



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR  
MESTRADO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA A  
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM  
AMBIENTES LITORÂNEOS DO ESTADO DO CEARÁ.**

**EDUARDO GUILHERME GENTIL DE FARIAS**

**FORTALEZA – CE  
JANEIRO DE 2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR  
MESTRADO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA A  
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM  
AMBIENTES LITORÂNEOS DO ESTADO DO CEARÁ.**

**EDUARDO GUILHERME GENTIL DE FARIAS**

---

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

---

**FORTALEZA – CE  
JANEIRO DE 2008**

EDUARDO GUILHERME GENTIL DE FARIAS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração Utilização e manejo de ecossistemas marinhos e estuarinos.

Aprovada em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

---

*Prof. Dr. Luís Parente Maia*  
Orientador/Presidente

---

*Prof. Dr. Luiz Drude Lacerda*  
Membro

---

*Prof. Dr. Jader Onofre de Moraes*  
Membro externo

**Dedico esta dissertação às mulheres da minha vida:  
Minha mãe Helena Gentil  
Minhas irmãs Renata Gentil, Ana Beatriz Gentil e Celina Gentil  
Minhas avós Wanda Gentil e Jozina de Farias  
Ao meu grande amor Marina Parissi Accioly**

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente gostaria de agradecer a minha família por sempre estar ao meu lado nos melhores e piores momentos de minha vida.

A minha namorada Marina Parissi Accioly, por sempre estar ao meu lado me cativando com sua amizade, afeto e carinho.

Ao Professor Dr. Luís Parente Maia, por todo o apoio e confiança depositados em mim ao longo desses 7 anos de trabalho.

Ao Professor Dr. Luiz Drude Lacerda, por ter acreditado no meu potencial e pelo apoio na minha ida para o INPE.

Aos amigos que tem o valor de irmãos: Leonardo Hislei, Tiago Cruz, Francisco Rodrigues, Bráulio Rodrigues, Carol Capellini, Aílton Júnior, Oscar Neto, Breno Costa, Cristina Freire, Camila Figueiredo e Márcia Veras. Pessoas realmente ímpares, que entre brincadeiras e conversas sempre me deram verdadeiros exemplos de companheirismo e perseverança.

Aos companheiros de jornada do recém nomeado Laboratório de Dinâmica Costeira: Buda, Gleidson Gastão, Marizete Rios, Kátia de Julio, Geraldo Varela, Cecília Colares e Reginaldo Lima Verde, por toda a ajuda e estímulo ao longo desses anos de convivência.

A todos que compõe o Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, em especial a turma de mestrado em Ciências Marinhas Tropicais pela acolhida e coleguismo.

A FUNCAP pelo apoio cedido para a execução deste trabalho através da concessão da bolsa de mestrado.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

**"Quando agredida, a natureza não se defende. Apenas se vinga".**

**Albert Einstein**

## 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 cearense 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*, 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 gabinete 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 -7.3 m/ano, -4 m/ano e -3.4 m/ano respectivamente. As demais regiões contempladas (Icaraí, Iracema, Iparana, Meireles) apresentaram taxas de recuo inferiores a -1.5 m/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 -0.83 m/ano e deposição na margem direita de +0.77 m/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 ambientais, geológicos 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 are been occupied by antropic activities associated to increasing alterations generated by climatic changes, affecting the natural dynamics of ecosystems, made evident through several environmental indicators, among them the temporal and spatial variability analysis of the coastal line. During the last two decades was possible verify a general retrogradation of this coastal line, generating important economic damage to the regions by destructing houses and building. To study this problems and point out correct solutions e decisions to use and occupations of the littoral, it was necessary to know the rates of retreat of the coastal line through multi-temporal studies. From this point of view this study has as main objective 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 to understand the evolution of coastal line during the last two decades. It was performed field trips to take notes and photos, in situ, about beaches erosion. 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 m/y and 3.4 m/y, respectively. The other places (Icaraí, Iracema, Iparana and Meireles), the rates were lower then 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 environment parameters analysis of these regions demonstrate that the coastal line spatial compartment is directly affected by a series of environmental factors, geologic and antropic. So, it's necessary to adopt measures and proceedings 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.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Previsão de subida do nível médio do mar ( <i>Fonte: IPCC, 1990</i> ). .....	9
<b>Figura 2</b> – A destruição de estruturas e costas pela ação dinâmica dos oceanos será cada vez mais freqüente nos próximos anos em decorrência das alterações no clima. ( <i>Fonte: European Sea Level Service, 2007. <a href="http://www.es seas.org/">http://www.es seas.org/</a></i> ) .....	10
<b>Figura 3</b> – Curva das flutuações do nível médio do mar para a costa leste do Brasil. ( <i>Fonte: Martin et al, 1979</i> ) .....	12
<b>Figura 4</b> – A linha pontilhada em vermelho na imagem de satélite representa a delimitação de linha de costa segundo Crowell (1991). .....	14
<b>Figura 5</b> – Espectro eletromagnético ( <i>Fonte: Cabral, 2005</i> ). .....	16
<b>Figura 6</b> – Imagem Landsat 7 ETM + para a região do porto do Mucuripe. ....	19
<b>Figura 7</b> – Banda 8 da Imagem Landsat 7 ETM + para a região do porto do Mucuripe, onde pode ser observada com maior facilidade as sinuosidades do contorno da linha de costa. ....	19
<b>Figura 8</b> – Imagem CBERS para a região do porto do Mucuripe. ....	21
<b>Figura 9</b> – Imagem Quickbird para a região do aterro da praia de Iracema .....	22
<b>Figura 10</b> – Fotografia aérea da desembocadura do rio Jaguaribe para o ano de 1968. ....	23
<b>Figura 11</b> – À esquerda a fotografia aérea da desembocadura do rio Jaguaribe para o ano de 1958, enquanto que a direita temos o mesmo trecho para o ano de 2004 através de uma imagem Quickbird, evidenciando claramente as modificações morfológicas ocorridas em ambas as margens nessa região ao longo do tempo. ....	24
<b>Figura 12</b> – Procedimento de campo para realização dos perfis de praia. ( <i>Fonte: Magalhães, 2000</i> ). ....	27
<b>Figura 13</b> – Perfil praiial e duas divisões ( <i>Fonte: Brown et al. 1989</i> ). .....	28
<b>Figura 14</b> – Esquema de transporte de sedimentos. ....	30
<b>Figura 15</b> – Eixo de confluência (circundado em vermelho) dos ventos alísios de sudeste com nordeste – ZCIT. ( <i>Fonte: Apostila do curso de meteorologia da FUNCEME, 1998</i> ). .....	33
<b>Figura 16</b> - Identificação da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT através das imagens do satélite METEOSAT-7, recepcionadas pela estação de recepção de dados de satélite da FUNCEME. (Figuras 16a e 16c) (canal visível – 21/03/2003 - 12:00 GMT) mostram a posição da ZCIT no mês de abril de 2003, período chuvoso da região Nordeste do Brasil, na qual o Ceará está inserido e Figuras 16b) (canal visível – 08/10/2003 - 12:00 GMT) e 16d) (canal infravermelho – composite de imagens) mostram a ZCIT no mês de outubro de 2003, fora do período chuvoso da região. ....	34
<b>Figura 17</b> – Precipitação mensal para o intervalo dos anos 2003 a 2007, segundo dados da FUNCEME, 2007. ....	36
<b>Figura 18</b> – Umidade relativa do ar média para o município de Fortaleza entre os anos de 1974 a 2003, segundo dados da FUNCEME. ....	37
<b>Figura 19</b> – Regime eólico para a zona costeira do estado do Ceará considerando freqüência de ocorrência e velocidades médias anuais para as torres anemométricas em suas respectivas alturas de medida (40 e 50 m) ( <i>Fonte: SEINFRA, 2001</i> ). .....	39
<b>Figura 20</b> – Descrição de onda. ....	40
<b>Figura 21</b> – Ondas de ressaca na praia de Iracema. ....	43
<b>Figura 22</b> – Mapa de localização. ....	45
<b>Figura 23</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na margem esquerda do rio Jaguaribe, a numeração indica cada transecto. ....	51

<b>Figura 24</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na margem direita do rio Jaguaribe, a numeração indica cada transecto.....	52
<b>Figura 25</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos para a margem esquerda do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior.....	53
<b>Figura 26</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos para a margem direita do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura (evidenciando uma forte tendência deposicional) até o estuário inferior.....	56
<b>Figura 27</b> – Banco de areia formado na margem direita da desembocadura do rio Jaguaribe em consequência as elevadas taxas de deposição.....	56
<b>Figura 28</b> – Série histórica das vazões na bacia do Jaguaribe ( <i>Fonte: ANA, 2006</i> ).....	58
<b>Figura 29</b> – Série histórica das vazões na bacia do Banabuiu ( <i>Fonte: ANA, 2006</i> ).....	59
<b>Figura 30</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia da Caponga.....	61
<b>Figura 31</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos.....	62
<b>Figura 32</b> – Casa destruída pela ação da erosão costeira.....	63
<b>Figura 33</b> – Casa destruída pela ação da erosão costeira na região de Itarema.....	64
<b>Figura 34</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Farol.....	65
<b>Figura 35</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na região de Itarema.....	66
<b>Figura 36</b> – Imagem do Landsat 7 ETM+ para o ano de 2000.....	68
<b>Figura 37</b> – Imagem do Quickbird para o ano de 2004. A seta em vermelho mostra a migração do cordão arenoso ao longo dos anos, provocando erosão na praia do Farol.....	68
<b>Figura 38</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Meireles.....	70
<b>Figura 39</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Meireles.....	71
<b>Figura 40</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iracema.....	73
<b>Figura 41</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia de Iracema.....	74
<b>Figura 42</b> – Destruição do calçadão da avenida Presidente Castelo Branco em decorrência da ação das ondas de ressaca.....	75
<b>Figura 43</b> – Estruturas de proteção de costa ao longo de todo o calçadão visando conter a ação da dinâmica costeira sobre as estruturas e casas.....	75
<b>Figura 44</b> – Estruturas de proteção de costa na praia de Iparana.....	76
<b>Figura 45</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iparana.....	77
<b>Figura 46</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia de Iparana.....	78
<b>Figura 47</b> – Desaparecimento da praia em decorrência da ação da erosão costeira.....	79
<b>Figura 48</b> – Efeitos da erosão costeira sobre a estética no litoral da praia do Pacheco.....	80
<b>Figura 49</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Pacheco.....	81
<b>Figura 50</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Pacheco.....	83
<b>Figura 51</b> – Destruição de casa provocada pela erosão costeira na praia do Icarai.....	84
<b>Figura 52</b> – Efeitos da erosão costeira sobre a paisagem natural.....	84
<b>Figura 53</b> – Destruição de estruturas e modificação da paisagem em decorrência da erosão costeira.....	85
<b>Figura 54</b> – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Icarai.....	85
<b>Figura 55</b> – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Icarai.....	86
<b>Figura 56</b> – Dinâmica da região litorânea do município de Fortaleza.....	89

- Figura 57** – Fotografia aérea da região do porto do Mucuripe para o ano de 1964 à esquerda e a direita a mesma área para o ano de 2004 mostrada através de uma imagem Quickbird. É possível observar através da região marcada em vermelho o aumento progressivo das taxas de sedimentação na porção interna do molhe provocado pelo efeito da difração das ondas. .... 90
- Figura 58** – A figura 58(a) mostra a região de Fortaleza com enfoque para a praia do Futuro para o ano de 1968 conforme pode ser visto na fotografia aérea. A figura 58 (b) mostra um extrato de um mosaico de imagens Quickbird para a mesma localidade no ano de 2004. É possível observar através da comparação da região delimitada em vermelho o desaparecimento da área ocupada anteriormente por um extenso campo de dunas em decorrência da expansão da cidade. A deriva eólica desse campo de dunas auxiliava no abastecimento sedimentar do litoral de Fortaleza. .... 91
- Figura 59** – Resumo dos resultados obtidos. .... 93
- Figura 60** – Efeito negativo provocado pela construção de espigões. (A) As casas 1 e 2, imprudentemente construídas sobre a duna frontal, são ameaçadas pelas ondas de ressacas, o que não ocorre com as casas 3 e 4 instaladas mais afastadas. (B) Para proteger as casas em perigo, decide-se ampliar a praia mediante a instalação de espigões (e). Os espigões alterando a deriva litorânea (dl) depositam o material de um lado mas provocam recuo de linha de costa ao lado oposto, colocando em risco as casas 3 e 4 antes protegidas (*Fonte: Manso, 2000*). .... 95
- Figura 61** – Efeitos do comportamento de um quebra-mar sobre o comportamento da morfologia da praia (*Fonte: Manso, 2000*). .... 96
- Figura 62** – Efeitos negativos da construção de um muro com enrocamento sobre a praia. (A) Situação inicial de uma praia e uma duna frontal em equilíbrio dinâmico. (B) Construção imprudente de uma casa sobre uma duna frontal para se encontrar o mais próximo possível da praia. (C) O destino de uma duna frontal é ser erodida pelas ressacas e restaurada durante os períodos de bom tempo. Para proteger a casa da ação destrutiva das ondas, constrói-se um muro de proteção. Impedindo a troca de material entre a duna e a praia, aumenta-se a turbulência da água de arrebatamento, provocando a perda de material e o conseqüente recesso da praia. (D) O muro de proteção será submetido ao impacto direto das ondas, o que leva à construção de um enrocamento e o conseqüente desaparecimento da praia (*Fonte: Manso, 2000*). .... 97
- Figura 63** – Exemplo de engorda artificial para execução de projeto de condomínio de luxo em Dubai – Emirados Árabes. .... 98
- Figura 64** - Engorda artificial na praia de Bairnsdale, Austrália ..... 99

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Valores encontrados para cada transecto na margem esquerda do rio Jaguaribe. ....	54
<b>Tabela 2</b> – Valores encontrados para cada transecto na margem direita do rio Jaguaribe. ....	55
<b>Tabela 3</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	63
<b>Tabela 4</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	67
<b>Tabela 5</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	71
<b>Tabela 6</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	74
<b>Tabela 7</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	78
<b>Tabela 8</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	82
<b>Tabela 9</b> – Valores encontrados para cada transecto .....	87

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	iv
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	4
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivos gerais.....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	6
3.1. Considerações gerais acerca da erosão costeira.....	6
3.1.1. Erosão costeira natural .....	7
3.1.2. Erosão costeira induzida por ação antrópica.....	7
3.2. Processos oriundos de mudanças climáticas globais.....	7
3.3. Flutuações no nível do mar .....	10
3.4. Linha de Costa .....	13
3.5. Sensoriamento Remoto .....	15
3.6. Satélites de sensoriamento remoto.....	18
3.6.1 LANDSAT .....	18
3.6.2 CBERS .....	20
3.6.3 QUICKBIRD .....	22
3.7. Fotografias aéreas.....	22
3.8. Análise das tendências de erosão costeira.....	23
3.8.1 Utilização de técnicas de geoprocessamento a partir de imagens multitemporais para a determinação da linha de costa.....	24
3.8.2 Utilização de perfis de praia.....	26
3.9. Zona Praial .....	27
3.10. Transporte de sedimentos.....	29
4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA .....	32
4.1. Parâmetros Climáticos .....	32
4.1.1 Zona de Convergência Intertropical - ZCIT.....	32
4.1.2 Temperatura .....	34
4.1.3 Pluviometria .....	35
4.1.4 Umidade relativa do ar.....	36
4.1.5 Insolação .....	37
4.1.6 Ventos .....	38
4.2. Parâmetros Oceanográficos.....	39
4.2.1 Ondas .....	40
4.2.2 Marés.....	41
4.2.3 Correntes marinhas .....	42
4.3. As ressacas periódicas do litoral cearense .....	42
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	44
5.1. Localização da Área.....	44
5.2. Etapa de Planejamento .....	45
5.2.1. Levantamento Bibliográfico.....	45
5.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI) .....	46
5.3. Etapa de execução .....	46
5.3.1 Delimitação da linha de costa .....	46
5.3.2. Escolha dos pontos de controle.....	47
5.3.3 Digital Shoreline Analysis System - DSAS.....	47

6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	50
6.1	Análise da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe.....	50
6.2	Análise da Praia da Caponga.....	59
6.3	Análise da região de Itarema.....	64
6.4	Análise da região costeira da cidade de Fortaleza .....	69
6.4.1	Praia do Meireles .....	69
6.4.2	Praia de Iracema .....	72
6.4.3	Praia de Iparana.....	76
6.4.4	Praia do Pacheco .....	79
6.4.5	Praia do Icaraí .....	83
6.4.6	Discussões acerca da região costeira de Fortaleza.....	88
6.5	Resumo dos resultados.....	93
6.6	Propostas de obras de defesa litorânea para a zona costeira do estado do Ceará..	93
7	CONCLUSÕES .....	100
8	RECOMENDAÇÕES .....	102
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

## 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.

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 do abastecimento sedimentar a montante do sistema (ex: a construção de barragens, a exploração de inertes fluviais e dragagens portuárias) e as que conduzem à degradação das estruturas defensivas naturais (como os campos dunares costeiros ou as barras arenosas submarinas). Em algumas localidades 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 (Dias *et al*, 2000).

Entretanto, além da influência pontual da intervenção humana sobre a zona costeira, impactos de maior porte como os oriundos dos processos de mudanças climáticas globais vem provocando alterações na atmosfera terrestre devido à crescente emissão de gases causadores do efeito estufa e aerossóis em decorrência da expansão industrial e da utilização de combustíveis fósseis nas últimas décadas (IPCC, 2005). Dentro do âmbito das ciências oceanográficas, uma das principais alterações no planeta advindas desse fenômeno é o crescente degelo das calotas glaciais o que vem a contribuir conseqüentemente com expressivas taxas de elevação média do nível dos mares e um aumento das taxas de recuo da linha de costa numa escala global, devido ao derretimento das mesmas.

Atualmente as alterações espaciais da linha de costa constituem-se um problema sério em todo o mundo, pois afeta praticamente todos os países com presença de litoral, podendo em alguns casos alcançar estágios bastante elevados. As repercussões 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 freqüente 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 sido 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).

O estado do Ceará em decorrência de sua grande extensão e da complexidade dos diferentes ecossistemas costeiros é muito sensível aos efeitos decorrentes das intervenções antrópicas e dos processos costeiros dinâmicos naturais destas áreas. No âmbito das atividades humanas, os principais impactos ambientais incluem os conflitos de usos de ocupação do solo destas regiões devido o alto interesse econômico e paisagístico destas áreas, os impactos decorrente das atividades portuárias e de obras de engenharia costeira, a alta densidade populacional de alguns municípios como Fortaleza, as grandes variações populacionais em épocas de veraneio, a dispersão de efluentes domésticos e industriais e problemas de variação de linha de costa.

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 às taxas de progradação e recuo no qual já se encontram submetidas. Este requerimento básico, uma vez logrado, permite prever o comportamento da costa, tanto em condições naturais como sob a influência humana.

Por isto, 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. 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 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 (Trebossen 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. Para 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.

## 1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O nível de ocupação do litoral do estado do Ceará com exceção de Fortaleza é muito baixo, aspecto esse que pode gerar estados diversos ao longo da zona costeira, os quais variam de tendências à erosão, passando por zonas em equilíbrio dinâmico, e outras que experimentam deposição. Estes estados são determinados pelo balanço sedimentar de cada célula.

Também se observa que o estado em que se encontra cada praia pode ser alterado de forma significativa a partir de uma intervenção antropogênica, a exemplo da região a oeste do porto do Mucuripe, onde o bloqueio exercido por esta estrutura tem alterado as características do transporte longitudinal que originalmente mantinha a praia em equilíbrio, causando como consequência a erosão de mais de 8 km de praias.

Desta forma o homem provoca erosão quando sua ação interfere nos processos costeiros naturais, alterando o fornecimento, transporte e deposição de sedimentos. Devemos ressaltar que as atividades que modificam o equilíbrio costeiro podem estar localizadas a distancias consideráveis da costa, a exemplo da alteração do sistema de drenagem, extração de areia e cascalho do leito de rios e, de maior importância, a construção de represas fluviais para o abastecimento das populações ou para irrigação.

Na costa, as principais atividades que interferem na dinâmica são a construção de obras em torno ou na praia, desmatamento, impermeabilização do solo, extração de areia e cascalhos, dragagens e, especificamente no litoral do Ceará, a ocupação das dunas que migram sobre os promontórios em direção as praias.

Neste trabalho, inicialmente serão quantificadas as taxas de progradação e erosão em alguns ambientes costeiros do estado do Ceará, explicando as origens e evolução da erosão dessas regiões, para introduzir as ações sobre a zona costeira como um produto do tipo de desenvolvimento aplicado. Ao final, foram formuladas sugestões que acreditamos ser as mais adequadas à correção dos problemas locais, sem, no entanto, comprometer ou agravar a morfodinâmica de áreas adjacentes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos gerais**

O presente trabalho tem como objetivo estudar a evolução da linha de costa em ambientes costeiros no estado do Ceará, visando contribuir com a geração de conhecimentos e informações necessárias à compreensão do meio físico, bem como a produção de metodologias que possam ser aplicadas no planejamento e gestão destas regiões.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinação das taxas de recuo e progradação de linha de costa verificada a partir da análise multitemporal de imagens de satélites e fotografias aéreas utilizando técnicas de geoprocessamento, considerando para efeito de análise as regiões que possuem tendências de erosão comprovadas através de trabalhos anteriores, incluindo o litoral de Fortaleza devido sua importância sócio-econômica.
- Validar o uso de técnicas de geoprocessamento, em escalas temporal e espacial, em pesquisas costeiras, visando contribuir no gerenciamento de áreas ocupadas pelo homem.
- Baseado nos dados analisados em gabinete e verificação *in loco*, traçar novos contatos entre as unidades, acrescentados às medidas e informações obtidas, corredores preferenciais de erosão, indicando taxas de erosão e progradação costeira, com as respectivas taxas anuais.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Considerações gerais acerca da erosão costeira**

Definir erosão no ambiente costeiro é difícil, pois estritamente falando em recuo e progradação tratamos das mudanças na posição da linha de costa e erosão e acreção referem-se às mudanças volumétricas na parte exposta da praia. O termo que melhor expressa erosão costeira seria "recuo da linha de costa" (Pilkey & Thieler 1992). Torna-se crucial, também, a distinção entre "erosão" e "problema erosivo". O primeiro termo constitui um importante processo na evolução das formas de relevo holocênicas, como estuários, lagunas, esporões, ilhas barreiras, entre outras, que têm, pelo menos em parte, sua origem relacionada com erosão, ou seja, constitui-se num fenômeno natural dos ecossistemas litorâneos. Um "problema erosivo" existe somente quando o processo atua em áreas ocupadas pelo homem, causando danos aos investimentos por ele efetuados na linha de costa.

O fenômeno de erosão torna-se um problema para o homem (risco natural) quando este constrói algum tipo de referencial fixo (estrada, prédio ou outro tipo de construção permanente) que se interpõe na trajetória de recuo da linha de costa. Deste modo o problema de erosão, conforme apontado por vários autores, é de certa maneira provocado pelo homem, pois se ninguém morasse próximo à linha de costa este problema não existiria (Dominguez, 1995).

Os estudos mostram que quando se examina em detalhe a evolução da zona costeira, nota-se que algumas regiões do Brasil, a exemplo da região nordeste, têm exibido uma tendência de longo prazo para recuo da linha de costa (erosão), atuando em escalas de tempo de alguns milhares a dezenas de milhares de anos, enquanto em outras regiões a tendência geral tem sido de acumulação de sedimentos e, portanto avanço da linha de costa mar adentro. Superpostas a estas tendências de longo prazo, existem fenômenos que atuam em escalas de tempo de décadas a séculos tais como: dinâmica de desembocaduras fluviais e canais de maré, captura de areia em pontais arenosos, atividade eólica etc. Fenômenos de mais alta frequência atuando em escalas de tempo de alguns dias a sazonal, tais como o avanço de frentes frias e as marés meteorológicas associadas, por sua vez ocorrem superpostas às tendências de médio prazo listadas acima. Todos estes fenômenos controlam a posição da linha de costa e sua compreensão, portanto é fundamental para entender o seu comportamento. Ainda assim, mesmo para aqueles trechos que estão experimentando recuo da linha de costa, este recuo não

será uniforme ao longo de um determinado trecho em função do estágio morfodinâmico, ou seja, o mesmo irá variar de acordo com estado morfodinâmico da praia (Maia, 2005).

Dessa maneira, a erosão costeira pode ser classificada em dois tipos principais: a erosão natural e a erosão induzida pelo homem (antrópica).

### **3.1.1.Erosão costeira natural**

Diversos condicionantes atuam ativamente nos processos de erosão nos ambientes litorâneos, tais como: as flutuações do nível do mar, as variáveis hidrodinâmicas (ondas, correntes e marés), a migração de sedimentos oriundos da deflação das regiões dunares e o transporte fluvial, sendo estes influenciados diretamente por variáveis climatológicas tais como o padrão dos ventos e/ou a precipitação.

### **3.1.2.Erosão costeira induzida por ação antrópica**

A erosão marinha na zona costeira é um problema que está associado à alteração no balanço sedimentar costeiro, podendo neste caso ser fortemente influenciado pela ocupação desordenada causada pela falta de um planejamento urbano. Outros fatores de ordem ambiental atuam fortemente para agravar este problema, dentre os quais, a devastação indiscriminada dos mangues e obras de engenharia. Estas últimas, quando executadas sem critérios globais, podem agravar ou provocar erosão nas áreas adjacentes (Cunha, 2005).

A construção de barragens ao longo dos rios além de reter grandes volumes de água, também atua de modo eficaz na captura de sedimentos, reduzindo conseqüentemente o fornecimento de material sólido para a zona costeira.

A exploração indiscriminada de areia de dunas, pós-praia e antepraia, para a construção civil e aterros, agrava seriamente o déficit de sedimentos nas praias e acelera seu processo de emagrecimento (Cunha, 2005).

As ocupações desordenadas da atividade humana sobre a zona costeira, impedem o transporte de sedimentos no domínio do litoral, que constituem importantes reservas de areia e funcionam como um anteparo contra a arrebentação das ondas mais fortes (ressacas) na praia.

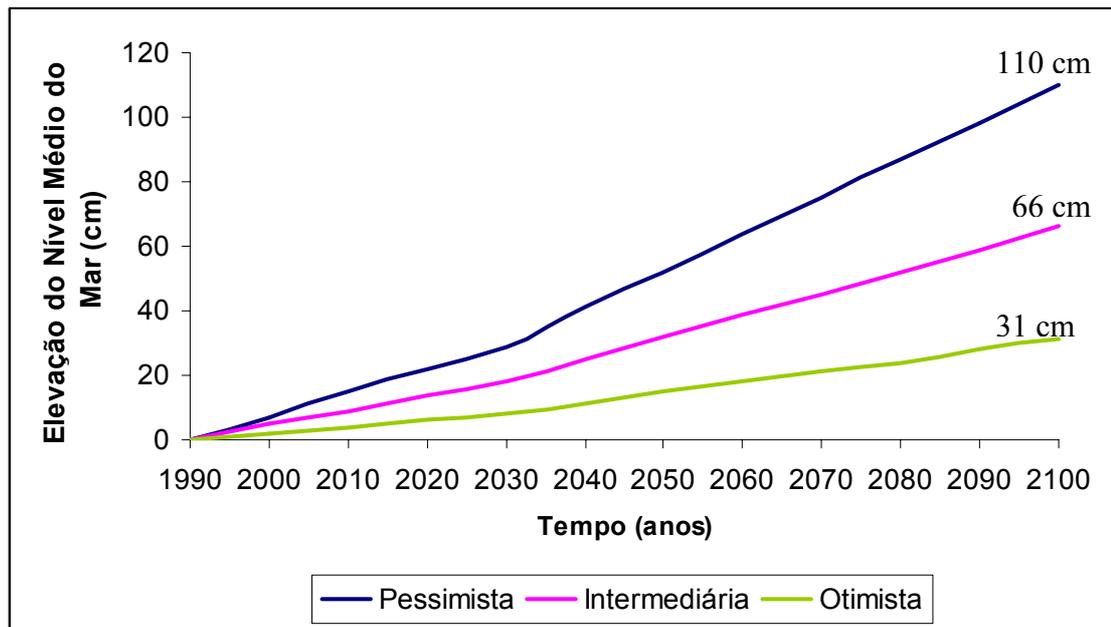
## **3.2. Processos oriundos de mudanças climáticas globais.**

O fenômeno do aquecimento global, causado pelo acúmulo excessivo de gases chamados do efeito estufa (notadamente o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, os clorofluorcarbonos, o metano etc.) na atmosfera do planeta oriundo das mais diversas atividades antrópicas, vem impedindo de forma crescente que os raios infravermelhos provenientes da energia solar sejam refletidos para o espaço, promovendo conseqüentemente a retenção dessa radiação aumentando assim o calor na atmosfera terrestre (IPCC, 2005).

Esse fenômeno constitui-se num problema global que já faz sentir seus efeitos. A acentuação do efeito do El Niño, catástrofes de grandes proporções, ondas de calor com milhares de mortos na Europa, desequilíbrio das chuvas, grandes enchentes e frio intenso em regiões onde o clima era mais ameno são efeitos já visíveis da grande modificação que o planeta está sofrendo (Harvell, 2002).

