



Revista de Gestão Costeira Integrada -
Journal of Integrated Coastal Zone
Management

E-ISSN: 1646-8872

rgci.editor@gmail.com

Associação Portuguesa dos Recursos
Hídricos

Gentil de Farias, Eduardo Guilherme; Parente Maia, Luís

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 - Journal of Integrated Coastal Zone Management,
vol. 10, núm. 4, 2010, pp. 521-544
Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos
Lisboa, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340131007>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil *

Use of Geoprocessing Techniques for Analysis of the Coast Line Evolution of Ceará State, Brazil

Eduardo Guilherme Gentil de Farias ^{®,1}, Luís Parente Maia ²

RESUMO

A forma intensiva e desordenada com a qual as atividades antrópicas vêm ocupando as regiões costeiras, aliadas as crescentes alterações advindas dos processos oriundos das mudanças climáticas globais, estão afetando a dinâmica natural dos ecossistemas, conforme pode ser evidenciado através de diversos indicadores ambientais, sendo um dos principais a análise da variabilidade temporal e espacial da linha de costa. Nas últimas décadas, pôde ser evidenciado no litoral do estado do Ceará, um retrocesso generalizado da linha de costa, provocando prejuízos econômicos relevantes para a região, por conta da destruição de casas e estruturas em consequência desse fenômeno. Mediante esse fato, a adoção de estudos que visem determinar as taxas de recuo da linha de costa, constituem uma ferramenta essencial para a correta tomada de decisões acerca do uso e gestão adequada da zona costeira. Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo, calcular as taxas de recuo de linha de costa, associando os resultados obtidos com os processos dinâmicos pontuais, em uma análise multitemporal utilizando imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas associadas a técnicas de geoprocessamento. Para isso, foi utilizada a extensão *Digital Shoreline Analysis System-DSAS*, para o software ArcGIS 9.0, que amplia as funcionalidades do programa, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da linha de costa, pressupondo como referência uma linha de base. Foram também realizadas campanhas de campo, a fim de obter registros fotográficos das regiões que apresentaram através das análises de laboratório elevados índices de erosão. Os resultados evidenciam um forte caráter erosivo em todas as regiões, apresentando índices críticos para as praias da Caponga, Pacheco e Itarema onde foi constatada uma taxa de recuo médio de linha de costa de -7.3m/ano, -4m/ano e -3.4m/ano, respectivamente. As demais regiões contempladas (Icaraí, Iracema, Iparana e Meireles) apresentaram taxas de recuo inferiores a -1.5m/ano. Foi também analisada a variação morfológica na região da foz do rio Jaguaribe, onde foram evidenciados índices de erosão na margem esquerda na ordem de -0.83m/ano e deposição na

[®] - corresponding author: gentil@dsr.inpe.br

1 - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos, SP, Brasil.

2 - Universidade Federal do Ceará (UFCE), Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), CEP 60165-082, Fortaleza, CE, Brasil

margem direita de +0.77m/ano. A correlação entre as taxas de recuo obtidas e a análise dos parâmetros ambientais dessas regiões demonstram que o comportamento espacial da linha de costa é diretamente afetado por uma junção de fatores naturais e antrópicos. Desse modo, urge a necessidade de adoção de medidas sustentáveis que visem o ordenamento da ocupação das regiões litorâneas no estado do Ceará com o intuito de mitigar os problemas oriundos da erosão costeira quanto ao uso indevido ou inadequado dessas áreas.

Palavras-chave: Geoprocessamento, sensoriamento remoto e erosão costeira.

ABSTRACT

The intensive and disordered way as coastal regions have been affected by antropic activities, coupled with increasing climatic changes affecting the natural dynamics of ecosystems, is evident through several environmental indicators, such as the temporal and spatial variability of the coastal line. During the last two decades it was possible to verify a general retrogradation of this coastal line, generating important economic damages to the region by destructing houses and other buildings. To study this problem and to obtain the correct solutions and decisions regarding the occupation of the littoral, it was necessary to know the rates of displacement of the coastal line through multi-temporal studies. From this point of view this study has as main objective to calculate the coastal line retreat rates, associating the obtained results to the punctual dynamic processes in a multi-temporal analysis using satellite images and air photos in remote sensing and connected to geoprocessing. To this task, it was necessary to adapt the extension Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2 to ArcMap 9.0. program in order to understand the coast line evolution during the last two decades. Field trips to make observations and obtain photos, in beaches suffering erosion were performed. The results show strong erosion in whole region, specially on Caponga, Pacheco and Itarema beaches, where the coastal line retreat rates were 7.3 m/y, 4.0 m/y and 3.4 m/y, respectively. In the other places (Icarat, Iracema, Iparana and Meireles), the rates were lower than 1.5 m/y. The estuary of Jaguaribe river was also studied, and the erosion index on the left bank was 0.83 m/y, and deposition on the right bank 0.77 m/y. The correlation between the retreat rates obtained and the environmental analysis of these regions demonstrate that the coastal line spatial evolution is directly affected by a series of natural and antropic factors. So, it is necessary to adopt measures and strategies that permit occupation in order of the coastal regions in Ceará State to mitigate the ocean action over continent.

Keywords: Geoprocessing, remote sensing and coastal erosion.

1. INTRODUÇÃO

A forma crescente com que o homem vem ocupando a zona costeira e os respectivos investimentos envolvidos no seu processo de fixação nessas regiões, vem se incompatibilizando, numa escala global, com os processos dinâmicos naturais destes ecossistemas, particularmente no que tange à variabilidade temporal e espacial da linha de costa (Farias & Maia, 2007).

Vários fatores vêm contribuindo para que, nas últimas décadas, se agravassem algumas situações de declarada erosão costeira em praticamente todas as regiões litorâneas do planeta. Este retrocesso generalizado da linha de costa tem sido induzido em grande parte, por ações de natureza antrópica, especialmente as que promovem insuficiência no abastecimento sedimentar ao litoral (ex: a construção de barragens, a extração de sedimentos fluviais e dragagens portuárias) e as que conduzem à degradação dos sistemas costeiros naturais (como os campos

dunares eólicos ou as bancos arenosos submarinos). Segundo Yoshikawa & Nemoto, (2010), a erosão costeira é ainda fortemente ampliada pela construção de molhes de entrada em instalações portuárias, ou estruturas rígidas transversais que interrompem ou debilitam fortemente o fluxo de sedimentos.

Atualmente, as alterações espaciais da linha de costa, constituem-se um sério problema em todo o mundo, pois afetam praticamente todos os países com presença de litoral podendo, em alguns casos, alcançar estágios bastante elevados. As repercuções econômicas tais como a perda de infra-estruturas públicas ou privadas, podem ser sumamente sérias, sobretudo nos países em desenvolvimento, devido à falta de recursos para a recuperação dos danos, como é o caso do Brasil. A erosão costeira é um fenômeno frequente e quanto mais o litoral é ocupado, mais se acentua o problema, que cresce em magnitude e importância, devido ao aumento do valor econômico das regiões costeiras e da forma que assume o desenvolvimento. Este fenômeno, pela complexidade

das interações entre os diversos fatores naturais e antrópicos, tem tido nos últimos tempos um maior relevo nas planificações das atividades de desenvolvimento e principalmente de ordenação da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por estes fatores ou provocar a intensificação da erosão e gerar perdas para outros setores da costa adjacente (Maia, 2005).

A zona costeira da região nordeste do Brasil se enquadra dentro deste contexto. À exceção das grandes cidades, até muito recentemente, esta região era pontilhada por pequenas vilas e povoados de difícil acesso. A abertura de novas estradas bordejando a linha de costa e facilitando o acesso a estas áreas, a difusão da filosofia de lazer voltada para o mar, os planos estaduais de turismo contemplando empreendimentos vultuosos na zona costeira, associados à ausência de um planejamento adequado que respeite as limitações naturais impostas pelos fenômenos dinâmicos, contribuem para exacerbar o problema de recuo de linha de costa que afeta todo o litoral desta região (Dominguez, 2007).

A gestão e o uso adequado da zona costeira, implicam necessariamente, no conhecimento dos agentes que atuam sobre ela e que determinam os processos dinâmicos que, em último lugar controlam a sua evolução ao longo do tempo, bem como na capacidade de se determinar as taxas de progradação ou recuo a que se encontram submetidas. Este requerimento básico, uma vez logrado, permite prever o comportamento da costa, tanto em condições naturais como sob a influência humana. Este fenômeno, pela complexidade das interações entre os diversos fatores naturais e antrópicos, tem tido, nos últimos tempos, um maior relevo nas planificações das atividades de desenvolvimento e principalmente de ordenação da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por estes fatores ou provocar a intensificação da erosão ou assoreamento e gerar perdas para outros setores da costa adjacente (Maia, 2005).

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 (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 & Tremlanis, 2004; Calhaghan *et al.*, 2009). Esta situação vem em grande parte determinada por um lado, pela necessidade de novas infra-estruturas e solo urbano, e por outro, pelo desconhecimento do funcionamento desta zona, dada a ausência de estudos detalhados dos processos que regem a mesma.

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 destes sistemas (Trebosse *et al.*, 2005, Chu *et al.*, 2006).

Partindo dessa premissa, o presente trabalho visa à determinação do comportamento da linha de costa em vários trechos do litoral cearense, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas, que se constitui numa valiosa ferramenta para a projeção e antecipação do comportamento desses ecossistemas às respostas do meio físico à introdução de elementos antrópicos e à dinâmica natural. Pretende-se, dessa forma, contribuir com a geração de conhecimentos e informações necessárias do meio físico, auxiliando a produção de metodologias que possam ser aplicadas no planejamento e gestão, o que é fundamental para futuros diagnósticos que visem o aproveitamento sustentável dessas regiões.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na região Nordeste Setentrional do Brasil, mais precisamente na porção correspondente ao litoral do estado do Ceará.

A precipitação média da área de estudo, é da ordem de 1.141mm. Havendo uma forte incidência de chuvas durante o primeiro semestre de cada ano, seguido por uma intensa estiagem ao longo de todo o segundo semestre (Farias, 2008). Este padrão sazonal está diretamente relacionado com a migração da Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT) em direção ao Atlântico Sul, durante o verão austral. Entretanto, além da ZCIT, outros sistemas meteorológicos de menor escala, podem atuar no sentido de contribuir ou inibir a incidência de chuvas na área de estudo (Farias, 2008).

O posicionamento geográfico da região costeira estudada, sofre uma influência marcante dos ventos alísios durante praticamente todo o ano, podendo atingir picos de intensidade, da ordem de 9 ms^{-1} e direção entre os quadrantes NE-SE. A variabilidade éolica da área de estudo, sofre alterações com o início da estação chuvosa, promovendo ocasionalmente, mudanças bruscas na direção dos ventos que convergem em SE (Magalhães, 2000). Os padrões de intensidade éolica apresentam um incremento crescente de Julho a Novembro, atingindo o máximo em Setembro e diminuindo gradativamente até o mês de Março (Farias, 2008).

