

## Realce de feições emersas e submersas no estuário do Rio Choró (CE) através do processamento de imagens Landsat 5 TM e IRS-P6 LISS III

Cynthia Romariz Duarte<sup>1</sup>  
José Antonio Beltrão Sabadia<sup>1</sup>  
Daniel Dantas Moreira Gomes<sup>2</sup>  
Michael Vandesteen Silva Souto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Fortaleza (CE), CEP 60451-970. {cynthia.duarte, sabadia, michael.souto}@ufc.br

<sup>2</sup> Pós-graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Fortaleza (CE), CEP 60451-970. daniel.dm.gomes@gmail.com

**Abstract.** Remote sensing applications in environmental studies cover monitoring, mapping and inventory of these areas, as well as detection of changes to subsidize purposes of management. Digital processing techniques such as band ratio, contrast enhancements, principal components analysis and filtering were applied to Landsat 5 TM and IRS-P6 LISS III images to obtain a characterization of the landscape of the area. This article presents an evaluation of submerged features in the estuary of the Choró river, besides the landscape around, to characterize this environment fragile and susceptible to environmental degradation processes.

**Key words.** Landsat 5 TM, IRS-P6 LISS III, Estuaries, Landscape analysis, Choró river.

### 1. Introdução

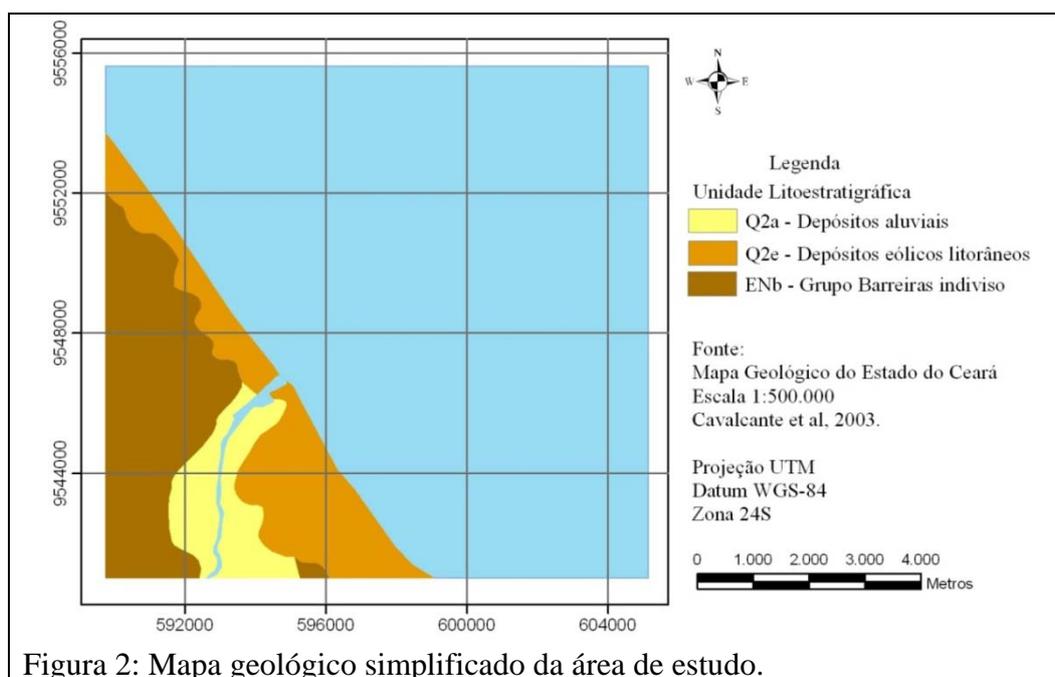
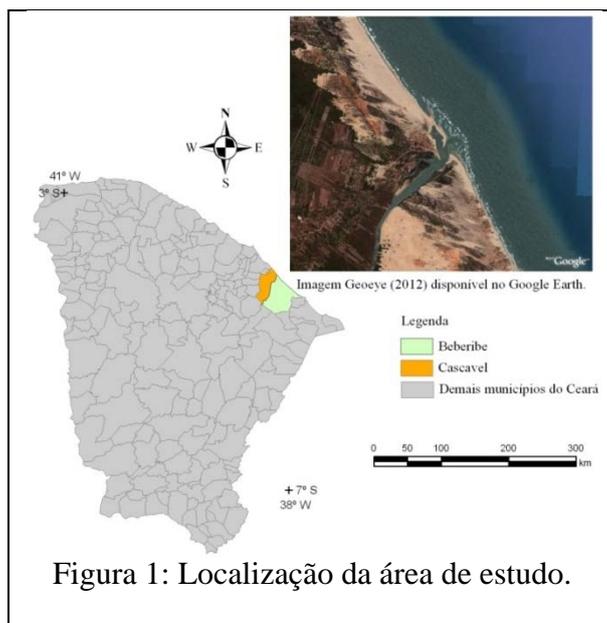
O conhecimento do ambiente costeiro e oceânico é de fundamental importância quando se pensa no estudo das mudanças climáticas, na compreensão do impacto do aporte de sedimentos que ocorre em estuários, na dinâmica costeira e praial, na localização de recursos minerais de importância, no estabelecimento de locais para a instalação de portos ou de estruturas submarinas diversas, entre outros. A plataforma continental, área oceânica mais próxima do continente, contém valiosos recursos naturais e, por isso, tem grande importância ecológica, geológica, econômica e política (Monteiro & Maia, 2010).

