an isolated and sporadic in Brazil, causing many environmental impacts at various stages, thus, the production of maps representing the ESI has become important for the implementation of contingency plans and emergency response, thus are analyzed the slope of the coast, the substrate, the degree of exposure to wave energy and tide, indicating the degree of ease of cleaning and removal of impacted areas. The municipality of Curuçá, northwestern state of Pará, has not had a semi-detail map that cared about this kind of human action, so this work has been generated to analyze the coastal environment from the processing of Landsat and CBERS and a survey of the field contributed to the identification of areas that suffer the most spills occur. Thus, it was possible to classify seven indices for the study area, which were grouped into: artificial structures (ESI-1B retaining wall), cliffs ESI-1C, ESI 3A- sandy beaches and dunes with finely exposed, ESI 7-tidal flat sandy; ESI 9- delta, ebb; ESI 10B-freshwater marsh and ESI- 10C-mangrove. So the mapping ESIs are products that may help in the design of strategies for prevention and control of accidents during activities of production and transportation of oil used by oil companies, making it a good prevention strategy, because it avoids the high cost of operations of cleanup activities, payment of damages and restoration of environments impacted by an event of oil spills.

**Palavra- chave:** environmental sensitivity index, remote sensing, coastal area, índice de sensibilidade ambiental, sensoriamento remoto, áreas costeiras.

### **1. INTRODUÇÃO**

A partir da disponibilização de imagens ópticas como a da série Landsat, CBERS, ResourceSat-1, imagens orbitais começaram a ser extensivamente utilizadas no mapeamento geológico e geomorfológico costeiro. Esses produtos de sensores remotos são fontes de informações geográficas, fornecendo importantes subsídios para análises no domínio do espaço e do tempo.

Nesse contexto, Silva (1996), El Robrini (2004), Souza Filho & Paradella (2002, 2005), Gonçalves et al.(2009), Souza Filho et al.(2009), entre outros, utilizaram essa ferramenta metodológica para o mapeamento de diversos setores da costa paraense, principalmente no que se refere às aplicações em geomorfologia e distribuição dos ecossistemas costeiros, assim, a lacuna cartográfica que antes era grande correspondendo a um dos mais graves empecilhos às corretas estratégias e ações de planejamento de uso e ocupação do espaço costeiro, encontra-se em declínio. O objetivo deste trabalho foi reconhecer os ambientes costeiros ao longo da Baía de Curuçá (Figura 1) a partir de imagens do Landsat TM (*Thematic Mapper*) e ETM<sup>+</sup> (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e CBERS 2B e dados de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Esta área é considerada uma área prioritária para conservação de estuários, manguezais, lagoas de praias, dunas, quelônios marinhos, mamíferos marinhos, aves costeiras e marinhas (MMA, 2002).

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a baía de Curuçá (Figura 01) em que é dominada por macro-maré semi-diurna, com altura máxima de 4m. As ondas atingem este setor com altura média em torno de 2,1m e os ventos alísios de NE atingem uma velocidade média de 6,6m/s (CPTEC/INPE, 2004). O clima é tropical chuvoso (úmido), com estações bem definidas secas e chuvosas e precipitações anuais em torno de 3.000mm.

O acesso à área é feito, a partir de Belém, pela Rodovia Federal BR-316 até o Município de Castanhal, prossegue-se pela Rodovia Estadual Pa-136 até o Município de Curuçá e de embarcação motorizada até as diversas ilhas (Ilha dos Guarás, Ilha Mutucal, Ilha Ipomonga, etc.)

