

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**



DANIELE LAURA BRIDI MALLMANN

RECIFE, FEVEREIRO DE 2008

DANIELE LAURA BRIDI MALLMANN

“VULNERABILIDADE DO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO À EROSÃO”

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientadora: Profa. Dra. Tereza C. M. Araújo

RECIFE

2008

M254v

Mallmann, Daniele Laura Bridi.

Vulnerabilidade do litoral sul de Pernambuco à erosão / Daniele Laura Bridi Mallmann. - Recife: O Autor, 2008.
xi, 125 folhas, il : figs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2008.

Inclui Bibliografia e Anexo.

1. Oceanografia. 2. Erosão Costeira. 3. Erosão – Praias
(Pernambuco). I. Título.

UFPE

551.46

CDD (22. ed.)

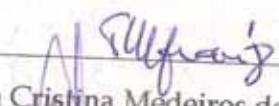
BCTG/2008-052

Folha de Aprovação

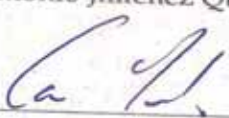
VULNERABILIDADE DO LITORAL SUL DE
PERNAMBUCO À EROSÃO

Dissertação aprovada pela comissão examinadora em 15 de fevereiro de 2008.

Examinadores:


Dr.ª Tereza Cristina Medeiros de Araújo


Dr. José Antonio Jiménez Quintana


Dr.ª. Carmen Medeiros Limongi

Recife, 2008

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a elaboração desta dissertação.

À minha família, pelo apoio incondicional, sob todas as suas formas e desde sempre.

À minha orientadora, Profa. Dra. Tereza Araújo, pelo interesse em me orientar desde o primeiro contato e pela atenção dispensada nestes dois anos.

Aos voluntários que participaram dos levantamentos de campo: Antônio Vicente Ferreira Jr., George Miranda, João Marcello Camargo, Mirella Borba e Victória Holguin.

Aos amigos, colegas e professores que, informal e muitas vezes virtualmente, me co-orientaram: Eng. Civil Ana Regina Uchôa, Eng. Cartógrafo Flávio Porfírio Alves, Estatístico (ou quase) Rodolfo Araújo da Silva, Profa. Dra. Núbia Chaves Guerra, Prof. Dr. Sérgio Guerra, Prof. Dr. Elírio Toldo Jr. e Profa. Dra. Sigrid Neumann.

Ao morador da Várzea do Una, Sr. Manuel José dos Santos (“Seu Neco”) e ao curador do Museu do Una, Sr. Bertrando Bernardino, pelas valiosas informações sobre o local.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia.

Aos colegas de Labogeo, pela partilha do ambiente e de vários interesses.

À banca, por aceitar contribuir para o aprimoramento do trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa e pela concessão dos recursos que possibilitaram a participação do Prof. José Antonio Jimenez da banca.

Ao Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste - CEPENE, por disponibilizar as instalações que serviram como base e alojamento durante as etapas de campo.

À Gerência Regional do Patrimônio da União - GRPU/PE, à Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco - CPRH e ao Departamento de Oceanografia - DOCEAN, pela cessão das fotografias aéreas e cartas sem as quais o estudo não teria sido possível.

Ao Departamento de Cartografia - DECART, por disponibilizar o *software* ERDAS *image* 8.3.

A todos os “painhos”, “mainhas” e famílias adotivas, pelo suporte emocional.

À família flutuante que dividiu comigo o lar, por me agüentar durante cada etapa deste trabalho.

Às lindas e vulneráveis praias do litoral sul do estado, pelo estímulo constante.

Aos amigos daqui e de longe, por me lembrarem sempre de que nem só de índices de vulnerabilidade se faz a vida.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas	
Resumo	
<i>Abstract</i>	

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Colocação do problema.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Justificativa.....	4
 2. ÁREA DE ESTUDO.....	 5
2.1 Localização.....	5
2.2 Meio físico.....	6
2.2.1 Geologia e geomorfologia.....	6
2.2.2 Hidrografia.....	7
2.2.3 Clima.....	7
2.2.4 Oceanografia.....	8
2.3 Meio biológico.....	9
2.4 Meio antrópico.....	10
 3. METODOLOGIA.....	 11
3.1 Trabalho de campo.....	11
3.2 Trabalho de gabinete.....	14
3.2.1 Pesquisa bibliográfica.....	14
3.2.2 Análise do deslocamento da linha de costa.....	15
3.2.3 Análise da vulnerabilidade	17

3.2.3.1 Definição da metodologia.....	17
3.2.3.2 Tratamento estatístico.....	20
3.2.4 Apresentação dos resultados.....	22
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
4.1 A erosão costeira.....	23
4.2 Métodos de diagnóstico e quantificação da erosão costeira.....	26
4.3 Vulnerabilidade da linha de costa à erosão.....	30
4.3.1 Síntese dos estudos de vulnerabilidade de costa.....	33
4.4 Métodos de prevenção e controle da erosão costeira.....	38
4.4.1 Métodos estruturais.....	38
4.4.2 Métodos não-estruturais	38
4.4.3 Não fazer nada (<i>do nothing</i>)/ abandonar a área.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs).....	40
5.1.1 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC).....	40
5.1.2 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Presença de Atributos Naturais (IPVAN).....	44
5.1.3 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM).....	48
5.1.4 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC).....	52
5.1.4.1 Deslocamento da linha de costa.....	52
5.1.4.1.1 Dificuldades encontradas.....	81
5.1.4.2 Taxas de deslocamento.....	83
5.4.1.3 Indicadores de erosão e acreção.....	88

5.4.1.4 IPVPC propriamente dito.....	90
5.1.5 Índice Parcial de Vulnerabilidade Relacionado à Influência Antrópica (IPVIA).....	93
5.2 Índice Global de Vulnerabilidade (IGV).....	99
5.2.1 Estabelecimento de áreas prioritárias para o Gerenciamento Costeiro.....	99
5.2.2 Natureza da vulnerabilidade.....	104
 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
6.1 Conclusões.....	110
6.2 Limitações.....	111
6.3 Sugestões.....	112
 REFERÊNCIAS.....	113
ANEXO	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Localização da área de estudo.....	5
Figura 2 – Marca da maré mais alta, indicador de linha de costa adotado no estudo.....	13
Figura 3 – Embarcação utilizada para os trabalhos em mar.....	13
Figura 4 – <i>Waypoints</i> marcados durante os caminhamentos, mostrando todo o trajeto percorrido.....	14
Figura 5 – IPV's relacionados à morfologia da costa para cada segmento.....	41
Figura 6 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVMC.....	42
Figura 7 – Heterogeneidade da área em relação à morfologia.....	43
Figura 8 – IPV's relacionados à presença de atributos naturais para cada segmento.....	44
Figura 9 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVAN.....	45
Figuras 10 – Presença de fatores que aumentam o IPVAN.....	46
Figuras 11 – Presença de fatores que reduzem o IPVAN.....	47
Figura 12 – IPV's relacionados à influência marinha para cada segmento.....	49
Figura 13 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVIM....	50
Figuras 14 – Praias de baixo IPVIM.....	50
Figuras 15 – Praias de elevado IPVIM.....	51
Figura 16 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia dos Carneiros).....	53
Figura 17 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia dos Carneiros).....	54
Figura 18 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Pontal de Manguinhos)....	55
Figura 19 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Pontal de Manguinhos).....	56

Figura 20 – Posição da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia de Campas).....	57
Figura 21 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia de Campas)..	58
Figura 22 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Tamandaré – Norte).....	59
Figura 23 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Tamandaré – Norte).....	60
Figura 24 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Tamandaré – Centro).....	61
Figura 25 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Tamandaré – Centro).....	62
Figura 26 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Baía de Tamandaré).....	63
Figura 27 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Baía de Tamandaré).....	64
Figura 28 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Ilhetas-Mamucabas).....	65
Figura 29 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Ilhetas-Mamucabas).....	66
Figura 30 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia de Mamocabinhas)...	67
Figura 31 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia de Mamocabinhas).....	68
Figura 32 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia do Porto).....	69
Figura 33 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia do Porto).....	70
Figuras 34 – (a) – 1961 e (b) – 2002: Praia da Várzea do Una destacando as variações na largura do canal entre o manguezal a praia.....	71
Figura 35 – (a) Desembocadura norte do rio Una aberta, em setembro de 2006; (b) a mesma desembocadura fechada, em abril de 2007.....	71
Figura 36 - Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Várzea do Una).....	72
Figura 37 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Várzea do Una).....	73

Figura 38 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Pontal do Gravatá).....	74
Figura 39 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Pontal do Gravatá).....	75
Figura 40 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Norte).....	76
Figura 41 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG – Norte).....	77
Figura 42 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Centro).....	78
Figura 43 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG – Centro).....	79
Figura 44 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Sul).....	80
Figura 45 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG – Sul).....	81
Figura 46 – Taxa média anual de deslocamento de linha de costa calculada para cada segmento.....	83
Figura 47 – Posições da linha de costa em 1961 e em 2006 para toda a área de estudo.....	84
Figura 48 – Percentual da linha de costa classificada segundo suas taxas de deslocamento.....	85
Figura 49 – Classificação da linha de costa de cada segmento segundo suas taxas de deslocamento.....	86
Figura 50 – Indicadores de erosão.....	88
Figura 51 – Distribuição dos indicadores de erosão na área de estudo.....	89
Figura 52 – IPV's relacionados aos processos costeiros para cada segmento.....	90
Figura 53 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVPC.....	91
Figura 54 – IPV's relacionados à influência antrópica para cada segmento.....	93
Figura 55 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVIA.....	94
Figura 56 – Praias de baixo IPVIA.....	95
Figura 57 – Praias com elevado IPVIA.....	96

Figura 58 - (a) Praias do Porto e Mamocabinhas (parte), área de ocupação rarefeita; (b) Malha urbana de São José da Coroa Grande, área de maior adensamento populacional da área de estudo.....	97
Figura 59 - Vulnerabilidade global expressa em percentual para cada segmento.....	100
Figura 60 - Percentual da linha de costa enquadrada em cada categoria de vulnerabilidade.....	102
Figura 61 - Grau de vulnerabilidade atribuído a cada segmento estudado.....	103
Figura 62 - Dendrograma agrupando as praias cuja natureza da vulnerabilidade se assemelha.....	104
Figura 63 - Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo I.....	105
Figura 64 - Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo II.....	107
Figura 65 - Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo III.....	108
Figura 66 - Comparação entre a média dos deslocamentos da linha de costa e o percentual de vulnerabilidade para cada segmento.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre os municípios localizados na área de estudo.....	10
Tabela 2 - Unidades consideradas para o estudo.....	11
Tabela 3 - <i>Checklist</i> para estudo da vulnerabilidade da costa à erosão.....	19
Tabela 4 - Relação entre os intervalos dos valores e os graus de vulnerabilidade..	20
Tabela 5 - Perdas e ganhos de areia no balanço sedimentar litorâneo.....	23
Tabela 6 - Métodos para diagnóstico e quantificação da erosão costeira.....	27
Tabela 7 - Principais indicadores de linha de costa.....	29
Tabela 8 - Abordagens qualitativas para análise de vulnerabilidade.....	34
Tabela 9 - Abordagens semi-quantitativas para análise de vulnerabilidade.....	35
Tabela 10 - Abordagens metodológicas quantitativas e/ou baseadas em métodos computacionais para análise de vulnerabilidade.....	37
Tabela 11 - Valores usados para classificar o IPVMC em graus de vulnerabilidade.....	41
Tabela 12 - Valores usados para classificar o IPVAN em graus de vulnerabilidade.....	45
Tabela 13 - Valores usados para classificar o IPVIM em graus de vulnerabilidade.....	49
Tabela 14 - Valores calculados com base no total de transectos do segmento Baía de Tamandaré (69) e na sub-amostra utilizada (66).....	63
Tabela 15 - Valores usados para classificar o IPVPC em graus de vulnerabilidade.....	91
Tabela 16 - Valores usados para classificar os IPVIA em graus de vulnerabilidade.....	94

Tabela 17 - Dados demográficos dos municípios estudados.....	97
Tabela 18 - Valores dos índices parciais e do índice global de vulnerabilidade (IGV).....	99
Tabela 19 - Valores usados para classificar o IGV em graus de vulnerabilidade.....	100
Tabela 20 - Vulnerabilidade em percentual para cada segmento estudado.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS

APA – Área de Proteção Ambiental

CERC - *Coastal Engineering Research Center*

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Estado de Pernambuco)

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação

GRPU – Gerência Regional do Patrimônio da União

HWL - *High Water Line*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

MHWL - *Mean High Water Line*

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

RESUMO

O estudo apresenta uma proposta metodológica para estimar a vulnerabilidade de segmentos costeiros à erosão através de uma abordagem semi-quantitativa, bem como sua aplicação para 14 praias do litoral sul de Pernambuco. Análises como esta constituem importantes ferramentas no processo de gerenciamento costeiro, tendo em vista que possibilitam o estabelecimento de áreas prioritárias para a gestão. Assim, após pesquisa sobre os métodos existentes para esse fim, foi elaborada uma metodologia através da qual dados qualitativos e quantitativos são codificados em pesos proporcionais à sua influência sobre um Índice de Vulnerabilidade Global (IVG). Por sua vez, o IVG é calculado a partir de cinco Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs), relacionados: à morfologia costeira, à presença de atributos naturais, à influência marinha, aos processos costeiros e a fatores antrópicos. Os resultados obtidos demonstram que 32,1% da linha de costa analisada pode ser classificada como de baixa vulnerabilidade no que tange aos riscos de erosão. Áreas que apresentam grau de vulnerabilidade muito alto (21,3%) coincidem com os núcleos urbanos ou porções deles, sugerindo um controle muito mais estrutural/ antrópico do que natural/dinâmico sobre a vulnerabilidade global. Ademais, foi possível identificar quais são as variáveis de maior influência sobre a vulnerabilidade de cada praia e identificar três grupos de praias cuja natureza da vulnerabilidade se assemelha, estando relacionada: (a) à morfologia costeira e aos processos costeiros; (b) à influência antrópica e aos processos costeiros; e (c) à influência antrópica e aos atributos naturais. Conclui-se que a metodologia aqui proposta é simples e factível mesmo para áreas cujas informações são escassas, como é o caso do litoral sul de Pernambuco. Os resultados obtidos com a sua aplicação podem vir a orientar o processo de ocupação das praias localizadas na área de estudo, tendo em vista que na maior parte delas a urbanização ainda é incipiente, condição ideal para a implementação de planos de manejo preventivos.

Palavras-Chave: Erosão costeira; praias; litoral sul de Pernambuco; vulnerabilidade.

ABSTRACT

This study proposes a methodology to estimate the vulnerability of coastal segments to erosion through a semi-quantitative approach and its application to 14 beaches on the southern coast of Pernambuco State, Northeast Brazil. Such analyses are important tools in the process of coastal management, aimed to establish priority areas for management. After researching existing methods of coastal vulnerability assessment, a new method was prepared through which qualitative and quantitative data are encoded in weights proportional to their influence on a Coastal Vulnerability Index (CVI). In turn, the CVI is calculated from five Partial Vulnerability Indexes (PVI), related to: coastal morphology, presence of natural attributes, marine influence, coastal processes and human factors. Results show that 32.1% of the shoreline analyzed can be classified as of low vulnerability with regard to the risks of erosion. Areas which have very high degree of vulnerability (21.3%) coincide with the urban areas or portions of them, suggesting a more structural control / anthropic than natural / dynamic on the global vulnerability. Furthermore, it was possible to identify the variables of greater influence on the vulnerability of each beach and identify three groups of beaches whose nature of vulnerability is similar, being related to: (a) the coastal morphology and coastal processes, (b) the anthropic influence and coastal processes, and (c) the anthropic influence and natural attributes. It is concluded that the methodology proposed here is simple and feasible even in areas where information is scarce, such as the southern coast of Pernambuco State. The results of its application may well guide the process of occupation of the beaches located in the study area, taking into consideration that in most of them the urbanization is still incipient, which is the ideal condition for the implementation of management plans for prevention.

Key-words: Costal erosion; beaches; south sea-line of Pernambuco; vulnerability.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Colocação do problema

As praias representam sistemas transicionais, dinâmicos e sensíveis, em constante ajuste às flutuações dos níveis de energia locais. Sua principal função ambiental consiste na atuação como zona tampão, protegendo a costa da ação direta da energia do oceano (Hoefel, 1998). Outras funções incluem o papel alimentador da vida marinha e a movimentação mercantil entre países e continentes, a qual ressalta a importância estratégica dessas áreas (Brasil, 2002).

Como ambientes dinâmicos, as praias estão sujeitas a um complexo sistema de forças e processos, dos quais são produtos (Manso *et. al.*, 2001). A estabilidade de uma praia é a situação na qual essas forças trabalham igualando perdas e ganhos de sedimentos. Tal equilíbrio, no entanto, nem sempre é possível, tendo em vista que a idéia de que uma praia natural deve ser estável não é sustentada ao longo do tempo geológico (Bird & Schwartz, 1985).

A erosão marinha, caracterizada pelo recuo da linha de costa em direção ao continente e decorrente do balanço sedimentar negativo, promove a perda de importantes *habitats* costeiros, além de grandes perdas econômicas. Cerca de 70% das praias arenosas do mundo encontram-se atualmente em processo de erosão (Bird & Schwartz, *op.cit.*). Alguns fatores podem ser apontados como causadores de processos erosivos junto à linha de costa e estão relacionados principalmente: ao suprimento de sedimentos, à energia das ondas e marés, à posição relativa do nível do mar (eustasia, movimento crustal e subsidência) e às obras de engenharia costeira (Toldo Jr., 2006).

A urbanização, que se dá cada vez mais próxima à linha de costa, impede o processo natural e cíclico de retirada e reposição de sedimentos. Assim, a crescente ocupação da zona costeira, bem como a demanda acelerada pelos seus recursos, vem intensificando os efeitos da erosão nessas áreas, tornando-as mais vulneráveis ao processo erosivo (Lélis, 2003; Esteves, 2004). Neste contexto, a atribuição de graus de vulnerabilidade à erosão para diferentes segmentos tem se mostrado uma ferramenta importante para o planejamento e gerenciamento da zona costeira.

O litoral pernambucano, seguindo tendência global, tem suportado um grande crescimento, constituindo a região de maior densidade demográfica do estado (Lima, 2003; Gregório, 2004). Segundo Lira (1997), em vários pontos da costa, o processo erosivo já é percebido em intensidades que variam de moderada a severa. Suas causas locais e regionais, no entanto, permanecem desconhecidas. Em determinados trechos, tentativas de minimizar o processo de recuo da linha de costa por meio da construção de obras já se fazem necessárias.

No litoral sul, área do presente estudo, trabalhos anteriores diagnosticaram variações da linha de costa da magnitude de dezenas de metros em diversos pontos, as quais foram atribuídas, em sua maioria, à dinâmica natural (Costa, 2002). Estudos sistemáticos, no entanto, inexistem para tal região, tendo sido feitos somente estudos pontuais (no tempo e no espaço), principalmente a partir da década de 90.

O presente trabalho apresenta uma análise dos deslocamentos da linha de costa de longo-termo (1961-2006) para as praias pertencentes aos municípios de Tamandaré, São José da Coroa Grande (SJCG) e Barreiros. Ademais, são aqui apresentados resultados referentes à atribuição de graus de vulnerabilidade para cada unidade analisada. Pretende-se, desta forma, sugerir setores prioritários para o gerenciamento costeiro na área.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo consiste em avaliar a vulnerabilidade dos diversos segmentos costeiros do litoral sul de Pernambuco, a fim de representar o potencial de reação da linha de costa às forçantes que atuam no sistema praial e aos efeitos do uso na área. Para atingir este objetivo, as seguintes etapas são propostas:

- Compilação das diversas abordagens metodológicas disponíveis para estimar a vulnerabilidade costeira à erosão;
- Eleição de variáveis que determinem a vulnerabilidade da área de estudo à erosão e, a partir delas, definição e aplicação de um algoritmo que expresse tal informação;
- Levantamento de dados primários e secundários relacionados às características naturais e de uso da região;
- Identificação de tendências erosivas/deposicionais de longo-termo (da ordem de décadas) na linha de costa, bem como avaliação das taxas de deslocamento para os diversos segmentos;
- Definição e mapeamento dos níveis de vulnerabilidade para as diferentes unidades da costa estudada, com base nos critérios supracitados.

1.3 Justificativa

Os resultados da análise do deslocamento da linha de costa devem elucidar importantes questões referentes à evolução da linha de costa ainda desconhecidas nesta escala espaço-temporal. Tais informações, assim como aquelas relacionadas à ocupação da costa, levantadas durante o estudo, fornecerão subsídios para o gerenciamento costeiro, tendo em vista que a região se encontra ainda no início do processo de urbanização, condição adequada para a implementação de planos de manejo preventivos.

A análise de vulnerabilidade, por sua vez, pode vir a orientar esforços na conservação de *habitats*, bem como em investimentos de engenharia na costa. Ademais, pode subsidiar a seleção de variáveis durante a elaboração de programas de monitoramento ambiental, o planejamento do uso e a adequação da ocupação às condições naturais. Este último torna-se ainda mais importante, visto que a área de estudo está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Marinha Costa dos Corais e, em parte, na APA de Guadalupe.

Por fim, em virtude de sua forma de apresentação, como mapas e bancos de dados, este estudo poderá ser atualizado/ ampliado conforme a disponibilidade de novas informações.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

O litoral sul de Pernambuco abrange uma faixa de 99 km a partir da foz do Rio Jaboatão, até a foz do Rio Persinunga, compreendendo os municípios de Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande (CPRH, 2003). O presente trabalho contempla os municípios de Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande (Fig. 1), localizados no extremo sul do estado.



Figura 1 –Localização da área de estudo.

2.2 Meio físico

2.2.1 Geologia e geomorfologia

Os relevos observados na área se caracterizam como planície costeira de origem sedimentar, com largura variável e altitudes entre 0 e 10 metros (CPRH, 2003). De acordo com Villwock (1994), esta porção da costa é constituída por sedimentos terciários do Grupo Barreiras que, através do retrabalhamento parcial durante o Pleistoceno e o Holoceno, deram origem aos Tabuleiros Costeiros. A linha de costa se apresenta bastante irregular, destacando-se na região feições como tômbolos, terraços marinhos, enseadas, restingas, desembocaduras de rios perenes e afloramentos rochosos (Costa, 2002).

A plataforma continental interna (área situada entre a linha de costa e a isóbata de 20 m) apresenta um relevo suave, interrompido por irregularidades relacionadas à presença de canais e recifes de arenito (*beachrocks*) dispostos paralelamente à costa (Lima, 2003; Camargo, 2005). Esta plataforma é considerada estreita, uma vez que sua quebra ocorre em torno de 32 km a partir da costa, entre profundidades de 50 a 60 metros (Michelli, 2002). Suas características sedimentológicas se assemelham àquelas encontradas em toda a costa oriental do nordeste brasileiro, apresentando frações predominantes de areia e cascalho carbonático biogênico, originado principalmente de *Halimeda sp.* e outras algas coralíneas (França, 1976 *apud* Michelli, *op. cit.*). O material terrígeno, também encontrado no local, tem sua origem relacionada à contribuição fluvial.

2.2.2 Hidrografia

A área recebe contribuição sedimentar de rios dos tipos litorâneos (nascem e deságuam na zona litoral e, em geral, apresentam regime perene); e translitorâneos (nascem no agreste, onde apresentam regime temporário, se tornam perenes na zona da mata e deságuam no litoral). No primeiro grupo, enquadram-se os rios Mamucabas e Ilhetas, localizados no município de Tamandaré; o riacho Meireles, que nasce e deságua no município de São José da Coroa Grande; além dos rios Formoso, cujo estuário limita a área de estudo a norte, e Persinunga, que limita a área a sul. Já entre os translitorâneos, se enquadra o rio Una, que nasce no município agrestino de Capoeiras e deságua na divisa entre os municípios de São José da Coroa Grande e Barreiros, onde forma um estuário (CPRH, 2003).

2.2.3 Clima

O clima da região é definido como tropical úmido, com precipitação pluviométrica anual em torno de 2.000 mm (Lima, 2001) e chuvas de inverno antecipadas no outono, sendo classificado por Koeppen como *As'* (pseudo-tropical). Os meses de maio, junho e julho são os mais chuvosos (70 a 75% do total anual), enquanto outubro, novembro e dezembro são os mais secos. A temperatura média anual é de 24°C, com mínima e máxima de 18°C e 32°C, respectivamente (CPRH, *op.cit*).

Os ventos dominantes são os alísios de NE e SE (CPRH, *op.cit*). As velocidades médias dos ventos incidentes na costa pernambucana variam entre 3,1 e 4,7 m/s, vindos, em geral, de E-SE no período entre abril e setembro e de E-NE entre outubro e março (Cavalcanti e Kempf, 1970).

2.2.4 Oceanografia

A área apresenta maré do tipo semi-diurna, com período médio de 12,42 horas, assumido o porto de Suape como referência. Em termos de amplitude, as marés que ali atuam são classificadas como meso-marés, com variações médias de cerca de 1,4 m na quadratura e 2,2 m na sizígia (Luna, 2001), podendo atingir 2,6 m em situações extremas (Pires, 2001, *apud* Lins, 2002).

As ondas ao largo, assim como ocorre em todo o litoral pernambucano, têm direção predominante E-SE e estão associadas a ventos de mesma direção. Altura e período variam entre 1,0 e 1,5 m; 5 e 7 s, respectivamente (U.S. Navy, 1978, *apud* Oliveira, 2000).

As linhas de recifes areníticos, de corais e algálicos atuam amenizando a energia das ondas que atingem a costa, funcionando como uma proteção natural às praias e determinando a morfologia da costa. Modificações provocadas pela presença de recifes de arenito paralelos à linha de costa são identificadas na área, tornando o padrão de circulação mais complexo e gerando correntes de retorno (Oliveira, 2000.), as quais estão entre os maiores responsáveis pelo transporte de sedimentos perpendicular à linha de costa.

No que tange ao transporte de sedimentos paralelo à linha de costa, embora não existam informações disponíveis sobre sua magnitude, é conhecido que a deriva litorânea se dá preferencialmente para norte.

2.3 Meio biológico

Os ambientes encontrados na área incluem praias, restingas, manguezais, várzeas fluviais, margens e terraços marginais aos cursos dos rios. Resquícios de mata atlântica estão presentes, no entanto, o cultivo de cana-de-açúcar, a expansão das áreas policultoras, a retirada de madeira para lenha e a expansão imobiliária desordenada vêm contribuindo para a dizimação dessas florestas primárias. Poucos remanescentes de maior expressão são encontrados na área, estando alguns deles incluídos em Unidades de Conservação (CPRH, 2003).

Outras formações florestais ocorrem próximo à costa, entre as quais podem ser destacadas: as restingas, formadas sobre terraços arenosos por árvores de troncos finos e em baixa densidade; os manguezais, formados pelos mangues vermelho (*Rizophora mangle*), branco (*Laguncularia racemosa*) e canoé (*Avicennia sp.*) em terrenos alagados e desembocaduras de rios sob a influência das marés; os campos de várzea, em locais favoráveis ao acúmulo de água doce; e a vegetação rasteira, que ocorre junto à praia e se caracteriza por ser rala e pouco uniforme (Lima, 2003). Ademais, são observados coqueirais plantados junto à praia.

Em sua porção marinha, a área tem nos ambientes recifais seus ecossistemas mais relevantes. A região está compreendida na APA Marinha Costa dos Corais, constituindo a porção pernambucana da mesma, a qual inclui ainda a porção norte do litoral de Alagoas. Tal Unidade de Conservação, a maior em ambiente marinho do país, foi criada no ano de 1997 no intuito de proteger a diversidade aí presente e garantir o uso racional dos recursos frente à ocupação verificada na costa (Instituto Recifes Costeiros, 2001). Os recifes nela encontrados abrigam algumas espécies de corais que são endêmicas da costa brasileira, justificando sua inserção numa Unidade de Conservação (Araújo, 2003).

Cabe mencionar, ainda, que os municípios de Tamandaré e Barreiros estão incluídos na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, criada através do Decreto n. 19.635, de 13.03.97, em nível estadual (Pernambuco, 1997).

2.4 Meio antrópico

Dados demográficos e outras informações relevantes sobre a área constam na tabela seguinte (Tab.1).

Tabela 1 - Informações sobre os municípios localizados na área de estudo (Fonte: IBGE, 2007).

Município	Tamandaré	Barreiros	São José da Coroa Grande
Característica			
População	18.137 hab	41.748 hab	17.090 hab
Área	190 km ²	233 km ²	69 km ²
Distância da capital	114 km	110 km	123 km
Principais atividades econômicas	Agricultura, pesca, turismo, comércio e indústria	Agroindústria	Agricultura

Do ponto de vista econômico, a região é de grande importância por constituir fonte de recursos pesqueiros para as comunidades locais. Ademais, toda a área apresenta condições naturais que servem como atrativos para o turismo, resultando num grande fluxo de pessoas vindas dos mais diversos locais (Araújo, 2003). Em decorrência disso e de outros tipos de usos feitos no local, são observados alguns prejuízos ao ambiente natural, entre os quais se destacam: a presença de resíduos sólidos, especialmente plásticos e outros derivados de petróleo (Araújo, *op. cit.*); e a erosão costeira (Lima, 2003).

3. METODOLOGIA

3.1 Trabalho de campo

Para o levantamento da linha de costa atual e a coleta de informações sobre a mesma, foram feitas saídas em campo, conduzidas durante os meses de setembro de 2006, abril e setembro de 2007. A delimitação das unidades de estudo foi feita com base na homogeneidade ambiental das praias. Assim, as unidades consideradas para a coleta dos dados e para a avaliação da vulnerabilidade, sua extensão aproximada e percentual da área de estudo correspondente encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Unidades consideradas para o estudo.

Município	Segmento	Extensão aproximada (m)	% da extensão total
Tamandaré	Praia dos Carneiros	930	3,4
Tamandaré	Pontal de Manguinhos	800	2,9
Tamandaré	Praia de Campas	2.990	11
Tamandaré	Tamandaré – Norte	1.430	5,2
Tamandaré	Tamandaré – Centro	1.320	4,8
Tamandaré	Baía de Tamandaré	3.560	13
Tamandaré/Barreiros	Complexo Estuarino Ilhetas-Mamucabas	600	2,2
Barreiros	Praia de Mamocabinhas	2.770	10,1
Barreiros	Praia do Porto	1.190	4,4
SJCG	Várzea do Una	4.740	17,4
SJCG	Pontal do Gravatá	2.480	9,1
SJCG	São José da Coroa Grande - Norte	1.010	3,7
SJCG	São José da Coroa Grande – Centro	2.540	9,3
SJCG	São José da Coroa Grande – Sul	940	3,4
	Total	27.300	100

Nas duas primeiras campanhas, caminhamentos foram feitos em ocasiões de maré de sizígia, sempre durante a baixa-mar, tendo em vista que alguns trechos se tornam de difícil acesso ou mesmo inacessíveis durante os demais estágios da maré. Para cada segmento foi preenchida uma planilha com os dados ambientais da praia (aspectos físicos, biológicos e antrópicos – Anexo I) e tomadas fotografias.

Em todo o percurso foi realizado um perfil longitudinal da linha de costa, por meio da marcação de *waypoints* com GPS (*Global Positioning System*) de mão modelo *Garmin 48*, cujo erro máximo é estimado em 10 m. O indicador utilizado foi a marca da maré mais alta (*High water line - HWL*), representada pelo avanço da última maré alta e identificada pela linha de umidade que separa a praia seca da praia úmida (Fig. 2). Sua escolha foi feita pela fácil identificação no campo e em fotografias aéreas e por ocorrer de forma contínua em longos trechos, característica esta fundamental para o presente estudo em virtude da extensão da área.

No mês de setembro de 2007, nova saída em campo foi realizada a bordo da lancha “Ednéia I” (Fig. 3), com o objetivo de mapear a dinâmica das desembocaduras dos rios Ilhetas, Mamucabas e Una. Este último em especial, tendo em vista a recente reabertura da desembocadura norte, não registrada durante as saídas anteriores. A tentativa, no entanto, não foi válida, pois as condições do mar não permitiram a atracação junto às praias. Os trajetos percorridos durante as saídas em campo estão representados na Fig. 4.



