

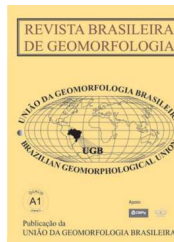


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 4 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.843>



UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE MORFOLÓGICA DE PONTAIS ARENOSOS NA PLANÍCIE COSTEIRA DE CARAVELAS (NE DO BRASIL)

APPLYING LANDSAT IMAGERY TO THE STUDY OF MORPHOLOGICAL VARIATIONS OF SANDY SPITS ALONG THE CARAVELAS COASTAL PLAIN (NE BRAZIL)

Isabela Fortes de Azevedo

Subsea7

Av. Rodrigues Alves, 261, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20220-361. Brasil

Email: belafortes@yahoo.com.br

Breylla Campos Carvalho

Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Avenida São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-900. Brasil

Email: breylla.carvalho@uerj.br

Josefa Varela Guerra

Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Avenida São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-900. Brasil

Email: josefa.varela@pq.cnpq.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

20/05/2016

Aceito (Accepted):

14/09/2016

Palavras-chave:

Geomorfologia Costeira;

Sensoriamento Remoto;

Processos Costeiros.

Keywords:

Coastal Geomorphology;

Remote Sensing; Coastal

Processes.

Resumo:

Em áreas extensas o levantamento de dados geológicos e oceanográficos de forma multitemporal e sinótica envolve altos custos financeiros, bem como tempo necessário para sua realização. No Brasil, observa-se a fragmentação das informações disponíveis acerca dos ecossistemas costeiros e oceânicos, em grande parte devido à combinação de sua grande extensão territorial e a escassez de recursos, contexto no qual a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto pode ser a chave para acelerar a aquisição de uma ampla gama de dados ao longo do litoral. Neste artigo, imagens de satélite adquiridas com os sensores Landsat TM e ETM+ foram empregadas como ferramentas no estudo da variabilidade temporal da morfologia costeira em áreas caracterizadas por forte dinâmica sedimentar. Foram utilizadas cinco imagens multiespectrais entre os anos de 1987 e 2001, realizando-se o mapeamento da linha de costa ao longo da planície costeira de Caravelas (BA). O trabalho foca em quatro setores da área de estudo que apresentaram substanciais mudanças morfológicas durante o período de 15 anos: a Ponta do Catoeiro, a foz dos rios Jucuruçu e Itanhém e a ilha Pontal do Sul. Esta última, foi a única área em que se observou predomínio de processos erosivos, que resultaram em um significativo decréscimo em sua área subaérea (~ 458.291 m²). Os outros três setores apresentaram tendência de progradação,

relacionada ao crescimento lateral dos pontais arenosos da ordem de 1,2 a 1,3 km e aumento da área subaérea. Comparações entre os resultados aqui reportados e os de outros estudos conduzidos na área de estudo mostram que o uso de imagens de satélite na caracterização de mudanças geomorfológicas em regiões com presença de pontais arenosos é altamente recomendado e produz resultados confiáveis.

Abstract:

In large areas, multitemporal and synoptic surveys of geological and oceanographic datasets require significant amounts of money, and are highly time-consuming. In Brazil, the fragmented nature of the available information about our coastal and oceanic environments is in some degree due to the combination between its large territory and the scarcity of financial resources. In this context, the extensive application of remote sensing techniques could be the solution to increase the acquisition of a wide range of information along our coastline. In this work, images acquired with Landsat TM and ETM+ sensors were employed as tools to study the spatial and temporal variability in the morphology of coastal areas characterized by strong sediment dynamics. Five multispectral images acquired between 1987 and 2001 were used to map the shoreline position along the Caravelas (BA) coastal plain. This paper focuses on four sectors of the study area that showed more substantial morphological changes during the 15-yr period encompassed by this study: Ponta do Catoeiro, Jucuruçu and Itanhém river mouths and Pontal do Sul island. The latter was the only sector where net erosion was observed, resulting in a significant decrease in its subaerial surface (~ 458.291 m²). The remaining three sectors showed a tendency of shoreline progradation related to the lateral growth of sand spits and their elongation of about 1.2 to 1.3 km. The comparison of our results with those of other studies conducted in the study area shows that the use of satellite imagery for characterizing geomorphological changes along coastal areas with sandy spits is highly recommended and produces reliable results.

1. Introdução

O ambiente costeiro é formado por diferentes e complexos ecossistemas que em grande parte sofrem com os processos de urbanização e turismo, que por um lado têm importância econômica e por outro trazem prejuízos aos ecossistemas associados a este ambiente, aumentando a vulnerabilidade quanto à erosão e à inundação costeira (LINS-DE-BARROS, 2010; MASSELINK; GEHRELS, 2014). No Brasil, a grande extensão do litoral associada à falta de informações sobre esses ecossistemas acaba por formar lacunas no gerenciamento dos recursos naturais costeiros.

Para Wright e Thom (1977) a morfodinâmica costeira é o ajustamento mútuo da topografia e dos fluídos dinâmicos envolvendo o transporte sedimentar, sendo um paradigma nos estudos da evolução costeira. A evolução destes ambientes resulta de processos morfodinâmicos que ocorrem em resposta às mudanças nas condições externas, compreendendo três elementos – morfologia, processos e transporte sedimentar – que se encontram interligados e exibem certo grau de autonomia em seu comportamento, mas que são dirigidos e controlados por fatores ambientais (WRIGHT; THOM, 1977; MASSELINK; GEHRELS, 2014). Atentando-se aos processos e

à morfologia, os primeiros dizem respeito à energia e ao material em trânsito de uma parte do sistema para outra, sendo caracterizados por erosão, transporte e deposição. Já a morfologia é a forma tridimensional da paisagem, sendo emoldurada pelas mudanças causadas pela erosão e deposição. A morfologia das áreas costeiras constituídas por sedimentos clásticos responde à dominância relativa dos processos referentes aos fluxos fluviais, ondas, marés e correntes (MASSELINK *et al.*, 2003).

Ao estudar os sistemas e processos costeiros contemporâneos, deve-se levar em consideração a atividade antrópica, já que intervenções humanas nestes ambientes (como p. ex. engordamento de praias, construção de defesas costeiras e dragagens) acabam tendo um papel mais relevante no controle da dinâmica costeira que as condições limite naturais (geologia e sedimentos), não podendo ser desconsideradas (BIRD, 2008; MASSELINK; GEHRELS, 2014). Ainda neste sentido, o mapeamento espacial e temporal das mudanças na morfologia do relevo permite o melhor entendimento de como a formação e a destruição das formas se relacionam com as mudanças no aporte sedimentar (MASSELINK *et al.*, 2003) ou, como ressaltam Cowell e Thom (1994), que a presença de uma forte ligação entre forma e processo é uma característica fundamental

no estudo da morfodinâmica costeira.

De acordo com Bird (2008), as mudanças da posição da linha de costa indicam avanço (progradação) ou recuo (retrogradação): a progradação indicaria deposição de sedimentos excedendo a taxa de erosão ou emersão pela subida do continente ou queda do nível médio relativo do mar enquanto a retrogradação resultaria da erosão excedendo a deposição ou submersão por subsidência do continente ou elevação do nível médio relativo do mar. De acordo com Bates e Jackson (1987), a progradação é a construção da linha de costa em direção ao mar, pela deposição próximo à costa (*nearshore*) de sedimentos fluviais ou pela acumulação contínua de material praial “lançado” pelas ondas ou movido pela deriva longitudinal; já a retrogradação é o movimento da linha de costa em direção ao continente ou o seu recuo pela ação erosiva das ondas. As mudanças observadas em relação à posição da linha de costa são respostas aos processos costeiros, que podem apresentar mudanças graduais entre intervalos de tempo e podem ser medidas em várias escalas de tempo (BIRD, 2008).

Desta forma, realizar o mapeamento da linha de costa permite calcular mudanças de médio e longo prazo na área costeira, variações sazonais da largura da praia e demais mudanças de curto prazo (GORMAN *et al.*, 1998). De acordo com Boak e Turner (2005), a detecção da linha de costa permite avaliar sua variabilidade e as tendências de erosão e acreção (=deposição). Além disto, é possível observar o movimento longitudinal dos sedimentos, impacto de tempestades, impacto antrópico e identificar padrões espaciais.

