

## Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil \*

### *Analysis of the shoreline evolution between the Future and Porto das Dunas Beaches, Fortaleza Metropolitan Region (FMR), Ceará State, Brazil*

Márcia Thelma Rios Donato Marino<sup>@, 1</sup>, George Satander Sá Freire<sup>2</sup>

#### RESUMO

Zonas costeiras estão incluídas entre os ambientes mais dinâmicos existentes em nosso planeta e vêm sofrendo com o avanço e o recuo da linha de costa, mudando sua posição constantemente em várias escalas temporais. Essas áreas possuem alto potencial urbanístico e turístico, e a expansão urbana crescente e desordenada é um problema, com inúmeros exemplos de impactos de erosão costeira sobre cidades e balneários, além de perdas de importantes habitats. O mapeamento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o planejamento e gerenciamento costeiro, pois fornecem subsídios para o estabelecimento das variações temporais da linha de costa. Nesse sentido foi realizada uma avaliação da linha de costa em quatro trechos do litoral leste da Região Metropolitana de Fortaleza, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e de fotografias aéreas associadas a técnicas de geoprocessamento, abrangendo períodos de 38, 31, 8 e 7 anos, de forma a contemplar a escala interdecadal e interanual. As taxas de avanço e recuo da linha de costa foram obtidas utilizando-se a extensão Digital *Shoreline Analysis System* para o *software* ArcGIS 10.0, integrando dados georreferenciados, entre os anos de 1972 e 2010. Os resultados evidenciam que a variabilidade da linha dessa área apresenta-se bastante instável em sua totalidade. Da praia Porto das Dunas até a margem esquerda do rio Pacoti definiu-se um estágio erosivo, taxa de variação média de -3,53m/ano e -17,67m em 5 anos; entre a foz do rio Pacoti e a praia da Abreulândia, observaram-se índices de erosão média de -0,31m/a e -2,18m em 7 anos; a praia da Abreulândia até a desembocadura do rio Cocó apresentou tendência erosional média de -0,07m/ano e -2,59m, em 38 anos, caracterizando uma estabilidade nesse setor, provavelmente, devido ao cordão descontínuo de arenitos de praia paralelo à costa; a Praia do Futuro apresenta uma tendência fortemente progradante, média de +1,43m/ano e +54,33m, em 38 anos. O equilíbrio dinâmico costeiro de toda a área pesquisada tem sido fortemente influenciado pelo crescimento urbano e exponencial, onde é necessária para a implantação das estruturas antrópicas a desconfiguração morfológica e soterramento de alguns ecossistemas, p. ex., faixa praial, campo de dunas e planície flúvio-marinha (estuários). O impacto nesse ambiente implica na supressão de sedimentos que seriam transportados para a praia, para a zona estuarina e para a deriva litorânea, alimentando também outros setores circunvizinhos. A elaboração de uma base multitemporal de imagens de satélite e fotografias aéreas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas favoreceram a identificação e compreensão

@ - Corresponding author: [marino@unifor.br](mailto:marino@unifor.br)

1 - Universidade Federal do Ceará (UFC), Campos do Pici, Bloco 912, CEP 60455-760 / Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Campus da UNIFOR, Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz, CEP 60.811-905, Fortaleza, Ceará, Brasil.

2 - Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Marinha, Campos do Pici, Bloco 912, CEP 60455-760, Fortaleza, Ceará, Brasil

da dinâmica natural e ambiental das áreas analisadas, sendo essenciais como subsídio às tomadas de decisões acerca do uso e gestão sustentável desses setores. Trata-se de uma importante ferramenta no planejamento e intervenção ambiental, sobretudo por indicar facilmente as tendências de recuo e/ou progradação de uma região ao longo dos anos.

**Palavras-chave:** Dinâmica costeira, erosão costeira, gerenciamento costeiro e geoprocessamento.

## ABSTRACT

*Coastal areas are included among the most dynamic environments existing on our planet and have been suffering with the advance and retreat of the coastline, constantly changing its position on various time scales. These areas have high tourism and urban potential, and the disorderly urban sprawl is a growing problem, with numerous examples of impacts of coastal erosion on cities and resorts, in addition to loss of important habitats. The systematic mapping of the coastline and monitoring its changes represents tools for generating of valuable information for planning and coastal management because they provide subsidies for the establishment of temporal variations of the shoreline. This study is about a shoreline variation analysis at inter decadal and inter annual scales involving 38, 31, 7 and 5 years time span evaluation in four sections of the east coast of the Metropolitan Region of Fortaleza, from the analysis of multitemporal remote sensing images and aerial photographs associated with geoprocessing techniques. The rates of advance and retreat of the shoreline were obtained using the Digital Shoreline Analysis System, software for ArcGIS 10.0, integrating georeferenced data, between 1972 and 2010. The results show that the dynamics of this coastal area has become quite unstable in its entirety. From Porto das Dunas beach to the left margin of Pacoti river it was set up an erosion stage on an average of -3.53m/year and -17.65m in 5 years. It was possible to set the erosive stage of Porto das Dunas beach to the left edge of the Pacoti river as uncritical in the face of changing trends retreat. Through on-site observations, it can be seen that fixed structures built on the dunes, on the beach strip or offshore represent obstacles to the continuous mobility of the sands, interfering in the dynamic replacement and sediment transport. This fact could be confirmed when the sediment balance of the monitored points had considerable losses over the deposition. Important to mention that the dunes migration reaches the lower estuary of the Pacoti River, providing a source of longshore supplier through estuarine dynamics. Between the mouth of the Pacoti river and Abreulândia beach it was observed erosion rates, average of -0.31m/year and -2.18m in 7 years. This erosion process is associated with the increase of buildings installed in unsuitable areas, already suffering from the occupation of fixed and mobile dunes and praial erosion track in this sector of the coast. However, this retrogradation shows to be not very expressive with respect to time and factors, which may be associated with the presence of cord discontinuous sandstones beach (beachrocks) parallel to the coastline, which protects praial range of the power erosional of waves. From Abreulândia beach from to the mouth of the Cocó river showed erosional average of -0.07m/year, -2.59m in 38 years, roughly speaking, the process of erosion can be linked together with a reflection of the reduction in the flow of the Pacoti river basin for estuarine region, as a result of artificial dams along its present route, plus the reduction of aeolian sediment delivery deposits in the estuarine zone, caused by reduce of sands mobility, a consequence of accelerated and disorderly installation of numerous anthropogenic structures in the high beach and dune fields in sectors 1 and 2 in the barlamar zone. Featuring stability in this sector, probably due to discontinuous cord beachrocks parallel to the coast. Praia do Futuro beach has a strong progradational average of +1.43m/year, +54.33m in 38 years. The standard deviation of this cell is shown in two scales fairly representative expressing significant mobility of the shoreline along the profiles. This process is possibly associated with the major dynamic players operating in this edge exposed, morphodynamic character ranging from intermediate to dissipative, in some points reflective, in the E-W direction, and normal orientation to the direction of incidence of the dominant action of the winds and waves. It is worth mentioning the presence of the Titanzinho spike located in the terminal portion of the Praia do Futuro Beach, a structure that prevents the continuity of the sediment transport by longshore drift and leads to the beach nourishment. The coastal dynamics balance of the entire surveyed area has been heavily influenced by urban growth and it's exponentially impact, where it is necessary for the deployment of anthropogenic structures the morphologic deconfiguration and burial of some ecosystems, for example, stretch of the beach, dunes field and fluvial-marine plain. The impact in this environment involves the sediment removal that would be transported to the beach, to the estuarine zone and the littoral drift, feeding also other surrounding areas. Developing a multitemporal base of satellite images and aerial photographs in an environment of Geographic Information Systems facilitated the identification and understanding of the dynamics of natural and environmental analyzed areas, being essential as input to decision making about the use and sustainable management of these sectors. It is an important tool in planning and environmental intervention, particularly easily indicating trends easily retreat and/or progradation of a region over the years.*

**Keywords:** Coastal dynamics, coastal erosion, coastal management and geoprocessing.

## 1. INTRODUÇÃO

Zonas costeiras estão incluídas entre os ambientes mais dinâmicos existentes em nosso planeta. Áreas onde é possível observar a interface continente-oceano-atmosfera apresentam um equilíbrio dinâmico coordenado pelas variações energéticas dos processos naturais de diferentes escalas espaciais e temporais.

Sob o ponto de vista estrutural, dentre os vários tipos morfológicos de regiões costeiras, as que apresentam formação

geológica recente (pleistocênica e holocênica) são as mais sensíveis e dinâmicas. Incluem-se as planícies costeiras e seus subambientes: lagoas costeiras, lagunas, estuários, planícies fluviomarinhas, praias, entre outros.

O desenvolvimento e a importância dessas zonas são expressos pela sua ocupação, vez que 1,2 bilhões de pessoas vivem nos primeiros 100km de distância da linha de costa e nas altitudes inferiores a 100m e onde a densidade populacional é cerca de três vezes maior do que a média global (Small & Nicholls, 2003). A expansão urbana desordenada sobre

elas já é um problema conhecido em todo o mundo, com inúmeros exemplos de impactos de erosão costeira sobre cidades e balneários, além de perdas de importantes habitats de alta produtividade biológica.

A linha de costa é um elemento geomorfológico que apresenta alta dinâmica espacial decorrente de respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Suas mudanças de posição são de natureza complexa, envolvendo diversos processos ligados às variações do nível do mar (em curto e longo prazo), balanço de sedimentos, movimentos tectônicos e reológicos, e antrópicos (Camfield & Morang, 1996).

As praias arenosas são utilizadas pelo homem para diversos fins, destacando aqueles de natureza recreacional e turística. A crescente demanda por tais usos nos municípios litorâneos induz muitas vezes a um desenvolvimento sem planejamento, desconsiderando a natureza móvel e dinâmica da linha de costa.

O mapeamento sistemático dessa linha e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o planejamento e gerenciamento costeiro, pois fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos (*setback*) da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem também com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (guias correntes, molhes, engordamento de praia etc.) (Anders & Byrnes, 1991; Crowell *et al.*, 1991).

Estudos envolvendo a determinação das taxas de recuo de linha de costa vêm sendo realizados desde a segunda metade do século passado, utilizando para tal os mais diversos métodos de comparação cartográfica, medições diretas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas fotogramétricas, utilização de imagens de satélite etc., visando como resultado final, considerando a degradação da zona costeira, à obtenção de previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa (Short & Trembanis, 2004; Calhaghan *et al.*, 2009).

Em estudos de monitoramento costeiro, a existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas converte a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva desses sistemas (Trebossen *et al.*, 2005; Chu *et al.*, 2006).

Nas últimas décadas, as técnicas de mapeamento da linha de costa têm apresentado grande evolução relacionada ao rápido avanço tecnológico, popularização dos sistemas de informação geográfica e cartografia digital, e estendendo-se também às formas de obtenção de dados pela incorporação de novas tecnologias, tais como DGPS e Sensores Laser (LIDAR) (Leatherman, 2003).

As causas de erosão costeira são amplamente discutidas em nível mundial (Bruun, 1962; Bird, 1985) e nacional (Souza & Suguio, 2003; Dillenburg *et al.*, 2004; Dominguez, 2007), sendo que dois importantes processos são apontados como principais causadores do fenômeno: a elevação do nível do mar e o balanço sedimentar negativo. Vale ressaltar o livro *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*, organizado

pelo Prof. Dieter Muehe, e publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, no qual, além de seu valor acadêmico, possibilitou o aprofundamento de pesquisas por todo o litoral brasileiro, relevante instrumento para os gestores públicos e para os tomadores de decisão, nas questões que envolvam o desenvolvimento urbano nas zonas costeiras, o ordenamento das atividades produtivas e a preservação e conservação dos biomas naturais (Muehe, 2006).