Figura 2 – Marca da maré mais alta, indicador de linha de costa adotado no estudo.



Figura 3 – Embarcação utilizada para os trabalhos em mar.

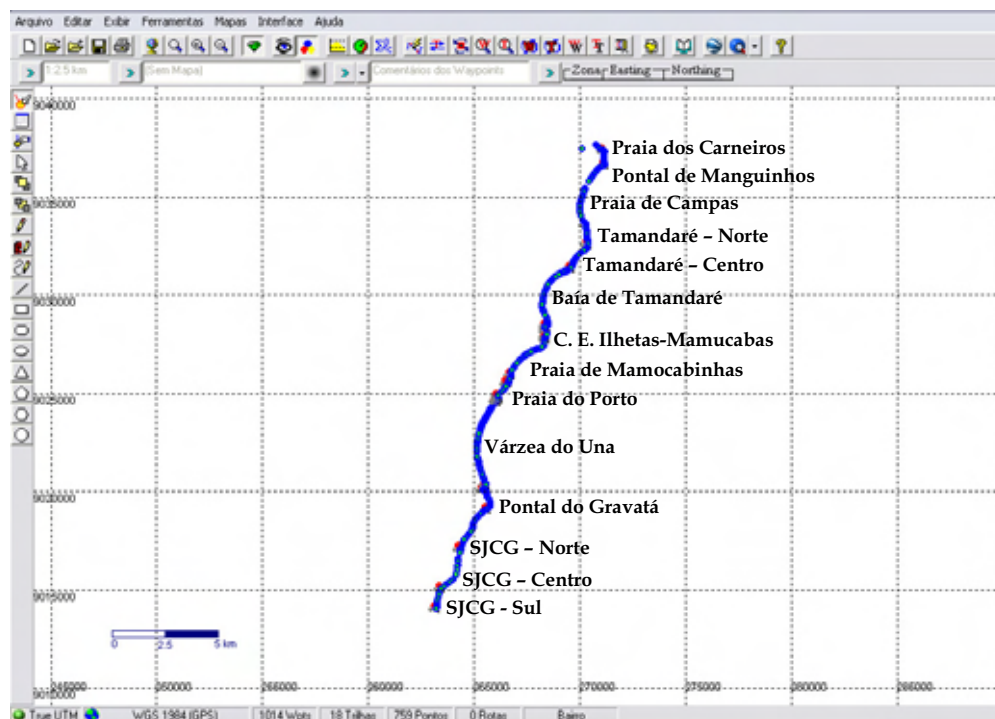


Figura 4 – *Waypoints* marcados durante os caminhamentos, mostrando todo o trajeto percorrido.

3.2 Trabalho de gabinete

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

Foram revisados inúmeros estudos contendo diferentes abordagens metodológicas para avaliação da vulnerabilidade da linha de costa à erosão. Tais estudos foram sintetizados em tabelas, organizados pelo tipo de abordagem (qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa ou baseada em métodos computacionais) e foram úteis durante o desenvolvimento da metodologia aqui aplicada.

Foram ainda consultados/ adquiridos materiais necessários para o estudo: fotografias aéreas (Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2002; Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, 1961) e base cartográfica do Ministério do Interior (1974), além de relatórios e monografias pertinentes para o melhor entendimento da área e dos processos ali atuantes.

3.2.2 *Análise do deslocamento da linha de costa*

Fotografias aéreas verticais impressas, datadas de 1961 e tomadas durante levantamento conduzido pela Seção de Aerofotogrametria da DHN, foram obtidas junto ao Departamento de Oceanografia. As mesmas foram convertidas para o formato digital com o uso de um *scanner* de mesa com resolução gráfica de 300 dpi (*dots per inch*). Essa resolução foi escolhida por apresentar bons resultados em trabalhos pretéritos do gênero (Lélis, 2003; Lima, 2003) e por gerar arquivos de tamanho adequado aos equipamentos disponíveis. Uma vez *scannerizadas* as fotografias, foi confeccionado um mosaico de forma controlada, unindo pontos comuns de diferentes fotografias com percentual de sobreposição.

Foi tomada como base cartográfica o mapeamento planialtimétrico do Ministério do Interior (1974) na escala 1:25.000, o qual adota o Sistema de Referência Geodésico Córrego Alegre. As folhas utilizadas incluem: Praia dos Carneiros (SC.25 – V-A-V-2-SE); Tamandaré (SC.25 – V-A-V-4-NE); Barreiros (SC.25 –V-A-V-NO) e São José da Coroa Grande (SC.25 – V-A-V-4-SO). Com a utilização do *software* ERDAS *Imagine* 8.3, o qual foi disponibilizado pelo Departamento de Cartografia - DE CART, foi feito o registro do mosaico através da reamostragem dos *pixels* segundo o sistema de coordenadas da base cartográfica adotada. O erro RMS (*root mean square*) decorrente desse processo foi estimado em 0,3 *pixel* (tamanho do *pixel* igual a 15 m), o que foi considerado aceitável para os propósitos do trabalho.

Uma vez registrado, o mosaico foi exportado para o Sistema de Informações Geográficas (SIG) *ArcGis 9.1*, disponibilizado pelo Laboratório de Oceanografia Geológica – LaboGeo, com o qual a linha de costa de cada trecho foi vetorizada e suas coordenadas correspondentes salvas no formato *shapefile*. Para a linha de costa atual (2006), foram utilizados os dados levantados com GPS durante o trabalho de campo. Os pontos obtidos foram descarregados com o uso do programa *GPS Track Maker*, convertidos para a extensão “*dbf4*” e posteriormente para *shapefile*.

O SIG já mencionado foi utilizado para organizar os dados referentes à posição multitemporal da linha de costa, cujo deslocamento foi estimado por meio da criação de transectos perpendiculares à linha de costa-base (assumida a mais antiga como tal), com espaçamento de 50 metros entre cada um deles. O método utilizado para o cálculo das taxas anuais de deslocamento de linha de costa é conhecido como “ponto final”, o qual consiste em medir a distância entre as posições da linha de costa em duas épocas distintas e dividir o resultado (em metros) pelo intervalo de tempo existente entre elas (em anos) (CERC, 1986; DOUGLAS *et al.*, 1998).

Assim, a identificação dos padrões de deslocamento foi baseada nas distâncias registradas nas tabelas de atributos, tomando o cuidado de obedecer ao sentido do deslocamento: recuos da linha de costa em direção ao continente são representados como valores negativos, enquanto avanços da linha de costa em direção ao mar, como valores positivos. Para a realização dos cálculos, foram assumidos que:

- a distância entre cada par de pontos representa a variação local da linha de costa;
- a média entre todos os pares de pontos representa a tendência da costa ou de segmentos dela;
- a razão entre a distância e o número de anos decorridos no intervalo representa a taxa anual de erosão/ acresção, valor usado para alimentar o banco de dados a partir do qual foi definida a vulnerabilidade de cada segmento à erosão.

3.2.3 Análise da vulnerabilidade

3.2.3.1 Definição da metodologia

A compilação de dados secundários, assim como a sistematização dos dados coletados em campo, foi essencial para que a escolha das variáveis envolvidas estivesse de acordo com as informações disponíveis. Ademais, tal escolha foi orientada por estudos pré-existentes referentes ao tema (Dal Cin & Simeoni, 1994; Esteves & Finkl, 1998; Thieler & Hammar-Klose, 1999; Souza & Suguio, 2003). Desta forma, foram eleitas 21 variáveis agrupadas em 5 categorias, utilizadas para o cálculo dos índices parciais de vulnerabilidade (IPVs). Todas elas se encontram resumidas na Tabela 3, com seus intervalos e pesos correspondentes.

A variável “Tipo de Orla”, passível de classificação em “abrigada”, “semi-abrigada” e “exposta” foi baseada nos critérios propostos pelo Projeto Orla (Brasil, 2002), a seguir reproduzidos:

- Orla abrigada: ambientes litorais constituídos por golfos, baías, enseadas, estuários ou praias protegidas da incidência direta de ondas, com taxa de circulação restrita e, conseqüentemente, baixa taxa de renovação da água.

Praias com formato predominantemente côncavo e com face pouco ou não voltada para a face de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas;

- Orla exposta: ambientes litorais constituídos por costões rochosos ou praias oceânicas, com elevada taxa de circulação e renovação de água. As praias apresentam formato de baixa concavidade, sendo mais retilíneas e de orientação normal à direção de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas;
- Orla semi-abrigada: apresenta características intermediárias entre áreas expostas e protegidas. O sistema tem similaridade com o de praias protegidas, porém, o tamanho ou a orientação da praia permite alguma ação hidrodinâmica.

Com o propósito de integrar as variáveis, foi escolhida uma abordagem semi-quantitativa, na qual todos os atributos, qualitativos ou quantitativos, foram codificados em pesos (1, 2 e 3) de acordo com seu grau de influência sobre a vulnerabilidade da costa à erosão. Todos os dados referentes a cada segmento foram organizados em planilhas eletrônicas. Os índices parciais de vulnerabilidade foram calculados separadamente, com base em Thieler e Hammar-Klose (1999), usando algoritmo que consiste na raiz quadrada do produto das variáveis codificadas dividido pelo número de variáveis (Eq. I).

$$(Equação I) \quad IPV = \sqrt{\frac{(v_1 * v_2 * v_3 * \dots v_n)}{n}}$$

Onde: v =variável e n =número de variáveis.

Tabela 3 – Checklist para estudo da vulnerabilidade da costa à erosão.

CHECKLIST PARA ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DA COSTA			
PESOS			
CONDIÇÕES MORFOLÓGICAS			
DESCRITOR	1	2	3
Tipo de orla			
Largura do pós-praia	Abrigada	Semi-abrigada	Exposta
Inclinação do pós-praia	Ampla (>70 m)	Média (30 - 70 m)	Estreita (< 30 m)
Diâmetro médio de grão*	Íngreme (> 30)	Moderada (5-30)	Suave (<5)
	Areia grossa (0,5 a 1 mm)	Areia média (0,25 a 0,5 mm)	Areia fina (0,125 a 0,25 mm)
ATRIBUTOS NATURAIS			
DESCRITOR	1	2	3
Recife paralelos à costa	Presente	-	Ausente
Manguezal	Presente	-	Ausente
Distância de <i>inlet</i> ou desembocadura de rio	Distante	Moderada (segmento adjacente)	Próximo (mesmo segmento)
Dunas ou cordões arenosos	Presente	-	Ausente
Afloramento rochoso	Ausente	-	Presente
INFLUÊNCIA MARINHA			
DESCRITOR	1	2	3
Variação da maré	Micro (< 2 m)	Meso (2-4m)	Macro (>4 m)
Tipo de arrebenção	Deslizante	-	Mergulhante
Largura da zona de <i>surf</i>	Ampla	Média	Estreita
Existe praia recreativa durante a maré alta?	Sim	-	Não
Altura significativa de onda*	<0,5 m	0,5 - 1 m	> 1 m
PROCESSOS COSTEIROS			
DESCRITOR	1	2	3
Indicadores de erosão	Ausentes	-	Presentes
Indicadores de acumulação	Presentes	-	Ausentes
Taxa anual histórica de deslocamento de LC**	> 0,5 m.ano-1	de -0,5 a 0,5 m. ano-1	> -0,5 m. ano-1
INFLUÊNCIA ANTROPICA			
DESCRITOR	1	2	3
Urbanização do <i>beach front</i>	Baixa (<30%)	Moderada (30-70%)	Alta (>70%)
Tipo de construções	Casas	-	Prédios
Local onde a primeira faixa de construções está asentada	Atrás do pós praia	Pós-praia	Estrêncio (praia)
Estrutura de proteção costeira	Ausentes	-	Presentes
Taxa de crescimento demográfico*	<10%. ano-1	10 a 20%. ano-1	> 20%.ano-1

* Dados obtidos ou calculados a partir de informações pré-existentes

** Dados obtidos a partir de fotografias aéreas e caminhamentos com GPS (intervalo de 1961-2006)

Os IPVs foram integrados no índice global de vulnerabilidade (IGV) a partir do seu somatório (Eq. II).

$$(Equação II) \quad IGV = \sum IPV_s$$

A fim de expressar a vulnerabilidade em percentual, os valores finais do IGV foram divididos por um denominador comum, representado pelo somatório dos valores máximos possíveis de cada IPV.

3.2.3.2 Tratamento estatístico

Os valores calculados resultaram em números adimensionais, de forma tal que se fez necessário um tratamento estatístico para sua interpretação. Assim, para estabelecer os intervalos entre as diferentes categorias de vulnerabilidade, foram desenvolvidas rotinas em código Fortran com o uso de *software* específico a fim de considerar todas as combinações possíveis entre as variáveis da *checklist*. A partir do resultado desta análise combinatória foram calculados os quartis e estabelecida sua relação com o nível de vulnerabilidade para cada um dos índices parciais, os quais ficaram assim definidos (Tab. 4):

Tabela 4 – Relação entre os intervalos dos valores e os graus de vulnerabilidade.

Intervalo	Grau de vulnerabilidade
[Valor mínimo – Primeiro quartil (25%)]	Baixo
]Primeiro quartil – Segundo quartil (50%)]	Moderado
]Segundo quartil – Terceiro quartil (75%)]	Alto
]Terceiro quartil – Valor máximo]	Muito alto

A seguir, foi realizado um teste para identificação da normalidade. O teste escolhido foi o de Kolmogorov-Smirnov, o qual foi aplicado a todos os índices parciais e ao índice global com o uso do *software BioEstat 4.0*. Trata-se de um teste

não-paramétrico de aderência destinado a comparar o grau de concordância entre a distribuição acumulada de um conjunto de valores de uma amostra com a distribuição teórica acumulada . Após, foram escolhidos alguns parâmetros estatísticos que melhor sumarizassem, ordenassem e classificassem os dados, os quais incluíram:

a) Informações gerais

- Valor máximo
- Valor mínimo

b) Medidas de tendência central

- Média aritmética simples

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

- Mediana

Para número de observações par (no caso, 14 segmentos da costa estudada):

Md = média dos valores das posições centrais

- Moda

Valor de maior frequência

c) Medidas de variabilidade

- Desvio padrão

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

d) Outras análises

Para analisar a semelhança entre a natureza da vulnerabilidade dos segmentos, os índices parciais foram organizados numa matriz e submetidos a uma análise de similaridade do tipo Bray-Curtis.

3.2.4 Apresentação dos resultados

Para a apresentação dos resultados, foram utilizados os *softwares Excel*, com o qual foram gerados os gráficos e *ArcGis 9.1* para a espacialização dos índices e edição dos mapas.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A erosão costeira

A linha de costa, feição presente no ambiente praial e que representa a interface entre terra e mar, apresenta configuração constantemente alterada por fenômenos naturais e/ou induzidos pelo homem. Os processos envolvidos no balanço sedimentar litorâneo, os quais determinam a tendência de uma praia à estabilidade, à progradação ou à erosão, ocorrem em diversas escalas temporais que vão desde o curto-termo (de horas a meses) até o longo-termo (de séculos a milênios). Seus ganhos e perdas mais importantes são listados a seguir (Tab. 5).

Tabela 5- Perdas e ganhos de areia no balanço sedimentar litorâneo (Fonte: Komar *apud* Lima, 2003).

Créditos	Débitos
- aporte por deriva litorânea	- retirada por deriva litorânea
- aporte fluvial	- retirada pelo vento
- erosão de falésias	- suprimento para a plataforma
- suprimento a partir da plataforma continental	- deposição em <i>canyons</i> submarinos
- deposição biogênica	- solução e abrasão
- deposição química	- mineração
- aporte eólico	
- alimentação artificial	

De acordo com o *Coastal Engineering Manual* (U.S. Army, 2002), a erosão consiste na retirada de sedimentos pela ação de forças naturais. No caso de praias, esta retirada se dá por ação de ondas, correntes de marés, correntes litorâneas, deflação, entre outros. Outra definição, baseada em Bird & Schwartz (1985), considera a erosão costeira um processo em que as perdas de sedimento *alongshore*, *offshore* ou para a hinterlândia excedem os ganhos provenientes das fontes. De

maneira simplista, a erosão se manifesta quando da ocorrência do balanço sedimentar negativo e é caracterizada pelo recuo da linha de costa em direção ao continente.

Viles & Spencer (1995) classificam as causas da erosão costeira em: (a) resultantes de alterações de longo-termo entre o nível do mar e o suprimento sedimentar; (b) provenientes dos efeitos da pressão antrópica na zona costeira e na sua hinterlândia; e (c) sinalizadoras de mudanças climáticas passíveis de intensificação no futuro. Outras causas são apontadas por diferentes autores (Souza *et al.*, 2005; Oliveira, 2003; Bird & Schwartz, 1985) e incluem:

- deficiência de aporte sedimentar (por diminuição dos suprimentos fluviais e de encostas – *cliffs* – de dunas ou de *offshore*);
- presença de irregularidades na linha de costa;
- modificação da deriva litorânea por agentes naturais;
- interrupção da deriva litorânea por alterações antrópicas;
- elevação do nível médio do mar (de longo-termo ou de curto-termo, associado a fenômenos climático-meteorológicos ou astronômicos);
- fatores tectônicos;
- mudanças na intensidade da ação ou no ângulo de incidência de ondas, decorrentes de alterações na costa;
- perdas do volume sedimentar por compactação, dissolução ou fricção;
- evolução natural da costa;
- reajustamento de praia alterada pela ocupação não planejada;
- extração de areia da praia;
- aumento no nível relativo do mar.

Algumas características definem um segmento costeiro como erosivo, tais como: (a) alta taxa de erosão ou erosão significativa recente; (b) taxa de erosão

baixa ou moderada em praias com faixa de areia estreita ou localizadas em áreas altamente urbanizadas; e (c) praias reconstruídas artificialmente e/ou que requerem manutenção e obras de proteção/contenção do processo erosivo (Souza *et al.*, 2005).

Quanto aos efeitos da erosão costeira, os mesmos variam de acordo com o nível de desenvolvimento econômico da região: em costas remotas e naturais, a erosão pode ter pouca importância e a perda de sedimentos em uma área pode significar a acreção em outra. Já em áreas mais desenvolvidas, o início ou a aceleração do processo erosivo tende a se tornar um problema maior (Bird, 1996). Segundo Zujar (2000), os processos erosivos, sejam eles naturais ou induzidos pelo homem, apresentam uma série de características que permitem catalogá-los como riscos naturais, se consideradas as magnitudes dos danos que podem vir a causar. De maneira geral, entre seus efeitos indesejados constam:

- desaparecimento de praias estreitas;
- perda e desequilíbrio de *habitats* naturais;
- aumento da frequência de inundações decorrentes de ressacas;
- aumento da intrusão salina no aquífero costeiro;
- destruição de estruturas construídas pelo homem;
- perda do valor paisagístico e do potencial turístico da região;
- perda de terrenos alagados;
- exposição das zonas costeiras à energia dos oceanos;
- perdas econômicas decorrentes da destruição de obras costeiras;
- riscos aos moradores;
- aumento da turbidez nas águas adjacentes.

A combinação entre a natureza dinâmica da linha de costa e o alto valor agregado às propriedades costeiras e aos recursos naturais torna o gerenciamento

dessas áreas particularmente complexo (Daniel, 2001). Como alternativas de gestão do problema, o diagnóstico e a quantificação da erosão permitem identificar riscos erosivos na costa e podem orientar zoneamentos para uso e ocupação, prevenindo, assim, a ocorrência dos efeitos supracitados.

4.2 Métodos de diagnóstico e quantificação da erosão costeira

O estudo da erosão costeira pode ser feito por meio de métodos diretos ou indiretos, em diferentes escalas de espaço e de tempo e com objetivo de identificar o processo ou de quantificá-lo.

Alterações de curto-termo podem ser quantificadas por meio de nivelamento topográfico (perfil de praia), enquanto medidas de mudanças de médio-termo (escala temporal de anos a décadas) podem ser tomadas indiretamente através da análise comparativa de fotografias aéreas e imagens de satélite. Mudanças da ordem de séculos podem ser avaliadas a partir de mapas históricos e cartas, ao passo que mudanças de mais longo-termo podem ser estudadas a partir de evidências paleontológicas e arqueológicas (Bird, 1996). A tabela a seguir (Tab. 6) traz uma síntese dos métodos existentes para tal estudo. Descrição mais detalhada pode ser encontrada em Esteves (2002), Zujar (2000) e Souza *et al.* (2005).

Tabela 6 – Métodos para diagnóstico e quantificação da erosão costeira.

Método	Tipo	Princípios	Vantagens	Desvantagens
Mapas históricos	Indireto	Cálculo das distâncias entre duas ou mais linhas de costa multitemporais	Permite resgatar linhas de costa antigas e trabalhar em larga escala espacial; apresenta custo relativamente baixo	Apresenta erros decorrentes da imprecisão na identificação da linha de costa, da distorção dos mapas originais e das diferenças de <i>datum</i> ; não permite avaliação de mudanças de curto-termo
GPS	Indireto	Uso de GPS ou DGPS deslocando-se sobre a feição indicadora a bordo de um veículo ou transportado por operador	Constitui método rápido e preciso; permite a cobertura de longos segmentos de costa; apresenta custo relativamente baixo	Não permite o resgate de linhas de costa pretéritas
Imagens de satélite	Indireto	Identificação da linha de costa e cálculo das distâncias entre linhas de costa de diferentes épocas sobre imagem registrada	Permite o estudo relativamente rápido de extensas áreas	Imagens de baixa resolução apresentam dificuldade de delimitar a linha de costa; imagens de alta resolução apresentam custo elevado
Indicadores de erosão	Indireto	Observação de indicadores de erosão e monitoramento da sua ocorrência espaço-temporal	Constitui um método rápido, simples e de baixo custo	Permite somente o diagnóstico e não a quantificação; deve preferencialmente ser integrado a outros métodos
Perfis topográficos	Direto	Obtenção de dados de altitude e distância em relação a um ponto estável e conhecido ao longo de uma linha perpendicular à linha de costa	Trata-se de um método simples e de baixo custo; permite diagnosticar mudanças de curto-termo, bem como um estudo tridimensional	Pontual, inviabiliza o estudo de áreas extensas; não permite resgatar informações pretéritas

Embora a erosão costeira seja um processo tridimensional (perda de sedimentos na qual o retrocesso da linha de costa não é mais do que uma de suas expressões), considera-se, sob a perspectiva espacial, que a mesma é um problema bidimensional. Isso fica evidente ao se definir taxas de erosão/acresção a partir da posição (x,y) de duas linhas de costa para datas diferentes (Zujar, 2000; Morton, 1997), conforme consta na tabela anterior.

Apesar das inúmeras opções disponíveis, a fotografia aérea tem sido o documento mais utilizado para o cálculo das taxas de deslocamento de linha de costa (Zujar, 2000). Nesses documentos, a definição de linha de costa, ao contrário do que acontece em cartas náuticas ou topográficas, é um critério que não vem estabelecido, sendo interpretado pelo investigador, o qual deve escolher entre as inúmeras feições indicadoras possíveis. Assim, segundo Mendonça (2005), indicadores de linha de costa podem ser de dois tipos básicos, a saber:

- feições físicas que criam obstáculos à passagem da água, tais como penhascos rochosos, falésias, dunas, arenitos de praia, bermas, muros de proteção e edificações no estirâncio;
- marcas associadas ao nível da água, como linha de vegetação, resíduos deixados pela maré, linha da água e marca da maré mais alta.

Com base em Esteves (2002), foram selecionados os principais indicadores de linha de costa utilizados e citados na literatura (Tab. 7).

Tabela 7 – Principais indicadores de linha de costa.

Indicador	Definição	Vantagens	Desvantagens	Observações
Terraços de sobrelevagem	Feições formadas em praias erosivas, onde as terras adjacentes estão abaixo do nível das maiores marés meteorológicas	Nesses locais, as cristas dos terraços de sobrelevagem são as feições mais elevadas, constituindo os melhores indicadores	Podem gradar lateralmente para escarpas ou ser recobertas pelo crescimento de vegetação após a formação de depósitos de sobrelevagem	Trata-se de um indicador de linha de costa pouco utilizado/mencionado na literatura
Linha de vegetação permanente	Áreas vegetadas por plantas tolerantes ao <i>spray</i> marinho mas que não toleram a submersão das raízes por períodos prolongados	Pode ser facilmente reconhecida nas fotografias aéreas; é limitada pelos avanços dos níveis de água mais altos, não sendo afetada pelas oscilações de alta frequência no nível d'água	Responde a condições ambientais diferentes daquelas que controlam a morfologia praial; nem sempre está identificada nos mapas; é descontínua ao longo da costa e está sujeita à manipulação antrópica	Representa o indicador de linha de costa próximo do ideal
Linha da maré alta (<i>High Water Line</i> – <i>HWL</i>)	Maior avanço da última maré alta, identificado pela linha de umidade que separa a praia seca da praia úmida	É de fácil identificação no campo e em fotografias aéreas; equivale à posição do nível médio da maré alta (<i>MHWL</i>), usado em mapas; ocorre de forma contínua em longos trechos da costa e é mais constante no tempo do que a linha d'água; permite comparações a longo-termo	Bastante dinâmico, é afetado por oscilações de curto-termo; o mapeamento depende da umidade na areia do pós-praia, sendo dificultado após períodos de chuvas ou tempestades por falta de contraste na luminosidade acima e abaixo da <i>HWL</i> .	É o indicador mais usado/mencionado na literatura.

As etapas metodológicas básicas para esse tipo de estudo incluem: a obtenção de dados que permitem resgatar a linha de costa para épocas passadas; a retificação das fotografias; o registro a partir de base cartográfica confiável; a escolha e a digitalização da feição indicadora; e a tomada das distâncias entre as diferentes posições da linha de costa (CERC, 1986).

No que tange ao tratamento estatístico, os parâmetros comumente utilizados são a média, o desvio-padrão e o valor máximo (Esteves, 2004), além da taxa média anual. Esses valores, especialmente a taxa média anual, têm sido amplamente utilizados por instituições de pesquisa e órgãos governamentais no estabelecimento de áreas de vulnerabilidade e de risco à erosão, bem como na definição de linhas de recuo (*setback lines*) e de zonas de restrição para construções (Crowell *et al.*, 1997).

4.3 Vulnerabilidade da linha de costa à erosão

Pesquisas envolvendo predições da evolução costeira ainda não estão consolidadas. Não há padronização de uma metodologia e aquelas disponíveis ainda estão em fase de teste e requerem maiores debates científicos. Diversas metodologias têm sido utilizadas, entre as quais merecem destaque: a extrapolação de dados históricos (como, por exemplo, as taxas de erosão); os modelos de inundação estática; a aplicação de métodos geométricos simples (regra de Brunn, por exemplo); a aplicação de modelos de dinâmica sedimentar e as simulações de Monte Carlo (probabilístico) (Thieler e Hammar-Klose, 1999).

De maneira geral, a determinação de graus de vulnerabilidade só é possível quando se passa de um nível básico de conhecimento - de descrição e compreensão da dinâmica costeira - para um nível avançado - de sistematização e análise dessas informações. Dessa forma, se obtém um sistema de suporte à tomada de decisão, o

qual constitui uma ferramenta bastante útil no processo de gerenciamento da zona costeira.

A definição e a quantificação da vulnerabilidade permitem identificar riscos e áreas prioritárias para a concentração de estudos e para a realização de ações de manejo (Capobianco *et al.*, 1999). Adger (2006) menciona a análise de vulnerabilidade como uma poderosa ferramenta analítica na descrição de estados de susceptibilidade de sistemas físicos e sociais a danos, ferramenta esta capaz de orientar e gerar ações no sentido de reduzir riscos. Seu conceito, no entanto, não é facilmente quantificado e reduzido a uma medida, visto que envolve a identificação das variáveis, a definição de algoritmos para a sua integração, a classificação e a interpretação dos resultados.

O próprio conceito de vulnerabilidade, quando se fala de zonas costeiras, ainda é uma questão bastante controversa. Segundo Dutriex *et al.* (2000), a vulnerabilidade consiste na combinação entre a sensibilidade - relacionada às características naturais de um ambiente - e os fatores de risco - relacionados ao uso que se faz do mesmo. Por vulnerabilidade também se pode entender o conjunto de fatores que atuam magnificando ou atenuando os efeitos de um evento natural ou induzido pelo homem (Boruff *et al.*, 2005). Outra definição, baseada em McCarthy *et al.* (2001), trata a vulnerabilidade como “o grau de susceptibilidade e inaptidão de combater efeitos adversos apresentado por um sistema”. Independente do conceito adotado, os autores convergem para um ponto: sua determinação requer a análise de atributos relacionados tanto ao sistema físico, quanto ao sistema antrópico (Boruff *et al.*, *op.cit.*; Garcia-Mora *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001; Capobianco *et al.*, 1999; Gornitz *et al.*, 1997).

A “metodologia comum” para estudos de vulnerabilidade costeira, desenvolvida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC, mencionada

por Nicholls (1994) e que vem orientando diversos estudos do gênero, envolve sete passos básicos, a saber:

- I) Definição da área de estudo;
- II) Delimitação do estudo de caso (dados dos sistemas natural e sócio-econômico);
- III) Identificação de fatores relevantes de desenvolvimento;
- IV) Avaliação das mudanças físicas e respostas naturais do sistema;
- V) Formulação de estratégias de resposta;
- VI) Avaliação da vulnerabilidade e interpretação dos resultados;
- VII) Identificação de ações relevantes para desenvolver um plano de manejo de longo-termo.

Já a estrutura formal da vulnerabilidade, proposta por Ionescu *et al.* (2005) *apud* Hinkel e Klein (2006) e adotada no presente estudo, menciona que o conceito de vulnerabilidade independe do domínio do conhecimento específico e do sistema de interesse. O único requisito para seu estudo é a especificação de três conceitos primários: (a) a entidade da qual se quer avaliar a vulnerabilidade; (b) o estímulo ao qual a entidade pode ser mais ou menos vulnerável; e (c) os critérios utilizados para analisar a interação entre entidade e estímulo.

Algumas limitações comuns a avaliações de vulnerabilidade de costa são citadas por Capobianco *et al.* (1999), entre as quais se destacam: (a) a escassez de dados e observações do ambiente estudado (especialmente quantitativos); e (b) a limitação do conhecimento referente ao comportamento morfológico da costa, das forçantes que o condicionam e de suas interações. Os mesmos autores mencionam a perspectiva multidisciplinar como requisito essencial para este tipo de estudo.

Como características que tornam uma análise mais robusta constam: a inclusão do maior número de variáveis possível (preferencialmente quantitativas); o conhecimento da forma como elas influenciam na vulnerabilidade e a possibilidade de incorporação/ alteração de informações. Esta última característica, referida como “flexibilidade” pode ser o diferencial entre um simples estudo e um sistema de apoio à tomada de decisão.

4.3.1 Síntese dos estudos de vulnerabilidade de costa

Diversas abordagens metodológicas têm sido desenvolvidas e aplicadas na determinação do grau de vulnerabilidade de costas à erosão, no mundo inteiro. A seguir são apresentadas, de forma sintética, diferentes metodologias para a análise de vulnerabilidade costeira levantadas durante revisão bibliográfica (Tabs. 8, 9 e 10).

Tabela 8 – Abordagens qualitativas para análise de vulnerabilidade.

