

## **Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e ETM<sup>+</sup> e CBERS 2B.**

Suzan Waleska Pequeno Rodrigues  
Pedro Walfir Martins e Souza Filho

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

**Abstract:** The shore around the Curuçá River estuary has been subject to processes of retreat and advance of the coastline the past 24 years. Retrogradational areas ranged from 2.1 km<sup>2</sup> (1984/2001) to 6.868 km<sup>2</sup> (2001/2004) and 1.928 km<sup>2</sup> (2004/2008), while areas progradational totaled 0.887 km<sup>2</sup> (1984/1999), 1.494 km<sup>2</sup> (1999/2004) and 1.2 km<sup>2</sup> (2004/2008). Coastal changes related to the accretion of the shoreline were associated with the development of mangrove swamps and beaches, barriers, while those related to erosion formations showed muddy terraces, cliffs and coastal migration of dune-beach deposits on mangroves. The application of remote sensing and GIS in the study of coastal changes in average sentence was one of the most important techniques to record, monitor, map and compare areas in different locations, subject to retreat and accretion of the shoreline in recent decades (França & Souza Filho, 2003).

**Key-word:** coast line change, Curuçá Bay; remote sensing, optic images, mudança na linha de costa, baía de Curuçá, sensoriamento remoto, imagens ópticas.

### **1. INTRODUÇÃO**

A costa ao redor do estuário do rio Curuçá nos últimos 24 anos esteve sujeita a processos de recuo e avanço da linha de costa. As áreas retrogradacionais variaram de 2,1km<sup>2</sup> (1984/2001) para 6,868km<sup>2</sup> (2001/2004) e 1,928 km<sup>2</sup> (2004/2008), enquanto que as áreas progradacionais totalizaram 0,887 km<sup>2</sup> (1984/1999), 1,494km<sup>2</sup> (1999/2004) e 1,2 km<sup>2</sup> (2004/2008). As variações costeiras relacionadas à acreção da linha de costa estiveram associadas ao desenvolvimento de manguezais e praias-barreiras, enquanto que as relacionadas à erosão apresentaram formações de terraços lamosos, falésias costeiras e migração de depósitos de duna-praia sobre manguezais. A aplicação do sensoriamento remoto e SIG, nos estudos das mudanças costeiras de médio período, constitui uma das mais importantes técnicas para registrar, monitorar, mapear e comparar áreas em diferentes locais, sujeitas a recuo e acreção da linha de costa, nas últimas décadas (França & Souza Filho, 2003). Sendo assim, este trabalho fornecerá informações sobre a movimentação da linha de costa no extremo nordeste do estado do Pará.

### **2. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo localiza-se a noroeste do Estado do Pará, nas proximidades do estuário do rio Curuçá, perfazendo parte do litoral costeiro do Estado do Pará (Figura 01)

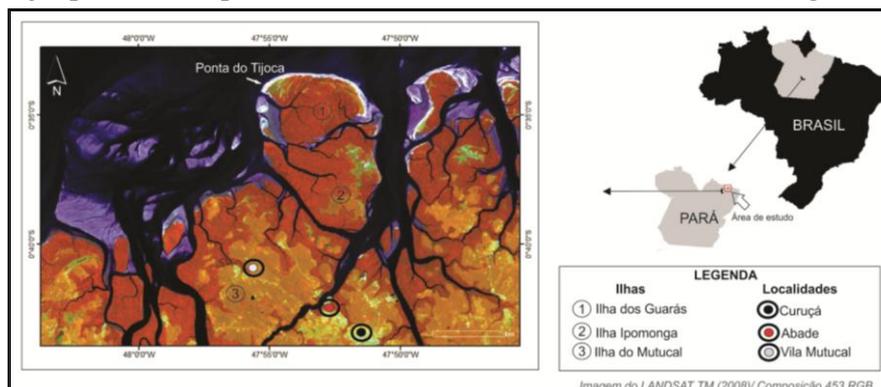


Figura 01. Área de estudo

### 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

O trabalho foi baseado na comparação e análise de cinco imagens Landsat TM 5 dos anos de 1984, 1988, 1999, 2001 e 2008, e uma imagem CBERS 2B de 2004, abrangendo uma escala temporal de 24 anos. Detalhes das características das imagens podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 01. Dados dos sensores utilizados e das condições de maré durante os imageamentos.