As estimativas do Painel Internacional de Mudanças Climáticas apontam que a elevação do nível do mar para o final do século XXI (2090-2099), relacionada ao período 1980-1999, segundo a faixa base do modelo, excluindo rápidas mudanças dinâmicas futuras no fluxo de gelo, e a incerteza do aquecimento projetado com estes cenários, sinalizam para um NMM variando entre 0,18m a 0,59m até 2100, mas podendo apresentar valores divergentes devido aos fatores regionais e, desta forma, em um cenário otimista os valores variaram de 0,18m a 0,38m, realista de 0,21m a 0,48m e no pessimista 0,26m a 0,59m. Esses valores já apresentam a aceleração levando em consideração a expansão térmica, a fusão de glaciares de montanha e de calotas glaciárias, a capa de gelo da Groelândia, a capa de gelo da Antártica e o total da superfície de gelo (IPCC, 2007).

Desde a década de 1970, geólogos, geógrafos e oceanógrafos vêm realizando estudos para tentar compreender os processos agentes da dinâmica costeira das praias do estado do Ceará. Esses estudos apresentam aspectos sobre a compartimentação territorial e gestão da zona costeira, zoneamentos geoambientais, controle neotectônico, evolução geológica e sedimentológica das praias, aspectos morfodinâmicos e geoquímicos das praias oceânicas e estuarinas. Em relação à plataforma continental interna, ressaltam-se estudos geomorfológicos e de impactos ambientais nas praias e a evolução da dinâmica costeira com uso do sensoriamento remoto. Dentre os quais, citam-se a título exemplificativo: Freire, 1989; Maia, 1998; Silva *et al.*, 2000; Campos & Polette, 2003; Lehugeur *et al.*, 2003; Branco, 2003; Albuquerque & Pinheiro, 2005; Branco *et al.*, 2005, dentre outros.

A planície costeira dos municípios de Aquiraz e Fortaleza, dentro do perímetro estudado, apresenta a foz dos rios Pacoti e Cocó, que contribuem para a dinâmica da área. As ligações com o mar, durante períodos de intensa pluviosidade, provavelmente, são responsáveis por transportar quantidades significativas de sedimentos para a zona de arrebenção, participando de forma ativa no balanço de sedimentos da costa da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), principalmente, dos locais adjacentes às desembocaduras.

A faixa de praia da RMF é afetada por um número muito grande de fatores, alguns de origens naturais (flutuações do nível do mar, tectonismo, transporte sedimentar costeiro e dinâmica da zona de arrebenção), outros relacionados com as intervenções humanas na zona costeira (drenagens, aterramento de praias, construção de espigões, muros de contenção etc.).

Dentro desse contexto, o presente artigo objetiva a determinação do comportamento da linha de costa em trechos do litoral leste da Região Metropolitana de Fortaleza, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas, que se mostra

como uma ferramenta valiosa para a projeção e predição do comportamento desses ecossistemas às respostas do meio físico à introdução de elementos antrópicos e à dinâmica natural, ferramenta já utilizada por Farias & Maia (2010). Dessa forma, pretende-se contribuir com a geração de conhecimentos e informações necessárias do meio físico, auxiliando na consolidação de processos e metodologias que possam ser aplicados no planejamento e gestão, o que é fundamental para futuros diagnósticos que visem ao aproveitamento sustentável dessas regiões.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A faixa litorânea do estado do Ceará possui uma extensão linear de 573 km, apresentando duas direções principais: ESE e NW, com traços avançados de retificação. As direções supracitadas só chegam a ser interrompidas por algumas pontas e promontórios, como, por exemplo, a ponta do Mucuripe na área de estudo. A paisagem é composta principalmente de praias arenosas, campos de dunas, estuários com manguezais, lagoas costeiras, falésias e tabuleiros (Campos & Polette, 2003).

Segundo os autores deste artigo, a zona costeira da área de estudo é representada por um empilhamento estratigráfico que compreende dois domínios geológicos: unidade basal e planície costeira. A unidade basal é constituída pela unidade litoestratigráfica Vulcânica-Alcalina, Terciária (Oligoceno-Mioceno), representada pelo morro Caruru; e pela Formação Barreiras, Tércio-Quaternários (Mioceno-Pleistoceno), constituída pelos sedimentos dos Tabuleiros Pré-Litorâneos. A planície costeira compreende Depósito aluvial (Quaternário/Pleistoceno); Depósitos litorâneos - Arenito de praia (Quaternário/Plioceno), Fluviolacustre, Paludial, Eólico e Marinho praiado do Holoceno. Os sedimentos da planície costeira foram originados a partir de processos gravitacionais gerados por oscilações climáticas relacionadas às flutuações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário.

A planície costeira encontra-se em contato direto com as águas do oceano Atlântico sul. As ondas que banham a área apresentam um forte componente de leste com direções variando entre os quadrantes E-NE e E-SE, mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos, os quais são responsáveis pela configuração das dunas litorâneas pretéritas e atuais. Segundo Albuquerque *et al.* (2006), a incidência de ondas ao longo da costa resulta em um componente residual e transporte preferencial de sedimentos na direção SE-NW.

O clima da RMF, segundo a classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw'), apresentando uma forte irregularidade pluviométrica no decorrer do ano. As chuvas se concentram em cerca de 90% no primeiro semestre do ano, tendo seu ápice nos meses de março a maio (INMET, 2011).

As águas superficiais da área abrangem parte de três principais cursos fluviais formados pelos rios Pacoti, Cocó e Coaçu, que fazem parte da Bacia Metropolitana, definida pela SRH (Secretaria de Recursos Hídricos - Ceará, 2005). Esses rios têm suas nascentes em terrenos cristalinos. Segundo Ribeiro (2001), esses cursos de água estão classificados

como intermitentes, com fluxo de escoamento no período chuvoso, esgotando parcialmente as lâminas d'água com o fim das precipitações.

Na configuração atual da faixa litorânea entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, todo o seu entorno está sujeito à atuação de agentes dinâmicos que podem induzir mudanças em curto prazo, entre eles destacam-se as ondas e marés, as correntes e os ventos.

O vento é um dos agentes mais ativo, pois controla a formação de correntes costeiras e ondas, além do transporte de sedimentos para a formação dos depósitos eólicos de toda a zona costeira, pela deflação dos sedimentos do perfil praiado. Segundo os dados da Fundação Cearense de Meteorologia - FUNCEME, no que diz respeito ao regime de ventos, de fevereiro a abril, possuem uma velocidade média de 3,7m/s, procedentes de nordeste, com menores intensidades detectadas no mês de março. Moraes (1980) relatou que a partir de maio ocorre uma intensificação gradativa dos ventos, atingindo valores máximos no mês de setembro com 7,2m/s, e maior intensidade, com média de 6,8 m/s, no período de agosto a novembro.

Em relação às velocidades das correntes de vento na região pesquisada, observa-se que seguem um padrão inverso ao pluviométrico, apresentando velocidades baixas na estação de alta pluviosidade, meses de janeiro a junho, registrado nas alturas de 0,5m, valores entre 0,09 e 3,33m/s; 1,0m, velocidades variando de 1,23 a 7,22m/s; e 2,0m, na ordem de 1,34 a 6,96m/s. Enquanto na estação de estiagem, meses de julho a dezembro, obtendo-se as mais altas velocidades, sendo notado nas alturas de 0,5m, valores entre 1,38 e 6,82m/s, a 1,0m, leituras de 2,60 a 10,0m/s, e a 2,0m, 3,39 a 12,4m/s.

Maia (1998) verificou através de flutuadores que a velocidade das correntes próximas à linha de costa de Fortaleza variou de 0,24 e 0,3m/s, e normal à costa velocidades entre 0,23 e 0,58m/s. Segundo os registros analógicos mensais do marégrafo instalado no Porto do Mucuripe, entre 2010-2011 a amplitude máxima da maré foi de 3,1m, na maré de sizígia de setembro/2010 e 3,0m em setembro/2011, enquanto a amplitude mínima de 2,3m ocorreu na quadratura de janeiro/2010 e 2,4m em janeiro/2011 (DHN, 2010-2011). O regime de maré é definido como do tipo semidiurno, com duas preamares e duas baixa-mares, em um dia lunar (24h e 50min), com amplitude de maré na faixa de 2,0 a 4,0m, classificada como mesomaré.

As observações de campo tomadas entre agosto de 2010 e agosto de 2011, mostraram que a altura significativa das ondas variou de 0,2 a 1,2m, valor médio de 1,03m, com ondas incidindo obliquamente à costa, ângulo variando de 40° a 80°, provenientes preferencialmente de NE. O período médio das ondas foi de 7,87s.

A figura 1 apresenta os setores contemplados pela pesquisa desenvolvida. Foram selecionadas quatro áreas, sendo estas: a) praia Porto das Dunas (Beach Park), no município de Aquiraz, até a desembocadura do rio Pacoti; b) desembocadura do rio Pacoti - COFECO (Colônia de Férias da Companhia Energética do Ceará) - Praia da Abreulândia; c) Praia da Abreulândia até a desembocadura do rio Cocó; e e) desembocadura do rio Cocó - Praia do Futuro.



**Figura 1.** Mapa de localização dos trechos de aplicação do DSAS (Sistema de Análise Digital da Linha de Costa).

**Figure 1.** Location map of application sections of DSAS ((Digital Shoreline Analysis System).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A análise destas áreas foi efetuada utilizando técnicas de geoprocessamento, considerando, na escolha dessas

regiões, o nível de resolução das imagens e fotografias aéreas disponíveis.

Em alguns casos, foram estudadas regiões que correspondem a uma curta escala temporal, devido à ausência de fotografias aéreas que delimitassem, com nível de acuidade necessária, a linha de costa.

Todas essas áreas foram escolhidas tomando por base o histórico da ocupação urbana acelerada e de forma desordenada nessas regiões nas últimas décadas.

Para um melhor embasamento dos resultados apresentados, criou-se um banco de dados com a sistematização das informações e dados coletados em campo, gerados em laboratório e conjugados com as metodologias de Dal Cin & Simeoni (1994), Mallmann (2008), Mazzer (2007) e Castilhos (1995), efetuando-se uma análise preliminar para caracterizar os setores pesquisados quanto aos riscos e vulnerabilidade à erosão costeira, morfodinâmica, ocupação antrópica, extensão, entre outros (Tabela 1).

#### 3.1. Processamento Digital de Imagens

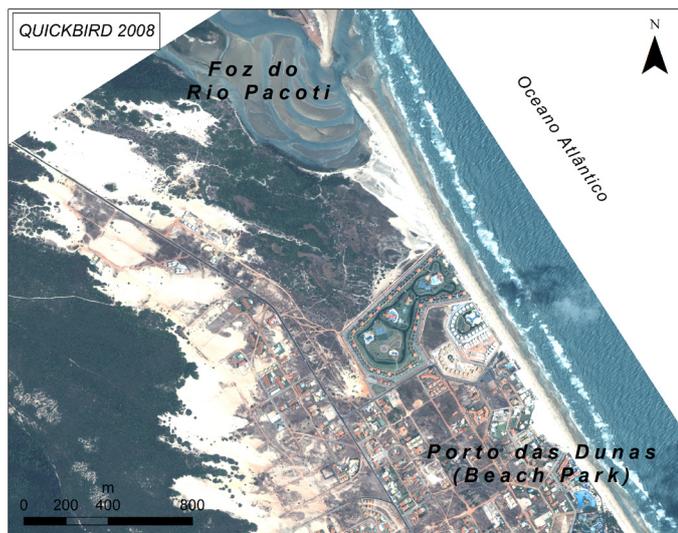
As imagens de satélite em meio digital possuem dados acerca de corpos físicos contidos sobre a superfície terrestre, que podem ser identificados por intermédio do processo de classificação. Esse processo baseia-se na distinção de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, que permitem a sua identificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel a uma determinada feição terrestre, obtendo-se como resultado a identificação e extração de informações da área desejada, sendo indispensável em qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo informações obtidas por meio de sensoriamento remoto (Farias, 2006).