Autor	Área de Estudo	Abordagem metodológica
Lins de Barros (2005)	Maricá (Rio de Janeiro, Brasil)	Integração de informações sobre indicadores de vulnerabilidade, de instabilidade e de urbanização
Esteves (2003)	Rio Grande do Sul (Brasil)	Integração de dados relacionados às características ambientais, alterações antrópicas e evolução da linha de costa de curto e longo termos
Madruga Filho <i>et al.</i> (2003)	Praias do Paiva e Gaibú (Pernambuco, Brasil)	Observação de características relacionadas ao grau de desenvolvimento morfológico e à presença de obras de proteção costeira
Morais <i>et al.</i> (2003)	Praia de Lagoinha (Ceará, Brasil)	Observação de características geoambientais
Oliveira <i>et al.</i> (2003)	Ipojuca (Pernambuco, Brasil)	Observação do grau de ocupação e setor da praia onde a primeira faixa de construções está assentada
Costa (2002)	Litoral sul de Pernambuco (parte da área de estudo do presente trabalho)	Observação de características relacionadas ao grau de desenvolvimento morfológico e à presença de obras de proteção costeira
Bush <i>et al.</i> (1999)	Proposta metodológica e aplicação para Bogue Banks (Carolina do Norte – EUA)	Aplicação de <i>checklist</i> com 15 geoindicadores.
Esteves & Finkl (1998)	Flórida (EUA)	Integração e análise de parâmetros qualitativos (presença de obras de proteção costeira) e quantitativos (taxas de deslocamento de linha de costa e grau de ocupação)
Martins (1997); Camargo e Araújo (2003)	Ilha de Itamaracá (Pernambuco, Brasil)	Observação de características relacionadas ao grau de desenvolvimento morfológico e à presença de obras de proteção costeira

Tabela 9 – Abordagens semi-quantitativas para análise de vulnerabilidade.

Autor	Área de Estudo	Abordagem metodológica
Diez <i>et al.</i> (2007)	Província de Buenos Aires (Argentina)	Atribuição de pesos a 6 variáveis ambientais (elevação, geologia, geomorfologia, taxas de erosão/ acreção na linha de costa, variação média de maré, altura média de onda) e integração por meio do cálculo de um Índice de Vulnerabilidade da Costa (IVC)
Boruff <i>et al.</i> (2005)	EUA (toda a costa)	Cálculo de índices de vulnerabilidade por meio da raiz quadrada do produto de 39 variáveis sócio-econômicas e físicas codificadas em pesos
Kokot <i>et al.</i> (2004)	Província de Rio Negro (Argentina)	Aplicação de algoritmo de IVC que relaciona variáveis geológicas, oceanográficas e climatológicas codificadas em pesos
Pendleton <i>et al.</i> (2004)	Ilhas das costas da Virgínia e de Maryland (EUA)	Cálculo do IVC por meio da raiz quadrada do produto de 6 variáveis codificadas em pesos (geomorfologia, variação de maré, altura de onda, elevação, taxas de variação da linha de costa e de elevação do nível do mar) dividida pelo número de variáveis
Ramos (2004)	Costa central da Bahia (Brasil)	Aplicação de três equações distintas para o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira com base em 5 variáveis físicas e 1 humana
Souza & Suguio (2003)	Estado de São Paulo (Brasil)	Determinação de risco de erosão com base na presença e distribuição de 11 indicadores

Tabela 9 – Abordagens semi-quantitativas para análise de vulnerabilidade (continuação).

Autor	Área de Estudo	Abordagem metodológica
Azuz-Adeath (2002)	Costa do México	Cálculo de índices a partir de dados qualitativos codificados em pesos e relacionados a características sócio-econômicas, do perfil de praia e de dados estatísticos sobre a passagem de furacões
Hoozemans <i>et al.</i> (1993)	Proposta metodológica e aplicação para partes das costas dos oceanos Pacífico, Atlântico e Índico e do Mar Mediterrâneo	Análise baseada nos parâmetros: população em risco, perda de terras e redução da produção de arroz, codificadas em pesos

Tabela 10 – Abordagens metodológicas quantitativas e/ou baseadas em métodos computacionais para análise de vulnerabilidade.

Autor	Área de Estudo	Abordagem metodológica
<i>DINASCOAST</i> (2004)	Proposta metodológica	Proposta de técnicas de modelagem computacional
Brewster (2002)	Proposta metodológica para a aplicação em uma pequena ilha em desenvolvimento (estudo de caso para Barbados).	Sugestão de 28 variáveis qualitativas e quantitativas relacionadas às características ambientais, sócio-econômicas e da linha de costa para integração por meio de análises multivariadas
Silenzi <i>et al.</i> (2002)	Versilia Plain (Itália)	Produção de mapas de risco e criação de cenários com o uso de SIG
El-Raey (1997)	Alexandria, Rosetta e Port-Said (Egito)	Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas (SIG) e modelagem
Dal Cin & Simeoni (1994)	Marche (Itália)	Aplicação de análises multivariadas (fatorial e <i>cluster</i>) a partir de matriz contendo quinze variáveis ambientais
Baumer & Hardaway Jr. (1993)	Costa da Virgínia (EUA)	Criação de um <i>software</i> (SEASware) que permite identificar áreas com elevado potencial de erosão e que requerem obras de proteção costeira. Os parâmetros utilizados se referem às características da linha de costa e ao clima de ondas

4.4 Métodos de prevenção e controle da erosão costeira

Os métodos de prevenção e controle da erosão costeira podem ser classificados em três categorias e são a seguir mencionados.

4.4.1 Métodos estruturais

Trata-se de obras de engenharia costeira que, em geral, agregam efeitos adversos como a redução das áreas de recreação e de acesso à praia e da qualidade estética da mesma. Entre os métodos mais conhecidos e utilizados, podem ser mencionados os anteparos (*bulkheads*), as paredes verticais (*seawalls*), os espigões (*groins*), os molhes (*jetties*), os enrocamentos e superfícies de revestimento (*revetments*), os diques (*dikes*), os quebra-mares (*breakwaters*) e os recifes artificiais (Toldo Jr., 2006).

4.4.2 Métodos não-estruturais

São também chamados de métodos *soft* e consistem em estratégias de manejo dos riscos erosivos que dispensam o uso de estruturas de estabilização da praia (U.S. Army, 2002). Incluem: plantação de vegetação (*vegetation planting*); drenagem da água subterrânea (*groundwater drainage*); alimentação ou engordamento artificial da praia (*beach nourishment*); passagem de areia de uma área para outra (*sand bypassing*) e prevenção às inundações por meio da elevação das estruturas (*flood proofing*) (Toldo Jr., 2006).

Outros métodos, ditos de adaptação, são enquadrados nesta categoria. Os mais utilizados são o zoneamento, o qual consiste em regulamentar onde, como e que tipo de uso pode ser feito nas áreas sujeitas à erosão; e o estabelecimento linhas de

recuo. Tais medidas representam opções adequadas para costas pouco urbanizadas (Souza *et al.*, 2005). Como última alternativa, considera-se a relocação de estruturas.

4.4.3 Não fazer nada (do nothing)/ abandonar a área

Consiste em deixar o deslocamento da linha de costa seguir seu curso sem adotar medidas de contenção ou recuperação (Souza *et al.*, 2005). Trata-se de uma alternativa a ser considerada nos casos em que os valores em risco são menores do que os custos para protegê-los. Tal alternativa é adotada ainda, em caráter temporário, nos casos de impactos causados por eventos provisórios, quando é aconselhável esperar o fim desses eventos antes de se executar alguma ação permanente (Toldo Jr., 2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs)

5.1.1 *Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC)*

Em percentual de linha de costa, a maior parte da extensão percorrida se classifica como orla exposta (55%, correspondentes às praias de Campas, Baía de Tamandaré, Porto, Várzea do Una e Pontal do Gravatá). Embora algumas delas se tratem de baías, apresentam concavidade pouco pronunciada e incidência direta de ondas, contribuindo para o aumento do IPVMC, o qual é função, ainda, da largura e inclinação do pós-praia e do diâmetro médio do grão (ver Tabela 3).

O uso de uma variável relacionada à declividade do terreno (inclinação do pós-praia) fornece informações sobre o potencial de inundação da área, bem como sobre os efeitos horizontais no caso de um aumento no nível relativo do mar. Já a inclusão da variável “diâmetro médio do grão” dá idéia sobre a capacidade de retenção de sedimentos junto ao pós-praia, além de estar relacionada ao grau de energia do ambiente.

A praia dos Carneiros (única orla abrigada entre as estudadas) apresentou índice mínimo igual a 2,12. Valores máximos foram calculados para as praias de Campas e São José da Coroa Grande – centro (3,67). A média para este índice parcial foi de 2,95; a mediana, bem como a moda, de 3 e o desvio-padrão de 0,42. Os índices calculados para cada praia são apresentados a seguir (Fig. 5).

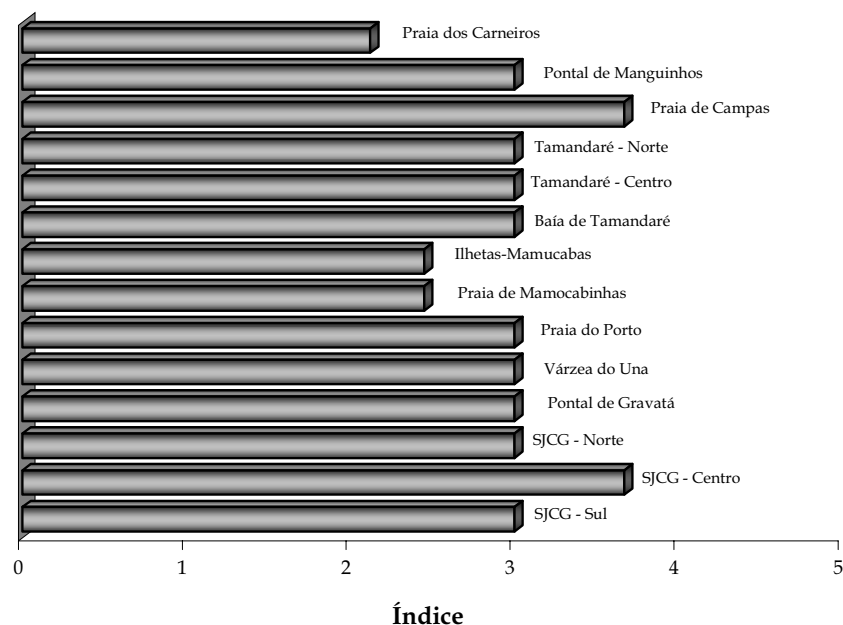


Figura 5 – IPVs relacionados à morfologia da costa para cada segmento.

Conforme descrito anteriormente, os critérios para a classificação em graus de vulnerabilidade foram baseados nos quartis do universo amostral criado e se encontram na tabela a seguir (Tab. 11). Aproximadamente 96,6% da extensão foi classificada, em função da morfologia, como apresentando um grau de vulnerabilidade muito alto. Os restantes 3,4% correspondem à Praia dos Carneiros (Fig. 6). A heterogeneidade da área quanto à morfologia costeira pode ser observada nas Figs. 7- (b), (c) e (d).

Tabela 11 – Valores usados para classificar o IPVMC em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	1,22	Baixo
Segundo	1,73	Moderado
Terceiro	2,12	Alto
Máximo	4,5	Muito Alto

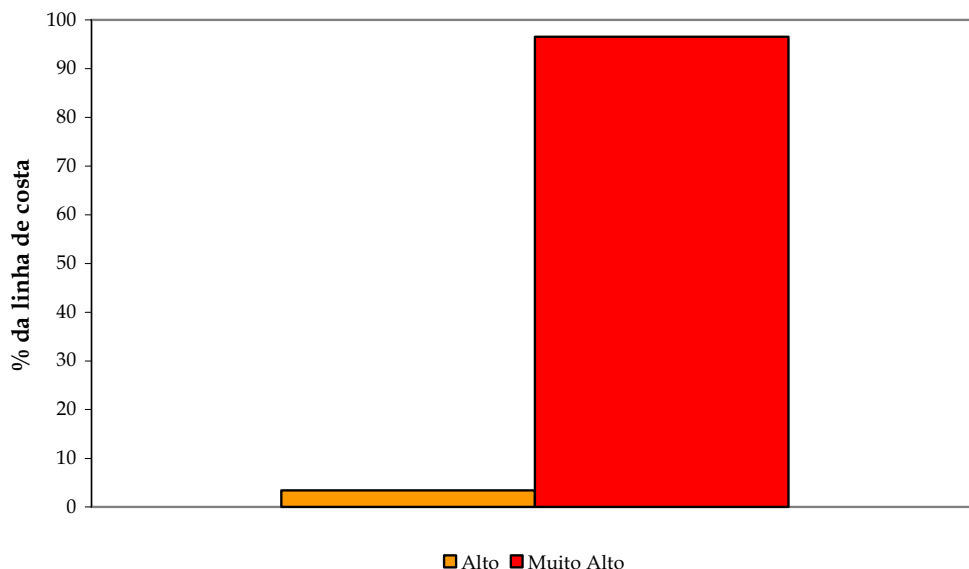


Figura 6 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVMC.

Neste índice parcial ficou evidente um dos inconvenientes da metodologia adotada para integrar as variáveis: a amplificação de valores extremos devido ao uso da multiplicação. Assim, como não foi usado nenhum fator de ponderação, este inconveniente não pôde ser suprimido e se manifesta nos resultados, por exemplo, quando a praia dos Carneiros é classificada como uma praia de alta vulnerabilidade quanto a este índice.

Cabe mencionar que o enquadramento das praias nos três tipos morfológicos de orla sugeridos pelo Projeto Orla (Brasil, 2002), o qual norteou esta classificação, foi dificultado pela presença de *beachrocks* e pela amplitude da maré na área de estudo. A combinação entre esses dois fatores, não contemplada pela metodologia, fez com que as praias apresentassem diferentes características quanto ao grau de proteção entre um estágio e outro de maré. A estratégia usada para resolver a questão foi baseada no princípio da precaução, sendo utilizadas, para

fins de classificação, as condições de maré durante as preamares.



Figura 7 – Heterogeneidade da área em relação à morfologia: (sentido horário) (a) Localização das fotografias (de norte para sul); (b) Praia dos Carneiros – orla abrigada; (c) Tamandaré (centro) – orla semi-abrigada; (d) Praia da Várzea do Una – orla exposta (fotografias aéreas datadas do ano de 2002 e cedidas pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão).

5.1.2 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Presença de Atributos Naturais (IPVAN)

O IPVAN, calculado com base na presença/ ausência de recifes, manguezais, dunas, desembocaduras de rios e afloramentos rochosos, apresentou valores entre 1,34 (Praia dos Carneiros, Tamandaré – norte e centro, complexo estuarino Ilhetas-Mamucabas, Pontal do Gravatá e São José da Coroa Grande – sul) e 3,29 (Praias de Mamocabinhas e Porto) (Fig. 8). Os parâmetros estatísticos calculados apresentaram os seguintes valores: 1,92 (média); 1,90 (mediana); 1,34 (moda) e 0,68 (desvio-padrão).

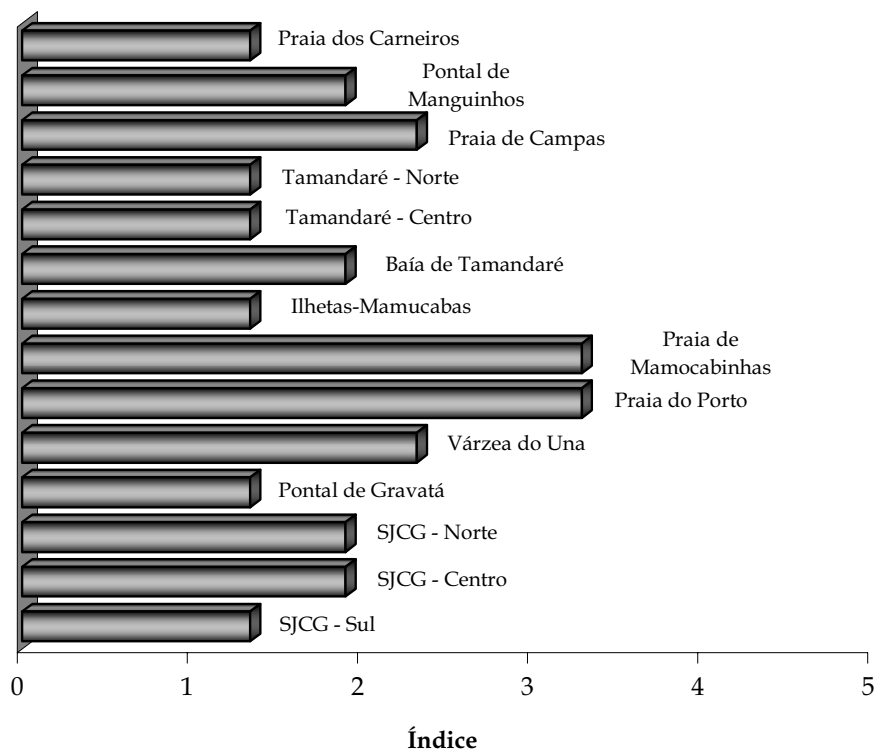


Figura 8 – IPVs relacionados à presença de atributos naturais para cada segmento.

Quanto à presença de atributos naturais que atuam intensificando ou amenizando a vulnerabilidade da linha de costa à erosão, a área de estudo foi classificada nas categorias moderada (28,2%), alta (29%) e muito alta (42,8%) (Fig. 9). Os quartis usados na classificação se encontram na Tab. 12.

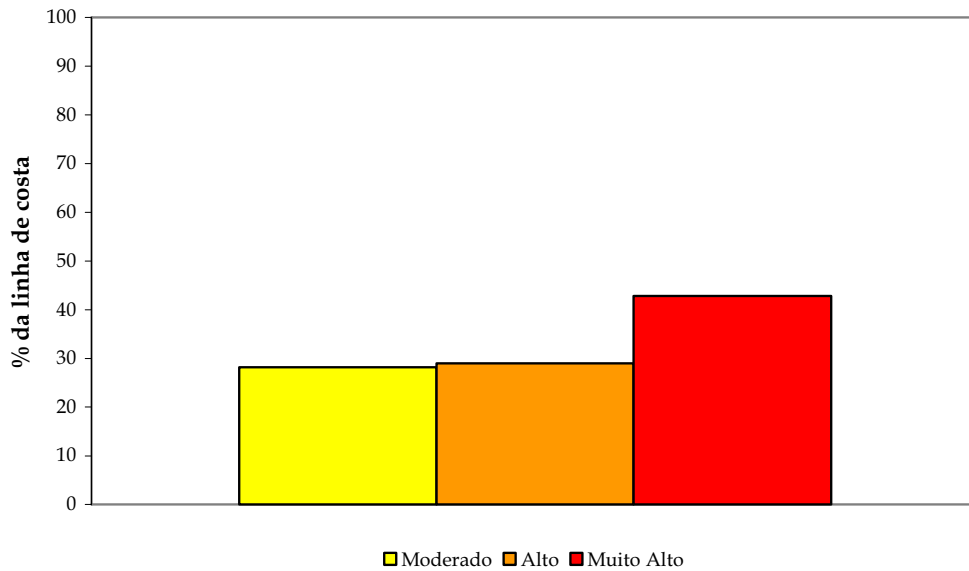


Figura 9 - Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVAN.

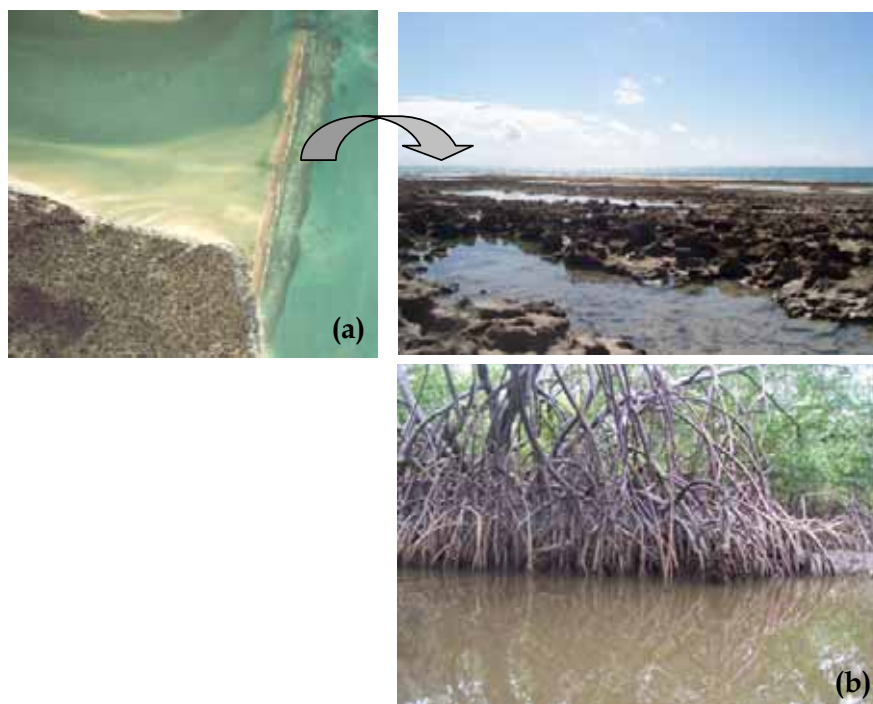
Tabela 12 – Valores usados para classificar o IPVAN em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	1,14	Baixo
Segundo	1,5	Moderado
Terceiro	2,24	Alto
Máximo	4,5	Muito Alto

As figuras a seguir mostram alguns dos fatores que atuam aumentando o IPVAN (Figs. 10 – a, b e c) ou reduzindo o mesmo índice (Figs. 11 – a e b) presentes na área de estudo.



Figuras 10 – Presença de fatores que aumentam o IPVAN: (a) Desembocadura no complexo estuarino Ilhetas-Mamucabas; (b) Afloramento rochoso entre a Várzea do Una e a Praia do Porto; (c) Foz do rio Persinunga (sul de São José da Coroa Grande - fotografia aérea cedida pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e União).



Figuras 11 – Presença de fatores que reduzem o IPVAN: (a) Recife protegendo a costa junto à Praia dos Carneiros (fotografia aérea cedida pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e União); (b) Manguezal na Várzea do Una.

Embora na região não se formem dunas expressivas, os segmentos Baía de Tamandaré e Várzea do Una apresentam cordões arenosos, os quais atuam como estoque de sedimentos no caso de eventos de alta energia. Ademais, podem indicar acúmulo de sedimento no sistema (portanto, balanço sedimentar positivo) e, ainda, que os diversos setores do ambiente praial se encontram preservados, motivos pelos quais sua presença foi mantida na presente análise. Por sua vez, a variável “desembocadura de rio” foi utilizada devido às referências de Costa (2002), de que as mesmas seriam as principais responsáveis pela dinâmica da linha de costa na região.

5.1.3 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM)

Conforme mencionado na Tabela 3 (item Metodologia), as variáveis utilizadas para o cálculo deste índice foram: variação da maré; tipo de arrebentação; largura da zona de *surf*; existência de praia recreativa durante a maré alta e altura significativa de onda (*Hb*). Esta última, representada pela média do terço superior de uma série de nove ondas consecutivas, apresentou valores entre 0,27 e 0,61 m. Devido à inexistência de dados experimentais para a região, foram utilizados dados preexistentes coletados por Costa (2002), Farias (2002), Portella *et al.* (2001) e Portella e Araújo (não publicado), através de observação visual.

De acordo com a metodologia adotada, a variável “maré” é passível de classificação em micro, meso e macro, motivo pelo qual sua influência foi nula para a presente análise. Isso porque, em virtude do baixo grau de refinamento da classificação e da escala espacial do estudo, todos os segmentos foram classificados numa mesma categoria quanto à amplitude (meso-maré, considerando o porto de Suape como referência). No entanto, a mesma foi mantida para que não seja desprezada em eventuais análises futuras em áreas onde se verificam diferentes amplitudes entre os segmentos estudados.

Em função da presença de linhas de *beachrocks* paralelas à linha de costa, a maior parte das praias apresenta arrebentação do tipo deslizante, na qual boa parte da energia das ondas é dissipada antes de chegar à face praial. Tal característica contribui para a redução do IPVIM. Os segmentos extensos, de concavidade leve e com características de orla exposta apresentaram maior influência marinha e se limitam à Baía de Tamandaré e à Várzea do Una.

Valores mínimos e máximos foram calculados para a praia central de Tamandaré (0,89) e Baía de Tamandaré (3,79), respectivamente (Fig. 12). A média deste índice foi 1,94; a mediana, assim como a moda, de 1,55 e o desvio-padrão de 0,79.

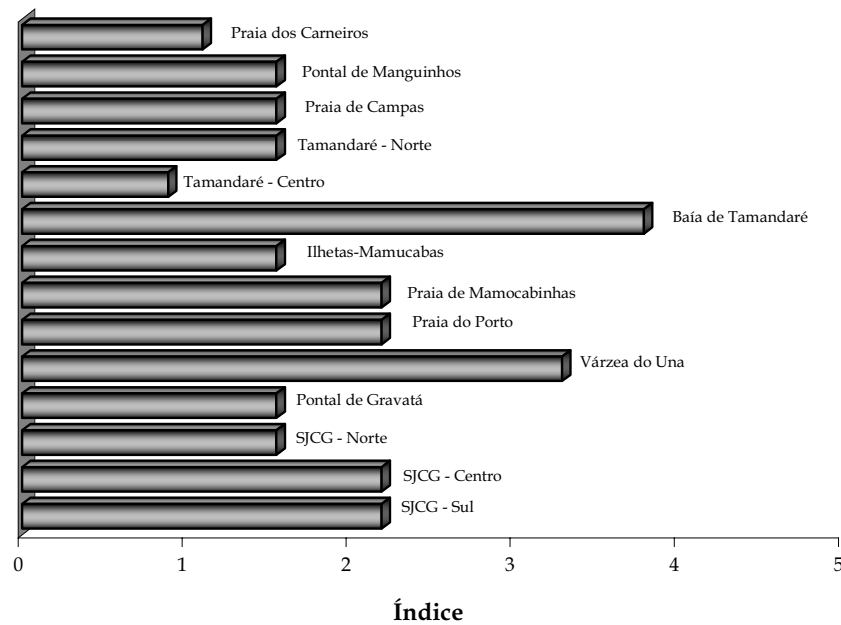


Figura 12 – IPVs relacionados à influência marinha para cada segmento.

Em relação à influência marinha, 34,1% da costa foi classificada como moderadamente vulnerável. Nas classes baixa, alta e muito alta vulnerabilidade foram enquadrados, respectivamente, 8,2%; 27,3% e 30,4% da extensão (Fig. 13). Os quartis usados para tal classificação se encontram na tabela a seguir (Tab. 13); e as figuras 14 – (a) e (b) e 15 – (a), (b), (c) e (d) ilustram a diversidade quanto à influência marinha encontrada na área.

Tabela 13 - Valores usados para classificar os IPVIM em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	1,34	Baixo
Segundo	1,9	Moderado
Terceiro	2,68	Alto
Máximo	6,97	Muito Alto

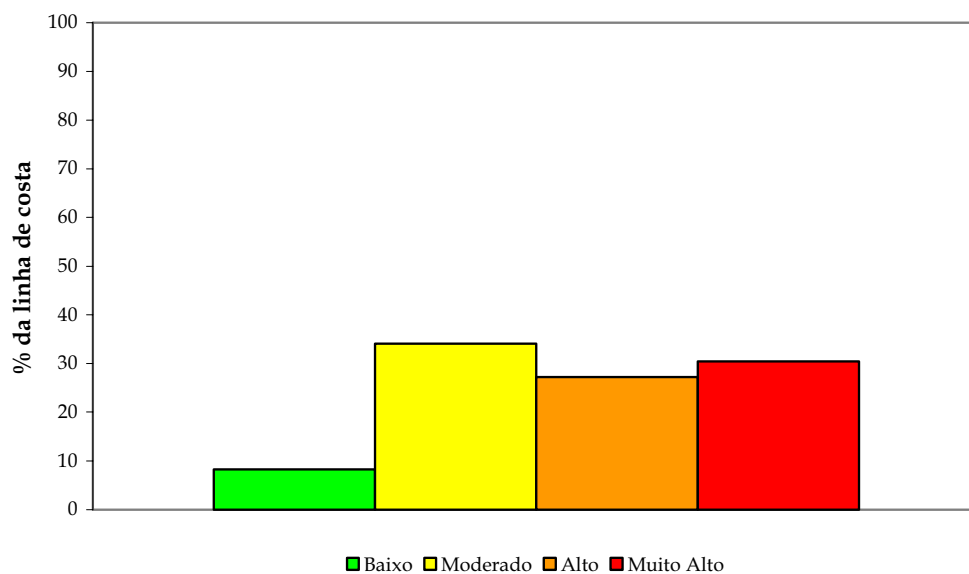
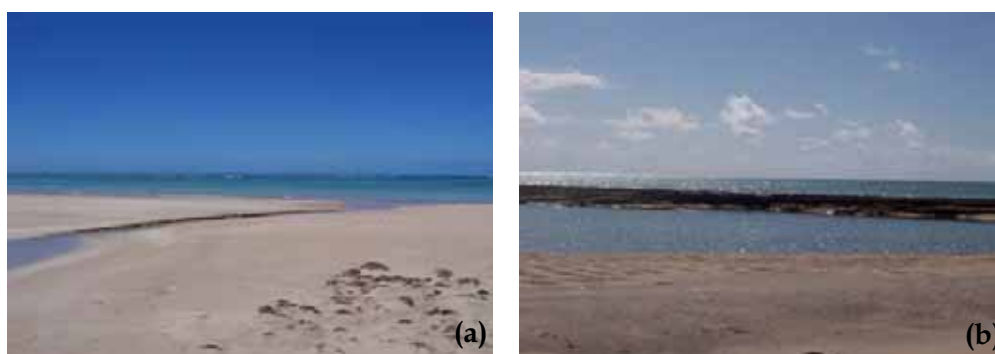


Figura 13 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVIM.



Figuras 14 – Praias de baixo IPVIM: (a) Praia de Tamandaré – centro, segmento que apresentou menor IPVIM; e (b) Praia dos Carneiros, área protegida da incidência direta das ondas pela presença de *beachrocks*.



Figuras 15 – Praias de elevado IPVIM: (Sentido horário) - (a) Marca da maré alta mostrando a inexistência de praia recreativa durante tal estágio (Tamandaré – norte); (b) Baía de Tamandaré, área com IPVIM máximo, arrebentação do tipo mergulhante e estreita zona de *surf* (vista para norte); (c) Praia da Várzea do Una (vista para sul) e (d) Vista do mar, mostrando intensa incidência de ondas responsável pelo alto IPVIM do local.

5.1.4 *Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC)*

5.1.4.1 *Deslocamento da linha de costa*

Para facilitar a apresentação dos resultados e discussão, este item será apresentado por segmento de costa estudado. Nos gráficos referentes ao deslocamento da linha de costa, os transectos estão representados por barras, de Norte para Sul; erosão em vermelho e progradação em azul.

➤ Praia dos Carneiros

A média de deslocamento para esta praia foi de aproximadamente +11,8 m, o que lhe confere, ao longo dos 45 anos, uma taxa de +0,26 m/ano. Valores extremos, negativo e positivo, foram iguais a -53,7 m e +72,9 m, respectivamente. Trata-se de uma costa estável e de baixa vulnerabilidade à erosão (na média, pois como pode ser observado nas Figs. 16 e 17, ocorre progradação na parte norte, abrigada, mas o mesmo não é observado próximo à linha de recifes).