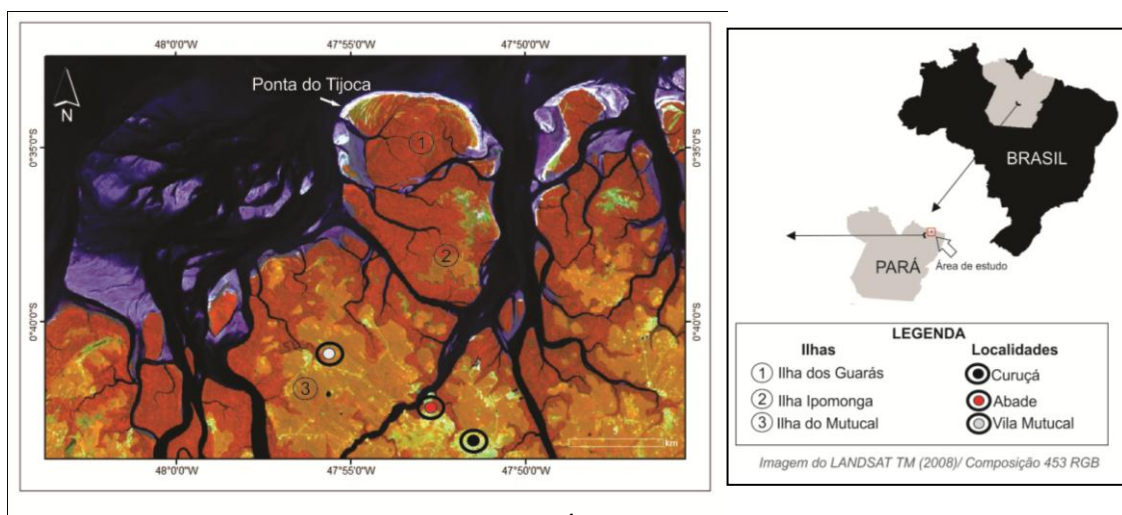


Figura 1. Área de estudo.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens do Landsat utilizadas neste trabalho, representadas na Tabela 1 pertencem as órbitas/pontos 223/60 e 223/61, foram adquiridas na Base *GeoCover* (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>), e o modelo numérico de terreno (MNT) do SRTM no site <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>.

Tabela 01 – características das imagens utilizadas

Plataforma	Sensor	Data de aquisição	Ângulo de incidência	Condição de maré	Resolução espacial(m)	Tamanho do Pixel(m)
Landsat 5	TM	09 jul,2008	---	Alta	30	30
Landsat 7	ETM <sup>+</sup>	05 Ago,2001	---	Alta	30 – mult. 15 - pan	30- mult. 15-pan
SRTM	InSar	Fev,2000	17° - 65°	---	90	90

A imagem do TM foram ortoretificadas a partir das imagens do sensor ETM<sup>+</sup> juntamente com os dados do modelo numérico de terreno (MNT) do SRTM, através da ferramenta *OrtoEngine* do software *PCI Geomatics V10.2*. A ortoretificação baseou-se na coleta de pontos via tela, a partir das imagens ETM<sup>+</sup> georreferenciadas. O método de reamostragem foi o vizinho mais próximo, em que foram coletados 25 pontos de controle com um erro remissivo de RMS 1,0 *pixel*. Posteriormente a imagem passou pela correção atmosférica, para a subtração dos *pixel's* escuros através do método

Chavez Jr. (1996) para melhor visualização das feições estudadas, seguidamente esta imagem foi realçada com um realce obtido por uma transformação linear na edição do LUT presente na pasta do *Algorithm Librarian* do software *PCI Geomatics 10.2*, em que são alterados os histogramas representativos de cada banda e salvos posteriormente com sua nova apresentação, melhorando o contraste da cena.

Posteriormente a imagem TM foi classificada automaticamente através da classificação não supervisionada pelo algoritmo *Isoseg* (ISODATA), foram classificados previamente dezesseis classes, após análise, estas classes foram reagrupadas em nove (planalto costeiro, manguezal, pântano salino, pântano de água doce, dunas, planície de maré arenosa, praia de macro-maré, água com sedimento em suspensão e sem sedimento em suspensão), a redução das classes foi devido a correspondência espectral semelhante em diversos ambientes classificados. Para acurácia da classificação foi gerado o índice kappa que norteou se a classificação foi péssima ou excelente de acordo com a classificação de Congalton (1991), Para este índice foram amostrados 600 *pixels* em toda a área de estudo.

O levantamento de campo foi executado a partir de carta-base gerada através de interpretação prévia da imagem. Nesta etapa foi efetivada a verdade-terreno com coleta de pontos de controle utilizando GPS de navegação, caminhamentos (*tracking*) e cheque de campo das unidades morfológicas.

Após a identificação dos ambientes, estes foram novamente reagrupados de acordo com os métodos propostos pela NOAA (2002), MMA (2002), Petrobrás (2002) e a adaptação de Souza Filho et al. (2004) para o modelo da NOAA utilizando o *software PCI geomatics 10.2*, para a nomeação dos índices de sensibilidade ambiental.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Mapa do Índice de Sensibilidade Ambiental ao derramamento de óleo

Foi possível a identificação de 7 índices de sensibilidade ambiental (Figura 2) ao derramamento de óleo na área (Tabela 1), identificados a partir do processamento das imagens ópticas e interpretadas de acordo com os métodos propostos pela NOAA (2002), MMA (2002), Petrobrás (2002) e Souza Filho et al. (2004).