**Tabela 1.** Características dos setores que compõem a área pesquisada (\* segundo Dal Cin & Simeoni (1994), Mallmann (2008), Mazzer (2007) e Castilhos (1995)).

**Table 1.** Characteristics of the sectors that comprise the surveyed area (\* according Dal Cin & Simeoni (1994), Mallmann (2008), Mazzer (2007) and Castilhos (1995)).

Setor	Extensão (km)	Orientação	Exposição	Fisiografia e Geomorfologia	Sistemas associados	Tipo Morfodinâmico	Ocupação Antrópica
SETOR 1 Praia Porto das Dunas (Beach Park) – Foz do Rio Pacoti	2,5	SE – NW	Alta	Orla exposta	Campo de dunas, foz do rio Pacoti e cordão de beachrocks próximo à foz e em alguns pontos isolados	Dissipativo / Intermediário	Alta a ausente
SETOR 2 Foz do Rio Pacoti – COFECO – Praia da Abreulândia	3,2	SE – NW	Alta-Média	Orla exposta	Foz do rio Pacoti, campo de dunas e cordão de beachrocks próximo à foz	Dissipativo / Intermediário	Média a ausente
SETOR 3 Praia da Abreulândia – Foz do Rio Cocó	3,2	SE – NW	Alta-Média	Orla exposta	Foz do rio Cocó, complexo de dunas e cordão de beachrocks próximo à foz	Dissipativo/ Intermediário	Média a ausente
SETOR 4 Foz do Rio Cocó – Praia do Futuro	6,2	SE – NW	Alta	Orla exposta	Foz do rio Cocó, campo de dunas e cordão de beachrocks próximo à foz	Dissipativo/ Intermediário (por vezes, aproximase do refletivo)	Alta

O estudo da evolução da linha de costa no litoral leste de Fortaleza constou de informações extraídas por interpretações de imagens de sensores remotos e fotografias aéreas obtidas junto ao banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Diretoria do Serviço Geológico (DSG) do Ministério do Exército do Brasil. Foram utilizadas imagens do satélite *Quickbird* (Figura 2), com resolução espacial de 0,61 metros, adquiridas pelo satélite nos dias 15 de setembro de 2003 e 31 de outubro de 2008. As fotografias aéreas em preto e branco são datadas de 1972, com escala de 1:8.000, e ortofotocartas de 2010, escala de 1:2.000.



**Figura 2.** Imagem quickbird, ano 2008, destacando a desembocadura do Rio Pacoti e a Praia do Beach Park.

**Figure 2.** Quickbird image 2008, highlighting the mouth of the Pacoti river and Beach Park.

Em estudos que envolvem análise multitemporal de qualquer ambiente na superfície terrestre, fotografias aéreas antigas (Figura 3) se tornam ferramenta muito importante, pois, além de suprirem a falta de imagens de satélite de décadas passadas, são adquiridas em escalas espaciais de semi-precisão à precisão, o que torna o trabalho mais confiável, e representam uma forma rápida e relativamente econômica para a obtenção de informações fundamentais para o planejamento e gerenciamento ambiental.

### 3.2. Delimitação da Linha de Costa

O conceito de linha de costa é extremamente amplo, embora sob o ponto de vista físico a linha de costa corresponda, essencialmente, à linha de interface entre a terra e a água. Devemos entender a linha de costa como um limite móvel, cuja posição espacial é variável a todas as escalas temporais. Os critérios que a definem devem por isso ser rigorosos, de forma a tornar comparáveis os resultados obtidos. Naturalmente que, consoante o tipo de costa em estudo, esta mobilidade pode traduzir-se em movimentos de apenas alguns milímetros por ano ou serem da ordem de vários metros. Deve-se ponderar por isso qual o proxy (referência) mais adequado, tendo em conta, naturalmente, o rigor posicional pretendido (Oliveira, 2005).



**Figura 3.** Fotografias aéreas de 1972 com destaque na desembocadura do Rio Cocó.

**Figure 3.** Aerial photographs from 1972 highlighting the mouth of the Cocó river.

Segundo Muehe (2011), é adequado considerar como linha de costa os contatos morfológicos identificáveis no campo e em imagens, como por exemplo, a escarpa da pós-praia em contato com a retroterra ou a base da duna frontal, como referência para o estabelecimento da largura de faixas de não edificação, principalmente quando a variabilidade morfodinâmica das áreas analisadas for pequena. A definição de linha de costa nas fotos, aerofotos e imagens utilizadas adota o critério de linha de preamar média (LPM), a qual é determinada pela linha de sedimentos secos/sedimentos molhados. De acordo com Crowell *et al.* (1991), Anders & Byrnes (1991) e Leatherman (2003), a LPM representa uma boa opção como indicador da linha de costa, por representar melhor as posições de máximas variações durante o dia da obtenção da aerofoto, minimizando erros de variações diurnas (Figura 4).

Desse modo, as linhas de costa foram delimitadas através de um processo de vetorização, visando a quantificar variações dinâmicas e auxiliar na consolidação de uma metodologia de análise, a partir de uma série multitemporal de dados remotos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

### 3.3. Aplicação do DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*)

A integração dos dados georreferenciados, a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas, utilizando *software* ArcGIS 10.0<sup>1</sup>, proporcionou o cálculo das taxas de avanço e recuo da linha de costa na área de trabalho, entre os anos de 1972 e 2010.

As taxas referidas foram obtidas utilizando o DSAS

1 - ARC GIS 10.0. (2010) - *Software teaching lab pak arcinfo 10*. Sistema Microsoft Windows 2000, XP 32 e 64 bits e 2003: Arc Editor – ESRI. Versão 10.0, idioma: pt. CD-ROM.



**Figura 4.** Delimitação da linha de costa em 2010, representada pelo tracejado, para um trecho da desembocadura do Rio Cocó, ortofotocarta 2010.

**Figure 4.** Delineation of the shoreline in 2010, represented by dashed, for a part of the mouth of the Cocó river, orthophotomap 2010.

versão 4.2 (Thieler *et al.*, 2009), que consta de uma aplicação gratuita de *software* que funciona dentro da *Environmental Systems Research Institute (ESRI) software* Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS). Ele calcula as estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha de costa. Os dados de entrada DSAS são gerados dentro de um geodatabase, que também serve como local de armazenamento para a classe de recurso do *software* gerando *transects* e tabelas relacionadas com os resultados

estatísticos. É exigido também que os dados sejam gerados em unidades de metro de um sistema de coordenadas projetadas, UTM (*Universal Transversa of Mercator*). Para este trabalho foi utilizado o datum horizontal SAD 69 na Zona 24 Sul UTM.

O DSAS utiliza-se de vários métodos estatísticos para realizar o cálculo da variação das taxas de recuo e avanço da linha de costa. Os métodos se baseiam nas diferenças entre as posições da linha de costa ao longo do tempo. As taxas relatadas são expressadas em metros de mudança ao longo dos *transects* por ano. Os dois métodos estatísticos utilizados neste trabalho foram o EPR (*End Point Rate*) e o LRR (*Linear Regression Rate*). Cada método possui seu princípio para calcular as taxas de mudança da linha de costa.

O método EPR faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha (*shoreline*) mais antiga e a mais atual (Thieler *et. al.*, 2009). Ou seja, é uma relação espaço e tempo, onde é medida a distância em metros entre as duas linhas, que em seguida é dividida pelo intervalo de tempo existente entre as duas linhas, a antiga e a nova, tendo assim um produto com unidade em m/ano. A maior vantagem do método EPR é sua facilidade da computação e exigência mínima de dados. Bastam apenas duas linhas para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação. A desvantagem principal existe, quando mais de duas linhas são usadas, pois as informações existentes nas outras linhas não são consideradas. Porém, isso não descaracteriza os resultados.

O método LRR calcula as taxas de recuo e avanço através da regressão linear simples, considerando, para a realização do cálculo, os desvios existentes ao longo de cada linha de costa. A vantagem do método é que ele utiliza todos os *transects* para efeito de cálculo, utilizando-se de conceitos estatísticos.

Para cada região/setor pesquisado foram gerados e enumerados transectos paralelos entre si, com comprimentos e espaçamentos variados, traçados perpendicularmente a partir de uma linha de base *offshore*, utilizando-se imagens de satélite e/ou fotografias aéreas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Material e informações utilizadas para as análises em cada região/setor pesquisado.

**Table 2.** Materials and information used for the analyzes in each region/sector researched.

Região	Imagens/ Fotografias aéreas	Resolução(m)/ Escala	Data	Nº de transectos	Espaçamento (m)	Comp. dos transectos (m)	Comp. da região analizada (km)	Período Analisado (anos) / Método
SETOR 1 Praia Porto das Dunas (Beach Park) – Foz do Rio Pacoti	QUICKBIRD QUICKBIRD	0,61 0,61	15/09/2003 31/10/2008	48	50	145	2,5	5 / EPR <sup>1</sup>
SETOR 2 Foz do Rio Pacoti – COFECO – Praia da Abreulândia	QUICKBIRD Ortofotocartas	0,61 1:2.000	15/09/2003 2010	64	50	100	3,2	7 / EPR <sup>1</sup>
SETOR 3 Praia da Abreulândia – Foz do Rio Cocó	Fotografia QUICKBIRD Ortofotocartas	1: 8.000 0,61 1:2.000	1972 15/09/2003 2010	31	75	100	3,2	38 / EPR <sup>1</sup> e LRR <sup>2</sup>
SETOR 4 Foz do Rio Cocó – Praia do Futuro	Fotografia QUICKBIRD Ortofotocartas	1: 8.000 0,61 1:2.000	1972 15/09/2003 2010	61	100	220	6,2	38 / EPR <sup>1</sup> e LRR <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Taxa do Ponto de Extremidade (EPR) / <sup>2</sup>Regressão Linear Simples (LRR).

Foram calculadas a variação em distância entre as posições de linha de costa, bem como as taxas anuais de variação da linha de costa para cada transecto em quatro períodos de tempo: 1972-2010 e 1972-2003, representando escalas interdecadais, 2003-2008 e 2003-2010, correspondendo às escalas interanuais, variando entre os setores estudados, em virtude do nível de resolução das imagens e fotografias aéreas disponíveis.

#### 4. RESULTADOS

Na expressão dos resultados, as variações negativas e positivas da linha de costa correspondem, respectivamente, aos deslocamentos da linha de costa no sentido do continente e do oceano. Os resultados apresentados referem-se aos setores/segmentos praias.

A seguir, para cada uma das praias, são apresentados os resultados das análises de variações médias da linha de costa e de extensão da faixa praias de cada setor, nas escalas interdecadal e interanual, bem como os resultados das

variações transversais para cada segmento e o erro padrão (Tabelas 3 e 4).