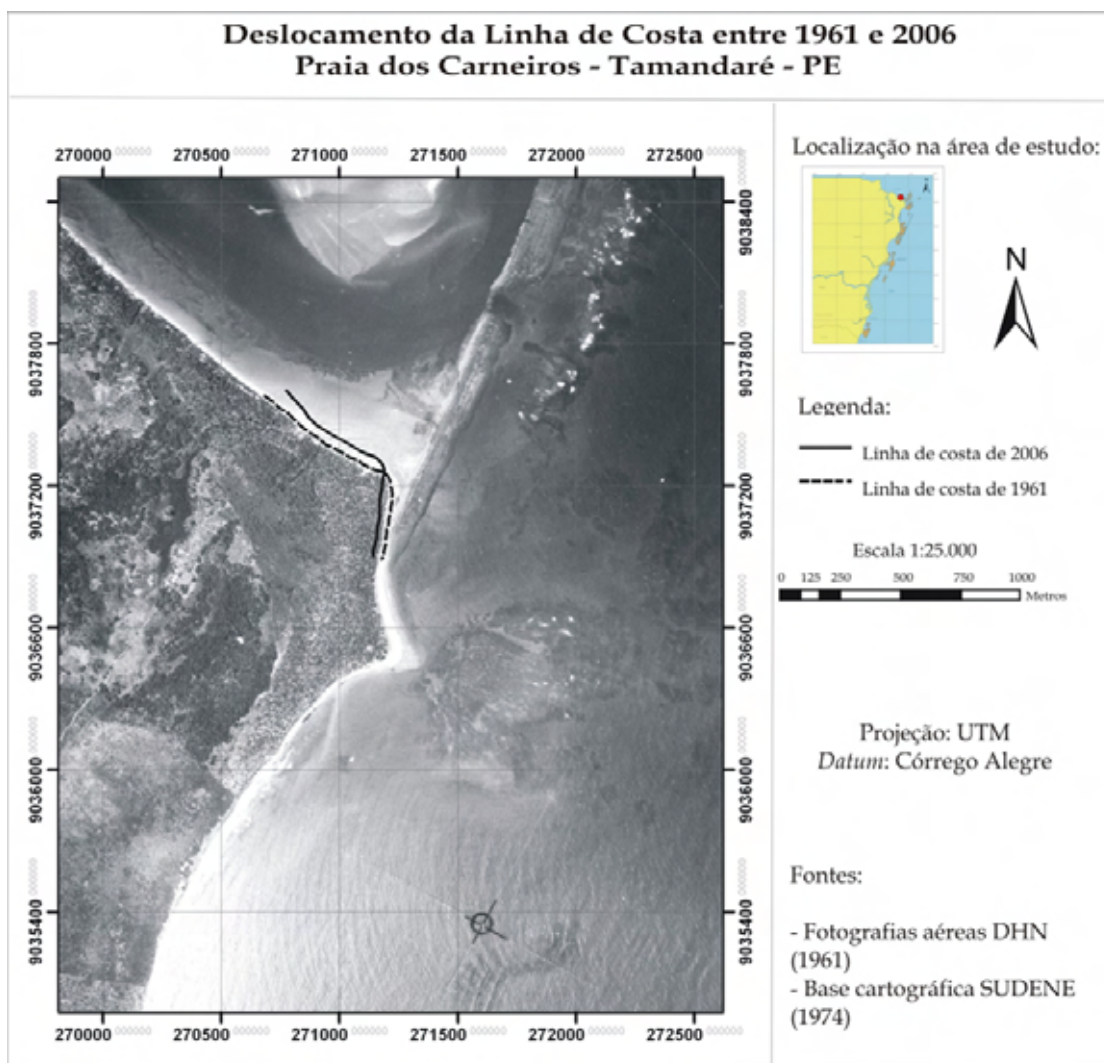


Figura 16 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia dos Carneiros).

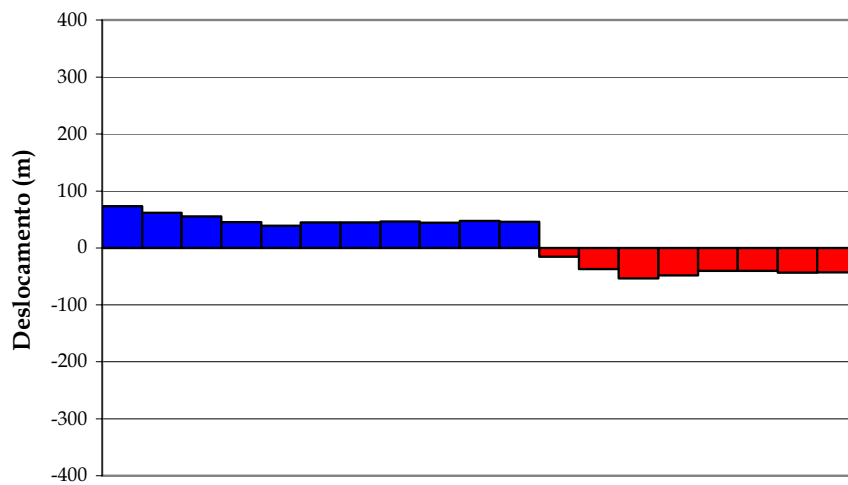


Figura 17 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia dos Carneiros).

➤ Pontal de Manguinhos

Este segmento apresentou somente deslocamentos negativos, entre os quais, o maior deslocamento pontual entre as praias analisadas: -308,8 m. Deslocamento médio e taxa média foram iguais a -83,1 m e -1,85 m/ano, respectivamente. As Figs. 18 e 19 mostram a posição da linha de costa para as datas estudadas e os valores calculados para cada transecto.

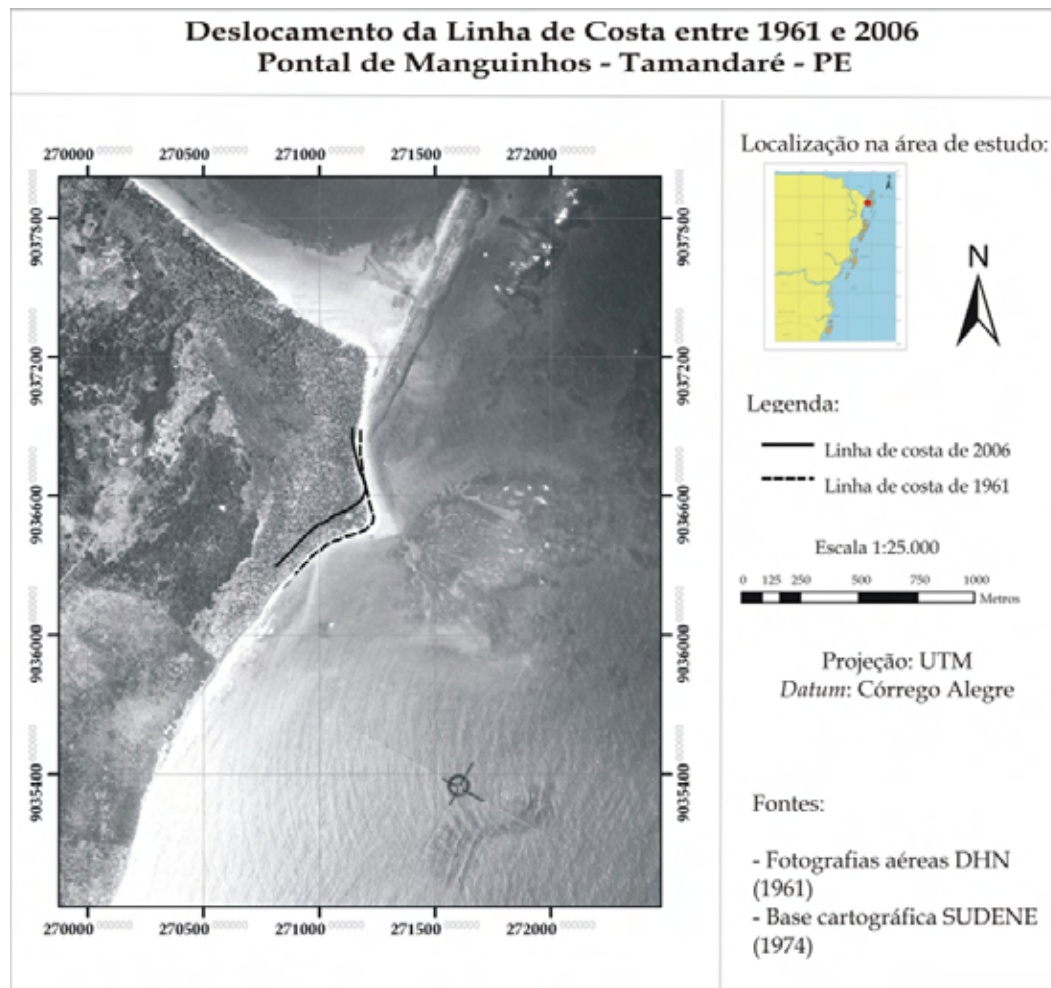


Figura 18 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Pontal de Manguinhos).

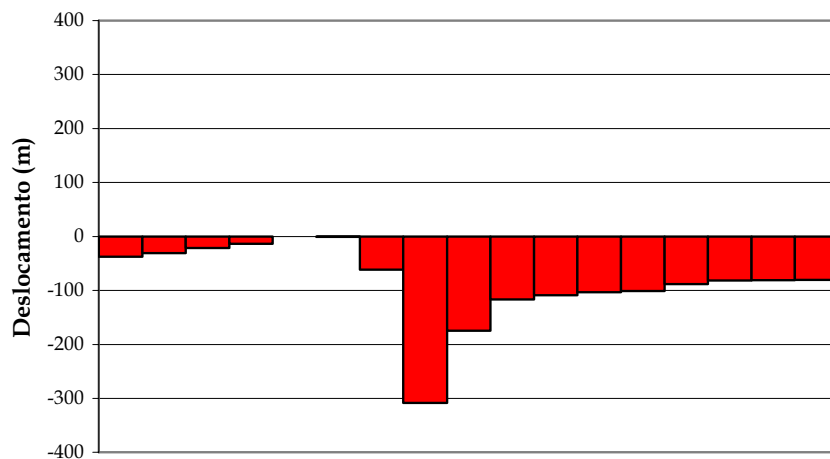


Figura 19 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Pontal de Mangueinhos).

➤ Praia de Campas

A praia de Campas apresentou predominantemente valores negativos de deslocamento. Valores positivos só foram observados na porção sul (Figs. 20 e 21). Valores extremos foram iguais a -79,3 m e +27,4 m. O deslocamento médio foi de -31,3 m, e a taxa média, de -0,69 m/ano.

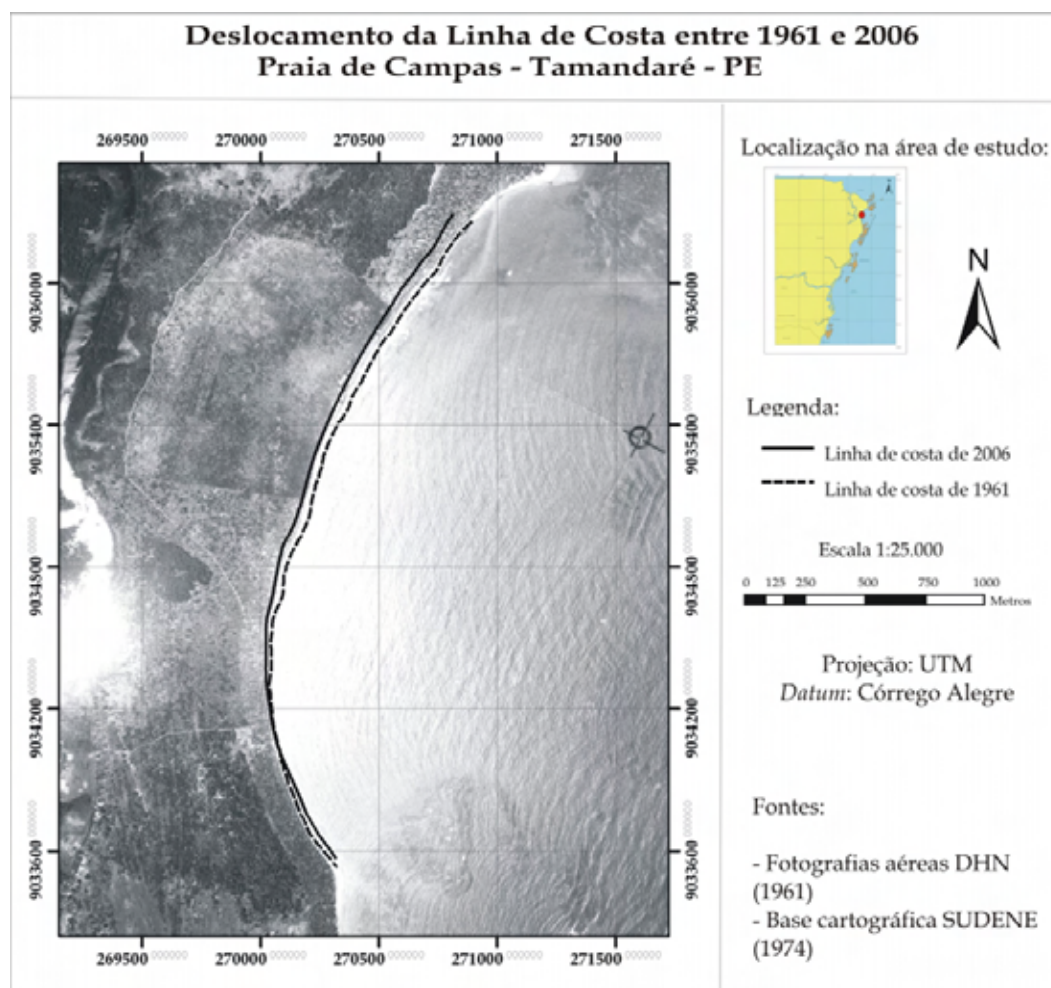


Figura 20 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia de Campas).

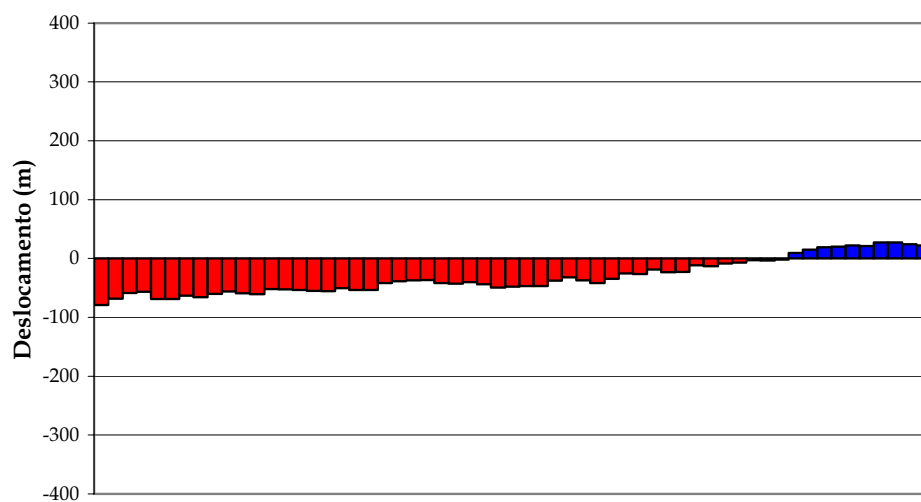


Figura 21 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia de Campas).

➤ Tamandaré – norte

A região norte de Tamandaré apresentou valores de deslocamento compreendidos entre -39,3 m e +5,4 m. A média foi igual a -11,9 m, e a taxa média, a -0,27 m/ano. As Figs. 22 e 23 mostram os deslocamentos verificados para o local.

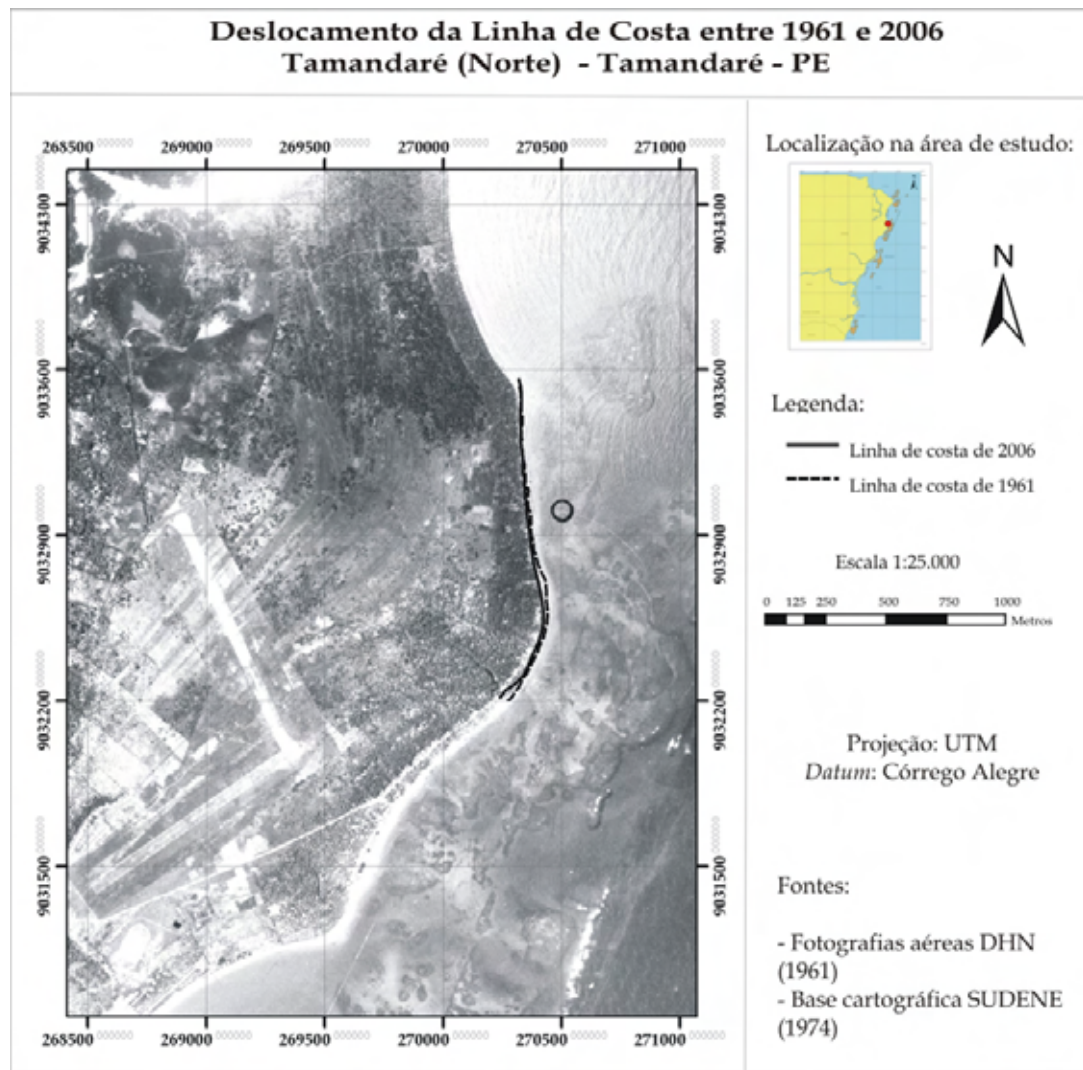


Figura 22 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Tamandaré – Norte).

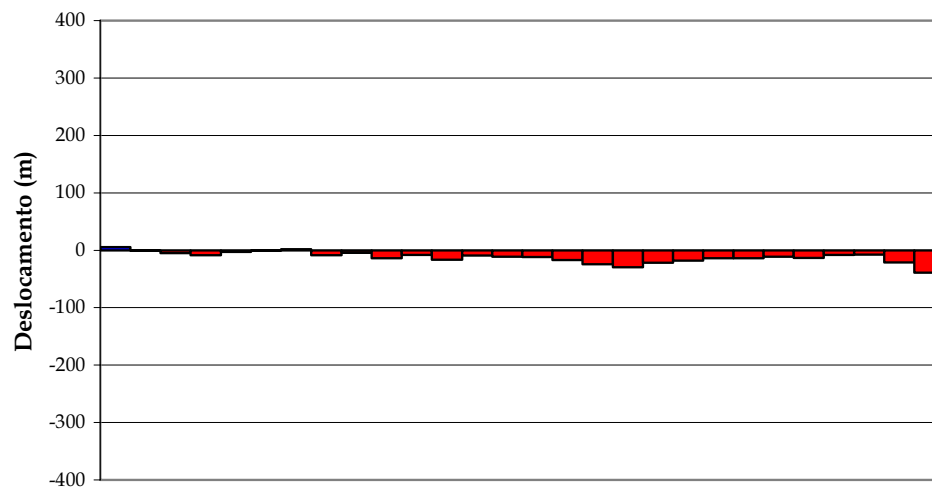


Figura 23 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Tamandaré – Norte).

➤ Tamandaré – centro

Na praia central de Tamandaré, os valores de deslocamento medidos se situaram entre -52,9 m e -7,9 (Figs. 24 e 25). O valor médio foi de -33,75 m, e a taxa, de -0,75 m/ano.

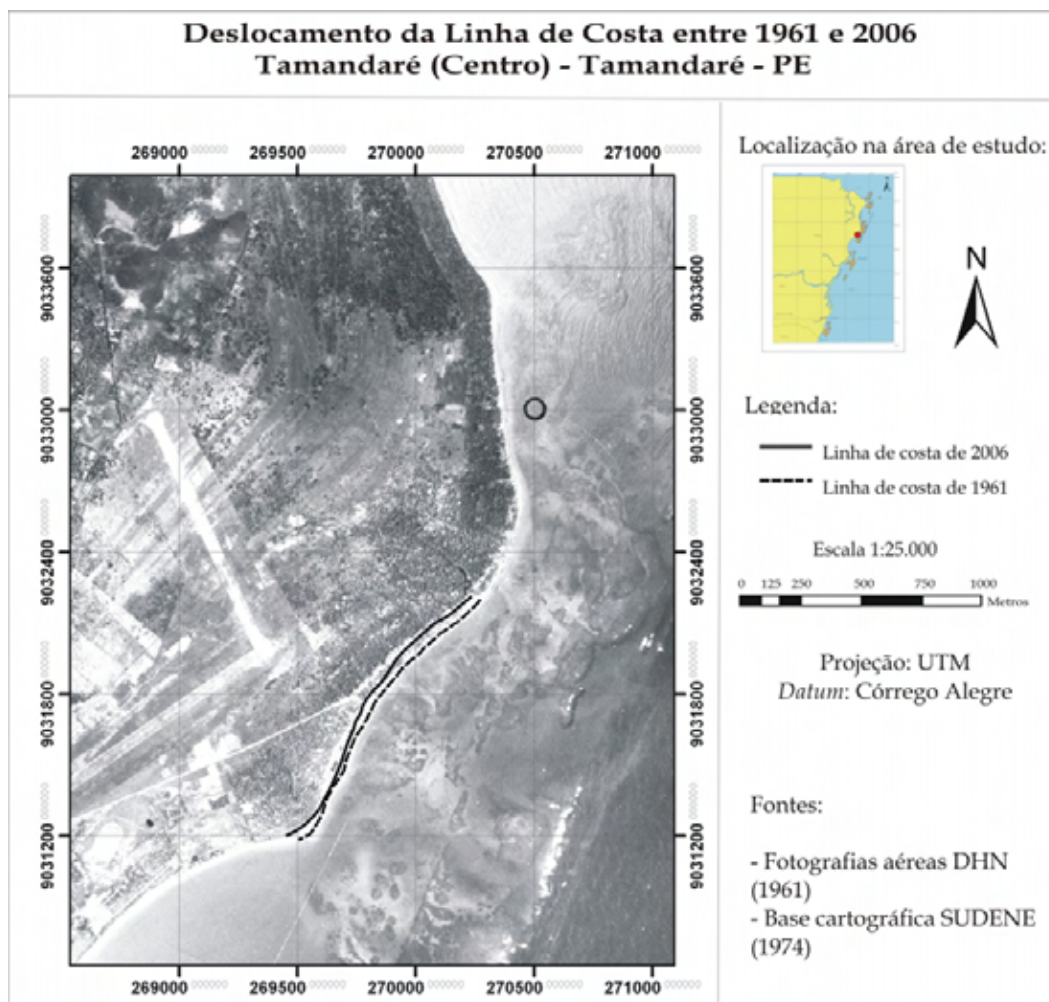


Figura 24 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Tamandaré – Centro).

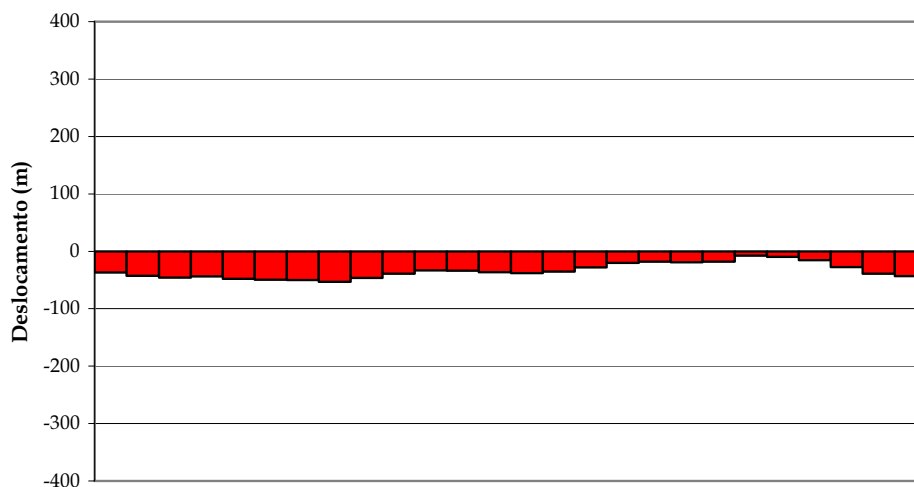


Figura 25 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Tamandaré – Centro).

➤ Baía de Tamandaré

Neste segmento, somente os transectos localizados nos extremos norte e sul tiveram deslocamentos negativos (Figs. 26 e 27), estando o último associado à dinâmica das desembocaduras dos rios Ilhetas e Mamucabas. Todos os demais apresentaram valores positivos, indicando uma costa em sua maior extensão levemente progradante, motivo pelo qual os três transectos localizados mais ao sul (em destaque na figura a seguir) foram suprimidos dos cálculos que alimentaram o banco de dados “Vulnerabilidade”. Dessa forma, a realidade ambiental da maior parte da praia foi mantida. Para fins de comparação, no entanto, foram mantidos os valores com e sem os transectos responsáveis pela alteração das taxas de deslocamento neste setor, bem como os parâmetros estatísticos e atributos associados (Tab. 14).

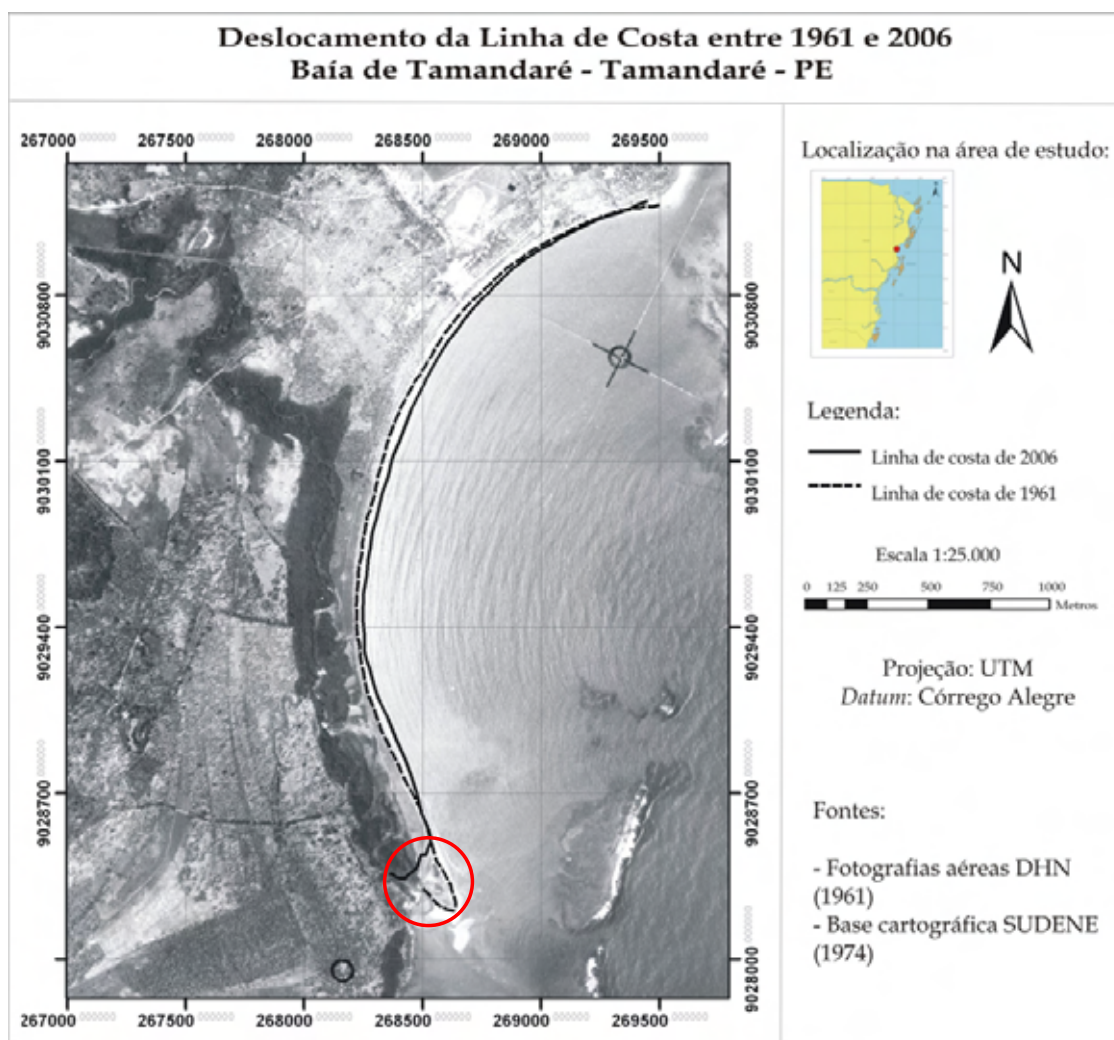


Figura 26 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Baía de Tamandaré).

Tabela 14 – Valores calculados com base no total de transectos do segmento Baía de Tamandaré (69) e na sub-amostra utilizada (66).

Amostra	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Taxa	Classificação	Peso	Uso
(n = transectos)	(m)	(m)	(m)	Padrão (m)	(m/ano)			
69	+48,2	-240,4	+18,6	39	+0,41	Estável	2	
66	+48,2	-24	+25,2	14,8	+0,56	Progradante	1	X

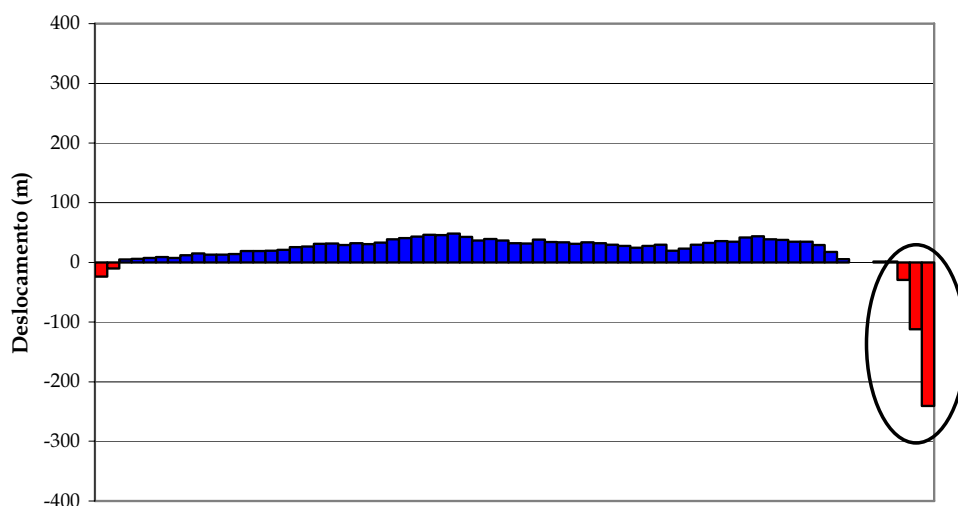


Figura 27 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Baía de Tamandaré). Na direita do gráfico se observa os três transectos de grande deslocamento negativo relacionado à dinâmica das desembocaduras existentes na porção sul do segmento.

➤ Complexo Estuarino Ilhetas-Mamucabas

Ao contrário do esperado, por se tratar de um complexo de desembocaduras, a área apresentou baixos valores de deslocamento, os quais variaram entre -24,5 m e +37,3 m (Figs. 28 e 29). O deslocamento médio foi de +8,3 m, e a taxa de deslocamento, de +0,18 m/ano.

Tais resultados vão de encontro ao afirmado em estudo anterior por Costa (2002), segundo o qual as áreas próximas às desembocaduras seriam as principais áreas em erosão no litoral sul do estado. Cabe mencionar a possibilidade de a escala temporal ter mascarado deslocamentos que, por ventura, tenham ocorrido na área em períodos menores, compreendidos entre os anos de 1961 e 2006.