Dentre os possíveis padrões espaciais existentes no ambiente costeiro, os pontais arenosos (*spits*), conhecidos também como esporões arenosos, são feições deposicionais comuns e facilmente detectáveis. Pode-se definir pontal arenoso como um corpo sedimentar estreito, composto por areias ou grânulos, com uma extremidade anexa ao continente e a outra projetada para o mar, ao longo da foz de um estuário ou de uma baía ou onde há mudança abrupta da direção da linha de costa, sendo em geral recurvados em direção ao continente em sua extremidade mais distal devido aos processos de refração das ondas ou ao fluxo da maré no estuário adjacente (EVANS, 1942; MASSELINK *et al.* 2003; HASLETT, 2009). Os pontais, em geral, crescem na direção predominante da corrente longitudinal (BIRD,

2008), sendo um clássico exemplo de feição alinhada à deriva que só pode existir através do contínuo aporte longitudinal (*longshore*) de sedimento (MASSELINK *et al.* 2003). Caso cesse o aporte, o pontal pode eventualmente desaparecer, com a erosão de sua extremidade distal e o aumento da exposição a eventos de transposição, culminando em seu rompimento.

No tocante aos métodos existentes para se estudar a morfodinâmica costeira, a utilização do sensoriamento remoto, compreendendo diferentes escalas de tempo, vem sendo amplamente utilizada na atualidade devido aos baixos custos associados e à sua eficiência de mapeamento, aplicando-se em estudos que investigam desde as mudanças da posição da linha de costa (por exemplo, BATISTA *et al.*, 2009; GARCÍA-RUBIO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012) até mapeamentos geomorfológicos (p. ex. BOULHOSA; SOUZA FILHO, 2005; TEIXEIRA; SOUZA FILHO, 2009; FINKL; VOLLMAR, 2011; ZULAR *et al.*, 2012).

A aplicação de dados multitemporais possibilita o reconhecimento da evolução de um ou mais objetos num dado período de tempo (SOUTO, 2009). Neste sentido, o monitoramento do ambiente costeiro através de séries temporais de imagens de satélite, permite acompanhar as modificações da morfologia costeira através do estudo da posição da linha de costa (SOUTO, 2009). Sob esta perspectiva, essa metodologia tem sido aplicada no estudo de áreas costeiras. Virdis *et al.* (2012) realizaram a análise multitemporal da costa da Sardenha (Itália), em um mapeamento de curta e longa escala, visando as áreas de progradação e recuo da linha de costa entre os anos de 1955 e 2010. Através de imagens de satélite Landsat 5 e 7, Cenci *et al.* (2013) mapearam a evolução da linha de costa da região central de Portugal, assim como Silva *et al.* (2011) que, utilizando imagens da série Landsat, avaliaram as mudanças da linha de costa das ilhas costeiras do estado do Amapá.

Deste modo, no presente trabalho é mostrada a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em imagens multitemporais para estudar a morfodinâmica costeira de uma região situada no sul do estado da Bahia, que abrange a planície costeira de Caravelas. Ao longo do Quaternário a evolução geomorfológica desta região foi fortemente controlada pelas variações do nível médio relativo do mar que, por sua vez, modularam o desenvolvimento de recifes de corais que

influenciam fortemente o padrão de circulação costeira e representam um obstáculo ao livre fluxo de sedimentos (BITTENCOURT *et al.*, 2000; ANDRADE *et al.*, 2003; LESSA; CIRANO, 2004). Tendo como objetivo suprir parte da carência de informações a respeito da área de estudo, o presente trabalho tem como foco principal o uso de imagens de satélite obtidas através de sensores multiespectrais passivos (Landsat TM e ETM+).

2. Área de estudo

A área de estudo consiste na planície costeira de Caravelas, na qual estão inseridas a Ponta da Baleia e a foz dos rios Jucuruçu, Itanhém, Caravelas, Peruípe e Mucuri (Figura 1), no setor sul do litoral baiano, entre as latitudes de 17°15'S e 18°06'S e as longitudes de 39°05'W e 39°34'W.

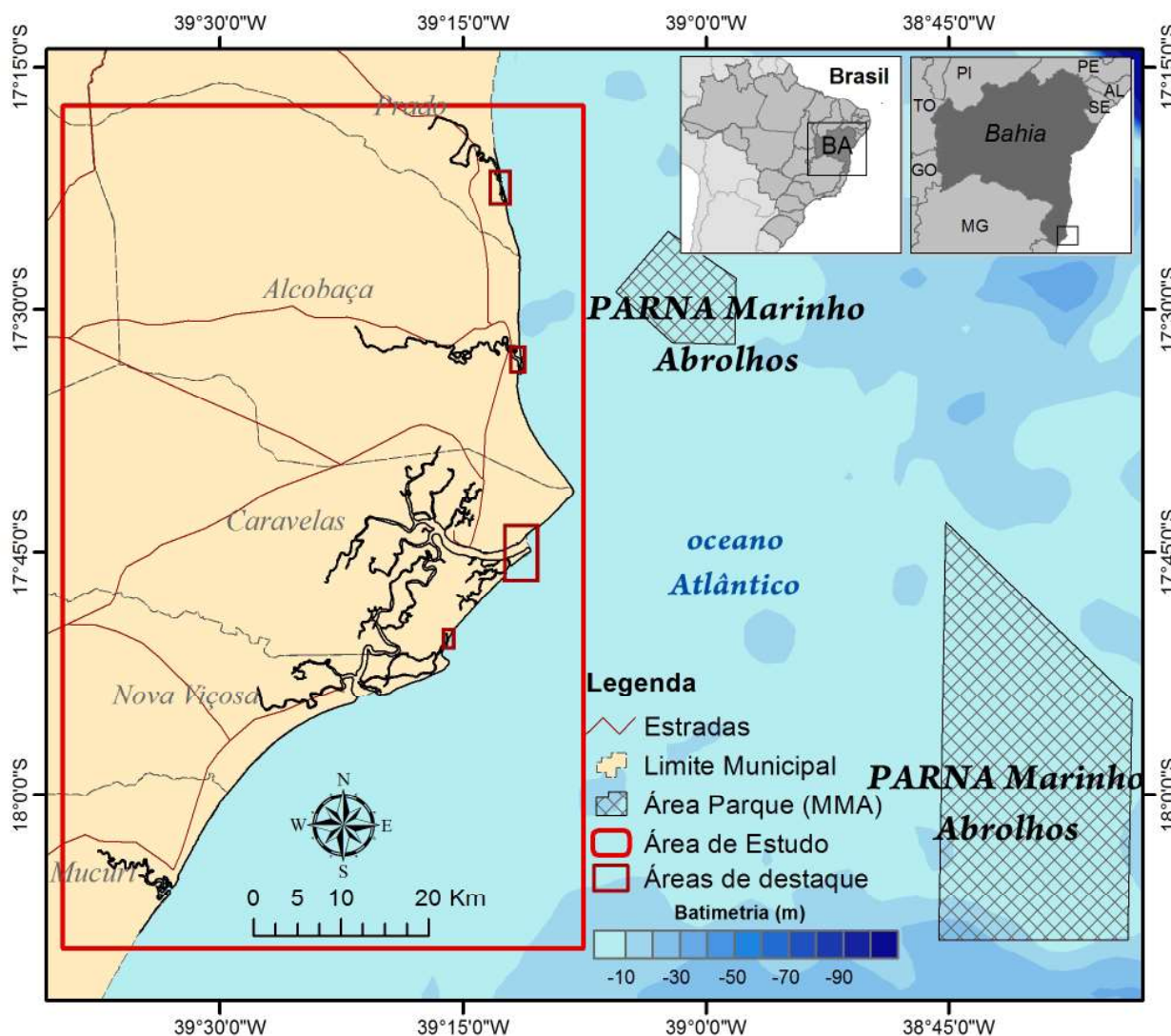


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo mostrando as regiões escolhidas para a realização do estudo das mudanças da posição da linha de costa ocorridas entre 1987 e 2001. De norte para sul as quatro regiões correspondem à foz do rio Jucuruçu, foz do rio Itanhém, ilha Pontal do Sul e Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

O padrão de circulação atmosférica da região varia de acordo com a migração sazonal da célula anticiclônica do Atlântico Sul. Durante a primavera e o verão predominam ventos de NE enquanto que durante o outono e o inverno, ventos de E e SE são os mais frequentes.

Episodicamente, uma componente S-SE (LEÃO, 1999; LEÃO; DOMINGUEZ, 2000) ou SO (LESSA; CIRANO, 2004) é adicionada ao regime normal dos ventos quando do avanço de massas de ar polar.

O sentido de propagação das ondas reflete o padrão

predominante dos ventos. Durante a primavera e o verão as ondas são associadas aos ventos de nordeste e leste induzindo, ao norte da Ponta da Baleia, o transporte de sedimentos para sul (LEÃO, 1999; ANDRADE, 2000; PIANCA, 2009). Por outro lado, no período de outono e inverno as ondas se propagam preferencialmente de sudeste e de sul-sudoeste causando, ao sul da Ponta da Baleia, um transporte de sedimentos com sentido para o norte (LEÃO, 1999; ANDRADE, 2000; PIANCA, 2009).