#### 4.1 Análise da Região Costeira entre a Praia Porto das Dunas (Beach Park) e a Desembocadura do Rio Pacoti (Setor 1)

A faixa praias deste setor é uma típica orla exposta, que se estende por 2,5m, em orientação SE-NW. Seu estado morfodinâmico é dissipativo a intermediário, apresentando grau alto de exposição às ondas e nível de ocupação variando de alto a nulo (Tabela 1). Na escala interanual, em todos os transectos pode ser evidenciado um caráter erosivo entre Setembro de 2003 e Outubro de 2008, indicado através de uma média geral de recuo na ordem de -3,53m/ano ( $\pm 1,09$ ), com valores mínimos de -6,03m/ano e máximo de -1,02m/ano, segundo o método EPR (Tabela 3, Figuras 5 e 6).

Para o trecho estudado, foi observado que, para o intervalo de 5 anos, a linha de costa recuou, em média, -17,65m ( $\pm 5,43$ ) em direção ao continente, entretanto, sem

**Tabela 3.** Dados gerais de variação da linha de costa expressos em taxas anuais e variação longitudinal ao longo dos perfis, por praias e de forma geral ( $\mu$ - valor médio;  $\sigma$ - desvio padrão; *Min./Máx*- valores mínimos e máximos, respectivamente; valores positivos indicam deposição e negativos erosão).

**Table 3.** General data of the variation shoreline expressed as annual rates and variation along the longitudinal profiles for beaches and in general. ( $\mu$ -average value,  $\sigma$  = standard deviation; *Min./Máx*- minimum and maximum values, respectively, positive values indicate deposition and negative erosion).

**Taxa de Variação (m/ano)**

Setor	Nº de Transectos	Período 1972-2010		Período 1972-2003		Período 2003-2008		Período 2003-2010	
		$\mu$ Min/Max	$\sigma$	$\mu$ Min/Max	$\sigma$	$\mu$ Min/Max	$\sigma$	$\mu$ Min/Max	$\sigma$
<b>SETOR 1</b> - Praia Porto das Dunas (Beach Park) - Foz do Rio Pacoti	48	-	-	-	-	-3,53 $\pm$ 1,09 -6,03/-1,02	-	-	-
<b>SETOR 2</b> - Foz do Rio Pacoti - COFECO - Praia da Abreulândia	64	-	-	-	-	-	-	-0,31 $\pm$ 0,94 -3,63/1,78	-
<b>SETOR 3</b> - Praia da Abreulândia - Foz do Rio Cocó	31	-0,07 $\pm$ 0,11 -0,33/0,13	-	0,05 $\pm$ 0,15 -0,19/0,29	-	-	-	-0,59 $\pm$ 0,58 -2,25/0,35	-
<b>SETOR 4</b> - Foz do Rio Cocó - Praia do Futuro	61	1,43 $\pm$ 0,58 0,23/3,09	-	1,49 $\pm$ 0,61 0,24/3,26	-	-	-	1,02 $\pm$ 1,86 -3,96/3,59	-

**Variação da Linha de Costa (m) - Recuo (-) Avanço (+)**

Setor	Nº de Transectos	Período 1972-2010		Período 1972-2003		Período 2003-2008		Período 2003-2010	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>SETOR 1</b> - Praia Porto das Dunas (Beach Park) - Foz do Rio Pacoti	48	-	-	-	-	-17,67 $\pm$ 5,43	-	-	-
<b>SETOR 2</b> - Foz do Rio Pacoti - COFECO - Praia da Abreulândia	64	-	-	-	-	-	-	-2,18 $\pm$ 6,56	-
<b>SETOR 3</b> - Praia da Abreulândia - Foz do Rio Cocó	31	-2,59 $\pm$ 4,07	-	1,53 $\pm$ 4,61	-	-	-	-4,12 $\pm$ 4,09	-
<b>SETOR 4</b> - Foz do Rio Cocó - Praia do Futuro	61	54,33 $\pm$ 22,12	-	46,14 $\pm$ 19,00	-	-	-	25,11 $\pm$ 13,05	-

**Tabela 4.** Erro padrão de cada trecho calculado para a taxa de variação (m/a) e para a variação da linha de costa (m).  
**Table 4.** Standard error of each calculated part for the rate of change (m/a) and for variation shoreline (m).

**Erro Padrão de Cada Trecho Calculado para a Taxa de Variação (m/ano)**

Setor	Nº de Transectos	Período 1972-2010	Período 1972-2003	Período 2003-2008	Período 2003-2010
<b>SETOR 1</b> - Praia Porto das Dunas (Beach Park) - Foz do Rio Pacoti	48	-	-	0,16	-
<b>SETOR 2</b> - Foz do Rio Pacoti - COFECO - Praia da Abreulândia	64	-	-	-	0,12
<b>SETOR 3</b> - Praia da Abreulândia - Foz do Rio Cocó	31	0,02	0,03	-	0,10
<b>SETOR 4</b> - Foz do Rio Cocó - Praia do Futuro	61	0,07	0,08	-	0,24

**Erro Padrão de Cada Trecho Calculado para Variação da Linha de Costa (m)**

Trecho	Nº de Transectos	Período 1972-2010	Período 1972-2003	Período 2003-2008	Período 2003-2010
<b>SETOR 1</b> - Praia Porto das Dunas (Beach Park) - Foz do Rio Pacoti	48	-	-	0,78	-
<b>SETOR 2</b> - Foz do Rio Pacoti - COFECO - Praia da Abreulândia	64	-	-	-	0,82
<b>SETOR 3</b> - Praia da Abreulândia - Foz do Rio Cocó	31	0,73	0,83	-	0,73
<b>SETOR 4</b> - Foz do Rio Cocó - Praia do Futuro	61	2,83	2,43	-	1,67

provocar prejuízos significativos para a população local e para os proprietários de comércios e casas de veraneio. Logo, a partir dos resultados obtidos, é possível definir o estágio erosivo da praia Porto das Dunas como pouco crítico frente às tendências evolutivas de recuo.

Essa área é caracterizada por uma faixa contínua com zona de estirâncio reduzida e ausência de pós-praia pontualmente, praticamente retilínea, com exceção de alguns cordões descontínuos de arenitos de praia (*beachrocks*) presentes na desembocadura do rio Pacoti à sotamar. A região da alta praia possuía um processo de transporte sedimentar bastante intenso, porém, nas quatro últimas décadas vem sendo barrado em grande parte por empreendimentos (s sofisticada infraestrutura turística com hotéis, pousadas, resorts, clubes de golfe, bares, restaurantes e um aglomerado de condomínios residenciais), os quais ocupam regiões importantes para a dinâmica dessa área, inclusive a planície de deflação, culminando com processos erosivos. Esses processos foram observados *in loco* e analisados por meio de perfis praias desenvolvidos perpendicularmente à linha de costa, além do monitoramento eólico realizado com armadilhas de sedimentos instaladas nas zonas de pós-praia e de estirâncio, durante o período da pesquisa e, posteriormente, comparados com pesquisas pretéritas desenvolvidas neste setor e em áreas adjacentes, demonstrando o déficit sedimentar.

Os dados corroboram com os estudos desenvolvidos por Oliveira e Meireles (2010) na Prainha, à barlar da praia Porto das Dunas, nos quais verificaram que o volume

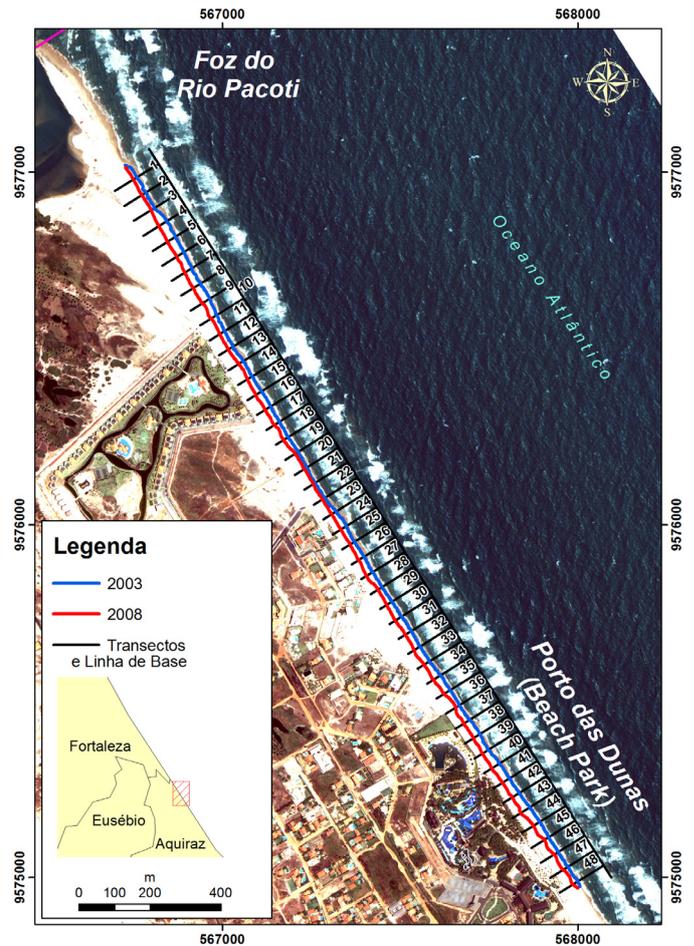
sedimentar entre os meses de janeiro a março de 2008 a deposição foi de 59,92m<sup>3</sup>, enquanto que no mês de maio houve uma perda de 44,18m<sup>3</sup>, ou seja, o balanço sedimentar foi deficitário em 50,50m<sup>3</sup>. No segundo semestre é novamente depositado com menor retirada no mês de novembro em um déficit de 12,54m<sup>3</sup>. Comparando aos meses entre janeiro e março de 2009 o balanço sedimentar foi de um acréscimo de 47,39m<sup>3</sup>, menor que em 2009.

O transporte eólico potencial calculado para a região de Fortaleza - a partir dos dados climatológicos e considerando que nos dias com precipitação significativa não existe transporte, apresentam taxas médias de 59 e 51m<sup>3</sup>/m.ano, respectivamente para as regiões de Iguape, à jusante da área pesquisada e Fortaleza. Estas taxas foram definidas para as zonas de dunas, onde existe uma grande disponibilidade de material com condições adequadas à mobilização eólica; no caso dos perfis de praia, a disponibilidade não é a mesma, e observa-se em geral que o transporte eólico ocorre durante 6 horas por dia, associado às condições de maré vazante, sendo a magnitude da ordem de 15% a 20% do transporte potencial (Meireles & Maia, 2003).

A dinâmica dos sedimentos, impulsionada pelas correntes de deriva litorânea, movimentam as areias preferencialmente de leste para oeste. Durante as marés baixas, esses sedimentos ficam expostos à ação dos ventos (erosão e transporte eólico) que, dependendo da velocidade, volume de areia e conformação da linha de costa, originam os campos de dunas móveis.