O aquecimento global, causador das mudanças climáticas atuais e futuras, traz uma série de situações que caracterizam vulnerabilidades para as populações. Constatou-se que as mudanças climáticas influirão na biodiversidade, na agricultura, nas mudanças ambientais, nos regimes hídricos e nas condições de saúde. As mudanças ambientais possíveis, além das já citadas, serão principalmente o derretimento das calotas polares, com aumento dos níveis do oceano (Figura 1) e conseqüente perda de regiões costeiras, com graves prejuízos ecológicos e econômicos.

Bessat (2003), baseado em modelos climáticos concebidos a partir dos gases de efeito estufa e aerossóis, identifica cinco tendências para o próximo século, que seriam as seguintes: aumento de 2,0°C na temperatura, em média, entre 1990 e 2100; elevação do nível do mar, de 0,50 a 0,80 m até 2.100, com desarranjo no modelo de circulação das correntes oceânicas; aumento da precipitação de inverno nas latitudes mais elevadas; intensificação do ciclo hidrológico (maior incidência de secas e inundações) e perturbações no ciclo do carbono.



**Figura 1** – Previsão de subida do nível médio do mar (*Fonte: IPCC, 1990*).

Com base nesses dados, Acot (2004) propôs duas hipóteses particularmente inquietantes: aumento da média térmica do globo de até 4,0°C até 2050, afetando mais o hemisfério norte, em virtude da inércia térmica do hemisfério sul, predominantemente oceânico e aumento de, até 1 metro, ou mais, no nível dos oceanos, no mesmo período. Sabendo-se que 80% da população do mundo habitam zonas costeiras, avalia-se o impacto de tal fenômeno.

A amplitude das conseqüências decorrentes desse fenômeno já está influenciando diretamente a dinâmica espacial da linha de costa promovendo tendências de erosão em vários locais do planeta e promovendo impactos ainda maiores (Figura 2) tais como: a destruição dos recursos paisagísticos do litoral, a salinização dos lençóis freáticos, a destruição de praias com potencialidades turísticas e a destruição de habitats de diversas espécies marinhas.

Nas últimas décadas a zona costeira vem sendo submetida a crescentes pressões antrópicas, uma vez que além de abrigar uma considerável parcela da população em suas adjacências, essas regiões alocam obras de engenharia costeira, empreendimentos de aquicultura, entretenimento dentre outras ações que afetam diretamente a dinâmica natural deste ecossistema. Em virtude desse panorama, a identificação dos impactos oriundos da ação da ação humana frente aos processos advindos de mudanças climáticas globais visando à qualificação e quantificação desses fatores ambientais torna-se uma tarefa que merece um alto nível de detalhamento.

Nesse âmbito ainda há muito a avançar, entretanto a elaboração de estudos de monitoramento das variações espaciais de linha de costa associados a estudos climatológicos e oceanográficos pode acenar para um novo panorama acerca do entendimento das ações globais sobre a zona costeira.



**Figura 2** – A destruição de estruturas e costas pela ação dinâmica dos oceanos será cada vez mais freqüente nos próximos anos em decorrência das alterações no clima. (Fonte: *European Sea Level Service*, 2007. <http://www.es seas.org/>)

### 3.3. Flutuações no nível do mar

Quando tratamos de estudos no âmbito da evolução costeira, normalmente, adotam-se duas escalas temporais distintas, uma de longo prazo onde os processos de conformação da costa estão associados às variações climáticas e flutuações do nível durante o Quaternário (escala de milênios), e a outra, de curto prazo (escala de anos), onde se estudam os processos dinâmicos que controlam a sua evolução atual.

Desse modo, faz-se possível estimar mediante a análise de eventos naturais ocorridos nos ecossistemas às tendências de evolução dos processos costeiros.

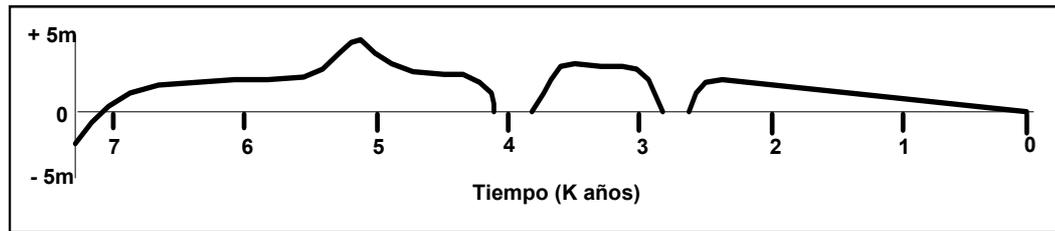
A reconstrução das flutuações do nível do mar na costa brasileira foi realizada em base a uma série de evidências sedimentológicas e paleoecológicas. As evidências sedimentológicas principais são duas gerações de terraços marinhos situados acima do nível

atual de deposição e por antigas gerações de beach rocks (arenitos de praia). As evidências ecológicas consistem de incrustação de vermitídios, conchas de ostras e ouriços encontrados em níveis mais elevados que seu habitat natural e que permitem uma boa reconstrução da antiga posição do nível do mar. Partindo destas evidências e associada ao estudo detalhado da geomorfologia costeira, foi determinada a evolução paleogeográfica da planície costeira e a reconstrução da curva de flutuação do nível do mar (Martin et al., 1979; Suguio et al., 1985; Dominguez et al., 1992).

Para a região leste do Brasil, foram identificados três níveis do mar acima do atual, denominadas por Bittencourt *et al.* (1979), como transgressão antiga (>120.000 anos), penúltima transgressão (= 120.000 anos) e última transgressão (5.000 anos). Os níveis marinhos anteriores a 120.000 anos, com registros nas planícies costeiras, não estão datados. Na transgressão de 120.000 anos, o nível relativo do mar alcançou entre +6 e +10 m, sendo sua idade determinada por datações de corais pelo método Io/U (Martin *et al.*, 1982). Na regressão subsequente, o nível do mar baixou até alcançar aproximadamente -110m, permanecendo neste patamar até 35.000 anos. O nível elevado mais recente apresenta uma melhor determinação, devido a grande quantidade de datações por radiocarbono (Suguio *et al.*, 1985). O máximo desta transgressão foi definido como de 5.100 anos B.P., com o nível relativo do mar alcançando entre 3 e 5 m acima do atual (Figura 3).

Vale ressaltar que a evolução paleogeográfica e a curva do nível do mar determinada foi validada para o trecho entre São Paulo e Pernambuco. Outra consideração está relacionada com a complexidade das interações entre o continente e o oceano, principalmente associada aos componentes locais (neotectônica, balanço sedimentar), que atribuem a este tipo de curva um caráter local ou regional.

Os diversos trabalhos sobre o litoral do Ceará evidenciam a presença de vários testemunhos das flutuações do nível do mar durante, principalmente os níveis mais elevados: a presença de terraços marinhos e paleofalésias (Andrade, 1986; Carvalho e Maia, 1990; Meireles, 1991), antigas linhas de beach rocks, paleolagunas e várias gerações de dunas (Maia et al., 1993;1998). Os testemunhos de níveis inferiores são mais difíceis de determinar devido a sua imersão, ainda que tenham sido identificados por geofísica marinha algumas evidências, como a presença de paleovales fluviais na plataforma continental (Maia, 1993; Freire et al., 1993), e flutuações no aporte de material detrítico para a base do talude continental (Tintelnot e Moraes, 1996).



**Figura 3** – Curva das flutuações do nível médio do mar para a costa leste do Brasil. (Fonte: *Martin et al, 1979*)

A situação atual e tendências do nível do mar vêm sendo estudadas através de medidas sistemáticas de marés que se iniciaram no Rio de Janeiro em 1905 e hoje se encontram sob administração da Diretoria Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN). Outros locais da costa têm estações permanentes de medições maregráficas que são mantidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. Do estudo destes registros foi possível determinar as diversas escalas de variação, desde horas até as tendências seculares (ZEE, 2005).

A variação horária do nível do mar é atribuída a variação da velocidade e direção do vento que acompanhada da variação na pressão atmosférica relacionada a passagem de frentes frias pode chegar a 2 metros, com valor diário se situando próximo de 70 cm, sobre o nível médio do mar, nas cidades litorâneas da região sudeste (ZEE, 2005).

A variabilidade sazonal do nível do mar é menor nos portos do sul do país, como em Imbituba (10 cm), e maior na região norte, onde são registrados valores de 20 cm para o porto de Belém. As variações observadas em Belém apresentam dois picos sazonais (março/abril; setembro/outubro) associado provavelmente às variações no fluxo fluvial do rio Amazonas. Na costa leste estas variações estão ligadas à radiação solar, precipitação e a predominância alternada de massas de água induzida pelo fenômeno da inversão termal que eventualmente ocorre nesta região. Outras variações sazonais com intervalos de 2.2 e 4.3, 6.3 e 2.1 anos foi inicialmente associado ao efeito El Nino e ultimamente relacionada às manchas solares e as precipitações no nordeste (Mesquita, 2000).

A tendência de maior período observado no nível médio do mar indica que a costa brasileira está submetida a uma taxa de elevação da ordem de 4 mm/ano ou 40 cm/século (Harari et al., 2000). Este valor que é apresentado para a costa brasileira trata-se da tendência geral registrada nos mareógrafos, embora localmente este valor possa apresentar diferenças significativas, como, por exemplo, no porto de Santos (10 cm/século). Para o estado do Ceará

não existem observações em longo prazo do nível médio do mar para que possa ser determinada uma tendência confiável, entretanto se considerarmos as tendências observadas em Recife (50 cm/século) e Belém (40 cm/século), poderemos interpolar valores entre 40 e 50 cm/século, o que corresponderia a uma elevação média de 0,45 cm/ano.

### **3.4. Linha de Costa**

O conceito de linha de costa é extremamente amplo, haja vista que sob o ponto de vista físico a linha de costa corresponde simplesmente à linha de interface entre a terra e a água.

Devemos entender a linha de costa como um limite móvel, cuja posição é variável a todas as escalas quer sejam espaciais ou 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.

Faz-se necessário ponderar por isso qual a referência adequada considerando, naturalmente, o rigor posicional pretendido. A definição da melhor referência para caracterizar a posição da linha de costa em áreas costeiras arenosas, tem incidido na utilização da “linha” que marca o limite atingido durante a preamar viva. Segundo Crowell (1991), este limite caracteriza-se por uma mudança nítida de tonalidade nas areias da praia, facilmente identificável nas fotografias aéreas e imagens de sensoriamento remoto (Figura 4).



**Figura 4** – A linha pontilhada em vermelho na imagem de satélite representa a delimitação de linha de costa segundo Crowell (1991).

Kraus & Rosati (1997), ainda subdividiram a localização da linha de costa considerando fatores climáticos e oceanográficos da seguinte forma:

- Linha Média das Preamares de Sizígia – relacionado com um datum maregráfico, correspondente à média de todas as situações de preamar viva que ocorreram num período de 19 anos.
- Linha de Preamar – Não corresponde a um datum altimétrico específico mas tipicamente baseada num dos seguintes critérios geomorfológicos: linha de berma, crista da praia, base de dunas ou de arribas.
- Fronteira Seco / Molhado – fortemente dependente da própria praia, nível do mar, ondulação, regime de vento, etc. Não relacionado com um datum vertical específico e derivado da diferenciação de tonalidades visíveis através das fotografias aéreas.
- Linha de Água – linha de contato entre a areia da praia e a água. Também não diz respeito a um datum vertical específico, mas está relacionada com uma fase da maré. É uma fronteira móvel e também se relacionado com a incidência da ondulação ou outro tipo de movimentos da água do mar junto à costa.

- Linha definida por dunas ou arribas – no caso dos cordões dunares deve ser interpretada como uma linha de preamar típica de uma praia estreita sem berma. Não se deve relacionar com um datum maregráfico, mas pode ser interpretada através da base ou no caso dos sectores de arriba através do topo.

Além destes critérios, existem elementos que dificultam a definição da posição da linha de costa, como: variações de longo prazo (cíclicas ou aleatórias), ou de curto prazo (relacionadas com episódios extremos). Os procedimentos de medição afetam sobretudo o rigor posicional bem como a própria interpretação geomorfológica ou visual que se faz dessas mesmas linhas. Existe uma variação entre os fatores relacionados com processos físicos ou características do local, oposto aos fatores decorrentes dos processos de medição e interpretação (Oliveira, 2005).

### **3.5. Sensoriamento Remoto**

Segundo Novo (1989), uma das definições de sensoriamento remoto é: “A utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles”.

Apesar de ser essencialmente um conceito ligado à física, sabemos que o Sensoriamento Remoto é resultado de estudos e avanços em diversas áreas (físico-química, geociências, computação, etc.) e que avança cada dia com o desenvolvimento dessas áreas e das tecnologias envolvidas (Duarte, 2005).

Souza (1996) afirma que se pode considerar que o início do conceito de sensoriamento está ligado às experiências de Newton, em 1822, quando este constatou que um raio luminoso (luz branca) decompunha-se num espectro de cores ao passar por um prisma. Há ainda autores que concordam que a origem do Sensoriamento Remoto está ligada ao desenvolvimento de sensores fotográficos, quando as fotografias aéreas eram tiradas por balões (1859), e mais tarde por aviões (1909).

De qualquer forma, foi a partir da decomposição da luz branca que muitos cientistas começaram a estudar o assunto e ampliar o que se conhece sobre a luz. Hoje se sabe que ela é, na verdade, uma composição de diferentes tipos de luz e ainda que cada cor do espectro decomposto apresenta uma temperatura e características diferentes.

Existem várias formas de se caracterizar sistemas de sensoriamento remoto. Podem ser discriminados quanto ao nível de aquisição (terrestre, aéreo e orbital), ou quanto ao processo de detecção (fotográfica ou eletrônica), por exemplo. A mais usual delas é dividindo-os em função do domínio espectral, ou seja, a porção do Espectro Eletromagnético (Figura 5) por ele

explorado (visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante ou termal, e microondas). Alguns sistemas, por operarem em mais de uma faixa espectral, recebem a denominação multiespectral, ou hiperespectral, em função do número de canais adotados, Silva (1995).

No processo de aquisição de informações por meio do sensoriamento remoto há duas fases importantes:

- **A aquisição de dados** — referente aos processos de detecção e registro de informação;
- **A fase de utilização e análise dos dados** — que compreende o tratamento e a extração de informação dos dados coletados.

A aquisição de dados de sensoriamento remoto é feita por meio de equipamentos eletrônicos denominados Sensores Remotos que detectam alvos na superfície terrestre através da radiação eletromagnética que cada objeto reflete, absorve e transmite.

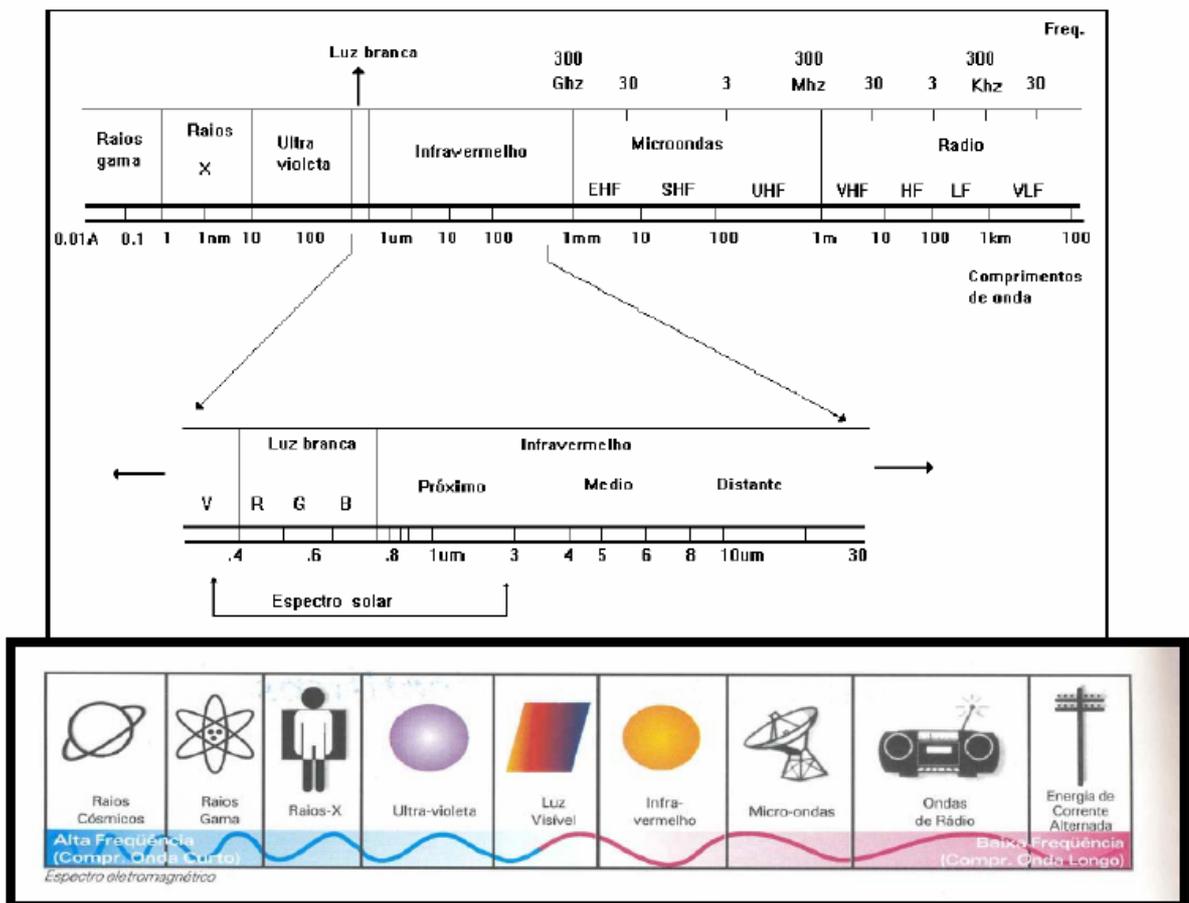


Figura 5 – Espectro eletromagnético (Fonte: Cabral, 2005).

Radiação eletromagnética é definida como sendo a forma de energia que se move na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas à velocidade da luz e que não necessita de um meio material para se propagar. A principal fonte natural de radiação eletromagnética utilizada no sensoriamento remoto é o sol. Os sistemas sensores captam a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos na superfície da Terra (Sausen, 2005).

Cada corpo possui um comportamento espectral distinto o qual é determinado quando sua energia refletida é medida ao longo do espectro eletromagnético. Esta variação de energia refletida pelos objetos pode ser representada por meio de curvas, chamadas de curvas espectrais, que representam o comportamento espectral de cada objeto. Assim, por exemplo, uma área de floresta apresenta uma radiação refletida e uma curva espectral diferente de uma área urbana, de um corpo d'água ou de uma área agrícola. Esta diferença na radiação refletida pelos objetos faz com que seja possível identificá-los e diferenciá-los nas imagens obtidas por sensores remotos (Sausen, 2005).

Os sensores remotos eletrônicos a bordo de satélites são equipamento que coletam a energia proveniente dos objetos na superfície da Terra e convertem em um sinal elétrico passível de ser registrado e transmitido por estações de recepção na Terra. Este sinal por sua vez é processado para gerar produtos digitais compatíveis à análise em computador. Já os sensores imageadores, que também estão a bordo dos satélites, são instrumentos que captam a radiação eletromagnética proveniente da superfície terrestre e geram imagens com diferentes resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas. Os sensores imageadores são um tipo de sensor de sistema de varredura que capta dados em diferentes faixas espectrais, tais como o sensor *Multispectral Thematic Mapper-TM* do satélite LANDSAT ou como a câmara CCD do CBERS, que obtém dados na região do visível e infravermelho (Sausen, 2005).

A resolução espacial de um sistema sensor se refere ao menor elemento ou superfície que pode ser distinguida por este sistema. Este tipo de resolução tem um papel importante na interpretação das imagens, porque nos dá o nível de detalhe das informações adquiridas pelo sensor. Atualmente existem sistemas sensores que obtém imagens com uma resolução espacial baixa como é o caso do AVHRR a bordo do satélite NOAA, cuja imagem tem uma resolução espacial de 1km, ou sistemas sensores que obtém imagens com alta resolução como o IKONOS, cujas imagens tem uma resolução espacial de 1m, ou mesmo o sistema sensor QUICKBIRD, que obtém imagens com alta resolução de 61 cm (Sausen, 2005).

As informações adquiridas pelo satélite são posteriormente retransmitidas para a Terra na forma de sinais eletrônicos. Esses sinais são captados por antenas parabólicas programadas para rastrear este tipo de satélite. Estes sinais serão então processados por computadores e

transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens e passados aos usuários, que serão utilizados, principalmente as imagens, no estudo dos recursos naturais e do meio-ambiente (Sausen, 2005).

### **3.6. Satélites de sensoriamento remoto**

#### **3.6.1 LANDSAT**

Para o estudo da evolução costeira foram utilizadas as imagens digitais multiespectrais do satélite Landsat 7 ETM+ na faixa espectral do visível-infravermelho (VISIR, com resolução espacial de 30 metros), e pancromática (PAN com resolução espacial de 15 m). As imagens foram selecionadas admitindo um baixo índice de nebulosidade e com datas de geração pelo satélite no ano mais antigo para que o estudo fosse mais representativo.

O Landsat 7 ETM+ (Figura 6) é o mais recente satélite em operação do programa Landsat, financiado pelo Governo Americano. Este satélite foi lançado em abril de 1999, com um sensor a bordo chamado de ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus – Mapeador Temático de Maior Realce). As imagens Landsat 7 ETM+ são compostas por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas formando diversas composições coloridas a fim de realçar as feições de interesse.

Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao seu antecessor o satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper – Mapeador Temático), destaca-se a banda espectral 8 (banda Pancromática) com resolução de 15 m (Figura 7), em perfeita sintonia com as demais bandas; melhorias nas características geométricas e radiométricas; e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m. Esses avanços tecnológicos permitem qualificar o LANDSAT 7 como sendo o satélite mais interessante para a geração de imagens com aplicações diretas até a escala 1:25.000. Com relação a outros sensores de média resolução (15 a 30 metros) o LANDSAT 7 ETM+ dispõe de imagens com melhor relação custo benefício dos dados gerados a partir delas por recobrir grandes áreas e oferece esses níveis de escala.



**Figura 6** – Imagem Landsat 7 ETM + para a região do porto do Mucuripe.



**Figura 7** – Banda 8 da Imagem Landsat 7 ETM + para a região do porto do Mucuripe, onde pode ser observada com maior facilidade as sinuosidades do contorno da linha de costa.

A banda 8 do satélite LANDSAT 7 ETM+, possui resolução geométrica pancromática, o que confere uma projeção espacial de 15 metros, permitindo uma melhor definição nos contornos das feições naturais apresentadas pela imagem. A utilização da banda 8 nos permite trabalhar numa escala mais favorável de precisão, visto que ao utilizarmos as demais bandas

do satélite, obtemos uma escala de 1:50.000 e ao utilizarmos a banda 8, a escala de mapeamento pode atingir valores em torno de 1:25.000.

### 3.6.2 CBERS

Desde o lançamento do primeiro satélite da série LANDSAT na década de 70 muito se evoluiu no desenvolvimento de tecnologias em sensoriamento remoto. Prova disso, é o lançamento de outros satélites, com características específicas visando atender a demanda a novas aplicações destes recursos, sendo todos estes novos sistemas de fundamental importância na observação da terra a partir do espaço.

Dentre estes, foram construídos e lançados dois satélites de observação denominados *CBERS: Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres ou China-Brazil Earth Resources Satellite*, a partir de negociações entre o governo brasileiro e chinês.

O primeiro satélite da série (CBERS-1) foi lançado em Outubro de 1999, e operou até Julho de 2003, quase dois anos a mais do que os dois anos de vida útil originalmente planejados. Segundo INPE(2006), o segundo satélite do programa (CBERS-2) é tecnicamente idêntico ao CBERS-1, e foi lançado com sucesso no dia 21 de Outubro de 2003, partindo do centro de lançamento de Taiwan na China.

Uma importante características do satélite CBERS (Figura 8) são as câmeras Wide Field Imager – WFI, High Resolution Camera – CCD e a Infrared Multispectral Scanner - IRMSS, que possibilitam diferentes resoluções de imagem para uma mesma cena em um mesmo período.



**Figura 8** – Imagem CBERS para a região do porto do Mucuripe.

A câmera WFI é dotada de 2 bandas espectrais, atuando no vermelho e no infravermelho, possibilitando a captura de imagens com resolução espacial de 260 metros. Moreira (2005) afirma que este sensor pode imagear uma área de até 890 km de largura, possibilitando deste modo uma cobertura completa do globo terrestre em 5 dias.

A câmera CCD possui 5 bandas espectrais, que opera no azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromático. Os resultados visuais provenientes deste sensor vem sendo amplamente utilizados em trabalhos científicos no Brasil, devido a possibilidade de geração de bandas multiespectrais coloridas com resolução espacial no nadir de até 20 metros.

O IRMSS é um sensor de varredura mecânica com 4 bandas espectrais: duas no infravermelho de ondas curtas, uma pancromática e uma na região do infravermelho termal, possui resolução espacial de 80m e na região termal este valor é de 160m (Epiphanyo, 2006).

Em setembro de 2007, foi lançado o satélite CBERS-2B. Este é o novo satélite Sino-Brasileiro que vai monitorar partes remotas da Amazônia, e foi lançado do centro aeroespacial de Taiyuan, no centro da China.

O satélite, que vai orbitar a 778 km de altura, possui três câmeras com resoluções e frequências diferentes para obtenção de dados. A câmera de amplitude de campo (WFI), que obtém imagens de vastas extensões

Segundo a direção do Inpe, o CBERS-2B garantirá que o fornecimento de imagens iniciado em 1999 com o CBERS-1 não seja interrompido. A vida útil projetada dos satélites

CBERS 1, 2 e 2B é de dois anos e a dos satélites CBERS 3 e 4 é de 3 anos. O lançamento do CBERS-3 está previsto para 2009, e o do CBERS-4, para 2011.

### 3.6.3 QUICKBIRD

O Quickbird (Figura 9) é um satélite de alta precisão que oferece imagens comerciais da superfície terrestre, tendo como alvo de utilização: o estudo de áreas verdes urbanas, o uso da terra, mapeamentos que exijam uma elevada acurácia e laudos referentes a questões ambientais.

O sistema é dotado por três bandas espectrais do campo visível, com resolução espacial de 2,6 metros e mais uma banda pancromática que reduz o tamanho do pixel (unidade mínima que compõe a imagem) para 0,6 metros no pancromático e 2,5 metros no multiespectral em um vasto campo de observação, apresenta rápida seleção de alvo e permite a geração de pares estereoscópicos, tendo frequência média de visita de 1 a 3,5 dias.



**Figura 9** – Imagem Quickbird para a região do aterro da praia de Iracema

### 3.7. Fotografias aéreas

O uso de fotografias aéreas vem sendo adotado há décadas em diferentes estudos, representando uma alternativa rápida e econômica para a obtenção de informações fundamentais no planejamento e gerenciamento ambiental (Figura 10).

As fotografias do terreno são obtidas através de câmeras fotográficas instaladas em aeronaves, com filmes variados que podem produzir fotos em branco e preto, coloridas, infravermelho e ultravioleta. Dependendo da posição do eixo da câmera em relação ao solo, podem ser verticais ou oblíquas. As fotografias aéreas convencionais, mais utilizadas e disponíveis, são em branco e preto e verticais (Barbosa, 1999).

Apresentam a vantagem da estereoscopia e a existência de produtos em escala de detalhe, sendo reconhecidamente uma das ferramentas mais úteis na análise da evolução de feições litorâneas. Além do mais, seu custo é relativamente menor que o das imagens de satélite e são mais fáceis de serem obtidas.

Sua desvantagem reside nas distorções das bordas das fotos, as quais modificam a geometria das feições litorâneas e dificultam a montagem de mosaicos.



**Figura 10** – Fotografia aérea da desembocadura do rio Jaguaribe para o ano de 1968.

### **3.8. Análise das tendências de erosão costeira**

Existem diversas metodologias empregadas para a determinação da variabilidade da linha de costa.

Alguns pesquisadores aprimoram e expandem seu conhecimento com relação à mobilidade da linha de costa através de indícios deixados por transgressões e regressões ao longo do tempo geológico, ou seja, apresentam estudos fundamentados em variações de longa escala. Outros enfatizam as variações de médio e curto prazo, observando as modificações

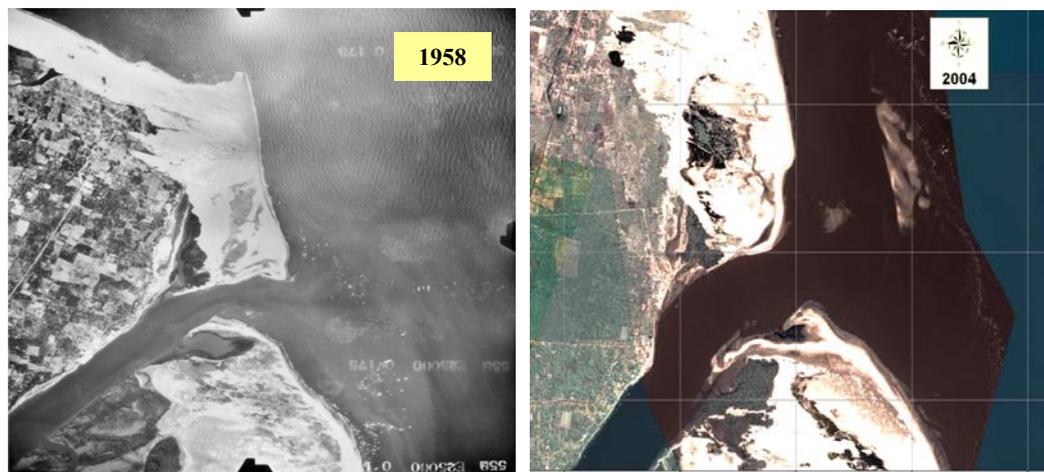
sazonais desenvolvidas pelo perfil praias durante um determinado período com base no clima de ondas da região, inclinação da linha de costa e outros fatores (Magalhães, 2000).