Os processos de dinâmica costeira e estuarina, tais como erosão, transporte e deposição de sedimentos, etc., podem ser estudados através de imagens de satélite de resoluções espaciais moderadas. Neste sentido, o mapeamento das feições submersas, a partir de imagens de satélite, vem se tornando, cada dia mais, um importante aliado neste conhecimento, sobretudo por se tratar de um método barato e eficaz, para mapeamentos preliminares e norteadores para estudos futuros, permitindo a identificação, classificação e interpretação das formas de fundo e bancos de areia e sedimentos em estuários rasos.

### 2. Área de estudo

A área de estudo está localizada no estuário do Rio Choró, divisa dos municípios de Cascavel e Beberibe, no litoral leste do estado do Ceará, conforme pode ser observado na figura 1. O Rio Choró está entre os principais rios da Bacia Metropolitana de Fortaleza, percorrendo uma extensão de 205 km desde sua nascente até a foz.

Geologicamente o estuário encontra-se no domínio de sedimentos terciário-quaternários, formados por depósitos areno-argilosos, aluviais e eólicos distribuídos ao redor da zona estuarina. Os depósitos aluviais compostos de argilas, areias argilosas, quartzosas, quartzofeldspáticas, por vezes conglomeráticas e argilas orgânicas encontram-se distribuídos na região mais interna proximal da foz. Os depósitos eólicos litorâneos compostos de areias esbranquiçadas, quartzosas, bem classificadas, onde ocorrem leitos mais escuros com concentrações de minerais pesados, ocupam a faixa litorânea próxima a linha de costa e a zona leste da área, como pode ser observado na Figura 2, de Cavalcante *et. al.*, 2003.



Segundo Pritchard (1989) os estuários são classificados em quatro grupos, de acordo com a geologia e a geomorfologia da sua formação: planície costeira, fiorde, os formado por barras e os demais não classificados nos tipos anteriores. O estuário do Rio Choró pode ser classificado como estuário formado por barras, conforme pode ser observado na imagem da figura 03.

Este tipo de paisagem ocorre quando ilhas barreiras são construídas por ondas e correntes ao longo de áreas costeiras alimentadas por um ou mais rios, rio este que tem um volume de água baixo durante a maior parte do ano. A presença das ilhas barreiras protege o estuário e sua diversidade da erosão causada pela ação das ondas e marés (NOAA, 2012).

O estuário do Rio Choró, a despeito da forte pressão antrópica que vem sofrendo, apresenta ainda maguezais, apicuns, dunas vegetadas e móveis, como pode ser observado na imagem Geoeye (2012), disponível no Google Earth (Figura 3) e nas fotografias da figura 4.