A região apresenta marés semi-diurnas, sem desigualdades diurnas, já que a diferença entre as baixa-mares e preamares é insignificante (OCEANSAT, 2002). A altura máxima da maré pode atingir 2,3 m durante a sizígia enquanto a altura mínima situa-se por volta de 0,5 m durante a quadratura. De acordo com Leão (1999), as correntes de maré dirigem-se de sul para norte com intervalo de 1 hora e 45 minutos, a partir de Mucuri (ao sul da área de estudo) para o arquipélago de Abrolhos.

A configuração atual da planície costeira de Caravelas está associada ao desenvolvimento de recifes de corais, que atuam como uma barreira para o transporte de sedimentos na área (ANDRADE, 2000); desta forma, sua evolução quaternária se deve às mudanças relati-

vas do nível do mar (ANDRADE *et al.*, 2003) e sua influência sobre a dispersão e deposição de sedimentos.

3. Materiais e Métodos

Para realizar o trabalho proposto, foi empregada uma metodologia dividida em quatro etapas: (1) pré-processamento das imagens de satélite; (2) mapeamento da posição da linha de costa; (3) quantificação das variações espaciais das áreas progradadas ou retrogradadas nos intervalos de tempo do mapeamento; (4) análise e interpretação dos resultados.

Foram utilizadas cinco imagens multiespectrais TM e ETM+, referente aos anos de 1987, 1989, 1997, 1999 e 2001 (Tabela 1; Figura 2). As imagens foram obtidas através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais¹ e da empresa Ocean-satPEG S.A. A escolha das datas das imagens se deve ao fato de estas apresentarem melhores condições de cobertura de nuvens, possibilitando a análise de toda a área de estudo. Para o georreferenciamento das imagens utilizou-se cartas topográficas do IBGE na escala 1: 100.000: (a) Prado (SE. 24-V-D-III); (b) Caravelas (SE. 24-V-D-VI); (c) Mucuri (SE. 24-Y-B-II).

Tabela 1: Imagens utilizadas para o mapeamento da posição da linha de costa da planície de Caravelas.

Data de aquisição	Sensor	Satélite	Órbita/Ponto	Resolução Espacial
12/07/1987	TM	Landsat 5	215/072	30 m
07/02/1989	TM	Landsat 5	215/072	30 m
05/06/1997	TM	Landsat 5	215/072	30 m
03/02/1999	TM	Landsat 5	215/072	30 m
31/01/2001	ETM+	Landsat 7	215/072	30 m (15m pancromática)

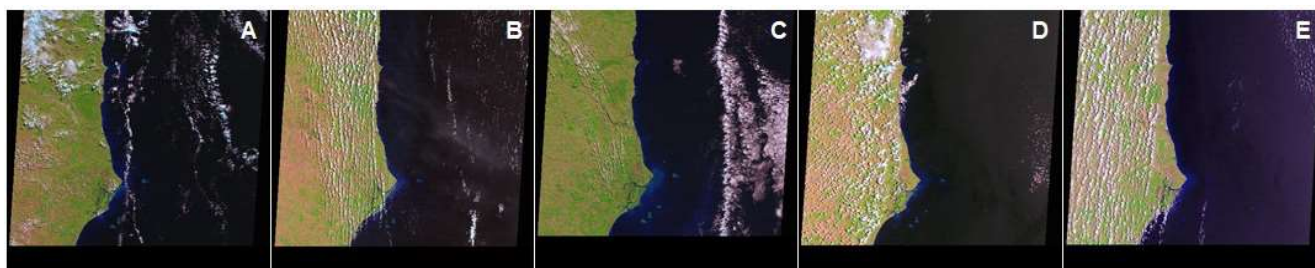


Figura 2 – Quicklooks das imagens de satélite utilizadas neste trabalho, de órbita/ponto 215/072, na composição colorida verdadeira (R3G2B1). Imagens de: (A) 12/07/1987; (B) 07/02/1989; (C) 05/06/1997; (D) 03/02/1999; (E) 31/01/2001.

¹ Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/CDSR/>

A série Landsat é parte de um projeto (*Earth Resources Technology Satellite - ERTS*) desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA) na segunda metade da década de 1960 com o intuito de observar os recursos naturais terrestres, e que após 1975 passou a se chamar Landsat (EMBRAPA, 2013). Ao todo já foram lançados 8 satélites e os sensores mais difundidos foram o *Thematic Mapper (TM)* a bordo do Landsat 5, que operou de 1984 a 2012, e o *Enhanced Thematic Mapper (ETM+)* a bordo do Landsat 7, que operou de 1999 a 2003 (EMBRAPA, 2013). Ambos apresentam uma órbita polar circular heliossíncrona a uma altitude de 705 km e inclinação de 98,2°, com tempo de revisita de 16 dias (USGS, 2013; USGS, 2014). A resolução espacial varia de 15 m (banda pancromática do sensor ETM+) a 120 m (banda termal do sensor TM) de acordo com a banda espectral (USGS, 2013; USGS, 2014). Devido ao longo período de imageamento que a série Landsat vem registrando desde a década de 1980 e a oferta gratuita dos seus produtos, é possível observar as mudanças ocorridas nos ambientes terrestres, tanto no tempo, quanto no espaço (TOLLEFEN, 2013).

Os dados de maré para a região foram obtidos nas Tábuas de marés publicadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, para o Porto de Malhado, localizado ao norte da área de estudo, para cada uma das datas listadas na Tabela 1.

3.1 Pré-processamento das imagens

A etapa de pré-processamento contou com a correção atmosférica e o georreferenciamento das imagens por meio dos programas ERDAS IMAGINE, ENVI e ArcGIS™. Adicionalmente, foram feitas operações de realce para cada imagem, especificamente alterações de contraste e aplicação de filtros passa-altas, de modo a destacar as feições de interesse, neste caso, o contato continente-oceano. A correção atmosférica permite que os números digitais de cada banda das imagens sejam convertidos em valores físicos, minimizando os efeitos radiométricos na radiância da cena (JENSEN, 2009). Posteriormente, com o auxílio das cartas topográficas georreferenciadas, foram coletados pontos de controle para o georreferenciamento de cada

banda e da composição colorida (R3G2B1) das imagens de satélite. Foram extraídos cerca de 30 pontos de controle (GCPs) a partir das cartas topográficas: os GCPs foram escolhidos de maneira a estarem bem distribuídos ao longo de cada imagem e apresentarem menor erro médio quadrático (RMS), neste caso, de aproximadamente 0,5. Para cada cena, primeiro foi georreferenciada a composição colorida e a partir dela registrou-se cada banda da imagem.

Modificações de contraste visam apenas ressaltar feições de interesse e não aumentam a quantidade de informação presente na imagem. Esse tipo de alteração é feito a partir da manipulação do histograma dos níveis de cinza (NC) da imagem. Os NC variam de 0 a 255 nas imagens de 8 bits (resolução radiométrica), que é o caso das imagens Landsat TM e ETM+. Devido a diversos fatores, a imagem pode apresentar NC em um intervalo menor (baixo contraste), dificultando a sua interpretação; por esta razão, o histograma é manipulado para redistribuí-los. Outra forma de destacar feições de interesse é a aplicação de filtros: (a) filtros passa-alta realçam as altas frequências, sendo utilizados para verificar mudanças bruscas, dando o efeito de ressaltar as bordas dos alvos como por exemplo o limite entre faixa de areia e água do mar; (b) filtros passa-baixa realçam as baixas frequências, suavizando as bordas.

3.2 Mapeamento da posição da linha de costa

O mapeamento da posição da linha de costa nas imagens já georreferenciadas foi realizado através de um indicador da linha de costa, conforme proposto por Boak e Turner (2006). O indicador utilizado neste caso foi o limite molhado/seco, ou seja, a interface oceano-continente mais perceptível na banda do infravermelho próximo, já que a absorção no mar aumenta com o aumento do comprimento de onda (Figura 3; GARCÍA-RUBIO, 2011). A técnica empregada foi a interpretação visual manual (BOAK; TURNER, 2005; GARCÍA-RUBIO, 2011), realizada no programa ArcGIS™ 10.2. Assim, foram elaborados os mapas comparativos para cada intervalo de tempo, apresentando a variabilidade espacial da posição da linha de costa em intervalos de 2, 8 e 15 anos.