Recentemente, com o desenvolvimento das técnicas de computação aplicada, a utilização de séries temporais e adoção de geoprocessamento vêm sendo amplamente utilizada pela comunidade científica em virtude do alto grau de confiabilidade dos resultados obtidos e do baixo custo de elaboração dos trabalhos.

Todos os métodos são de grande valia, uma vez que todos têm como objetivo determinar as taxas de flutuações da região costeira sendo de fundamental importância um maior enfoque para as duas metodologias comumente adotadas.

### 3.8.1 Utilização de técnicas de geoprocessamento a partir de imagens multitemporais para a determinação da linha de costa.

A utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite desde o início tiveram forte aceitação por toda a comunidade científica, devido às potencialidades inerentes a uma imagem, que registra para um determinado momento e espaço as características geomorfológicas e físicas de uma região com elevada precisão (Figura 11). Este rigor necessário na determinação das taxas de recuo e posição da linha de costa é de vital importância no apoio à tomada de decisões principalmente, no que tange ao ordenamento do território das áreas costeiras diretamente relacionáveis com os processos que caracterizam a evolução destes ambientes.



**Figura 11** – À esquerda a fotografia aérea da desembocadura do rio Jaguaribe para o ano de 1958, enquanto que a direita temos o mesmo trecho para o ano de 2004 através de uma imagem Quickbird, evidenciando claramente as modificações morfológicas ocorridas em ambas as margens nessa região ao longo do tempo.

Vários autores (Weerakkody, 1988; Thieler & Danforth, 1994; Kraus *et al.*, 1997; Moore, 2000; Honeycutt *et al.*, 2001 e Farias & Maia, 2007) evidenciam as potencialidades da utilização de imagens multi-temporais, correlacionando as formas de relevo em áreas costeiras e sua posição geográfica com tendências de erosão.

O processamento digital de imagens consiste em melhorar o aspecto visual de feições estruturais para o analista, fornecendo outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos. A área de processamento digital de imagens tem atraído grande interesse nas últimas duas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais bidimensionais está permitindo uma gama de aplicações cada vez maior (Gonzalez; Woods, 2000).

No entanto, para caracterizar a variabilidade da posição da linha de costa, são precisos dados de base com potencialidades para fornecer informações confiáveis sobre a sua posição relativa num ponto geográfico, sendo fundamental a obtenção de pontos de controle em campo por meio de GPS além da utilização de um referencial cartográfico de base visando georeferenciar a imagem a ser utilizada. Haja vista que, apesar de disponíveis, essa fonte de informação possui erros inerentes ao equipamento além de deformações da imagem. São ainda apresentados, os erros relacionados com o processo e a resolução associada a essas medições, bem como a relação destes com a magnitude das alterações da linha de costa envolvidas.

Smith & Zarillo (1990), sugerem que a posição média da linha de costa identificada a partir de imagens pode nem sempre ser a mais adequada devido à flutuação do volume de sedimentos na praia, que se caracteriza por uma grande variabilidade temporal fruto da ocorrência de tempestades e do caráter sazonal da disponibilidade de sedimentos. Apresentam ainda um conjunto de erros de medição e precisão associados ao estudo de alterações da linha de costa a longo prazo. O resultado deste estudo sugere que as variações de curto prazo da linha de costa, são a maior fonte de erro no cálculo das alterações de posição da linha de costa em avaliações em longo prazo.

Devido à importância do emprego de produtos de sensoriamento remoto no estudo das mudanças históricas da linha de costa, pelo registro instantâneo de configurações litorâneas situadas em escala temporal, é cada vez maior o desenvolvimento de pacotes de software de extração automática dos dados referentes à posição da linha de costa, com base em mapas ou

fotografias aéreas conjugando o tratamento de imagens digitais com programas de vetorização e controle de campo.

Como exemplo disso, o DSAS (Thieler & Danforth, 2005), além de quantificar as variações da posição da linha de costa desenvolve um meio de analisar e quantificar as diferentes fontes de erro decorrentes do processo cartográfico, gerando o cálculo das taxas de recuo a partir de uma série de dados, também no mesmo tipo de ambientes, constituindo-se numa ferramenta efetiva e econômica na coleta de dados necessários para monitorar e modelar fenômenos costeiros, especialmente em países de grande extensão territorial, como o Brasil.

### **3.8.2 Utilização de perfis de praia**

A execução de perfis de praia é realizada com auxílio de levantamento topográfico, comumente utilizada para análise de variações de curto prazo da linha de costa.

Os perfis são realizados perpendiculares à linha de costa e executados durante um intervalo de tempo definido durante a baixa-mar das marés de sizígia, visando representar a variação morfológica-topográfica da área de interesse.

Uma vez definidas as estações de análise são realizadas leituras em intervalos de espaçamento homogêneo. A leitura com auxílio do nível topográfico prossegue até a linha de maré baixa e a partir desta, mais 10m em direção à antepraia (Figura 12). O nivelamento topográfico é realizado a partir de visadas na mira sobreposta à superfície do terreno.

Os níveis dos perfis são reduzidos ao zero hidrográfico estipulado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), e posteriormente tratados em planilhas aonde são desenvolvidos cálculos de correção para as oscilações das curvas harmônicas da maré.



**Figura 12** – Procedimento de campo para realização dos perfis de praia.  
(Fonte: Magalhães, 2000).

### 3.9. Zona Praial

As praias constituem sistemas dinâmicos, onde elementos básicos como ventos, água e areia interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos (Brown & McLachlan, 1990), e compreendem uma porção subaérea (supra e mediolitoral) e outra subaquática que inclui a zona de arrebenção e se estende até a base orbital das ondas (Wright & Short, 1983).

Neste sentido, quanto ao grau de susceptibilidade as variáveis dinâmicas naturais as praias podem ser identificadas desde muito expostas a muito protegidas, sendo a variabilidade física resultante da combinação de parâmetros básicos, como característica das ondas e granulometria do sedimento (McLachlan, 1990). Destes dependem a morfologia do fundo, o padrão de circulação e a dinâmica de correntes (Villwock, 1987).

O ambiente praial caracteriza-se por mudanças constantes, sendo dividido conforme a influência dos agentes modificadores (ondas e marés) que ali atuam ou do perfil sedimentar (Magalhães, 2000).

Considerando a influência da maré definem-se as seguintes zonas (Davis 1978 apud Magalhães, 2000):

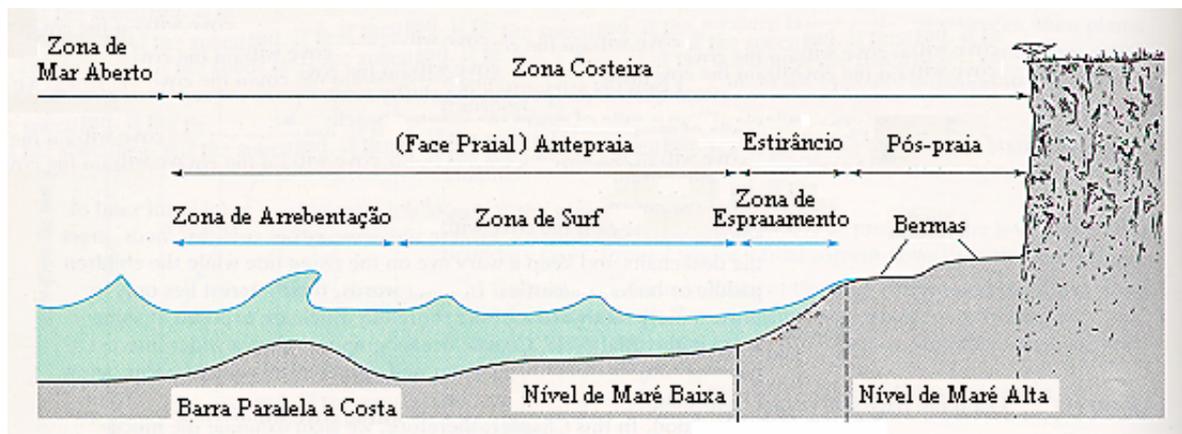
- Zona de pós-praia (Beachshore) - área acima da influência da maré alta e que só é alcançada pelas ondas de ressacas ou tempestade.
- Zona de estirâncio (Foreshore) – parte do litoral que é exposto durante a maré baixa e posteriormente coberto em maré alta, região de expressiva variação morfológica..

- Zona de antepraia (Nearshore) – parte da zona litorânea que está sempre coberta pelas águas.

Considerando a influência das ondas, as zonas descritas serão:

- Zona de arrebentação – local onde as ondas começam a ficar instáveis e quebram.
- Zona de surf – zona gerada pela quebra das ondas na zona de arrebentação;
- Zona de espraiamento – local de fluxo, refluxo e percolação das águas na praia.
- E por último, com referência ao perfil sedimentar teremos os seguintes elementos:
- Dunas e/ou falésias – situada no limite superior da pós-praia.
- Berma – porção sub-horizontal da pós-praia formada por deposição sedimentar efetuada pelas ondas.
- Face de praia – região de mergulho suave na praia localizada após a berma.
- Barras longitudinais – são formadas além da zona de quebra das ondas e são características da época de inverno.

A figura 13 denota todas as subdivisões ocorridas no ambiente praial.



**Figura 13** – Perfil praial e duas divisões (*Fonte: Brown et al. 1989*).

Quanto a morfodinâmica (Short & Wright, 1983) as praias podem ser classificadas em dois estados extremos: dissipativos e refletivos.

Nas praias dissipativas, as ondas quebram por deslizamento e continuam em ondulações através da zona de surfe, que é larga e tem uma inclinação ligeiramente uniforme e suave. Numa praia totalmente reflectiva, as ondas arrebentam por mergulho ou surgência, e a zona de surfe é estreita, de modo que, a quebra é imediatamente seguida por uma intensa onda de deslizamento. Um batente pronunciado é normalmente encontrado da base da íngreme face de praia, com a inclinação do fundo do mar aberto mais suave (USACE, 1992 apud Leal, 2003).

Os perfis de inverno (erosivo) e verão (acrescivo) podem, corresponder, respectivamente, a sistemas de praia dissipativa e reflectiva, mas as praias constituídas de sedimentos mais grosseiros podem sempre ser reflectivas, enquanto que as dissipativas são típicas de areias finas (Leal, 2003).

Uma das características mais importantes nas praias dissipativas é o fato da energia de todas as ondas que chegam serem dissipadas na antepraia. Por outro lado, numa praia reflectiva, uma grande parte da energia da onda é refletida para o mar depois da arrebentação e do espraiamento (Leal, 2003).

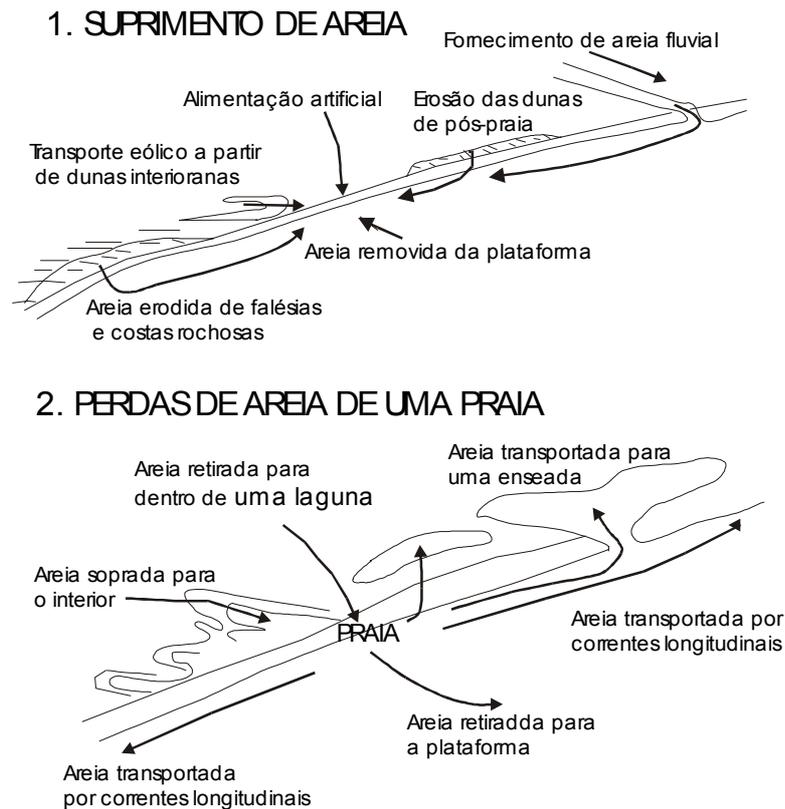
### **3.10. Transporte de sedimentos**

As alterações que aparecem ao longo das praias resultam da alteração do padrão de transporte de sedimentos, que interferem na manutenção ou não do seu estoque de sedimentos. O balanço sedimentar das praias dependem dos créditos favorecidos pela erosão de falésias, suprimento fluvial, suprimento pela deriva litorânea, suprimento eólico, suprimentos a partir da plataforma, deposição biogênica, deposição química e alimentação artificial de praia. Por outro lado, as perdas ou débitos são decorrentes da retirada de sedimentos pela deriva litorânea, transporte eólico, suprimentos para a plataforma, deposição em canyons submarinos, solução, abrasão e mineração (Figura 14).

O balanço sedimentar de uma unidade fisiográfica é definido através da quantificação das taxas de transporte, erosão e deposição. A partir desta avaliação podem ser identificadas as principais fontes e zonas de fugas de material e, por consequência, os processos sedimentares mais relevantes para a evolução da zona costeira.

O balanço sedimentar está composto por três elementos principais:

- a) Fontes, qualquer processo que aporte material para a costa.
- b) Sumidouros são os processos que subtraem material.
- c) Processos convectivos ou de transporte os que redistribuem o material.



**Figura 14** – Esquema de transporte de sedimentos.

As principais fontes naturais de material para a zona costeira são os rios, erosão das praias e falésias, aporte de material eólico nos promontórios, transporte transversal induzido pelas ondas na direção da praia e a produção de carbonatos; As fontes artificiais são principalmente as regenerações de praias. Os sumidouros naturais estão formados pela deflação eólica, transporte transversal para o mar, inlets, overwash e cânions submarinos; e os artificiais, a exploração do material das praias e dunas. O principal processo convectivo é o transporte longitudinal de sedimentos (deriva litorânea), aparecendo em segundo plano as correntes de maré, transporte eólico na direção da deriva litorânea e as correntes induzidas pelas ondas em águas profundas.

A avaliação do balanço sedimentar indica que os processos mais relevantes para o equilíbrio e evolução litorânea são o transporte longitudinal de sedimentos e o transporte eólico. O transporte longitudinal na maior parte da costa atua como um processo convectivo, erodindo e ao mesmo tempo depositando sedimentos, com exceção das praias com barreiras, onde atua como um processo erosivo. O transporte eólico atua como fonte na zona dos promontórios ou como sumidouro no restante das células costeiras.

Na análise dos processos costeiros de transporte de sedimentos serão abordados de forma seqüencial, utilizando os elementos principais do balanço sedimentar e que caracterizam os processos, em função de sua contribuição principal, como fontes, sumidouros e processos de transporte.

O estado do Ceará está submetido a influência dominante dos ventos alísios, com a variação anual apresentando um ciclo bem marcado e definido pela migração da zona de convergência intertropical. A velocidade média anual do vento é da ordem de 6,4 m/s, apresentando uma variação mensal entre 4,6 e 8,1 m/s; Os menores valores apresentam-se no período de fevereiro a maio e os maiores de agosto a novembro. A direção principal de aproximação é ESE, aparecendo secundariamente às direções SSE, E e ENE.

As características do vento com velocidades médias mensais superiores a velocidade crítica para o início de movimento dos sedimentos e com uma forte componente direcional, faz que o transporte eólico esteja praticamente presente durante todo o ano, sendo bem maior no segundo semestre e praticamente insignificante no primeiro e orientado na direção WNW. Esta resultante faz que, por um lado, exista um transporte resultante de material na maioria das praias para o interior e, por outro, que as dunas atuais migrem de SE para NW até alcançar os campos de paleodunas, estuários ou o mar por um sistema de *by-pass* sobre os promontórios, quando as areias são reincorporadas a dinâmica litorânea. Desta forma, o transporte eólico, na maior parte da zona costeira, atua como um sumidouro de sedimentos da praia e somente nas condições especiais encontradas a oeste dos promontórios atua como fonte de material para a deriva litorânea.

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 59, 51 e 79 m<sup>3</sup>/m.ano, respectivamente para as regiões de Iguape, Fortaleza e Pecém. Estas taxas foram definidas para as zonas de dunas, onde existe uma grande disponibilidade de material com condições adequadas a mobilização eólica. No caso dos perfis de praia, a disponibilidade não é 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.

## **4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA**

### **4.1. Parâmetros Climáticos**

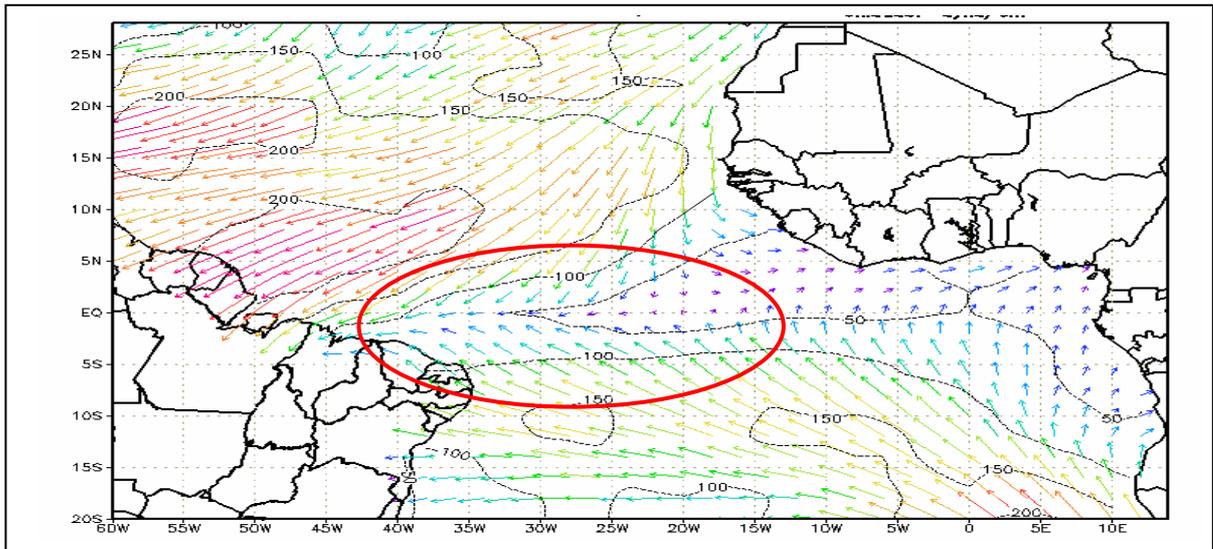
A região do nordeste do Brasil (NEB) é constituída por amplas planícies, (baixadas litorâneas), por vales baixos, geralmente inferiores a 500 m, entre superfícies que alcançam cotas de 800 - 1200 m (como Araripe e Diamantina). Toda esta região é caracterizada por um clima semi-árido (Bensi, 2006).

As condições climáticas da região estão relacionadas diretamente com indicadores meteorológicos definidos por direção e velocidade dos ventos, insolação, precipitação, umidade e temperatura atmosférica. A análise desses parâmetros foi importante para a composição da evolução paleogeográfica, pois estão associados diretamente com a remobilização das areias que originaram importantes depósitos geológicos, existentes ao longo da área em estudo.

A Região Nordeste Setentrional do Brasil, onde se localiza a região de estudo, é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta corresponde a uma grande região onde confluem os ventos alísios de nordeste e sudeste, e é caracterizada por uma intensa nebulosidade e baixa pressão atmosférica. Normalmente, a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, no atlântico, para posição mais ao sul, durante o verão austral (SEINFRA, 2003). Há outros sistemas de menor escala atuando nessa zona, a exemplo das linhas de instabilidade formadas ao longo da costa, as frentes frias e os efeitos de brisa marítima e terrestre que ocorrem de modo freqüente na zona litorânea. Esses fenômenos atuam em diferentes intervalos de tempo, eventualmente, podem ser sobrepostos.

#### **4.1.1 Zona de Convergência Intertropical - ZCIT**

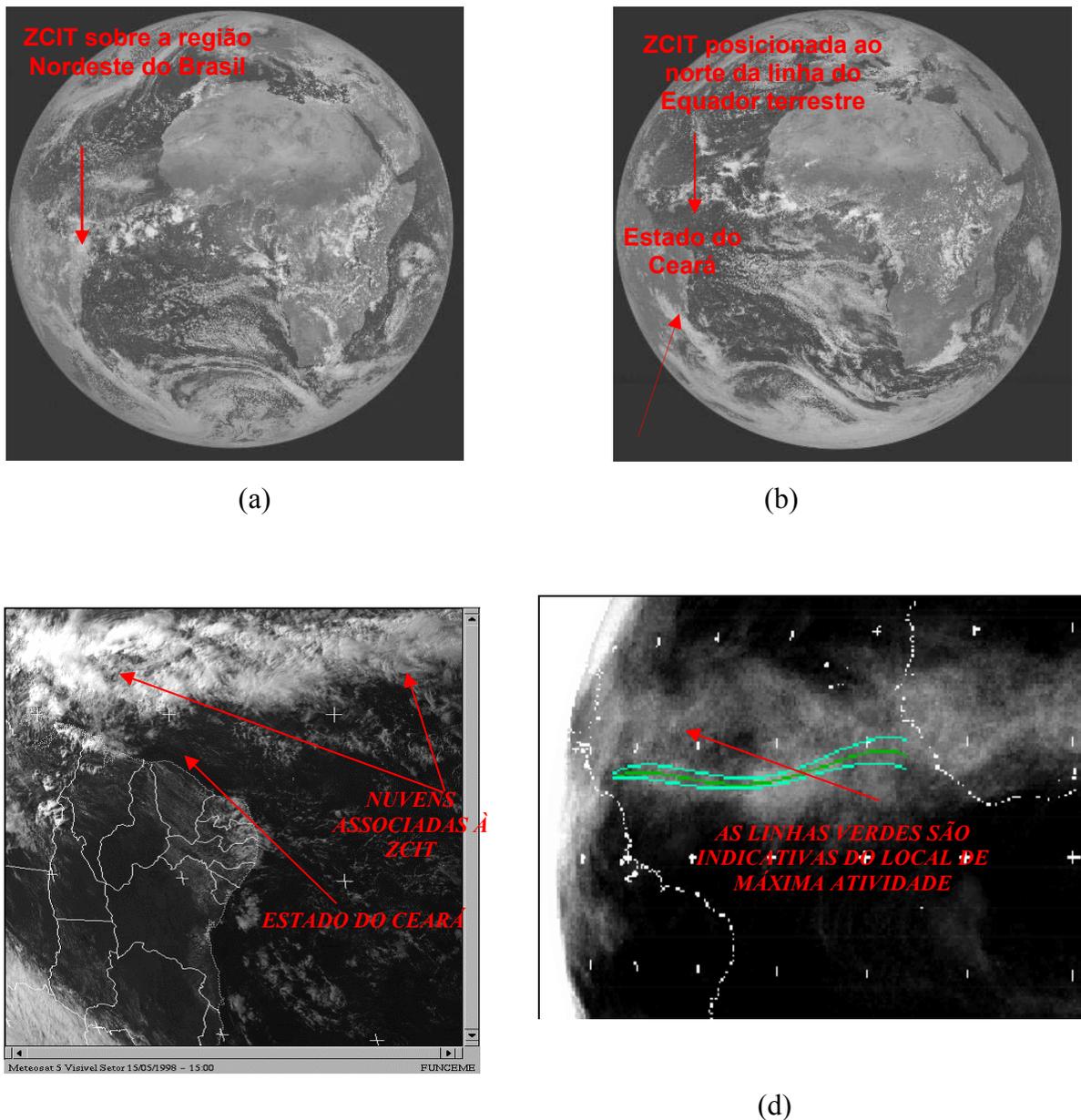
A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre (Figuras 15 e 16), formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixo pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação (FUNCEME, 1998).



**Figura 15** – Eixo de confluência (circundado em vermelho) dos ventos alísios de sudeste com nordeste – ZCIT. (Fonte: Apostila do curso de meteorologia da FUNCEME, 1998).

A ZCIT é o fator mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente ela migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14°N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2 a 4°S entre fevereiro a abril. Esse deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre essa bacia do oceano Atlântico Tropical, conforme já demonstrado em vários estudos (FUNCEME, 1998).

A ZCIT é mais significativa sobre os oceanos, e por isso, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade (FUNCEME, 1998).



**Figura 16** - Identificação da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT através das imagens do satélite METEOSAT-7, recebidas pela estação de recepção de dados de satélite da FUNCEME. (Figuras 16a e 16c) (canal visível – 21/03/2003 - 12:00 GMT) mostram a posição da ZCIT no mês de abril de 2003, período chuvoso da região Nordeste do Brasil, na qual o Ceará está inserido e Figuras 16b) (canal visível – 08/10/2003 - 12:00 GMT) e 16d) (canal infravermelho – composite de imagens) mostram a ZCIT no mês de outubro de 2003, fora do período chuvoso da região.

#### 4.1.2 Temperatura

Com base na análise das médias mensais de temperatura durante o período de 1974 a 2004 em Fortaleza, verificaram-se temperaturas mínimas entre os meses de junho e agosto e máximas entre outubro e fevereiro, coincidindo, respectivamente, com as quadras secas e

chuvosas o que caracteriza uma forte influência sazonal, desenvolvendo uma relação diretamente proporcional com as variações na pluviometria. As médias térmicas são de 26°C a 27°C, com máximas de 30°C e mínimas de 19°C, (FUNCEME, 2004).

O comportamento térmico do litoral do Estado pode ser considerado estável, apresentando variação temporal inexpressiva, sendo pois imperceptível em termos de variabilidade espacial.

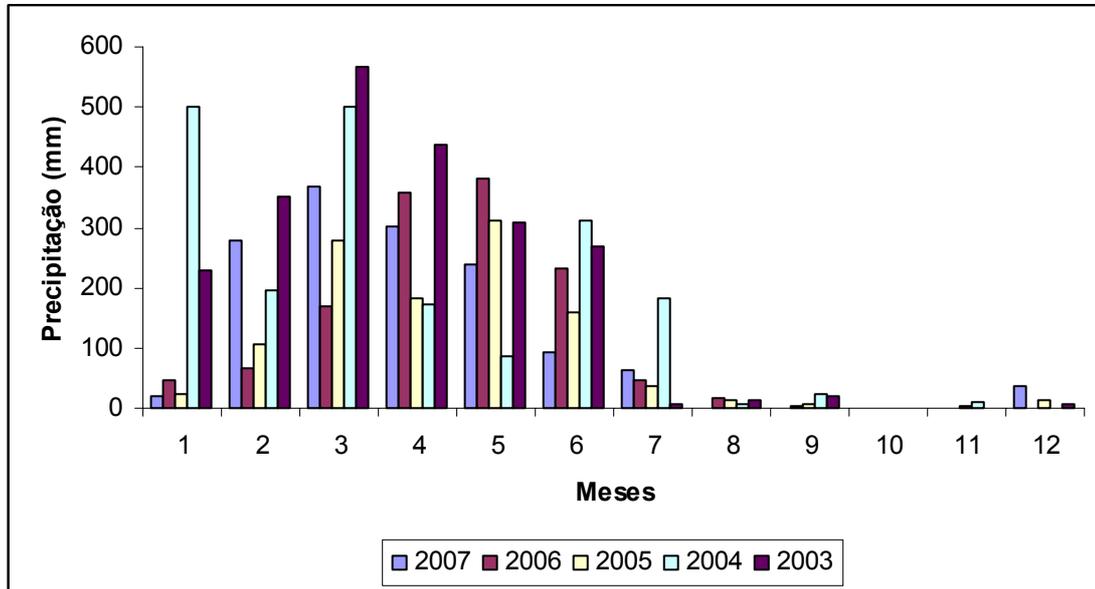
#### **4.1.3 Pluviometria**

O período chuvoso no litoral cearense pode ser assumido como climaticamente anômalo. Na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), esta anomalia climática é em grande parte explicada pela atuação dos sistemas geradores de precipitação, os quais não apresentam uma periodicidade de ocorrência bem definida (Geoconsult, 2004).