O clima de ondas definido para o litoral do Ceará, de modo similar aos padrões de variabilidade éolica e pluviométrica, também apresenta uma forte sazonalidade. Entre os meses de Dezembro a Abril, os ventos dominantes são os alísios de nordeste provenientes do hemisfério norte e, devido à extensão do *fetch*, as ondas alcançam a costa do Ceará na forma de *swell*. No restante do ano, com a migração da ZCIT para norte do equador, os ventos dominantes passam a ser os alísios de SE, promovendo um predomínio de ondas *sea* (Maia, 2005). Através de produtos de modelagem matemática, Bensi (2006) concluiu que o clima de ondas incidentes nesta região, possui altura média de 1,15 m e período de 5,70 segundos.

Considerando os dados maregráficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), o regime de marés da região pode ser classificado como de meso-marés com periodicidade semi-diurna.

A geomorfologia regional do litoral do estado do Ceará, possui como uma das principais características as distinções geológicas observadas entre o litoral leste (longitudes $38^{\circ}30'W$ / $37^{\circ}15'W$ e latitudes $4^{\circ}50'S$ / $3^{\circ}42'S$) e oeste (longitudes $41^{\circ}15'W$ / $38^{\circ}30'W$ e latitudes $3^{\circ}42'S$ / $2^{\circ}55'S$). O litoral oeste apresenta uma planície rasa caracterizada pela presença de dunas e vastas áreas de mangue, enquanto a parte leste apresenta uma costa mais rochosa caracterizada por

uma extensa plataforma costeira que chega até a linha de costa com falésias e paleofalésias (Bensi, 2006).

A figura 1, apresenta as regiões contempladas pelo presente estudo. Foram selecionadas oito áreas, sendo estas: a praia do Farol no município de Itarema, as praias do Icarai, Pacheco e Iparana no município de Caucaia, as praias de Iracema e Meireles em Fortaleza, a praia da Caponga no município de Cascavel e a desembocadura do rio Jaguaribe localizada no município de Fortim.

2.2 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).

O presente trabalho, utilizou imagens digitais dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 ETM+, QUICKBIRD e CBERS 2, georreferenciadas para o datum horizontal SAD 69 zona 24 Sul.

O processamento digital das imagens de sensoriamento remoto, foi realizado com o *software* ENVI 4.2, onde os produtos dos satélites foram integrados, georreferenciados e restaurados.

Em seguida, foram realizados os procedimentos de análise e interpretação das assinaturas espectrais predominantes e foi realizada a seleção das composições coloridas das bandas para a geração de imagens com composição colorida. Do conjunto destas imagens, foram interpretadas aquelas que proporcionaram melhor distinção da linha de costa.

2.3 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.

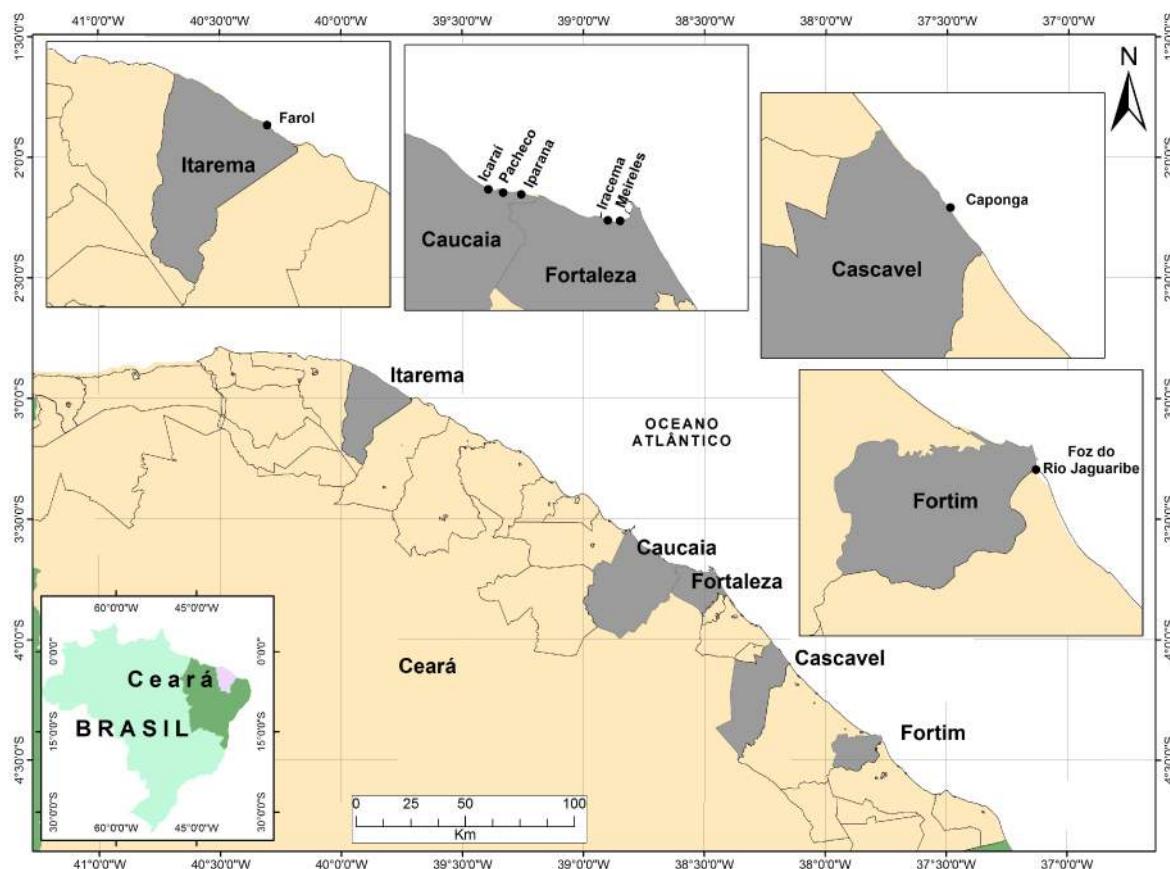


Figura 1 – Mapa de localização.

Figure 1 – Location map.

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 ao tipo de costa em estudo, podem traduzir-se em recuos de apenas alguns milímetros por ano ou serem da ordem dos vários metros. Deve-se ponderar por isso qual o *proxy* (referência) mais adequado tendo em linha de conta, naturalmente, o rigor posicional pretendido (Oliveira, 2005).

Para o presente trabalho, adotamos a definição sugerida por Crowell *et al.* (1991), que caracteriza a linha de costa como sendo a posição da interface terra-mar em áreas costeiras arenosas, marcada pelo limite atingido durante as preamarés de sizígia. Segundo este autor, este limite caracteriza-se por uma mudança nítida de tonalidade nas areias da praia (Figura 2).

Desse modo, as linhas de costa foram delimitadas através de um processo de vetorização, visando quantificar variações dinâmicas e desenvolver uma metodologia de análise, a partir de uma série multitemporal de dados remotos em ambiente SIG.

2.4 Digital Shoreline Analysis System - DSAS

O *Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2*, é uma extensão que amplia as funcionalidades do software ArcGIS 9.0, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler *et al.*, 2005).

O DSAS trabalha gerando transectos ortogonais em um espaçamento definido pelo usuário e calcula



Figura 2 – A linha pontilhada em vermelho na imagem de satélite representa a delimitação de linha de costa.

Figure 2 - The dotted line in red on the satellite image represents the delineation of coast line.

as taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos que são mostrados em uma tabela de atributos e denominados como: the *end point rate* (EPR) ou taxa do ponto de extremidade, método *jackknife* (JKR) e regressão linear (LRR).

O método EPR faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual (Thieler *et al.*, 2005). Ou seja, é uma relação espaço e tempo. Para estudos de variação de linha de costa, o menor valor indicado pela primeira linha significa o ponto de partida de análise, e o último valor indicado pela última linha significa o ponto de chegada da migração. Thieler *et al.* (2005), comentam que a maior vantagem do EPR é sua facilidade da computação e exigência mínima de dados, bastando apenas duas linhas para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação. A desvantagem principal está onde mais de duas linhas são usadas, pois as informações existentes nas outras linhas não são consideradas.

O método JKR é utilizado no cálculo de regressão linear para dados de pontos da linha de costa,

deixando de fora um ponto em cada interação. As inclinações das linhas de regressão linear são valores médios que fornecem a razão JKR. A vantagem do método JKR é ser similar a uma regressão linear, ou seja, é menos influenciado pelos dados que estão fora da linha de tendência. A principal desvantagem deste método é a ausência de valores estatísticos crescentes, dando tipicamente poucos valores de pontos de linha de costa usados para calcular uma taxa de mudanças da linha. A maioria dos estudos históricos de linha de costa tem menos de dez linhas; a utilidade estatística do método JKR é melhor evidenciada com esta ordem de magnitude (ou mais) de dados de ponto (Thieler *et al.*, 2005). Devido esse fato, o método JKR foi incluído nos resultados com o objetivo de mostrar tendências de erosão e/ou deposição semelhantes aos demais métodos de análise, sendo seus resultados desconsiderados para efeito de discussão, uma vez que não foram vetorizadas mais de dez linhas de costa para nenhuma área.

O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear simples,

considerando para tal as inflexões existentes ao longo de cada linha de costa. É um método que utiliza conceitos estatísticos aceitados aonde todos os transects são considerados para efeito de cálculo.

A intenção de usar os três métodos estatísticos citados, é mostrar que os valores encontrados para as taxas de erosão são aproximados do que seria o real, uma vez que cada método apresentar um valor diferente após o cálculo. Os valores encontrados para os três métodos são relatados nos resultados, para mostrar essa aproximação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo, contemplou 8 áreas para a análise 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 o nível de acuidade necessária a delimitação da linha de costa.

Todas as áreas foram escolhidas tomando por base o histórico de erosão nessas regiões através de trabalhos anteriores (Morais, 1980; Pitombeira, 1995; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Morais & Pinheiro, 2000; Leal, 2003; Bensi, 2006; Farias & Maia, 2007). Apesar de notadamente todas apresentarem uma forte tendência de recuo de linha de costa, em alguns casos pontuais pode-se observar tendências deposicionais em consequência da adoção de técnicas de engenharia costeira.

3.1 Análise da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe

A utilização de técnicas de geoprocessamento pode fornecer resultados interessantes não só na análise espacial das variações de linha de costa, como também para estudos em regiões da desembocadura de rios. Nesse âmbito, a ferramenta DSAS foi aplicada visando à análise das variações morfológicas das margens da região da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe, um dos mais importantes corpos hídricos do estado do Ceará, nordeste do Brasil.

Para esta região, foram utilizadas fotografias aéreas para os anos de 1958, 1975, 1988 e imagem do satélite

LANDSAT 7 ETM+ do ano de 2001 para a região na qual se encontra inserida a área de estudo.

Foram gerados 26 transects perpendiculares na margem esquerda e 41 transects perpendiculares para a margem direita, enumerados conforme pode ser observado nas figuras 3 e 4. Estes se encontravam com 100m de espaçamento e 1100m de extensão à linha de costa da desembocadura e estuário do rio Jaguaribe. Para este trabalho, foram geradas duas linhas paralelas a uma distância média de 350m e as taxas de regressão tomaram como base imagens entre os anos de 1958 a 2001.