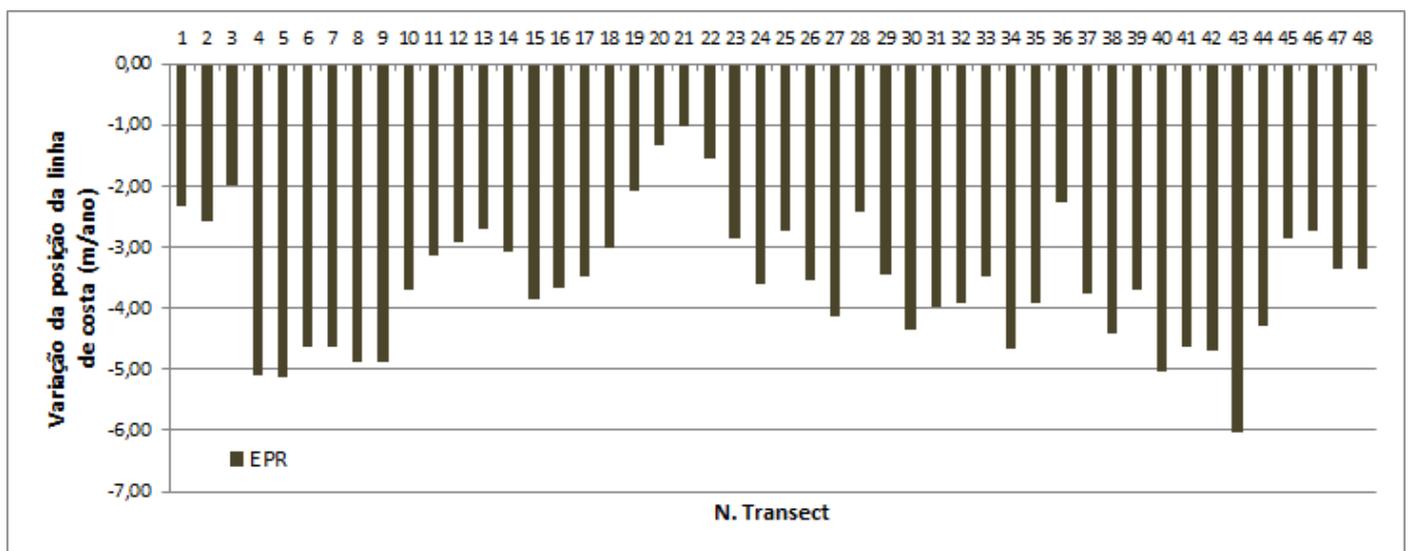
A região vem, ainda, apresentando um acelerado e desordenado crescimento urbano sobre o complexo de dunas (móveis, fixas e semifixas), descaracterizando sua morfologia e, principalmente, maximizando o impedimento do transporte de sedimentos provenientes da plataforma continental interna e da zona de estirâncio, fontes alimentadoras desses depósitos eólicos. A migração dessas dunas atinge o estuário inferior do rio Pacoti, constituindo uma fonte supridora da deriva litorânea através da dinâmica estuarina, processo que também vem sendo reduzido em razão da presença de estruturas antrópicas em seu curso e margens. Essa dinâmica costeira possivelmente representa, atualmente, a principal fonte de sedimentos, reguladora dos processos morfogenéticos e alimentadora do perfil de praia, controlando o incremento de eventos erosivos.

Desta forma, é de extrema importância planejar o ordenamento territorial dessa região litorânea, em virtude de suas condições ecodinâmicas instáveis e sua vulnerabilidade, no intuito de prevenir a intensificação da erosão em toda a praia. Assim, empreendimentos turístico-hoteleiros, condomínios habitacionais e comerciais, atividades extrativistas, mineração não controlada, loteamentos desordenados nas altas praias e implantações viárias nos complexos de dunas devem ser evitados. É necessário um controle dessa ocupação e a manutenção dos perfis, principalmente os próximos a ocupações em ambientes que deveriam ser de proteção, preservando o equilíbrio dinâmico costeiro, e não dificultando a remobilização de areias pela ação eólica nos intervalos de preamar e baixamar.



**Figura 5.** Aplicação da ferramenta DSAS para a região costeira entre a praia Porto das Dunas até a margem direita do rio Pacoti (Quickbird, 2003). A numeração indica cada transecto.

**Figure 5.** Implementation of DSAS tool on the coastal zone between the Porto das Dunas beach to the right margin of Pacoti river (Quickbird, 2003). The numbering indicates each transect.



**Figura 6.** Taxas de variação da linha de costa - Praia Porto das Dunas até a desembocadura do rio Pacoti (valores negativos indicam erosão).

**Figure 6.** Rates of change of the shoreline – Porto das Dunas beach to mouth of Pacoti river (negative values indicate erosion).

#### 4.2 Análise da Região Costeira entre a Desembocadura do Rio Pacoti, COFECO e a Praia da Abreulândia (Setor 2)

O setor entre a desembocadura do rio Pacoti, COFECO e a praia da Abreulândia apresenta-se exposto às ondas, com cerca de 3,2km e orientação SE-NW (Tabela 1). Seu estágio morfodinâmico varia entre intermediário e dissipativo. A variação interanual (2003-2010), segundo o método ERP, apresentou taxa de -0,31m/ano ( $\pm 0,94$ ) e um recuo médio de -2,18m ( $\pm 6,56$ ) em 7 anos (Tabela 3).

As figuras 7 e 8 mostram que a região apresenta expressivos índices de erosão ao longo do trecho estudado, com valores mínimos de -3,63m/ano, com tendências máximas pontuais de deposição (+1,78m/ano).

Considerando a importância do sistema de drenagem do rio Pacoti nos processos costeiros, sua característica exorréica e de regime de escoamento intermitente sazonal, observa-se as planícies flúvio-marinhas e ecossistemas de manguezais pouco desenvolvidos. Ressalta-se que o médio curso e alto curso desse rio estão inseridos em um núcleo de semiaridez, o caudal é reduzido e controlado por um número significativo de barragens construídas para abastecimento. Segundo Morais *et al.* (2006), os efeitos na zona costeira podem ser observados na diminuição da função do espigão hidráulico, aceleração dos processos morfodinâmicos na foz, ampliação das áreas de influência longitudinal da maré salina, hipersalinização sazonal e diminuição do aporte de sedimentos argilo-siltosos na planície flúvio-marinha.

Meireles e Maia (2003) verificaram nestes ambientes que as taxas potenciais de material transportado por arraste de fundo, calculadas para o rio Pacoti durante um ano de grande vazão, mostram que este estuário aporta para a deriva litorânea entre 21.000 e 31.000m<sup>3</sup>/ano de sedimentos, com tamanho equivalente ao material presente na praia.

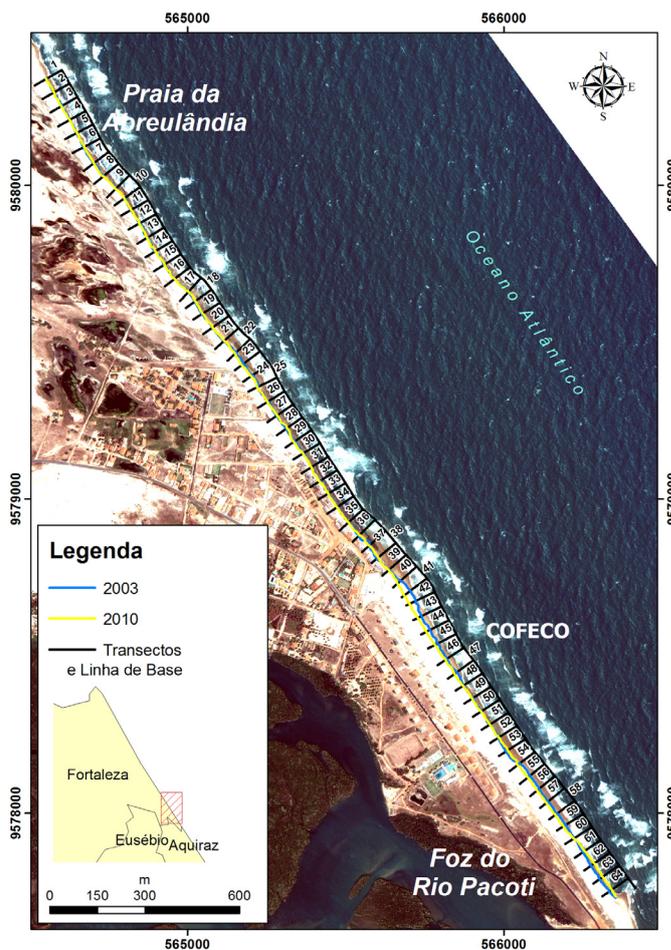


Figura 7. Aplicação da ferramenta DSAS para a região costeira entre a desembocadura do rio Pacoti – COFECO – praia da Abreulândia (Quickbird, 2003). A numeração indica cada transecto.

Figure 7. Implementation of DSAS tool on the coastal zone between the mouth of Pacoti river to Abreulândia beach (Quickbird, 2003). The numbering indicates each transect.

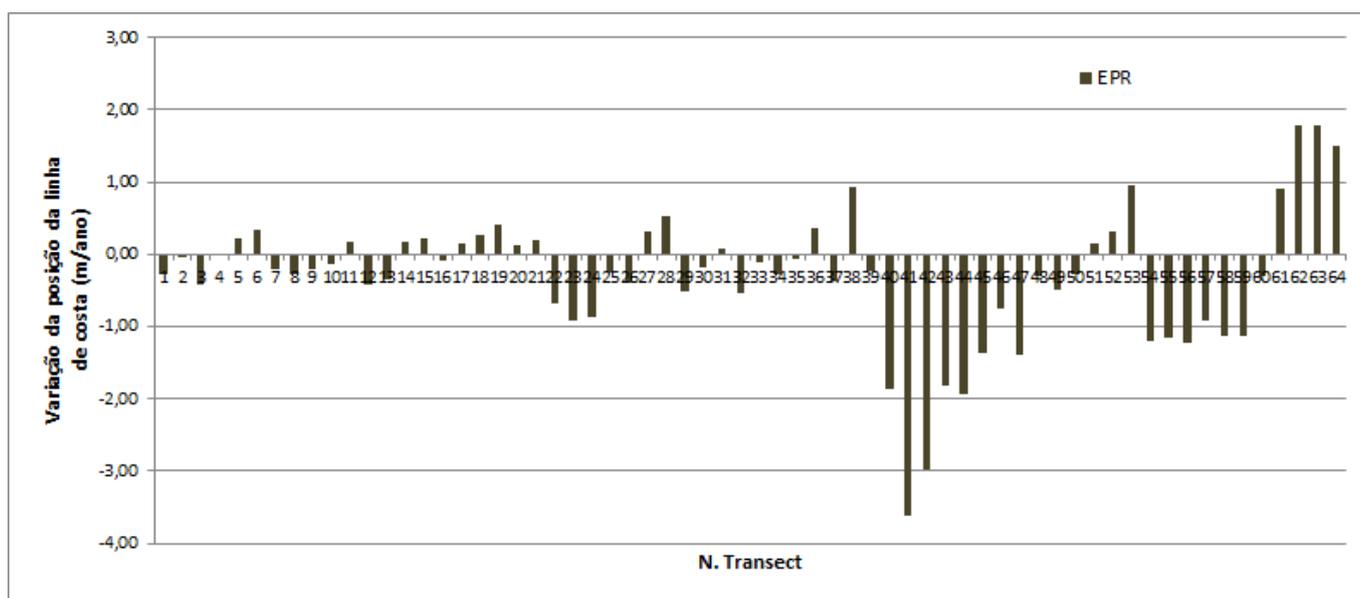


Figura 8. Taxas de variação da linha de costa para o trecho entre a desembocadura do Rio Pacoti -COFECO - Praia da Abreulândia –(valores negativos indicam erosão).

Figure 8. Rates of change of the shoreline – mouth of Pacoti river to Abreulândia beach (negative values indicate erosion).

A distribuição do transporte de fundo ao longo do ano é bastante irregular, com o aporte concentrado totalmente no primeiro semestre, quando as vazões são mais importantes. No segundo semestre, com a diminuição da vazão, os aportes para a praia são muito pequenos, com valores negativos nos meses de agosto a setembro, o que faz que o balanço sedimentar para este período seja nulo, sendo inclusive negativo nos anos com menores precipitações, quando o estuário funciona como uma armadilha de sedimentos. Ainda segundo esses autores, o transporte de material em suspensão apresenta uma variação sazonal, com valores positivos e de maior magnitude no primeiro semestre ( $17.782\text{m}^3$ ) e negativos no segundo ( $1.342\text{m}^3$ ), produzindo um balanço anual positivo da ordem de  $16.000\text{m}^3$ .

