



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA**

WALLASON FARIAS DE SOUZA

**SENSORIAMENTO REMOTO E SIG APLICADOS À ANÁLISE DA
EVOLUÇÃO ESPAÇOTEMPORAL DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO DE
ICAPUÍ, CEARÁ - BRASIL**

**FORTALEZA
2016**

WALLASON FARIAS DE SOUZA

SENSORIAMENTO REMOTO E SIG APLICADOS A ANÁLISE DA EVOLUÇÃO
ESPAÇOTEMPORAL DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ, CEARÁ -
BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial. Linha de Pesquisa: Estudos Socioambientais.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles.

FORTALEZA
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S236s Souza, Wallason Farias de.
Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaço-temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará - Brasil / Wallason Farias de Souza. – 2016.
134 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles .

1. Linha de costa. 2. Sensoriamento remoto e SIG. 3. DSAS. 4. Dinâmica da zona costeira de Icapuí. I. Título.

CDD 910

WALLASON FARIAS DE SOUZA

SENSORIAMENTO REMOTO E SIG APLICADOS A ANÁLISE DA EVOLUÇÃO
ESPAÇOTEMPORAL DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ, CEARÁ -
BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial. Linha de Pesquisa: Estudos Socioambientais.

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (orientador)
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Ferreira dos Santos
Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

Aos meus pais, Marcelo e Conceição, pelo amor e ensinamentos para a vida e à minha irmã Milena pelo amor e entendimento de sempre.

À Nicolly Leite, pelo amor e companheirismo de todos os momentos ao longo da minha trajetória acadêmica.

Ao professor Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles, pela orientação acadêmica e pelo compartilhamento de conhecimento e experiências.

Aos professores Dr^a. Ana Maria Ferreira dos Santos, Dr. Edson Vicente da Silva (Cacau) e Jader de Oliveira Santos pela participação nas bancas de qualificação e defesa e pelas excelentes sugestões fornecidas.

À professora Dr^a. Adryane Gorayeb, coordenadora do LABOCART, pelos ensinamentos ao longo da graduação e do mestrado.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao projeto De Olho na Água, patrocinado pelo programa Petrobras Socioambiental, pelas excelentes infraestruturas de apoio e desenvolvimento de pesquisa científica.

Aos colegas da turma de mestrado e aos professores das disciplinas, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas ao projeto de pesquisa.

Às bolsistas de iniciação científica Brenda Galdino e Letícia Freitas pelo acompanhamento nos trabalhos de campo e trabalhos conjuntos.

Aos amigos e colegas dos laboratórios de Geoprocessamento (LABOCART) e do Laboratório de Geoecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental (LAGEPLAN) pelos momentos de aprendizagem, troca de conhecimentos e experiências e momentos de descontração.

Ao amigo Narcélio de Sá por tantos ensinamentos em Geoprocessamento e pelos momentos de descontração no LABOCART.

Ao colega da estatística Artur Câncio por auxiliar no entendimento da fórmula da regressão linear simples.

Ao amigo Prof. Florêncio, de Fortim, por auxiliar na realização de trabalhos de campo em Fortim e Icapuí.

Aos amigos de longa data Breno Teófilo, Edilberto Filho e Laura Danielle pelas conversas e momentos de descontração.

“Não há alternativa, é a única opção. Unir otimismo da vontade e o pessimismo da razão. Contra toda expectativa, contra qualquer previsão. Há um ponto de partida, há um ponto de união: Sentir com inteligência, pensar com emoção”. (Humberto Gessinger)

RESUMO

A linha de costa é um ambiente dinâmico e os seus constantes ajustes morfodinâmicos resultam de processos naturais e humanos. O Município de Icapuí está localizado no extremo leste do Estado do Ceará - Brasil, possui aproximadamente 45 km de linha de costa e representa um dos mais complexos sistemas ambientais do litoral cearense, com variadas morfologias de origem Quaternária, trechos relativamente conservados e impactos decorrentes das ações humanas. O objetivo principal desta pesquisa é analisar a evolução espaçotemporal (1987-2014) da linha de costa de Icapuí, considerando de forma integrada a dinâmica costeira local. A pesquisa foi realizada em cinco etapas principais: o levantamento bibliográfico e cartográfico, os trabalhos de campo, a elaboração e análise de banco de dados em SIG, o diagnóstico da evolução com a elaboração de produtos cartográficos e a projeção de cenários. Segmentou-se a planície litorânea em três setores de estudos (oeste, central e leste) e foram aplicados quatro procedimentos matemáticos e estatísticos da extensão *Digital Shoreline Analysis System 4.3* (DSAS) para o *ArcGIS 10.1*, que permitiram comparar as linhas de costa multitemporais extraídas de produtos sensores remotos por meio de uma linha de base e transectos espaçados em 500 metros entre si. Possibilitou-se estimar em metros, considerando o recorte espaçotemporal, a variação máxima (NSM), a variação absoluta (SCE), a média de variação anual (EPR) e a tendência anual de regressão linear (LRR). Atribuíram-se à linha de costa cinco classes conforme os processos identificados nos trechos, sendo eles: progradação contínua, progradação moderada e/ou semicontínua, relativa estabilidade, erosão moderada e/ou semicontínua e erosão contínua. Evidenciou-se que os processos progradacionais e erosivos mais relevantes se encontram nos setores oeste, com erosão nos subsetores Retiro Grande, Redonda e Peroba, com tendências de -0,5 a -4 m/ano, e central com recuos significativos nos subsetores Barreiras da Sereia e Barrinha, essa com recuo de até 115 metros em 27 anos e tendências entre -1,2 e -4,5 m/ano, desencadeando variados impactos socioambientais, enquanto o setor leste denotou relativa estabilidade. Com suporte nisso, foi possível discutir as estratégias de contenção da erosão, projetar possíveis cenários evolutivos e sugerir direcionamentos para o planejamento e a gestão da zona costeira do município.