Podemos constatar através da figura 5, que a variação da morfologia da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe para o intervalo de 43 anos (1958 a 2001) indicam uma média geral de recuo da linha de costa da margem esquerda de 0,83m/ano, enquanto a margem direita apresentou uma taxa de deposição média na ordem de 0,77m/ano (Figura 6). Essa tendência erosiva observada para a margem esquerda apresenta-se de forma variada ao longo do trecho. Este resultado, possivelmente está relacionado com a crescente especulação imobiliária na margem esquerda do estuário inferior do rio, podendo também ser um reflexo da abrupta redução das vazões da bacia hidrográfica do Jaguaribe para a região estuarina, em consequência da grande quantidade de barramentos artificiais presentes ao longo do rio (Farias, 2008).

Nessa região, a dinâmica costeira e o transporte eólico em função da direção da deriva litorânea atuam preponderantemente empurrando a foz do rio Jaguaribe para leste provocando erosão na margem esquerda, destruindo casas localizadas próximas às margens do rio.

As maiores tendências de erosão para a margem esquerda ocorreram na desembocadura, onde pode ser constatada uma taxa média de erosão de 0,9m/ano, havendo valores máximos na ordem de 10,7m/ano.

Para o estuário inferior os resultados obtidos mostram uma erosão média de 0,75m/ano, havendo entretanto vários pontos onde podem ser observadas taxas de deposição média de 0,9m/ano.

Entretanto, a margem direita do rio Jaguaribe apresentou uma forte tendência de deposição na região da desembocadura, apresentando índices médios de 1,65m/ano; porém, na medida em que se aproxima do estuário inferior pode-se observar erosão em alguns trechos atingindo valores máximos de 6,1m/ano, ou seja, sem a mesma representatividade da margem esquerda.

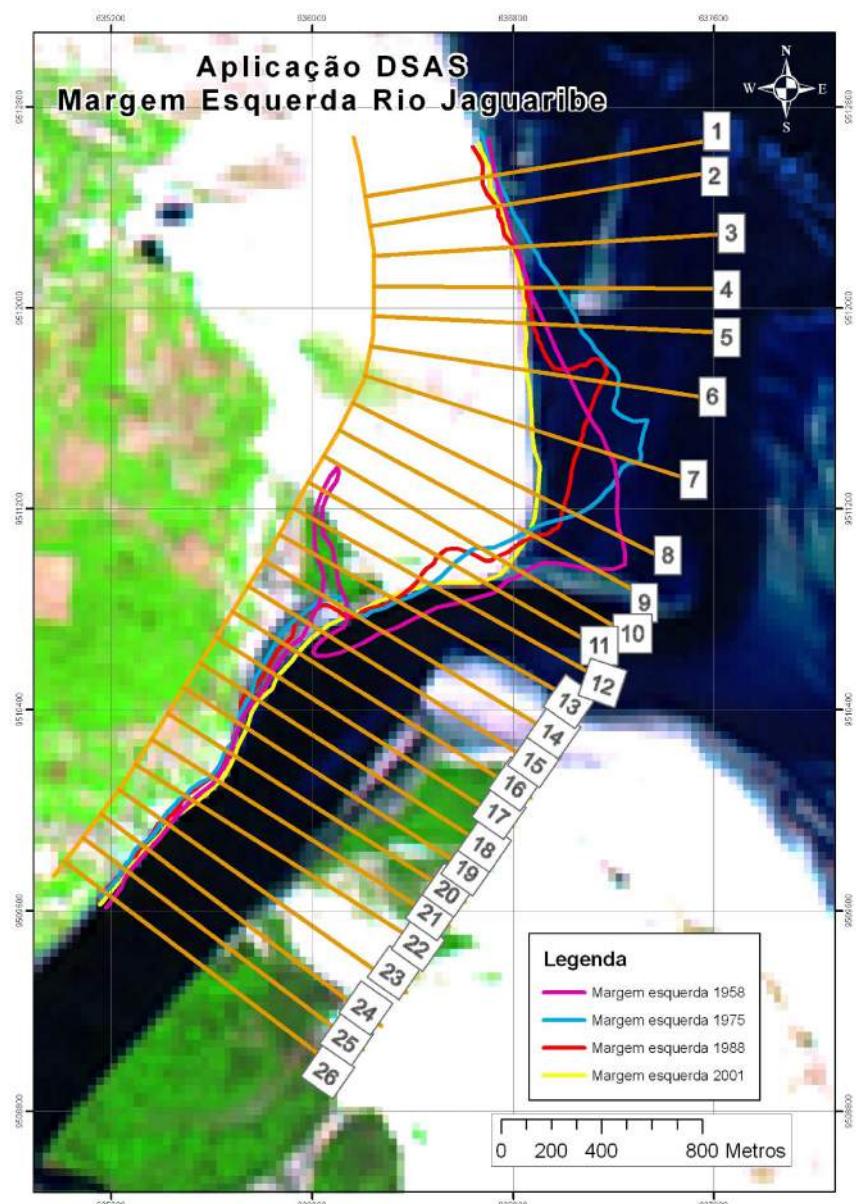


Figura 3 – Aplicação da ferramenta DSAS na margem esquerda do rio Jaguaribe. A numeração indica cada transepto.

Figure 3 – Implementation of DSAS tool on the left margin of Jaguaribe river. The numbering indicates each transect.

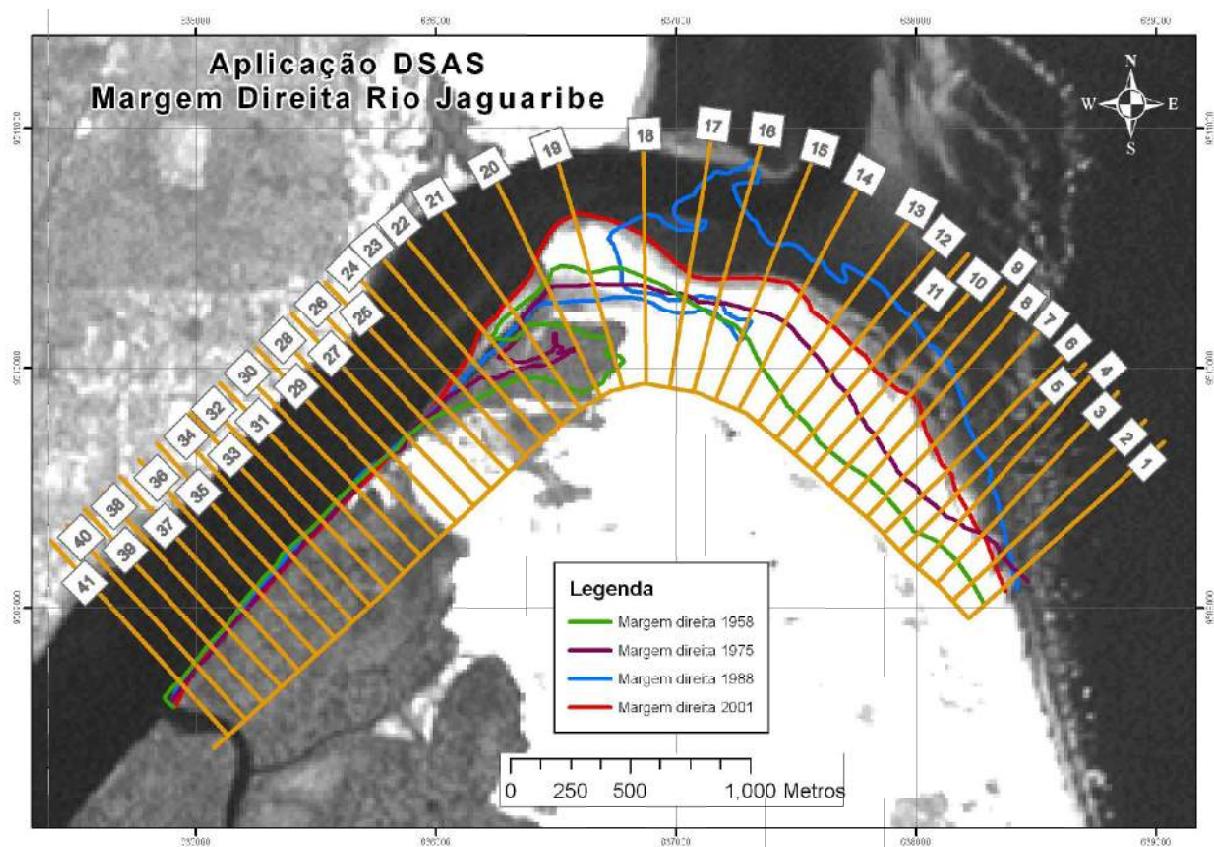


Figura 4 – Aplicação da ferramenta DSAS na margem direita do rio Jaguaribe. A numeração indica cada transepto.

Figure 4 – Implementation of DSAS tool on the right margin of Jaguaribe river. The numbering indicates each transect.

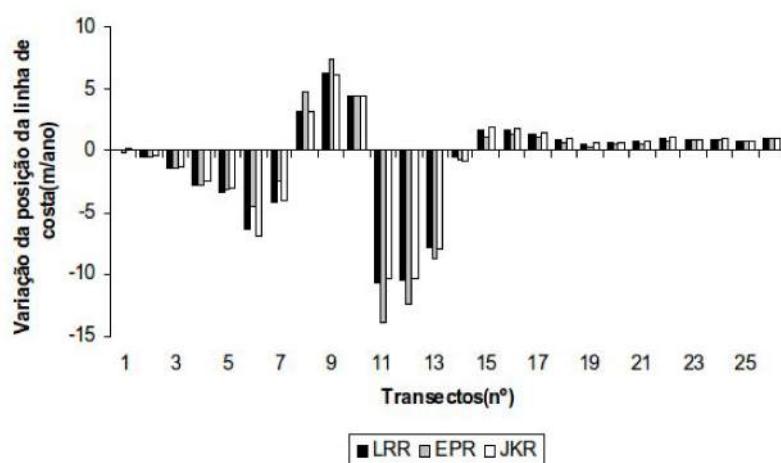


Figura 5 – Taxas de variação da margem esquerda do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior (valores negativos indicam erosão).

Figure 5 – Rates of change into the left margin of Jaguaribe river, starting at the mouth to the lower estuary (negative values indicate erosion).

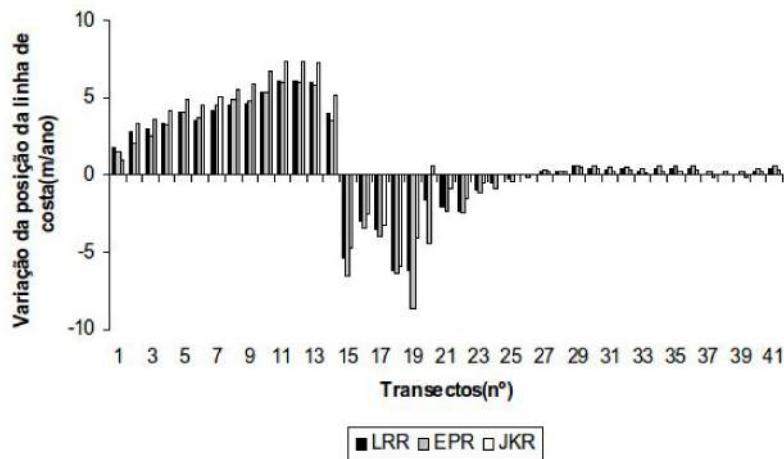


Figura 6 - Taxas de variação para a margem direita do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior (valores negativos indicam erosão).