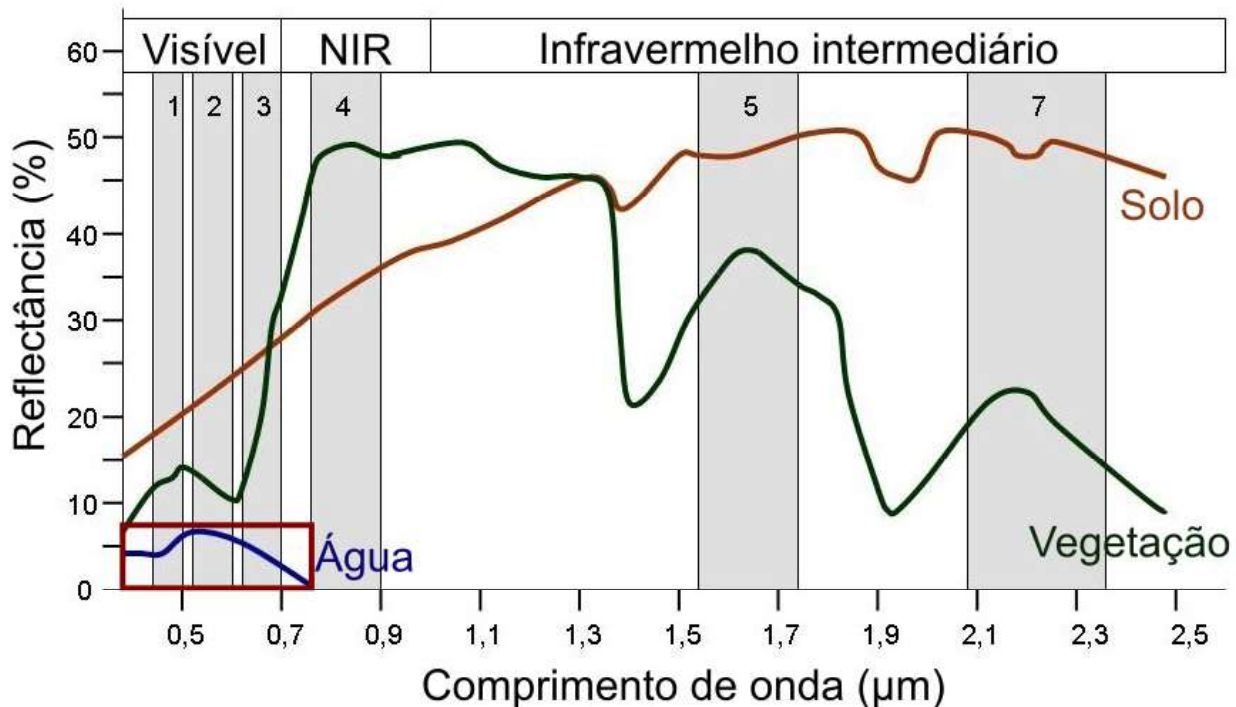


Figura 3 – Assinatura espectral dos principais alvos. Destaque (retângulo vermelho) para a curva espectral da água, que é totalmente absorvida no comprimento de onda do infravermelho próximo. Adaptado de SIEGMUND; MENZ, 2005.

3.3 Quantificação das variações espaciais das áreas de progradação e retrogradação

O mapeamento das mudanças da posição da linha de costa ao longo do tempo permite quantificar tanto a progradação como a retrogradação dos ambientes costeiros. Deste modo, foram gerados polígonos entre as intersecções da linha de costa, representando áreas de progradação (acrecção) ou retrogradação (erosão), utilizando-se a ferramenta *Feature To Polygon* do módulo *Data Management* do programa ArcGIS™ 10.2. Com os polígonos gerados para cada intervalo de tempo, foi possível calcular a área de cada um deles através da opção *Calculate Geometry* do ArcGIS™ 10.2.

4. Resultados

A partir do mapeamento elaborado observou-se que, no período de 15 anos, quatro regiões apresentaram variações morfológicas significativas: a foz do rio Jucuruçu, localizada na cidade de Prado; a foz do rio Itanhém, localizada na cidade de Alcobaça; a ilha Pontal do Sul, localizada na foz do rio Caravelas, na Ponta da Baleia; e a Ponta do Catoeiro, localizada ao

sul do rio Caravelas e ao norte do rio Peruípe (Figura 1). Nas datas das imagens utilizadas, as oscilações do nível médio do mar associadas aos ciclos da maré não ultrapassaram 1 metro de altura positiva ou negativa, ao passo que as variações morfológicas foram da ordem de centenas de metros. Por isto, considerou-se que as variações da maré não exerceram influência significativa sobre as variações morfológicas observadas. A seguir são apresentados os resultados da comparação de cada par de anos e para todo o período amostrado entre 1987 e 2001.

4.1 Variações morfológicas no período entre 1987 e 1989

No primeiro período analisado, entre 1987 e 1989, não foram observadas variações significativas da posição da linha de costa (Figura 4). Na área da foz do rio Jucuruçu, não houve tendências migratórias para nenhuma direção, tendo sido observada apenas uma tendência erosiva no lado do pontal voltado para o oceano (Figura 4A). Na foz do rio Itanhém percebeu-se uma tendência deposicional, com progradação do pontal arenoso para sul-sudeste e a bifurcação

da extremidade livre. Também nota-se deposição na extremidade voltada para o rio e erosão na margem externa (Figura 4B). Na ilha Pontal do Sul há a concomitância de tendências deposicionais e erosivas, com predomínio desta última. Nesta área, a foz do rio Caravelas sofre forte erosão e a ilha apresenta uma

tendência de progradação para nordeste e erosão em sua extremidade sudoeste (Figura 4C). Na Ponta do Catoeiro há tendência deposicional com progradação do pontal para nordeste. Também é possível observar processos erosivos na face do pontal voltada para a desembocadura do rio (Figura 4D).

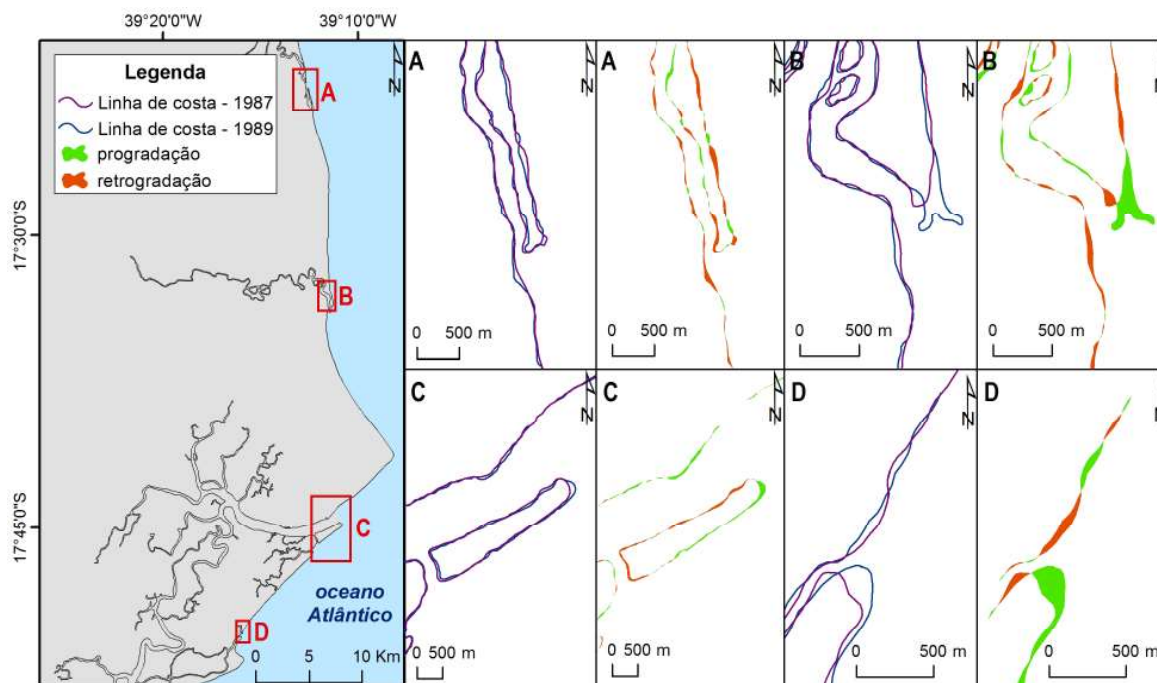


Figura 4 – Mapeamento da posição da linha de costa e áreas de progradação e retrogradação no período entre 1987 e 1989: (A) foz do Rio Jucuruçu, (B) foz do Rio Itanhém, (C) ilha Pontal do Sul e (D) Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

4.2 Variações morfológicas no período entre 1989 e 1997

No período compreendido entre 1989 e 1997 é possível notar uma significativa variação da linha de costa ao longo de toda a área de estudo (Figura 5). Na foz do rio Jucuruçu, observa-se clara tendência deposicional e uma pequena progradação para sul-sudeste do pontal arenoso além de uma tendência de bifurcação. Há recuo mais acentuado do continente na altura da extremidade do pontal (Figura 5A). Na foz do rio Itanhém, também predomina uma tendência deposicional e a migração do pontal na direção sul-sudoeste, com bifurcação voltada para noroeste. Nota-se uma pequena erosão no pontal e no continente, próximo à extremidade do pontal (Figura 5B). Na ilha Pontal do Sul, predomina a tendência erosiva, que é mais intensa na face voltada para o oceano. Já na face interior da ilha houve predomínio de processos de acumulação (Figura 5C), que resultaram na sua migração

em direção ao continente. Na região da Ponta do Catoeiro, nota-se uma tendência deposicional, com progradação do pontal na direção norte-nordeste. Processos erosivos são observados no limite exterior do pontal e na área do continente próxima à extremidade (Figura 5D).