PALAVRAS-CHAVE: Linha de costa. Sensoriamento remoto e SIG. DSAS. Dinâmica da zona costeira de Icapuí.

ABSTRACT

The coastline is a dynamic environment and its constant morphodynamic adjustments resulting from natural and human processes. The municipality of Icapuí is situated at the eastern end of the state of Ceará - Brazil, has approximately 45 km of coastline and is one of the most complex environmental systems of Ceará, with varying morphologies of Quaternary origin, which are preserved stretches and impacts of human actions. The main objective of this research is to analyze the evolution timeline (1987-2014) of the coastline of Icapuí, analyzing in an integrated manner the local coastal dynamics. The research was conducted in five main stages: bibliographic and cartographic survey, field work, preparation and database analysis in GIS, the diagnosis of evolution with the development of cartographic products and projection scenarios. The coastal plain was compartmentalized into three sectors studies (west, central and east) and used four mathematical and statistical procedures extension "Digital Shoreline Analysis System 4.3" (DSAS) for ArcGIS 10.1, which allowed to compare the shorelines multitemporal extracted from remote sensors products through a base line and transects spaced 500 m apart. It was possible to estimate in meters, considering the clip timeline, the maximum variation (NSM), the absolute variation (SCE), the mean annual change (EPR) and annual linear regression trend (LRR). Assigns to the coastline five classes according to the processes identified in the sections, as follows: progradation continuous, moderate progradation and / or semi-relative stability, moderate erosion and / or semi-continuous and continuous erosion. It was evident that the most relevant progradational and erosive processes are present in the western sectors, subsectors erosion Retiro Grande, Redonda and Peroba with trends of -0.5 to -4 m / year, and central sectors with significant decreases in Barreiras da Sereia subsectors and Barrinha, that a decline of up to 115 meters in 27 years and trends between -1.2 and -4.5 m / year, with varying social and environmental impacts, while the eastern sector showed relative stability. From this, it was possible to discuss containment strategies erosion, project possible evolutionary scenarios and suggest directions for planning and management of the coastal zone of the municipality.

KEYWORDS: Coastline. Remote sensing and GIS. DSAS. Dynamic coastal zone of Icapuí.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proporção da população residente em área costeira, segundo as grandes regiões e as Unidades da Federação - 2010.....	27
Figura 2 - Balanço sedimentar natural de um sistema praial.....	28
Figura 3- Nomenclatura descritiva de perfil litorâneo.....	32
Figura 4 - Distribuição temporal das imagens de alta resolução espacial coletadas para compor o banco de dados.....	44
Figura 5 - Representação dos dados necessários para calcular a variação temporal da linha de costa no <i>Digital Shoreline Analysis System</i>	46
Figura 6 - Fluxograma metodológico do <i>Digital Shoreline Analysis System</i>	47
Figura 7- Mosaico com fotografias em campo, destacando a linha de costa em praias de Icapuí.	48
Figura 8 - Mosaico com fotografias aéreas e imagens de satélite, destacando a linha de costa de Icapuí.	48
Figura 9 - Fórmula da regressão linear simples aplicada no método LRR/DSAS.	49
Figura 10 - Mosaico com a direção e a intensidade dos ventos nos dois semestres.....	58
Figura 11 - Mosaico com imagens do satélite Alos de 2013 em composições falsa-cor evidenciando o delta de maré em Icapuí.	59
Figura 12 - Mosaico de imagens panorâmicas do delta de maré de Icapuí durante a baixa-mar, destacando morfologias associadas.	61
Figura 13 - Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor leste de Icapuí.	62
Figura 14 -Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor central de Icapuí.	63
Figura 15 - Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor oeste de Icapuí.	63
Figura 16 - Mosaico de imagens panorâmicas dos terraços marinhos de Icapuí, destacando as morfologias associadas e as formas de uso.	65
Figura 17 -Desembocadura do rio Arrombado, no litoral de Icapuí.	67
Figura 18 - Estuário da Barra Grande e delta de maré durante a baixa-mar.	68
Figura 19 - Limites da APA do estuário da Barra Grande.	68
Figura 20 - Exutório de pequeno curso fluvial na praia de Retiro Grande.....	69