Figure 6 – Rates of change into the right margin of Jaguaribe river, starting at the mouth to the lower estuary (negative values indicate erosion).

3.2 Análise da Praia da Caponga

Para a análise das tendências de erosão nesta região, foram utilizadas uma fotografia aérea para o ano de 1986, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e uma imagem Quickbird para o ano de 2004.

Foram gerados e enumerados 22 transectos perpendiculares com comprimento de 250 metros e espaçados 100 metros paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* (Figura 7) para uma região de aproximadamente 2,1 km de comprimento.

Em todos os transectos pôde ser evidenciado um forte caráter erosivo, indicado através de uma média geral de recuo na ordem de 7,30m/ano, com valores máximos de 9,2m/ano segundo o método LRR, 9,6m/ano para o método EPR e 10,4 para o JKR (Figura 8), na região localizada sob as coordenadas UTM 590377 e 9552247. Esta área coincide com os aglomerados urbanos, apresentando os maiores índices de ocupação antrópica para a praia da Caponga.

Para o trecho estudado, foi observado que para um intervalo de 18 anos a linha de costa nesta localidade já recuou, aproximadamente, 160 m em direção ao continente, provocando diversos prejuízos para a

população local e para os proprietários de casas de veraneio que já vêm sendo atingidos por este fenômeno.

A partir dos resultados obtidos, é possível definir o estágio erosivo da praia da Caponga como crítico frente às tendências evolutivas de recuo.

Através das observações de campo, foi possível inferir que uma das principais causas da destruição de obras públicas e estruturas privadas nessa célula costeira são decorrentes de uma falta de planejamento de uso e ocupação da zona praias.

As ocupações desordenadas sobre a região de dunas e, em muitos casos, sobre a área da praia propriamente dita, promoveram um déficit no balanço sedimentar costeiro, uma vez que esses empreendimentos ocupam regiões importantes para a dinâmica destas áreas culminando com processos erosivos em todo o litoral da Caponga (Pinheiro et al, 2006). Assim, não planejar a recuperação dessa região litorânea irá significar o surgimento de inúmeras intervenções realizadas de forma aleatória, sem nenhum dimensionamento técnico, levando, na maioria dos casos, ao aparecimento de falhas nas próprias estruturas de proteção e ao agravamento da erosão em toda a praia.

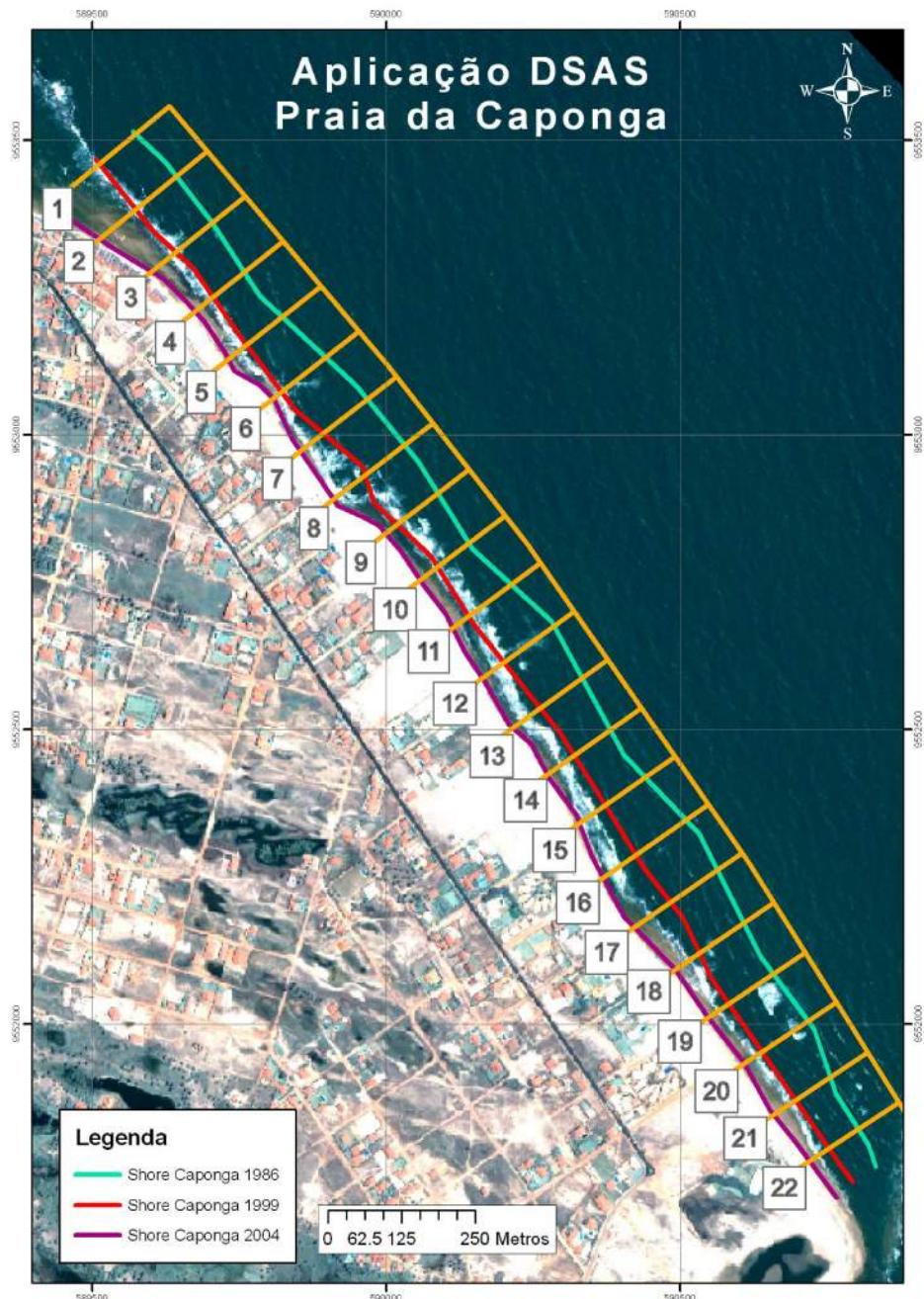


Figura 7 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia da Caponga.

Figure 7 – Implementation of DSAS tool on the Caponga beach.

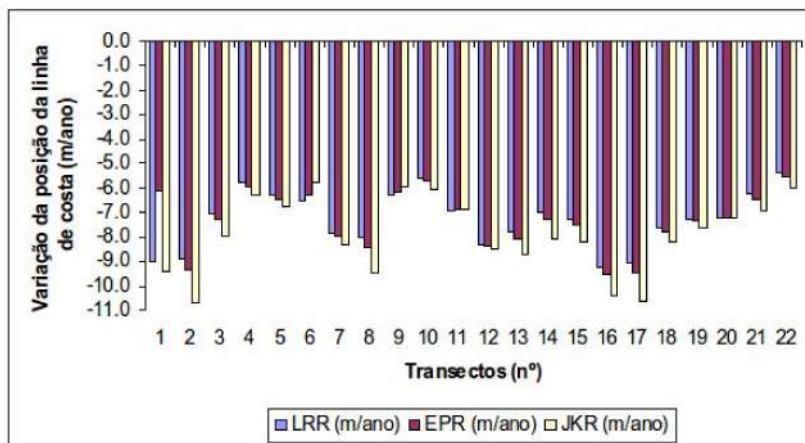


Figura 8 - Taxas de variação da linha de costa – Praia da Caponga (valores negativos indicam erosão).

Figure 8 – Rates of change of the coast line – Caponga beach (negative values indicate erosion).

3.3 Análise da Praia do Farol - Itarema

Para análise das tendências de recuo desta localidade foram utilizadas uma imagem Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 2001 e uma imagem CBERS para o ano de 2005.

Após a utilização do DSAS, foram gerados e enumerados 44 transectos perpendiculares com comprimento de 350 metros e espaçados 150 metros paralelamente a partir de uma linha de base *onshore* para uma região de aproximadamente 6,5 km de comprimento (Figura 9).

De um modo geral, toda a região apresenta caráter erosivo, o que pode ser evidenciado através da média geral de recuo obtida que foi de 3,4m/ano, com valores máximos de 8,8m/ano segundo o método LRR, 6,1m/ano para o método EPR e 10,9 para o JKR (Figura 10).

A evolução da linha de costa nessa região, está fortemente associada à migração natural dos cordões litorâneos presentes neste setor do litoral.

A erosão observada no litoral de Itarema é notória, e vem comprometendo uma série de estruturas e equipamentos públicos e privados. Para contornar esta situação a prefeitura implantou uma série de gabiões, de forma inadequada que, posteriormente, foram destruídos pela ação das ondas acelerando de certa forma a erosão em alguns locais.

A área mais crítica denominada Volta do Rio, caso não seja realizada nenhuma intervenção, pode ficar comprometida para qualquer tipo de empreendimento.

3.4 Análise da região costeira da cidade de Fortaleza

Para a análise da evolução da linha de costa nas praias de Meireles e Iracema, foi utilizada uma série temporal entre os anos de 1968 e 2004 (fotografia aérea para o ano de 1968, imagem Landsat 7 ETM+ de 1999 e imagem Quickbird para o ano de 2004). Para as praias de Iparana, Pacheco e Icaraí foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

Dessa forma, foi possível analisar a evolução da linha de costa entre as praias do Meireles e Iracema para um período de 36 anos e para as praias de Iparana, Pacheco e Icaraí para um período de 13 anos.

Visando facilitar o entendimento acerca das análises realizadas para a cidade de Fortaleza e das demais praias pertencentes ao litoral oeste, os resultados obtidos para cada célula costeira foram divididos e por fim feita uma análise dos processos aos quais toda a região se encontra submetida.