No Ceará, as chuvas mais significativas iniciam-se em dezembro de cada ano e podem estender-se até junho ou julho, dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes. As chuvas que acontecem em dezembro e janeiro são chamadas chuvas de pré-estação e ocorrem principalmente na região do Cariri, sendo influenciadas pela proximidade de frentes frias, que se posicionam sobre a Bahia, sul do Maranhão e Piauí neste período. Em fevereiro de cada ano inicia-se a chamada quadra chuvosa do Estado do Ceará, que se estende até maio. As chuvas nesse período são influenciadas pela presença da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, considerada o principal sistema ocasionador da pluviometria no norte do Nordeste. No período de fevereiro a maio outros sistemas atmosféricos atuam no sentido de contribuir ou inibir as chuvas, tais como: Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS; Frentes Frias - FF; Linhas de Instabilidade-LI; Sistemas Convectivos de Mesoescala-CCM e Oscilação 30 - 60 dias (OMJ). O Estado do Ceará também recebe chuvas de junho a agosto, ocasionadas por um sistema atmosférico denominado Ondas de Leste (OL). As chuvas da pré-estação e da estação chuvosa são influenciadas por condições oceânicas e atmosféricas locais e globais. Fenômenos como El Niño, La Niña, Temperatura do Atlântico Tropical, Ventos Alísios de Nordeste e de Sudeste, dentre outros, atuam contribuindo ou não para a formação de nuvens causadoras de chuva sobre o Estado do Ceará (Geoconsult, 2004).

A precipitação média para os últimos cinco anos (2003 a 2007) de medida na Estação Meteorológica de Fortaleza nesse período de observação foi da ordem de 1.141mm. A

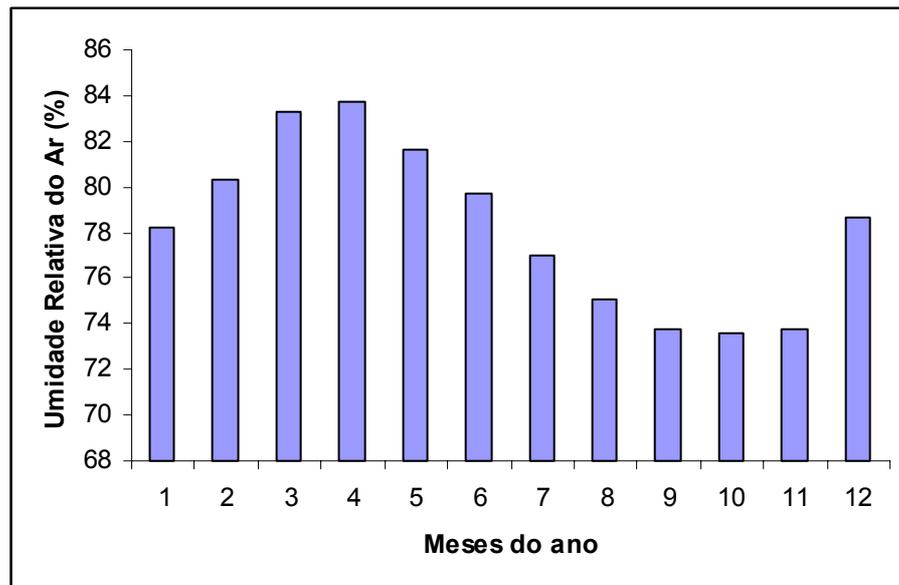
heterogeneidade da repartição temporal se constitui numa característica básica do regime pluviométrico da região, bem como de todo litoral nordestino (Figura 17).



**Figura 17** – Precipitação mensal para o intervalo dos anos 2003 a 2007, segundo dados da FUNCEME, 2007.

#### 4.1.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa de Fortaleza possui caráter mais significativo (em torno de 85%) entre os meses de Março a Abril, culminando com o período chuvoso para a região (Figura 18). Desse modo, temos que de modo similar ao regime pluviométrico a umidade relativa do ar aumenta gradativamente de Dezembro a Junho com valores mínimos entre Julho e Novembro (em torno de 70%).



**Figura 18** – Umidade relativa do ar média para o município de Fortaleza entre os anos de 1974 a 2003, segundo dados da FUNCEME.

#### 4.1.5 Insolação

A maior incidência desse parâmetro encontra-se compreendido entre julho e janeiro. Já a partir de fevereiro têm-se valores mínimos, que crescem continuamente até agosto, quando se equilibram e passam a decair. As maiores variações se dão, principalmente no mês de abril, onde os anos de menor taxa de insolação são superados em mais de 100% por outros.

Os valores médios da insolação para os meses de março e abril, que são os de maior pluviometria pela média histórica, são mínimos; ficando pouco acima de 150 horas, ao passo que os máximos da insolação, situados em agosto e outubro, centrados no período mais seco do ano, chegam a atingir quase 300 horas mensais.

Outra observação importante é um pequeno declínio nas horas mensais de setembro, e que pode ser correlacionado com as chamadas chuvas do caju. A partir de outubro, o declínio deve coincidir com a chegada dos primeiros fatores de chuvas, relacionados às deformações isobáricas associadas aos anticiclones do Atlântico que ocorrem naquele período. A insolação e a radiação solar apresentam altos índices condicionando elementos como temperatura, evaporação e luminosidade. Por conseguinte, influem diretamente nos vários ciclos ambientais, entre os quais o hidrológico.

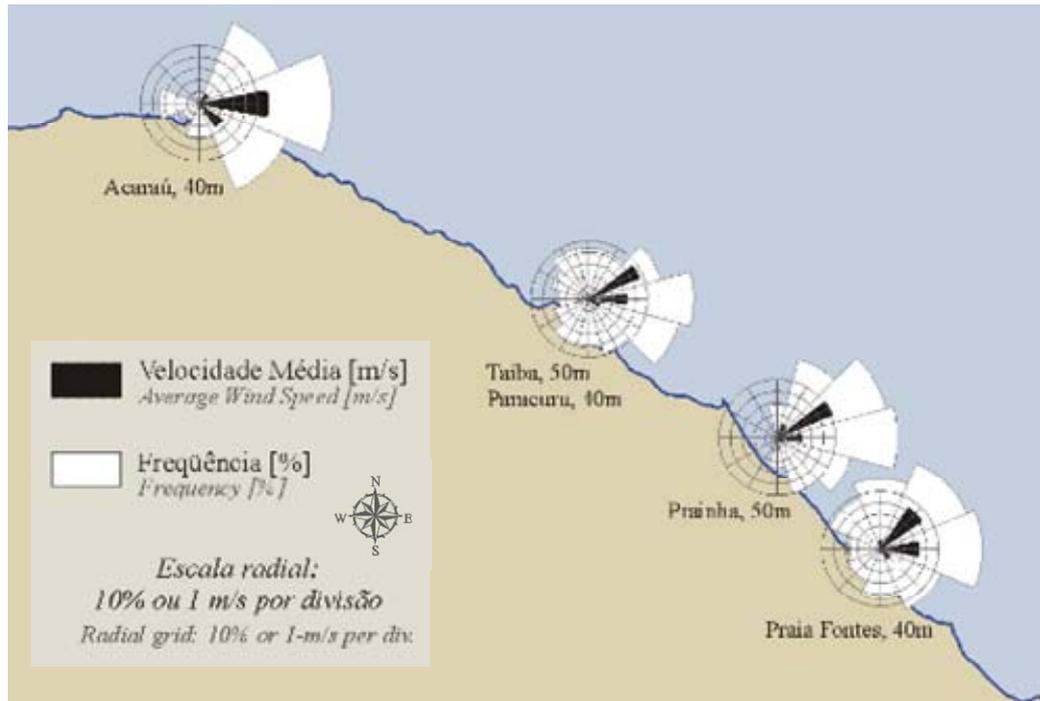
#### 4.1.6 Ventos

O local do projeto é caracterizado por um clima de ventos estável. A velocidade e as direções dos ventos são bastante constantes ao longo do ano e a direção principal do vento esta entre as diretrizes NE-SE, as velocidades mais freqüentes estão entre 6-9 m/s de ESE e normalmente caracterizam os meses de inverno austral, a partir de maio até dezembro (Bensi, 2006).

O posicionamento geográfico da zona costeira cearense sofre uma influência marcante dos ventos alísios, durante quase todo o ano, os quais alcançam uma velocidade média anual de 4,53 metros por segundo. É fato que estas condições mudam com a entrada da ZCIT, a qual dá início à estação chuvosa e, ocasionalmente, mudanças bruscas na direção dos ventos, que convergem em direção sudeste. As velocidades destes ventos crescem de julho a novembro, atingindo o máximo em setembro e diminuindo gradativamente até o mês de março. Além desses ventos sazonais, deve-se considerar de fundamental importância, os sistemas de brisas que atuam diariamente condicionando fortemente o clima local.

O vento é responsável pela geração de vagas na região, as quais têm um papel importante no balanço litorâneo de sedimentos. Além disso, a geração nas áreas rasas de correntes provocadas pelos ventos, e o transporte de sedimentos a elas associadas, podem ser importantes para o balanço anual de sedimentos (Bensi, 2006).

Segundo Seinfra (2001), os dados de vento utilizados pela análise prévia da área mostraram tendências homogêneas dos valores de medição, direção e intensidade. As rosas dos ventos obtidas baseadas em medições anemométricas, com valores expressos de velocidade e frequência é apresentada na figura 19.



**Figura 19** – Regime eólico para a zona costeira do estado do Ceará considerando frequência de ocorrência e velocidades médias anuais para as torres anemométricas em suas respectivas alturas de medida (40 e 50 m) (Fonte: SEINFRA, 2001).

#### 4.2. Parâmetros Oceanográficos

A dinâmica costeira condiciona a construção geomorfológica da linha da costa, sendo a principal responsável pelo desenvolvimento das praias arenosas e pelos processos de erosão e deposição que as mantêm em constante alteração, devido à atuação de todas as variáveis oceanográficas e climatológicas na modelagem do litoral. Estes agentes podem atuar em conjunto ou isoladamente para modelar o litoral. Segundo Leal (2003), estes condicionantes atuam preponderantemente na dinâmica do ambiente marinho.

Nesse âmbito, as praias constituem sistemas dinâmicos, onde elementos básicos como ventos, água e areia interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos (Brown et al, 1989), e compreendem uma porção subaérea (supra e mediolitoral) e outra subaquática que inclui a zona de arrebatção e se estende até a base orbital das ondas (Wright & Short, 1983), tendo como principais agentes modeladores o transporte de sedimentos, as ondas, as correntes e as marés.

### 4.2.1 Ondas

As ondas constituem perturbações que se movem sobre ou através de um meio. Estas perturbações podem estar relacionadas à forças periódicas, a exemplo as marés astronômicas, que apresentam períodos semelhantes àqueles das forças geradoras (Medeiros & Rollnic, 2004). Entretanto, a maioria das ondas resulta de perturbações de natureza não periódica, causadas por tempestades, por terremotos ou pela ação dos ventos, que tendem a deslocar partículas de água de uma posição de equilíbrio para de desequilíbrio. Contraopondo-se à essas perturbações, atuam as forças restauradoras, que tendem a retornar as partículas deslocadas às suas posições iniciais de equilíbrio. A atuação das forças perturbadora e restauradora, estabelece uma característica oscilatória do movimento das ondas, o qual na forma simples, é sinusoidal, sendo assim referido como um movimento harmônico simples. Nesse tipo de movimento, energia e momento são transferidos de um ponto a outro do meio, sem que haja transporte do mesmo (Medeiros & Rollnic, 2004).

A geometria e composição das praias são determinadas principalmente pelas ondas, uma vez que grande parte da energia gerada pelas ondas é descarregada na zona costeira, sendo a interação das ondas com a morfologia do fundo modificada à medida que as oscilações se aproximam da linha de costa.

Segundo Brown, et al (1988), as ondas são descritas com base em diversos parâmetros: a **altura**, que corresponde à distância vertical entre a **crista** (ponto mais alto) e o seu **vale** (ponto mais baixo); a **amplitude**, que corresponde à metade da altura da onda; o **comprimento**, que corresponde à distância entre dois pontos sucessivos semelhantes; o **período**, que corresponde ao intervalo decorrido entre a passagem sucessiva de dois pontos de mesma característica e a **frequência** que corresponde ao número de pontos de mesma característica que passam por um fixo dentro de um mesmo intervalo de tempo (Figura 20).



Figura 20 – Descrição de onda.

Estudos realizados por Ashton et al. (2001) indicaram que o balanço sedimentar da linha de costa se rompe quando o ângulo de incidência das ondas que chegam do mar aberto até a plataforma continental é maior do que aquele que maximiza o transporte longitudinal de

sedimentos. Se o litoral é sujeito a um ângulo de incidência das ondas muito elevado podem ocorrer importantes fenômenos erosivos. O estado da praia já afetada pelo fenômeno da erosão representa assim uma fase extremamente avançada da ação das ondas sobre a costa.

Apesar de fundamental para a compreensão do modelamento dos processos costeiros, a análise de séries multitemporais de imagens de satélite não permite conhecer qual o mecanismo desencadeador de cada processo erosivo ao longo da região em estudo a partir de dados de ondas, porém permite inferir uma análise detalhada dos resultados obtidos apoiadas em levantamentos pretéritos dessa condicionante física.

Para a região cearense Maia (1998) estudou uma seqüência de 4 anos de medições de ondas realizadas no porto do Mucuripe (Fortaleza), pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), com a utilização de uma bóia do tipo Waverider (Datawell), instalada a uma profundidade média de 16 m a leste do espigão da praia do Futuro em Fortaleza. Com os dados obtidos, determinou uma média de altura de onda de 1,15 m e moda de 1,14 m, apresentando período médio de onda mais freqüente de 5,70 segundos, associado a altura significativa, e média de 5,89 segundos.

Verificou também a existência de um forte controle das características das ondas pela velocidade e direção do vento, determinando um domínio das ondas de E, octantes ESE e ENE e, secundariamente de NE. Estas observações confirmam as conclusões de Moraes (1980) que verificou um predomínio das ondas do quadrante E-SE e uma ocorrência secundária de ondas de NE para a mesma região.

#### 4.2.2 Marés

As marés são definidas como ondas oceânicas caracterizadas por oscilações periódicas sobre um intervalo de tempo que pode variar em função da localização global. De maneira mais simples, podemos definir dois tipos de marés: *sizígia* onde são registradas as maiores amplitudes de maré, e *quadratura* a qual se dá o oposto da maré de sizígia. Estas variações são controladas pela conjunção astronômica entre a Terra, Lua e o Sol. Quando alinhados correspondem às luas Nova e Cheia das fases lunares, definindo então as marés de sizígia. Quando a Lua se posiciona em quadratura com a Terra e o Sol define-se a maré de quadratura durante as fases Quarto-Crescente e Minguante do ciclo lunar (Farias, 2005).

Fundamentalmente, existem três tipos de marés: diurnas, semi-diurnas e mistas.

As diurnas são caracterizadas por uma alta e uma baixa-mar nas 24 horas, as semidiurnas por duas altas e duas baixas nas 24 horas e com amplitude quase igual, e as mistas são marés com duas altas e duas baixas, mas de amplitudes diferentes ao longo do dia.

A ação das marés apresenta um papel relevante para os processos morfogenéticos desenvolvidos sobre a face litorânea, principalmente no sentido de ampliar a área de ataque das ondas, gerando correntes em estuários, canais lagunares e em águas rasas próximo à costa, além de apresentar importância para o transporte de sedimentos.

Em estudos mais recentes, Maia (1998), utilizando 14 registros analógicos mensais de marégrafo LNG-15 instalado no Porto do Mucuripe, caracterizou o regime de marés para a região cearense como de meso-marés e periodicidade semi-diurna.

### **4.2.3 Correntes marinhas**

As correntes marinhas constituem-se no fluxo das águas do mar, ordenadas ou não, decorrentes decorrentes da inércia da rotação do planeta, ocorrendo em diversas direções ao longo do globo. Possuem influência preponderante na pesca, no clima e na dinâmica sedimentar costeira.

A dinâmica das correntes para o litoral cearense, imposta pelos ventos alísios ocorrem com intensidade entre 0,15 e 0,28 m/s e tem uma direção resultante entre 230 a 280°, ou seja predominantemente no quadrante noroeste.

### **4.3. As ressacas periódicas do litoral cearense**

O clima de ondas definido para o litoral cearense apresenta uma forte sazonalidade. Entre os meses de dezembro a abril, com a migração da zona de convergência intertropical (ZCIT) para sul, os ventos dominantes são os alísios de nordeste provenientes do hemisfério norte e devido à extensão do fetch, as ondas alcançam à costa do Ceará completamente desenvolvida e na forma de Swell. As ressacas no estado do Ceará podem ser definidas com a chegada de ondas do Tipo Swell com alturas elevadas no nosso litoral (Maia, 2006).

Estas ondas formadas no hemisfério norte se propagam para água rasas, perdendo velocidade, mas em função da conservação da energia apresenta um aumento de sua altura, fenômeno denominado de shoaling. Por exemplo, um swell com altura de 3,5 m em águas profundas atinge a praia com 5,6 metros e devido a estas características arrebenta a uma profundidade de 6,7 metros. Desta forma, Para que ocorra a ressaca é necessária a conjunção da presença do Swell com marés mais importantes, que são as de sizígia (Maia, 2006).

A análise interanual mostrou, que apesar deste padrão bem marcado no comportamento das ondas, existem certas anomalias como a entrada de Swell em setembro-outubro e que podem estar associadas à passagem de furacões/tempestades no Caribe/EUA. Estas ondas são particularmente perigosas para as operações portuárias devido a sua direção de aproximação, com registros extremos de Noroeste, e neste caso, entrando francamente nas dársenas com perigo para as embarcações atracadas (Maia, 2006).

Na análise dos registros históricos das ondas observa-se que a maior ressaca registrada no nosso litoral (Figura 21), ocorreu no mês de outubro de 1999 e que na época tornou intrafegável a Av. Raimundo Girão. Neste evento, as ondas alcançaram períodos de até 20 segundos, 625 metros de comprimento, e altura de 2,80 m em águas profundas. Em relação aos swell com maiores alturas, os eventos ocorreram em novembro de 97 e janeiro de 99 com valores da ordem de 4,00 metros (Maia, 2006).

No restante do ano, com a migração da ZCIT para norte, os ventos dominantes passam a ser os alísios de sudeste, entretanto, devido à morfologia da costa com pouco espaço para o completo desenvolvimento das ondulações, as ondas atingem a costa na forma de Sea (Maia, 2006).



**Figura 21** – Ondas de ressaca na praia de Iracema.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em etapas de planejamento, execução e finalização. Dentro da fase de planejamento inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico detalhado das publicações mais relevantes acerca do tema em estudo, posteriormente as imagens digitais pertencentes ao acervo de geoprocessamento do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR foram levantadas e catalogadas por localidade e legendadas considerando para o presente trabalho as que ofereciam a acurácia necessária para o trabalho, para que deste modo fosse possível organizar um banco de informações que facilitasse a sistematização do trabalho. Essa etapa foi complementada pelos registros fotográficos obtidos em campo onde foi possível observar claramente as localidades que apresentam significativas taxas de erosão.

A determinação dos processos de erosão e deposição, bem como a análise das mudanças morfológicas foi obtida durante a etapa de execução. Nessa etapa inicialmente foi realizado o georreferenciamento por meio de aquisição de Pontos de Controle (PC) obtidos nas atividades de campo e das imagens multitemporais de sensoriamento remoto dos satélites da série Landsat, QuickBird e CBERS, bem como das fotografias aéreas. Feito isso, foram gerados shapefiles com o auxílio do software ArcMAP 9.0, para permitir o delineamento da linha de costa, e conseqüente sobreposição para obtenção das análises matemáticas obtidas através da extensão denominada *Digital Shoreline Analysis System – DSAS* que quantifica as possíveis taxas de recuo ao longo das áreas de estudo.

A fase de finalização corresponde à análise dos resultados obtidos por intermédio do DSAS, onde além da interpretação dos dados com base em trabalhos já publicados para estas áreas, foram também confeccionados gráficos e tabelas visando um melhor entendimento do trabalho.

### 5.1. Localização da Área

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

A zona costeira cearense tem como uma das principais características as distinções geomorfológicas observadas entre o litoral leste e oeste, sendo o divisor destas duas porções a capital cearense. O litoral oeste apresenta uma planície rasa caracterizada pela presença de dunas e vastas áreas de mangue enquanto à parte leste apresenta uma costa mais rochosa

caracterizada por um extenso tabuleiro costeiro que chega até a linha de costa com falésias e paleofalésias (Bensi, 2006).

A figura 22 apresenta destacada em tons de laranja as regiões contempladas pelo presente estudo. Foram selecionadas oito áreas para a utilização do DSAS, sendo estas: A praia do Farol no município de Itarema, as praias do Icaraí, 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.

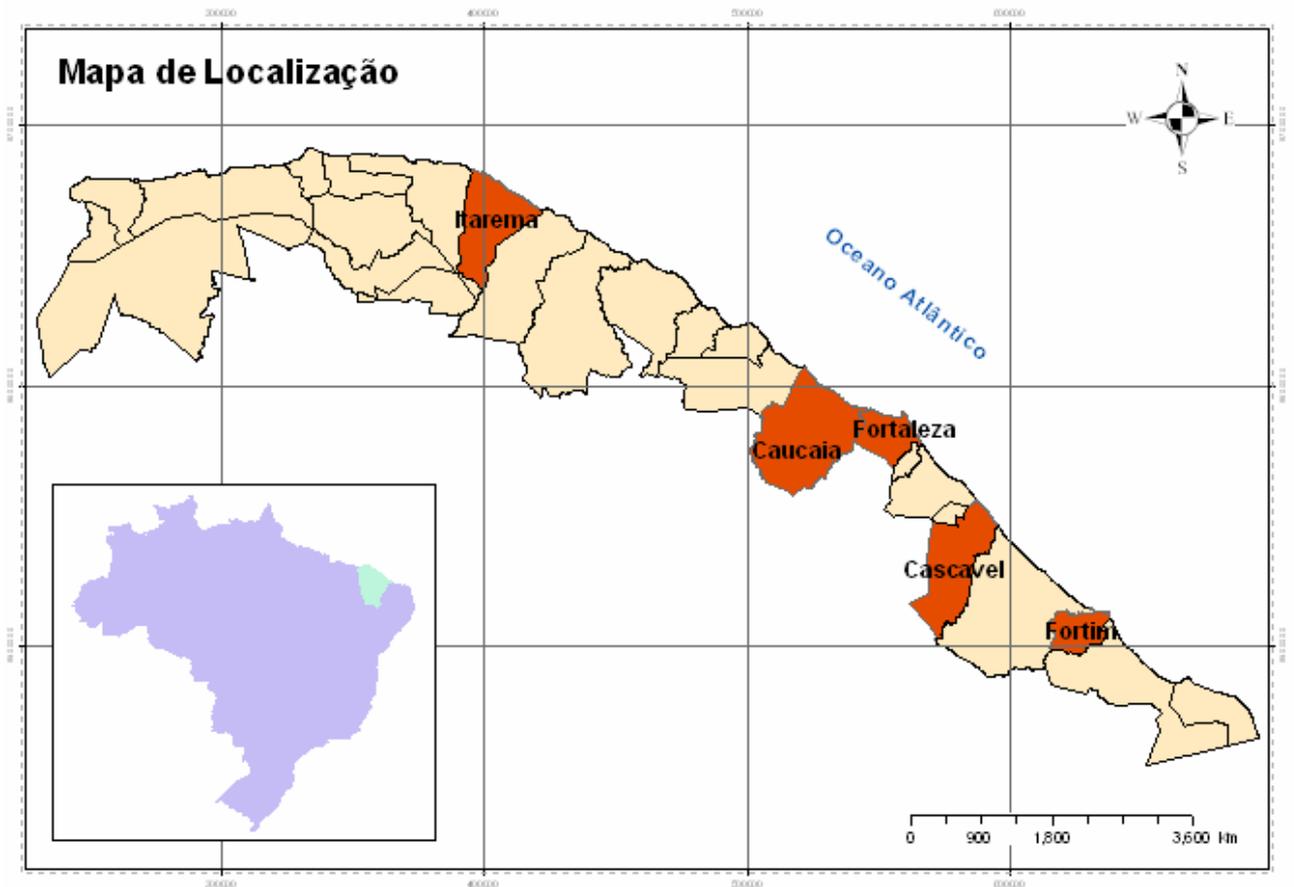


Figura 22 – Mapa de localização.

## 5.2. Etapa de Planejamento

### 5.2.1. Levantamento Bibliográfico

Inicialmente foi coletado o máximo de informações possíveis na literatura científica dos trabalhos realizados e apresentados nos últimos congressos, simpósios e seminários que se relacionassem com o tema proposto.

Nos trabalhos referendados deu-se uma maior ênfase aos que se reportam ao estudo da morfodinâmica praial, erosão costeira, sensoriamento remoto, geoprocessamento, flutuações do nível do mar e parâmetros hidrodinâmicos.

### **5.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI)**

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 se baseia na distinção de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua identificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel da imagem 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, georreferenciadas para o datum horizontal SAD 69 zona 24 Sul.

O processamento digital inicial das imagens de sensoriamento remoto foi realizado no software ENVI 3.5 e posteriormente, as imagens foram integradas e georreferenciadas utilizando o software ArcGIS 9.0.

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

## **5.3 Etapa de execução**

### **5.3.1 Delimitação da linha de costa**

Foi delimitada através da extração automática dos dados referentes à identificação de linha de costa, com base nas imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas segundo, pretendendo deste modo, além de quantificar as variações da posição da linha de costa desenvolver um meio de analisar e quantificar as diferentes fontes de erro decorrentes do processo cartográfico a partir de uma série multitemporal de dados em ambiente SIG.

### 5.3.2. Escolha dos pontos de controle

A escolha de pontos de controle corresponde a uma importante etapa do trabalho, uma vez que a partir destes é realizada a retificação geográfica das imagens e fotografias aéreas a serem utilizadas. Deste modo, o rigor aplicado para extrair das imagens à linha de costa é diretamente dependente da acurácia aplicada na identificação dos pontos de controle.

Estes pontos devem ser facilmente identificáveis nas imagens, de modo a garantir uma margem de segurança considerável em função das taxas de erosão e progressão da região em estudo.

Para as áreas caracterizadas por elevadas taxas de erosão, os pontos de controle devem estar localizados em áreas mais afastadas da litoral uma vez que em futuros monitorados regiões anteriormente encontradas ao longo da costa podem ter sido destruídas pela ação do mar.

Oliveira (2005) estudando as taxas de erosão na costa de Algarve definiu que a escolha dos pontos de controle deve ter como principais pressupostos:

- Fácil identificação, quer nas imagens utilizadas quer no terreno
- Presença de contornos bem definidos a fim de serem previamente definidos em gabinete.
- Se encontrar uniformemente distribuídos e em quantidade adequada na imagem.

Desta forma, os pontos escolhidos corresponderam a estruturas, que não fossem susceptíveis a alterações físicas ao longo do tempo, tais como: esquinas de muro, extremidades de telhados, cruzamento entre avenidas etc.

### 5.3.3 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 então, 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, 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 (2005) comenta que a maior vantagem do EPR é sua facilidade de 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. Mas isso não descaracteriza os resultados.

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, 2005). Devido esse fato, o método JKR foi incluído nos resultados com o objetivo de mostrar tendências de erosão e/ou deposição semelhantes ao EPR e ao LRR, sendo seus resultados mensurados 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 shoreline. É um método que utiliza conceitos estatísticos aceitados aonde todos os transectos são considerados para efeito de cálculo.

A intenção de usar os três métodos estatísticos citados é de 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.

Os valores negativos apresentados pelo DSAS representam as áreas onde pôde ser constatados índices de erosão, enquanto que os valores positivos denotam tendências de deposição nas regiões estudadas.

Inicialmente, as imagens de sensoriamento remoto e as fotografias aéreas foram georreferenciadas em ambiente SIG a partir dos pontos de controle, onde por sua vez foram definidas para a projeção *Datum SAD 69 – Zona 24S*.

Utilizando o *software* ArcMap 9.0 as linhas de costa foram vetorizadas em formato shapefile. Para este formato, também foi adquirida uma linha de base e foi criada uma base de dados geográficos (Geodatabase). A determinação da variação da linha de costa é então obtida através de transectos perpendiculares a partir das linhas de costa das séries multitemporais geradas pelo *DSAS 3.2*, pressupondo como referência uma linha de base que pode ser *onshore* ou *offshore* conforme previamente estabelecida pelo usuário, para dessa forma estabelecer um ponto fixo para calcular as taxas de evolução da linha de costa com relação a um ponto geográfico conhecido.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O presente estudo contemplou 8 áreas para a análise utilizando técnicas de geoprocessamento, considerando para escolha dessas regiões o nível de resolução das imagens e fotografias aéreas do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR.

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.