Figura 21 - Dunas das 3 gerações sobre o promontório de Ponta Grossa e promovendo o <i>bypass</i> de sedimentos.	71
Figura 22 - Dunas de 2 ^a e 3 ^a gerações no setor leste de Icapuí.....	72
Figura 23 - Perfil esquemático representativo das formações que compõem as falésias em Icapuí.	73
Figura 24 - Evolução da flecha litorânea do estuário da Barra Grande.....	95
Figura 25 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Retiro Grande em Icapuí: A) casa de veraneio abandonada em patamar de falésia e sinais de erosão; B) marcas de erosão pluvial em falésia; C) muro de pedras para controlar a erosão costeira; e D) fazenda Retiro Grande e estruturas de controle da erosão.	104
Figura 26 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Redonda, em Icapuí: A) barraca de praia com estruturas de proteção contra as ondas; B) erosão costeira reduziu a faixa de praia e destruiu parte da via de asfalto; C) casa de veraneio com estruturas de proteção; D) parte de casa destruída pela ação das ondas.	105
Figura 27 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Peroba, em Icapuí: A e B) estruturas de proteção a casas de veraneio contra a erosão costeira; C) vegetação rasteira aprisionando os sedimentos; D) via de paralelepípedo afetada pela erosão e estruturas de proteção.	106
Figura 28- Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Barreiras da Sereia, em Icapuí: A) casa de veraneio próxima a praia e estratégias de contenção; B) estruturas de proteção em madeira contra a erosão costeira e rede elétrica na praia; C) Casas e estruturas de contenção feitas por moradores; D) muro com blocos de rocha e vegetação protegendo a via e as casas da ação do mar.	107
Figura 29 – Conjunto de imagens do muro de contenção da erosão costeira na praia de Barrinha: A) vista a partir da zona de estirâncio em maré baixa; B) vista a partir do muro de contenção evidenciado o perfil de praia em maré baixa.	108
Figura 30 - Mosaico com imagens de satélites multitemporais e de alta resolução espacial, evidenciando as variações da linha de costa (grade a cada 100 m).	108
Figura 31 - Casa com estrutura física comprometida em razão da mudança da foz do rio Arrombado.....	109
Figura 32 - Mudanças de temperatura na superfície da terra baseada no quinto relatório do IPCC: a) cenário mais otimista. b) cenário mais pessimista.....	121
Figura 33 - Projeção de cenários do IPCC para o fim do século XXI: a) aumento da temperatura na superfície da terra; b) elevação global do nível médio do mar.	121

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização geográfica da planície costeira de Icapuí.	19
Mapa 2 - Erosão costeira no Ceará.....	31
Mapa 3 - Setorização da planície costeira de Icapuí.	45
Mapa 4 - Espacialização dos fluxos de matéria e energia da planície costeira de Icapuí-CE ..	56
Mapa 5 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Oeste (1987-2014).	86
Mapa 6 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Central (1987 – 2014).....	97
Mapa 7 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Leste (2013-2014).....	101
Mapa 8 - Estratégias de contenção dos efeitos da erosão costeira no litoral de Icapuí - Ceará, Brasil.....	118

LISTA DE CARTAS-IMAGEM

Carta-imagem 1 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Retiro Grande.....	80
Carta-imagem 2 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Ponta Grossa (sotamar).....	81
Carta-imagem 3 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Ponta Grossa (barlamar).	82
Carta-imagem 4 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Redonda.	83
Carta-imagem 5 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Peroba.	84
Carta-imagem 6 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Picos.....	85
Carta-imagem 7 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barreiras da Sereia.	90
Carta-imagem 8 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barreiras.	91
Carta-imagem 9 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barrinha.....	92
Carta-imagem 10 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Requenguela.	93
Carta-imagem 11- Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barra Grande (sotamar).....	94
Carta-imagem 12 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barra Grande (barlamar)	95
Carta-imagem 13 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor praia das Placas ...	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Antes do Presente
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Ceará
COI	Comissão Oceanográfica Intergovernamental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Conferências das Partes
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
DGI	Divisão de Geração de Imagens
DSAS	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>
E	Leste
EAMP	Estação Ambiental Mangue Pequeno
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
EPR	<i>End Point Rate</i>
ESE	Leste-Sudeste
FCCC	<i>Framework Convention on Climate Change</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMFLA	Instituto Municipal de Fiscalização e Licenciamento Ambiental