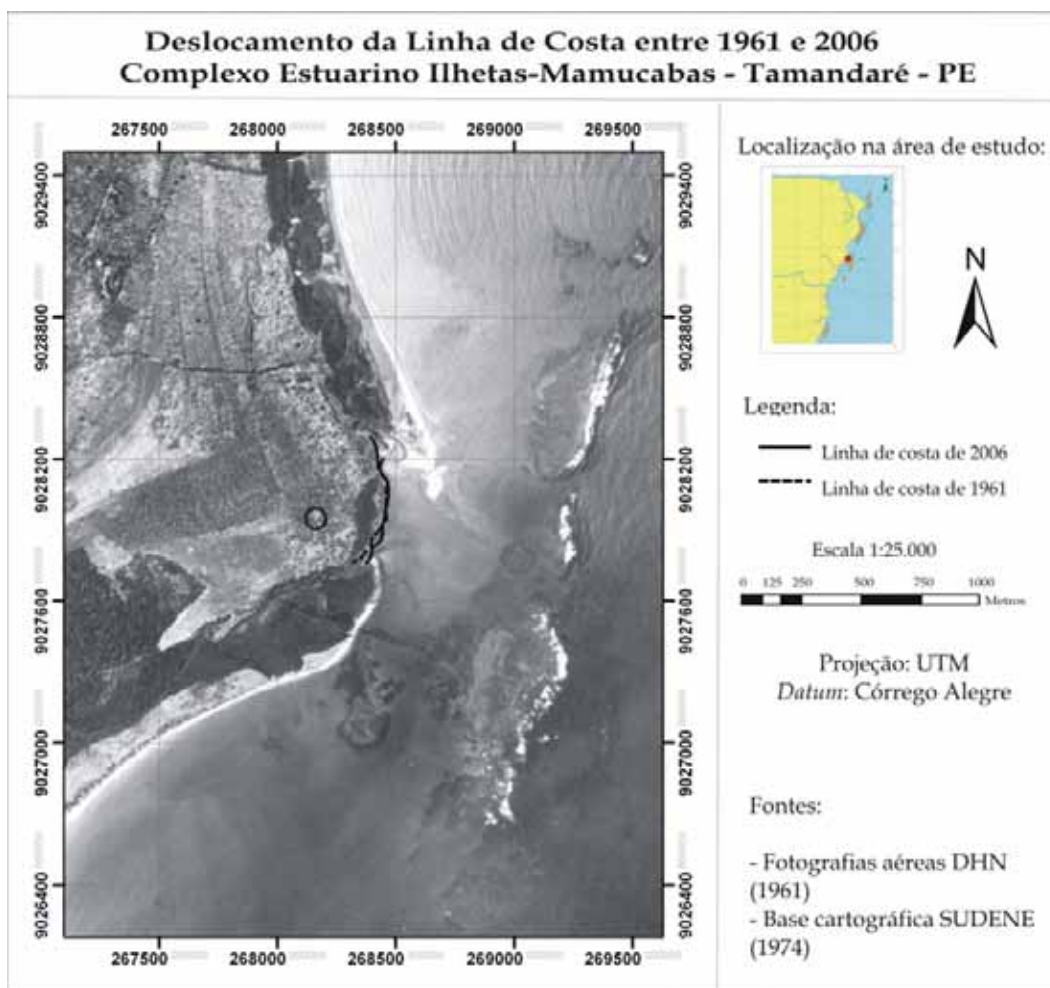


Figura 28 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Ilhetas-Mamucabas).

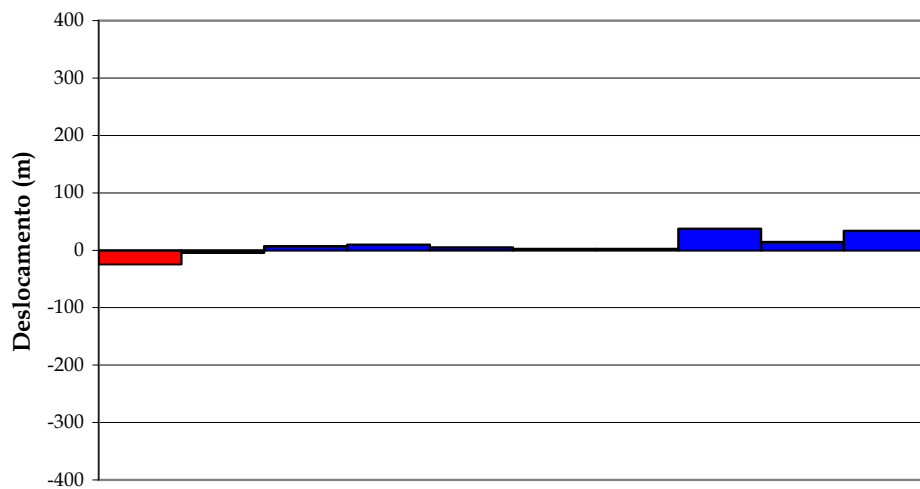


Figura 29 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Ilhetas-Mamucabas).

➤ Praia de Mamocabinhas

Os deslocamentos neste segmento variaram entre -71,7 m e +78,9 m, sendo que a média foi igual a +49,9 m e, a taxa, a +1,11 m/ano. Valores negativos, a exemplo do verificado para a Baía de Tamandaré, somente foram calculados para os transectos localizados nos extremos norte e sul da praia (Figs. 30 e 31).

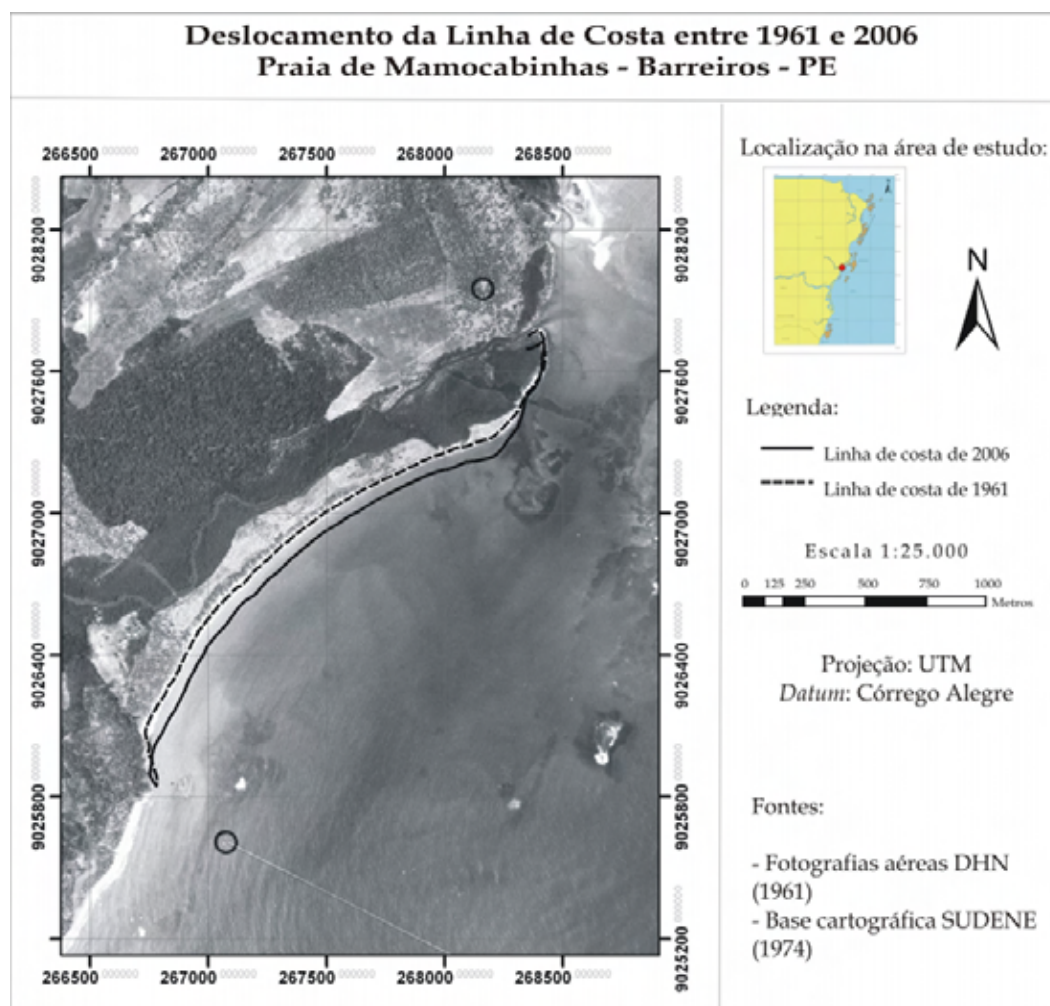


Figura 30 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia de Mamocabinhas).

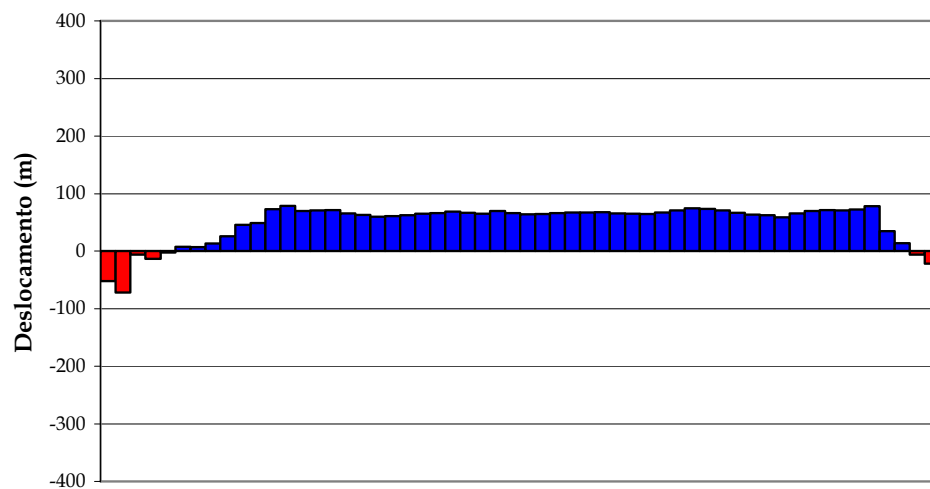


Figura 31 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia de Mamocabinhas).

➤ Praia do Porto

Este segmento, classificado como progradante, apresentou somente deslocamentos positivos durante o período analisado (Figs. 32 e 33). Os valores variaram entre +4,3 m e +76,2 m, sendo que a média e a taxa de deslocamento foram iguais a +50,8 m e +1,13m/ano, respectivamente.

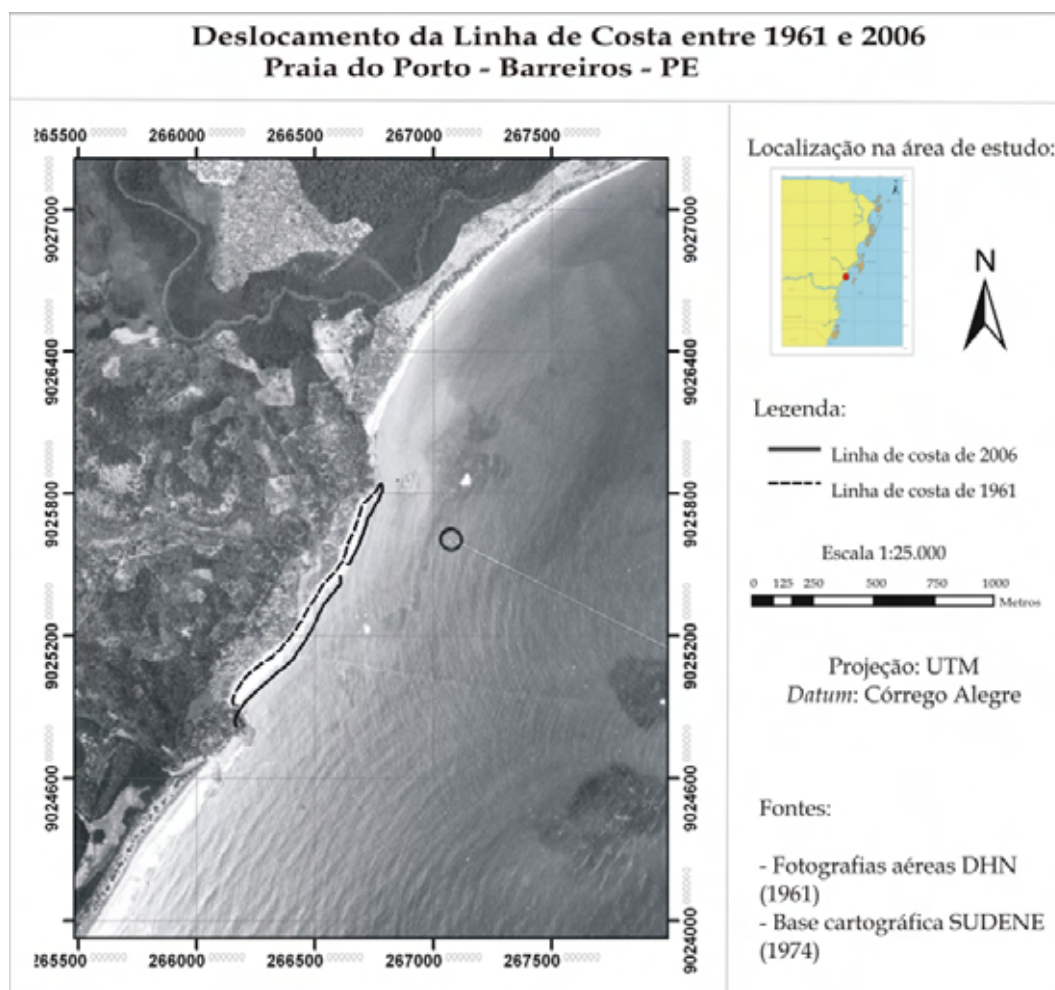


Figura 32 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Praia do Porto).

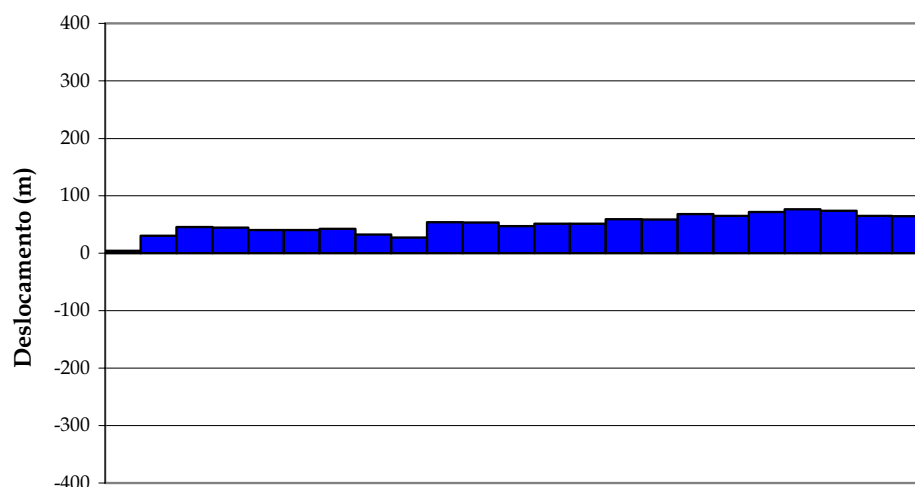


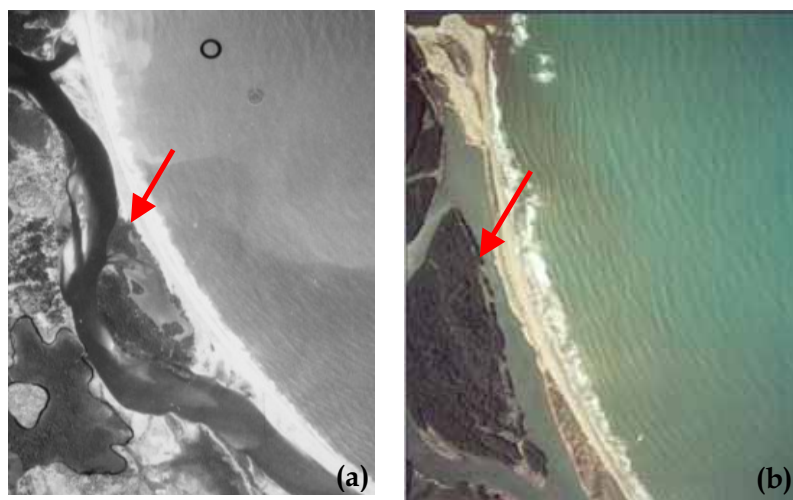
Figura 33 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Praia do Porto).

➤ Várzea do Una

Esta praia apresenta características peculiares: trata-se de um spit (esporão) que, segundo a análise realizada, encontra-se em movimento no sentido continente-mar. Embora as taxas de deslocamento possam sugerir progradação, as fotografias aéreas (Figs. 34 - a e b) mostram se tratar de uma migração. Tal afirmação é corroborada pela largura do *spit* (que não atinge a magnitude dos deslocamentos) e por entrevistas com moradores antigos (BERNARDINO, com. pess.¹; SANTOS, com.pess.²), que afirmam que a largura do canal entre o manguezal e a praia aumentou nas últimas décadas, “afastando” os moradores ribeirinhos da praia.

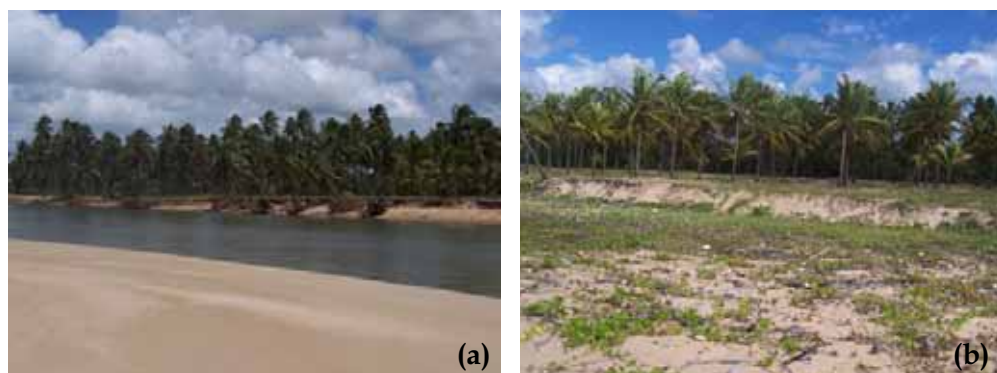
¹ BERNARDINO, B. Depoimento à autora sobre a percepção dos moradores acerca da dinâmica da Várzea do Una. Barreiros, 09 set. 2007.

² SANTOS, M.J. Depoimento à autora sobre a percepção dos moradores acerca da dinâmica da Várzea do Una. Barreiros, 09 set. 2007.



Figuras 34 – (a) - 1961 e (b) - 2002: Praia da Várzea do Una destacando as variações na largura do canal entre o manguezal a praia (fotografias aéreas cedidas pelo Departamento de Oceanografia (a) e pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (b)).

Além da peculiaridade supracitada, ocorre no segmento uma intensificação da dinâmica natural por ações antrópicas. De acordo com Bernardino (2007), desde 2002 houve uma sucessão de aberturas e fechamentos da barra norte (Figs. 35 – a e b). Tais mudanças acarretaram impactos sobre a foz original do Rio Una, a qual sofreu assoreamento e precisou de dragagem para retornar ao estado natural.



Figuras 35 – (a) Desembocadura norte do rio Una aberta, em setembro de 2006; (b) a mesma desembocadura fechada, em abril de 2007.

Os deslocamentos calculados para este segmento se situaram entre os valores +24 m e +139,3 m, sendo o valor médio igual a +88,7 m. A taxa anual foi de +1,97 m/ano, a qual representa a maior taxa de deslocamento positivo verificada na área de estudo (Figs. 36 e 37).

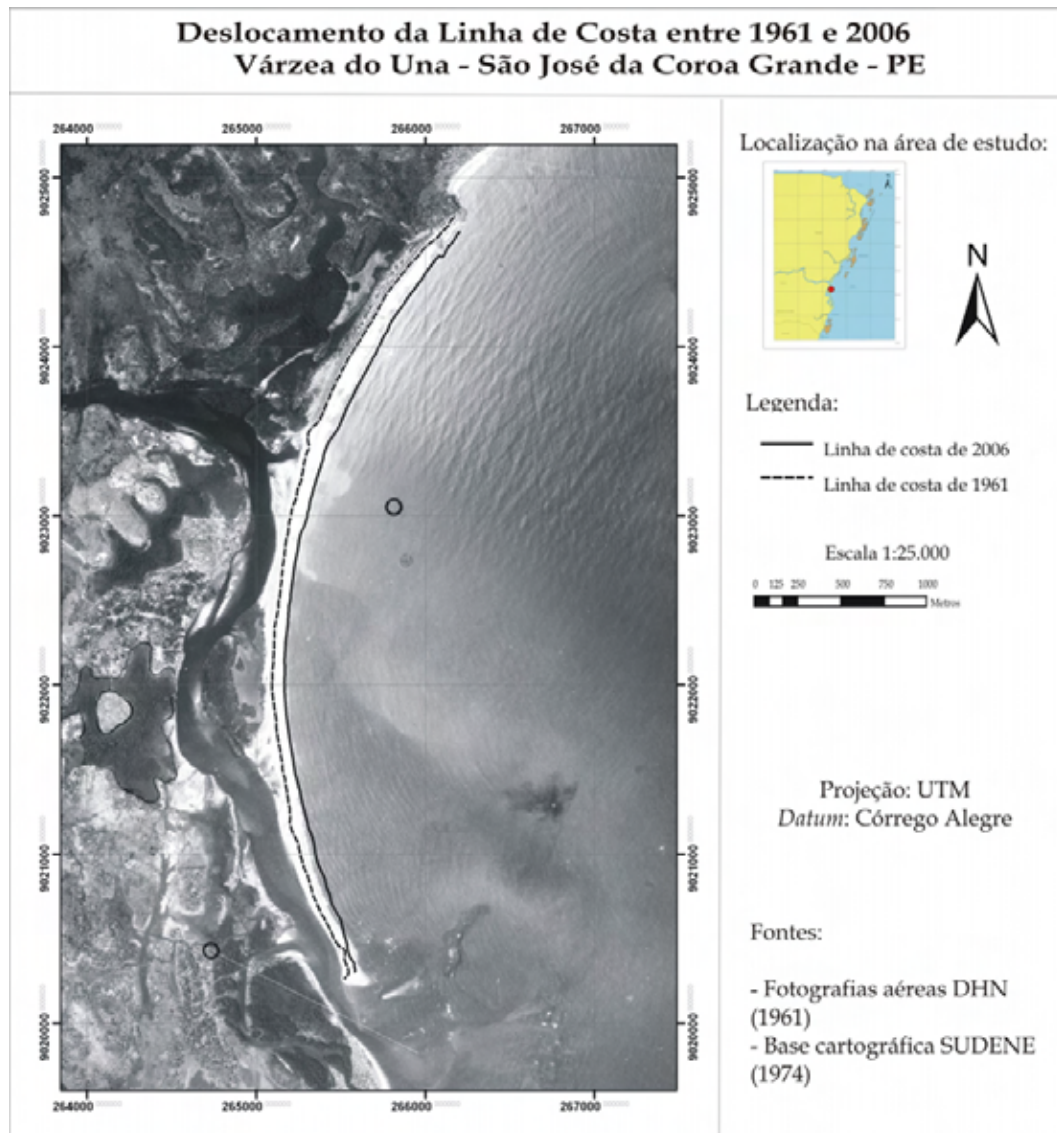


Figura 36 - Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Várzea do Una).

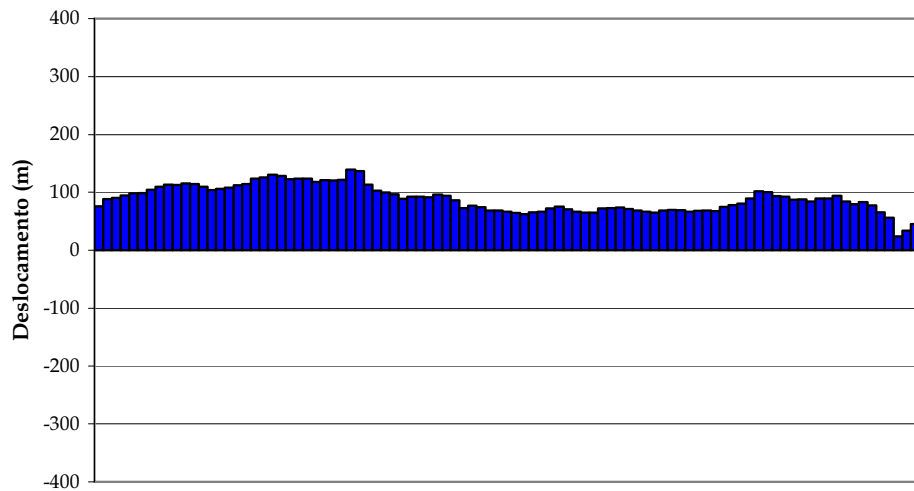


Figura 37 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Várzea do Una).

➤ Pontal do Gravatá

Os valores calculados para este segmento foram: maior deslocamento negativo, -68,1 m; maior deslocamento positivo, +44,2 m; deslocamento médio, -23,4; e taxa média anual, -0,52 m/ano. Trata-se, portanto, de uma costa em erosão (embora leve) na escala de tempo analisada. As figuras 38 e 39 mostram as duas posições da linha de costa e os deslocamentos medidos em cada transecto, respectivamente.

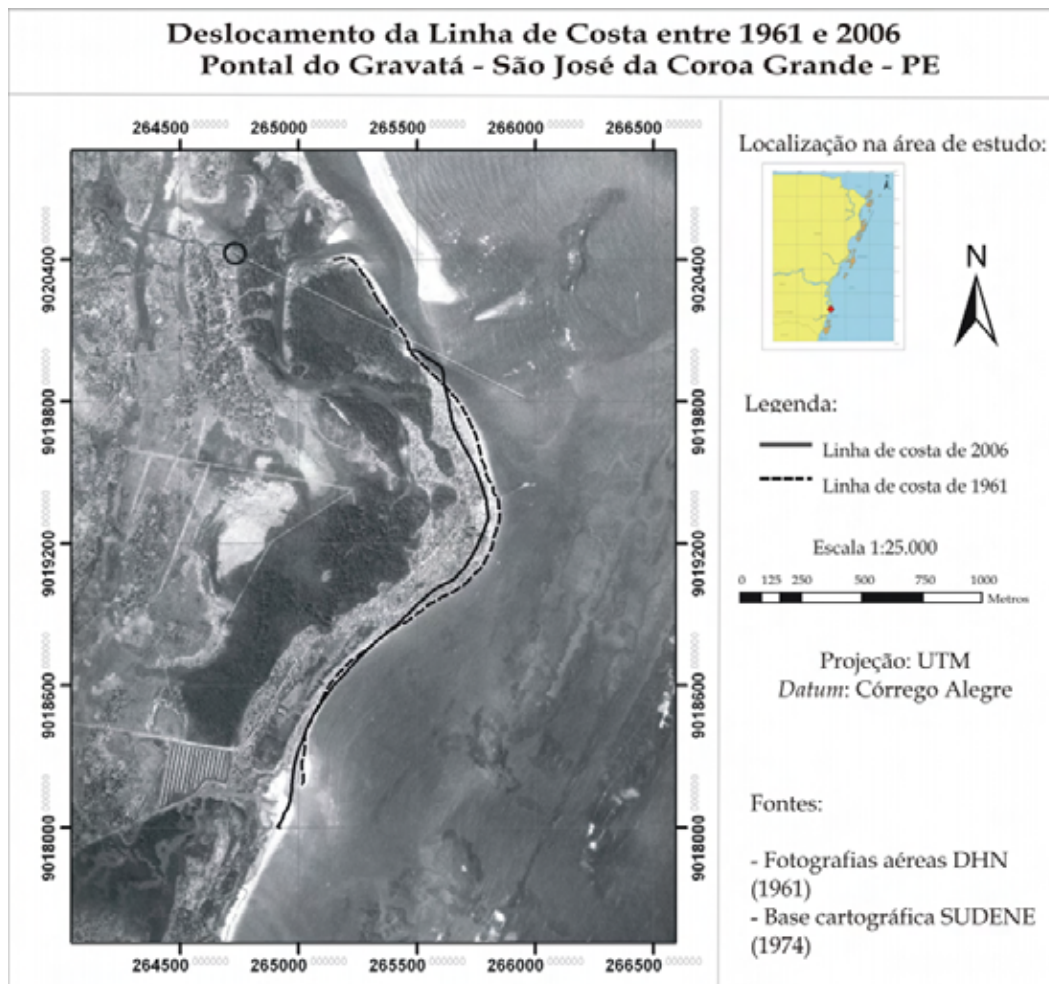


Figura 38 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (Pontal do Gravatá).

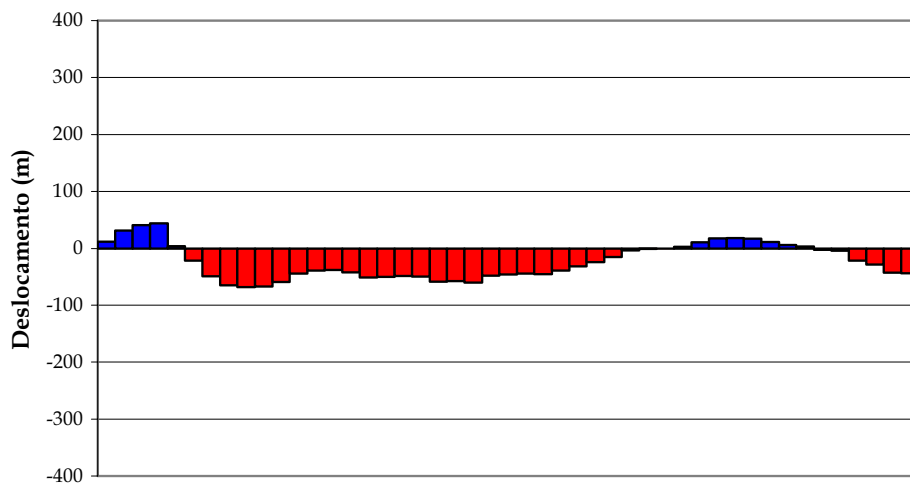


Figura 39 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (Pontal do Gravatá).

➤ São José da Coroa Grande – Norte

A média de deslocamento para este segmento foi de -63,9 m e os valores extremos negativo e positivo, de -151,7 m e +50,3 m, respectivamente. A taxa anual para o período foi de -1,42 m/ano, caracterizando uma costa erosiva (Figs. 40 e 41).