Satélite/ Sensor	Data	Resolução espacial (m)	Bandas	Condições de maré
LANDSAT 5 TM	27/07/84	30	3,4,5	Baixa
LANDSAT 5 TM	22/07/88	30	3,4,5	Baixa
LANDSAT 5 TM	05/07/99	30	3,4,5	Alta
LANDSAT 7 TM	03/08/01	30	3,4,5	Alta
CBERS CCD	01/08/04	20	3,4,5	Alta
LANDSAT 5 TM	13/07/08	30	3,4,5	Baixa

O Tratamento e processamento digital das imagens orbitais foram efetuados com o Programa PCI *Geomatics* 10.2, processados no laboratório de análise de imagens do trópico úmido (LAIT). A ortorretificação das imagens do Landsat 1984, 1988, 1999 e 2008 e CBERS 2004 foi possível a partir da imagem do Landsat ETM<sup>+</sup> 2001 georreferenciada adquirida gratuitamente pelo site da Universidade de Maryland-*United States Geological Survey* (USGS) e do modelo digital de elevação (MDE) do SRTM adquirida através do site da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), selecionando-se 25 pontos de controle para cada registro, obtendo-se erros de 0,90, 0,89, 0,99 e 1 pixels, respectivamente. Posteriormente as imagens passaram pela correção atmosférica, para a subtração dos *pixel's* escuros através do método Chavez Jr. (1996) para melhor visualização das feições estudadas, seguidamente as imagens foram realçadas com um realce obtido por uma transformação linear na edição do LUT em cada banda, esta ferramenta encontra-se na pasta do *Algorithm Librarium* 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 (PCI, 2009). Para todas as imagens foi utilizado a composição colorida com as bandas 3, 4 e 5, combinação 4R5G3B.

Pela interpretação e digitalização visual, traçaram-se para cada imagem os limites externos, delimitados pela linha de maré alta de sizígia (linha de costa), que correspondem: a) à linha de contato entre as planícies lamosas cobertas por manguezais e os cordões arenosos duna/praias; b) à linha limítrofe da planície de supramaré coberta por vegetação campestre com os cordões arenosos duna/ praia; e c) à linha de falésias em contato com os cordões arenosos praias. A linha d'água ou de maré baixa foi utilizada apenas para identificar o contorno das desembocaduras e das praias-barreiras, nas imagens de 1984, 1988 e 2008.

Em seguida, foi feita a sobreposição dos vetores, a poligonalização através do software ARCGIS 9.3, a classificação e quantificação das áreas progradaçãois e retrogradaçãois das áreas de abrangência total a partir da linha de manguezais, a mensuração das distâncias lineares e por fim o cálculo das taxas e porcentagens de variações.

## 4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

A quantificação e o mapeamento das mudanças costeiras de um período médio, relacionadas aos avanços e recuos da linha de costa à migração das principais desembocaduras e ao crescimento de praias, foi feito entre os anos de 1984/2001, 2001/2004 e 2004/2008. As mudanças morfológicas foram classificadas em progradacionais e retrogradacionais.

Em função da divisão da zona costeira em unidades morfológicas, as análises das variações das linhas de costa foram agrupadas em dois itens: a) interface manguezal - cordão arenoso duna/ praia (na praia da Romana) e interface falésia - cordão arenoso praiaral (em Curuçá, Abade).