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
Km	Quilômetro
LABOCART	Laboratório de Geoprocessamento-UFC
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar-UFC
LAGEPLAN	Laboratório de Geoecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental-UFC
LANDSAT	Programa de satélites de observação da Terra de origem estadunidense
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LMS	<i>Least Median of Squares</i>
LRR	<i>Linear Regression Rate</i>
m	Metro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NE	Nordeste
NSM	<i>Net Shoreline Moviment</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
R ²	Medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a Regressão linear, em relação aos valores observados.
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RN	Rio Grande do Norte
SCE	<i>Shoreline Change Envelope</i>
SE	Sudeste
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
USGS	United States Geological Survey
VANTs	Veículos Aéreos Não-Tripulados
WLR	<i>Weighted Linear Regression</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	22
2.1 Referencial teórico.....	22
2.1.1 O enfoque geossistêmico e a análise da paisagem.....	22
2.1.2 Geotecnologias e evolução da paisagem	24
2.1.3 Dinâmica geoambiental da zona costeira e processos erosivos	25
2.1.4 Evolução da linha de costa e o uso da ferramenta <i>Digital Shoreline Analysis System</i> (DSAS).....	32
2.2 Procedimentos metodológicos	38
2.2.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico.....	39
2.2.2 Levantamentos e análises de campo	41
2.2.3 Elaboração e análise de banco de dados em SIG.....	42
2.2.4 Diagnóstico de evolução e elaboração dos produtos cartográficos	49
2.2.5 Projeção de tendências e cenários evolutivos.....	51
3 DINÂMICA NATURAL E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DOS SISTEMAS AMBIENTAIS LITORÂNEOS DE ICAPUÍ.....	53
3.1 Caracterização geoambiental	53
3.2 Planície litorânea	55
3.2.1 Mar litorâneo	57
3.2.2 Delta de maré	59
3.2.3 Linha de costa e faixa de praia.....	61
3.2.4 Terraços marinhos	64
3.2.5 Planície fluviomarinha	66
3.2.6 Campos de dunas.....	69
3.2.7 Falésias e paleofalésias	72
3.2.8 Tabuleiro pré-litorâneo.....	74

4 COMPORTAMENTO ESPAÇOTEMPORAL DA LINHA DE COSTA DE ICAPUÍ-CE.....	76
4.1 Mensuração das variações da linha de costa através do <i>Digital Shoreline Analysis System</i> (DSAS).....	76
4.1.1 Setor oeste	77
4.1.2 Setor central.....	87
4.1.3 Setor leste	98
5 TRECHOS DO LITORAL DE ICAPUÍ AFETADOS POR EROSÃO COSTEIRA: CAUSAS, EFEITOS E POSSIBILIDADES DE CONTENÇÃO	102
5.1 Impactos e efeitos socioambientais da erosão costeira	103
5.2 As possíveis causas das variações identificadas: progradação e erosão costeira	109
5.2.1 Fatores naturais	110
5.2.2 Fatores humanos.....	113
5.3 As estratégias de contenção da erosão costeira e mitigação de seus efeitos	116
5.4 Projeção de cenários evolutivos e direcionamentos para o planejamento e gestão da zona costeira de Icapuí-CE.....	119
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
REFERÊNCIAS.....	127

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras correspondem a ambientes de alta dinâmica no que se refere aos fluxos de matéria e energia, caracterizando-se por sistemas naturalmente instáveis. Em adição, essas áreas concentram grande parte da população mundial, o que leva a pressões sobre os recursos naturais.

Algumas estimativas apontam que cerca de 50% (UNESCO/COI, 2012; MMA, 2010) da população mundial habitam as zonas costeiras. É nessas regiões que estão localizadas em sua maioria as metrópoles contemporâneas, onde a densidade populacional é três vezes maior do que a média mundial. Essa tendência de o litoral apresentar densidade demográfica mais elevada do que áreas interiores intensifica-se em países de formação colonial, como o Brasil, onde a ocupação ocorreu predominantemente no sentido do litoral para o interior (MOURA, 2009).

O Brasil possui um litoral com cerca de 8 mil quilômetros de extensão, sendo o mais extenso litoral inter e subtropical do mundo (AB'SÁBER, 2001). Desde o início da ocupação do Território Brasileiro no século XVI, os principais núcleos de povoamento se consolidaram em regiões litorâneas, o que originou núcleos urbanos relevantes que ainda prevalecem no contexto atual (MORAES, 2007).

Os dados do Censo Demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, apontaram que quase 25% da população brasileira residem em municípios da zona costeira, com destaque para as grandes cidades e capitais de estados. No Nordeste, a concentração populacional é de 37,8% e no Ceará esse valor alcança 50,8% (IBGE, 2015).

As zonas costeiras evidenciam-se como ambientes naturalmente instáveis, vulneráveis às formas de uso e ocupação antrópica e que necessitam da implementação de estratégias de conservação que levem em consideração sua dinâmica natural e a capacidade de suporte dos seus sistemas ambientais (MUEHE, 2013).

O Município de Icapuí possui uma linha de costa de aproximadamente 45 quilômetros de extensão e representa um dos mais complexos sistemas ambientais da costa cearense, com indicadores de processos e morfologias que evidenciam as mudanças no nível relativo do mar e as oscilações climáticas no Quaternário (MEIRELES *et al.*, 2005).

Este trabalho teve como objetivo analisar a evolução espaçotemporal da linha de costa de Icapuí, município situado no extremo leste do litoral cearense, mediante procedimentos quantiqualitativos para dimensionar o comportamento dinâmico dos sistemas ambientais

costeiros e fundamentar um conjunto de ações para o planejamento e a gestão de ambientes praias.

Inicialmente, foram levantadas algumas questões para a definição do objeto de estudo, como: que morfologias e processos condicionam a dinâmica costeira de Icapuí? De que forma os sistemas ambientais litorâneos respondem às ações antropogênicas? De que modo as populações litorâneas são afetadas por eventuais desequilíbrios dos sistemas ambientais? Como as geotecnologias podem ser utilizadas na evolução espaçotemporal dos sistemas ambientais litorâneos? Como contribuir para o planejamento e gerenciamento da zona costeira de Icapuí?