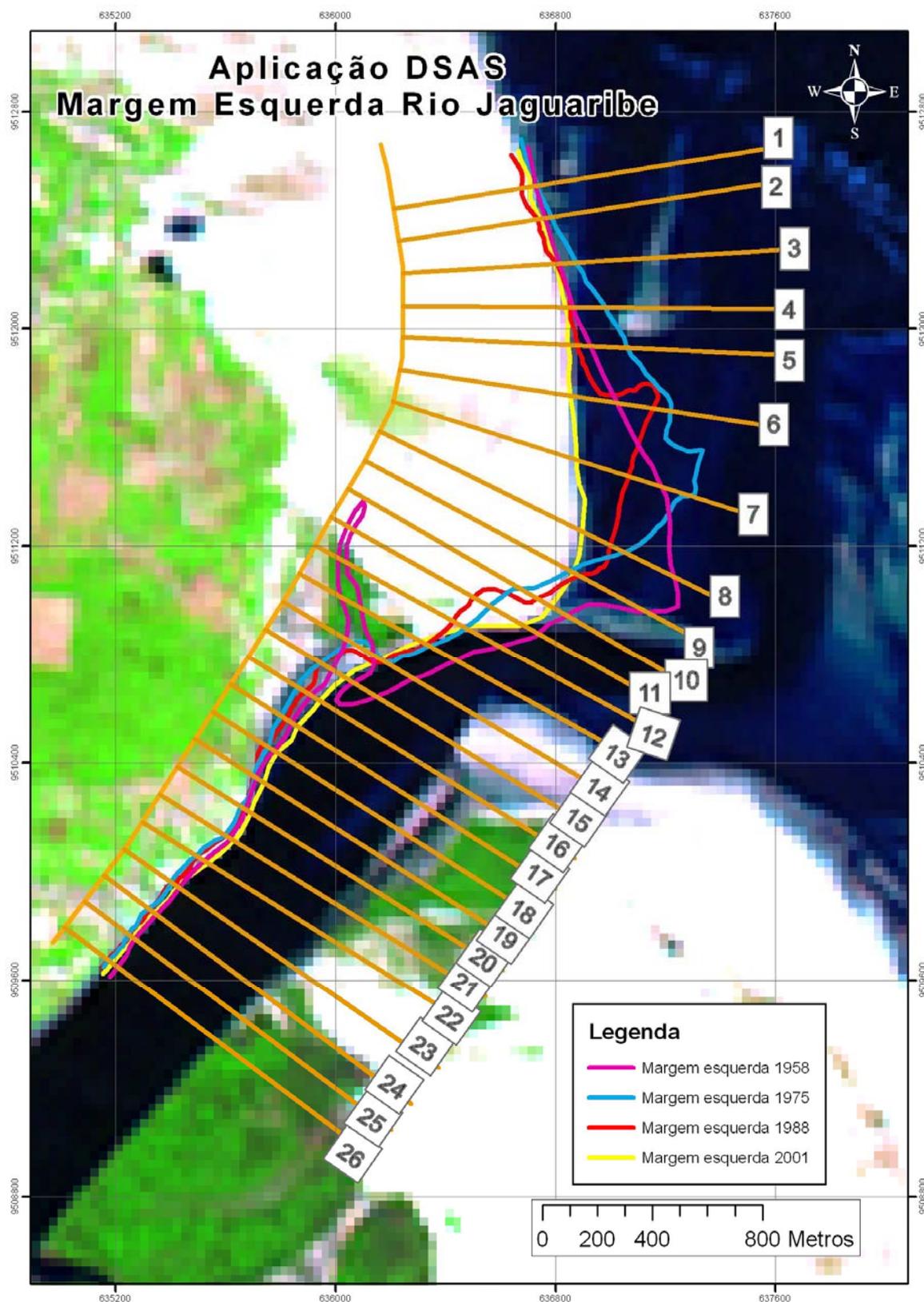
Todas as áreas foram escolhidas tomando por base o histórico de erosão nessas regiões através de trabalhos anteriores (Morais, 1980; Pitombeira, 1995; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Moraes & Pinheiro, 2000; Leal, 2003; Bensi, 2006 e Farias, 2007). Apesar de notadamente todas apresentarem uma forte tendência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

### **6.1 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 de desembocadura de rios. Nesse âmbito, a ferramenta DSAS foi aplicada visando à análise das variações morfológicas das margens esquerda e direita na 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 encontra-se inserida a área.

Foram gerados 26 transectos perpendiculares na margem esquerda e 41 transectos perpendiculares para a margem direita, enumerados conforme pode ser observado nas figuras 23 e 24. 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.



**Figura 23** – Aplicação da ferramenta DSAS na margem esquerda do rio Jaguaribe, a numeração indica cada transecto.

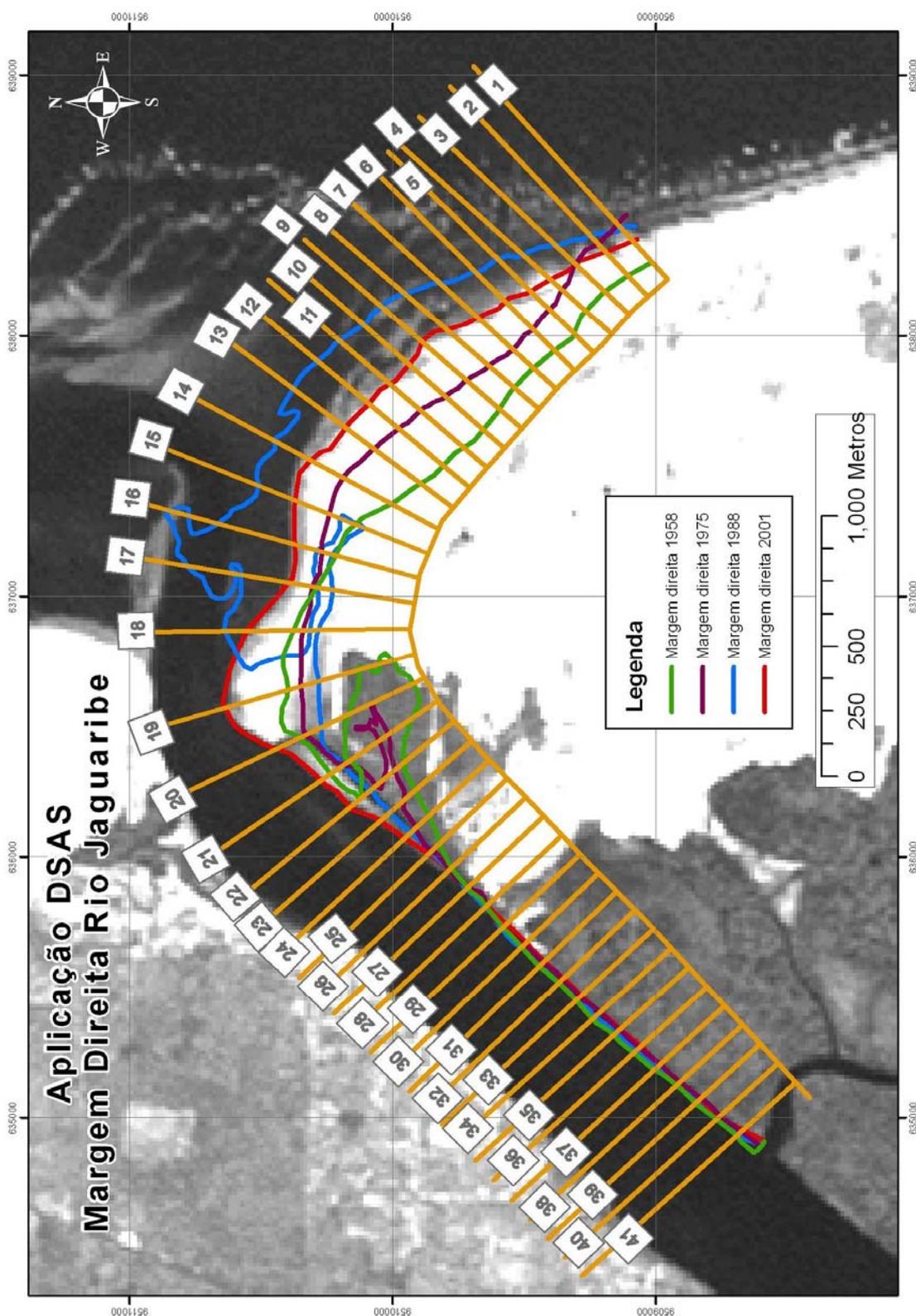
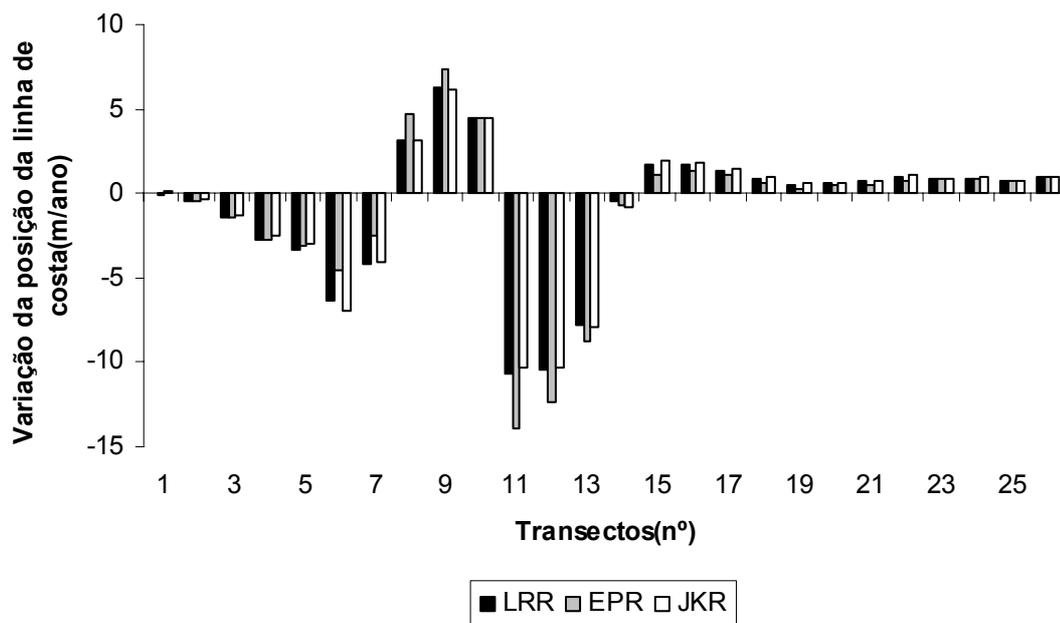


Figura 24 – Aplicação da ferramenta DSAS na margem direita do rio Jaguaribe, a numeração indica cada transecto.

A variação da morfologia da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe para o intervalo de 43 anos (1958 a 2001) indica uma média geral de recuo da linha de costa da margem esquerda de -0,83 m/ano, enquanto a margem direita apresentou uma taxa de deposição média na ordem de 0,77 m/ano. Essa tendência erosiva observada para a margem esquerda apresenta-se de forma variada ao longo do trecho estudado (Figura 25 e Tabela 1) em consequência a uma junção de fatores hidrodinâmicos, antrópicos e geomorfológicos.

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.



**Figura 25** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos para a margem esquerda do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior.

**Tabela 1** – Valores encontrados para cada transecto na margem esquerda do rio Jaguaribe.

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	0.0	-0.1	0.2
2	-0.5	-0.5	-0.3
3	-1.4	-1.4	-1.3
4	-2.7	-2.7	-2.5
5	-3.3	-3.1	-3.0
6	-6.4	-4.6	-6.9
7	-4.2	-2.6	-4.1
8	3.2	4.8	3.1
9	6.3	7.3	6.2
10	4.5	4.5	4.5
11	-10.7	-13.9	-10.3
12	-10.4	-12.3	-10.4
13	-7.8	-8.7	-7.9
14	-0.5	-0.7	-0.8
15	1.8	1.1	2.0
16	1.7	1.4	1.8
17	1.3	1.1	1.4
18	0.9	0.6	1.0
19	0.5	0.2	0.6
20	0.6	0.5	0.7
21	0.7	0.6	0.8
22	1.0	0.8	1.1
23	0.9	0.8	0.9
24	0.9	0.8	1.0
25	0.7	0.7	0.8
26	1.0	1.0	1.0

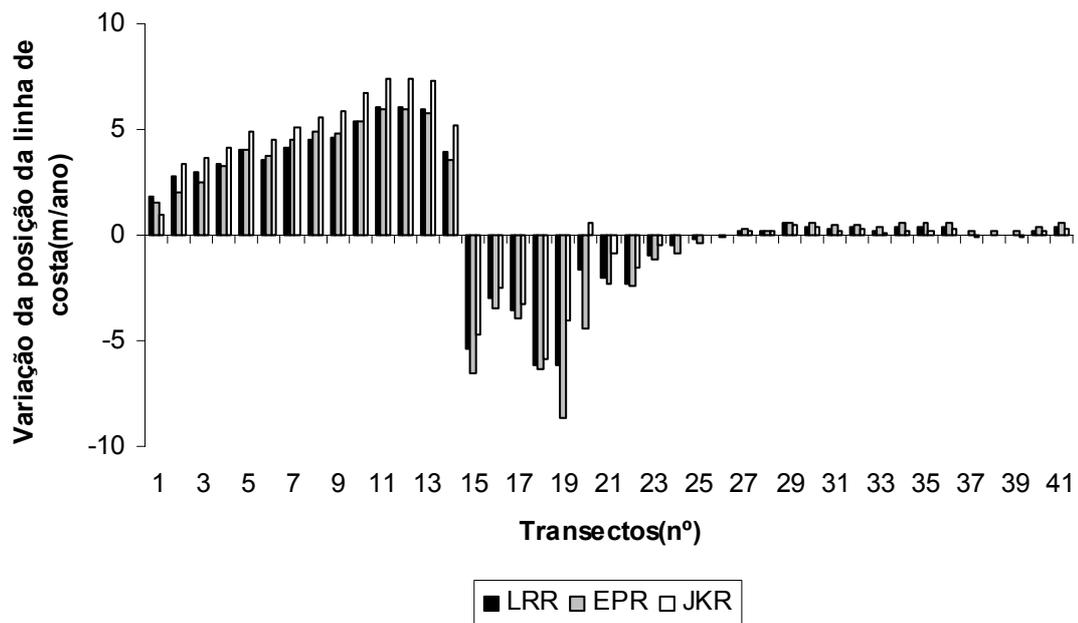
As maiores tendências de erosão para a margem esquerda ocorreram na desembocadura, onde pode ser constatada uma taxa média de erosão de -0.9 m/ano, havendo entretanto valores máximos na ordem de -10,7m/ano.

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

A margem direita do rio Jaguaribe, entretanto apresentou uma forte tendência de deposição na região da desembocadura (Figuras 26 e 27) 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 -6.1 m/ano, ou seja, sem a mesma representatividade da margem esquerda (Tabela 2).

**Tabela 2** – Valores encontrados para cada transecto na margem direita do rio Jaguaribe.

Transectos (n°)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	1.8	1.6	1.0
2	2.8	2.0	3.4
3	3.0	2.5	3.7
4	3.4	3.3	4.1
5	4.0	4.1	4.9
6	3.6	3.8	4.5
7	4.2	4.5	5.1
8	4.5	4.9	5.6
9	4.6	4.8	5.9
10	5.4	5.4	6.7
11	6.0	5.9	7.4
12	6.1	5.9	7.4
13	6.0	5.8	7.3
14	3.9	3.6	5.2
15	-5.4	-6.5	-4.7
16	-3.0	-3.5	-2.5
17	-3.5	-3.9	-3.3
18	-6.1	-6.3	-5.9
19	-6.1	-8.6	-4.0
20	-1.6	-4.4	0.6
21	-2.0	-2.3	-0.9
22	-2.3	-2.4	-1.6
23	-1.0	-1.2	-0.5
24	-0.5	-0.8	0.0
25	-0.2	-0.4	0.0
26	0.0	-0.1	0.0
27	0.2	0.3	0.2
28	0.2	0.2	0.2
29	0.5	0.6	0.5
30	0.4	0.6	0.4
31	0.3	0.5	0.2
32	0.4	0.5	0.3
33	0.2	0.4	0.1
34	0.3	0.6	0.2
35	0.4	0.6	0.2
36	0.4	0.6	0.3
37	0.0	0.2	-0.1
38	0.0	0.2	0.0
39	0.0	0.2	-0.1
40	0.2	0.4	0.2
41	0.4	0.6	0.3



**Figura 26** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos para a margem direita do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura (evidenciando uma forte tendência deposicional) até o estuário inferior.



**Figura 27** – Banco de areia formado na margem direita da desembocadura do rio Jaguaribe em consequência as elevadas taxas de deposição.

A partir dos dados obtidos através do DSAS é possível dissertar sobre importantes aspectos, em nível de informação, para a discussão de processos que formulam e elaboram a geomorfologia da região.

Para entender melhor as constantes modificações observadas nos resultados, faz-se necessário compreender os principais processos nos quais toda a bacia do Jaguaribe é submetida.

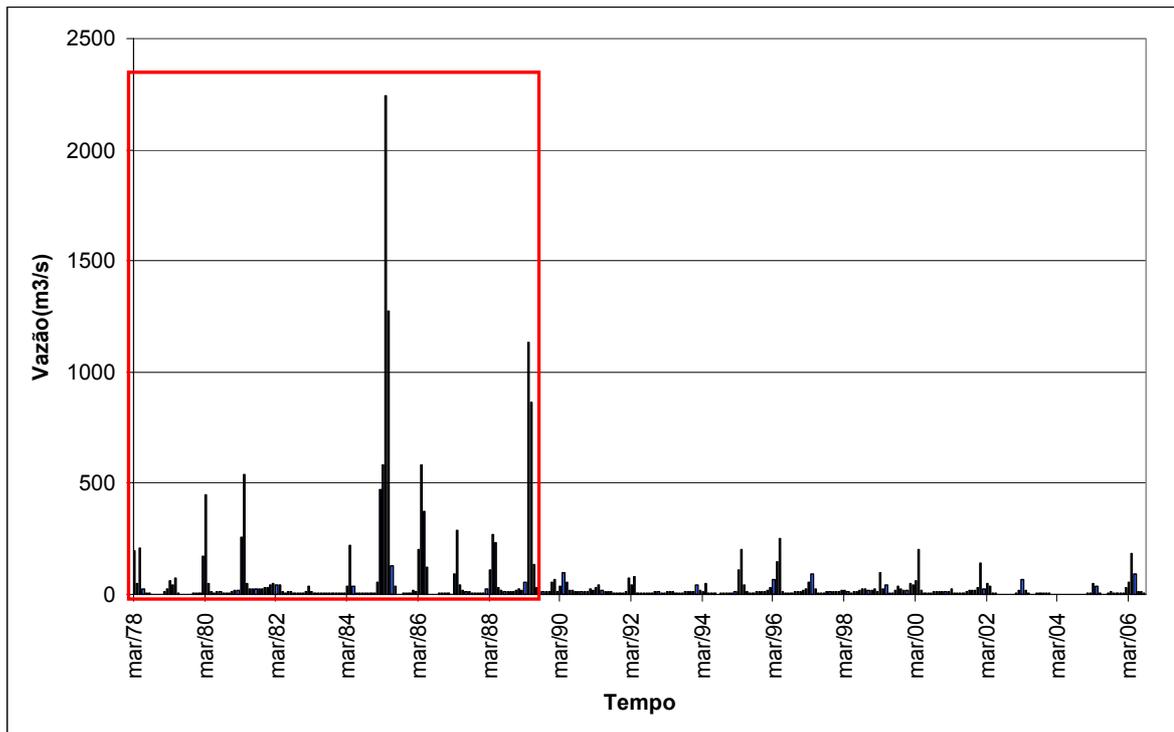
A rede hidrográfica da bacia de drenagem do rio Jaguaribe é o reflexo direto da sazonalidade climática da região. Os rios e riachos, secundários a bacia, são intermitentes, fluindo somente durante o período chuvoso. O nível máximo das águas é atingido nos meses de Fevereiro a Abril, coincidindo com o período de maior pluviosidade para a região (Veríssimo, 1996). O eixo da bacia do rio Jaguaribe apresenta direção geral SW- NE, sendo a mais extensa e importante da região, ocupando cerca de 60% do estado do Ceará, onde recebe numerosos afluentes vindos do sul e do oeste, constituindo assim um extenso conjunto fluvial (SRH, 1991).

Devido ao padrão detrítico da drenagem, e a intermitência da maioria dos afluentes e tributários, associado ao padrão sazonal observado para a região, período de seca e chuva bem definidos, a região estuarina do rio Jaguaribe é a região que reporta todas as condições impostas a bacia de drenagem, formando nesta região um verdadeiro mosaico das condições ambientais e do registro das atividades desenvolvidas em toda a bacia de drenagem (Dias, 2007).

Analisando a série histórica das vazões calculadas para a bacia do Jaguaribe cedidas pela Agência Nacional de Águas – ANA, é possível observar claramente uma redução das vazões da Bacia do Jaguaribe para o estuário. Inicialmente, pode-se observar que o período compreendido entre os anos de 1978 a 1989, apresentou vazões máximas na ordem de 2250 m<sup>3</sup>/s para o ano de 1989, além de outros valores significativos de vazão, conforme pode ser visto na figura 28, onde este período encontra-se destacado com a quadrícula vermelha.

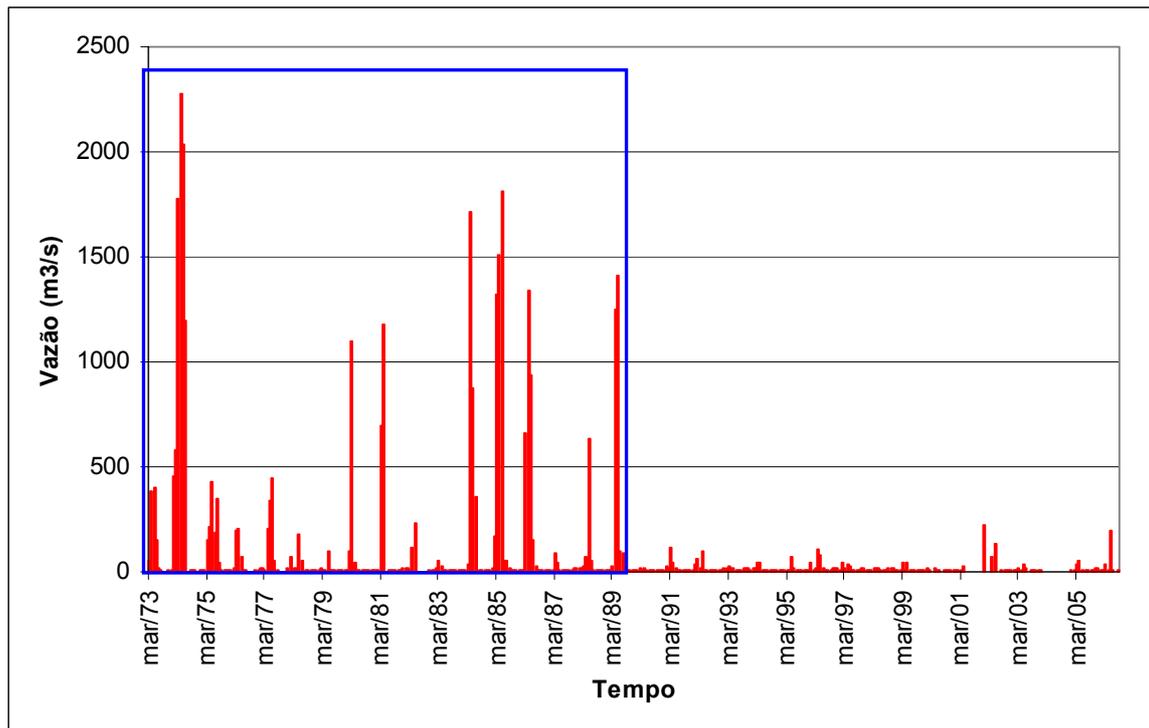
Após esse primeiro período, pode-se observar que o intervalo compreendido entre 1990 a 2006 apresenta vazões consideravelmente menores, com média de 24,5 m<sup>3</sup>/s com pico de vazão na ordem de 251,3 m<sup>3</sup>/s no ano de 1996. Esse resultado mostra que para o período compreendido entre os anos de 1990 a 2006, o valor máximo de vazão no qual a bacia do Jaguaribe exportou para o estuário foi aproximadamente 10 vezes menor do que quando comparados aos valores máximos obtidos para os intervalos compreendidos entre 1978 a 1989.

Nos últimos 20 anos, devido a crescente demanda por água visando abastecimento humano, foram construídos vários açudes de pequeno, médio e grande porte ao longo de toda a bacia do Jaguaribe. A partir desses resultados pode-se concluir que uma das conseqüências diretas ocasionadas pelo efeito da açudagem é a redução das contribuições hídricas e conseqüentemente redução da descarga de sedimentos dessa bacia para o estuário.



**Figura 28** – Série histórica das vazões na bacia do Jaguaribe (*Fonte: ANA, 2006*).

De forma similar ao comportamento do regime histórico de vazões da bacia do Jaguaribe, a bacia do Banabuiu também pode ser caracterizada por dois períodos distintos. Porém, diferentemente da bacia do Jaguaribe, este apresenta maiores valores de vazão entre os anos de 1973 a 1989 visto que este afluente possuía apenas açudes de pequeno porte enquanto a bacia do Jaguaribe para este mesmo período já possuía o açude Orós em plena atividade. A bacia do Banabuiu só veio sofrer os efeitos da açudagem após a conclusão do açude Banabuiu. A quadricula em azul na figura 29 destaca claramente um primeiro período desta bacia entre os anos de 1973 a 1989, onde se evidencia um pico de 2281 m<sup>3</sup>/s de vazão deste afluente para o estuário no ano de 1974, além de outros resultados com vazões significativas desta bacia. Pode-se considerar como um segundo período o intervalo entre os anos de 1990 a 2006, onde a vazão máxima foi de 225 m<sup>3</sup>/s, ou seja, este resultado indica um valor 10 vezes menor do que a vazão máxima para o primeiro período.



**Figura 29** – Série histórica das vazões na bacia do Banabuiú (*Fonte: ANA, 2006*).

A partir da análise das vazões das principais bacias de drenagem para o estuário do Jaguaribe para os últimos 15 anos pode-se concluir que com a diminuição do aporte fluvial para o estuário, as águas de origem marinha passam a ter uma atuação mais significativa no balanço de massas d'água neste corpo hídrico. Carreando conseqüentemente uma maior quantidade de sedimentos oriundos das águas marinhas. Considerando que os valores das vazões das principais bacias vem apresentando ao longo dos anos uma diminuição gradativa de seus índices, o estuário não consegue transportar efetivamente os sedimentos para a zona da desembocadura e estuário inferior, havendo conseqüentemente um déficit destes ao longo da desembocadura que são intensificados pela direção da deriva eólica, culminando em elevadas taxas de erosão na margem esquerda da desembocadura..

## 6.2 Análise da Praia da Caponga

A praia da Caponga está localizada no município de Cascavel, sendo uma das praias mais visitadas por turistas no litoral leste do estado do Ceará.

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 baseline offshore (Figura 30) para uma região de aproximadamente 2,1 km de comprimento.

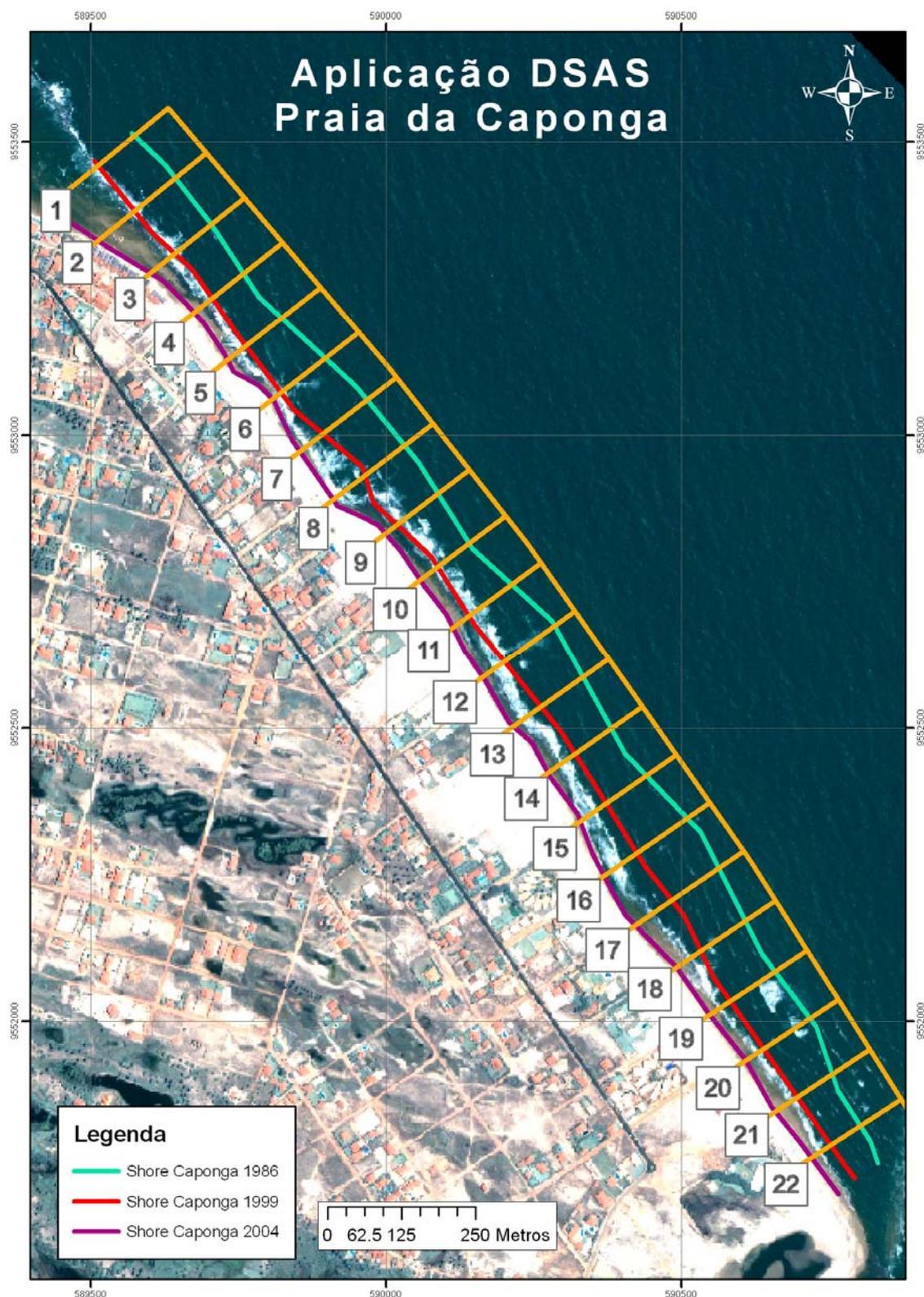
Em todos os transectos pôde ser evidenciado um forte caráter erosivo, indicado através de uma média geral de recuo na ordem de -7,30 m/ano, com valores máximos de -9.2 m/ano segundo o método LRR, -9.6 m/ano para o método EPR e -10.4 para o JKR na região localizada sob as coordenadas UTM 590377 e 9552247 (Figura 31 e Tabela 3). Área esta que 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 vem sendo atingidos por este fenômeno (Figura 32).