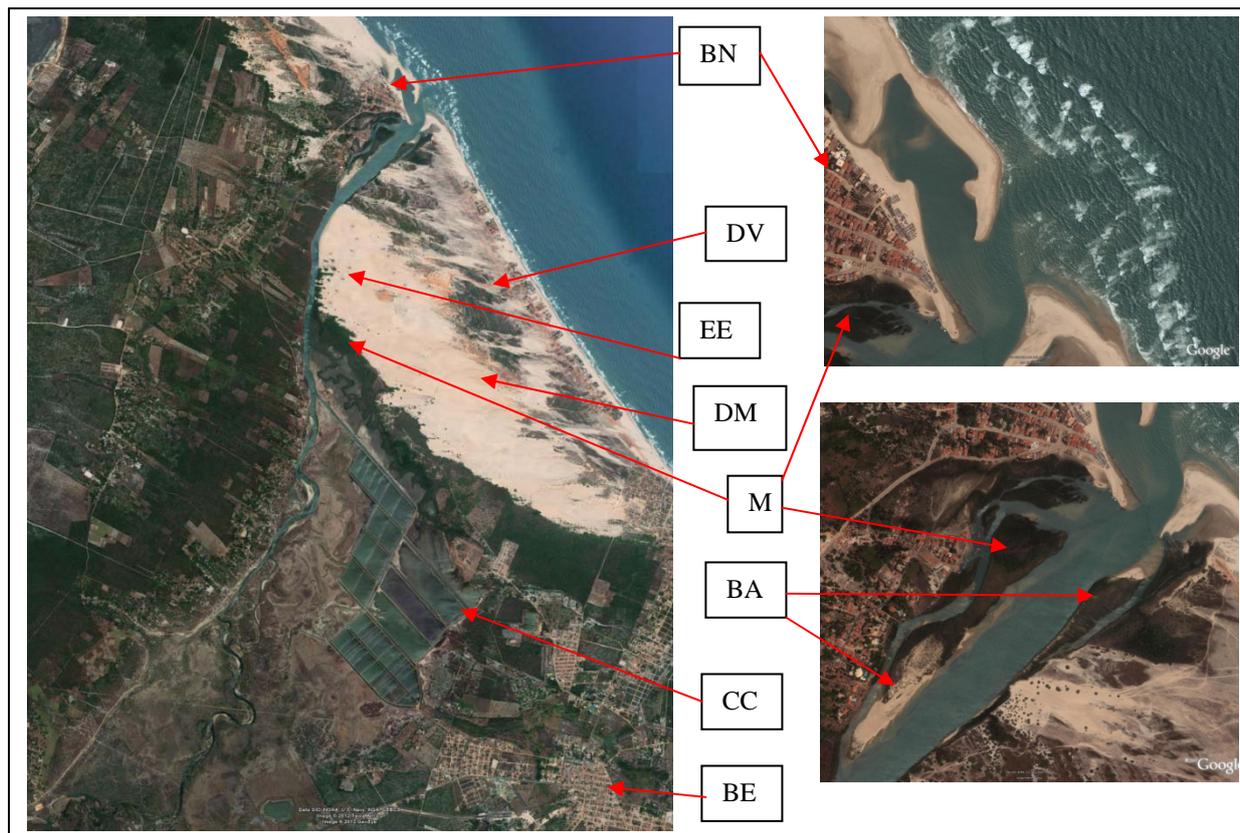


Figura 3: Imagem Geoeye (2012) onde podem ser observadas a presença de manguezais (M), bancos de areia (BA) dentro do canal do rio, dunas móveis (DM) e vegetadas (DV), além de usina eólica (EE), área de carcinicultura (CC), a comunidade de Barra Nova (BN) e parte da área urbana de Beberibe (BE).

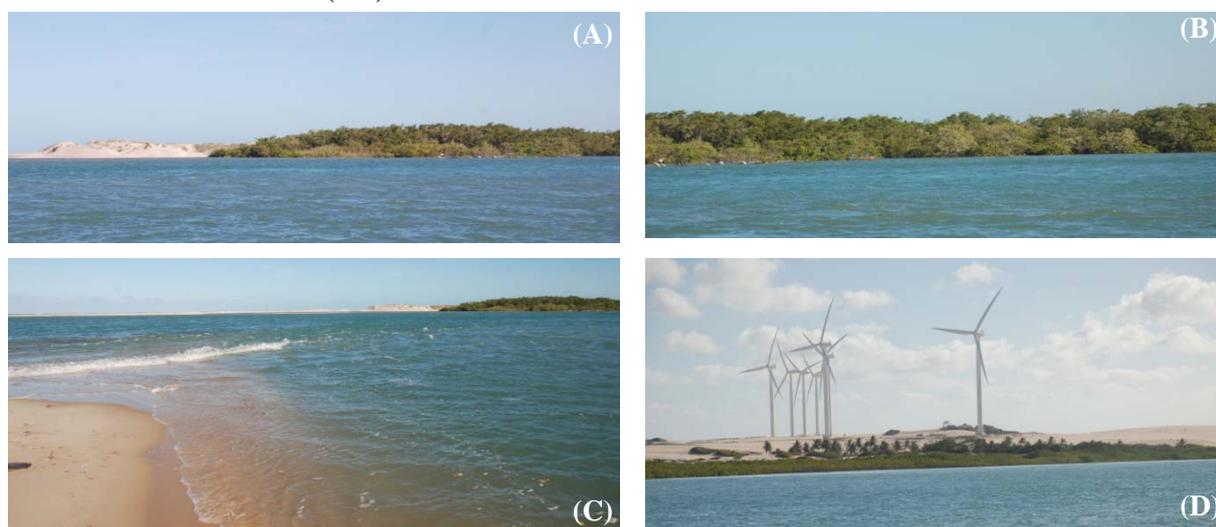


Figura 4: Fotografias da área de estudo: (A) Barra arenosas com presença de dunas. (B) Manguezal. (C) Foz do Rio Choró (foto na maré enchente). (D) Usina de energia eólica às margens do rio Choró. Fotos de Cynthia Duarte (novembro/2012).