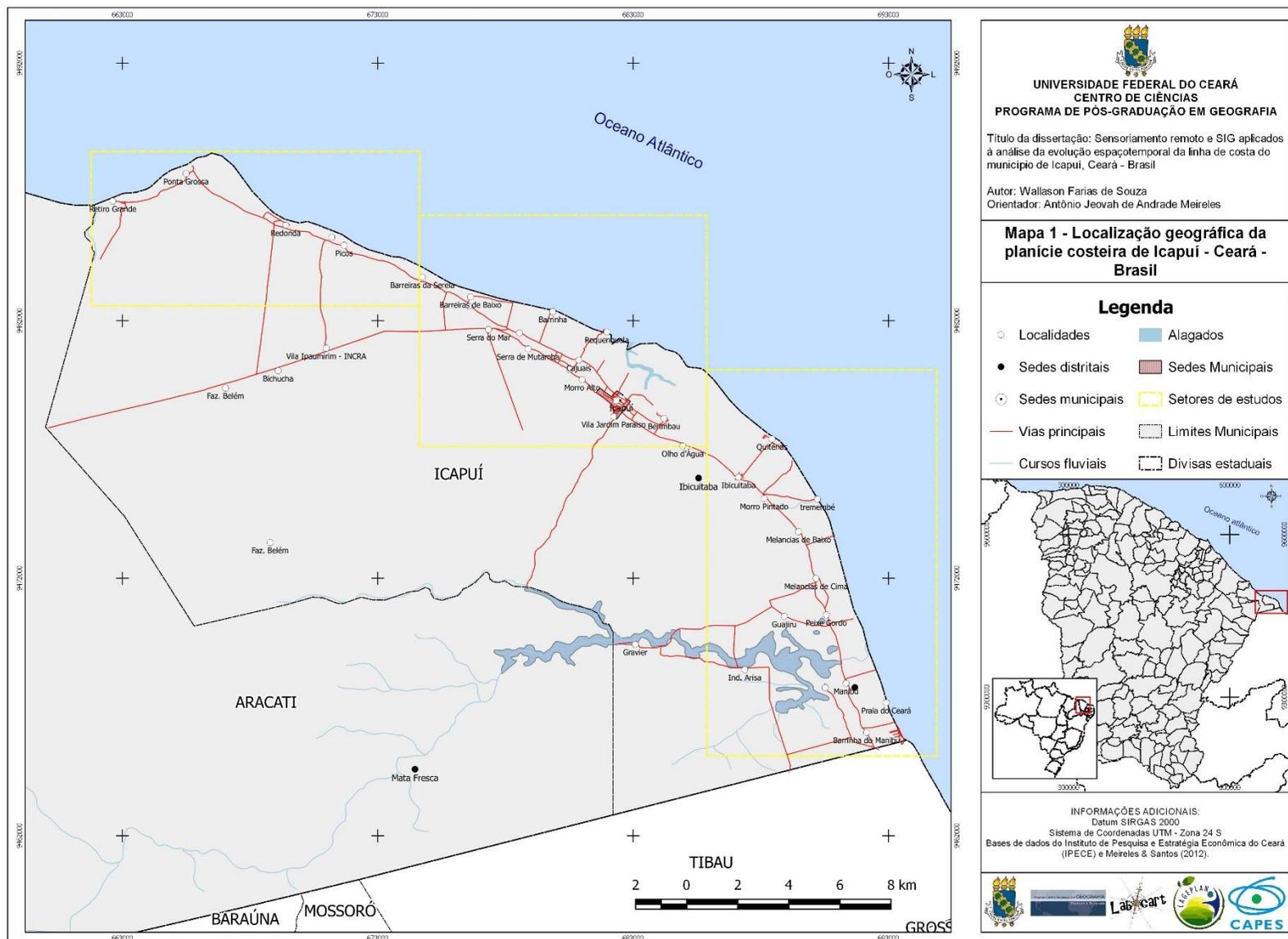
Tendo tais perguntas como direcionamento, evidenciou-se que por meio de análises aprofundadas da dinâmica dos sistemas ambientais costeiros de Icapuí e da evolução espaçotemporal da planície litorânea através de produtos de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento, pode-se contribuir com informações relevantes para a análise da linha de costa e o planejamento e a gestão do litoral do Município.

A pesquisa tem um embasamento sistêmico, analisando os componentes ambientais da zona costeira, os fluxos de matéria e energia e a ação humana de modo inter-relacionado, visando fornecer informações técnico-científicas que possam contribuir no entendimento da evolução da linha de costa e no planejamento e gestão da zona costeira do Município de Icapuí.