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 praial.

As ocupações desordenadas nessas regiões promovem 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



**Figura 30** – Aplicação da ferramenta DSAS na praia da Caponga.

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.

Associado as construções irregulares, outro fator determinante nas flutuações espaciais da linha de costa nessa região é o ataque das ondas em períodos de maré de ressaca que intensificam os processos erosivos, retirando as areias da praia nesta localidade que são transportadas pela deriva litorânea.

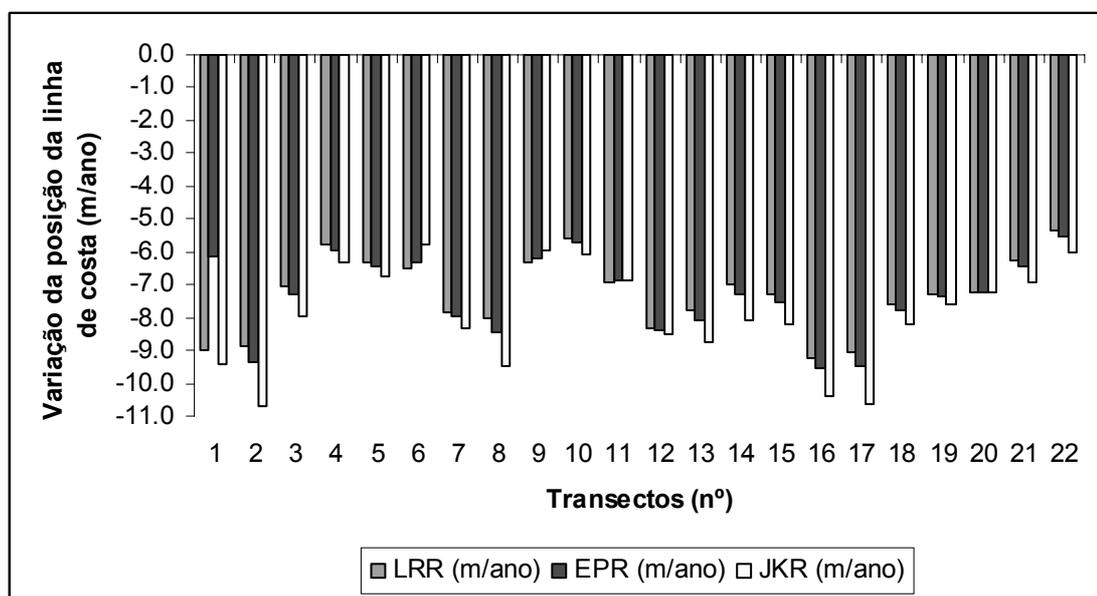


Figura 31 – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos.

**Tabela 3** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	-9.0	-6.2	-9.4
2	-8.9	-9.4	-10.7
3	-7.1	-7.3	-8.0
4	-5.8	-5.9	-6.3
5	-6.4	-6.5	-6.7
6	-6.5	-6.3	-5.8
7	-7.8	-8.0	-8.3
8	-8.0	-8.4	-9.5
9	-6.3	-6.2	-5.9
10	-5.6	-5.7	-6.1
11	-6.9	-6.9	-6.8
12	-8.3	-8.4	-8.5
13	-7.8	-8.1	-8.8
14	-7.0	-7.3	-8.1
15	-7.3	-7.6	-8.2
16	-9.2	-9.6	-10.4
17	-9.1	-9.5	-10.6
18	-7.6	-7.8	-8.2
19	-7.3	-7.4	-7.6
20	-7.3	-7.3	-7.2
21	-6.2	-6.4	-6.9
22	-5.3	-5.5	-6.0

**Figura 32** – Casa destruída pela ação da erosão costeira.

### 6.3 Análise da região de Itarema

A praia do Farol encontra-se localizada no município de Itarema (Figura 33) situado no litoral oeste do estado do Ceará. É uma região pouco explorada pela atividade turística, sendo utilizada pela população local composta basicamente por pescadores.

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 baseline onshore (Figura 34) para uma região de aproximadamente 6,5 km de comprimento.

Toda a região apresenta caráter erosivo, o que pode ser evidenciado através da média geral de recuo obtida que foi de -3.4 m/ano, com valores máximos de -8.8 m/ano segundo o método LRR, -6.1 m/ano para o método EPR e -10.9 para o JKR (Figura 35 e Tabela 4).



**Figura 33** – Casa destruída pela ação da erosão costeira na região de Itarema.

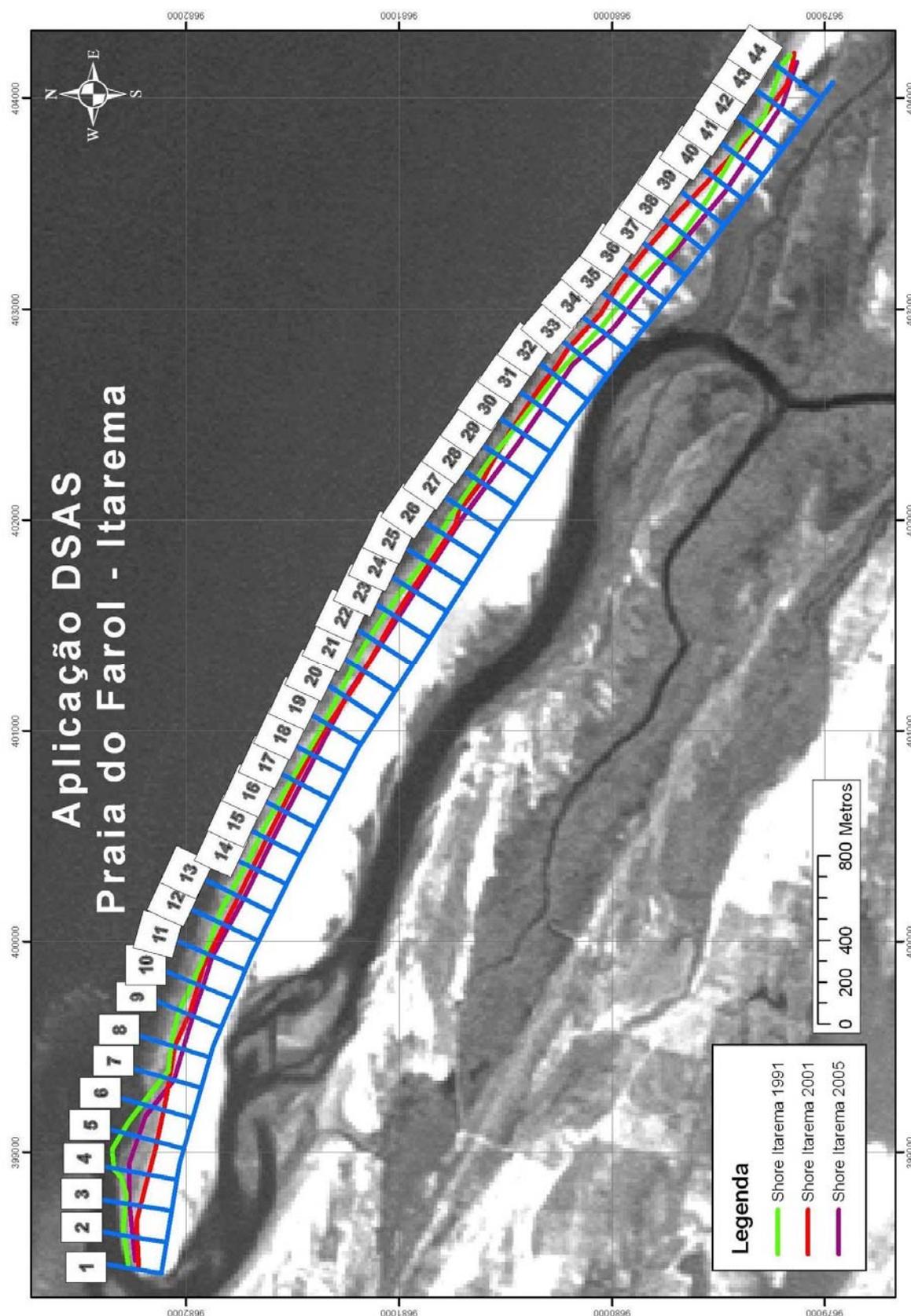
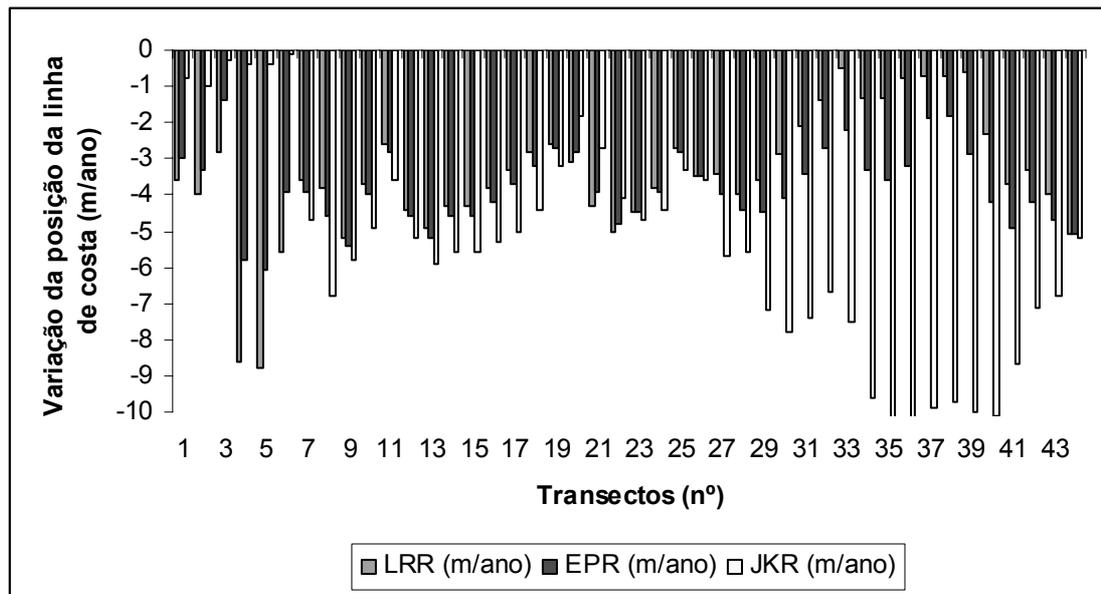


Figura 34 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Farol.



**Figura 35** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na região de Itarema.

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

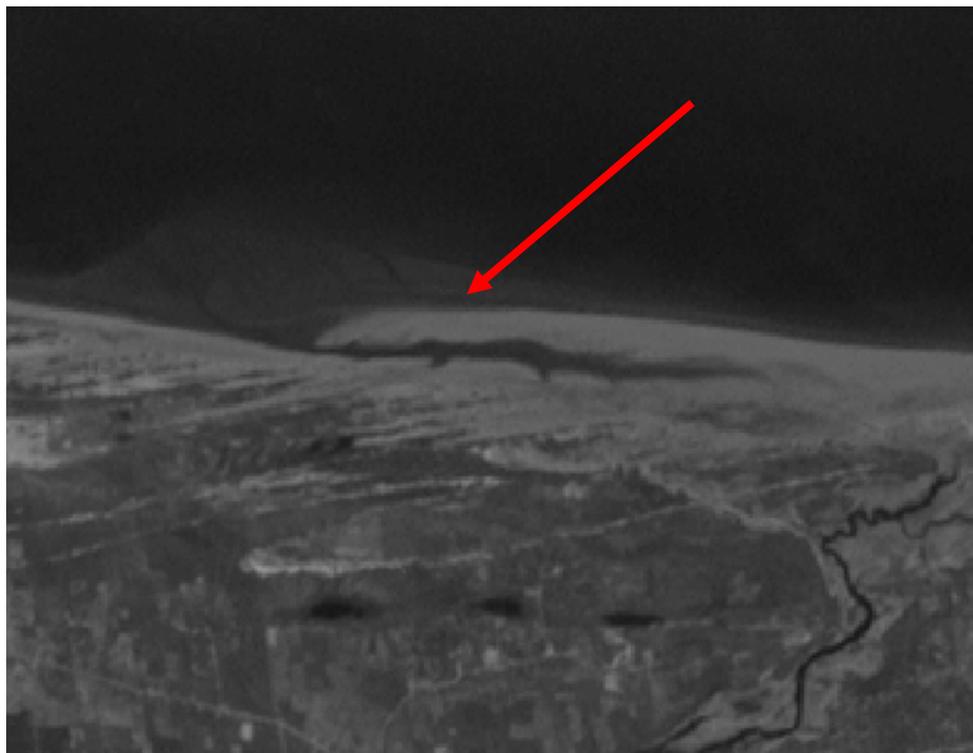
Isso pode ser facilmente observado a partir da análise multitemporal de imagens de satélite para os anos de 2000 e 2004 (Figuras 36 e 37) onde pode se observar que no período de 4 anos, o cordão litorâneo migrou 483 metros para oeste, gerando um processo erosivo sobre a faixa de praia adjacente. Além deste efeito, foi possível constatar um emagrecimento da barra que recuou na direção do continente em 25,8 metros em média, com extremos entre 21 e 36 metros. Ou seja uma taxa de recuo que é considerada bastante elevada para a nossa linha de costa.

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.

Na área mais crítica denominada Volta do Rio, caso não seja realizada nenhuma intervenção, pode ficar comprometida para qualquer tipo de empreendimento, incluindo a fazenda de carcinicultura já existente.

**Tabela 4** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	-3.6	-3.0	-0.8
2	-4.0	-3.3	-1.0
3	-2.8	-1.4	-1.0
4	-8.6	-5.8	-0.5
5	-8.8	-6.1	-0.3
6	-5.6	-3.9	-0.5
7	-3.6	-3.9	-4.7
8	-3.8	-4.6	-6.8
9	-5.2	-5.4	-5.8
10	-3.7	-4.0	-4.9
11	-2.6	-2.8	-3.6
12	-4.4	-4.6	-5.2
13	-4.9	-5.2	-5.9
14	-4.3	-4.6	-5.6
15	-4.3	-4.6	-5.6
16	-3.8	-4.2	-5.3
17	-3.3	-3.7	-5.0
18	-2.8	-3.2	-4.4
19	-2.6	-2.7	-3.2
20	-3.1	-2.8	-1.8
21	-4.3	-3.9	-2.7
22	-5.0	-4.8	-4.1
23	-4.5	-4.5	-4.7
24	-3.8	-3.9	-4.4
25	-2.7	-2.8	-3.3
26	-3.5	-3.5	-3.6
27	-3.4	-4.0	-5.7
28	-4.0	-4.4	-5.6
29	-3.6	-4.5	-7.2
30	-2.9	-4.1	-7.8
31	-2.1	-3.4	-7.4
32	-1.4	-2.7	-6.7
33	-0.5	-2.2	-7.5
34	-1.3	-3.3	-9.6
35	-1.3	-3.6	-10.4
36	-0.8	-3.2	-10.9
37	-0.4	-1.9	-9.9
38	-0.3	-1.8	-9.7
39	-0.6	-2.9	-10.0
40	-2.3	-4.2	-10.1
41	-3.7	-4.9	-8.7
42	-3.3	-4.2	-7.1
43	-4.0	-4.7	-6.8
44	-5.1	-5.1	-5.2



**Figura 36** – Imagem do Landsat 7 ETM+ para o ano de 2000.



**Figura 37**– Imagem do Quickbird para o ano de 2004. A seta em vermelho mostra a migração do cordão arenoso ao longo dos anos, provocando erosão na praia do Farol.

## **6.4 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). Enquanto que para as praias de Iparana, Pacheco e Icarai 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 Icarai para um período de 13 anos.

Visando facilitar o entendimento acerca das análises realizadas acerca da cidade de Fortaleza e da zona costeira das praias do litoral oeste que pertencem à região metropolitana que foram contemplados no presente estudo, os resultados obtidos para cada célula costeira foram divididos e por fim feita uma análise dos processos nos quais toda a região encontra-se submetida.

### **6.4.1 Praia do Meireles**

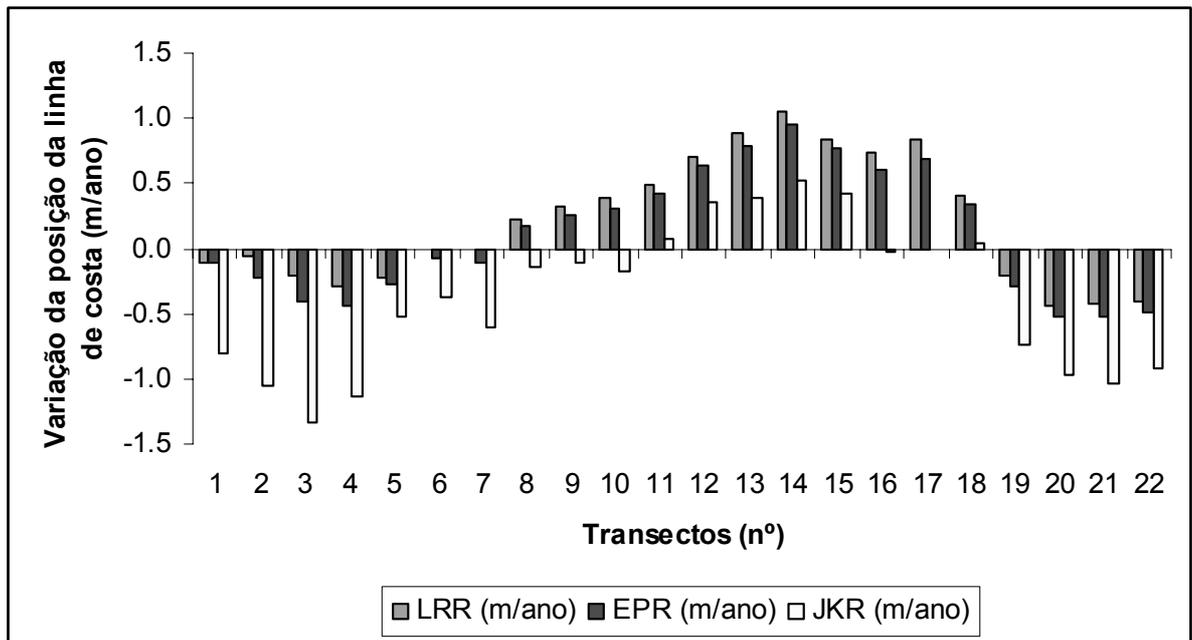
A praia do Meireles está localizada numa das regiões nobres da capital cearense, estando presentes ao longo de toda a sua orla uma grande quantidade de condomínios de classe média alta, além de diversos restaurantes e empreendimentos de turismo e lazer, que conferem a essa região uma grande importância no desenvolvimento da economia local .

Para esta área foram gerados e enumerados 22 transectos perpendiculares com comprimento de 150 metros e espaçados 75 metros paralelamente a partir de uma baseline offshore para uma região de aproximadamente 1,5 km de comprimento (Figura 38).

A praia do Meireles apresentou uma maior tendência deposicional conforme indicado através dos resultados obtidos, onde obteve uma média geral de progradação de linha de costa na ordem de +0,10 m/ano, com valores máximos de deposição de +1.1 m/ano segundo o método LRR, 1 m/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 média de recuo na ordem de -0.6 m/s (Figura 39 e Tabela 5).



Figura 38 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Meireles.



**Figura 39** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Meireles.

**Tabela 5** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	-0.1	-0.1	-0.8
2	-0.1	-0.2	-1.1
3	-0.2	-0.4	-1.3
4	-0.3	-0.4	-1.1
5	-0.2	-0.3	-0.5
6	0.0	-0.1	-0.4
7	0.0	-0.1	-0.6
8	0.2	0.2	-0.1
9	0.3	0.3	-0.1
10	0.4	0.3	-0.2
11	0.5	0.4	0.1
12	0.7	0.6	0.4
13	0.9	0.8	0.4
14	1.1	1.0	0.5
15	0.8	0.8	0.4
16	0.7	0.6	0.0
17	0.8	0.7	0.0
18	0.4	0.3	0.0
19	-0.2	-0.3	-0.7
20	-0.4	-0.5	-1.0
21	-0.4	-0.5	-1.0
22	-0.4	-0.5	-0.9

#### **6.4.2 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 metros e com comprimento de 300 metros dispostos paralelamente a partir de uma baseline offshore para uma região de aproximadamente 1,8 km de comprimento (Figura 40).

Os resultados apresentados mostram uma tendência erosiva ao longo de toda a praia de Iracema com exceção da região 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.

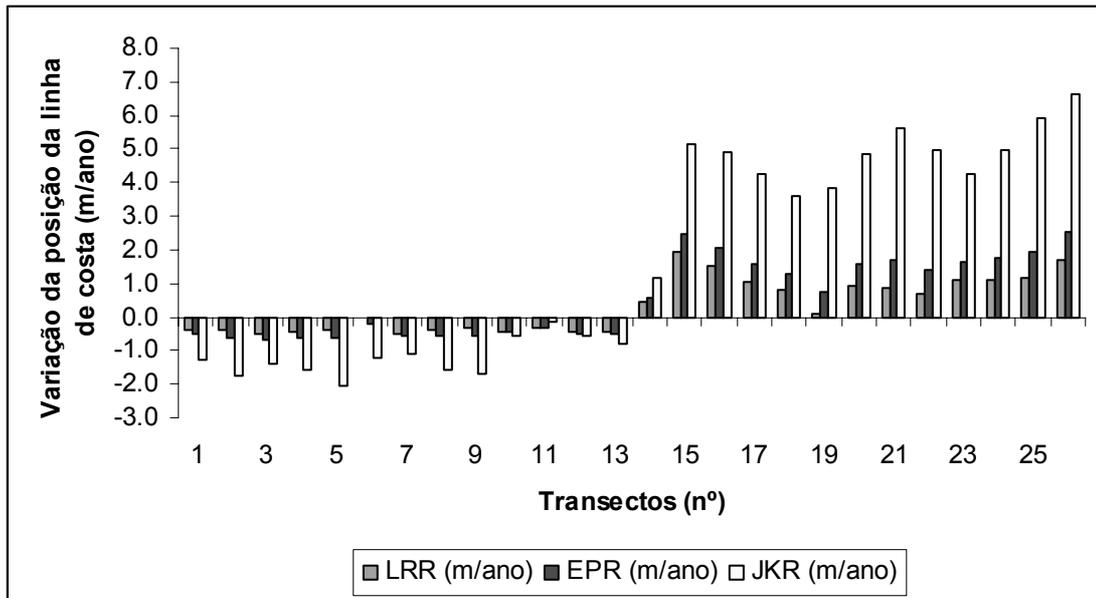
A praia de Iracema apresentou obteve uma média geral de recuo de linha de costa na ordem de -0.5 m/ano.

De acordo com os métodos LRR, EPR e JKR os valores máximos de erosão de linha de costa foram -0.5 m/ano, -0.7 m/ano e -2 m/ano respectivamente (Figura 41 e Tabela 6).

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 todo o calçadão da orla principalmente nos períodos de “ressaca” onde estruturas e obras inteiras são destruídas (Figura 42). Em decorrência disto, várias obras de proteção foram construídas nas proximidades da ponte dos Ingleses, visando proteger o calçadão e as casas adjacentes afetando a estética natural da região (Figura 43).



Figura 40 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iracema.



**Figura 41** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia de Iracema.

**Tabela 6** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	-0.4	-0.5	-1.3
2	-0.4	-0.6	-1.7
3	-0.5	-0.7	-1.4
4	-0.4	-0.6	-1.6
5	-0.4	-0.7	-2.0
6	0.0	-0.2	-1.2
7	-0.5	-0.6	-1.1
8	-0.4	-0.6	-1.6
9	-0.3	-0.6	-1.7
10	-0.4	-0.4	-0.6
11	-0.3	-0.3	-0.2
12	-0.5	-0.5	-0.6
13	-0.5	-0.5	-0.8
14	0.5	0.6	1.2
15	1.9	2.5	5.1
16	1.5	2.1	4.9
17	1.0	1.6	4.2
18	0.8	1.3	3.6
19	0.1	0.7	3.9
20	0.9	1.6	4.8
21	0.9	1.7	5.6
22	0.7	1.4	5.0
23	1.1	1.6	4.2
24	1.1	1.8	5.0
25	1.2	2.0	5.9
26	1.7	2.6	6.6



**Figura 42** – Destruição do calçadão da avenida Presidente Castelo Branco em decorrência da ação das ondas de ressaca.



**Figura 43** – Estruturas de proteção de costa ao longo de todo o calçadão visando conter a ação da dinâmica costeira sobre as estruturas e casas.

### 6.4.3 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. Na tentativa de mitigar o problema, algumas ações de defesa da linha de costa foram tomadas (Figura 44), dentre elas a mais conhecida foi à implantação de uma estrutura rígida de proteção do tipo *seawall*, em frente à colônia de férias do SESC, com o intuito de amenizar o poder erosivo das ondas neste trecho de praia. Porém, a intervenção antrópica acarretou a perda da qualidade de lazer e beleza cênica do local.

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 metros dispostos paralelamente a partir de uma baseline offshore para uma região de aproximadamente 2,0 km de comprimento (Figura 45).

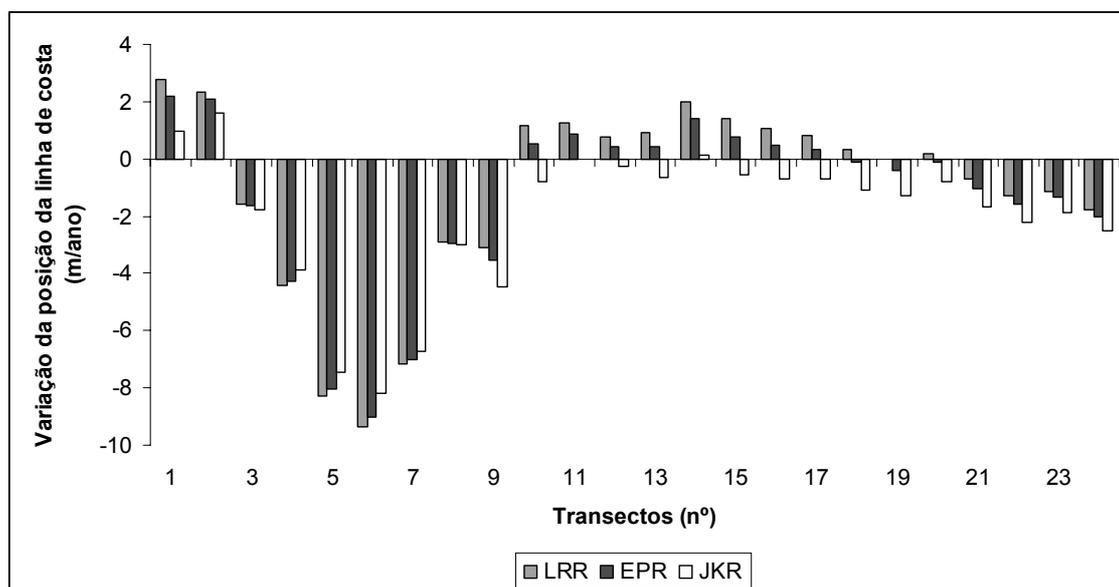
Os resultados obtidos evidenciam que apesar das tentativas de sanar as tendências de erosão através de estruturas de defesa litorânea na região costeira de Iparana, o recuo de linha de costa ainda é evidente em grande parte da orla, atingindo valores máximos de -9.4 m/ano e média de -1,25 m/ano, valor este considerado alarmante para o comportamento dinâmico do litoral cearense (Figura 46 e Tabela 7).