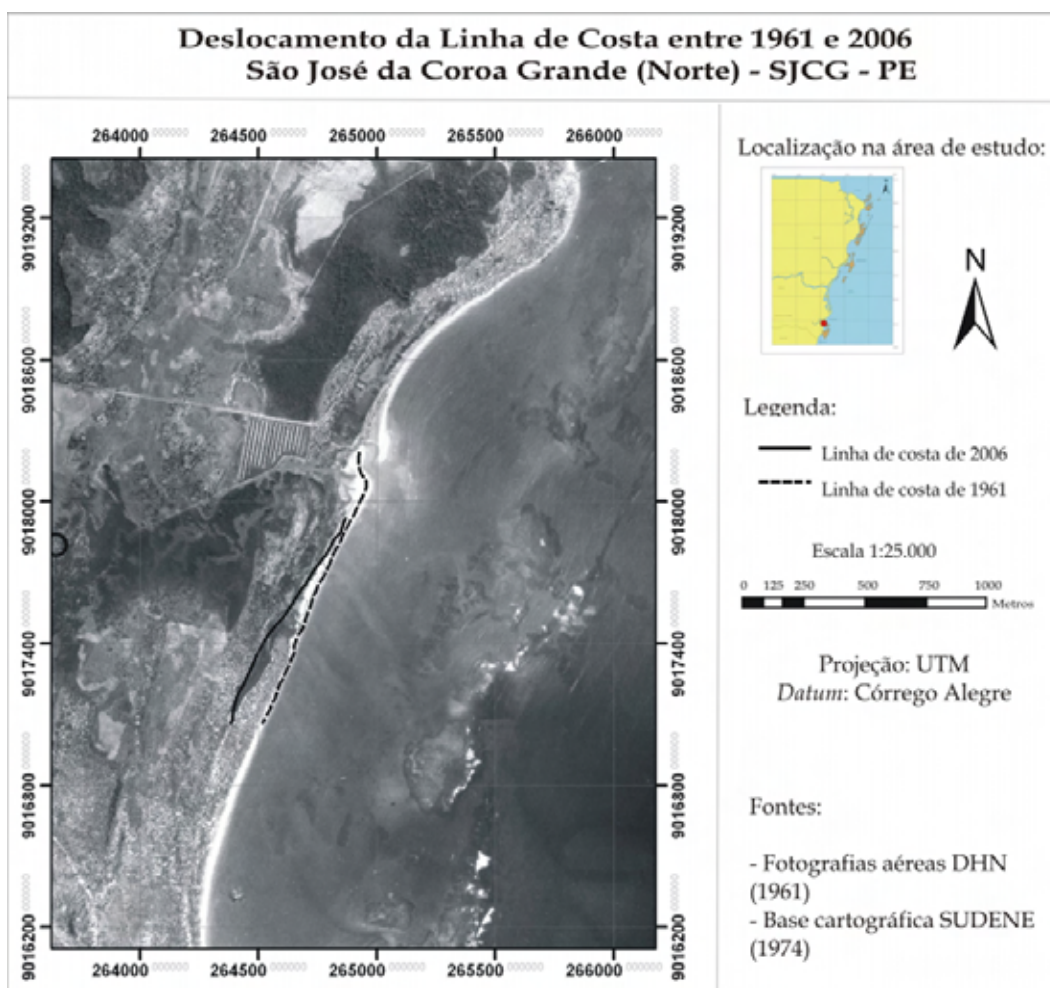


Figura 40 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Norte).

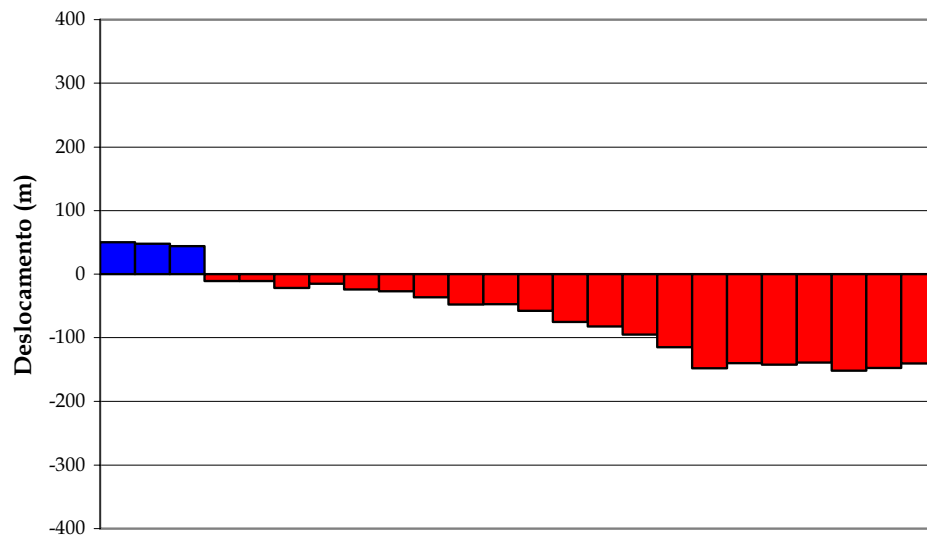


Figura 41 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG - Norte).

➤ São José da Coroa Grande - Centro

O deslocamento médio nesta praia foi de -35,85 m. Todos os transectos apresentaram valores negativos, situados entre -79,13 m e -6,48 m. A taxa média foi igual a -0,80 m/ano (Figs. 42 e 43).

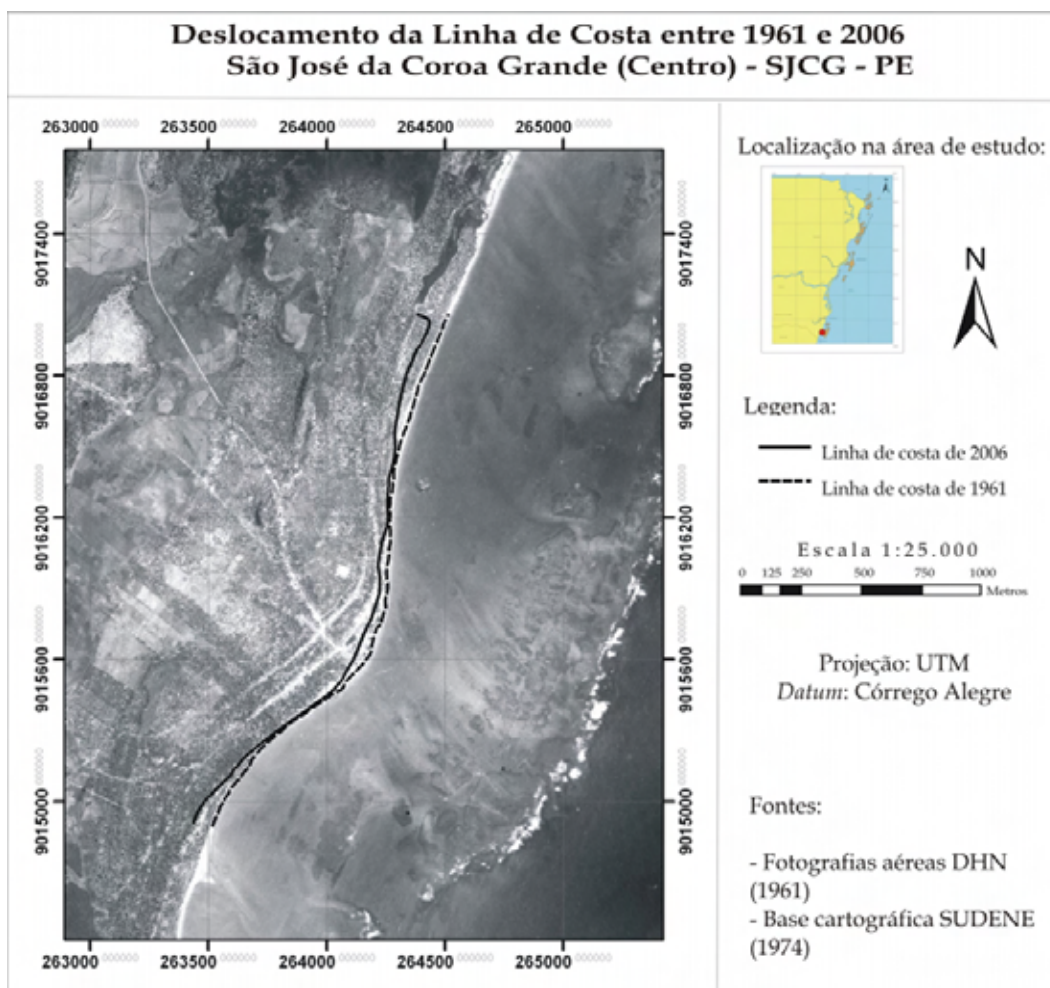


Figura 42 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Centro).

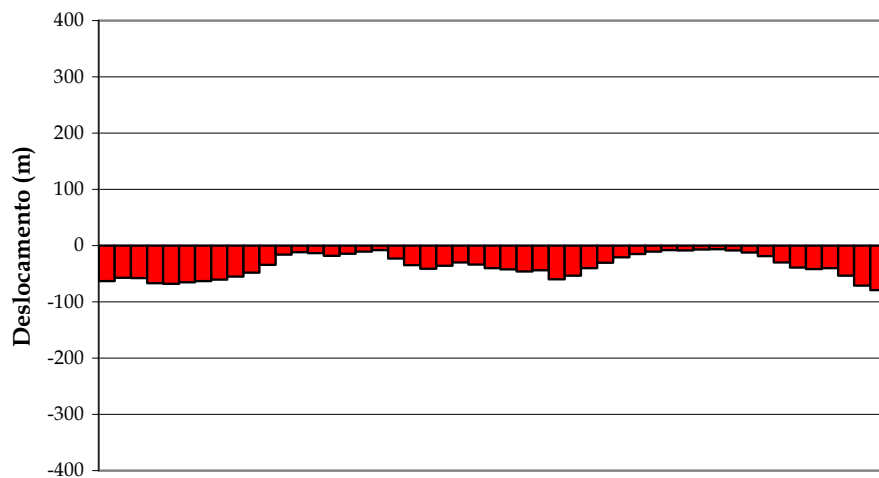


Figura 43 – Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG – Centro).

➤ São José da Coroa Grande – Sul

Este trecho apresentou valores de deslocamento compreendidos entre -96,1 m e +58,8 m. Valor médio e taxa de deslocamento foram iguais a -64,8 m e -1,44 m/ano, respectivamente. As Figs. 44 e 45 mostram a posição da linha de costa nos anos de 1961 e 2006 e os valores medidos em cada transecto. Na porção sul do segmento, pode ser observado um deslocamento da foz do Rio Persinunga para sul.

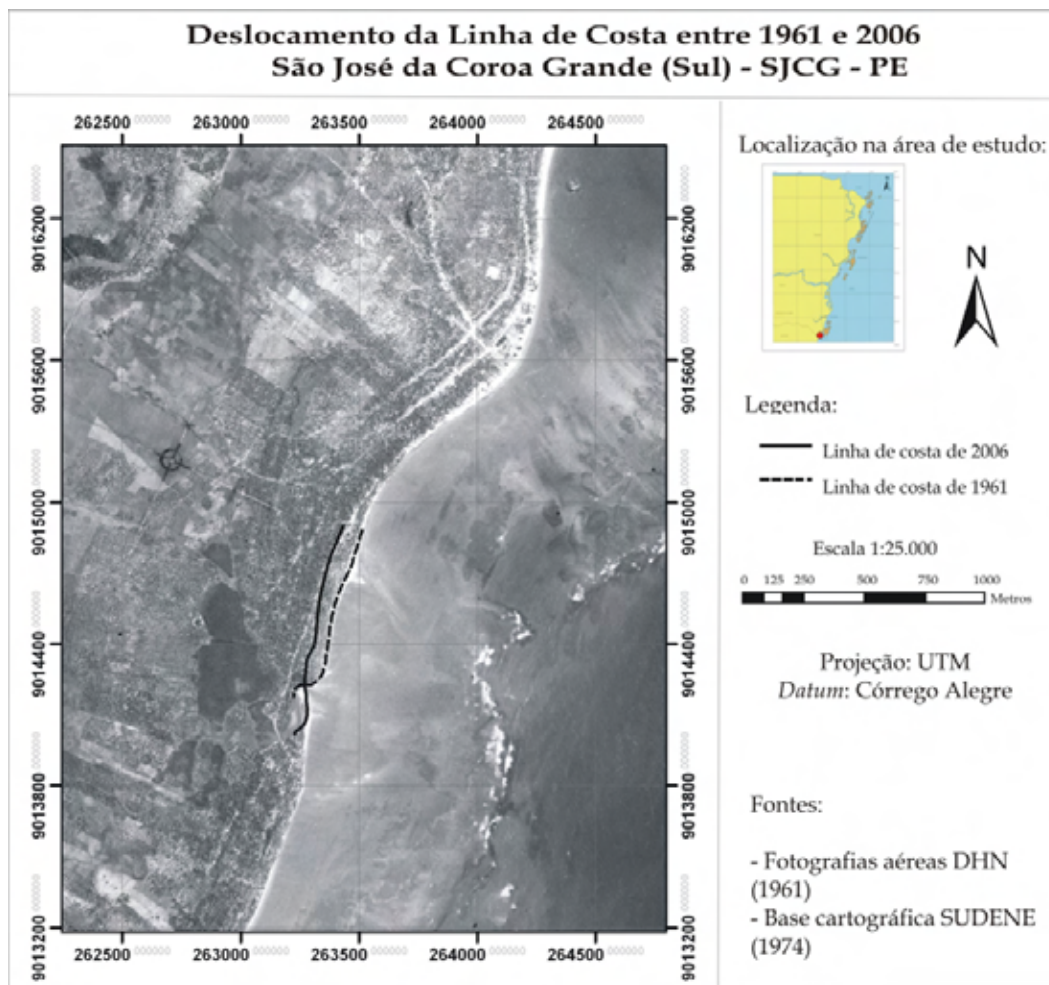


Figura 44 – Posições da linha de costa em 1961 e 2006 (SJCG – Sul).

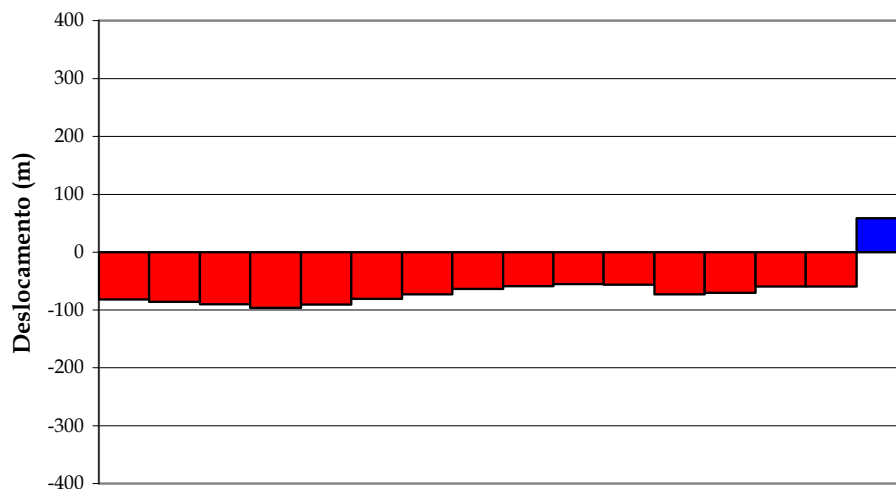


Figura 45 - Deslocamento da linha de costa entre 1961 e 2006 (SJCG – Sul).

5.1.4.1.1 Dificuldades encontradas

A escassez de pontos de controle na área dificultou o registro das fotografias aéreas tomadas em 1961. Já a correção interna das fotografias (retificação), referente às distorções geradas pela curvatura da lente, não pôde ser realizada em virtude do desconhecimento dos parâmetros de câmera. Embora a primeira dificuldade tenha sido sanada, esta última deve ser mencionada em função dos erros gerados.

Medições feitas diretamente sobre fotos não retificadas incorrem em erros decorrentes: da variação na escala das fotos devido a leves mudanças na altitude de vôo; das distorções causadas pelo desnivelamento da aeronave em relação ao solo (também causada por mudanças no relevo) e das distorções radiais a partir do centro da foto. Uma vez que tais erros não são independentes, o erro final pode ser grande (Esteves, 2002).

Diante da inexistência de fotografias de melhor qualidade - de acordo com Esteves (*op. cit.*), no Brasil, fotografias aéreas de qualidade, em escala 1:20.000 e sobreposição de 60% , datam de 1970 - os dados obtidos na análise aqui apresentada foram mantidos. Outros fatores que justificam a inserção no estudo de valores de deslocamento da linha de costa, embora com precisão limitada, incluem: a dimensão da área de estudo; os objetivos do trabalho; a ausência de dados referentes à dinâmica da linha de costa nessas escalas espaço-temporais, e a magnitude das variações.

5.1.4.2 Taxas de deslocamento

Os segmentos Pontal de Manguinhos e Várzea do Una apresentaram as maiores taxas negativa e positiva de deslocamento da linha de costa, respectivamente: -1,85 m/ano e +1,97 m/ano. A Fig. 46 mostra a variação espacial nas taxas médias anuais de deslocamento. O deslocamento da linha de costa ao longo da área de estudo pode ser visualizado na Fig. 47.

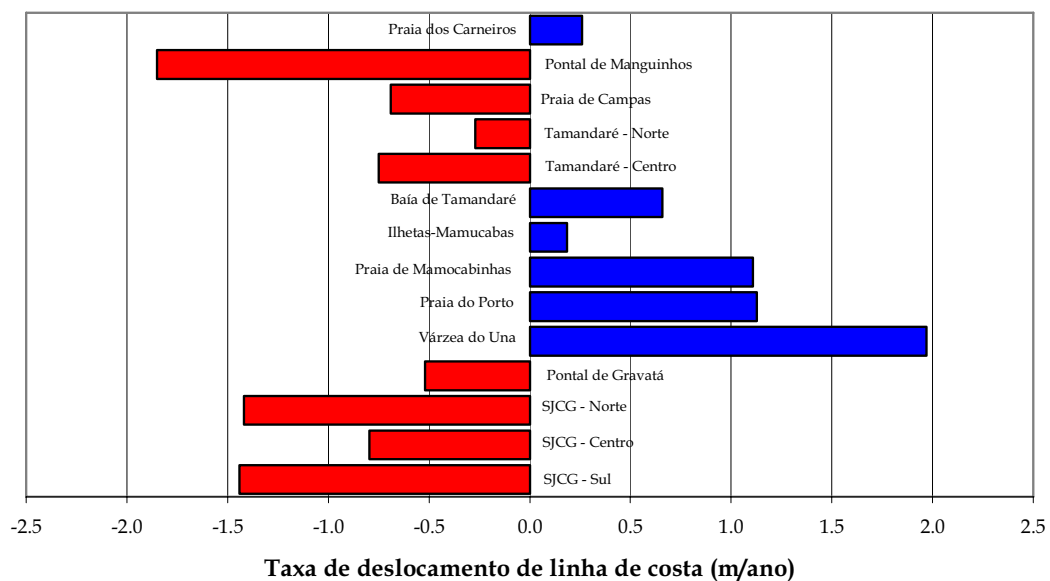


Figura 46 – Taxa média anual de deslocamento de linha de costa calculada para cada segmento.

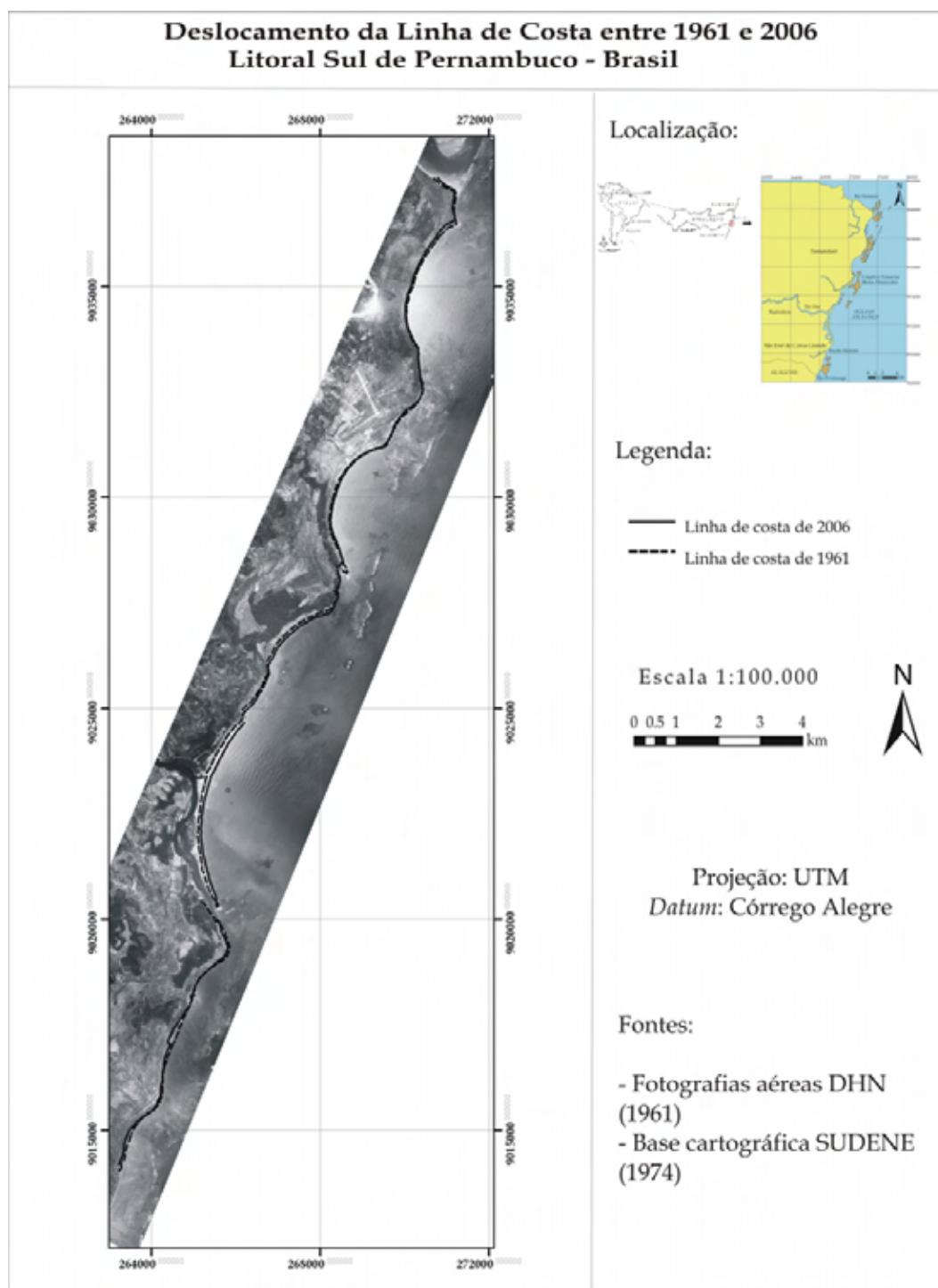


Figura 47 – Posições da linha de costa em 1961 e em 2006 para toda a área de estudo.

De posse de tais valores e de acordo com os intervalos estabelecidos por Esteves & Finkl (1998), foi possível classificar os segmentos como erosivos (taxa < - 0,5 m/ano), estáveis (taxa entre -0,5 e +0,5 m/ano) ou progradantes (taxa > +0,5 m/ano). A Fig. 48 representa o percentual da linha de costa estudada que pôde ser enquadrado em cada uma das categorias; o mapa seguinte representa a mesma informação espacializada (Fig. 49).

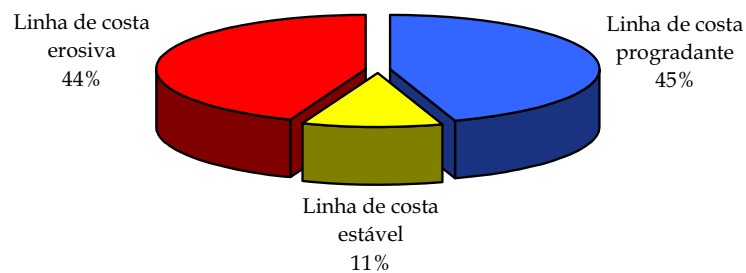


Figura 48 – Percentual da linha de costa classificado segundo suas taxas de deslocamento.

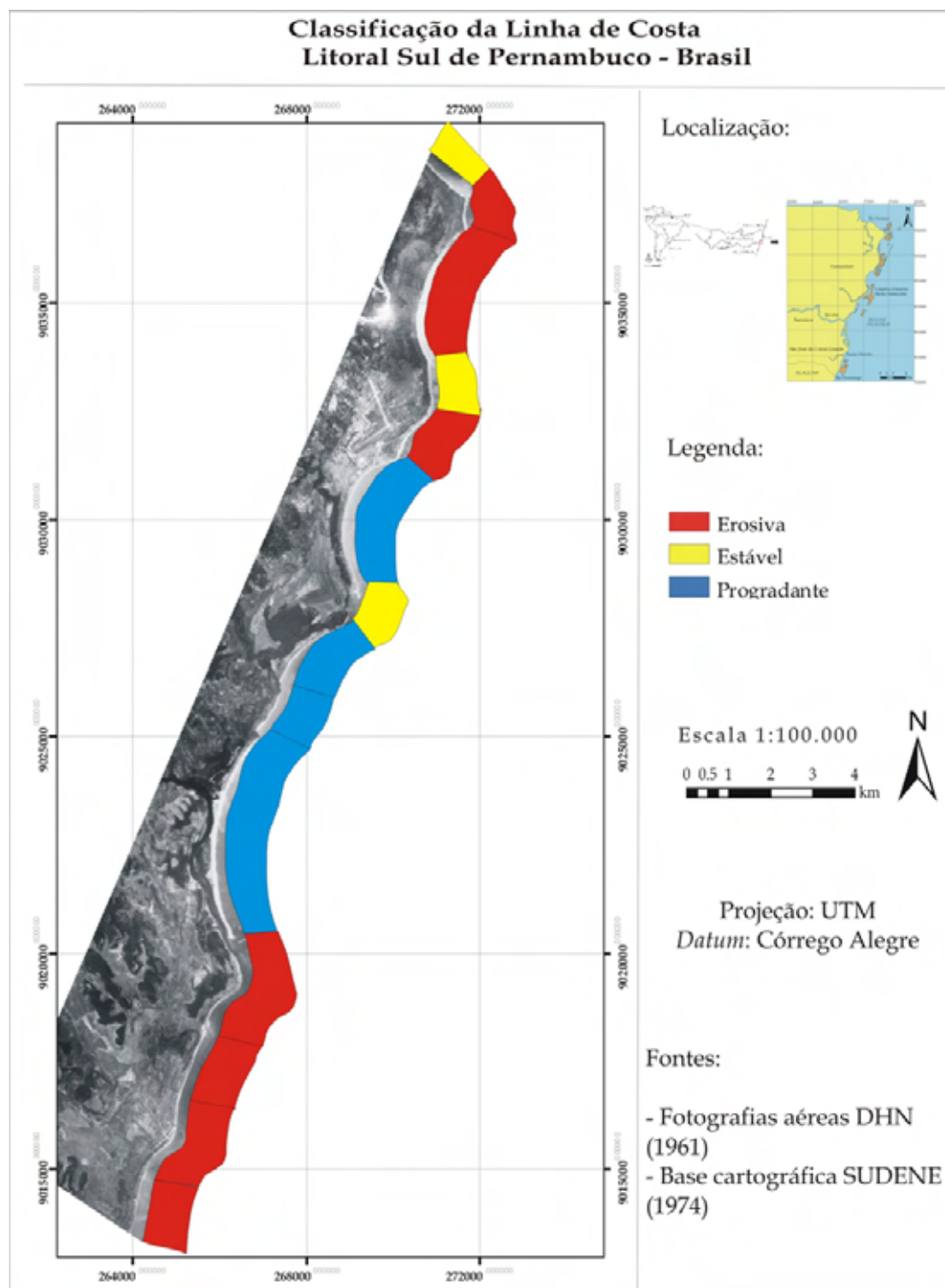


Figura 49 – Classificação da linha de costa de cada segmento segundo suas taxas de deslocamento.

Algumas constatações podem ser feitas qualitativamente, com base na análise da sobreposição das duas linhas de costa, conforme seguem:

- Segmentos em erosão, à exceção dos pontais de Mangueiros e Gravata, coincidem com áreas de maior urbanização, sugerindo uma predominância do controle estrutural/antrópico sobre o controle dinâmico/natural no que tange à evolução da linha de costa nessas áreas;
- Segmentos em progradação são representados pelas praias de maior concavidade (Baía de Tamandaré, Praia de Mamocabinhas e Várzea do Una), à exceção da Praia de Campas, em sua maior porção classificada como erosiva;
- Segmentos de intensa dinâmica, com deslocamentos tanto perpendiculares à linha de costa (em ambos os sentidos, positivo e negativo), quanto paralelos (como pode ser visto no limite Pernambuco-Alagoas, onde a foz do Rio Persinunga parece ter migrado para sul da sua posição em 1961), são comuns junto às desembocaduras de rios, onde os controles envolvidos são muito mais dinâmicos do que estruturais. Tal comportamento é comum em tais áreas, onde, de acordo com Dean (1993), mudanças da ordem de dezenas de metros por ano são freqüentes.

5.4.1.3 Indicadores de erosão e acreção

O único indicador de acreção observado foi a berma recém-vegetada, presente somente nos segmentos da Várzea do Una e Tamandaré - Norte (pequena parte). Já os indicadores de erosão incluíram coqueiros caídos, raízes expostas, mangues caídos, afloramento de lençol freático e de turfa e foram observados em praticamente todos os segmentos (Figs. 50 e 51), inclusive em porções daqueles que se encontram em progradação. Somente em dois segmentos, Praia dos Carneiros e Baía de Tamandaré, não foram verificados estes indicadores.



Figura 50 - Indicadores de erosão: (a) raiz de um coqueiro caído no Pontal de Manguinhos; (b) mangues caídos e (c) afloramento de turfa no complexo estuarino Ilhetas-Mamucabas e (d) afloramento do lençol freático na praia do Porto.

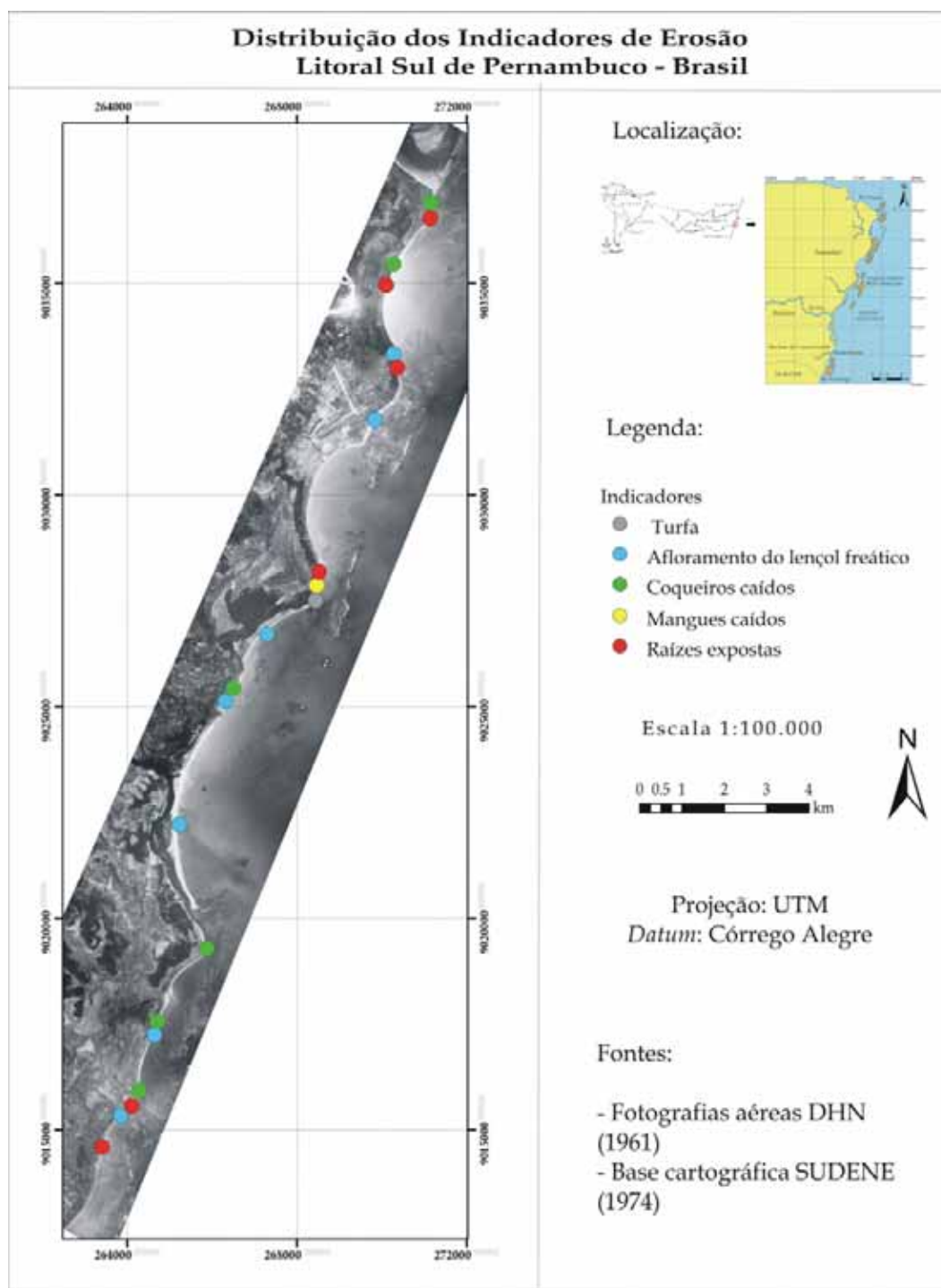


Figura 51 – Distribuição dos indicadores de erosão na área de estudo.