Tabela 01. ISAs mapeados na área de estudo e seus respectivos ambientes costeiros

<i>Índice de sensibilidade ambiental</i>	<i>Ambiente costeiro</i>
ISA 1B	Muro de arrimo
ISA 1C	Falésias ativas
ISA 3A	Praias arenosas com granulometria fina e dunas expostas
ISA 7	Planície de maré arenosa
ISA 9	Delta de maré vazante
ISA 10B	Pântano de água doce
ISA 10C	Manguezal

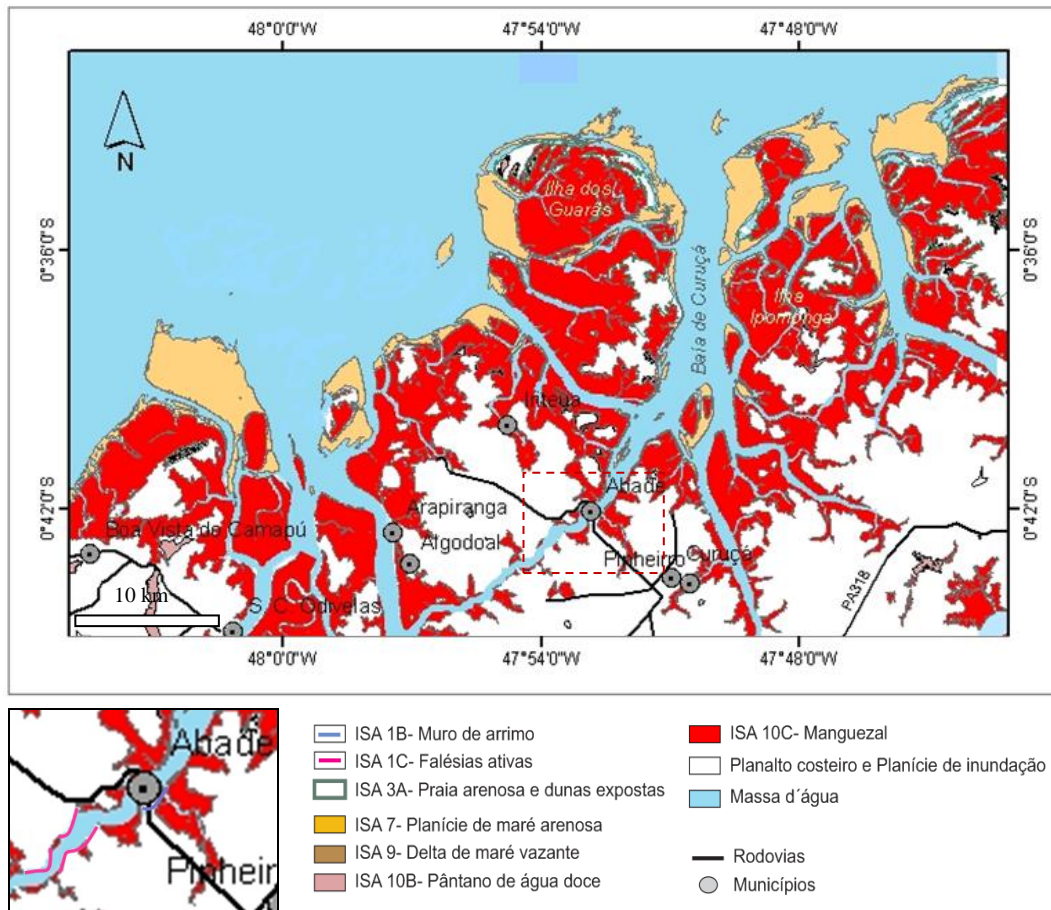


Figura 2. Mapa de índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo.



Figura 3. Fotografias dos ambientes relacionados aos índices ISA.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices de sensibilidade ambiental da área estudada foram atribuídos a partir do processamento dos dados de sensores remotos ópticos (Landsat TM e ETM<sup>+</sup>) e das informações levantadas em campo, como as características texturais dos sedimentos, largura e declividade da praia, entre outras. As classes obtidas na classificação automática e interpretação visual foram agrupadas em planos de informação.

O processamento das imagens forneceu uma melhor definição dos alvos e feições lineares, pela redução do efeito da atmosfera, o que foi ainda mais realçado pelo realce linear. A imagem além de ter fornecido uma melhor interpretabilidade visual, devido ao realce de bordas, forneceu um alto contraste entre os diferentes alvos da cena.