**Figura 44** – Estruturas de proteção de costa na praia de Iparana.



Figura 45 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iparana.



**Figura 46** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia de Iparana.

**Tabela 7** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	2.8	2.2	1.0
2	2.4	2.1	1.6
3	-1.6	-1.7	-1.8
4	-4.4	-4.3	-3.9
5	-8.3	-8.0	-7.5
6	-9.4	-9.0	-8.2
7	-7.1	-7.0	-6.7
8	-2.9	-3.0	-3.0
9	-3.1	-3.5	-4.5
10	1.1	0.5	-0.8
11	1.3	0.9	0.0
12	0.8	0.5	-0.3
13	0.9	0.4	-0.7
14	2.0	1.4	0.2
15	1.4	0.8	-0.6
16	1.1	0.5	-0.7
17	0.8	0.3	-0.7
18	0.3	-0.1	-1.1
19	0.0	-0.4	-1.3
20	0.2	-0.1	-0.8
21	-0.7	-1.0	-1.7
22	-1.3	-1.6	-2.2
23	-1.1	-1.4	-1.9
24	-1.8	-2.0	-2.5

#### 6.4.4 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 Morais et al (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.

Apesar da instalação de estruturas de proteção nesse trecho litorâneo que minimizaram os impactos da erosão, os efeitos do avanço periódico das ondas principalmente nos períodos de “ressaca” pode ser facilmente observado em campo (Figuras 47 e 48).



**Figura 47** – Desaparecimento da praia em decorrência da ação da erosão costeira.



**Figura 48** – Efeitos da erosão costeira sobre a estética no litoral da praia do Pacheco.

A utilização do DSAS resultou na obtenção e enumeração de 31 transectos perpendiculares espaçados 100 metros e com comprimento de 750 metros dispostos paralelamente a partir de uma baseline offshore para uma região de aproximadamente 2,5 km de comprimento (Figura 49).

As figuras 50 e a tabela 8 mostram que a região apresenta expressivos índices de erosão ao longo do trecho estudado, com valores máximos de -4 m/ano com tendências pontuais de deposição, oriundos dos fluxos dinâmicos para esta região.

De acordo com o método LRR, EPR e JKR foram encontradas médias de -1.25 m/ano, 1.38 m/ano e -2.7 m/ano respectivamente. As tendências de acreção de linha de costa obtiveram média de +1.11 m/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 avanço contínuo da linha de costa.

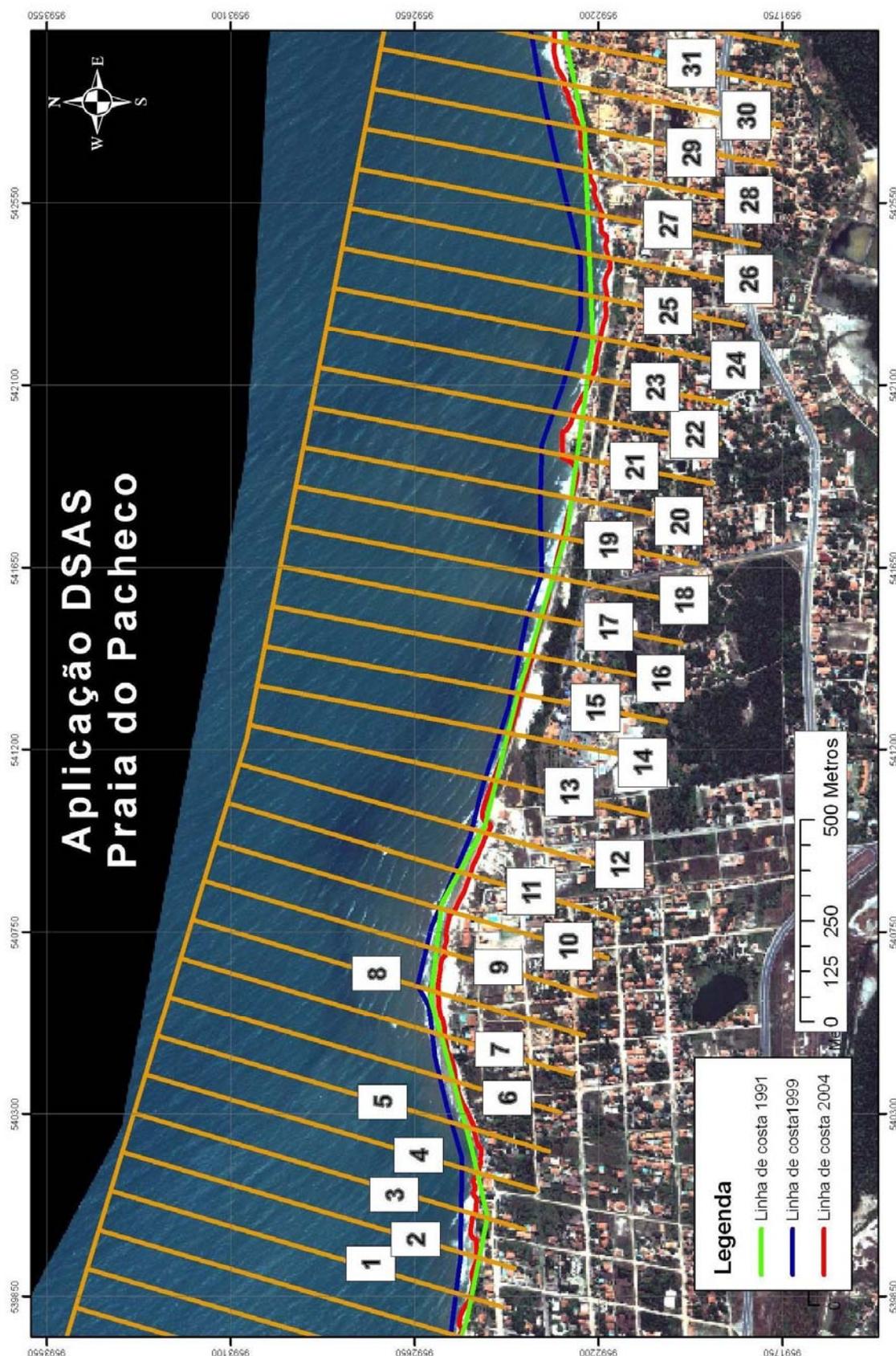
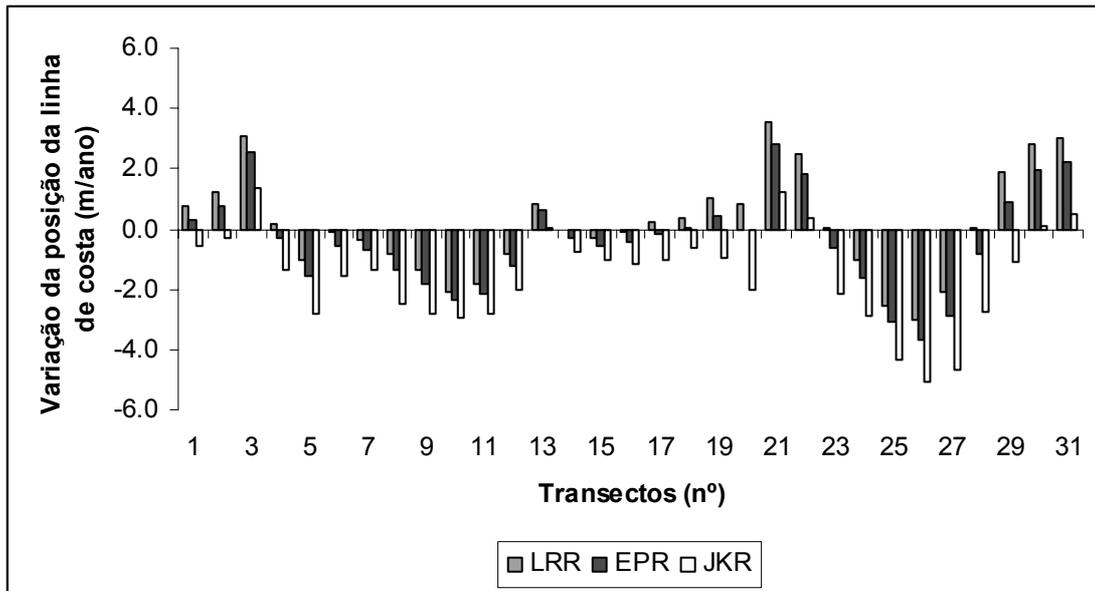


Figura 49 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Pacheco.

**Tabela 8** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	0.8	0.3	-0.6
2	1.2	0.7	-0.3
3	3.1	2.6	1.4
4	0.2	-0.3	-1.4
5	-1.0	-1.6	-2.8
6	-0.1	-0.6	-1.6
7	-0.4	-0.7	-1.4
8	-0.8	-1.3	-2.5
9	-1.4	-1.8	-2.8
10	-2.1	-2.4	-2.9
11	-1.9	-2.2	-2.9
12	-0.8	-1.2	-2.1
13	0.9	0.6	0.1
14	0.0	-0.3	-0.8
15	-0.3	-0.6	-1.0
16	-0.1	-0.4	-1.1
17	0.2	-0.2	-1.0
18	0.4	0.0	-0.7
19	1.1	0.4	-1.0
20	0.9	-0.1	-2.0
21	3.6	2.8	1.2
22	2.5	1.8	0.4
23	0.0	-0.7	-2.1
24	-1.0	-1.6	-2.9
25	-2.5	-3.1	-4.4
26	-3.0	-3.7	-5.1
27	-2.1	-2.9	-4.7
28	0.0	-0.9	-2.8
29	1.9	0.9	-1.1
30	2.8	2.0	0.1
31	3.0	2.2	0.5



**Figura 50** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Pacheco.

#### 6.4.5 Praia do Icarai

A praia do Icarai é uma das mais visitadas do litoral oeste do estado do Ceará, tendo instalado ao longo de seu litoral várias casas de veraneio e instalações comerciais para atender aos frequentadores da região. Em virtude da ocupação desordenada dessa célula litorânea, esta região vem sendo fortemente impactada pelos efeitos da erosão, o que vem gerando prejuízos para a população local em virtude da destruição de casas e da paisagem natural (Figuras 51 a 53).

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 realizados 46 transectos enumerados (Figura 54) transversais à linha de costa espaçados 100 metros e com comprimento de 750 metros dispostos paralelamente a partir de uma baseline offshore ao longo de aproximadamente 5,7 km de litoral (Figura 55 e Tabela 9), onde pode ser evidenciado uma tendência generalizada de recuo de linha de costa com média de -0.95 m/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 -0.88 m/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 -3.3 m/ano obtido através do método JKR, seguido de -2.4 m/ano para o método EPR e -2 m/ano para o método LRR, o que evidencia um forte caráter erosivo em todos os métodos adotados.



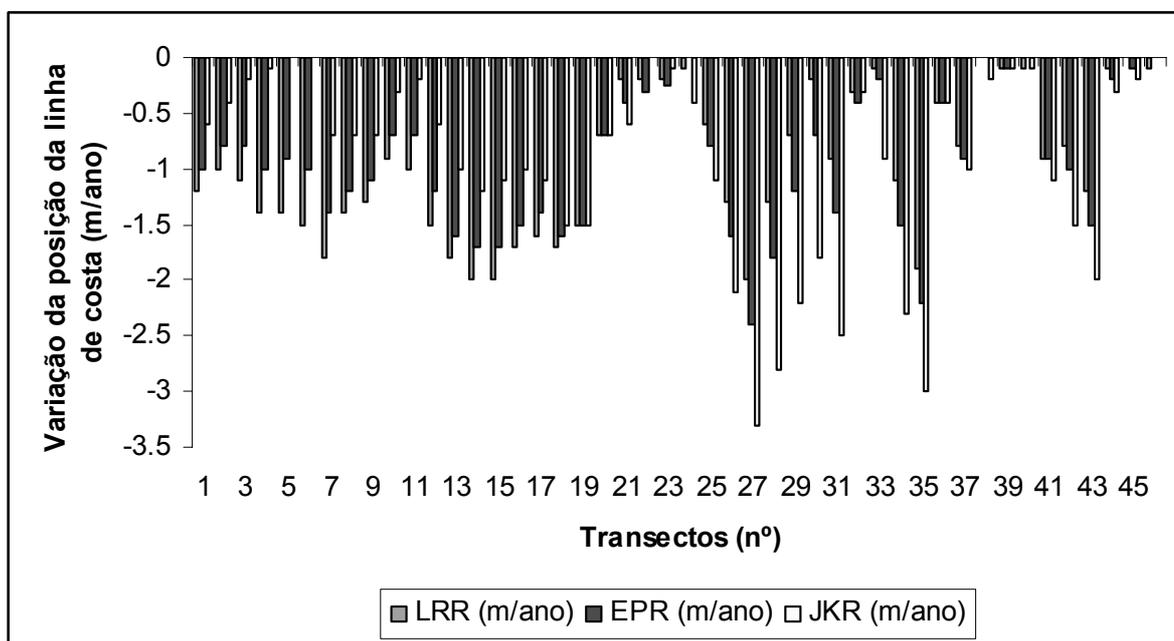
**Figura 51** – Destruição de casa provocada pela erosão costeira na praia do Icaraí.



**Figura 52** – Efeitos da erosão costeira sobre a paisagem natural.



**Figura 53** – Destruição de estruturas e modificação da paisagem em decorrência da erosão costeira.



**Figura 54** – Variação dos índices estatísticos ao longo dos transectos na praia do Icaraí.

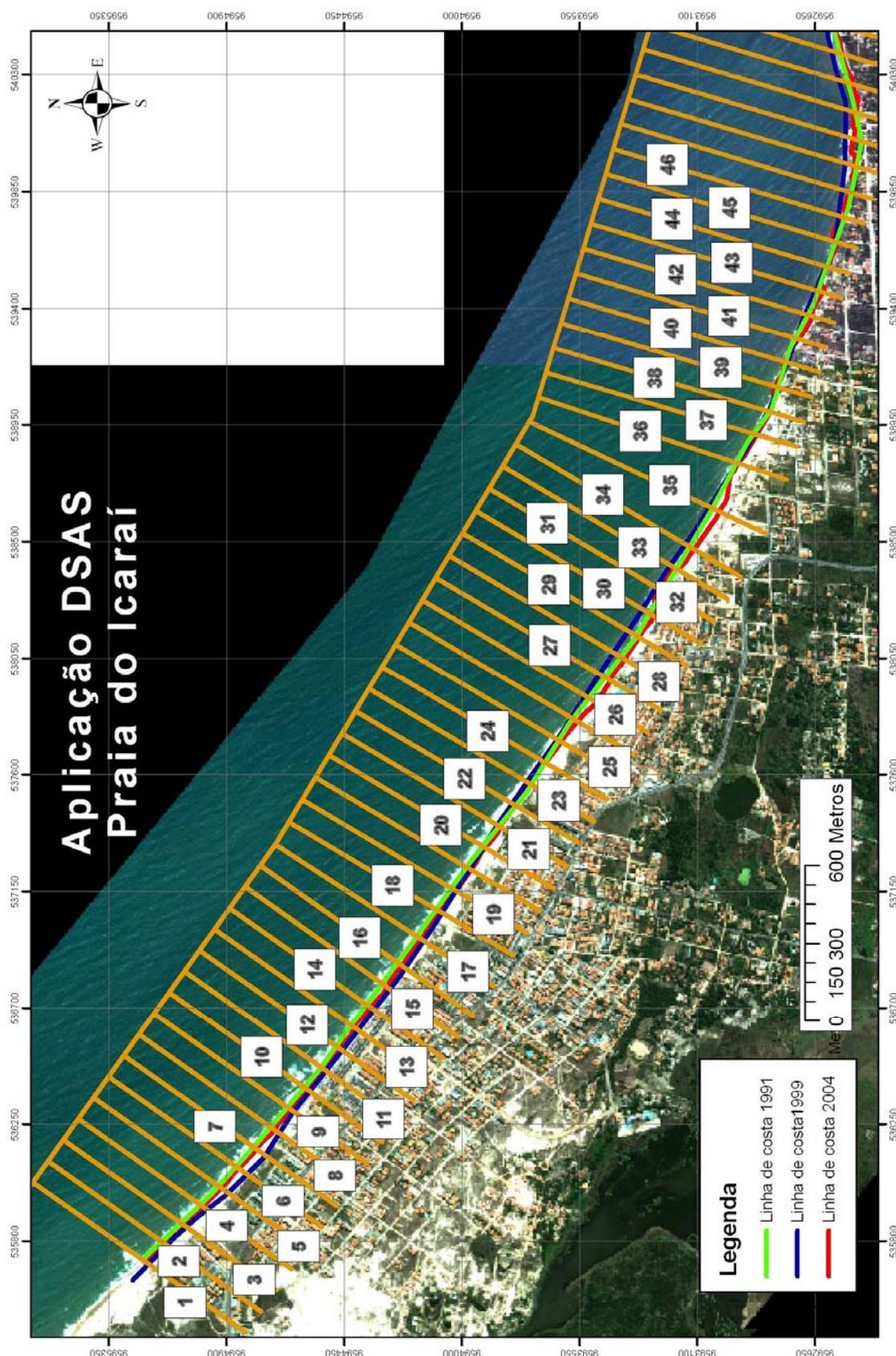


Figura 55 – Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Icaraí.

**Tabela 9** – Valores encontrados para cada transecto .

Transectos (nº)	LRR (m/ano)	EPR (m/ano)	JKR (m/ano)
1	-1.2	-1.0	-0.6
2	-1.0	-0.8	-0.4
3	-1.1	-0.8	-0.2
4	-1.4	-1.0	-0.1
5	-1.4	-0.9	0.2
6	-1.5	-1.0	0.2
7	-1.8	-1.4	-0.7
8	-1.4	-1.2	-0.7
9	-1.3	-1.1	-0.7
10	-0.9	-0.7	-0.3
11	-1.0	-0.7	-0.2
12	-1.5	-1.2	-0.6
13	-1.8	-1.6	-1.0
14	-2.0	-1.7	-1.2
15	-2.0	-1.7	-1.1
16	-1.7	-1.5	-1.0
17	-1.6	-1.4	-1.1
18	-1.7	-1.6	-1.5
19	-1.5	-1.5	-1.5
20	-0.7	-0.7	-0.7
21	-0.2	-0.4	-0.6
22	0.4	0.3	-0.1
23	0.6	0.4	-0.1
24	0.2	0.0	-0.4
25	-0.6	-0.8	-1.1
26	-1.3	-1.6	-2.1
27	-2.0	-2.4	-3.3
28	-1.3	-1.8	-2.8
29	-0.7	-1.2	-2.2
30	-0.2	-0.7	-1.8
31	-0.9	-1.4	-2.5
32	1.4	1.2	0.7
33	0.2	-0.2	-0.9
34	-1.1	-1.5	-2.3
35	-1.9	-2.2	-3.0
36	-0.4	-0.4	-0.4
37	-0.8	-0.9	-1.0
38	0.1	0.0	-0.2
39	1.0	1.1	1.2
40	0.2	0.3	0.5
41	-0.9	-0.9	-1.1
42	-0.8	-1.0	-1.5
43	-1.2	-1.5	-2.0
44	-0.1	-0.2	-0.3
45	0.0	-0.1	-0.2
46	0.7	0.4	-0.2

#### **6.4.6 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 Icaraí tiveram início após a implantação definitiva do porto do Mucuripe em 1945, que alterou o fluxo sedimentar motivando o litoral a atingir uma nova posição de equilíbrio.

Devido à importância sócio-econômica da região, desde a década de 70 vários autores vem estudando as causas e os impactos provenientes da instalação inadequada do porto na capital cearense (Pitombeira, 1986; Morais, 1980; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Meireles et al 2006), desencadeada com a implantação do molhe do Titã, na ponta do Mucuripe, visando à conclusão das obras do novo porto de Fortaleza.

Para esta região, conforme pode ser observado na figura 56, o transporte de sedimentos litorâneos na zona de arrebenção 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 m<sup>3</sup>/ano, ao qual se soma um significativo transporte eólico de areias da ordem de 150.000 m<sup>3</sup>/ano.

A implantação do molhe do Titã, 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 57). 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.

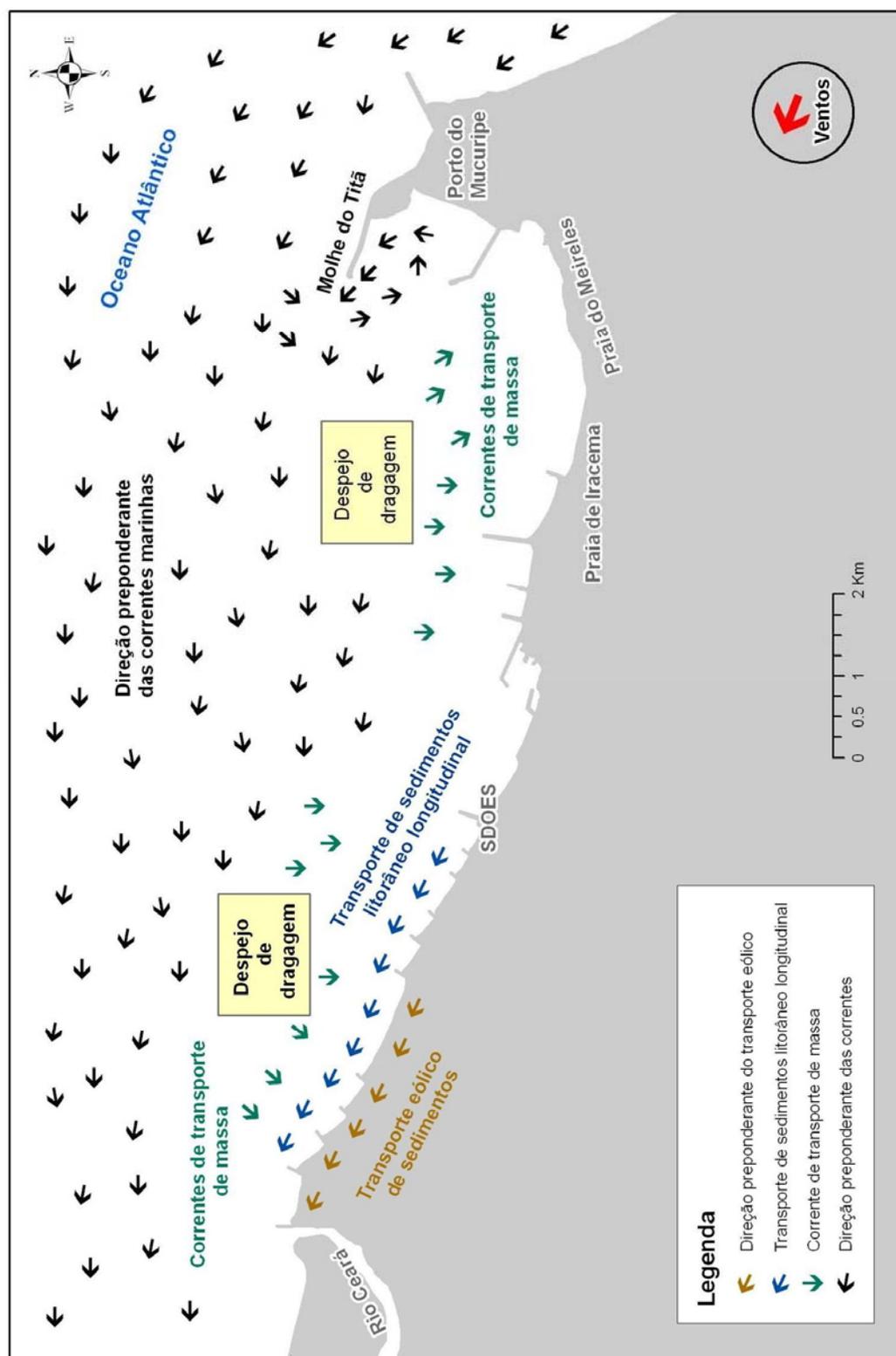
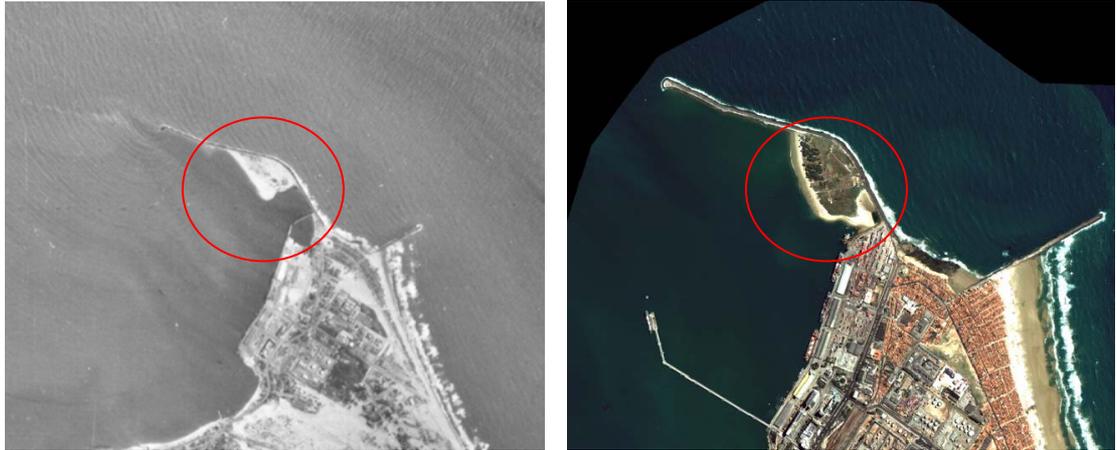


Figura 56 – Dinâmica da região litorânea do município de Fortaleza.



**Figura 57** – Fotografia aérea da região do porto do Mucuripe para o ano de 1964 à esquerda e a direita a mesma área para o ano de 2004 mostrada através de uma imagem Quickbird. É possível observar através da região marcada em vermelho o aumento progressivo das taxas de sedimentação na porção interna do molhe provocado pelo efeito da difração das ondas.

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. Isso pode ser facilmente observado nas figuras 58(a) e 58(b).

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, como exemplo o espigão e os quebra mares da praia de Iracema e os onze espigões construídos na década de 70 na praia do Pirambu uma vez que uma vez que progressivamente a linha de costa recuava, principalmente nos períodos de “ressaca” quando o clima de ondas ataca violentamente a orla.

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 espigões 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 Icarai.



(a)



(b)

**Figura 58** – A figura 58(a) mostra a região de Fortaleza com enfoque para a praia do Futuro para o ano de 1968 conforme pode ser visto na fotografia aérea. A figura 58 (b) mostra um extrato de um mosaico de imagens Quickbird para a mesma localidade no ano de 2004. É possível observar através da comparação da região delimitada em vermelho o desaparecimento da área ocupada anteriormente por um extenso campo de dunas em decorrência da expansão da cidade. A deriva eólica desse campo de dunas auxiliava no abastecimento sedimentar do litoral de Fortaleza.

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 espigão 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. A ferocidade das ondas em erodir, sem a devida recompensação pela chegada de sedimentos para equilibrar, resultou em um processo erosivo de intensidade significativa na região. 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 espigões 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 evidenciada 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, diminuição do número de barracas e perda do potencial paisagístico em consequência dos processos erosivos.

Mais recentemente, a praia do Icarai 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.

## 6.5 Resumo dos resultados

A partir dos resultados obtidos (Figura 59), 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 -7.3 m/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 -3.4 m/ano. As demais áreas contempladas apresentaram índices de erosão inferiores a -1.5 m/ano, sendo a praia de Iracema a área que apresentou maior estabilidade da linha de costa, com índices de erosão de -0.5 m/ano.

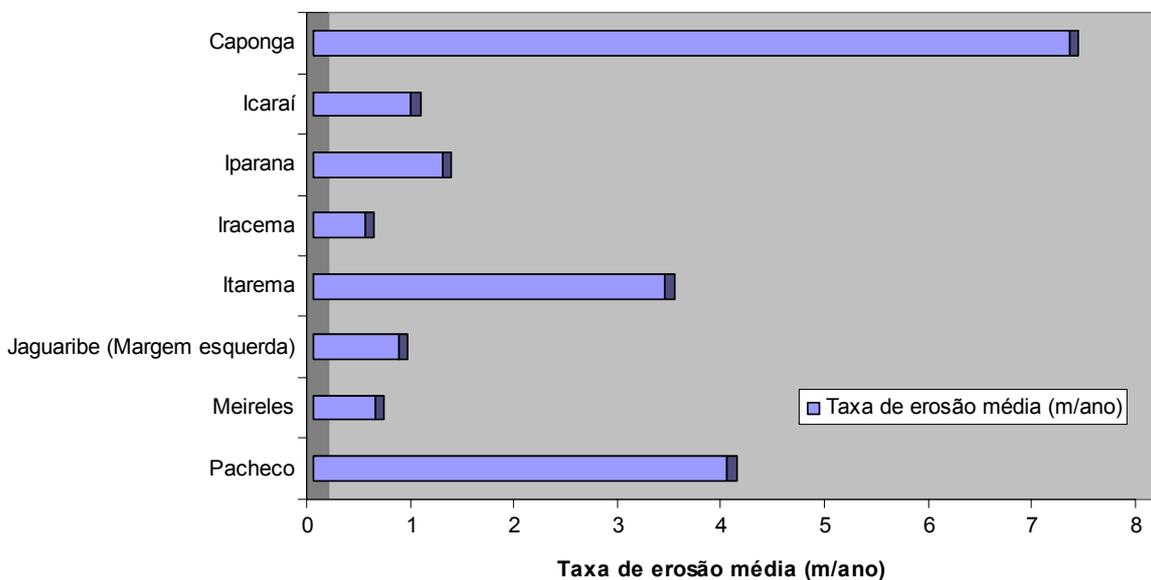


Figura 59 – Resumo dos resultados obtidos.