### 4.1. INTERFACE MANGUEZAL – CORDÃO ARENOSO DUNA/PRAIA

Na área estudada, registraram-se durante o período de 1984/2001 (17 anos) um total de 0,887km<sup>2</sup> de áreas retrogradacionais (30% do total de áreas submetidas a mudanças costeiras). As áreas progradacionais totalizaram 2,1km<sup>2</sup> (70% do total de áreas submetidas a mudanças costeiras), com taxa de avanço da linha de costa de 123 m<sup>2</sup>/ano, à taxa máxima de 42 m/ano com avanço linear máximo da linha de costa calculado em 712,031m na Ponta do Tijoca na ilha dos Guarás (Figura 02). Os setores a noroeste da ilha de Mutucal apresentaram as maiores áreas erosionais do período (308,177 m<sup>2</sup>). Entre 2001/2004 (03 anos), a costa apresentou 6.868 km<sup>2</sup> de áreas de progradação de manguezais (82% do total de áreas submetidas a mudanças costeiras), quando a linha de costa alcançou a distância máxima de 441m. A taxa de progradação foi de 2289 m<sup>2</sup>/ano e a taxa de avanço linear da linha de costa foi estimada em 147 m/ano. A área de maior crescimento de manguezais situou-se na porção nordeste da área de estudo (Figura 03).

O total de áreas retrogradacionais chegou a 1,494 km<sup>2</sup> (18% do total de áreas submetidas a mudanças costeiras), entre 2001/2004, com taxa anual de 498 m<sup>2</sup>/ano e recuo linear da linha de costa de 67 m/ano na porção extremo leste da área de estudo próximo a vila de Piriú.

De 2004 a 2008 (4 anos) apresentou 3,128 km<sup>2</sup> de áreas de progradação de manguezais (62% do total de áreas submetidas a mudanças), com taxa anual de 782 m<sup>2</sup>/ano, e as áreas de retrogradação de manguezais de 1,928 km<sup>2</sup> (38% do total de áreas submetidas a mudanças costeiras), e taxa anual de 482 m<sup>2</sup>/ano (Figura 04). As taxas de avanço e recuo linear da linha de costa foram de 77 e 52 m/ano, respectivamente.

Ao longo da costa estudada, a distribuição das áreas progradacionais e retrogradacionais não foi uniforme, apresentando variações nos diferentes setores. Os setores como na Ponta do Tijoca (ponta localizada a leste na ilha dos guarás), Vila Puruí (no extremo leste da área de estudo) e Praia Grande (ilha entre a ilha dos guarás e ilha pacumorama), mostraram as maiores áreas de avanço de manguezais, durante os últimos 24 anos. Essas áreas de avanço máximo da linha de costa estão relacionadas à posição dessas sub-regiões próximas à desembocadura de grandes canais de maré, que são trechos da costa trazendo grande quantidade de sedimentos, transportados pelas correntes.

Sendo assim, de acordo com a figura 05, a diferença em 24 anos foi de 25% de áreas retrogradacionais e 75% de áreas progradacionais, ou seja, houve um aumento na distribuição de manguezais na área ao longo do litoral.

## 4.2. INTERFACE FALÉSIA – CORDÃO ARENOSO PRAIAL

Na costa em frente ao Abade, cuja morfologia se caracteriza por um alinhamento de falésias esculpidas no planalto costeiro, registraram-se apenas recuos da linha de costa. No período 1984/2001, totalizaram-se 187m<sup>2</sup> de áreas retrogradacionais, com taxa de 11m<sup>2</sup>/ano. O recuo máximo da linha de falésias chegou a 43 m/ano. Entre 2001/2004 e 2004/2008, não foram registrados mudanças na linha de costa.