O Município de Icapuí está situado no extremo leste do litoral cearense (MAPA 1), Nordeste do Brasil, tendo como limites ao norte e ao leste o oceano Atlântico, ao leste e ao sul o Município de Tibau no Rio Grande do Norte, ao sul e ao oeste o Município de Aracati, localizando-se entre as latitudes 4°37'40"S e 4°51'18"S e longitudes 37°15'30"W e 37°33'44"W. A criação deste Município se deu em 11 de janeiro de 1985, pela Lei de Criação 11.003, tendo como origem o Município de Aracati, ou seja, Icapuí é um município relativamente novo com apenas 31 anos de emancipação política (MEIRELES & SANTOS, 2012; IPECE, 2014).

Icapuí está inserido na Microrregião Do Litoral de Aracati, Mesorregião do Jaguaribe e Macrorregião De Planejamento do Litoral Leste/Jaguaribe, distante por via terrestre aproximadamente 200 km de Fortaleza, com acesso pela CE-040 e BR-304, tendo uma área de 428,69 km² e uma população de 18.392 habitantes, sendo formado por três distritos: Icapuí-sede, Ibicuitaba e Manibu. Distribuem-se nos três distritos pelo menos 38 comunidades/localidades sendo a maior parte delas localizadas na porção litorânea do Município (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Mapa 1 - Localização geográfica da planície costeira de Icapuí.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Não se considerou, entretanto, a divisão distrital para setorização da área de estudos, mas sim as morfologias e dinâmica ambiental. Para esta pesquisa, compartimentou-se a planície costeira de Icapuí em três setores, considerando a dinâmica ambiental e geomorfologia litorânea: oeste, central e leste.

Neste trabalho, concede-se maior ênfase nas comunidades litorâneas, afetadas diretamente pelos efeitos das variações da linha de costa. Dentre essas comunidades, pode-se mencionar: Retiro Grande, Ponta Grossa, Redonda, Peroba, Barreiras da Sereia, Barreiras de Baixo, Barrinha, Requenguela, Quitérias, Tremembé, Melancias de Baixo, Barrinha de Manibu e Praia do Ceará.

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, sendo o primeiro a introdução. O capítulo 2 apresenta o referencial teórico e os procedimentos metodológicos adotados, onde se trata a razão de se partir de uma abordagem sistêmica para o entendimento da evolução espaço-temporal da planície costeira de Icapuí, o uso das geotecnologias na análise da paisagem e a dinâmica geoambiental da zona costeira, desde os componentes ambientais, os fluxos de matéria e energia e a ação humana.

Além disso, são descritos os procedimentos adotados ao longo da pesquisa, desde o levantamento bibliográfico e cartográfico (mapas básicos, bases vetoriais e matriciais, ou seja, relacionadas a produtos de sensores remotos), a realização dos trabalhos de campo, atividade fundamental na Geografia Física, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) na análise da dinâmica costeira, a evolução das unidades ambientais da zona costeira, com ênfase na linha de costa e a projeção de tendências e cenários evolutivos em distintos contextos.

No capítulo 3, realiza-se uma caracterização básica da área de estudos, abordando desde a localização geográfica, a dinâmica geoambiental dos sistemas ambientais até informações relativas à base físico-ambiental em escala local e regional, como o clima, hidrologia, geologia, geomorfologia, solos e vegetação. Mostra-se ainda neste capítulo a compartimentação dos sistemas ambientais da planície costeira de Icapuí, caracterizando cada unidade e suas especificidades e funções no equilíbrio da dinâmica costeira de Icapuí.

No capítulo 4, é expressa a evolução da linha de costa nos últimos 27 anos (1987/2014), por meio de produtos de sensores remotos e uso de SIGs, além da discussão voltada à erosão costeira. Assim, mensuram-se os avanços e recuos da faixa de praia por meio de uma aplicação em SIG, apontando-se os setores do litoral do Município mais afetados pela erosão costeira.

O capítulo 5 discute as variações espaço-temporais da linha de costa e as possíveis causas deste processo e os seus efeitos socioambientais, apontando-se as possibilidades e

estratégias de contenção e mitigação dos efeitos da erosão costeira, além de projetar cenários para os próximos 20 anos, considerando a evolução dada pelo DSAS e, até o fim do século, baseando-se no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

O capítulo 6 refere-se às considerações finais, onde estão sintetizados os resultados obtidos pela pesquisa e os possíveis direcionamentos metodológicos para investigações futuras e para o planejamento e a gestão ambiental de áreas litorâneas baseados na evolução da linha de costa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Este módulo da dissertação aborda o referencial teórico e os procedimentos metodológicos que embasaram a pesquisa, evidenciando a importância da análise e a evolução da paisagem, tendo como direcionamento o enfoque geossistêmico, além de debater a dinâmica geoambiental da zona costeira. Nos procedimentos metodológicos, além do levantamento bibliográfico e dos trabalhos de campo, etapas fundamentais na pesquisa em Geografia Física, destacam-se o uso de SIGs, a formulação de um diagnóstico de evolução para a linha de costa e a projeção de tendências e cenários evolutivos.

2.1 Referencial teórico

2.1.1 O enfoque geossistêmico e a análise da paisagem

Esta investigação visa, com base numa abordagem teórico-metodológica de cunho sistêmico, compreender a dinâmica da zona costeira do Município de Icapuí, onde os componentes ambientais são considerados como sistemas abertos que interagem por meio dos fluxos de matéria e energia atuantes, sendo o geossistema o referencial mais consolidado em Geografia Física para embasar teoricamente o estudo.