### 3. Material e Métodos

Foram empregadas a imagem do sensor TM do Landsat 5, órbita ponto 217-063, de 06/08/2011 e a imagem do sensor LISS III do IRS-P6, órbita ponto 335-078, de 13/09/2010, nas quais foram aplicadas técnicas de realce nos domínios espacial e espectral, tais como filtragens direcionais, composições coloridas, realces de contraste, razão de bandas,

transformações IHS e análise por principais componentes. A aquisição das imagens empregadas se deu através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>). A tabela 1 apresenta as resoluções espacial, espectral e radiométrica dos sensores empregados.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
LISS III (Linear Imaging Self-Scanner) IRS-P6	Verde	0.52-0.59 $\mu\text{m}$	23,5 m	7 bits
	Vermelho	0.62-0.68 $\mu\text{m}$		
	NIR	0.77-0.86 $\mu\text{m}$		
	MIR	1.55-1.70 $\mu\text{m}$		
TM (Thematic Mapper)  Landsat 5	B1 - Azul	0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$	30m	8 bits
	B2 - Verde	0.50 - 0.60 $\mu\text{m}$		
	B3 - Vermelho	0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$		
	B4 - NIR	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$		
	B5 - SWIR	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$		
	B7 - MIR	2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$		

Tabela 1: Resoluções espacial, espectral e radiométrica dos sensores LISS III e TM.

Na data/hora de passagem do Landsat 5 o regime de marés atuando era preamar e maré de quadratura, com máxima de 2,4m, e na data/hora de passagem do IRS-P6 o contexto era de maré vazante, de sizígia, com cerca de 1,6m, estimados em função das máxima e mínima maré desta data (DHN, 2010)

Às imagens selecionadas foram aplicadas técnicas de processamento digital buscando-se valorizar as feições morfoestruturais submersas presentes na região, tanto com relação ao sensor TM, quanto ao sensor LISS III.

### 3.1 Realce no domínio espectral

No domínio espectral foram utilizadas, desde simples composições coloridas, passando por realces de contraste, razão entre bandas, transformação IHS e análise por componentes principais. Composições coloridas sintetizam em uma imagem as informações contidas nas três bandas escolhidas. O contraste de uma imagem é a medida do espalhamento dos níveis de cinza que nela ocorrem. As ampliações de contraste permitem ampliar o espalhamento de um intervalo comprimido de níveis de cinza, comum nas imagens originais, dentro do intervalo possível de DN's (números digitais), facilitando a discriminação entre os alvos. Estas duas técnicas são amplamente exploradas por usuários de sensoriamento remoto, sendo os processamentos mais básicos empregados.

A operação matemática, denominada razão entre bandas, permite discriminar sutis diferenças existentes no comportamento espectral de diferentes alvos, pois, em bandas originais apenas diferenças grosseiras são observadas. Ao observar o comportamento espectral dos alvos de interesse, para a aplicação da razão, as bandas são selecionadas visando seus valores máximos e mínimos de reflectância, afim de que se expressem os gradientes da curva espectral dos objetos de interesse, proporcionando o realce destes alvos (Sestini, 1999). Segundo Crosta (1993), este tipo de processamento tem como principal desvantagem o exagero de ruídos e perda de textura devido à atenuação do sombreamento, o que pode dificultar a interpretação da cena.

O espaço IHS é definido por três variáveis: intensidade (I), matiz (H) e saturação (S), onde I, ou brilho, é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda; H, ou cor de um objeto, é a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite; e S, ou pureza, expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio. Na transformação RGB – IHS são selecionadas três bandas de uma imagem e cada uma é associada a um dos componentes RGB, gerando, na imagem de saída uma

correspondência a um ponto no espaço IHS. O resultado gerado é um conjunto de três novas imagens: intensidade, matiz e saturação. Estas imagens podem ser realçadas, a partir da expansão do intervalo de intensidade e saturação através de contraste, e, quando convertidas de IHS para RGB, permitem melhor separação das cores e das feições que se deseja observar.

As informações presentes nas bandas espectrais de uma imagem frequentemente estão correlacionadas, resultando em redundância de informação e dificultando a total apreensão da informação presente nos dados remotamente situados (Mather, 1999). A análise por principais componentes (APC) usa uma transformação linear de dados multiespectrais para transladar e rotacionar os dados para um novo sistema de coordenadas, removendo a correlação entre os eixos. Sendo assim, a análise por principais componentes tem a vantagem de reduzir a dimensionalidade do conjunto dos dados, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens, cujas bandas individuais contêm informações não presentes em outras bandas, além de isolar os componentes de ruídos gerados pelos satélites.