4.3 Variações morfológicas no período entre 1997 e 1999

Na análise da variação da linha de costa entre 1997 e 1999 verificam-se poucas variações ao longo da área (Figura 6). Na foz do rio Jucuruçu há progradação do pontal arenoso para sul-sudeste. Nota-se o preenchimento da reentrância na extremidade do pontal, seu deslocamento em direção ao oceano, com acúmulo de sedimentos, e erosão na face voltada para o rio (Figura 6A). Na foz do rio Itanhém há predomínio de processos erosivos e migração do pontal para sul-sudoeste.

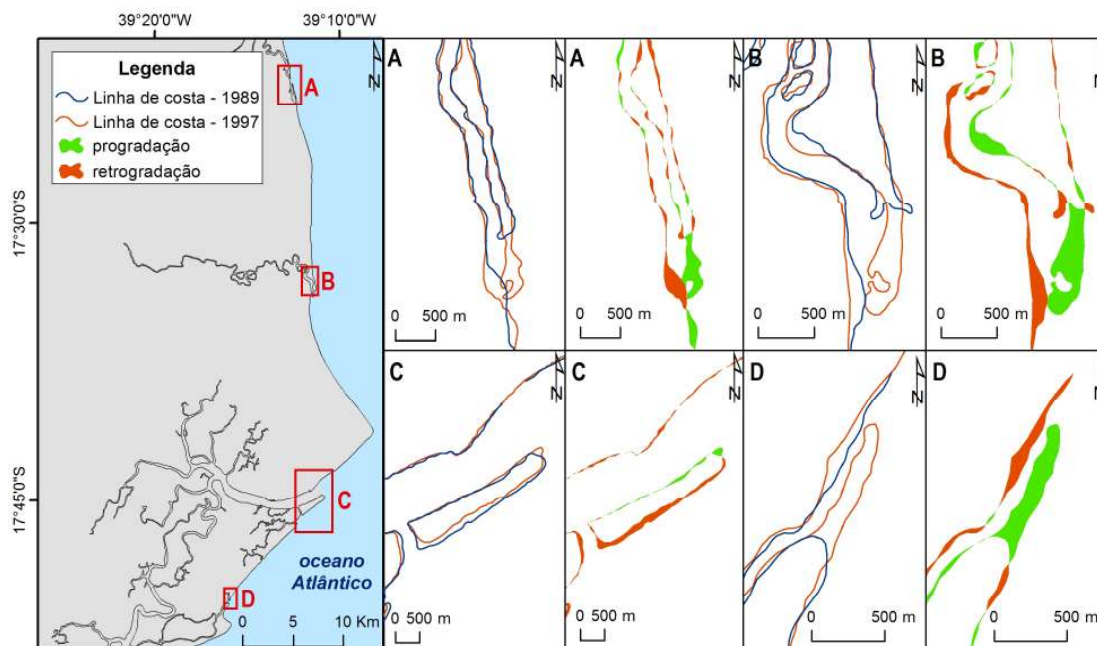


Figura 5 – Mapeamento da posição da linha de costa e áreas de progradação e retrogradação no período entre 1989 e 1997: (A) foz do Rio Jucuruçu, (B) foz do Rio Itanhém, (C) ilha Pontal do Sul e (D) Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

Também é possível observar o alargamento da porção sul e o estreitamento da porção norte (Figura 6B). Na ilha Pontal do Sul verificam-se poucas variações na morfologia do pontal arenoso, com ocorrência de erosão

em algumas áreas (Figura 6C). Na Ponta do Catoeiro há tendência de progradação para norte-nordeste e os processos de acumulação predominam sobre os erosivos (Figura 6D).

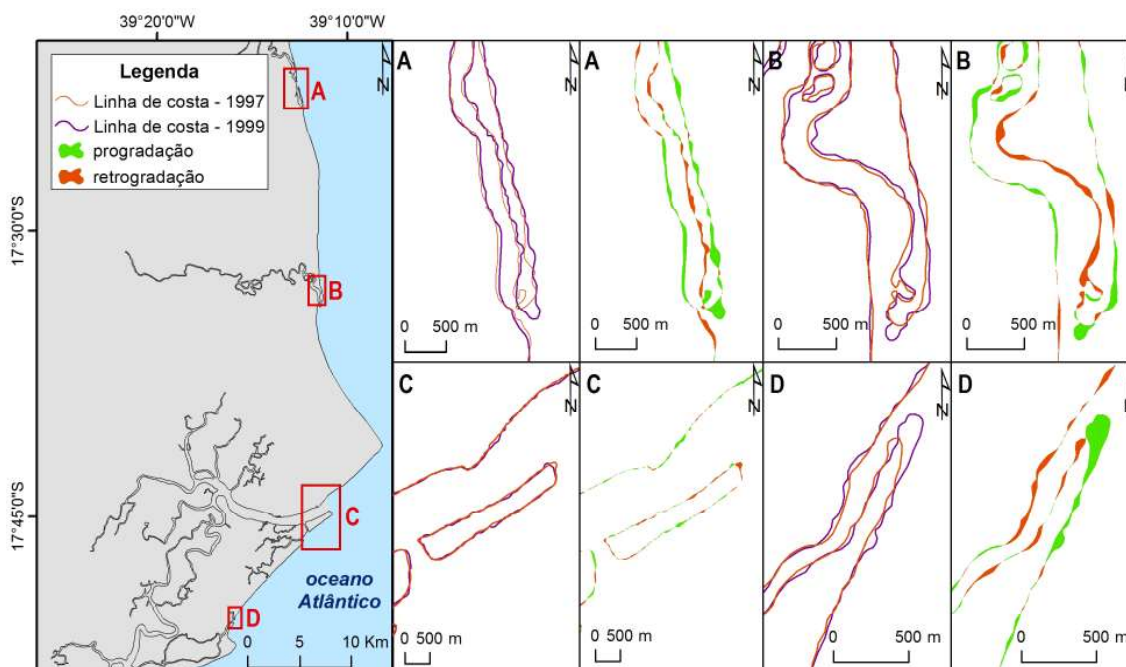


Figura 6 – Mapeamento da posição da linha de costa e áreas de progradação e retrogradação no período entre 1997 e 1999: (A) foz do Rio Jucuruçu, (B) foz do Rio Itanhém, (C) ilha Pontal do Sul e (D) Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

4.4 Variações morfológicas no período entre 1999 e 2001

No período que se estende de 1999 a 2001 nota-se ao longo da linha de costa pontos com mudanças significativas em sua morfologia (Figura 7). Na foz do rio Jucuruçu verifica-se a progradação do pontal arenoso para sul-sudeste e a migração da face interior em direção ao continente. Já a face voltada para o oceano sofreu retrogradação (Figura 7A). Na foz do rio Itanhém há o recuo de 50 metros do pontal e a migração do mesmo em direção ao oceano, com engordamento da

sua extremidade, resultando no dobro de sua largura. Verifica-se o desenvolvimento de uma reentrância na extremidade do pontal e a alternância de áreas de progradação e retrogradação ao longo desta feição (Figura 7B). Na ilha Pontal do Sul há tendência erosiva em toda sua extensão, exceto uma pequena acumulação de sedimentos na extremidade nordeste (Figura 7C). Na Ponta do Catoeiro nota-se uma tendência à progradação, com a extremidade livre se deslocando sutilmente para nordeste. Também é perceptível a migração do pontal em direção ao oceano (Figura 7D).