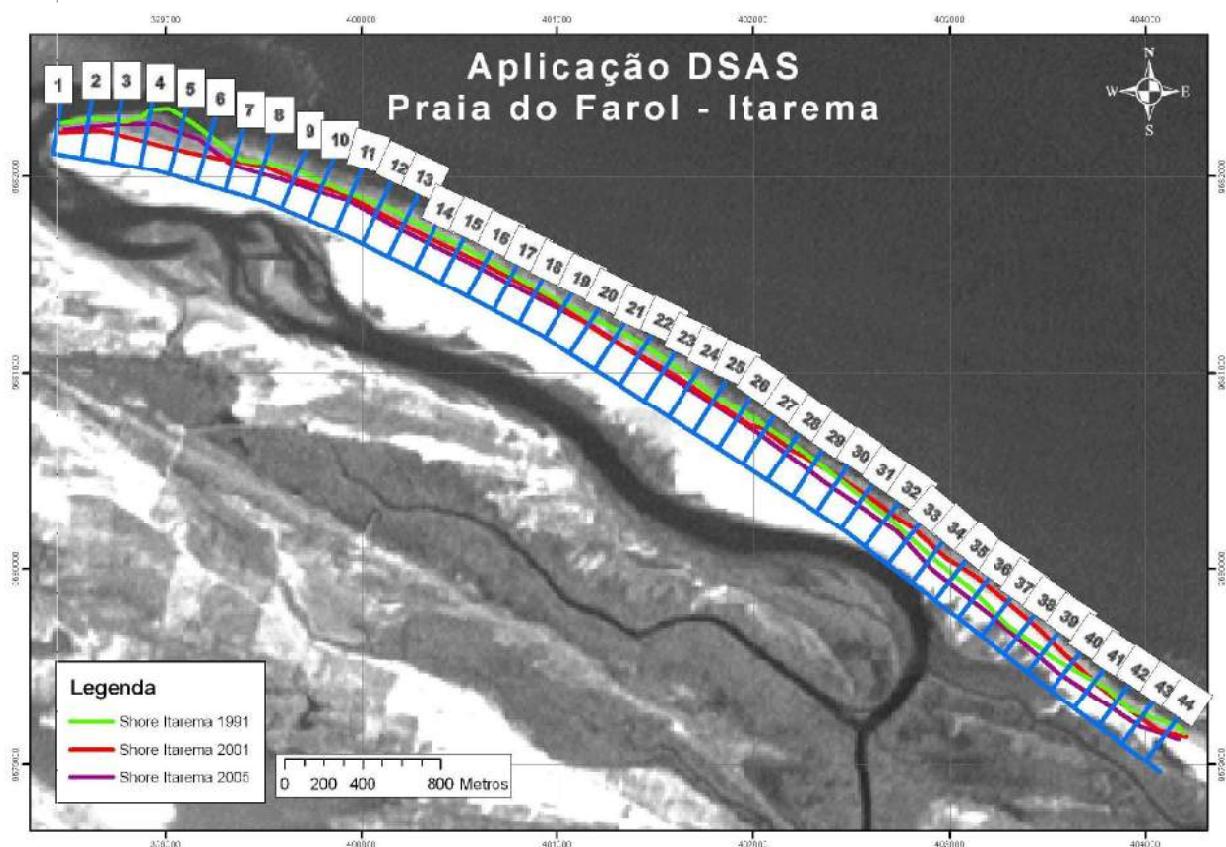


Figura 9 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Farol.

Figure 9 – Implementation of DSAS tool on the Farol beach.

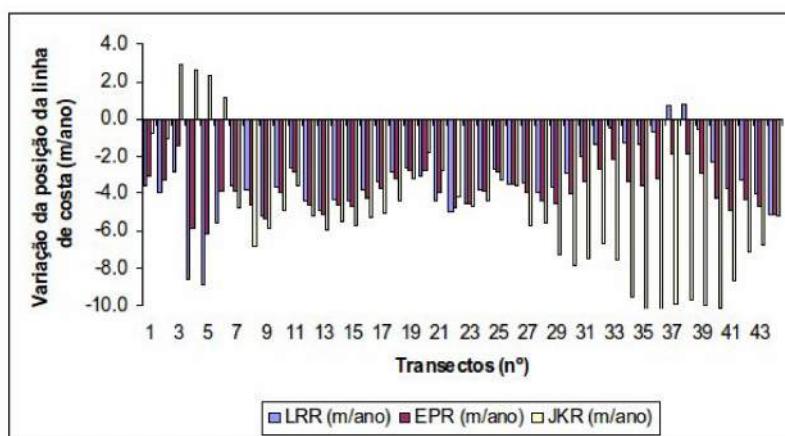


Figura 10 - Taxas de variação da linha de costa – Praia do Farol (valores negativos indicam erosão).

Figure 10 – Rates of change of the coast line – Farol beach (negative values indicate erosion).

3.4.1 Praia do Meireles

Para esta área, foram gerados e enumerados 22 transectos perpendiculares com comprimento de 150 metros e espaçados 75 metros paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* para uma região de, aproximadamente, 1,5 km de comprimento (Figura 11).

A praia do Meireles apresentou uma maior tendência deposicional, conforme indicado através dos resultados obtidos; obteve uma média geral de progradação de linha de costa na ordem de 0,10m/ano, com valores máximos de deposição de 1,1m/ano segundo o método LRR, 1m/ano para o método EPR e 0,5 para o JKR. Entretanto, a região também apresentou sensíveis índices de erosão pontuais ao longo do trecho estudado, obtendo-se média de recuo na ordem de 0,6 m/s (Figura 12).

3.4.2 Praia de Iracema

Para a região da praia de Iracema, a utilização do DSAS resultou na geração e enumeração de 26 transectos perpendiculares espaçados 70 m e com comprimento de 300 m dispostos paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* para uma região de aproximadamente 1,8 km de comprimento (Figura 13).

Os resultados apresentados, mostram uma tendência erosiva ao longo de toda a praia de Iracema, com exceção da área aonde se localiza o aterro em frente ao Ideal Clube, que apresentou elevadas taxas de deposição.

Esses resultados de progradação de linha de costa para essa região, só ocorreram por conta da engorda artificial realizada no ano de 2001. No entanto, a praia de Iracema, apresentou uma média geral de recuo de linha de costa na ordem de 0,5m/ano.

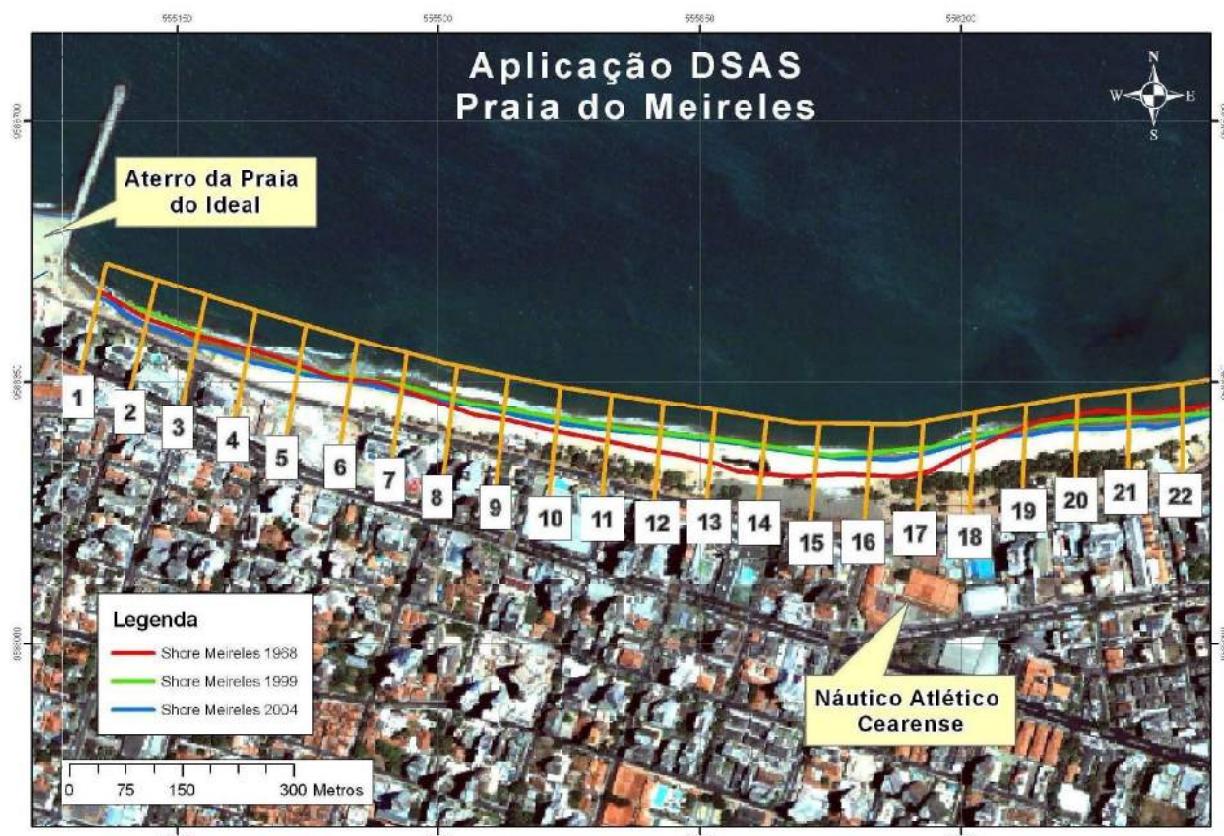


Figura 11 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Meireles.

Figure 11 – Implementation of DSAS tool on the Meireles beach.

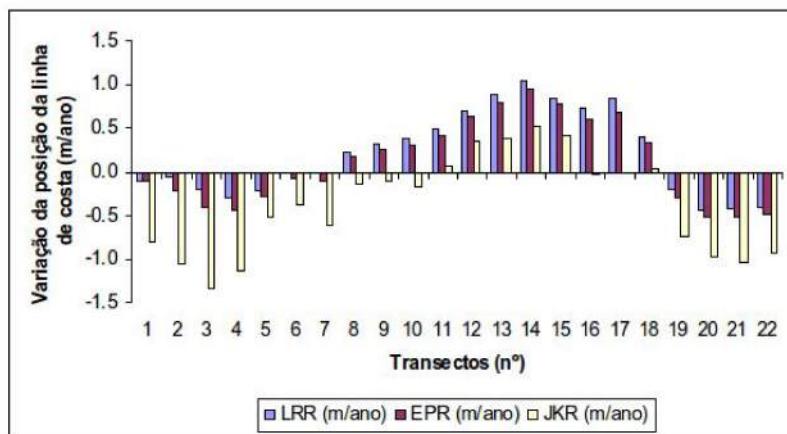


Figura 12 - Taxas de variação da linha de costa – Praia do Meireles (valores negativos indicam erosão).

Figure 12 – Rates of change of the coast line – Meireles beach (negative values indicate erosion).