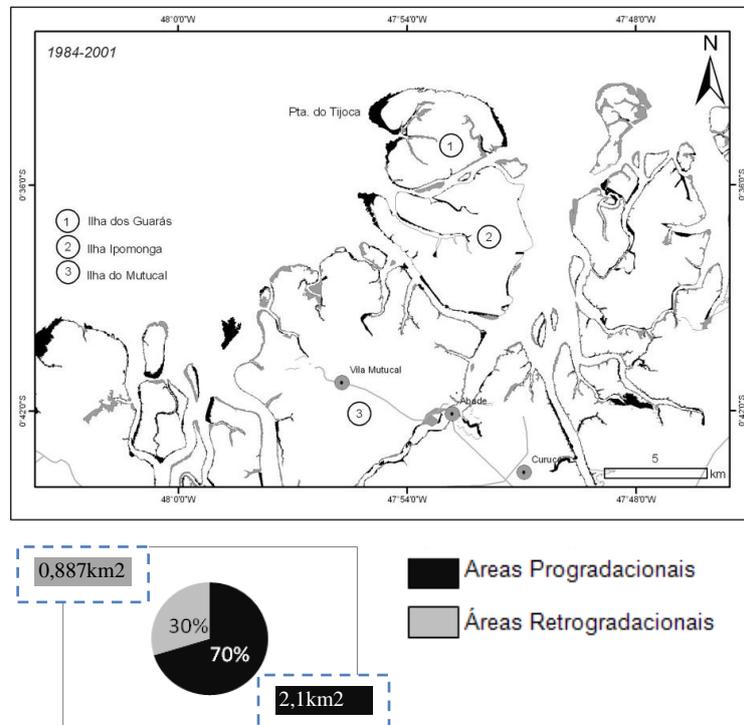


Figura 02- Áreas progradacionais e retrogradacionais no período de 1984/2001.

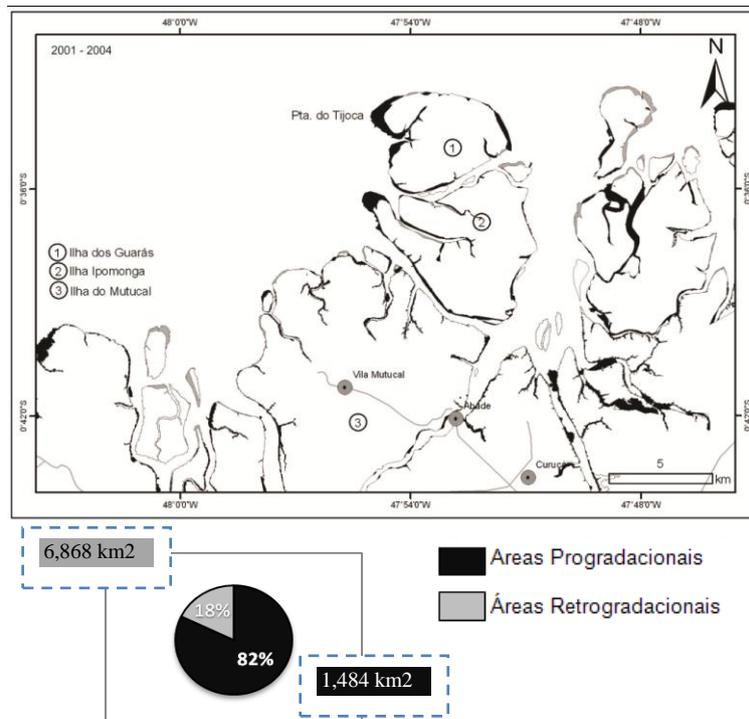


Figura 03- Áreas progradacionais e retrogradacionais na interface manguezal/cordão duna-praia, entre 2001/2004.