Chaves *et al.* (1991) colocam que durante o processo de cálculo das principais componentes a maioria das informações comuns a todas as bandas multiespectrais é concentrada na primeira componente principal (PC1), sendo assim, esta PC pode assimilar a informação pancromática, enquanto que a informação espectral exclusiva de cada banda fica destinada às outras componentes principais.

### 3.2 Realce no domínio espacial

A mistura de frequências dificulta a interpretação de feições e para tanto, emprega-se filtragens espaciais, que realçam, seletivamente, as feições de alta, média e baixa frequências.

Os filtros direcionais são um tipo de filtro passa alta, que realçam bordas numa determinada direção, sendo na verdade uma combinação de filtragem passa alta e limiarização de tons de cinza (Crosta, 1993). É necessária atenção no processo de interpretação das imagens submetidas a este tipo de processamento, uma vez que este tipo de filtro pode produzir bordas artificiais que confundiriam o intérprete.

## 4. Resultados e Discussão

As imagens TM e LISS III foram submetidas aos mesmos tipos de processamentos, sendo que serão apresentados os melhores resultados obtidos para cada um dos sensores utilizados, derivando sempre para uma melhor compreensão da área através de produtos de sensoriamento remoto. O *software* empregado nas etapas de pré-processamento e processamento foi o ENVI 4.8.

A fase de pré-processamento contou com as etapas de recorte e georreferenciamento da imagem LISS foi corrigida pela imagem TM. O sistema cartográfico utilizado neste trabalho, seguindo a indicação do IBGE, é o UTM – Datum WSG-84.

Em termos de composições coloridas os melhores resultados obtidos foram as composições TM RGB 321 (Figura 5 – A) e TM RGB 124 com realce de contraste (Figura 5 – B), onde claramente é possível identificar as feições lineares alinhadas que dominam a zona morfossedimentar de faixa de areia, paralelas entre si e à linha de costa, formadas a partir das ondulações longitudinais. A transformação da imagem TM RGB 321 para IHS (Figura 6 – A) marca as mesmas feições lineares da Figura 05 e destaca exposições de dunas e barras arenosas e a Figura 6 – B apresenta a imagem LISS III em composição colorida NIR-R-G, onde as feições lineares podem ser observadas, mas com destaque para as áreas de manguezais (em vermelho). O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi aplicado à imagem LISS III (Figura 7 – A) dando realce (em branco) para as áreas mais vegetadas, o que pode ser observado na composição em RGB das bandas R-NDVI-G (Figura 7 – B), onde além do destaque para as áreas de mangue (verde), dunas e demais feições arenosas (mesmo submersas são ressaltadas (tons róseos a arroxeados).

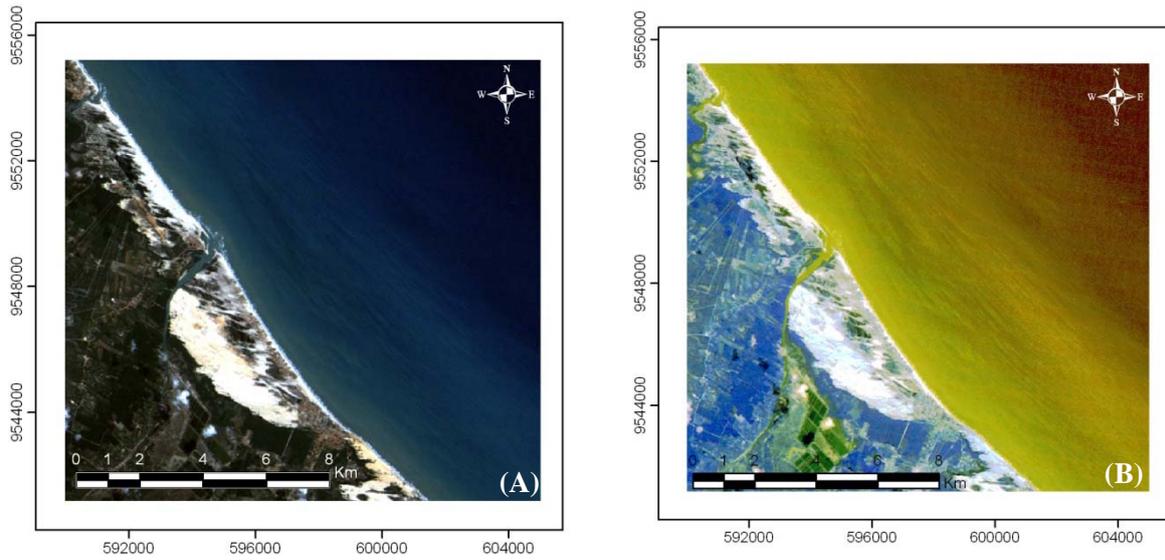


Figura 5: (A) Composição RGB321 e (B) RGB 124 com realce de contraste gaussiano.