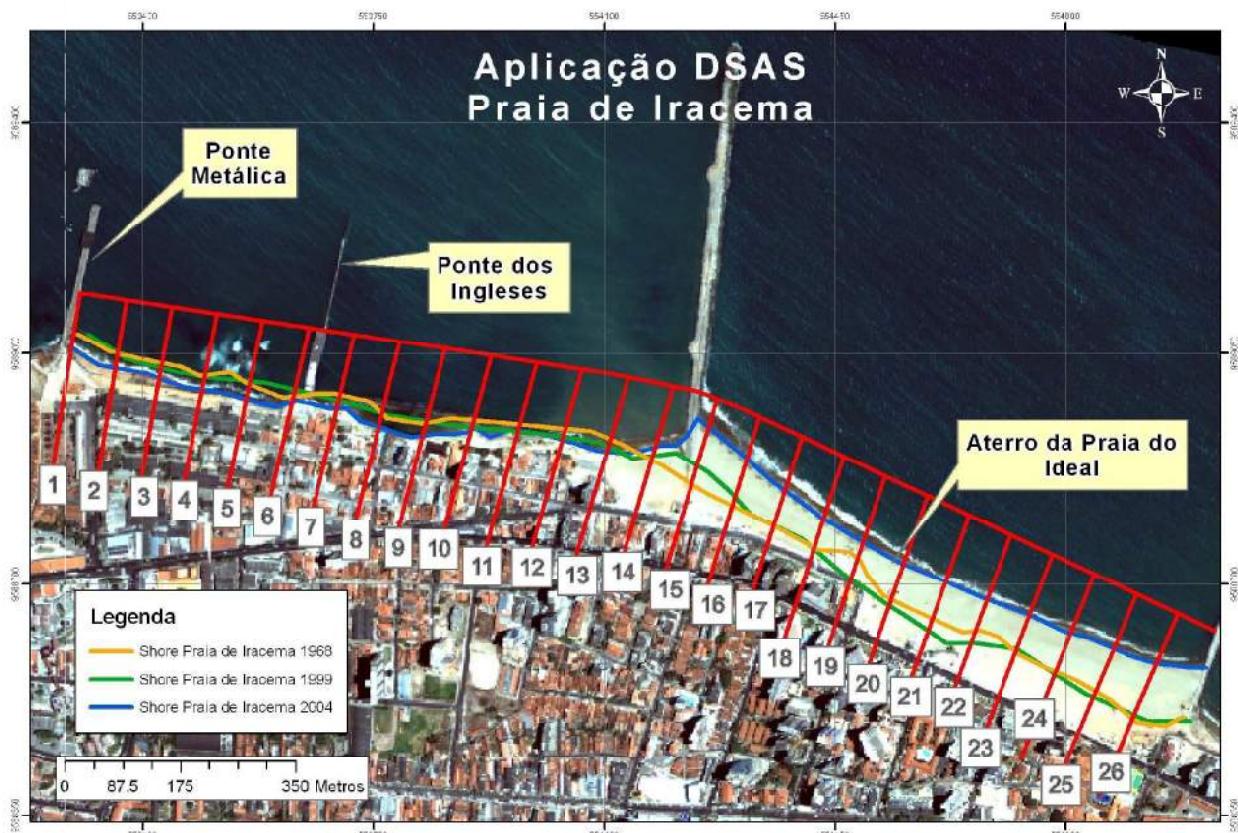


Figura 13 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iracema.

Figure 13 – Implementation of DSAS tool on the Iracema beach.

De acordo com os métodos LRR, EPR e JKR os valores máximos de erosão de linha de costa foram 0,5m/ano, 0,7m/ano e 2m/ano, respectivamente (Figura 14).

Devido aos altos índices de ocupação em toda a região da praia de Iracema, costumeiramente os efeitos da erosão costeira podem ser observados ao longo de toda a orla, principalmente nos períodos de “ressaca” onde estruturas e obras inteiras são destruídas. Em decorrência disto, várias obras de proteção foram construídas nas proximidades da ponte dos Ingleses, visando proteger o calçadão e as casas adjacentes mas afetando a estética natural da região.

3.4.3 Praia de Iparana

A praia de Iparana, encontra-se inserida a oeste da desembocadura do rio Ceará, entre falésias da formação Barreiras, vem sendo historicamente juntamente com a praia de Pacheco localizada a oeste atingida por severos processos erosivos desde a década de 80.

Para a análise dessa região, foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

O uso de ferramentas de geoprocessamento gerou 24 transectos perpendiculares, espaçados 100 metros e com comprimento de 750 m, dispostos paralelamente a

partir de uma linha de referência defronte à praia, para uma região de aproximadamente 2,0 km de comprimento (Figura 15).

Os resultados obtidos evidenciam que, apesar das tentativas de sanar as tendências de erosão através de estruturas de defesa litorânea na região costeira de Iparana, o recuo de linha de costa ainda é evidente em grande parte da orla, atingindo valores máximos de 9,4m/ano e média de 1,25m/ano, valor este considerado alarmante para o comportamento dinâmico do litoral cearense (Figura 16).

3.4.4 Praia do Pacheco

Para a realização do estudo na praia do Pacheco, foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

Segundo Maia (2005), a área estudada é considerada como moderadamente perigosa com riscos predominantemente associados às mudanças bruscas de profundidade e arrebentação em decorrência dos efeitos da erosão costeira.

A utilização do DSAS, resultou na obtenção e enumeração de 31 transectos perpendiculares espaçados 100 m e com comprimento de 750 m dispostos paralelamente a partir de uma baseline *offshore* para uma região de aproximadamente 2,5 km de comprimento (Figura 17).

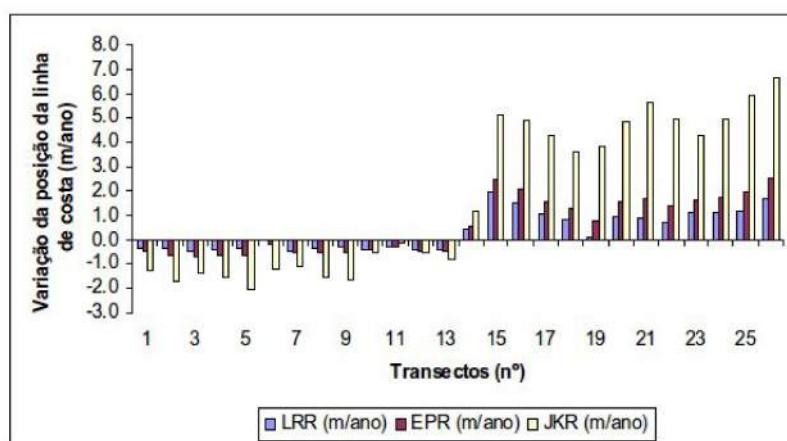


Figura 14 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Iracema (valores negativos indicam erosão).

Figure 14 – Rates of change of the coast line – Iracema beach (negative values indicate erosion).



Figura 15 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iparana.

Figure 15 – Implementation of DSAS tool on the Iparana beach.

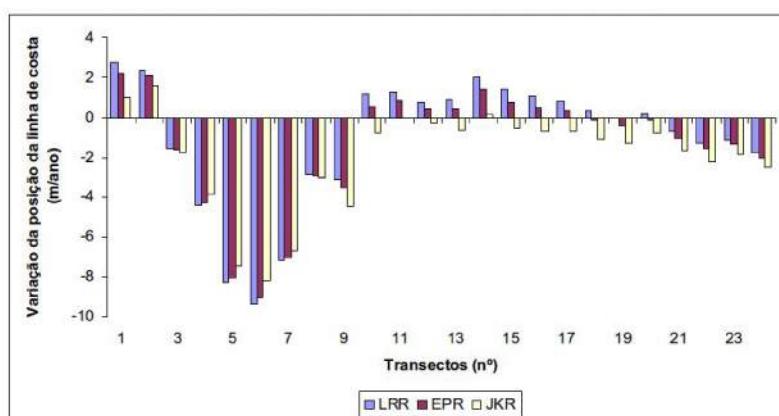


Figura 16 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Iparana (valores negativos indicam erosão).

Figure 16 – Rates of change of the coast line – Iparana beach (negative values indicate erosion).

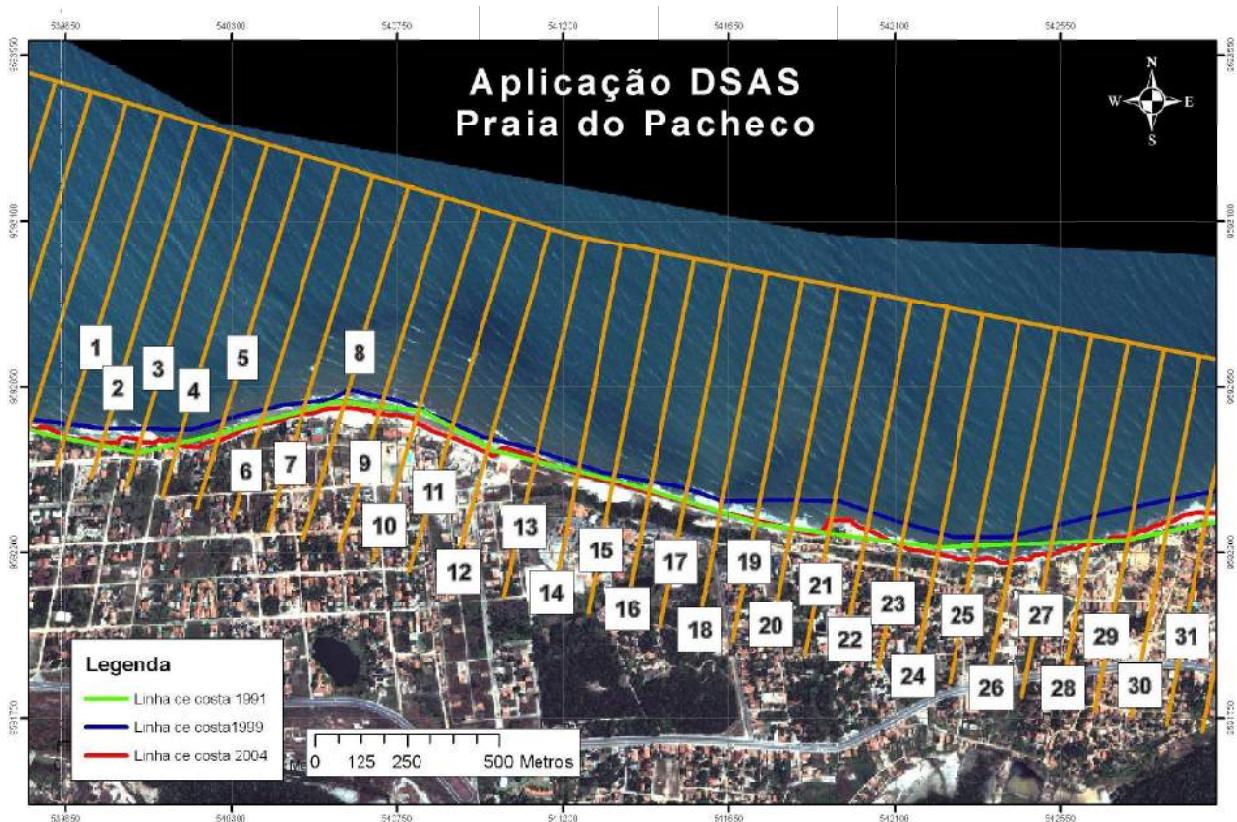


Figura 17 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Pacheco.

Figure 17 – Implementation of DSAS tool on the Pacheco beach.

A figura 18, mostra que a região apresenta expressivos índices de erosão ao longo do trecho estudado, com valores máximos de 4m/ano com tendências pontuais de deposição.

De acordo com o método LRR, EPR e JKR, foram encontradas médias de 1,25m/ano, 1,38m/ano e 2,7m/ano respectivamente. As tendências de acresção de linha de costa obtiveram média de 1,11m/ano.

De forma similar à praia de Iparana, a região costeira da praia do Pacheco vem sofrendo com a problemática da erosão há aproximadamente duas décadas, fato este que vem comprometendo a estética do litoral bem como as casas de veraneio e as estruturas de contenção do recuo contínuo da linha de costa.

3.4.5 - Praia do Icarai

De modo similar às praias de Iparana e Pacheco, foram utilizadas para a realização do estudo na praia do Icarai, imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e

imagem Quickbird para 2004.