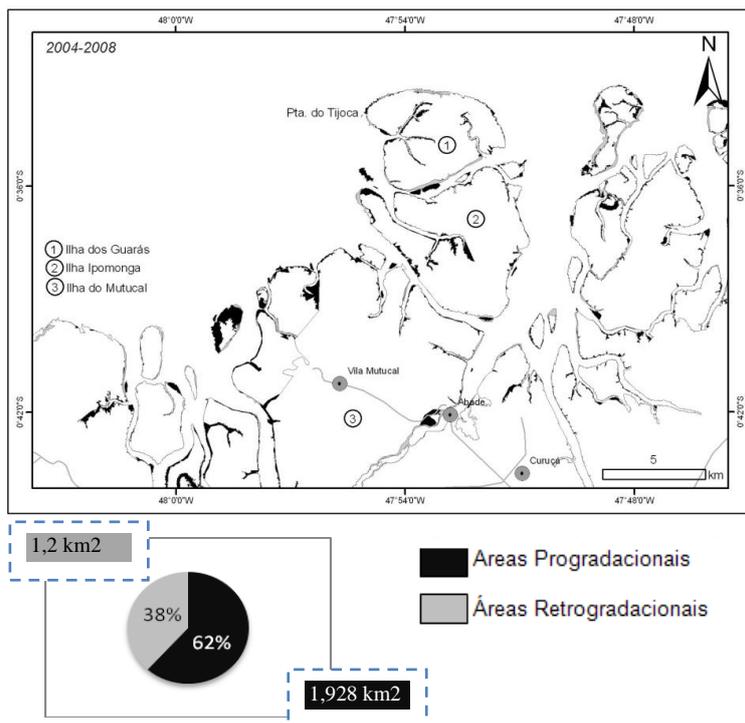


Figura 04- Áreas progradacionais e retrogradacionais na interface manguezal/cordão duna-praia, entre 2004/2008

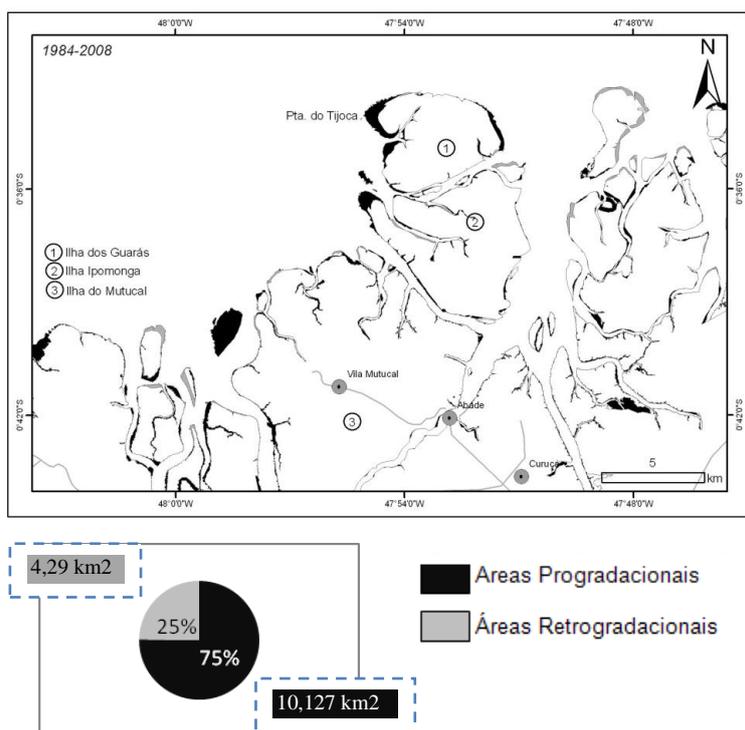


Figura 05- Áreas progradacionais e retrogradacionais na interface manguezal/cordão duna-praia, entre 1984/2008

As feições morfológicas resultantes da acreção sedimentar são representadas principalmente pela praia-barreira (Figura 06A) e pelos bancos lamosos. Estes desenvolvem uma vegetação pioneira de mangues, constituída principalmente pelas

espécies *Avicennia sp.* e *Laguncularia sp.*, além de *Spartina sp.* Associada (Figura 06B e 06C).