5.4.1.4 IPVPC Propriamente Dito

Os valores calculados para este índice ficaram entre 1 (mínimo, para os segmentos Várzea do Una e Baía de Tamandaré) e 3 (máximo, para as praias de Campas, Tamandaré - centro, SJCG - norte, centro e sul e os Pontais de Manguinhos e Gravatá) (Fig. 52). Média, mediana e moda foram iguais a 2,27; 2,73 e 3, respectivamente e, desvio-padrão, a 0,83.

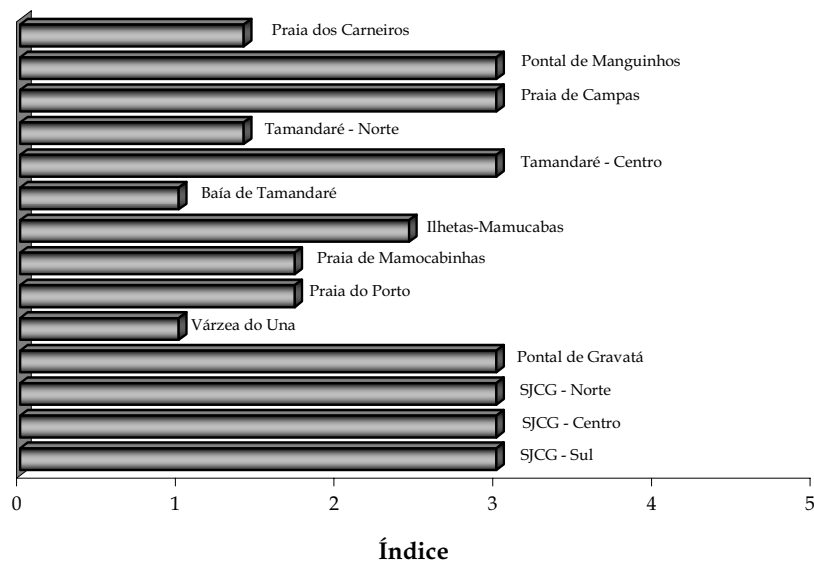


Figura 52 – IPVs relacionados aos processos costeiros para cada segmento.

Aproximadamente 46,4% da extensão foi classificada, quanto a este índice, como apresentando um grau de vulnerabilidade muito alto. Nas categorias de vulnerabilidade alta, moderada e baixa foram enquadrados, respectivamente, 14,5%; 8,6% e 30,4% da linha de costa (Fig. 53). Os quartis usados na classificação seguem na tabela abaixo (Tab. 15).

Tabela 15 - Valores usados para classificar o IPVPC em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	1	Baixo
Segundo	1,41	Moderado
Terceiro	1,73	Alto
Máximo	3	Muito Alto

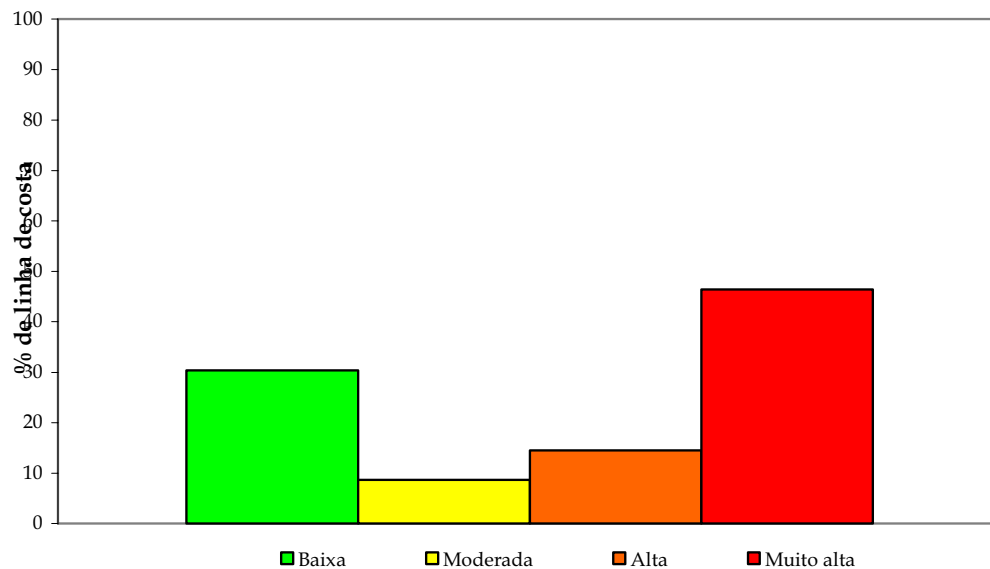


Figura 53 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVPC.

As variáveis eleitas para o cálculo deste índice parcial incluem uma das mais importantes, quando se fala do estabelecimento de áreas de maior vulnerabilidade: a taxa de deslocamento da linha de costa. Por esta variável ser uma função de inúmeros parâmetros e constituir mais uma resposta da linha de costa às pressões às quais está submetida do que propriamente uma variável que influencia na erosão costeira, sua inclusão foi bastante discutida. Seu uso, no entanto, foi mantido por dois motivos:

- em longo prazo, as taxas de deslocamento podem significar uma tendência devido a ciclos naturais, influenciando, portanto, no potencial de uma costa a erodir ou progradar;

- em curto prazo, trata-se de uma informação muito importante, pois permite não só a identificação de áreas de maior risco, como também o planejamento do uso e ocupação, tendo em vista que é a partir destes valores que usualmente são estabelecidas linhas de recuo (*setback lines*).

5.1.5 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Antrópica (IPVIA)

Este índice é função de variáveis relacionadas ao uso e ocupação da praia, tais como: percentual de urbanização do *beachfront*, tipo de construções, local onde a primeira faixa de construções está assentada e existência de obras de contenção da erosão. Ademais, é considerada a taxa anual de crescimento demográfico (ver Tabela 3), a qual apresenta o inconveniente de não refletir as informações da faixa litorânea somente, tendo em vista que os levantamentos são feitos por município, mas que foi mantida devido à inexistência de dados específicos para a orla.

Os valores calculados estão compreendidos entre 0,45 (Várzea do Una) e 3,29 (Tamandaré - Norte e Centro e SJCG - Centro). O valor médio é de 1,43; a moda e a mediana são iguais a 0,63 e o desvio-padrão é de 1,15. O IPVIA calculado para cada segmento pode ser a seguir visualizado (Fig. 54).

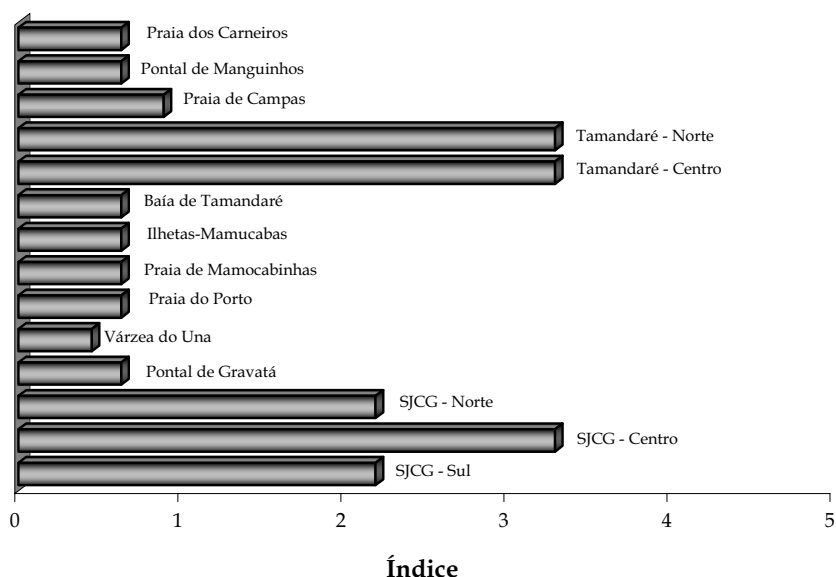


Figura 54 – IPVs relacionados à influência antrópica para cada segmento.

Visto que se trata de uma área relativamente preservada, a maior extensão da linha de costa analisada (73,5%) apresentou vulnerabilidade baixa, em relação a este IPV. Nas categorias alta e muito alta foram classificados, respectivamente, 7,1% e 19,4% da linha de costa (Fig. 55). A Tabela 16 apresenta os quartis usados na classificação.

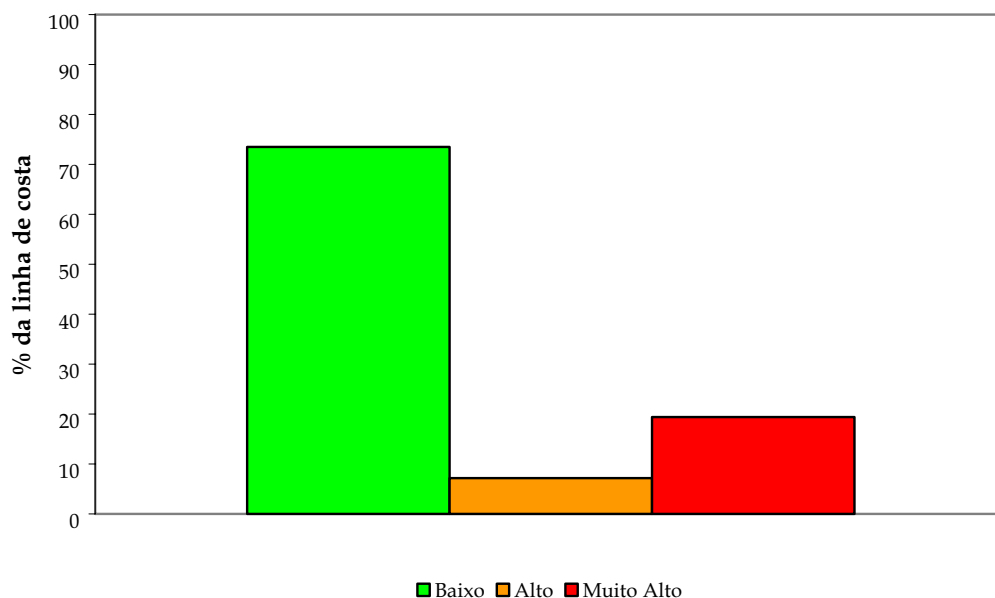


Figura 55 – Percentual de linha de costa correspondente a cada grau do IPVIA.

Tabela 16 - Valores usados para classificar os IPVIA em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	1,34	Baixo
Segundo	1,9	Moderado
Terceiro	2,68	Alto
Máximo	6,97	Muito Alto

As Figs. 56 – (a), (b), (c) e (d) mostram segmentos parcialmente intactos da costa, nos quais a influência antrópica pouco contribuiu para o incremento da vulnerabilidade global. A maior parte da área de estudo apresenta tal característica.



Figuras 56 – Praias de baixo IPVIA (sentido horário): (a) Praia dos Carneiros; (b) Praia de Mamocabinhas, mostrando edificações esparsas e recuadas da linha de costa e (c) Praia de Várzea do Una, onde o difícil acesso contribui para que a área seja mantida livre de construções junto à linha de costa.

Altos IPVIAs foram estimados para cinco segmentos da costa estudada e estão associados aos dois núcleos urbanos que se encontram desenvolvidos junto à linha de costa (Tamandaré e São José da Coroa Grande) bem como às suas adjacências. Nestes trechos, os efeitos da erosão estão sendo sentidos e tentativas de minimizar o problema já podem ser observadas, como mostram as Figs. 57 – (a), (b), (c) e (d).



Figuras 57 – Praias com elevado IPVIA (sentido horário): (a) e (b) obras de contenção da erosão (muros e gabiões) na região central de Tamandaré; (c) e (d) edificações avançando o estirâncio e enrocamentos no norte de São José da Coroa Grande.

A variabilidade da área quanto à ocupação da orla pode ser vista nas Figs. 58 (a) e (b) e reflete, em parte, a densidade demográfica dos municípios (Tab. 17).



Figuras 58 - (a) Praias do Porto e Mamocabinhas (parte), área de ocupação rarefeita; (b) Malha urbana de São José da Coroa Grande, área de maior adensamento populacional da área de estudo (Fotografias aéreas cedidas pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão).

Tabela 17 – Dados demográficos dos municípios estudados (Fonte: IBGE, 2007).

Município	População (hab)	Área (km ²)	Densidade Demográfica (hab/ km ²)
Tamandaré	18.081	190	95,16
Barreiros	41.973	233	180,14
São José da Coroa Grande	17.112	69	248

De acordo com CPRH (2003), “a urbanização da orla litorânea sul teve início na década de setenta com a implantação de loteamentos de veraneio cuja ocupação se deu a partir da década de oitenta e ocorre em ritmo acelerado, envolvendo aterro de mangue, maceiós e gamboas, destruição de dunas e privatização de trechos da praia através de muros, rampas e outras construções que impedem o acesso público a essas áreas. Atualmente, a ocupação da orla marítima prossegue em ritmo acentuado, com o surgimento de novos loteamentos e a implantação de infra-estrutura e equipamentos de apoio ao turismo - rodovias asfaltadas, hotéis, *resorts*, marinas - além de condomínios fechados.”

O desenvolvimento do complexo turístico “*The Reef Club*” e de outros empreendimentos associados, na Praia do Porto, podem vir a alterar as características das adjacências no que tange à ocupação e, conseqüentemente, os seus IPVIAs. Esta colocação aponta para a necessidade de novas aplicações da metodologia para a área de estudo, tendo em vista que o empreendimento tem como áreas de influência direta e indireta, respectivamente:

- O quadrilátero compreendido entre a PE-60 (a oeste), o limite da APA Costa dos Corais (a leste), a foz dos rios Ilhetas e Mamucabas (a norte) e o Rio Una (a sul);
- O quadrilátero compreendido entre a PE-60 (a oeste), o limite da APA Costa dos Corais (a leste), a foz do Rio Sirinhaém (a norte) e do Rio Persinunga (a sul) (REIS, com.pess.³).

³ REIS, F.C.S. Apresentação do Estudo e Relatório de Impacto Ambiental do empreendimento “*The reef club*”, durante audiência pública. Barreiros, 11 jan. 2008.

5.2 Índice Global de Vulnerabilidade (IGV)

5.2.1 Estabelecimento de áreas prioritárias para o Gerenciamento Costeiro

A integração dos cinco índices parciais de vulnerabilidade pelo seu somatório resultou nos valores expostos a seguir (Tab. 18).

Tabela 18 – Valores dos índices parciais e do índice global de vulnerabilidade (IGV).

Segmento	IPVMC	IPVAN	IPVIM	IPVPC	IPVIA	IGV
Praia dos Carneiros	2,12	1,34	1,1	1,41	0,63	6,6
Pontal de Manguinhos	3	1,9	1,55	3	0,63	10,08
Praia de Campas	3,67	2,32	1,55	3	0,89	11,43
Tamandaré - Norte	3	1,34	1,55	1,41	3,29	10,59
Tamandaré - Centro	3	1,34	0,89	3	3,29	11,52
Baía de Tamandaré	3	1,9	3,79	1	0,63	10,32
Ilhetas-Mamucabas	2,45	1,34	1,55	2,45	0,63	8,42
Praia de Mamocabinhas	2,45	3,29	2,19	1,73	0,63	10,29
Praia do Porto	3	3,29	2,19	1,73	0,63	10,84
Várzea do Una	3	2,32	3,29	1	0,45	10,06
Pontal de Gravatá	3	1,34	1,55	3	0,63	9,52
SJCG - Norte	3	1,9	1,55	3	2,19	11,64
SJCG - Centro	3,67	1,9	2,19	3	3,29	14,05
SJCG - Sul	3	1,34	2,19	3	2,19	11,72

Pelo somatório dos IPVs máximos possíveis obtidos pela análise combinatória, chegou-se a um denominador comum para os IGVs, o qual possibilitou que a vulnerabilidade global fosse expressa em percentual (Fig. 59). Os limites que nortearam a classificação deste percentual em categorias de vulnerabilidade são apresentados na tabela seguinte (Tab. 19).

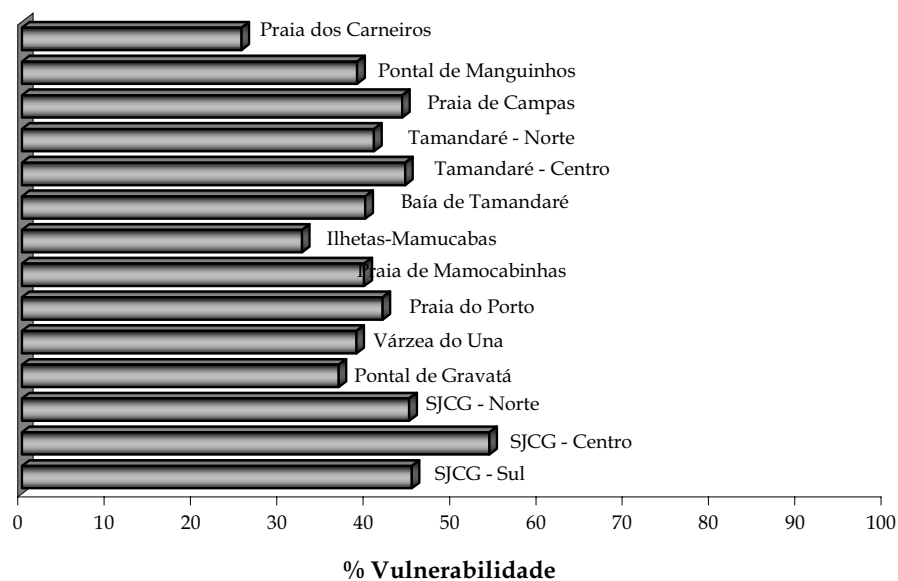


Figura 59 – Vulnerabilidade global expressa em percentual para cada segmento.

Tabela 19 – Valores usados para classificar os IGVs em graus de vulnerabilidade.

Quartil	Valor	Percentual	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro	10,07	38,80	Baixo
Segundo	10,46	40,30	Moderado
Terceiro	11,50	44,32	Alto
Máximo	15,05	54,16	Muito Alto

Os percentuais de vulnerabilidade global para cada segmento, assim como o grau de vulnerabilidade correspondente, codificado em cores, podem ser vistos na Tabela 20.

Tabela 20 – Vulnerabilidade em percentual para cada segmento estudado (valores em verde representam baixa vulnerabilidade; amarelo, moderada; laranja alta e vermelho muito alta).

Segmento	% Vulnerabilidade
Praia dos Carneiros	25.44
Pontal de Manguinhos	38.86
Praia de Campas	44.06
Tamandaré - Norte	40.82
Tamandaré - Centro	44.41
Baía de Tamandaré	39.78
Ilhetas-Mamucabas	32.46
Praia de Mamocabinhas	39.67
Praia do Porto	41.79
Várzea do Una	38.78
Pontal de Gravatá	36.70
SJCG - Norte	44.87
SJCG - Centro	54.16
SJCG - Sul	45.18

Aproximadamente 32,1% da linha de costa estudada pôde ser enquadrada na categoria “baixa vulnerabilidade”. Nas categorias moderada, alta e muito alta foram classificados 26,1%; 20,5% e 21,3%, respectivamente (Fig. 60).

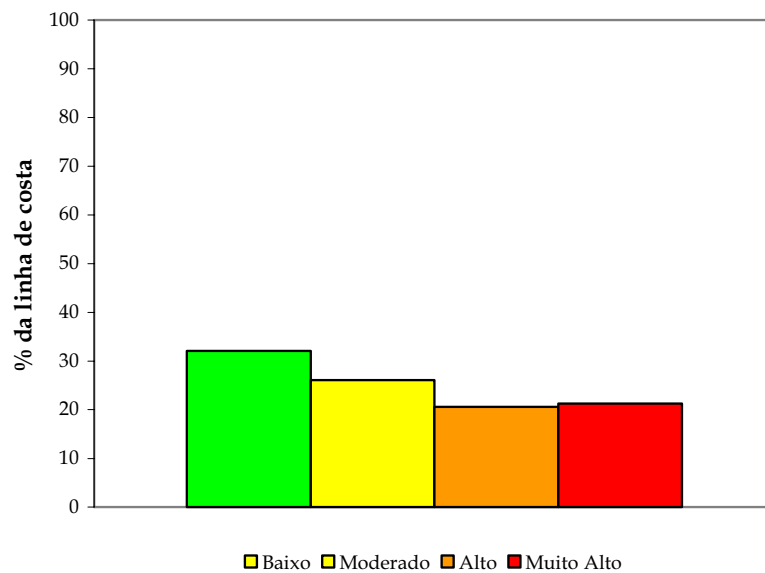


Figura 60 – Percentual da linha de costa enquadrada em cada categoria de vulnerabilidade.

A espacialização dos resultados (Fig. 61) permitiu destacar a concentração dos segmentos de vulnerabilidade muito alta no extremo sul da área de estudo, junto ao núcleo urbano de São José da Coroa Grande (aproximadamente 77,3% do total da categoria). Outra informação interessante é a coincidência entre as desembocaduras dos rios mais expressivos da região e as áreas de baixa vulnerabilidade (Rio Formoso – Praia dos Carneiros; Rios Ilhetas e Mamucabas – Ilhetas e Mamucabas; Rio Una – Várzea do Una e Pontal do Gravatá). Tal constatação sugere que estes rios podem estar atuando na região mais como fontes de contribuição no suprimento sedimentar do que como agentes erosivos, corroborando o anteriormente dito por Camargo (2005).

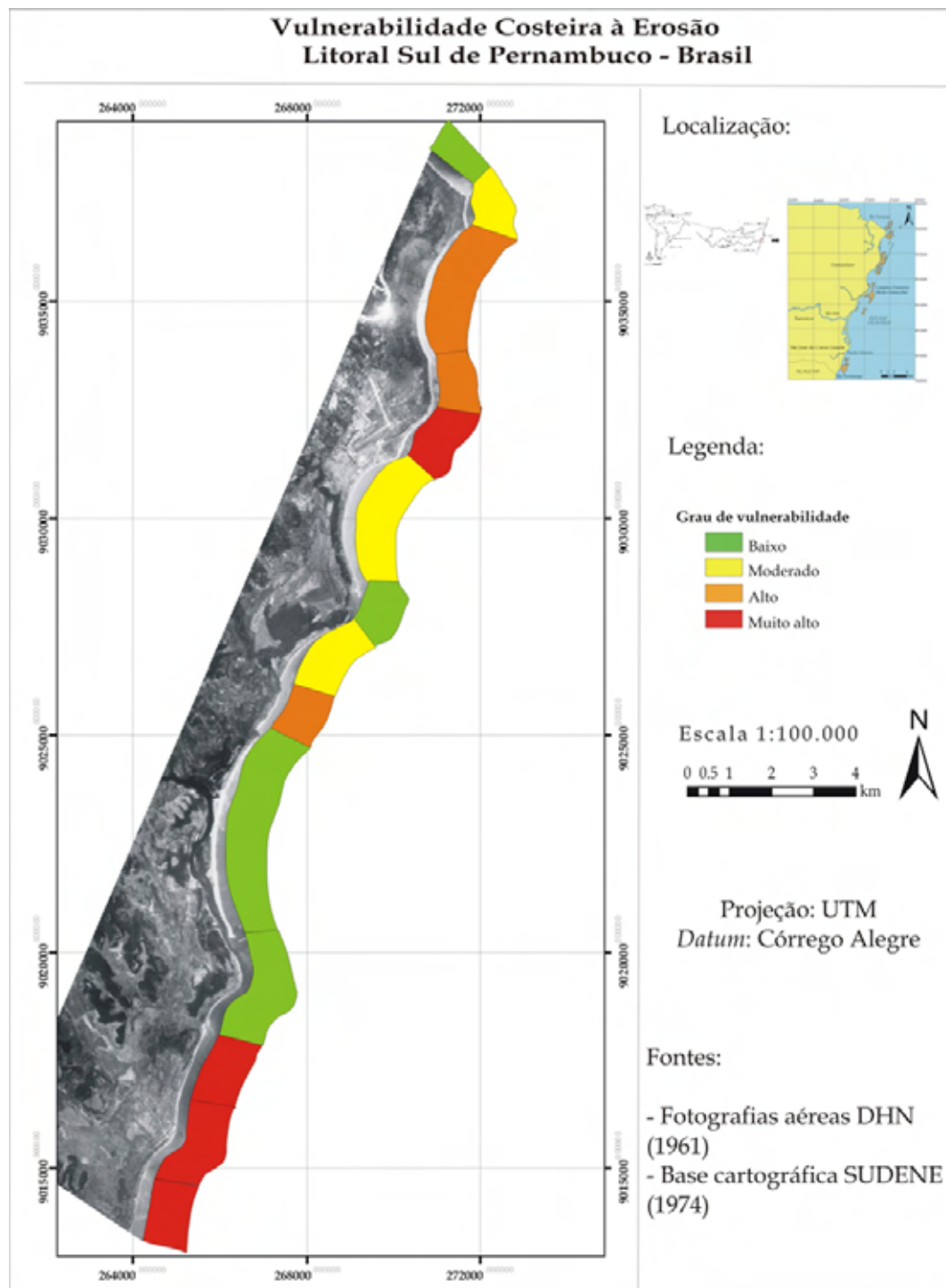


Figura 61 – Grau de vulnerabilidade global atribuído a cada segmento estudado.

5.2.2 Natureza da vulnerabilidade

Quanto à natureza da vulnerabilidade, a análise de similaridade resultou em 3 grupos distintos (corte a 90%), conforme mostra o dendrograma a seguir (Fig.62).

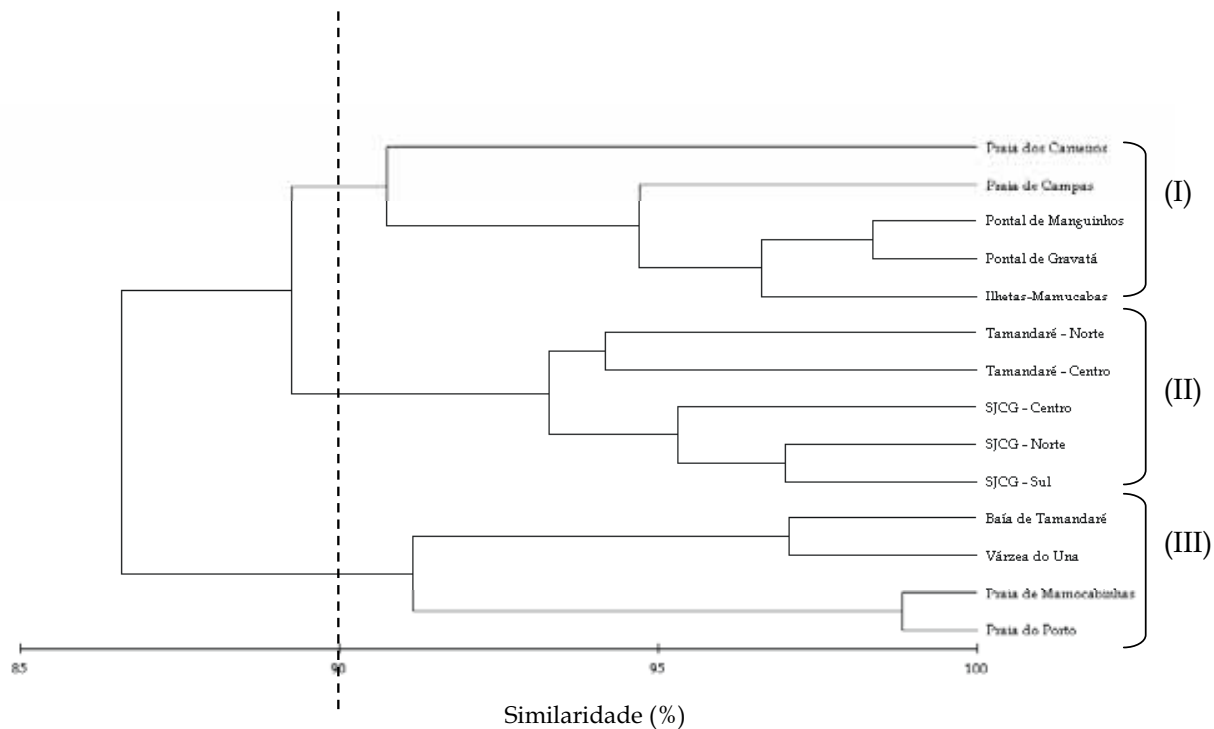


Figura 62 – Dendrograma agrupando as praias cuja natureza da vulnerabilidade se assemelha.

- (I) Praia dos Carneiros, Pontal de Manguinhos, Praia de Campas, complexo estuarino Ilhetas-Mamucabas e Pontal do Gravatá

Praias que apresentam os mais baixos valores relacionados às influências antrópica e marinha. Trata-se de praias pouco ou nada urbanizadas (à exceção de Campas), nas quais as variáveis de maior peso na determinação

da vulnerabilidade são aquelas associadas à morfologia da costa e/ou aos processos costeiros (Fig. 63).

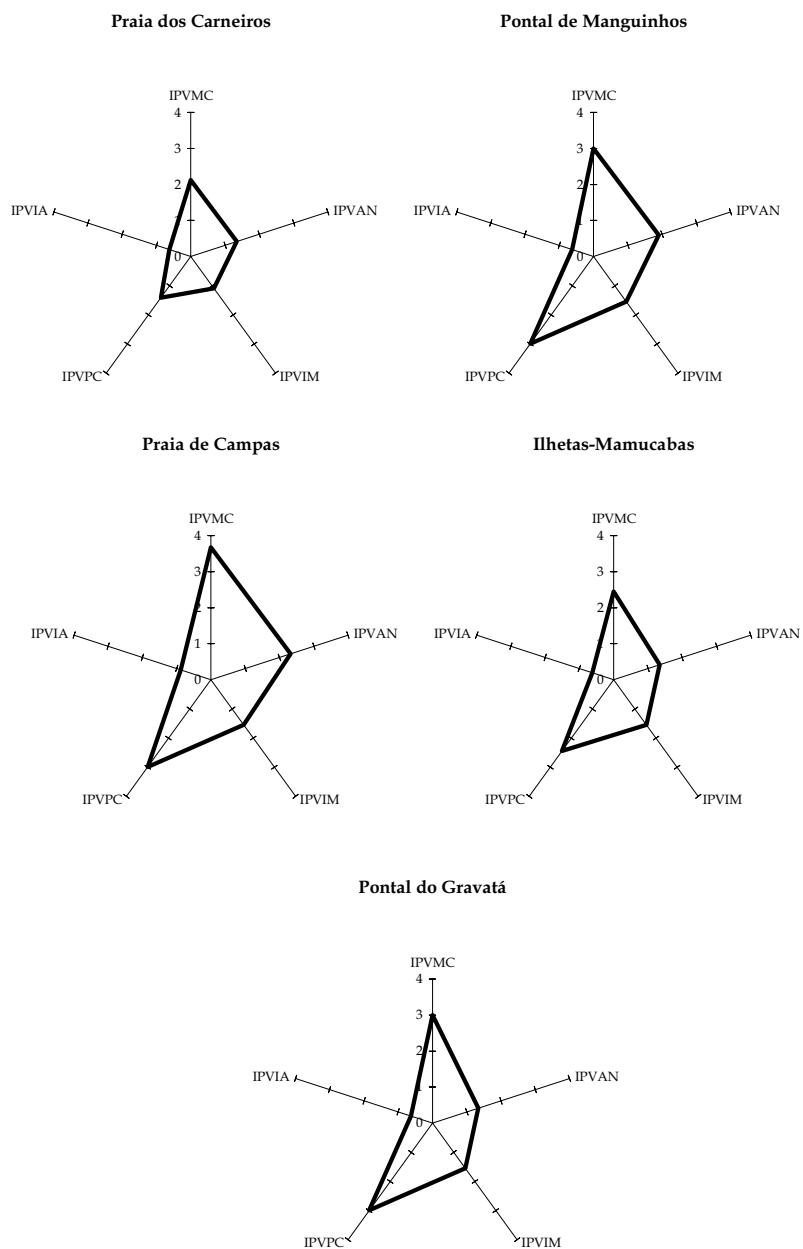


Figura 63 – Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo I.