Foram obtidos 46 transectos enumerados (Figura 19) transversais à linha de costa, espaçados 100 m e com comprimento de 750 m dispostos paralelamente a partir de uma linha de base offshore ao longo de aproximadamente 5,7 km de litoral, onde pode ser evidenciado uma tendência generalizada de recuo de linha de costa com média de 0,95m/ano para toda a região estudada segundo as taxas de regressão linear simples (LRR).

Para o presente estudo, também foram calculados as taxas de erosão média segundo os métodos EPR e JKR que foram respectivamente 0,84 e 0,88m/ano, o que demonstra a tendência uniforme de resultados para a praia do Icarai.

Os maiores índices de erosão para o trecho estudado foram de 3,3m/ano, obtido através do método JKR, seguido de 2,4m/ano para o método EPR e 2m/ano para o método LRR, o que evidencia um forte caráter erosivo em todos os métodos adotados (Figura 20).

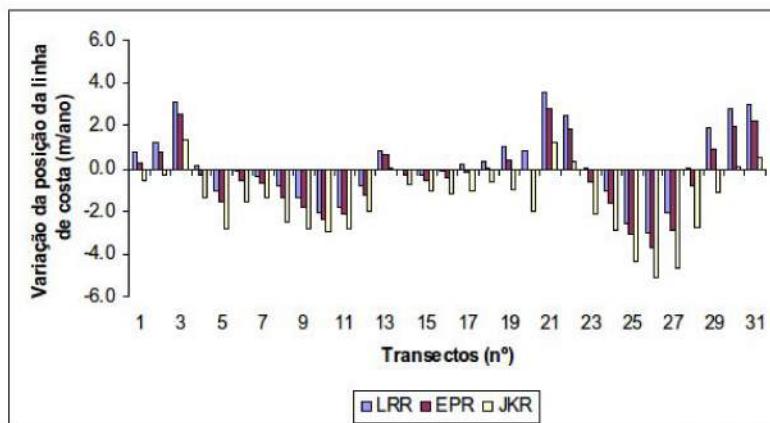


Figura 18 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Pacheco (valores negativos indicam erosão).

Figure 18 – Rates of change of the coast line – Pacheco beach (negative values indicate erosion).

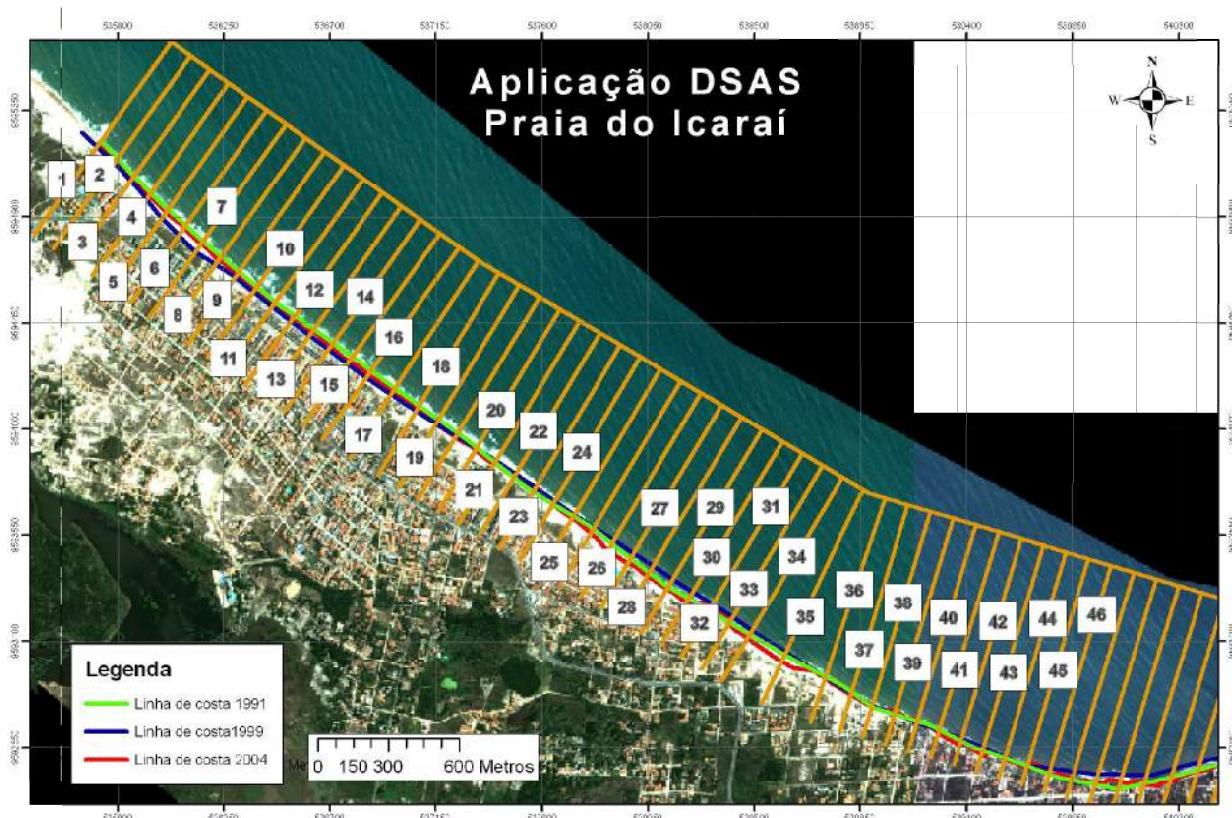


Figura 19 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Icaraí.

Figure 19 – Implementation of DSAS tool on the Icaraí beach.

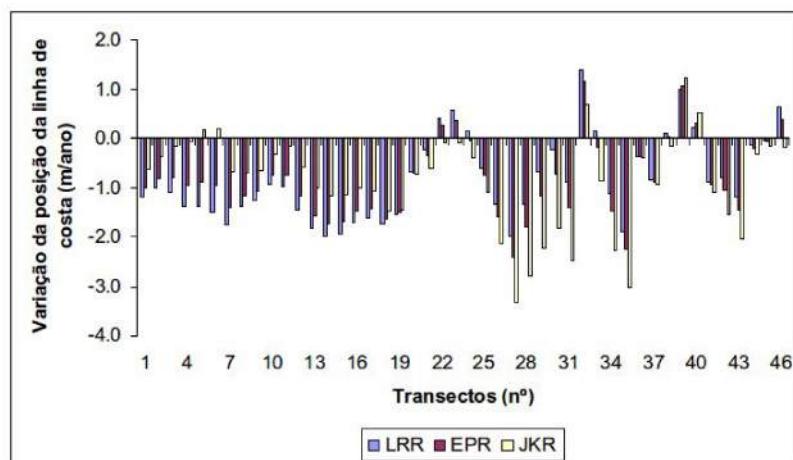


Figura 20 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Icarai (valores negativos indicam erosão).

Figure 20 – Rates of change of the coast line – Icarai beach (negative values indicate erosion).

3.4.6 Discussões acerca da região costeira de Fortaleza

Os processos erosivos que ocorrem ao longo de todo o litoral de Fortaleza, bem como da região metropolitana do litoral oeste, principalmente entre as praias de Iparana e Icarai, tiveram início após a implantação definitiva do porto do Mucuripe em 1945, que alterou o fluxo sedimentar e motivando o litoral a atingir uma nova posição de equilíbrio.

Devido à importância sócio-econômica da região, desde a década de 70 vários autores vêm estudando as causas e os impactos provenientes da instalação inadequada do porto na capital cearense (Moraes, 1980; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Meireles *et al.*, 2006), desencadeada com a implantação do molhe do Titã, na ponta do Mucuripe, visando a conclusão das obras do novo porto de Fortaleza.

Para esta região, o transporte de sedimentos litorâneos na zona de arrebentação é dominado pelos ventos alísios de sudeste e nordeste, produzindo um transporte resultante negativo (da direita para a esquerda do observador que olha o mar a partir da costa). Segundo Alfredini (2005), as taxas desse transporte são da ordem de 600.000 m³/ano, ao qual se soma um significativo transporte eólico de areias da ordem de 150.000 m³/ano.

A implantação do molhe do Titã no porto do Mucuripe, provocou uma mudança na direção das ondas incidentes, o que resultou num desvio das areias oriundas de leste da ponta do Mucuripe, que ao invés de contornarem a ponta do Mucuripe e alimentarem as praias de Iracema e as seguintes para sotamar, foram sedimentando na porção interna do molhe, cessando o fluxo natural de sedimentos (Figura 21). Em decorrência desse fenômeno, o canal de acesso ao porto tem que ser submetido a dragagens periódicas cujos despejos são efetuados ao largo das praias, para assim evitar possíveis encalhes de embarcações dentro da região portuária.

Segundo Meireles *et al* (2006), outro fator preponderante no déficit de sedimentos para região foi o desenvolvimento da cidade de Fortaleza, que alterou o transporte eólico reduzindo a carga sedimentar outrora recebida pelas praias a sotamar do porto em decorrência de uma série de intervenções antrópicas relacionadas, principalmente, com a especulação imobiliária e a urbanização.

Na tentativa de mitigar os problemas oriundos da erosão costeira, várias obras de defesa vêm sendo construídas entre as praias de Iracema e a foz do rio Ceará.

Entretanto, em virtude da construção dessas estruturas, o abastecimento sedimentar a oeste da foz do rio Ceará passou a ser alterado, uma vez que os

espingões atuam como armadilhas para aprisionar o fluxo de areias e o rio Ceará, mesmo em períodos de chuva não possui competência para exportar sedimentos em quantidade necessária para abastecer as praias de Iparana, Pacheco e Icaraí.

Pitombeira (1995), considera a costa de Fortaleza um modelo natural dos efeitos da intervenção humana no meio físico. O barramento do transporte litorâneo, inicialmente pelo molhe da ponta do Mucuripe e posteriormente pelo espingão de aprisionamento construído na praia do Futuro, representa o que há de mais grave em termos de agressão a uma região de praia. A construção do molhe, sem um estudo profundo dos efeitos desta intervenção, representou por si só um ato de desconhecimento de causas e efeitos. As praias foram destruídas, a proteção executada inviabilizou o uso das mesmas para recreação. O meio ambiente panorâmico foi agredido pelo lançamento das paredes disformes de pedras amontoadas longitudinalmente às praias de Iracema e Formosa e por espingões construídos ao longo do trecho de costa do Pirambú à Barra do Ceará.

Numa tentativa de reduzir os impactos provenientes da ação do avanço da linha de costa sobre os empreendimentos turísticos e casas, foi realizado no ano de 2001 um aterro com material dragado do porto do Mucuripe na região da praia de Iracema, visando recuperar a área degradada pela erosão.

Segundo Pinheiro *et al* (2005), os efeitos provenientes da instalação inadequada do porto, pôde ser claramente evidenciado nas duas últimas décadas nas praias de Iparana e Pacheco, que sofreram prejuízos não só com a perda de estruturas em virtude da erosão costeira, como também em decorrência da redução da atividade turística na região em detrimento da redução da faixa de praia e perda do potencial paisagístico em consequência dos processos erosivos.