Nos setores costeiros com pouco suprimento sedimentar, os processos erosionais produzem o deslocamento da linha de costa para o continente, recuando os limites dos manguezais ou das falésias (Figura 07). Os processos sedimentares atuantes acarretam o avanço dos cordões arenosos de praias e dunas sobre os depósitos lamosos de manguezais. Próximo às desembocaduras de estuários e canais de maré, a erosão dos manguezais é controlada pela migração dessas desembocaduras e dos bancos arenosos (Souza Filho 2000). A erosão da linha de manguezais por correntes de maré e ondas, e o assoreamento causado pelas areias praias, acarretam a morte, o ressecamento e o tombamento de árvores do mangue, apresentando o padrão “paliteiro (Figura 08).

As feições morfológicas resultantes da erosão costeira são: a) os terraços de lama de aproximadamente 0,5 m de altura, que se formam na zona de contato dos manguezais com as praias, devido à morte e queda das árvores (Figura 09 A), às alterações pedogênicas do substrato e ao solapamento pelas ondas, e b) as falésias cujo dismantelamento progressivo gera escarpas de até 4 m de altura (Figura 10), bancos de cascalhos e blocos rolados.



Figura 07- (A) Praia na ponta do Tijoca (Ilha dos Guarás); (B) e (C) Vila Boa Vista (Ilha Mutucal)

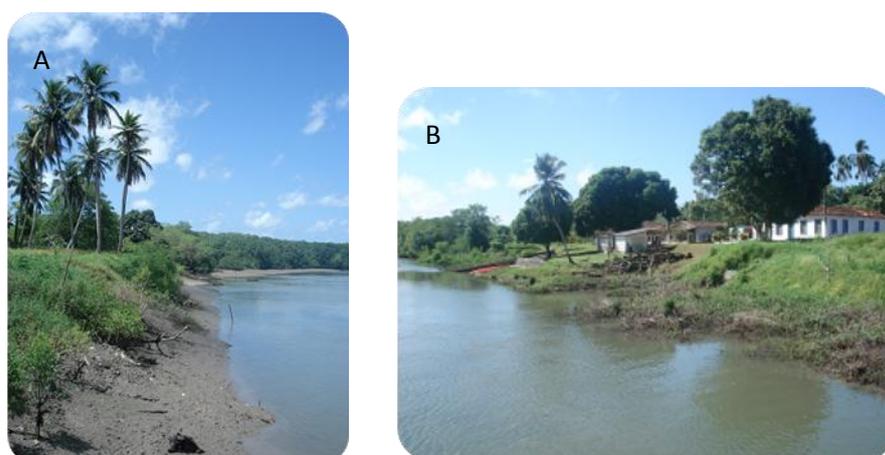


Figura 08- (A) e (B) Abade - mostrando o recuo dos manguezais e falésias.

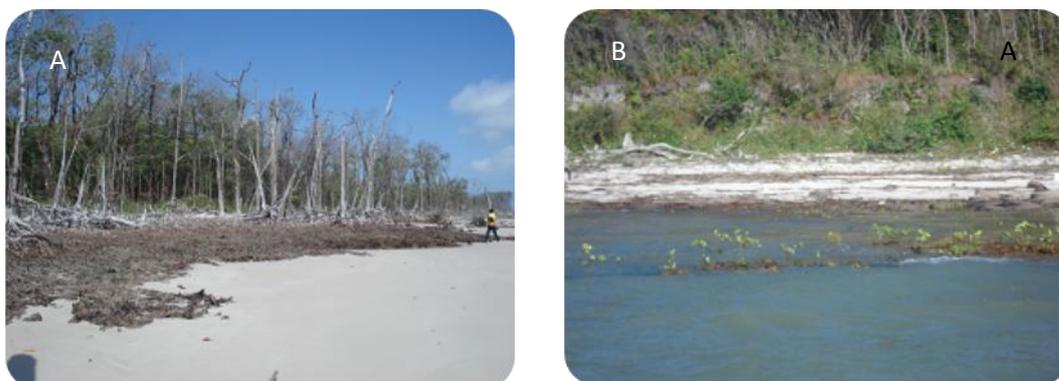


Figura 09- (A) Praia da Romana- Ilha dos Guarás e (B) Praia do Sino – Ilha do Ipomonga. Assoreamento causado pelas areias praias, causando o ressecamento e o tombamento de árvores do mangue, apresentando o padrão “paliteiro”.