- (II) Tamandaré – norte e centro e São José da Coroa Grande – norte, centro e sul

Praias que apresentam os mais altos valores de IPVIA. Trata-se de trechos onde o desenvolvimento urbano se fez muito próximo da linha de costa e, em determinados casos, ocupa setores do sistema praial (pós-praia ou estirâncio).

Outro índice determinante da vulnerabilidade nessas áreas é o IPVPC, o qual se mostra elevado para quase todos os segmentos, exceto para Tamandaré – Norte, o único do grupo II que apresentou alta vulnerabilidade global. Todos os demais foram classificados como apresentando grau de vulnerabilidade muito alto (Fig. 64).

Nesses locais, é comum a presença de obras de contenção da erosão, tais como muros, enrocamentos e gabiões. Todos os segmentos aqui enquadrados se encontram em processo de erosão na escala de tempo da presente análise. As taxas de erosão, embora não sejam das mais elevadas, já promovem transtornos aos moradores e preocupam as autoridades.

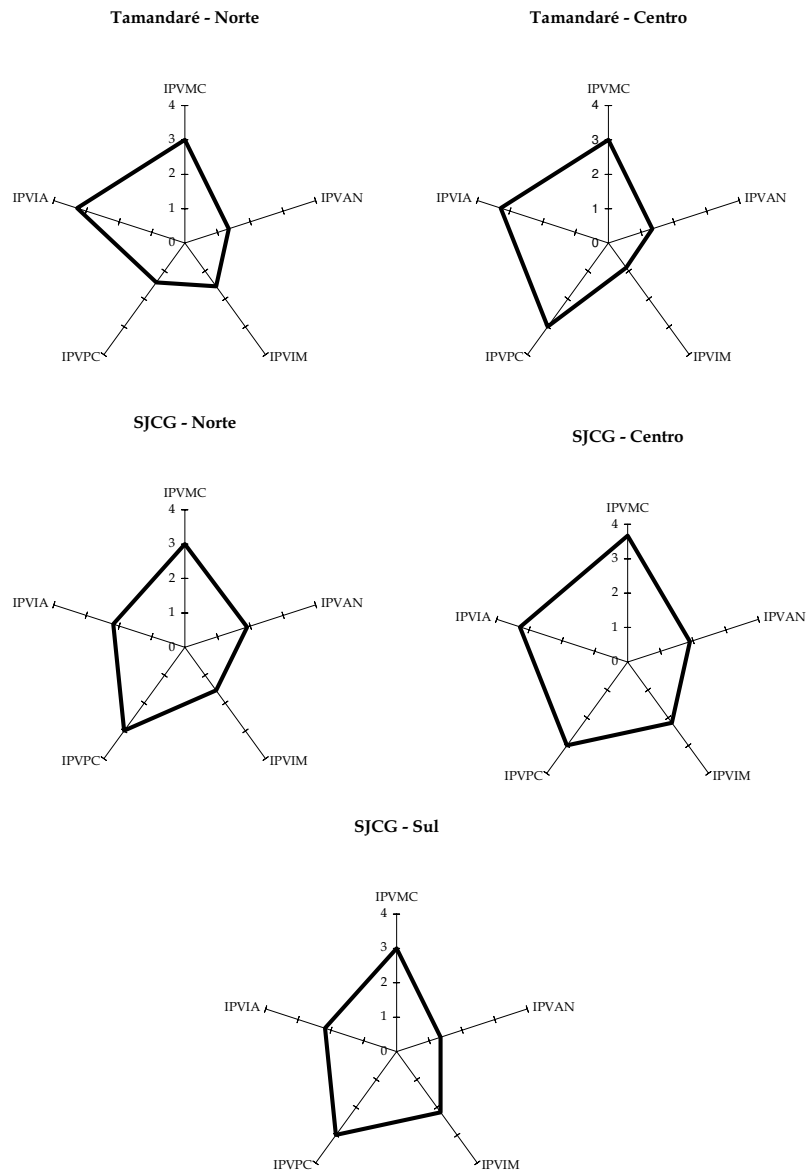


Figura 64 – Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo II.

(III) Grupo III: Baía de Tamandaré, Praia de Mamocabinhas, Praia do Porto e Várzea do Una

Segmentos pouco urbanizados nos quais as variáveis que mais contribuem para o IGV estão associadas à influência marinha e/ou aos atributos naturais. Segundo a análise de deslocamento de linha de costa, estes trechos têm apresentado comportamento progradante nos últimos 45 anos, motivo pelo qual, além do baixo IPVIA, as mesmas apresentam baixo IPVPC (Fig. 65).

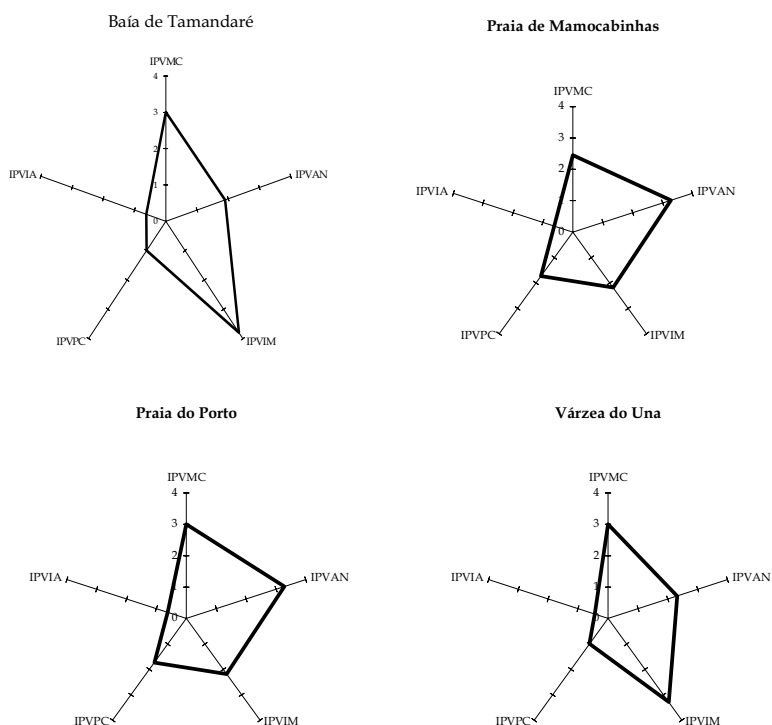


Figura 65 – Diagramas radiais mostrando a influência de cada um dos IPVs na vulnerabilidade global de cada praia classificada no grupo III.

Com base na análise das especificidades de cada unidade, pode-se priorizar áreas mais críticas, levando em consideração os fatores de maior importância na composição da vulnerabilidade global. Assim, o tipo de intervenção pode ser orientado pela origem desta vulnerabilidade: se morfológica, natural, marinha, morfodinâmica ou antrópica.

Na impossibilidade de se mensurar um parâmetro “Vulnerabilidade” em campo, buscou-se maneiras de validar a metodologia. Assim, chegou-se à comparação entre os percentuais de vulnerabilidade global e a média de deslocamento da linha, a qual reflete as oscilações dos níveis de energia junto à interface terra-mar e que não foi diretamente usada no cálculo dos índices. Foi encontrada uma correlação negativa, embora fraca ($r = -0,39$). Tal relação é apresentada no gráfico a seguir (Fig. 66) e pode vir a nortear ajustes metodológicos.

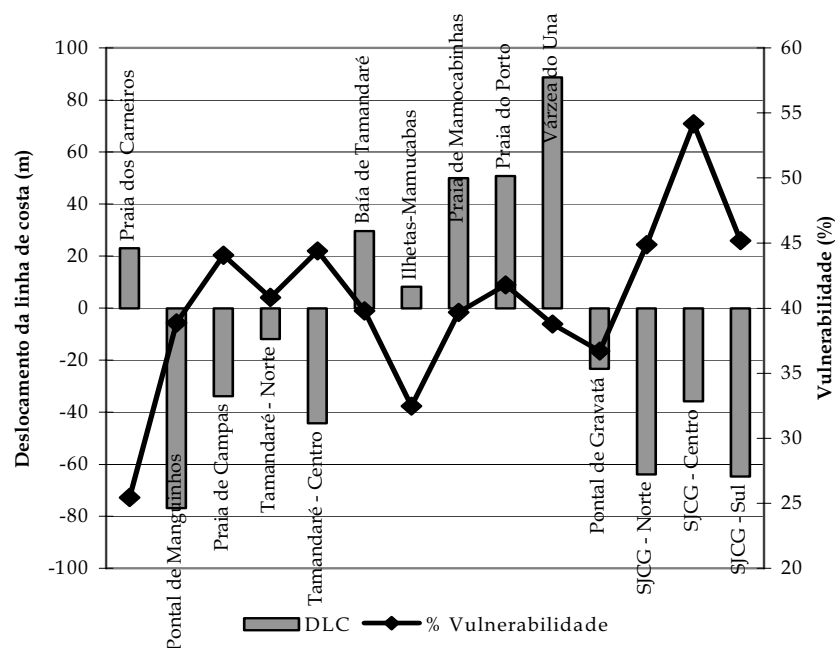


Figura 66 – Comparação entre a média dos deslocamentos da linha de costa e o percentual de vulnerabilidade para cada segmento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

A vulnerabilidade da linha de costa estudada foi avaliada com uma metodologia semi-quantitativa relativamente simples e factível, mesmo para áreas onde informações são escassas, como é o caso do litoral sul de Pernambuco. Sua aplicação foi possível graças à construção de um banco de dados a partir de informações levantadas em campo, em bibliografias e geradas a partir do uso de um Sistema de Informações Geográficas.

O litoral sul de Pernambuco apresenta segmentos com características distintas no que diz respeito ao grau e aos fatores determinantes da vulnerabilidade. Cerca de 32,1% da linha de costa analisada apresenta um baixo grau de vulnerabilidade à erosão, enquanto 21,3% apresentam vulnerabilidade muito alta. A localização das áreas menos vulneráveis sugere uma relação entre estas e as desembocaduras dos rios mais expressivos da região, os quais podem estar agindo mais como fontes de contribuição sedimentar do que como agentes erosivos. Por sua vez, a localização das áreas mais vulneráveis ressalta a importância dos fatores relacionados à influência antrópica na vulnerabilidade global: mais de 3/4 dos 21,3% classificados nesta categoria se concentram no extremo sul da área, junto à malha urbana de São José da Coroa Grande e, o complemento, corresponde ao centro de Tamandaré. Nas categorias intermediárias de vulnerabilidade – moderada e alta – foram enquadrados, respectivamente, 26,1% e 20,6% da linha de costa.

Foi possível atribuir diferentes graus de vulnerabilidade para as praias estudadas, bem como identificar os conjuntos de fatores que mais contribuem para esta vulnerabilidade em cada uma delas. O uso de IPVs agregou informação ao

IGV, de tal forma, que sua análise individual permitiu a observação de especificidades mesmo entre praias com graus de vulnerabilidade muito próximos. Assim, foram identificados três grupos de praias/ segmentos cuja natureza da vulnerabilidade se assemelha, estando relacionada: (a) à morfologia costeira e aos processos costeiros; (b) à influência antrópica e aos processos costeiros; e (c) à influência antrópica e aos atributos naturais.

De acordo com Boruff *et al.* (2005), a inclusão de fatores relacionados tanto à exposição física quanto à ocupação humana faz com que uma análise deste gênero reflita com maior acurácia a vulnerabilidade de um local aos riscos de erosão. Isto se tornou claro no presente estudo quando foram comparadas as influências de cada índice parcial sobre a vulnerabilidade, bem como a variação espacial desta influência.

A possibilidade de destacar a variabilidade regional da vulnerabilidade, bem como a variabilidade entre seus determinantes é fundamental na orientação de políticas e iniciativas de mitigação para cada local. O estabelecimento de segmentos costeiros prioritários em planos de manejo, possível a partir de estudos como o aqui apresentado, configura tal metodologia como uma ferramenta de suporte à gestão costeira bastante interessante.

6.2 Limitações

Cabe ressaltar que as variáveis incluídas no estudo, embora pareçam muitas, são apenas parte daquelas que atuam amplificando ou atenuando a vulnerabilidade da costa. Esta simplificação, no entanto, é inerente ao processo de abstração do mundo real que se faz necessário quando se representa ou modela um ambiente ou fenômeno.

Outra consideração se refere à variável tempo. Embora alguns elementos temporais tenham sido incorporados à metodologia (taxas anuais de crescimento demográfico e de deslocamento da linha de costa, ambas calculadas para o período entre 1961 e 2006), é importante que se tenha em mente que o IGV se limita a um mero indicador estático das condições durante um período analisado. A maior parte dos IPVs apresenta natureza dinâmica, de forma tal, que as alterações naturais e o desenvolvimento do local, além das ações de contenção do processo erosivo podem alterar os IPVs e, em decorrência, o IGV.

6.3 Sugestões

A evolução das variáveis semi-quantitativas para quantitativas, assim como a introdução de novas variáveis e a ponderação dos pesos para as variáveis de acordo com a sua importância através de análises estatísticas, tornariam a metodologia mais fiel à realidade ambiental das praias estudadas, além de menos sensível a pequenas variações de cada parâmetro (mais robusta). O cumprimento de tal sugestão, no entanto, é limitado pela escassez de dados referentes à área.

A aplicação sistemática do procedimento numa escala temporal, assim como constataram Garcia-Mora *et al.*, (2001) possibilitaria a avaliação de mudanças progressivas no sistema e a elaboração de prognósticos mais confiáveis.

Por fim, a redução das unidades de estudo de “praias” para “setores de cada praia” (considerando que existe variabilidade dentro de uma mesma praia), permitiria uma análise espacial mais refinada no que tange à vulnerabilidade da área.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, East Anglia, v.16, p. 268-281, 2006.

ARAUJO, M. C. B. **Resíduos sólidos em praias do litoral sul de Pernambuco: origens e conseqüências**. Recife, 2003. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 104 p.

AZUZ-ADEATH, I. Gross approximation on the erosive vulnerability along the Mexican Coast. **Littoral, the changing coast**, Porto, p. 445-451, 2002.

BAUMER, J. C.; HARDAWAY JR., S. Shoreline erosion assessment software (SEASware). In: *COASTAL ZONE '93*, 8., 1993. New Orleans. **Proceedings of the Eighth Symposium on Coastal and Ocean Management**. p. 1675-1689.

BERNARDINO, B. **Rio Una** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <danielemallmann@gmail.com> em 02 set. 2007.

BIRD, E. C. F. **Beach management**. New York: Ed. Wiley, 1996. 281 p.

BIRD, E. C. F.; SCHWARTZ, M. C. **The world's coastline**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. 1071 p.

BORUFF, B. J.; EMRICH, C.; CUTTER, S. L. Erosion hazard vulnerability of US Coastal Counties. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, Florida, v. 21, n. 5, p. 932-42, 2005.

BRASIL. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos. **Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada**. Brasília: MMA. v. 1, 2002. 78 p.

BREWSTER, L. F. S. The development of a comprehensive littoral vulnerability assessment approach for a small island developing state: a case study for Barbados.

Littoral, the changing coast, Porto, p.183-192, 2002.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, Delaware, v. 42, p. 647-670, 1999.

CAMARGO, J. M. R.; ARAÚJO, T. C. M. Evolução da vulnerabilidade à erosão das praias da Ilha de Itamaracá – PE, como subsídio para o monitoramento da morfologia praial. *In*: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas, 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

CAMARGO, J. M. R. **Mapeamento sonográfico da plataforma continental adjacente ao município de Tamandaré, Pernambuco, Brasil**. Recife, 2005. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 65 p.

CAPOBIANCO, M.; DEVRIEND, H. J.; NICHOLLS, R. J.; STIVE, M. J. F. Coastal area impact and vulnerability assessment: the point of view of a morphodynamic modeller. **Journal of Coastal Research**, Royal Paml Beach, Florida, v. 15, n. 3, p. 701-716, 1999.

CAVALCANTI, L. B.; KEMPF, M. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil) – II Metodologia e Hidrologia. **Trabalhos Oceanográficos**, Recife, v. 9, n. 11, p. 149-158, 1970.

CERC - Coastal Engineering Research Center. **Measuring Shoreline Change**. New York: U.S. Army. Coastal Engineering Technical Note, II-86, 7p., 1986.

COSTA, J. A. **Sedimentologia, hidrodinâmica e vulnerabilidade das praias no trecho entre a foz do Rio Mamucaba (Tamandaré - PE) e a foz do Rio Persinunga (São José da Coroa Grande - PE)**. Recife, 2002. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 79 p.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnóstico Sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco**. Recife, 2003. 87 p.
Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=294>>
Acesso em: 02 mai. 2006.

CROWELL, M. Coastal erosion and the National Flood Insurance Program. **Shore and Beach**, Caswell Beach , v. 65, n. 1, p. 24-26, 1997.

DAL CIN, R.; SIMEONI, U. A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research**, Fort Lauderdale, Florida, v. 10, n. 1, p. 18-29, 1994.

DANIEL, H. Replenishment versus Retreat: The Cost of Maintaining Delaware's Beaches. **Ocean & Coastal Management**. Delaware, n. 44, p. 87-104, 2001.

DEAN, R. G. Terminal Structures at Ends of Litoral Systems. **Journal of Coastal Research** , Fort Lauderdale, Flórida, v.18, p. 195-211, 1993.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. **De Recife de Tamandaré a Ponta do Prego**. Levantamento aerofotográfico, p&b. 1961. 5 fotos. 17,5 x 20 cm.

DIEZ, P. G.; PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, M. C. Vulnerability to sea-level rise on the coast of the Buenos Aires Province. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, Florida, v. 23, n. 1, p. 119-126, 2007.

DINASCOAST - Land-Ocean Interactions on the Coastal Zone. LOICZ Newsletter, n. 33. Delft. . 2004 . Disponível em:
<<http://www.loicz.org/public/loicz/newsletters/number33.pdf> > Acesso em: 15 mai. 2007.

DOUGLAS, B. C.; CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P. Considerations for shoreline position prediction. **Journal of Coastal Research**, Royal Palm Beach , Flórida, v. 14, n. 3, p. 1025-1033, 1998.

DUTRIEUX, E.; CANOVAS, S.; DENIS, J.; HÉNOCQUE, Y.; QUOD, J. P. & BIGOT, L. **Guidelines for vulnerability mapping of coastal zones in the Indian Ocean**. Paris: UNESCO/IOC, 2000. n. 38, 41 p.

EL-RAEY, M. Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta of Egypt, to the impacts of sea level rise. **Ocean & Coastal Management**, Delaware, v. 37, n. 1, p. 29-40, 1997.

ESTEVEES, L. S.; FINKL, C. W. The problem of Critically Eroded Areas (CEA): an evaluation of Florida beaches. **Journal of Coastal Research**, Royal Palm Beach, Florida, SI 26, p. 11-18, 1998.

ESTEVEES, L. S. **Estado-da-arte dos métodos de mapeamento da linha de costa**. Porto Alegre, 2002. Exame de Qualificação de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 81 p.

ESTEVEES, L.S. Identificação de áreas prioritárias para o gerenciamento costeiro no RS. *In*: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas, 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

ESTEVEES, L. S. **Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2004. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 139 p.

FARIAS, F. S. **Tamoindaré - a dinâmica de suas praias frente às novas tribos repovoadoras do século XX**. Recife, 2002. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 138 p.

GARCIA-MORA, M. R.; GALLEGU-FERNÁNDEZ, J. B.; WILLIAMS, A. T.; GARCIA-NOVO, F. A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Península. **Journal of Coastal Research**, Florida, v. 17, n. 4, p. 802-811, 2001.

GORNITZ, V.; BEATY, T.; DANIELS, R. C. **A coastal hazards data base for the U.S. west coast**. 1997. Disponível em: <<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/661514-FNBigM/webviewable/661514.PDF>> . Acesso em: 5 jan. 2007.

GREGÓRIO, M. D. N. **Sedimentologia e morfologia das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) - Brasil**. Recife, 2004. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 92 p.

HEATHER, V.; SPENCER, T. **Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast**. Reino Unido: [John Wiley Professio](#), 1995. 360 p.

HINKEL, J.; KLEIN, J. T. Integrating Knowledge for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. *In*: MCFADDEN, L.; NICHOLLS, R. J. E PENNING-ROWSELL, E.C. (Orgs.). **Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach**. Amsterdam: Elsevier Science, 2006. p. 1-20. Disponível em: <http://www.pik-potsdam.de/research/research-domains/transdisciplinary-concepts-and-methods/favaia/pubs/hinkel_klein_2006.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2007.

HOEFEL, F. **Morfodinâmica de praias arenosas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Ed. Univali, 1998. 92p.

HOOZEMANS, F. M. J.; STIVE, M. J. F.; BIJLSMA, L. A global vulnerability assessment: vulnerability of coastal áreas to sea-level rise. *In*: *COASTAL ZONE '93*, 8., 1993. New Orleans. **Proceedings of the Eighth Symposium on Coastal and Ocean Management**. p. 390-404.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal [Cid@des](#). Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat> Acesso em: 2 ago. 2007.

INSTITUTO RECIFES COSTEIROS. **Projeto Recifes Costeiros**. Tamandaré, 2001. Disponível em: <www.recifescosteiros.org.br> Acesso em: 14 abr. 2006.

KOKOT, R. R; CODIGNOTTO, J. O.; ELISSONDO, M. Vulnerabilidade al Ascenso del nível del mar em la costa de la província de Río Negro. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**. Buenos Aires, v. 59, n. 3, p. 477-487, 2004.

LELIS, R. J. F. **Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul**. Rio Grande, 2003. Monografia de graduação, Fundação Universidade Federal de Rio Grande. 79 p.

LIMA, D. C. C. **Delimitação da linha de costa atual e zoneamento da faixa litorânea como contribuição à gestão costeira do município de Tamandaré, Pernambuco, Brasil**. Recife, 2001. Monografia de especialização, Universidade Federal de Pernambuco. 54 p.

LIMA, D. C. C. **Aplicação de imagem do satélite LANDSAT TM5 e de fotografias aéreas verticais para o mapeamento dos recifes costeiros e análise dos processos físicos litorâneos relacionados (Tamandaré - PE - Brasil)**. Recife, 2003. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 119 p.

LINS, P. A. M. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do Rio Ipojuca, Pernambuco**. Recife, 2002. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 74 p.

LINS DE BARROS, F. M. Áreas Críticas e de Risco Potencial à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. *In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 2005, Guarapari. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

LIRA, A. R. A. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral entre as praias da Enseadinha e Maria Farinha, Paulista-PE**. Recife, 1997. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 96 p.

LUNA, M. C. M. M. **Dissipação interna e viscosidade turbulenta na região costeira do Porto de Suape, Pernambuco, Brasil.** Recife, 2001. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 93 p.

MADRUGA FILHO, J. D.; MANSO, V. A.; OLIVEIRA, J. A. R.; VALENÇA, L. M. M.; BARROS, L. C.; GUERRA, N. C. Vulnerabilidade da zona costeira entre as praias do Paiva e Gaibu, município do Cabo de Santo Agostinho (litoral sul de Pernambuco). *In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*, 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

MANSO, V. A. V; TOLDO JR., E.; MEDEIROS, C.; ALMEIDA, L. E. S. B. Perfil praial de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 2, n. 1, p. 45- 49, 2001.

MARTINS, M. H. A. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral da Ilha de Itamaracá – PE.** Recife, 1997. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 104 p.

McCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Eds.). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press, x+1032 pp. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.htm> > Acesso em: 20 mar. 2007.

MENDONÇA, F. J. B. **Posicionamento de alta resolução: adequação e aplicação à morfologia costeira.** Recife, 2005. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. 96 p.

MICHELLI, M. **Mapeamento sonográfico de parte da plataforma continental sul de Pernambuco, Brasil.** Recife, 2002. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 77 p.

MINISTÉRIO DO INTERIOR - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Região Nordeste do Brasil - Barreiros.** Folha SC.25-V-A-V-4-NO. Recife, 1974. 1 Carta. Escala 1:25:000.

MINISTÉRIO DO INTERIOR - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Região Nordeste do Brasil - São José da Coroa Grande.** Folha SC.25-V-A-V-4-SO. Recife, 1974. 1 Carta. Escala 1:25:000.

MINISTÉRIO DO INTERIOR - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Região Nordeste do Brasil - Praia dos Carneiros.** Folha SC.25-V-A-V-2-SE. Recife, 1974. 1 Carta. Escala 1:25:000.

MINISTÉRIO DO INTERIOR - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Região Nordeste do Brasil - Tamandaré.** Folha SC.25-V-A-V-4-NE. Recife, 1974. 1 Carta. Escala 1:25:000.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Fotoíndice.** Recife: Secretaria do Patrimônio da União, 2002. Escala (aproximada) 1:32.000. 2 CD-ROM.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S.; PORTELA, J. P. Potencialidades e vulnerabilidades geoambientais da praia de Lagoinha. *In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*, 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. 1 CD-ROM.

MORTON, R. A. Gulf shoreline movement between Sabine Pass and the Brazos River, Texas: 1974 to 1996. Texas: Bureau of Economic Geology 1997. **Geological Circular**, v. 97, n. 3. 29 p.

NICHOLLS, R. J. Synthesis of vulnerability analysis studies. *In: Proceedings of WORLD COAST '93*. Holanda: Rijkswaterstaat, 1994. Disponível em: <<http://www.survas.mdx.ac.uk/pdfs/nicholls.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2007.

OLIVEIRA, J. A. R. **Estudo do comportamento sedimentológico e morfodinâmico entre as praias de Porto de Galinhas e Gamboa - Litoral Sul de Pernambuco**. Recife, 2000. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 171 p.

OLIVEIRA, J. A. R.; MANSO, V. A.; GUERRA, N. C. Análise da vulnerabilidade à erosão nas praias de Porto de Galinhas, Cupe e Gamboa, município de Ipojuca, litoral sul do estado de Pernambuco. *In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*, 2003, Recife. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

OLIVEIRA, M. B. **Caracterização integrada da linha de costa do estado de Sergipe – Brasil**. Salvador, 2003. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 102 p.

PENDLETON, E. A.; WILLIAMS, S. J.; THIELER, E. R. Coastal vulnerability assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to sea-level rise. **U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1020**, Electronic Book. 20 p. Disponível em:

<<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/nps-cvi/>> Acesso em: 22 jan. 2007.

PERNAMBUCO. **Decreto N° 19.635, de 13 de março de 1997**. Declara como Área de Proteção Ambiental a região situada nos municípios de Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré e Barreiros, e dá outras providências. Recife, 13 mar. 1997. Disponível em: < <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/dec19635.doc> > Acesso em: 16 jan. 2007.

PORTELLA, D. B.; SANTOS, F. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Morphological and dynamical characterization of the Tamandare Bay - Pe, Brazil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife - PE, v. 29, n. 1, p. 79-86, 2001.

PORTELLA, D. B.; ARAÚJO, T. C. M. **Altura de onda na Baía de Tamandaré**. Recife, 2000. Planilhas de campo, não publicado.

RAMOS, J. M. F. O índice de vulnerabilidade costeira para a costa central do estado da Bahia. *In*: XVI Seminário estudantil PIBIC, 2004, Salvador. **Anais eletrônicos**. 1 CD.

SILENZI, S.; DEVOTI, S.; NISI, M. F.; DE DONATIS, M.; GALLERINI, G.; AMINTI, P.; PRANZINI, E.; ROSSI, L.; GABELLINI, M. Integrated hazard of italian coastal plains with respect to relative sea level rise: a case study in Versilia Plain. *In*: Littoral 2002, The changing coast. **Anais do 6º Simpósio Internacional**. Porto. 115-124. 2002.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state plan for coastal management. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, SI 35, p. 530-547, 2003.

SOUZA, C. R.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Org.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2005. 382 p.

THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise, Preliminary Results for the U. S. Atlantic Coast. Massachusetts: **U. S. Geological Survey Open-file Report**, 99-593. 1999. Disponível em: < <http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/> > Acesso em: 30 abr. 2007.

TOLDO JR., E. **Obras de Proteção e Estabilização da Praia/ Processos Costeiros**. Porto Alegre, 2006. 11 p. (Não publicado).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (EUA). **Coastal Engineering Manual**. 2002. 2914 p. Disponível em: <http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?BookID=1326&VerticalID=0> Acesso em: 20 jan. 2007.

VILES, H.; SPENCER, T. **Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast**. London: Edward Arnold, 1995. 350 p.

VILLWOCK, J. A. A Costa Brasileira: Geologia e Evolução. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, v. 7, p. 38-49, 1994.

WILLIAMS, A. T.; ALVEIRINHO-DIAS, J.; GARCIA NOVO, F.; GARCIA-MORA, M. R.; CURR, R.; PEREIRA, A. Integrated coastal dune management: checklists. (Review article). **Continental Shelf Research**, Amsterdam, v. 21, p.1937 – 1960, 2001.

ZÚJAR, J. O. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, Madrid, n. 30, p. 103-118, 2000.

ANEXO I: Planilha de Campo

PLANILHA DE CAMPO

Projeto: _____ Responsável: _____
Local: _____ Lat: _____ Long: _____
Ponto GPS: _____ Data: ____/____/____ Horário: _____
Dados da maré – Preamar: _____hs _____m Baixamar: _____hs _____m
Extensão aproximada do segmento: _____

CARACTERÍSTICAS NATURAIS

Informações Gerais sobre a Área

Tipo de orla: abrigada () semi-abrigada () exposta ()
Atributos naturais: manguezal () afloramento rochoso () lagoa () duna () estuário () outros ()
Indicadores de erosão: falésias ativas () coqueiros caídos () raízes expostas () afloramento do lençol freático () afloramento de turfa () outros _____
Indicadores de acumulação: berma recém vegetada () falésias inativas () outros _____

ANTEPRAIA

Tipo de arrebentação: ascendente () deslizante () mergulhante () reflectiva ()
Largura da zona de surfe: ampla () média () estreita ()
Recifes e/ou substratos rochosos próximos à costa: sim () não ()
Direção predominante do transporte litorâneo: _____ Nível de turbidez: alto () médio () baixo ()

PRAIA

Largura: _____ Inclinação: _____ Tipo de sedimento: _____
Estrutura sedimentar: cúspides () marcas de ondas () espraiamento () outro: _____

PÓS-PRAIA

Largura aproximada _____ Existe praia recreativa durante a maré alta? sim () não ()
Corpo d'água: rio () lagoa () laguna () maceió () outro: _____
Situação do pós-praia: berma () falésia () outro: _____
Dunas: sim () não () Vegetadas: sim () não ()
Estrutura sedimentar: cúspides () outro: _____
Tipo de sedimento: _____

CARACTERÍSTICAS DE OCUPAÇÃO

Urbanização - % da extensão da beira-mar urbanizada: ocupada () moderada () baixa ou não ocupada ()
Tipos de construções: prédios () casas () residenciais () comerciais ()
Local onde a primeira faixa de construções está assentada: praia () pós-praia () dunas () atrás das dunas ()
Alterações antrópicas: lixo () extração de areia () reflorestamento () tráfego () plataforma de pesca ()
outros: _____
Estrutura de proteção costeira: sim () não ()
Setor: antepraia () praia () pós-praia ()
Tipo: muro/ cais () enrocamentos () espigões () quebra-mares () outros: _____
Material: madeira () concreto () sacos de areia () outros: _____

FOTOS: _____

ANEXOS: _____

OBSERVAÇÕES: _____

CROQUI: _____