## 6.6 Propostas de obras de defesa litorânea para a zona costeira do estado do Ceará

Segundo Alfredini (2005) as construções de defesa litorâneas são intervenções estruturais que tem como função agir no balanço do transporte sólido favorecendo a estabilização ou a ampliação da linha de costa, defendendo-a contra erosão, considerando para sua implantação diversos requisitos tais como: análise custo-benefício, mínima influência nas áreas adjacentes, análise ambiental e sócio-econômica.

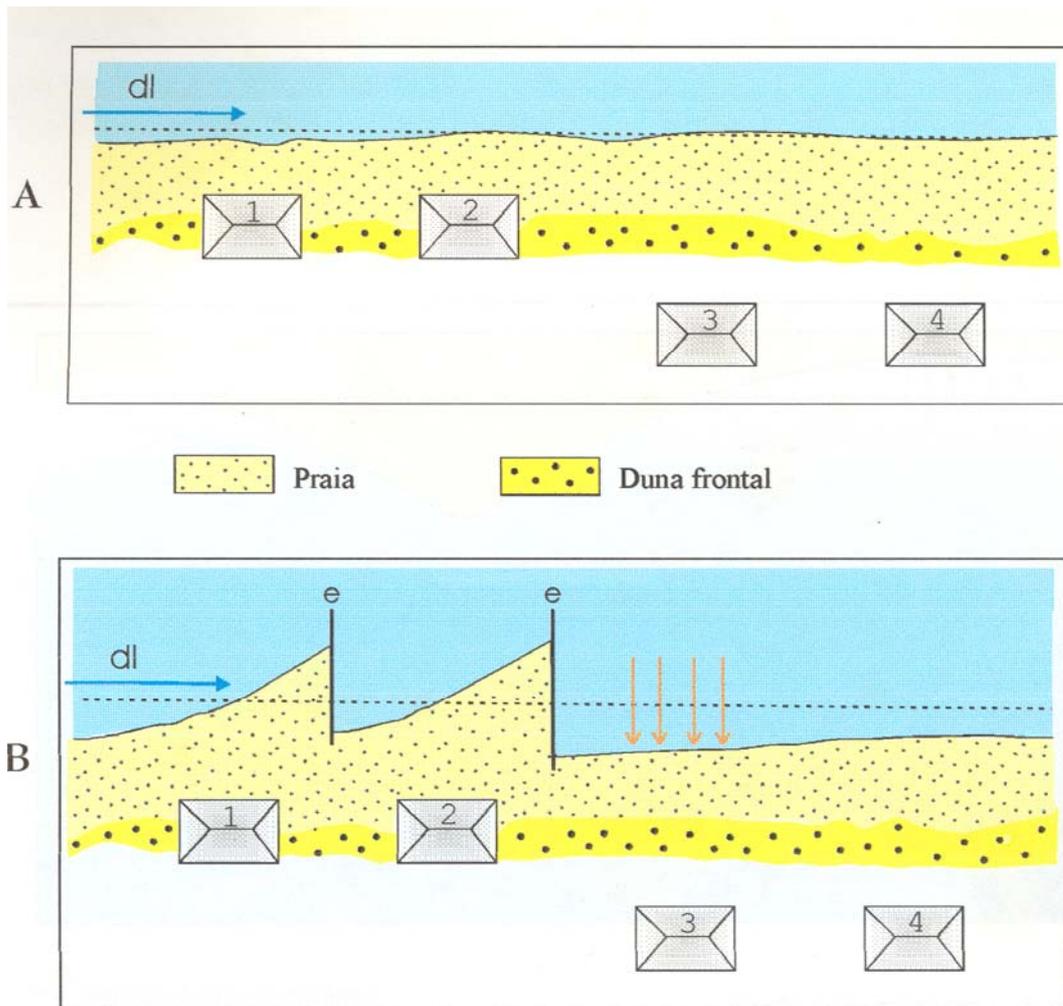
A defesa de regiões costeiras constitui-se numa atividade complexa, uma vez que atua diretamente sobre os processos costeiros aonde essas estruturas encontram-se inseridas.

Um planejamento eficiente, estético e principalmente econômico, objetivando solucionar ou minimizar os efeitos decorrentes da erosão, deve considerar todas as variáveis naturais e antrópicas que intervêm no processo e fundamentalmente ser implantado em todo o segmento costeiro em recuo, para que os objetivos estabelecidos sejam amplamente atingidos (Manso et al, 2000).

A seguir serão descritos de forma sucinta os tipos de estrutura comumente utilizados na costa brasileira, destacando suas características principais:

**Espigões** – São estruturas dispostas perpendicularmente a linha de costa, que se estendem do pós-praia, suficientemente enraizadas para não serem contornados pelo espraiamento, até a primeira linha de arrebentação, agindo diretamente na retenção de sedimentos transportados pela deriva litorânea, provocando estabilização e alargamento da praia.

A grande desvantagem deste tipo de intervenção é provocar um agravamento da situação à jusante do setor protegido e de deslocar o problema muitas vezes ampliado, para outro local que passa a apresentar um recuo de linha de costa devido à erosão (Figura 60).

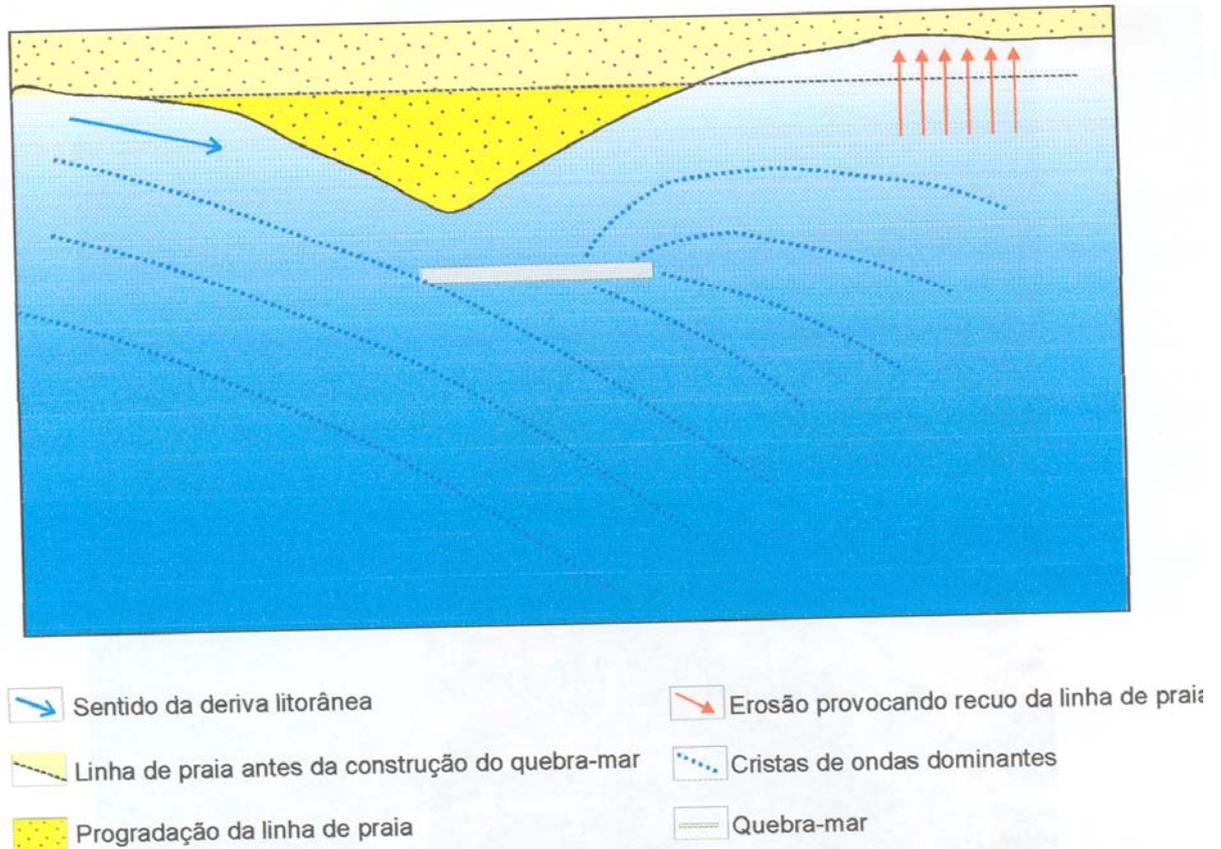


**Figura 60** – Efeito negativo provocado pela construção de espigões. (A) As casas 1 e 2, imprudentemente construídas sobre a duna frontal, são ameaçadas pelas ondas de ressacas, o que não ocorre com as casas 3 e 4 instaladas mais afastadas. (B) Para proteger as casas em perigo, decide-se ampliar a praia mediante a instalação de espigões (e). Os espigões alterando a deriva litorânea (dl) depositam o material de um lado mas provocam recuo de linha de costa ao lado oposto, colocando em risco as casas 3 e 4 antes protegidas (Fonte: Manso, 2000).

**Quebra-mar** – Constituem-se em obras longitudinais em relação a linha de praia, que diferem dos muros de proteção por serem implantadas a uma certa distância da costa.

Podem ser utilizados em áreas sem apreciável transporte litorâneo, sendo comumente constituídos por estruturas segmentadas em vãos agindo diretamente sobre as ondas associadas, interceptando-as e difratando as adjacentes, dissipando a energia das ondas antes de atingirem a praia (Figura 61).

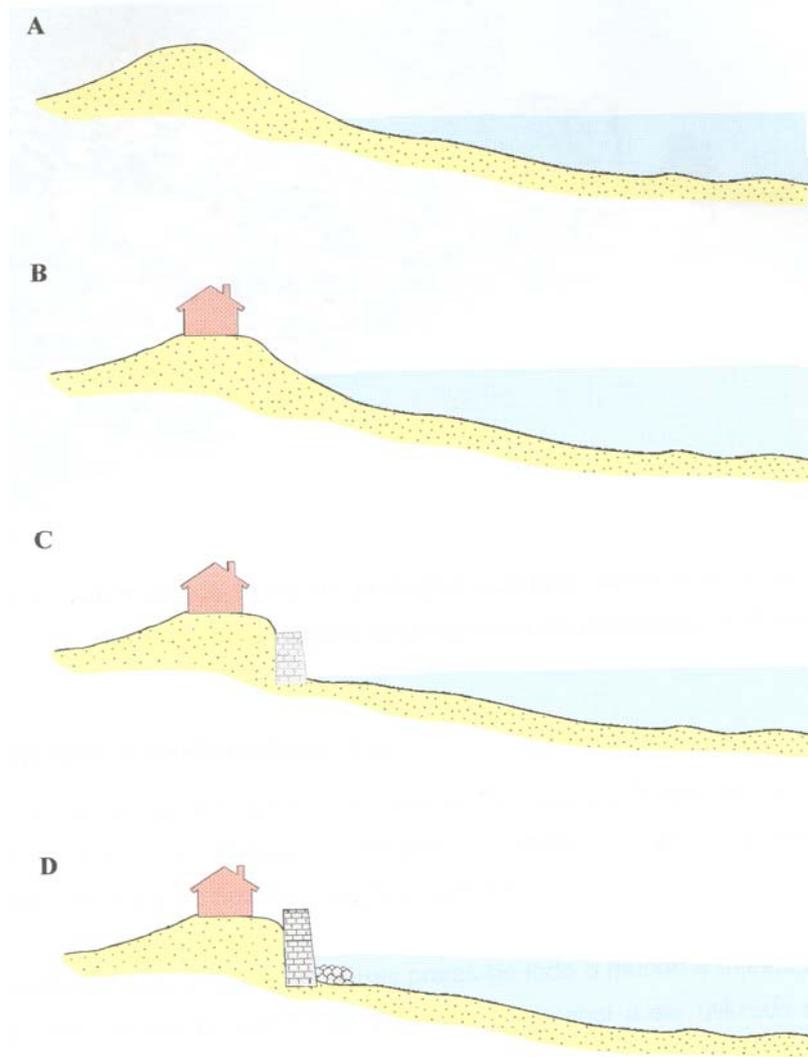
Os quebra-mares podem ser projetados para permanecerem submersos, amortecendo o ataque das grandes ondas permitindo a passagem das pequenas ondas, evitando uma interrupção total do transporte litorâneo, impedindo que ocorram sedimentos lamosos tão prejudiciais à balneabilidade das praias (Manso et al, 2000).



**Figura 61** – Efeitos do comportamento de um quebra-mar sobre o comportamento da morfologia da praia (*Fonte: Manso, 2000*).

**Muros de proteção** – Esse tipo de construção constitui-se numa obra longitudinal aderente comumente empregada para fixar o limite da praia em costas não protegidas adequadamente por praia natural, sendo muito frequentemente adotadas em caráter de emergência em áreas seriamente afetadas pelo mar visando evitar o contínuo recuo de costa (Alfredini, 2005).

Essas estruturas quando construídas adequadamente asseguram proteção aos trechos aos quais se encontram inseridas, porém impedem a troca de sedimentos entre a interface continente-mar promovendo um desequilíbrio no balanço sedimentar (Figura 62). O que provoca um aumento gradativo na energia de arrebentação das ondas e conseqüentemente das taxas de erosão em decorrência do déficit de sedimentos que reduziriam o fluxo dinâmico através do atrito com o substrato



**Figura 62** – Efeitos negativos da construção de um muro com enrocamento sobre a praia. (A) Situação inicial de uma praia e uma duna frontal em equilíbrio dinâmico. (B) Construção imprudente de uma casa sobre uma duna frontal para se encontrar o mais próximo possível da praia. (C) O destino de uma duna frontal é ser erodida pelas ressacas e restaurada durante os períodos de bom tempo. Para proteger a casa da ação destrutiva das ondas, constrói-se um muro de proteção. Impedindo a troca de material entre a duna e a praia, aumenta-se a turbulência da água de arrebentação, provocando a perda de material e o conseqüente recesso da praia. (D) O muro de proteção será submetido ao impacto direto das ondas, o que leva à construção de um enrocamento e o conseqüente desaparecimento da praia (Fonte: Manso, 2000).

**Alimentação artificial das praias** – Essa intervenção tem como foco corrigir o suprimento de areia com material adequado obtido de outras áreas (Figuras 63 e 64).

Permite estabilizar ou ampliar praias sujeitas a erosão ou ainda criar uma nova praia, podendo ser utilizada também para acelerar o enchimento de campos de espigões e sistemas de quebra-mares. Entretanto, se a causa da erosão não for eliminada, a erosão continuará na areia alimentada, sendo necessário um planejamento adequado para realimentação periódica dessas regiões (US Army, 1984).

Segundo Paskoff (2004) é a melhor intervenção de defesa litorânea por ser menos agressiva ao meio ambiente quando comparada aos demais métodos adotados.



**Figura 63** – Exemplo de engorda artificial para execução de projeto de condomínio de luxo em Dubai – Emirados Árabes.



**Figura 64** - Engorda artificial na praia de Bairnsdale, Austrália

## 7 CONCLUSÕES

- A técnica de geoprocessamento utilizada através da extensão DSAS utilizando imagens de sensoriamento remoto se fez eficiente na obtenção dos resultados de tendências de recuo de linha de costa nas áreas contempladas.
- 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.
- A tendências erosivas observadas ao longo dos anos nas praias de Iparana, Pacheco e mais recentemente Icaraí evidenciadas através das imagens de satélite e de fotografias aéreas e mensuradas através de técnicas de geoprocessamento, tem sua origem associada à interrupção da deriva litorânea de sedimentos pela construção do porto do Mucuripe em Fortaleza.
- A ausência de problemas decorrentes da erosão costeira não são evidenciados na margem direita do rio Jaguaribe simplesmente porque é ainda uma região desabitada por falta de infra-estrutura.
- Apesar da utilização de imagens de alta resolução terem se mostrado preferencialmente melhores na identificação e vetorização da linha de costa, quando comparadas as imagens Landsat e CBERS, a precisão alcançada e 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 GIS 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.

## 8 RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos, as regiões costeiras do estado do Ceará vem sendo submetidas a constantes processos erosivos, sendo necessário o reconhecimento dos condicionantes dinâmicos naturais dessas áreas através de estudos detalhados e planos de monitoramento. Com isto, será possível planejar, dentro de um horizonte a médio e longo prazo, o comportamento do meio e o tipo de ocupação ideal para cada zona.

A adoção de medidas sustentáveis que visem o ordenamento da ocupação das regiões litorâneas no estado do Ceará exige efetivamente providências eficazes no gerenciamento e mitigação de problemas quanto ao uso indevido ou inadequado das áreas, considerando para tal as peculiaridades de cada região ressaltando o direito ao uso dos recursos naturais respeitando os limites de assimilação da ação antrópica de cada região, frente à evolução da dinâmica costeira.

É importante salientar desde já que qualquer ocupação que venha a interromper o fluxo natural de sedimentos ou, que afete o balanço sedimentar costeiro, deve ser inibida ou na melhor das situações, realizado, considerando que suas implicações poderão afetar não só outros setores da costa zonas como inclusive o próprio empreendimento. Dentro do atual contexto de desenvolvimento sustentável a implantação de empreendimentos dentro da zona litorânea deve considerar os impactos que este trará para o ecossistema e para as casas e instalações adjacentes para desse modo evitar maiores prejuízos ecológicos e econômicos.

Considerando as taxas de elevação do nível do mar, o planejamento de uso do litoral deverá o quanto antes desaprovar qualquer tipo de ocupação nos primeiros 100 metros de praia medidos a partir da linha de preamar máxima atual, evitando desse modo prejuízos futuros. Este limite não é rígido e pode ser determinado com relativa facilidade a partir de análise de dados ambientais e de informações de análise multitemporal como as apresentadas nesse trabalho, devendo ser no mínimo desta ordem de magnitude para praias ainda sem ocupação e ou sem zoneamento, e superiores nas áreas aonde a topografia local apresentar uma baixa declividade.

O fenômeno de subida do nível do mar em decorrência das mudanças climáticas globais também causará problemas graves para as zonas sujeitas a inundações periódicas, tais como os estuário e lagunas, logo, faz-se necessário a realização de estudos detalhados nessas regiões.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOT, P. (2004) **Histoire du climat**. Paris, Éditions Perrin, 309p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2006. **Atlas Nordeste** – Abastecimento urbano de água: Alternativas de oferta de água para as sedes municipais da região nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais. Superintendência de planejamento e recursos hídricos. Brasília-DF. 82p. disponível em: [www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/atlas.pdf](http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/atlas.pdf).

ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas**. 1ªed. São Paulo: Edgard Bluncken. 2005. 687 p.

ANDRADE, E. – 1986 – **Geologia Sedimentar da Costa Aracati-Icapuí, no estado do Ceará – Brasil**. Dissertação de Mestrado UFPE. 127p. Recife.

ASHTON, A.; JEFFREY, H. L.; MURRAY A.B.; AMY S. F. **Links between erosional hotspots and a longshore sediment transport**. 2001

BESSAT, F. – F. (2003) **A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico**. In: **Terra Livre**. São Paulo, Associação dos Geógrafos Brasileiros. Ano 19, vol I, n. 20. p. 11-26.

BENSI, M. (2006). **Aplicação do correntometro acústico ADCP em ambientes marinhos e estuarinos do Ceará e Paraíba – Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará. 128p.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; VILAS BOAS, G.S. E FLEXOR, J.M. – 1979 – **Quaternary marine formation of the coast of the state of Bahia (Brazil)**. Atas do Simp. Inter. Evol. Cot. Quaternário, 232-253, São Paulo.

BROWN, J; COOLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. **Waves, Tides and shallow water process**. London: Pergamon Press, 1989, 187 p.

BROWN, A.C.; MCLACHLAN, A., 1990.- **Ecology of sandy shores**. New York: Elsevier Science Publishers B.V., 327p.

CABRAL, W. **Sensoriamento Remoto**. Apostila do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica do ITA. São José dos Campos, 2005.

CARVALHO, A.M. de – 2003 – **Processos Costeiros entre as localidades de Cumbuco e Matões, Costa Noroeste do Ceará, com ênfase para atividade eólica**. Tese de Doutorado.

BARBOSA, E.P. 1999. **Métodos de interpretação de fotografias aéreas para identificação de áreas contaminadas**. Relatório de consultoria CETESB – GTZ.

CHU, Z.X.; SUN, X.G.; ZHAI, S.K.; XU, K.H. **Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images**. Marine Geology, v. 227, p. 13-30, 2006.

CROWELL, M., S.P. LEATHERMAN, M.K. BUCKLEY (1991) **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy**. Journal of Coastal Research, Vol. 7, Nº 3, pp. 839-852.

CUNHA, E.M.S. (2005). **Evolución actual del litoral de Natal-RN (Brasil) y sus aplicaciones a la gestión integrada**. Tese de doutorado. Universidade de Barcelona.

DIAS, F. J. S. 2005a. **Modelagem hidrodinâmica das descargas fluviais para o estuário do rio Jaguaribe – Ce**. 2003. 112 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará.

DIAS, J. M. A. Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Proposta de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa (Geologia Costeira). 1993.

DOMINGUEZ, J.M.L. – **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.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L., 1992.- **Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate**. Sedimentary Geology, 80: 217-232p.

FARIAS, E.G.G. **Caracterização ambiental do estuário do rio Coreau - CE**. 2006. 49 p. Monografia de Graduação (Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará.

FARIAS, E.G.G de; MAIA, L.P.; Monteiro,L.H.U. **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,2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. 2007. **Precipitações mensais para o município de Fortaleza.** Em: (www. funceme.br/monitoramento/graficosdechuvras). Acesso em 08 de Dezembro de 2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. 1998. **Apostila do Curso de Meteorologia.**

GEOCONSULT – GEOLOGIA, CONSULTORIA E MEIO AMBIENTE, 2004. **Estudo de viabilidade ambiental – EVA para implantação do Condomínio residencial Águas Belas. Caponga – Cascavel – Ceará.** Relatório final.

GONZALEZ R.; WOODS, R. **Processamento de Imagens Digitais.** 1 ed. Rio de Janeiro. 2000. 264 p.

HARVELL, C. D. et al. **Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota.** Science's Compass Review. Vol. 296, 21 de junho de 2002.

HONEYCUTT, M.G.; CROWELL,M.C.; DOUGLAS B.C. (2001). **Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales.** Journal of Coastal Research, Vol. 17, Nº 3, pp. 721-730.

KRAUS, N.C. & ROSATI J.D. (1997) **Interpretation of shoreline – position data for coastal engineering analysis.** Coastal Engineering Technical Note, CETN II-39, U.S. Army, Engineer Research and Development Centre, Vicksburg, M.S.

IPCC (1990): **Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.

IPCC. **Report of the Joint IPCC WG II & III Expert meeting on the integration of Adaptation, Mitigation and Sustainable Development into the 4th IPCC Assessment Report.** St Denis, Reunion Island, France. February 16 – 18, 2005

LEAL, J.R.L.V. **Zoneamento geoambiental da área de proteção ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará.** 2003. 210 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

MAGALHÃES, S. H. O. **Caracterização morfodinâmica e evolução a médio e curto prazo das praias dos municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia- CE.** 2000. 123f. Dissertação (Mestrado em Sedimentologia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MAIA, L. P., 1993. **Controle tectônico e evolução geológica/sedimentológica da região da desembocadura do Rio Jaguaribe.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 144p.

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.** Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, facultat de Geologia, Departement d'Estratigrafia i Paleontologia, 269, Bcelona, Espanha.

MAIA, 2005. **Projeto Nordeste – Definição e Quantificação dos Processos Costeiros no Litoral do Estado do Ceará: Implicações para a Gestão Adequada da Zona Litorânea.**

MAIA, L.P., 2006. **Projeto de recuperação do litoral no trecho praia de Iracema – Náutico.** Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR.

MANSO, V.A.V. **Monitoramento ambiental das praias do município de Paulista – PE.** 2000. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia de Minas.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M.; VILAS BOAS, G.S.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; GUIMARÃES, M.M.M., 1979.- **Courbe de variation du niveau relatif de la mer au cours des 7000 derniers annees sur un secteur homogene du littoral bresilien (nord de Salvador).** Atas do Inter. Simp. Costal Evolution Quater. São Paulo. 264-274p.

MASCARENHAS, F.C.B., VALENTINI, E., COSTA, A.L.T., (1996). **Modeling and prediction beach evolution after groin construction in North-east coast of Brazil, costal environment, environmental problems in coastal regions,** Computational Mechanics Publications, 83-92 pp.

MEDEIROS C.; ROLLNIC M. **Oceanografia um cenário tropical. Capítulo: Ondas e suas interações com a costa.** p. 233-253. Edições Bagaço. Recife, 2004.

MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.V. da; THIERS, P.R.L. **Os campos de dunas móveis: Fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira.** GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, N° 20, pp. 101 - 119, 2006.

MORAIS, J.O. **Aspectos da geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará)**. Tese para seleção de professor titular. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará – UFC.1980.

MORAIS, J.O. **Evolução sedimentológica da enseada do Mucuripe (Fortaleza – Ceará – Brasil)**. Arquivos de Ciências do Mar , Volume XXI, nº 1/2, Fortaleza, 1981.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S. **Evolução a curto e médio prazo da zona costeira adjacente à foz do rio Jaguaribe – Ceará**. Ciências e Tecnologia (UECE), Fortaleza, v. 2, n. 2, p.69 – 77, ano 2000.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, 1989.303p.

OLIVEIRA, S. M. C. 2005. **Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo**. Dissertação de Mestrado- Universidade de Lisboa, Portugal.

PINHEIRO L.S.; MORAIS, J.O.; OLIVEIRA, G.G.; MOURA, M.R. **Impactos da erosão nas atividades turísticas das praias de Iparana e Pacheco. Caucaia – CE**. Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia - CBO, Vitória - ES, 2005.

PITOMBEIRA, E. S. – 1995. **Litoral de Fortaleza – Ceará – Brasil, um exemplo de degradação**. in: Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil. Recife-PE. 59-62p.

PASKOFF, R.P. **Potential Implications of Sea-Level Rise for France**. *Journal of Coastal*. pp. 424–434. [Volume 20, Issue 2 \(April 2004\)](#).

SAUSEN A., 2005. **Sensoriamento Remoto – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas**. Aula de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos – São Paulo.

SEINFRA. 2001. **Atlas do potencial eólico do estado do Ceará**. Fortaleza – CE.

SEMACE/ LABOMAR. **Projeto básico de zoneamento ecológico e econômico do litoral e ecossistemas associados do estado do Ceará**. 2005. Coordenador Prof. Dr. Luís Parente Maia.

SOUZA, E. B. **Técnicas de Processamento de Imagens Aplicadas à Localização de Solos Lateríticos**. 1996. 101f. Tese (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SILVA, D. A. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 1995. 69 p.

SMITH, G.L. & ZARILLO G.A. (1990). **Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques**. Journal of Coastal Research, Vol. 6, Nº 1, pp. 111-120.

SRH. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (1991). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Estudos de Base II, Fortaleza: 244p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G., 1985.- **Flutuações Do Nível Relativo Do Mar Durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. Revista de Geociências, 15: 273-286p.

US ARMY CORP OF ENGINEERS – **Shore Protection Manual**, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, 1984.

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.

THIELER, E.R. & DANFORTH W.W. (1994) **Historical shoreline mapping (II): application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico**. Journal of Coastal Research, Vol. 10, Nº 3, pp. 600-620.

TREBOSEN, H. ; DEFFONTAINES, B. ; CLASSEAU, N. ; KOUAME, J. ; RUDANT, J.P. **Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images**. C. R. Geoscience, v. 337, p. 1140– 1153, 2005.

VBA Consultores, 2002. **Projetos básicos e executivos dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da área do complexo industrial do Pecém, com estudos de viabilidade econômica e avaliação ambiental** (documento eletrônico).

VILLWOCK, J.A., 1987.- **Os paleoambientes da Província Costeira do Rio Grande do Sul e a possível ocorrência de antigos manguezais na costa sul do Brasil**. Anais I

**Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira - Síntese dos Conhecimentos**, Publ. ACIESP, São Paulo, 1(54): 132-137p.

VERÍSSIMO, L.S.; MEDEIROS, M.F.; SOUZA, J.E. & ANDRADE, F.T.B. 1996. **Avaliação das potencialidades hídrica e mineral do médio-baixo Jaguaribe (Ce)**. Fortaleza. CPRM, Programa de gestão e administração territorial, 89p.

WEERAKKODY, U. (1988). **Mapping coastal evolution in Sri Lanka using aerial photographs**. ITC Journal, N° 2, pp. 188 – 195.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D., 1983.- **Morphodynamics of beach and surf zone in Australia**. In: **C.R.C. Handbook of coastal processes and erosion**. P.D. Komar (ed.), C.R.C. Press., London, 35-64p.