Esta região encontra-se a jusante (em termos de deriva) da desembocadura do rio Pacoti e a variação da linha de costa está, também, fortemente associada aos fatores já descritos no item 4.1, além da redução do aporte de sedimentos eólicos provenientes dos campos de dunas do Porto das Dunas à barlamar. Entretanto, quando as dunas móveis avançam para o interior do continente e alcançam a margem direita do estuário, são novamente transportadas para a faixa de praia.

Observou-se durante o período monitorado que, através da ação das marés e do processo de refração de ondas ocorre a formação de barras arenosas no leito do rio, assoreando e modificando a configuração do canal principal, e flechas na desembocadura do rio Pacoti (Figura 9).

Ressalta-se que durante o período de 7 anos a erosão média foi de  $-2,18\text{m}$ , uma caracterização não muito expressiva



**Figura 9.** Desembocadura do rio Pacoti. Fonte: Meireles e Maia (2003).  
*Figure 9.* Mouth of Pacoti river.

para o tempo considerado. Esse fato pode estar associado ao cordão descontínuo de arenitos de praia que está disposto paralelamente à costa, localizados principalmente junto à desembocadura do rio Pacoti, diminuindo o poder erosivo das ondas incidentes. Observou-se, ainda, que a ocupação das zonas de pós-praia é menos intensa em relação ao setor 1.

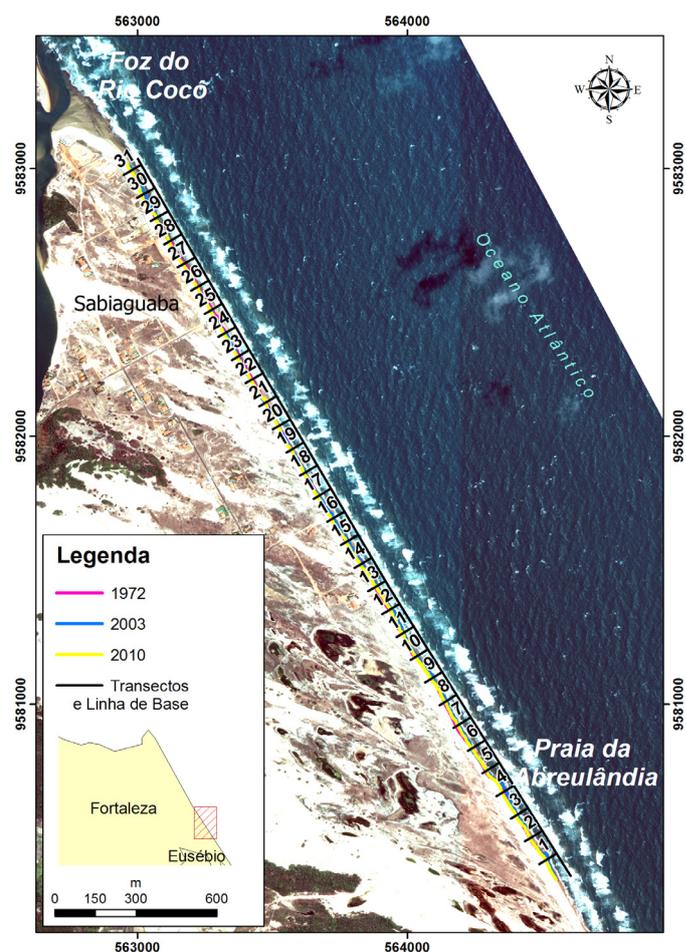
Neste caso verificou-se que o valor do desvio padrão é três vezes superior à média, denotando-se que o pequeno intervalo de tempo utilizado reflete uma influência maior das variações sazonais dos dados.

As áreas geradoras de sedimentos que participam

ativamente da dinâmica praiar, relacionadas aos depósitos eólicos (dunas e faixa praiar), margem direita dos estuários, deverão ser preservadas, de modo a manterem um contínuo fluxo de sedimentos na direção da linha de praia. Esse processo representa uma das principais medidas de planejamento e gestão da zona costeira para o setor.

#### 4.3. Análise da Região Costeira entre a Praia da Abreulândia e a Desembocadura do Rio Cocó (Setor 3)

Essa região possui uma linha de costa com orientação SE-NW, com cerca de  $3,2\text{km}$  de extensão. Apresenta estágio morfodinâmico entre dissipativo e intermediário, com exposição variando de alta a média (Tabela 1). Encontra-se inserida a jusante da desembocadura do rio Pacoti e a montante da foz do rio Cocó (Figuras 10 e 11), entre um complexo de dunas que vem sendo, historicamente, juntamente com as praias da Abreulândia e Sabiaguaba, atingidas por um processo de urbanização da orla, acarretando destruição das dunas por impermeabilização e retirada de areias (mineração) para a construção civil, porém com uma intensidade mais lenta comparativamente aos setores 1 e 2.



**Figura 10.** Aplicação da ferramenta DSAS da região costeira entre a praia da Abreulândia até a desembocadura do rio Cocó (Quickbird, 2003). A numeração indica cada transecto.

*Figure 10.* Implementation of DSAS tool on the coastal zone between the Abreulândia beach to the mouth of Cocó river (Quickbird, 2003). The numbering indicates each transect.

A tendência erosional foi detectada, conforme indicado através dos resultados obtidos (Tabela 3). A taxa média de variação da linha de costa em escala interdecadal foi de 0,05m/a ( $\pm 0,15$ ) para o período 1972-2003 e -0,07m/a ( $\pm 0,11$ ) entre 1972 e 2010, com os valores mínimos e máximos de: -0,19/0,29 e -0,33/0,13, para os respectivos períodos. Na escala interanual a taxa média foi de -0,59m/a ( $\pm 0,58$ ), entre 2003 e 2010, mínimo de -2,25 e máximo de +0,35, com um recuo médio de -4,12m ( $\pm 4,09$ ). Essa região também apresentou sensíveis índices de progradação, pontuais, principalmente no período entre 1972 e 2003, com uma acresção de +1,53m ( $\pm 4,61$ ), possivelmente, relacionados à presença do cordão descontínuo dos arenitos de praias (*beachrocks*), com extensão e largura bem mais representativa neste setor, impedindo o ataque direto das ondas sobre a linha de costa (Figura 11). Para o período de 38 anos o recuo foi da ordem de -2,59 ( $\pm 4,07$ ).

As bacias dos rios Pacoti (barlamar), e Cocó (sotamar) não foram suficientemente estudadas para compreensão dos fatores que influenciam no transporte de sedimentos. A grosso modo, o processo de erosão pode estar associado, conjuntamente, a um reflexo da redução das vazões da bacia hidrográfica do Pacoti para a região estuarina, em consequência dos barramentos artificiais presentes ao longo do seu percurso, além da redução do aporte de sedimentos dos depósitos eólicos na zona estuarina, causado pela redução da mobilidade das areias, consequência da instalação acelerada e desordenada de inúmeras estruturas antrópicas na alta praia e campos de dunas localizados nos setores 1 e 2 a barlamar. Porém, observou-se que a mobilidade das desembocaduras dos rios supracitados contribui para elevar o desvio padrão, já que está sujeita às variações sazonais da vazão, além das promovidas pelo mar.

O padrão de transportes de sedimentos se dá em função da energia disponível nos corpos d'água, a redução dos picos de cheias proporcionados pelos reservatórios (barramentos)

reduz a energia disponível, assim, o transporte de sedimentos que antes era realizado em pulsos, quando as cheias ocorriam, encontra um obstáculo nas baixas velocidades dos reservatórios, esse fato produz um depósito de sedimentos na entrada dos reservatórios proporcionando um desequilíbrio na dinâmica costeira que causa erosão (Meireles & Maia, 2003).

Este setor apresenta características da dinâmica costeira semelhantes ao setor 2. Porém, atividades não planejadas podem modificar a dinâmica de transporte e morfologia das dunas. A fixação artificial, exploração mineral, desvio dos corpos dunares e retirada das areias para amenizar os impactos de avanço sobre vias de acesso, loteamentos e áreas agrícolas, poderão acelerar a movimentação, incrementar riscos de soterramento e acelerar a erosão costeira. Acompanhar a migração das dunas móveis é fundamental para aplicação de medidas de planejamento, gestão e normatização das diversas atividades socioeconômicas existentes e a serem desenvolvidas.

#### 4.4. Análise da Região Costeira entre a Desembocadura do Rio Cocó até a Praia do Futuro Setor 4)

Esta região costeira caracteriza-se como uma orla exposta, que se estende por 6,2km com orientação SE-NW. Seu estado morfodinâmico varia de dissipativo a intermediário, em alguns locais aproxima-se do refletivo, apresentando alto grau de exposição às ondas e nível alto de ocupação antrópica (Tabela 1).

Pode ser evidenciada uma tendência generalizada de progradação de linha de costa com média de 1,49m/a ( $\pm 0,61$ ) e 1,43m/ano ( $\pm 0,58$ ) para os períodos interdecadais analisados; a progradação mostrou-se bastante significativa, 54,44m ( $\pm 22,12$ ) e 46,14m ( $\pm 19,00$ ), para o período de 38 anos e 31 anos, respectivamente. Na escala interanual a taxa de variação foi de 1,02m/a ( $\pm 1,86$ ), apresentando mínimo de -3,96 e máximo de +3,59; a variação da linha de costa

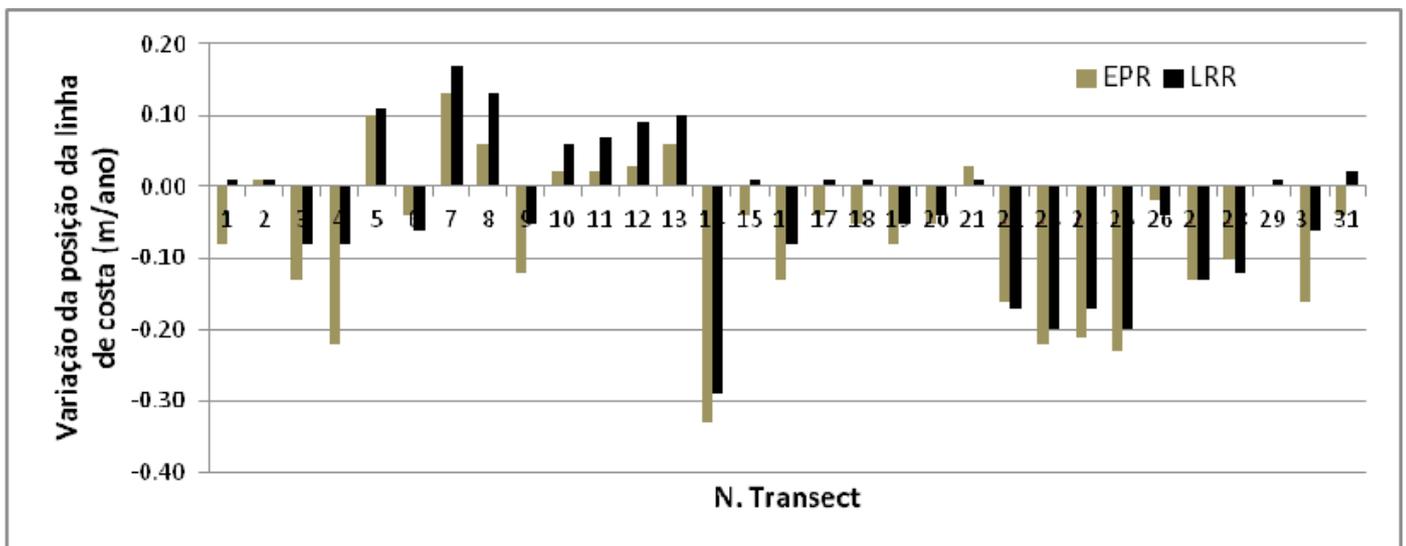


Figura 11. Taxas de variação da linha de costa para o trecho entre a praia da Abreulândia até a desembocadura do rio Cocó (valores negativos indicam erosão).