A classificação automática, para geração das classes, individualizou nove classes com uma exatidão geral de 545 (90,33%) de 600 pixels amostrados e um índice kappa de 0,873, o que corresponde na classificação de Congalton (1991) a uma acurácia que varia de muito boa a excelente, fornecendo bons dados para a produção do mapa ISA.

Com o mapa de índice de sensibilidade, confeccionado a partir do processamento das imagens dos sensores remotos e reagrupamento das classes segundo as bibliografias pertinentes citadas neste trabalho, possibilitou o reconhecimento de sete índices (ISA-1B: *Muro de arrimo*; ISA-1C: *Falésias ativas*; ISA-3A: *Praias arenosas com granulometria fina e dunas expostas*; ISA-7: *Planície de maré arenosa*; ISA-9A: *Delta de maré vazante*; ISA-10B: *Pântano de água doce* e ISA-10C: *Manguezal*), sendo estes melhor delimitados a partir da interpretação visual, pois a classificação automática em algumas feições não foram completamente reconhecidas, devido às respostas espectrais similares de ambientes costeiros distintos.

A elaboração de mapas de índices de sensibilidade ambiental é 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, usadas pelas companhias de petróleo. Esta se tornou a melhor estratégia de prevenção, pois evita o custo elevado das operações de atividades de limpeza, pagamento de indenizações e a restauração dos ambientes impactados por um evento de derramamento de óleo.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Chavez, p. JR. Image-based atmospheric corrections — revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 62, p. 1025–1036, 1996.

CPTEC/INPE. Dados previsionais. Portal oceânico. Disponível em : <http://tucupi.cptec.inpe.br/wam>> Acesso em: 05 jan.2004.

Congalton, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, USA, No 37, p. 35-36, 1991.

El Robrini & Mácola, G. “ilha dos guarás (Mariteua) - município de Curuçá (NE do Pará): aspectos físicos, meteorológicos. & oceanográficos”. Relatório Final, Companhia docas do Pará.2004. Disponível em: [http://www.cdp.com.br/images/espardarte/espardarte\\_estudo\\_figuras.pdf](http://www.cdp.com.br/images/espardarte/espardarte_estudo_figuras.pdf)> Acesso em 6 de março 2009.

Gonçalves F.D., P.W.M. Souza Filho, W.R. Paradella, F.P. Miranda. Fusão de dados multisensor para a identificação e o mapeamento de ambientes flúvio-estuarinos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geofísica*. 27: 57-67.2009.

MMA. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (cartas SAO)**. Rio de Janeiro: MMA, 22p. 2002.

NOAA. 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, 89p. 2002.

PCI Geomatics Enterprises Inc. EASI/PACE user's manual, version 10.2. PCI Geomatics Enterprises Inc., Richmond Hill, Ont. 2009.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. **Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e estuarinos**. Rio de Janeiro, 134p. 2002.

Silva, C.A. Análise Morfoestratigráfica do Estuário do Rio Marapanim – NE do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 133p. 1998. (Dissertação de Mestrado em Geologia e Geoquímica), Belém – Pará.

Souza Filho P. W. M, Miranda F. P, Beisl C. H, Almeida E.F & Gonçalves F. D. 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**. CD-ROM.

Souza Filho, P. W. M. & Paradella, W.R. Recognition of main geobotanical features in the in the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Thematic Mapper and RADARSAT-1 Data. *Wetlands Ecology and Management*. 2002. Disponível em: [http://www.springerlink.com/\(3two5q451v4tdb55yvqv4s45\)/app/home/contribution.asp?referrer=parent&backto=issue,3,6;journal,23,60;linkingpublicationresults,1:103012,1](http://www.springerlink.com/(3two5q451v4tdb55yvqv4s45)/app/home/contribution.asp?referrer=parent&backto=issue,3,6;journal,23,60;linkingpublicationresults,1:103012,1)> Acesso em 7 maio de 2009.

Souza Filho P.W.M., and W.R. Paradella. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat 5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. **Canadian Journal Remote Sensing** 31: 214–224. 2005.

Souza Filho P.W.M, F.D. Gonçalves, S.W.P. Rodrigues, F.R. Costa, and F.P. Miranda. Multi-sensor data fusion for geomorphological and environmental sensitivity index mapping in the Amazonian mangrove coast, Brazil. **Journal of Coastal Research** 56:1592-1596. 2009.