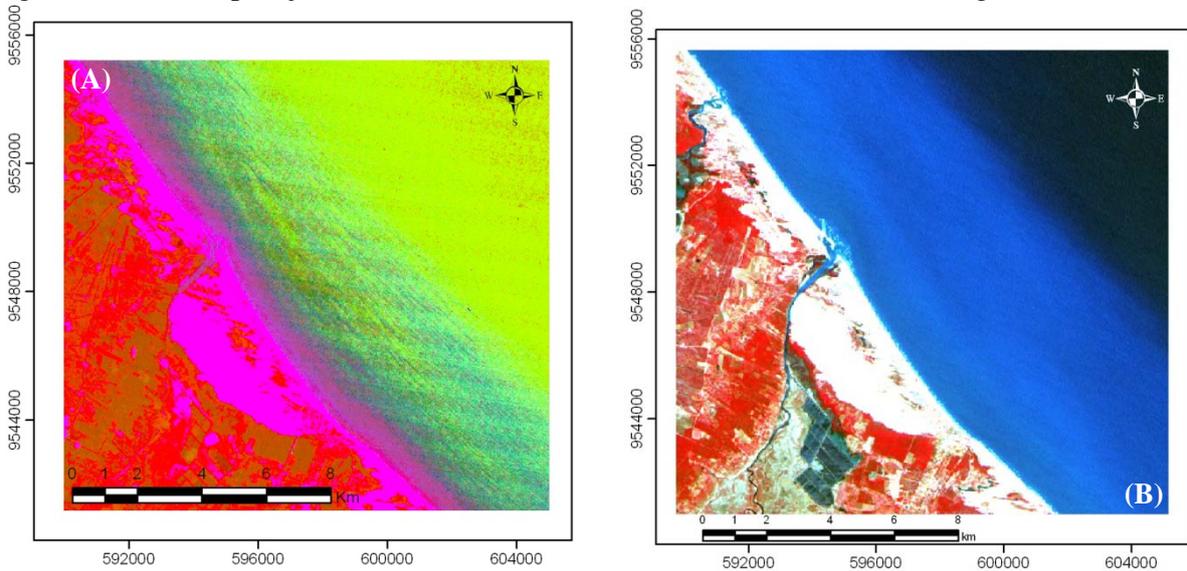


Figura 6: (A) Imagem IHS da TM RGB 321 com realce de contraste. (B) Imagem LISS III em composição RGB NIR-R-G.

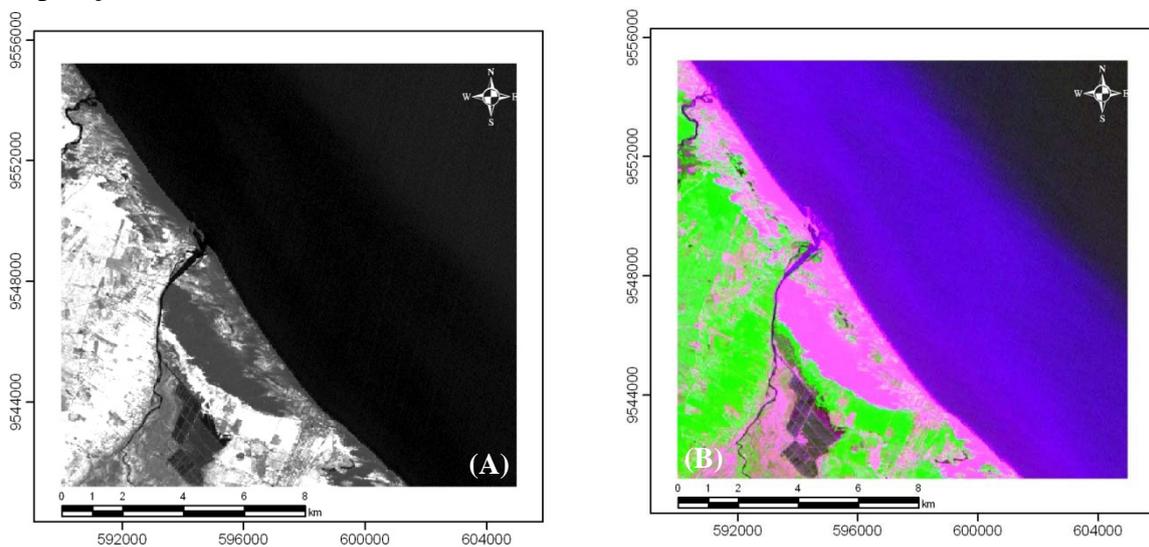


Figura 7: Imagem LISS III: (A) NDVI e (B) composição em RGB das bandas R-NDVI-G.