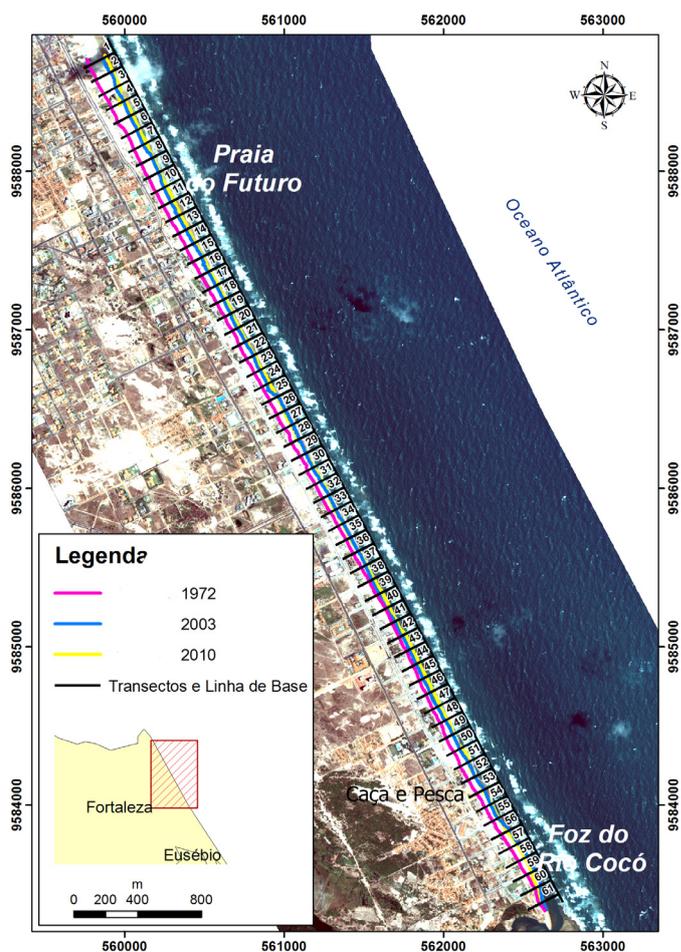
Figure 11. Rates of change of the shoreline – Abreulândia beach to mouth of Cocó river (negative values indicate erosion).

apresentou uma progradação na ordem de 25,11 m em 7 anos, com desvio padrão de  $\pm 13,05$  (Tabela 3, Figuras 12 e 13).

O desvio padrão nesta célula mostra-se bastante representativo nas duas escalas, expressando significativa mobilidade da linha de costa ao longo dos perfis. Esse processo está possivelmente associado aos principais agentes dinâmicos atuantes nessa orla exposta, na direção E-W, e com orientação normal à direção de maior incidência da ação dominante dos ventos e das ondas. A presença do espigão do Titanzinho, localizado na porção terminal da Praia do Futuro, impede a continuidade do transporte de sedimentos pela deriva litorânea e acarreta o engordamento da praia.

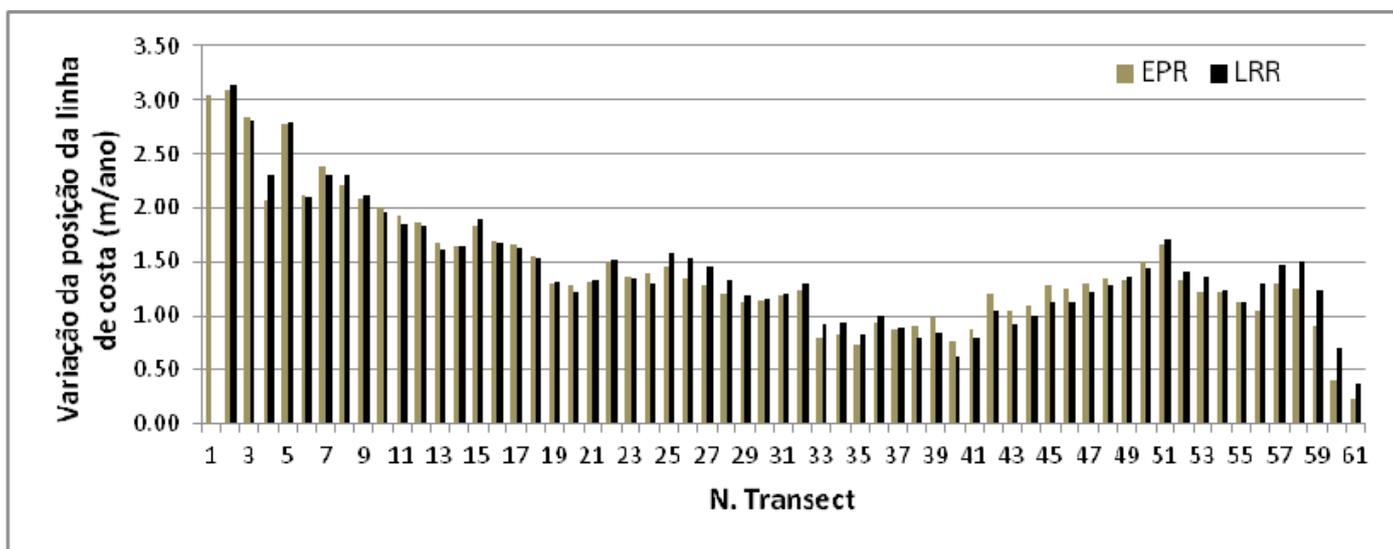
Os maiores índices de deposição para o trecho estudado foram de +3,14 m/ano, obtido através do método LRR, seguido de +3,09m/ano para o método EPR, o que evidencia um forte caráter deposicional nos dois métodos adotados (Figura 13).

De acordo com Albuquerque (2008) em seus estudos na Praia do Futuro, entre setembro de 2004 e julho de 2007, foram observadas variações significativas dos sedimentos na face de praia e na zona de surfe. A região mais próxima à foz do rio Cocó é caracterizada por sedimentos grossos a finos (polimodais), com estágio morfodinâmico caracterizado como intermediário de baixa-mar, com tendências ao estágio refletivo e declividade variando entre  $3,8^\circ$  e  $4,7^\circ$ ; a região central apresenta sedimentos bimodais do tipo areia média, enquadrou-se no estágio morfodinâmico terraço de baixa-mar, resultando na formação de bancos arenosos, assumindo um padrão dissipativo na baixa-mar e refletivo na preamar e declividade variando de  $1,9^\circ$  a  $2,7^\circ$ ; e por último, a região próxima ao espigão do Titanzinho apresenta, predominantemente, sedimentos unimodais do tipo areia fina, de caráter mais dissipativo e declividade da face de praia com baixos valores (entre  $0,3^\circ$  e  $1,4^\circ$ ). Segundo o autor, os



**Figura 12.** Aplicação da ferramenta DSAS para a região costeira entre a desembocadura do rio Cocó até a Praia do Futuro (Quickbird, 2003). A numeração indica cada transecto.

**Figure 12.** Implementation of DSAS tool on the coastal zone between Cocó's river mouth to Praia do Futuro beach (Quickbird, 2003). The numbering indicates each transect.



**Figura 13.** Taxas de variação da linha de costa para o trecho entre a desembocadura do rio Cocó até a praia do Futuro (valores negativos indicam erosão).

**Figure 13.** Rates of change of the shoreline – mouth of Cocó river to Praia do Futuro beach (negative values indicate erosion).

valores modais são muito importantes para caracterizar a gênese dos sedimentos e o transporte, especialmente quando duas ou mais fontes estão contribuindo, p. ex., transportes litorâneo e eólico associados, ou ainda, quando há interrupção no transporte e caminhamento normal dos grãos de areia, modificando os níveis de energia. Ressaltou ainda que os percentuais de sedimentos grossos junto à foz do rio Cocó são bem definidos nos meses que correspondem ao período chuvoso e as populações sedimentares de diâmetro elevado são, em boa parte, oriundos de processos atribuídos à erosão dos arenitos de praia presentes na zona de espraiamento.

Conjugando os dados de Albuquerque (2008) às observações de campo e laboratoriais efetuadas, observou-se uma diminuição no padrão de declividade no sentido E-W, principalmente, no primeiro semestre, entre os meses de março a junho, período caracterizado por ondas mais energéticas, índices de precipitação altos e maiores variações no padrão hidrodinâmico.

Essa tendência fortemente progradacional para a Praia do Futuro pode estar associada aos principais agentes dinâmicos na zona costeira de Fortaleza, como as ondas, as correntes e os ventos Maia (1998) discute que, em curto prazo, uma série de variações interanuais está associada ao fenômeno *El Niño*, afetando fortemente o clima da região por uma diminuição da precipitação média, intensificação da velocidade dos ventos e, portanto, o aumento da altura significativa das ondas e da velocidade das correntes de deriva litorânea.

No que diz respeito ao comportamento dos sedimentos em suspensão observou-se que na Praia do Futuro, o fluxo de sedimentos na zona de surfe é maior nos pontos com características mais dissipativas e em localidades onde as feições de fundo (bancos arenosos e canais) são bem definidas. Em contrapartida, setores com características mais refletivas ou que se aproximam do estágio refletivo possuem um menor gradiente de transporte. Dessa forma, a grande turbulência associada à quebra das ondas possibilita os sedimentos mais finos permanecerem mais tempo na coluna d'água, sendo assim mais facilmente transportados pelas correntes costeiras no sentido E-W, engordando, principalmente, a porção terminal da Praia do Futuro junto ao espigão do Titanzinho.

O transporte potencial da deriva litorânea na região da Praia do Futuro (Fortaleza) é da ordem de 800.000 m<sup>3</sup>/ano, que transformando para carradas, corresponderia a quase 80.000 caminhões de areia (Meireles & Maia, 2003). Assim, o engordamento da parte terminal da praia do Futuro tem sua origem associada à interrupção da deriva litorânea de sedimentos pela construção do espigão do Titanzinho e à Ponta do Mucuripe, marco limitante entre os litorais leste e oeste do estado do Ceará.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho comprovou que a variabilidade da linha de costa da região pesquisada apresenta-se bastante instável em sua totalidade, e que há uma tendência de avanço do mar da praia Porto das Dunas até a praia da Abreulândia, esta última com certa estabilidade devido ao cordão de arenitos de praia paralelo à linha de costa, o qual impede o ataque direto das ondas sobre a faixa praia. Já a Praia do Futuro apresenta uma tendência fortemente progradante, é alimentada

pela erosão das praias situadas à barlamar e também dos beachrocks localizados nas desembocaduras dos rios Pacoti e Cocó. As areias resultantes são transportadas até o espigão do Titanzinho, que impede a continuidade do transporte e propicia o intenso acúmulo de sedimentos. Nessa área o *bypass* costeiro acha-se quase completamente erradicado em função da urbanização associada ao crescimento da cidade de Fortaleza em direção leste. Apesar dos impactos antrópicos o *bypass* litorâneo continua ocorrendo, sendo responsável pelo assoreamento frequente do Porto do Mucuripe no extremo oeste da área.