Figura 10- Figuras (A e B) bancos rolados em falésias de até 4m próximo ao povoado de Enceada.

A comparação das imagens do Landsat TM, ETM<sup>+</sup> e CBERS 2B CCD, entre 1984 e 2008, revelou também um aumento da área total dos manguezais (Figura 11). Os manguezais aumentaram 21km<sup>2</sup>, em 1984, para 31km<sup>2</sup>, em 2008, representando um aumento de 10km<sup>2</sup> nos últimos 24 anos.

Os padrões naturais de erosão e sedimentação que condicionam a morfologia e a posição da linha de costa mostraram diferenças entre a Ilha dos Guarás e Curuçá em função da própria diversidade fisiográfica. A aplicação do sensoriamento remoto, utilizando imagens de diferentes épocas, produzidas por sensores ópticos, como ferramenta para qualificar e quantificar as variações da linha de costa é indispensável para o mapeamento e a comparação das diferentes posições das formas progradacionais e retrogradacionais, ao longo do tempo. Além de permitir que as mudanças costeiras fossem avaliadas, considerando-se os aspectos de direção, abrangência e intensidade.

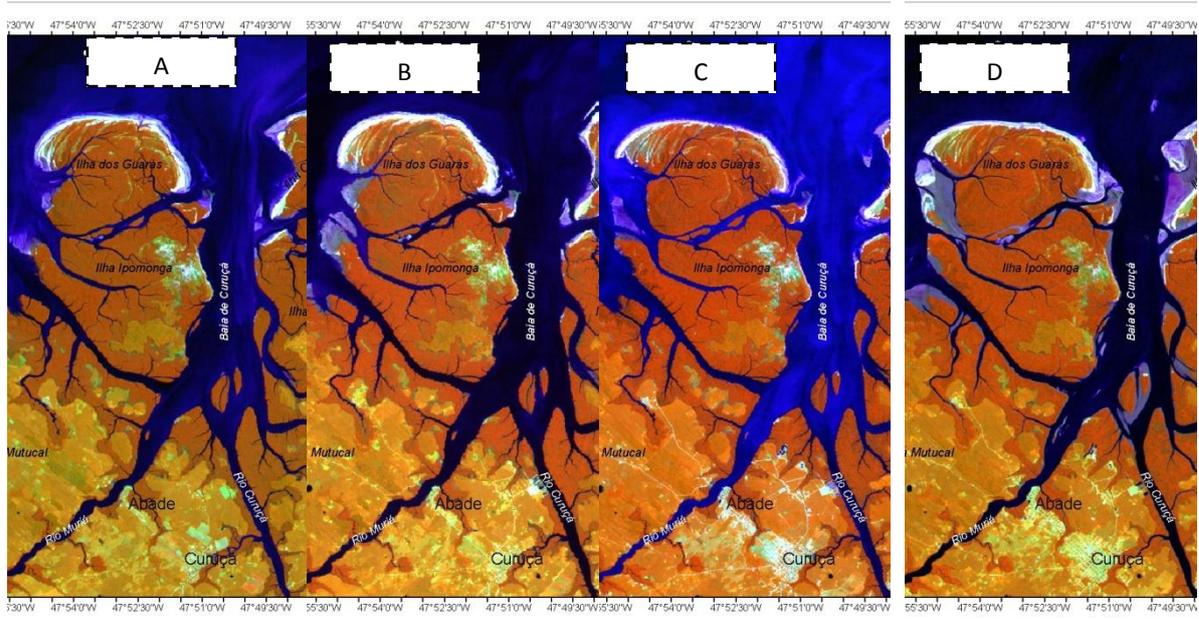


Figura 11- Imagem Landsat TM e ETM+ mostrando a variação da linha de costa na Ilha dos Guarás e em Curuçá (A)1984, (B)1988, (C) 2001 e (D) 2008.