A análise por principais componentes (APC) também foi adotada neste trabalho, tendo sido efetuada para as seis bandas do sensor TM (excluída a banda termal) e para as quatro bandas do sensor LISS III. Uma vez que o processo de análise por principais componentes reduz a dimensionalidade espectral das imagens observa-se para a área submersa, uma concentração de informações referentes à profundidade e transparência da lâmina d'água na PC2, facilitando a identificação da morfologia de fundo (Figura 8). O processamento da APC que apresentou o melhor resultado para morfologia de fundo marinho foi o gerado por matriz de covariância. Na imagem TM a PC que mais realçou as feições submersas foi a PC2 (Figura 8 – A). Na imagem LISS III a APC teve melhores resultados na PC 3 onde, apesar do ruído, o contraste nos alvos emersos é bastante claro.

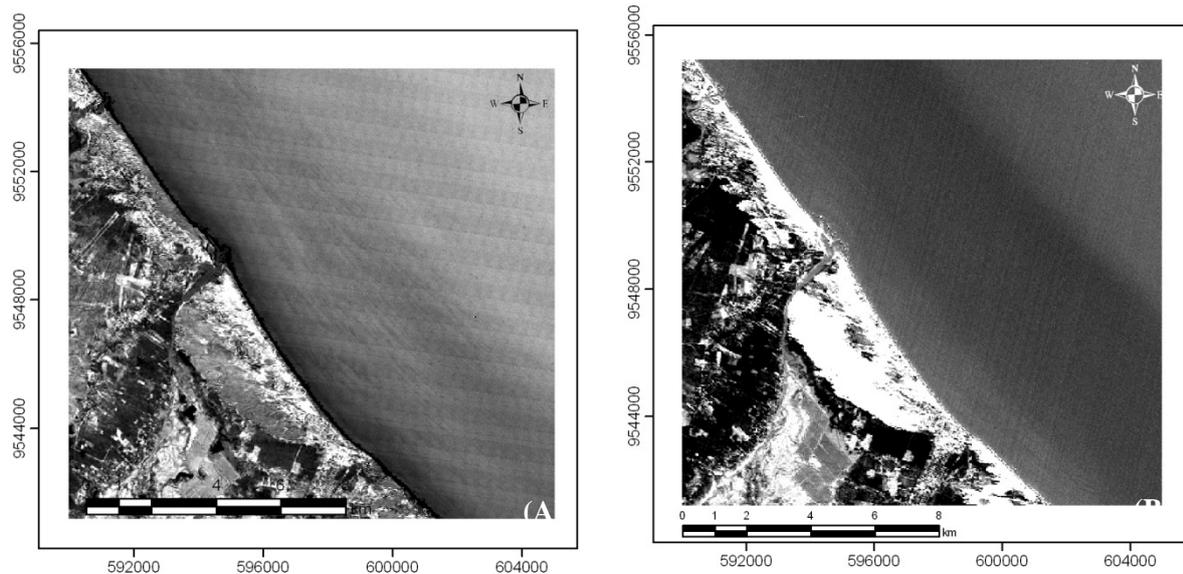


Figura 8: Análise por principais componentes. (A) PC2 da imagem TM, e (B) PC 3 da imagem LISS III.

No domínio espacial foram aplicados filtros direcionais buscando a valorização das feições emersas, tais como cristas de dunas e feições submersas, para, em conjunto com as outras imagens geradas, caracterizar melhor o ambiente em estudo. A figura 9 – A mostra o filtro direcional de 135° aplicado a banda do verde (G) da imagem TM e a figura 9 – B apresenta o filtro direcional de 90° aplicado igualmente a banda do verde (G) da imagem LISS III. O filtro direcional aplicado a imagem TM valorizou as feições submersas e na imagem LISS III o filtro valorizou as feições emersas.

## 5. Conclusões

As imagens de sensoriamento remoto, tanto do sensor TM quanto do sensor LISS III demonstraram que o emprego de imagens orbitais ópticas, quando submetidas a tratamentos digitais, auxiliam a caracterização e mapeamento de feições submersas em locais com baixa profundidade da lâmina d'água. Estes resultados contribuíram para o reconhecimento de feições de fundo marinho que até então só eram possíveis com técnicas de mergulho e batimetria. O emprego de imagens Landsat 5 TM e IRS-P6 LISS III possuem a vantagem de não onerar os projetos de pesquisa, uma vez que o INPE mantém uma política de distribuição gratuita de imagens dos sensores de alguns satélites através de seu portal na internet, propiciando material a custo zero e de boa qualidade tanto para uso em pesquisa quanto para uso didático.