Tal abordagem ganhou espaço na Geografia após os estudos de Bertrand (1972) e Sothava (1977), e ambas as linhas se baseiam na Teoria Geral dos Sistemas, de Bertalanffy (1968), que, desde os anos de 1920, discutiu o conceito de sistema. Algumas décadas depois das primeiras discussões sobre a Teoria Geral dos Sistemas, muitas áreas do conhecimento foram influenciadas pela teoria citada, dentre elas a Geografia.

Sobre a influência dos sistemas na Geografia, Troppmair & Galina (2006, p. 80) afirmam que

A visão sistêmica também foi um importante acontecimento para a Geografia. O direcionamento para a sistematização e a integração do meio ambiente com seus elementos, conexões e processos como um potencial a ser utilizado pelo homem, adquire importância crescente.

Assim, esta abordagem teórico-metodológica encontra-se bem desenvolvida em estudos ambientais integrados e naqueles relacionados a Geografia Física, sendo, portanto, bem consolidada como embasamento para a compreensão da dinâmica geoambiental da zona costeira (MEIRELES & ROMERO, 1999; MOURA, 2009; MEIRELES, 2012), elaboração de diagnósticos e zoneamentos (SOUZA *et al.*, 2009; SANTOS, 2008) e apontar subsídios para o planejamento e a gestão da zona costeira (FORTALEZA, 2010; MENDES, 2012; MEIRELES, 2012).

A paisagem constitui a categoria de análise que melhor se adequa aos estudos de cunho ambiental em Geografia Física e é um conceito-chave no enfoque geossistêmico, dada a possibilidade da discussão integrada de elementos naturais e humanos. Rodriguez & Silva (2013) apontam a paisagem como unidade dialética e complexo total que está em constante mudança e evolução.

A paisagem, como propõe Bertrand (1968), resulta da combinação dinâmica entre elementos físicos, biológicos e antrópicos que fazem dela um todo complexo e que está em perpétua evolução.

Neste mesmo sentido, Ab'Saber (2005, p.9) adjetiva a paisagem como uma herança:

A paisagem é sempre uma herança. Na verdade, ela é uma herança em todo o sentido da palavra: herança de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades.

Não se pretende neste trabalho realizar um zoneamento ou uma hierarquização das unidades de paisagem, como frequentemente os estudos com este enfoque conduzem seus resultados, mas apenas utilizar a concepção de totalidade e de inter-relação dos componentes ambientais na compreensão do comportamento espaçotemporal da linha de costa.

O enfoque geossistêmico é um fundamento para o planejamento e a gestão dos sistemas ambientais, sendo que estes, conforme Rodriguez & Silva (2013, p. 54-55) são “as diferentes categorias do ecossistema humano, com diferentes níveis de organização e de relações entre fenômenos ou subsistemas naturais e sociais”.

Sendo assim, os sistemas ambientais são entendidos a partir da dinâmica entre os seus componentes, como propõem Souza *et al.* (2009, p.26):

Os sistemas ambientais são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e energia. Cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural. Em cada sistema, verifica-se, comumente, um relacionamento harmônico entre seus componentes e estes são dotados de potencialidades e limitações próprias sob o ponto de vista de recursos ambientais. Como tal reagem também de forma singular no que tange as condições de uso e ocupação.

Rodriguez & Silva (2013) afirmam que o planejamento ambiental requer uma visão holística, sistêmica e dialética das relações entre natureza e sociedade, sendo que os sistemas ambientais estão inter-relacionados e formam uma totalidade complexa. Para esses autores, dentre as variadas abordagens teórico-metodológicas sobre o planejamento ambiental, aquela mais sintética e integradora é a que tem a paisagem como unidade de análise.

Assim, a planície costeira de Icapuí é entendida neste trabalho como um sistema ambiental resultante da interação dos fluxos de matéria e energia atuantes na zona costeira e que é formada por outros sistemas ambientais (subsistemas) como as dunas, falésias e faixas de praia e pós-praia. O termo sistema ambiental possui neste ensaio significado semelhante a unidades de paisagem, unidade geoambiental, unidade geocológica, geossistema ou geoambiente, variações terminológicas frequentemente mencionadas na literatura especializada em abordagem sistêmica na Geografia.

2.1.2 Geotecnologias e evolução da paisagem

As geotecnologias são importantes meios na análise da evolução da paisagem, pois uma vez que, por meio do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, é possível visualizar os ambientes e sua transformação no tempo e no espaço, identificando e discutindo os fatores e processos condicionantes de um estado momentâneo da paisagem. Os produtos de sensores remotos (fotografias aéreas e imagens de satélite), mediante sua característica multitemporal, permitem monitorar a variação dos sistemas ambientais litorâneos de Icapuí.

Com vistas à compreensão da dinâmica costeira do litoral estudado e a evolução espaçotemporal dos sistemas ambientais litorâneos, entende-se que os produtos de sensores remotos e as técnicas de geoprocessamento são importantes instrumentos na observação da evolução da paisagem no tempo, na compreensão dos processos atuais e na elaboração de prognósticos de tendências futuras (LANG; BLASCHKE, 2009).