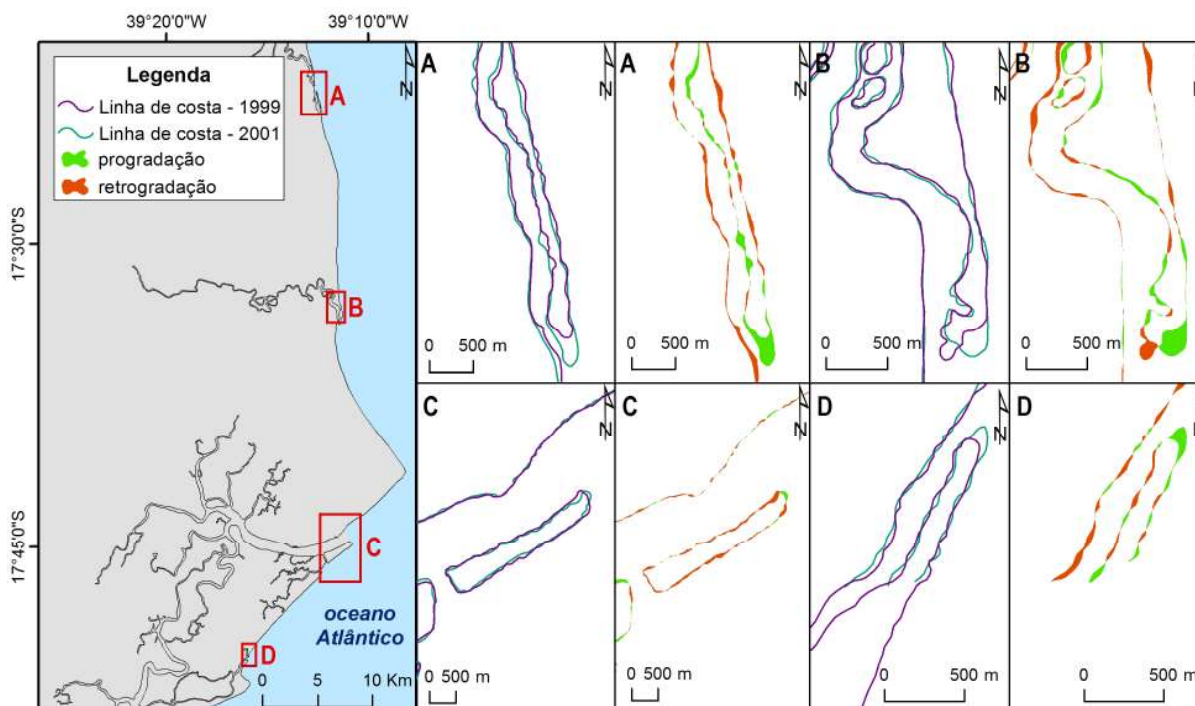


Figura 7 – Mapeamento da posição da linha de costa e áreas de progradação e retrogradação no período entre 1999 e 2001: (A) foz do Rio Jucuruçu, (B) foz do Rio Itanhém, (C) ilha Pontal do Sul e (D) Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

4.5 Variações morfológicas no período entre 1987 e 2001

Observa-se que no período entre 1987 e 2001 variações morfológicas significativas ocorreram ao longo da linha de costa (Figura 8). Na foz do rio Jucuruçu nota-se o crescimento do pontal para sul-sudeste, tendência geral de aumento da área e erosão em alguns pontos e na margem do rio oposta à extremidade do pontal (Figura 8A). Na foz do rio Itanhém verifica-se o crescimento do pontal na direção sul, tendência geral de aumento de área e erosão em um setor da face voltada para o oceano (Figura 8B). Na ilha Pontal do Sul ocorreu perda de área, com maior atuação dos processos erosivos na face voltada para o oceano. A face voltada para o

continente apresentou maior estabilidade (Figura 8C). Na Ponta do Catoeiro há o crescimento lateral do pontal para nordeste, além de migração do pontal em direção ao oceano e erosão em sua retaguarda (Figura 8D).

5. Discussão

Devido ao fato de as linhas de costa arenosas serem sensíveis a mudanças no nível médio do mar, ocasionadas tanto por fatores naturais quanto antrópicos (MILNE, 2014), mudanças na morfologia e na dinâmica sedimentar destas feições são comuns ao longo do tempo. Por isso, o mapeamento dessas feições é crescentemente utilizado

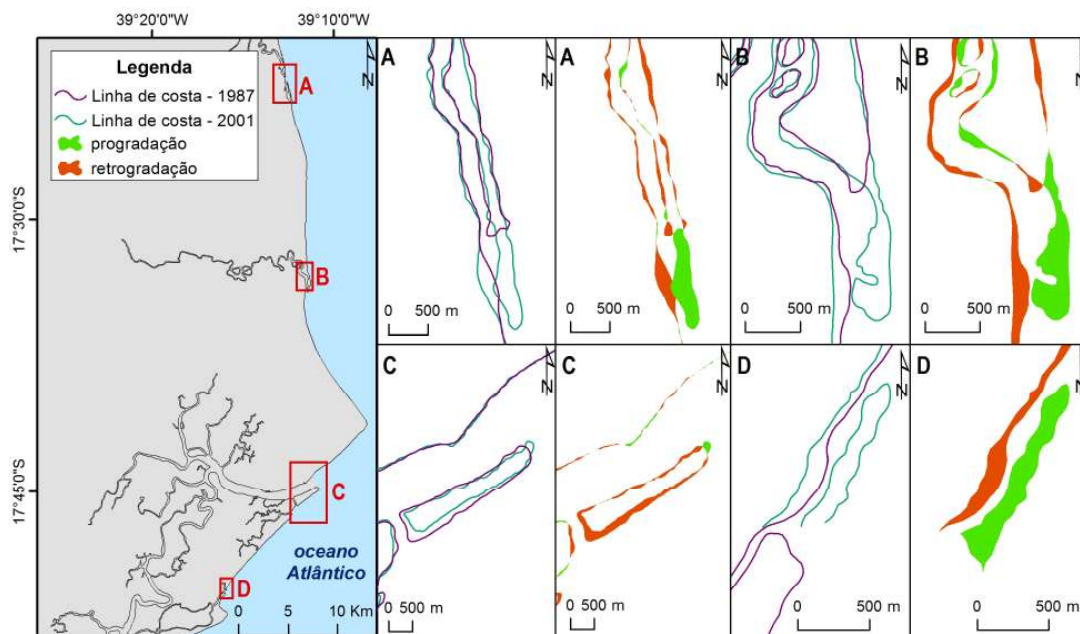


Figura 8 – Mapeamento da posição da linha de costa e áreas de progradação e retrogradação no período entre 1987 e 2001: (A) foz do Rio Jucuruçu, (B) foz do Rio Itanhém, (C) ilha Pontal do Sul e (D) Ponta do Catoeiro. Projeção Universal Transversa de Mercator (datum horizontal: WGS 84, zona de referência: 17).

para o monitoramento temporal de mudanças morfológicas, propiciando um melhor gerenciamento das áreas costeiras (GARCÍA-RUBIO, 2011). Como as linhas de costa se encontram em uma área de transição, além dos agentes marinhos, também os continentais desempenham papel relevante em suas mudanças morfológicas, desde o desenvolvimento de canais de maré, até o crescimento de pontais arenosos. Para analisar tais mudanças, tanto sob o ponto de vista espacial como temporal, tem-se intensificado o uso de imagens de satélite como ferramenta que permite identificar a morfodinâmica de diversas feições costeiras

de maneira mais rápida e acurada (THOMAS *et al.*, 2014).

A análise das imagens Landsat mostrou que no período compreendido entre 1987 e 2001 a linha de costa da área de estudo esteve sujeita a sensíveis alterações, apresentando tanto erosão em alguns trechos como deposição em outros, particularmente em associação com o crescimento de pontais arenosos (Figura 9). Na ilha Pontal do Sul os processos erosivos predominam sobre os de deposição, possivelmente devido à dinâmica dos canais de maré que a limitam ao sul (canal Boca do Tomba) e ao norte (canal Barra Velha).

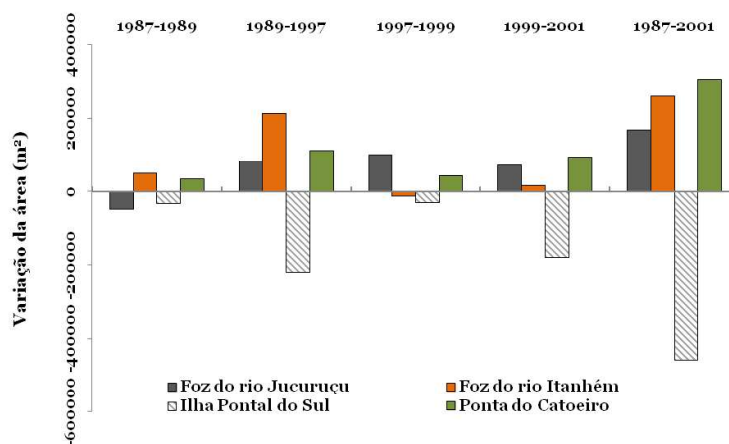


Figura 9 – Variação da área das feições que apresentaram mudanças morfológicas mais significativas. De maneira geral, observa-se predomínio de acreção (valores positivos) nos pontais arenosos associados à foz dos rios Jucuruçu e Itanhém, na Ponta do Catoeiro, e de erosão (valores negativos) na ilha Pontal do Sul.