No estuário do rio Choró ocorrem bancos de areia e na margem leste ocorre a migração do material arenoso no estuário proveniente tanto da planície como também de dunas móveis.

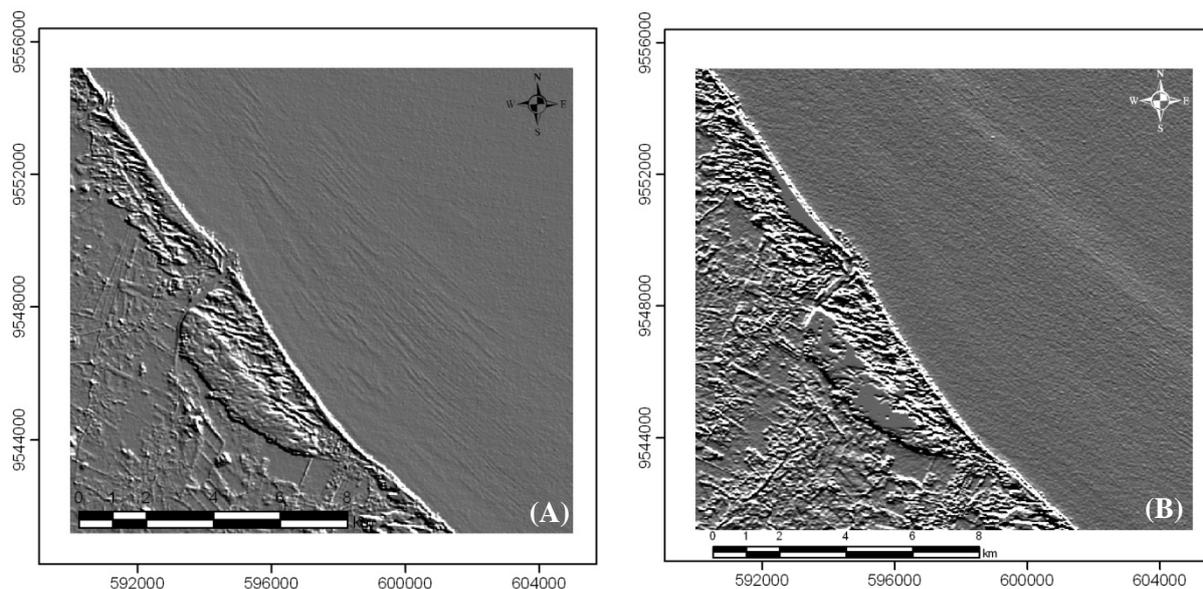


Figura 9: Filtros direcionais aplicados a área. (A) Filtro direcional 135° aplicado a imagem TM e (B) filtro direcional 90° aplicado a imagem LISS III.

A dinâmica presente promovida pela ação constante dos ventos movimenta os sedimentos disponíveis de leste para oeste, como acontece em praticamente toda a costa cearense, depositando sedimentos arenosos de granulação média nesse trecho da foz.

O estuário do rio Choró é influenciado pela dinâmica costeira local que transporta os sedimentos para a zona mais externa do estuário, próximo a foz, onde prevalecem as areias médias típicas de praias e dunas, e também pela ocorrência de areias mais finas em mistura com areias médias lançadas ao rio pelo campo de dunas presente em sua margem direita.

### Referências Bibliográficas

- Cavalcante, J.C.; Vasconcelos, A.M.; Gomes, F.E.M. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza, Convênio MME/CPRM Governo do Estado do Ceará. 2003. Escala 1:500.000.
- Chaves, P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J.A. Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, V.57, n.3, p.295-303, 1991.
- Crosta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Editora Unicamp, 1993. 170 p.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). **Tábua das Marés**. Niterói: Centro de hidrografia da Marinha, 2010. Título da pesquisa disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>.
- Mather, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. West Sussex: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- Monteiro, L.H.U.; Maia, L.P. Uso de veículos remotos no estudo do fundo do mar. In: A nova ciência marinha. **Ciência Hoje** 46 (272), p. 38-43, 2010.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Estuaries**. Título da pesquisa disponível em [http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/estuaries04\\_geology.html](http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/estuaries04_geology.html). Acesso em 14/09/2012.
- Pritchard, D. W. **Estuarine Classification – A help or a Hindrance**. Clifton, Humana, 1989, pp. 1-38.
- Sestini, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG**. Dissertação. São José dos Campos: INPE, 1999. 140p.