A Figura 12 representa a linha de costa em 1984 em uma imagem atualizada de agosto de 2008.

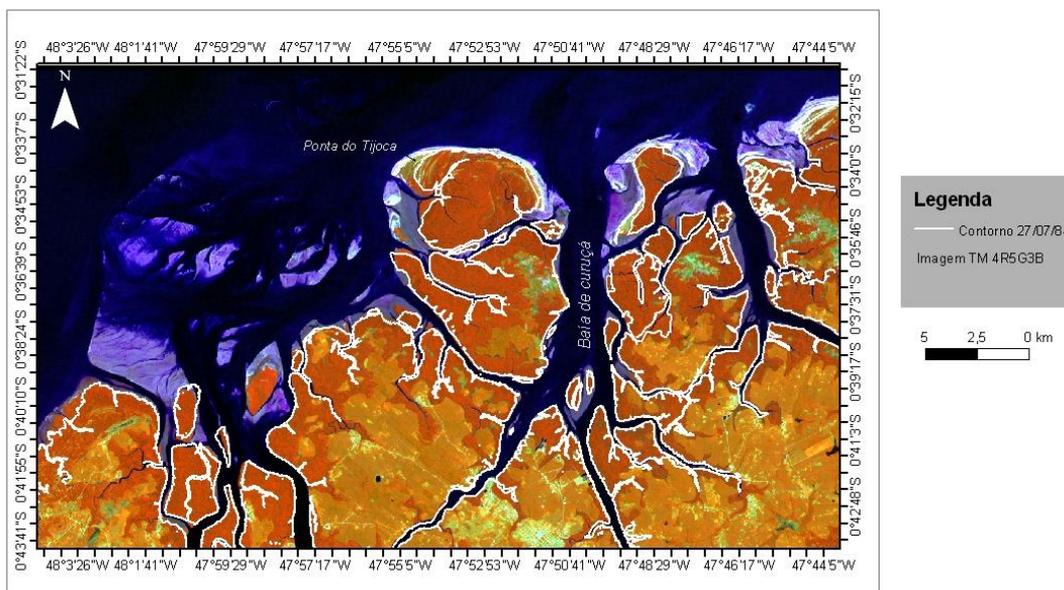


Figura 12 – Imagem do Landsat 5 TM de 2008 com o contorno representando a linha de costa em 1984.

## 5. CONCLUSÕES

O sensoriamento remoto, associado aos *softwares Geomatics PCI 10.2 e ARCGIS 9.3*, para este trabalho permitiu o mapeamento das mudanças relacionadas a linha de costa ao longo do estuário do Rio Curuçá, expressas em áreas prográdacionais e retrogradacionais, a identificação da direção e da distribuição espacial destas mudanças, bem como a quantificação dos setores costeiros sujeitos à erosão e à acreção.

A análise multitemporal revelou que, além da movimentação da linha de costa, houve uma mobilidade dos limites internos em direção da costa que foi acompanhada provavelmente pela migração de depósitos continentais (planície aluvial com vegetação campestre) sobre ambientes de mangue. Para uma compreensão mais efetiva das mudanças morfológicas internas e externas, é necessário que novas investigações sejam realizadas somando-se, aos dados já existentes, o monitoramento dos processos gerados por marés, correntes e ondas, da dinâmica sedimentar e dos possíveis impactos induzidos pelo uso e ocupação da costa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

França, C. F. & Souza Filho, P. W. M. Análise Das Mudanças Morfológicas Costeiras De Médio Período Na Margem Leste Da Ilha De Marajó (Pa) Em Imagem Landsat, **Revista Brasileira de Geociências**, p. 127-136. 2003.

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

Souza Filho P.W.M. Avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, norte do Brasil. (Tese de Doutorado), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 236 p. 2000.