Sousa *et al.* (2014) analisaram um testemunho a vibração coletado a cerca de 9 km a montante da foz do estuário do rio Caravelas e verificaram que no período datado entre ~ 1970 e 2000 ocorreu aumento da concentração de lama, o que estaria relacionado à abertura e alargamento do canal Boca do Tomba. Esta abertura modificou a relação hidrodinâmica da foz do estuário com a plataforma adjacente, modelando a linha de costa de maneira distinta ao longo do tempo. Schettini e Miranda (2010) observaram no canal Boca do Tomba correntes de maré vazante com quase o dobro da intensidade das observadas no canal Barra Velha, respectivamente, 1,5 m/s e 0,8 m/s; em relação às correntes de maré enchente, os maiores valores também foram registrados no canal Boca do Tomba (0,75 m/s) embora no canal Barra Velha os valores tenham sido apenas 20% inferiores (0,6 m/s). Estes valores sugerem a ocorrência de taxas de transporte de sedimento mais elevadas ao sul da ilha Pontal do Sul, o que já foi constatado por Schettini e Miranda (2010) em relação à carga transportada em suspensão, permanecendo desconhecidas as taxas de transporte dos sedimentos mais grossos como as areias finas e grossas que predominam ao longo das margens da ilha Pontal do Sul (PIANCA, 2009). No entanto, levando em consideração a relação quadrática ou até mesmo cúbica existente entre a intensidade das correntes e as taxas de transporte de areias (p. ex. ENGELUND; HANSEN, 1967) pode-se afirmar que os volumes transportados através do canal Boca do Tomba são significativamente maiores que aqueles transportados pela canal Barra Velha, o que tem resultado no gradual aprofundamento do primeiro e preenchimento do segundo.

Com auxílio de fotografias aéreas e imagens Landsat, Sousa *et al.* (2014) mostram que no final da década de 1950, ao início da abertura natural do canal Boca do Tomba, este tinha largura de 60 m, em contraste com os 400 m observados em 2011, quando a profundidade atingiu cerca de 25 m. Ao mesmo tempo, a antiga ligação entre o estuário e o oceano, canal Barra Velha, tornou-se um canal secundário e sua profundidade passou, durante o mesmo período, de 7 para 3 m.

Nas demais regiões destacadas neste trabalho (Figura 1), foi observada a progradação lateral do continente através do crescimento de pontais arenosos. Essa tendência de migração lateral de pontais arenosos tem sido verificada em outras áreas, como por exemplo na região de Cádiz (Espanha), na foz do estuário do rio Piedras (MORALES *et al.*, 2001). Segundo Dabrio *et*

al. (1980 apud MORALES *et al.*, 2001), a alternância de dominância de ondas e marés explicaria a acreção longitudinal dessas feições, pois tal hidrodinâmica é refletida nas orientações observadas nas linhas de bermas preservadas ao longo dos pontais arenosos. Outra consequência do desenvolvimento de pontais arenosos é a erosão da linha de costa das regiões adjacentes devido à retenção de sedimentos nos pontais, o que gera um déficit no suprimento de sedimentos a sotamar e consequente erosão nas praias vizinhas (DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 1996). Muehe (1998) menciona ainda mudanças do clima de ondas e do suprimento de sedimentos como fatores adicionais a serem levados em consideração em estudos sobre erosão em áreas costeiras. Outras fontes de agravamento da erosão costeira são as intervenções antrópicas que acabam interferindo no balanço sedimentar destas áreas (MUEHE, 2005). Ainda segundo Muehe (2005), um segmento crítico quanto à erosão costeira é a desembocadura fluvial, que com modificações ao longo do seu curso pode ter sua morfodinâmica alterada.

Teixeira *et al.* (2013) relatam que, embora o número de frentes frias que chegaram à região de Caravelas no período 2002-2004 tenha se mantido estável, os ventos de S-SE tornaram-se mais frequentes, possivelmente em associação ao maior número de frentes frias que atingiram a região de Cabo Frio, situada mais ao sul da área de estudo (23°S). Este efeito remoto sobre a circulação atmosférica é característico dos períodos sob domínio de condições relacionadas ao fenômeno El Niño que, por sua vez, afetam o clima de ondas e o transporte de sedimentos ao longo da costa.

As taxas médias de crescimento dos pontais associados à foz dos rios Jucuruçu, Itanhém e à Ponta do Catoeiro, variaram em 80 m/ano para os dois primeiros e 86 m/ano para o último, durante os 15 anos analisados. De acordo com os resultados obtidos por Andrade (2000), que analisou as variações geomorfológicas da Ponta do Catoeiro num período entre 1957 e 1988, observa-se que a taxa de crescimento do pontal arenoso mais do que dobrou para o período entre 1987 e 2001, período analisado neste trabalho. Este aumento da taxa de deposição de sedimentos está provavelmente relacionado tanto a mudanças no padrão de circulação costeira como ao aumento da disponibilidade de sedimentos.

A ação antrópica sobre a zona costeira da área de estudo, através de sua crescente ocupação e uso para atividades ligadas à agricultura, pesca e atividades

industriais (SOUZA *et al.*, 2014), pode ter contribuído para a alteração dos padrões de circulação nos canais fluviais e estuarinos bem como do volume de sedimentos colocados à disposição do sistema costeiro, contribuindo para o aumento de sua instabilidade. Por outro lado, na região do rio Itanhém (também conhecido como rio Alcobaça), Addad e Martins-Neto (2000) atribuíram a erosão observada nas praias ao sul e ao norte da foz do rio ao intenso desflorestamento observados desde os anos 70 do século passado, quando a monocultura do eucalipto foi introduzida em áreas da região de Caravelas (ALMEIDA *et al.*, 2008). Addad e Martins-Neto (2000) ressaltam que o desflorestamento causou não somente um aumento significativo das concentrações de sedimentos em suspensão, o que “amortece” a turbulência (McLEAN, 1992) e favorece a deposição dos sedimentos de maior calibre, mas também o aumento da descarga de água e da carga sedimentar de fundo que, no entanto, ficaria retida preferencialmente no estuário superior. Mais recentemente, Cussioli (2010) registrou que o pontal arenoso continuou seu crescimento para o sul até 2008, quando ocorreu o seu rompimento em frente à foz do rio Itanhém, tornando-se um sistema com dois canais de maré.

De maneira geral, a região da Ponta da Baleia sofre a ação da convergência de derivas litorâneas relacionadas a dois climas de onda distintos: as ondas de NE e E geram, ao norte da Ponta da Baleia, uma direção de transporte longitudinal de sedimentos em direção a sudeste, enquanto ondas de SO e S geram, ao sul desta região, uma deriva litorânea em direção a nordeste. Este cenário foi reproduzido por Pianca (2009) através de modelagem numérica do transporte de sedimentos realizada com o programa MIKE21-FM no entorno da Ponta da Baleia; uma exceção à tendência supracitada foi observada no setor central da face oceânica da ilha Pontal do Sul, onde a autora identificou uma zona de divergência do transporte de sedimentos.

6. Conclusões

As variações morfológicas da linha de costa da área de estudo, analisadas ao longo de um período de 15 anos, sugerem que a ação combinada da influência das correntes de maré e das correntes litorâneas associadas às ondas determinam as tendências do transporte residual dos sedimentos. Adicionalmente, tais variações também são influenciadas por modificações relaciona-

das a ações antrópicas nas bacias de drenagem e na própria região costeira, que alteram o fluxo de sedimentos do ponto de vista quali-quantitativo.

A análise dessas variações por meio de imagens de satélite tem sido um avanço nas últimas décadas, já que há mais variedade de imagens, com diferentes resoluções espaciais, temporais e radiométricas, e uma gama de programas para manipulação das mesmas. Desta forma, é possibilitada a identificação dos padrões e variações espaciais de uma determinada região, que no âmbito dos estudos costeiros, permitem analisar as condições geológicas que expliquem tais fenômenos. No âmbito da geomorfologia costeira, esta ferramenta permite a elaboração de estudos que avaliem as variações morfológicas ao longo do tempo e podem ser guias para o aprofundamento dos estudos com a utilização de ferramentas complementares, como observações *in situ* dos processos envolvidos no transporte e deposição de sedimentos.

7. Referências Bibliográficas

- ADDAD, J.; MARTINS-NETO, M.A. Deforestation and coastal erosion: a case from East Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 16, n. 2, p. 423-431, 2000.
- ALMEIDA, T.M.; MOREAU, A.M.S.S.; MOREAU, M.S.; PIRES, M.M.; FONTES, E.O.; GÓES, L.M. Reorganização socioeconômica no extremo sul da Bahia decorrente da introdução da cultura do eucalipto. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, p. 5-18, 2008.
- ANDRADE, A.C.S. **Evolução quaternária da planície costeira de Caravelas** – extremo sul do estado da Bahia. 2000. 102 f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 2000.
- ANDRADE, A.C.S.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Quaternary evolution of the Caravelas strandplain – Southern Bahia State – Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 75, n. 3, p. 357-382, 2003.
- AZEVEDO, I.F.; GUERRA, J.V.; CABRAL, A.P. Evolução geomorfológica de pontais arenosos associados à foz de rios na orla da planície costeira de Caravelas-BA. In: X Congresso da ABEQUA, 2005, Guarapari. **Anais...**, 2005, p. 6.
- BATES, R.L.; JACKSON, J.A. **Glossary of Geology**. 3 ed. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, p. 788, 1987.