Evidenciou-se, por meio dos levantamentos, das análises efetuadas e estudos comparativos com pesquisas desenvolvidas por outros pesquisadores, na área e em regiões circunvizinhas, que a tendência generalizada de déficit de sedimentos ao longo da zona litorânea estudada está relacionada à ocupação indevida e concentrada, principalmente, nas zonas de pós-praia e campo de dunas, impedindo o trânsito e aporte de sedimentos supridores desses ambientes. A médio e longo prazos deverá ser avaliada a possibilidade de incremento erosivo na Praia do Futuro, localizada no extremo ocidental da área investigada, em virtude das correntes de deriva litorânea e direção dos ventos no sentido E-W serem fatores controladores do transporte de sedimentos.

A elaboração de uma base multitemporal de imagens de satélite e fotografias aéreas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) favoreceram a identificação e compreensão da dinâmica natural e ambiental das áreas analisadas, sendo essenciais como subsídio às tomadas de decisões acerca do uso e gestão sustentável desses setores. Trata-se de uma importante ferramenta no planejamento e intervenção ambiental, sobretudo por indicar facilmente as tendências de recuo e/ou progradação de uma região ao longo dos anos. A escala interdecadal é relevante dentro do contexto histórico evolutivo da região, já as variações interanuais permitem avaliar a amplitude da extensão retrabalhada em curto período.

Ao longo das últimas décadas vem ocorrendo contínua transformação da região litorânea estudada em função de usos e ocupações indevidas, degradando o meio natural (ecossistemas) e social, sem preocupação com a sustentabilidade socioambiental da área. É necessário ampliar ações de políticas públicas, no intuito de redefinir as atividades de uso e ocupação da zona costeira por grandes empreendimentos, priorizando, localmente, a preservação e conservação das unidades morfológicas reguladoras de um aporte regular de sedimentos para o transporte eólico e deriva litorânea.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de realização do referido estudo, ao Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA-UFC) e ao Laboratório de Dinâmica Costeira do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), na pessoa do Sr. Gleidson da Costa Gastão. Em especial à Profa. Dra. Loreci Gislaíne de Oliveira Lehugeur (*in memoriam*) por sua dedicação e compromisso profissional e ético, sempre dispensados em prol da ciência e da formação de qualidade dos seus alunos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, M.G. (2008) - *Morfodinâmica da praia do Futuro, Ceará*. 144p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. *Não publicado*.
- Albuquerque, M.G.; Pinheiro, L.S. (2005) - Estádios morfodinâmicos e sua relação com os riscos de banho de mar na praia do Futuro, Ceará. *Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia* (ISBN: 972-8008-23-6), CD-ROM, p. 01-03, Vitória, ES, Brasil.
- Albuquerque, M.G.; Pinheiro, L.S.; Morais, J.O.; Frota, F.V.; Lima, A.M. (2006) - As características morfodinâmicas das praias da Barra do Ceará, Futuro e Caponga – Ceará. *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia* (ISBN: 85-904082-9-9), p. 01-10, Goiânia, GO, Brasil. <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/fscommand/web/articles/248.pdf>
- Anders, F. J.; Byrnes, M.R. (1991) - Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach* (ISSN : 0037-4237), 59(1):17-26.
- Bird, E.C.F. (1985) - *Coastline Changes: a global review*. 219 p., John Wiley & Sons, Interscience, Chinchester, England, ISBN: 978-0471906469.
- Branco, M.P.N.C. (2003) - *Análise dos sistemas deposicionais e dinâmica costeira do município de Aquiraz, estado do Ceará, com auxílio de imagens de sensoriamento remoto*. 235p., Dissertação de Doutorado, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, DF, Brasil. *Não publicado*.
- Branco, M.P.N.C.; Lehugeur, L.G.O.; Campos, J.E.G.; Nogueira, S.R.P. (2005) - Morfodinâmica das praias arenosas à barlar e sotamar do promontório de Iguape - estado do Ceará - Brasil. *Revista de Geologia* (ISSN: 0103-2410), 18(2):215-229, Fortaleza, CE, Brasil. [http://www.revistadegeologia.ufc.br/documents/revista/2005/19\\_2005.pdf](http://www.revistadegeologia.ufc.br/documents/revista/2005/19_2005.pdf)
- Bruun, P. (1962) - Sea level rise as a cause of shoreline erosion. *Journal of Waterways and Harbor Division*, 88:117-130.
- Callaghan, D.; Ranasinghe, R.; Short, A. (2009) - Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*, 56:90-93. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2008.10.003
- Camfield, F.E.; Morang, A. (1996) - Defining and interpreting shoreline change. *Ocean and Coastal Management*, 32(3):129-151. DOI: 10.1016/S0964-5691(96)00059-2
- Campos, A. A.; Polette, M. (2003) - A gestão integrada da zona costeira. In: Campos, A.A., Monteiro, A.Q., Neto, M.; C. Polette, M. (coord.), *A zona costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada*, pp.11-26, AQUASIS, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN 85689491013.
- Castilhos, J.A. (1995) - *Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da planície costeira e Praia da Armação - Ilha de Santa Catarina, SC*. Florianópolis, 134 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Brasil. *Não publicado*.
- Chu, Z.X.; Sun, X.G.; Zhai, S.K.; Xu, K H. (2006) - Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, 227(1/2):13-30. DOI: 10.1016/j.margeo.2005.11.013
- Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. (1991) - Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 7(3):839-852, 1991. <http://www.jstor.org/stable/4297899>
- Dal Cin, R.; Simeoni, U. (1994) - A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 10(1):18-29, 1994. <http://www.jstor.org/stable/4298189>
- DHN (2010-2011) - *Tábua de marés*. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, RJ, Brasil. In: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>
- Dillenburg, S.; Esteves, L.S.; Tomazelli, L. (2004) - A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(3):611-623. DOI: 10.1590/S0001-37652004000300014
- Dominguez, J.M.L. (2007) - *Avaliação regional do problema da erosão na região nordeste do Brasil*. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Laboratório de Estudos Costeiros (LEC), Salvador, BA, Brasil. <http://www.cpgg.ufba.br/lec/BEeros.htm>
- Farias, E.G.G. (2006) - *Caracterização ambiental do estuário do rio Coreaú - CE*. 49p., Monografia de Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. *Não publicado*.
- Farias, G.G.F.; Maia, L.P. (2010) - Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 10(4):521-544. DOI: 10.5894/rgci224
- Freire, G.S.S. (1989) - *Edute hydrologique et sedimentologique de l'estuarie du rio Pacoti (Fortaleza, Ceará, Brasil)*. 300p., Dissertação de Doutorado, Universidade de Nantes, Nantes, França. *Não publicado*.
- INMET (2011) - *Gráficos das condições registradas*. Instituto Nacional de Meteorologia. In: [http://www.inmet.gov.br/sim/abre\\_Graticos.php?data=05/2012&data2=2011&lista=11,&est=82397&uf=CE](http://www.inmet.gov.br/sim/abre_Graticos.php?data=05/2012&data2=2011&lista=11,&est=82397&uf=CE) (acedido em Maio 2012).
- IPCC (2007) - *Relatório do IPCC/ONU – Novos Cenários Climáticos*. Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. In: <http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf> (acedido em Outubro de 2011).
- Leatherman, S. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), SI38:5-13. <http://www.jstor.org/stable/25736596>
- Lehuguer, L.G.O.; Silva, P.R.F.G. ; Silva, J.G.; Branco, M.P.N.C.; Rodrigues, A.C.B. (2003) - Morfodinâmica da Praia da Barra do Ceará, Município Fortaleza, Estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar* (ISSN: 0374-5686), 36:7-17, Fortaleza, CE, Brasil. [http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V36\\_2003/acm\\_2003\\_36\\_02.pdf](http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V36_2003/acm_2003_36_02.pdf)
- Maia, L.P. (1998) - *Processos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. 269p., Dissertação

- de Doutorado, Universidade de Barcelona, Barcelona, Espanha. *Não publicado*
- Mallmann, D.L.B. (2008) - *Vulnerabilidade do litoral sul de Pernambuco à erosão*. 145p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Disponível em [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=99077](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=99077)
- Mazzer, A.M. (2007) - *Proposta metodológica de análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação na costa sudeste da ilha de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil*. 169p., Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. *Não publicado*.
- Meireles, A.J.A.; Maia, L.P. (2003) - Diagnóstico geoambiental: dinâmica e erosão costeira. In: Campos, A.A., Monteiro, A.Q., Neto, M. & C. Polette, M. (coord.), *A Zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada*, pp.27-81, AQUASIS, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 85689491-01-3.
- Morais, J.O. de (1980) - Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do município de Fortaleza, estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar* (ISSN: 0374-5686), 20:71-100, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em [http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V20\\_1980/acm\\_1980\\_20\\_1-2\\_07.pdf](http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V20_1980/acm_1980_20_1-2_07.pdf)
- Morais, J.O. de; Freire, G.S.S.; Pinheiro, L.S.; Souza, M.J.N.; Carvalho, A.M. de; Pessoa, P.R.; Oliveira, S.H.M. (2006) - Caracterização fisiográfica e geoambiental da zona costeira do estado do Ceará. In: D. Muehe (org.), *Erosão e progradação no litoral brasileiro*, pp.131-154, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8577380289. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_publicacao/78\\_publicacao12122008085953.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008085953.pdf)
- Muehe, D. (2011) - Erosão costeira – tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e cabo Frio, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(3):315-325. DOI: 10.5894/rgci282
- Muehe, D. (org.) (2006) - *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. 476p., Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8577380289. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_publicacao/78\\_publicacao12122008084856.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008084856.pdf)
- Oliveira, G.G. de; Meireles, A.G.A. (2010) – Dinâmica geoambiental a partir da “litoralização” de Aquiraz, Ceará, Brasil. *Revista Eletrônica do Prodema* (ISSN: 1982-5528), 5(2):50-68, Fortaleza, CE, Brasil. <http://www.revistarede.ufc.br/index.php/rede/article/view/78/33>
- Oliveira, S.M.C. (2005) - *Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)*. 137p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. Disponível em [http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/tese\\_serjio\\_oliveira.pdf](http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/tese_serjio_oliveira.pdf)
- Ribeiro, J.A.P. (2001) - *Características hidrogeológicas e hidroquímicas da faixa costeira leste da Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará*. 112p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. *Não publicado*.
- Short, A.D.; Trembanis, A.C. (2004). Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen beach, Australia - times series, PCA and wavelet analysis. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 20(2):523-532. <http://www.jstor.org/stable/4299308>
- Silva, P.R.F.G.; Lehugeur, L.G.O.; Fonteles, H.R.N.; Silva, J.G. (2000) - Estudo morfodinâmico da Praia do Futuro, Município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar* (ISSN: 0374-5686), 33:149-156, Fortaleza, CE, Brasil. [http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V33\\_2000/acm\\_2000\\_33\\_21.pdf](http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V33_2000/acm_2000_33_21.pdf)
- Small, C.; Nicholls, R.J. (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 19(3):584-599. <http://www.jstor.org/stable/4299200>
- Souza, C.R.G.; Suguio, K. (2003) - The coastal erosion risk zoning and the São Paulo State Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), SI35:530-547. <http://www.jstor.org/stable/40928805>
- SRH (2005) - *Atlas eletrônico dos recursos hídricos e meteorológicos do Ceará*. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil. In: <http://atlas.srh.ce.gov.br/> (acedido em Setembro 2012).
- Thieler, E.R.; Himmelstoss, E.A.; Zichichi, J. L.; ErguL, A. (2009) – *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*. U.S. Geological Survey, Science for a Changing World. <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/version4/>
- Trebossen, H.; Deffontaines, B.; Classeau, N.; Kouame, J.; Rudant, J.P. (2005) - Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radarimages. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(13):1140–1153. DOI: 10.1016/j.crte.2005.05.013