Mais recentemente, a praia do Icaraí também vem sendo submetida aos efeitos sazonais dos processos erosivos, problema este que vem se agravando continuamente uma vez que a região não possui estruturas de defesa apropriadas para solucionar o problema.

4. RESUMO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos (Figura 22), pode-se inferir que dentre as 8 áreas selecionadas para a realização do presente trabalho, a praia da Caponga é

atualmente a que apresenta os índices de recuo de costa mais críticos, com média de 7,3m/ano, seguido da praia de Pacheco que obteve taxa de recuo médio de 4m/ano e da praia do Farol, localizada no município de Itarema que apresentou taxas de erosão na ordem de 3,4m/ano. As demais áreas contempladas apresentaram índices de erosão inferiores a 1,5m/ano, sendo a praia de Iracema a área que apresentou maior estabilidade da linha de costa, com índices de erosão de 0,5m/ano.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho, comprovou que há uma tendência quase geral de avanço do mar no litoral do estado do Ceará que vem promovendo a destruição de casas e estruturas de defesa do litoral.

Apesar da utilização de imagens de alta resolução Quickbird terem se mostrado preferencialmente melhores na identificação e vetorização da linha de costa, a adoção de imagens pancromáticas LANDSAT e produtos restaurados com moderada resolução espacial, podem ser utilizados com alguma acurácia, uma vez que a relação custo x benefício favorece a utilização dos últimos.

A elaboração de uma base multitemporal de imagens de satélite e fotografias aéreas em ambiente SIG, favoreceram a identificação e compreensão da dinâmica natural e ambiental das áreas investigadas, sendo essenciais como subsídio às tomadas de decisões acerca do uso e gestão sustentável dessas áreas. 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.

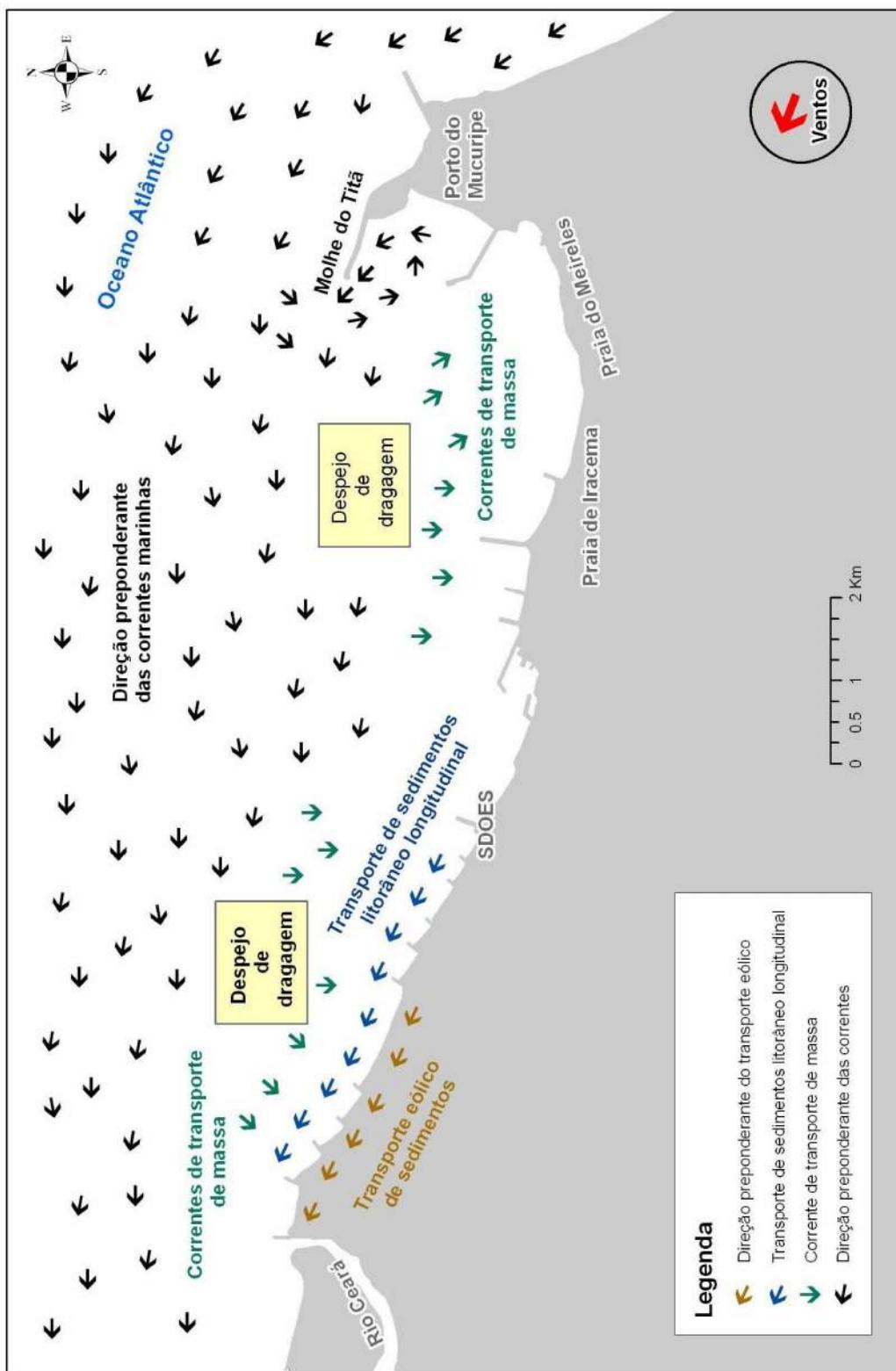


Figura 21 – Dinâmica da região litorânea do município de Fortaleza.

Figure 21 - Dynamics of the coastal zone of the Fortaleza city.

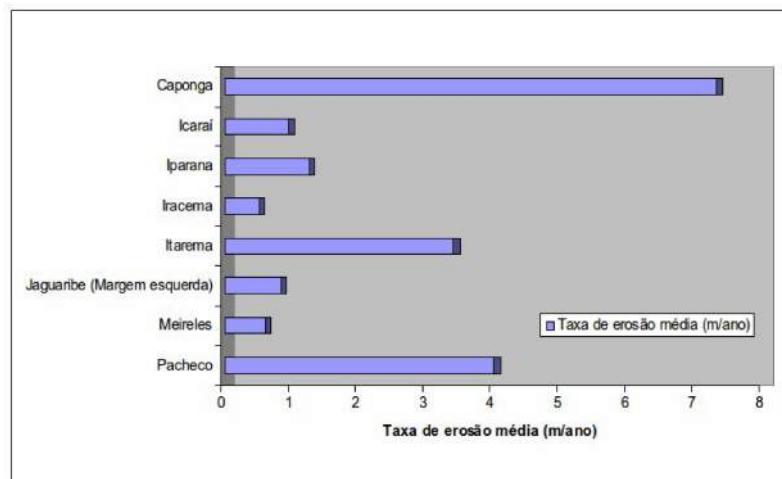


Figura 22 – Resumo dos resultados obtidos.

Figure 22 – Summary of results.

BIBLIOGRAFIA

- Alfredini, P. (2005) - Obras e gestão de portos e costas. 1ºed. 687p., Edgard Blunchen, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788521204862.
- Bensi, M. (2006) - *Aplicação do correntômetro acústico ADCP em ambientes marinhos e estuarinos do Ceará e Paraíba – Nordeste do Brasil*. 128p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Callaghan, D.; Ranasinghe, R.; Short, A. (2009) – Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*, 56: 90 – 93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.10.003>
- 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. <http://dx.doi.org/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*, 7:839-852.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação (s/d) – Marés. *Portal da Diretoria de Hidrografia e Navegação*, Niterói, RJ, Brasil. Disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/mares.html> (Acessado em: 2 de Janeiro de 2010).
- Dominguez, J.M.L. (2007) - *Avaliação regional do problema da erosão na região nordeste do Brasil*. <http://www.cpgg.ufba.br/lec/eros.htm>. (Acessado em: 21 de Novembro de 2007).
- Farias, E.G.G de; Maia, L.P.(2007) - Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise de mudanças morfológicas na desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe – CE. *Anais do XII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar - COLACMAR*, Florianópolis, SC, Brasil.
- 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, E.G.G.(2008) - Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará. 125 p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em http://www.institutomilenioestuarios.com.br/pdfs/Monografias/10_dissertacao_eduardo.pdf
- Leal, J.R.L.V. (2003) - *Zoneamento geoambiental da área de proteção ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará*. 210p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (não publicado)
- Magalhães, S. H. O. (2000) - *Caracterização morfodinâmica e evolução a médio e curto prazo das praias dos municípios de*

- São Gonçalo do Amarante e Caucaia- CE. 123p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. (não publicado)
- Maia, L.P. (1998) - *Processos costeros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. 269p., Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, Departement d'Estratigrafia i Paleontologia, Barcelona, Espanha. (não publicado)
- Maia, L.P. (2005) - Projeto Nordeste – Definição e Quantificação dos Processos Costeiros no Litoral do Estado do Ceará: Implicações para a Gestão Adequada da Zona Litorânea. (não publicado)
- Meireles, A.J.A.; Silva, E.V. da; Thiers, P.R.L. (2006) - Os campos de dunas móveis: Fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, 20:101-119. São Paulo, SP, Brasil. ISSN:1414-7416.
- Moraes, J.O. (1980) - *Aspectos da geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará)*. Tese para seleção de professor titular, 143p., Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (não publicado)
- Moraes, J.O.; Pinheiro, L.S. (2000) - Evolução a curto e médio prazo da zona costeira adjacente à foz do rio Jaguaribe – Ceará. *Ciências e Tecnologia* (UECE) (ISSN: 1516-9758), 2(2):69-77, Fortaleza, CE, Brasil.
- Oliveira, S.M.C. (2005) - *Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo*. 137p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Pinheiro L.S.; Moraes, J.O.; Oliveira, G.G.; Moura, M.R. (2005) - Impactos da erosão nas atividades turísticas das praias de Iparana e Pacheco. Caucaia – CE. *Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia - CBO*, Vitória, ES, Brasil. Disponível em <http://www.uece.br/lgco/publicacoes/81.pdf>.
- Pinheiro, L.S.; Moraes, J.O.; Medeiros, C.; Pitombeira, E. S. (2006) - The gabions for the protection of Caponga Beach, Ceará/Brazil: Hazards and Management. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, 39: 848-851.
- Pitombeira, E. S. (1995) - Litoral de Fortaleza – Ceará – Brasil, um exemplo de degradação. *Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil*, p. 59-62. Recife, PE, Brasil.
- Short, A.D.; Trembanis, A.C. (2004) - Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia—time series, PCA and wavelet analysis. *Journal of Coastal Research*, 20 (2): 523–532. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/4299308>.
- Thieller, E. R.; Martin, D.; Ergul, A. (2005) - The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0. USGS Open-File. Disponível em <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>
- Trebossen, H.; Deffontaines, B.; Classeau, N.; Kouame, J.; Rudant, J.P. (2005) - Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(13):1140–1153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2005.05.013>
- Yoshikawa, S.; Nemoto, K. (2010) – Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan. *Marine Geology*, 271: 165-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2010.02.010>