- BATISTA, E. M.; SOUZA FILHO, P. W. M.; SILVEIRA, O. F. M. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, p. 83-96, 2009.
- BIRD, E.C.F. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd., 2008, 434 p.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; SILVA, I.R. Patterns of sediment dispersion coastwise the State of Bahia – Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 72, n. 2, p. 271-287, 2000.
- BOAK, E.H.; TURNER, I.L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BOULHOSA, M.B.M.; SOUZA FILHO, P.W.M. Uso de imagens SRTM e Landsat ETM+7 para o mapeamento geomorfológico dos ambientes costeiros do nordeste do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia. **Anais...**, 2005, p. 1745-1747.
- CENCI, L.; DISPERATI, L.; SOUSA, L.P.; PHILLIPS, M.; ALVES, F.L. Geomatics for Integrated Coastal Zone Management: multitemporal shoreline analysis and future regional perspective for the Portuguese Central Region. **Journal of Coastal Research**, Edição Especial, n. 65, p. 1349-1354, 2013.
- COWELL, P.J.; THOM, B.G. Morphodynamics in coastal evolution. In: CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. (Ed.). **Coastal evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 33-86.
- CUSSIOLI, M. C. **Dinâmica da desembocadura do rio Itanhém, Alcobaça, Bahia**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- DABRIO, C.J.; BOERSMA, J.R.; FERNANDEZ, J. Evolución sedimentaria de La Flecha Del Rompido (Huelva). **Anais do IX Congresso Espanhol de Sedimentologia**, v. 1, 1980, p. 67-68.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 355-371, 1996.
- EMBRAPA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpem.embrapa.br/conteudo/missao_landsat.php> Acesso em: 02 abr. 2016.
- ENGELUND, F.; HANSEN, E. **A monograph on sediment transport in alluvial streams**. Teknisk Vorlag, Copenhagen, Denmark, 1967. 62 p.
- EVANS, O.F. Origin of Spits, Bars and Related Structures. **The Journal of Geology**, v. 50, n. 7, p. 846-865, 1942.
- FINKL, C.W., VOLLMAR, H. Interpretation of bottom types from IKONOS satellite images of Southern Key West National Wildlife Refuge, Florida, USA. **Journal of Coastal Research**, v. SI64, p. 731-735, 2011.
- GARCÍA-RUBIO, G.G. **Evaluation of shoreline change using optical satellite images, case study of Progreso, Yucatán**. 2011. 326 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – School of Marine Science and Engineering of University of Plymouth, Plymouth, Devon. 2011.
- GARCÍA-RUBIO, G.; HUNTLEY, D.; RUSSEL, P. Assessing shoreline change using satellite-derived shorelines in Progreso, Yucatán, México. In: Coastal Engineering 2012, 33, Santander. **Anais...**, 2012.
- GORMAN, L.; MORANG, A.; LARSON, R. Monitoring the coastal environment. IV. Mapping, shoreline changes, and bathymetric analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 14, p. 61-92, 1988.
- HASLETT, S.K. **Coastal systems**. 2 ed. [S.l.]: Routledge, 2009. 240p.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.
- LEAO, Z.M.A.N. **Abrolhos - o complexo recifal mais extenso do oceano Atlântico Sul**. 1999. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio090/sitio090.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2015.
- LEAO, Z.M.A.N.; DOMINGUEZ, J.M.L. Tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n.1-6, p. 112-122, 2000.
- LESSA, G. C.; CIRANO, M. On the circulation of a coastal channel within the Abrolhos coral reef system, Southern Bahia, Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39, p. 450-453. 2004.
- LINS-DE-BARROS, F. M.; MUEHE, D. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 02, n. 1, p.55-66, 2010.
- MASSELINK, G; GEHRELS, R. Introduction to Coastal Environments and Global Change. In: MASSELINK, G; GEHRELS, R. **Coastal Environments and Coastal Change**. Oxford: John Wiley & Sons. 2014. p. 1-27.

- MASSELINK, G.; HUGHES, M.; KNIGHT, J. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. New York: Routledge. 2003, 432 p.
- McLEAN, S. R. On the calculation of suspended load for noncohesive sediments. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. C4, p. 5759-5770, 1992.
- MILNE, G.A. Sea Level. In: MASSELINK, G; GEHRELS, R. **Coastal Environments and Coastal Change**. Oxford: John Wiley & Sons. 2014. p. 28-51.
- MORALES, J.A.; BORREGO, J.; JIMÉNEZ, I.; MONTERDE, J.; GIL, N. Morphostratigraphy of an ebb-tidal delta system associated with a large spit in the Piedras Estuary mouth (Huelva Coast, Southwestern Spain). **Marine Geology**, v. 172, p. 225-241, 2001.
- MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org) **Geomorfologia: uma atualização de conceitos e bases**, 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 253-308.
- MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator**, v. 4, n.7, p. 97-110, 2005.
- OCEANSAT, 2002. **Estudo Ambiental: Bacias de Camamu/Almada, Jequetinhonha, Cumuruxatiba e Mucuri**. Relatório técnico não publicado.
- PIANCA, C. **Dinâmica de pontais arenosos associados à desembocadura do estuário de Caravelas, BA**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E.; SANTOS, L.S.; FERREIRA, A.T.S. Metodologia geodésica para levantamento de linha de costa e modelagem digital de elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, 2012.
- SCHETTINI, C. A. F.; MIRANDA, L. B. Circulation and suspended matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 1-11, 2010.
- SOUSA, S.H.M.; AMARAL, P.G.C; MARTINS, M.V.; FIGUEIRA, R.C.L.; Siegle, E.; FERREIRA, P. A. L.; SILVA, I. S.; SHINAGAWA, E.; SALAROLI, A.; SCHETTINI, C. A. F.; SANTA-CRUZ, J.; MAHIQUES, M.M. de. Environmental evolution of the Caravelas Estuary (Northeastern Brazilian Coast, 17 S and 39 W) based on multi proxies in a sedimentary record on the Last Century. **Journal of Coastal Research**, v. 30, p. 474-486, 2014.
- SILVA, M.N.; SANTOS, V.F.; SILVEIRA, O.F.M. da. Análise multitemporal de mudanças nas ilhas costeiras do estado do Amapá aplicando dados de sensores remotos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba. **Anais...**, 2011, p. 8614-8622.
- SOUTO, M.V.S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte**, região sob influência da indústria petrolífera. 2009. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica e Geodinâmica, UFRN, Natal, 2009.
- TEIXEIRA, C.E.P.; LESSA, G.C.; CIRANO, M.; LENTINI, C.A.D. The inner shelf circulation on the Abrolhos Bank, 18°S, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 13-26, 2013.
- TEIXEIRA, S.G.; SOUZA FILHO, P.W.M. Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, p. 69-82, 2009.
- THOMAS, T.; LYNCH, S.K.; PHILLIPS, M.R.; WILLIAMS, A.T.; DUCK, R.W. Relationships between sand spit evolution, environmental forcing and inland inundation. **Journal of Coastal Research**, SI 70, p. 72-77, 2014.
- TOLLEFSON, J. Landsat 8 to the rescue. **Nature**, v. 494, 2013. p. 13-14.
- USGS. **Landsat 5 History**. 2014. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php> Acesso em: 02 abr. 2016.
- USGS. **Landsat 7 History**. 2013. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat7.php> Acesso em: 02 abr. 2016.
- VIRDIS, S.G.P.; OGGIANO, G.; DISPERATI, L. A geomatics approach to multitemporal shoreline analysis in Western Mediterranean: the case of Platamona-Maritza Beach (northwest Sardinia, Italy). **Journal of Coastal Research**, v. 28, v. 3, p. 624-640, 2012.
- WRIGHT, L.D; THOM, B. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v. 1, p. 412-459, 1977.
- ZULAR, A.; GUEDES, C.C.F.; MENDES, V.R. ; SAWAKUCHI, A.O.; GIANNINI, P.C.F.; FORNARI, M. ; NASCIMENTO JR, D.R. Geomorphological analysis of coastal depositional systems in SE Brazil aided by Google Earth coupled with the integration of chronological and sedimentological data by means of a Google Fusion Table. **Geological Society of America Special Paper**, v. 492, p. 113-125, 2012.