Em síntese, Eliache (1987) *apud* Novo (2010) garante que o sensoriamento remoto consiste na obtenção de informações sobre um objeto, não havendo um contato físico com ele, sendo esta aquisição resultante da detecção e mensuração das mudanças que um objeto impõe aos campos de força (eletromagnéticos, acústicos ou potenciais) que o circundam.

Dentre os diversos produtos desta tecnologia, as imagens de satélites e fotografias aéreas são as mais utilizadas em estudos geográficos e de evolução da paisagem. A característica multitemporal das imagens de satélites permite monitorar a variação dos sistemas ambientais. Conforme a lição de Florenzano (2011, p.91),

As imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram os ambientes e sua transformação, e destacam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem com o uso e ocupação do espaço.

Geralmente, o uso dessas imagens acontece por meio de procedimentos de geoprocessamento, sendo este um conjunto de tecnologias que permite a manipulação, análise e simulação de modelos e visualização de dados georreferenciados, tendo seus procedimentos

mais precisos quando agregados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que consistem em programas computacionais capazes de trabalhar com informações geográficas espacialmente referenciadas e em um sistema de coordenadas conhecido (FITZ, 2010). A utilização deste conjunto de ferramentas (geotecnologias) vem sendo feita em distintas análises de cunho geográfico, apropriada, também, por outras áreas de conhecimento. Dentre eles podem ser citados os trabalhos de Liu et al. (2014) na evolução urbanística, Mascaro (2004) no uso e cobertura do solo, Loureiro & Ferreira (2013), Marino & Freire (2013), Kampel, Amaral & Soares (2005), Klemas (2013), Utery, Choi & Finn (2010), Sam, Gahlot & Prusty (2013).

Para Davidson-Arnott (2010), desde os anos de 1980, com o avanço nas tecnologias referentes aos SIGs, a sua utilidade para a gestão da zona costeira foi rapidamente reconhecida, tendo como aplicações a geologia e geomorfologia litorânea, a direção do transporte de sedimentos, modelagens de um potencial impacto de derrames de petróleo ou mesmo para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

Entende-se que a planície litorânea é composta por sistemas ambientais de alta variabilidade espacial e temporal e que a compreensão de sua dinâmica e evolução requer o uso de produtos e tecnologias capazes de acompanhar no tempo e no espaço essas variações, sendo as geotecnologias capazes de relacionar os processos naturais e antrópicos, compreender as causas e efeitos de desequilíbrios e contribuir na tomada de decisões no que se refere ao planejamento e gerenciamento dos ambientes costeiros.

2.1.3 Dinâmica geoambiental da zona costeira e processos erosivos

As zonas costeiras são ambientes de interface de sistemas ambientais continentais, oceânicos e atmosféricos que propiciam complexa dinâmica geoambiental influenciada por fluxos de matéria e energia, que controlam o equilíbrio dessas regiões, e por fatores humanos através das formas de uso e ocupação.

Diversas áreas do conhecimento têm a zona costeira como espaço de análise, tendo a Geografia forte tradição nestes estudos e a interdisciplinaridade assumem papel fundamental no gerenciamento costeiro integrado (LINS-DE-BARROS & MUEHE, 2009).

Como Jensen (2011) alerta, estas regiões possuem morfologias resultantes da ação de três principais agentes: i) a energia solar, que produz ondas e correntes oceânicas, ii) a influência gravitacional solar e lunar, na criação das marés e iii) o ser humano como um agente geomórfico. Todas as faixas costeiras do mundo possuem alto nível de complexidade, em decorrência da variada quantidade de fatores que influenciam e interagem na elaboração de um litoral, sendo necessária uma investigação nas combinações morfológicas, tectônicas,

eustáticas, abrasivas e deposicionais que ocorrem em cada setor do litoral, sendo este, assim como outras paisagens, uma “herança” de processos pretéritos e remodelado pela dinâmica costeira atual (AB’ SABER, 2006).

Para Meireles (2012), a planície litorânea compreende morfologias, processos geológicos e sistemas ambientais originados pela ação das ondas, ventos e marés com os ambientes marinhos e continentais, podendo ter relação com as mudanças ambientais ocorridas no Quaternário, com vínculos às mudanças climáticas e oscilações relativas do nível do mar, sendo as feições da geomorfologia costeira resultantes dos fluxos de matéria e energia pretéritos e atuais. Dessa forma, a zona costeira constitui área de continua morfogênese, ou seja, permanentemente instável.

Tessler & Mahiques (2009) consideram que três processos hidrodinâmicos são fundamentais nos mecanismos de erosão, transporte e deposição de sedimentos do litoral: ondas, marés e correntes costeiras. Dessa forma, o ambiente litorâneo possui constante modificação do relevo, como resultado da ação integrada de agentes marinhos, atmosféricos e continentais.

Meireles (2012, p.76) faz uma síntese sobre as feições morfológicas, geralmente identificadas na zona costeira, com ênfase no Estado do Ceará e no Nordeste brasileiro:

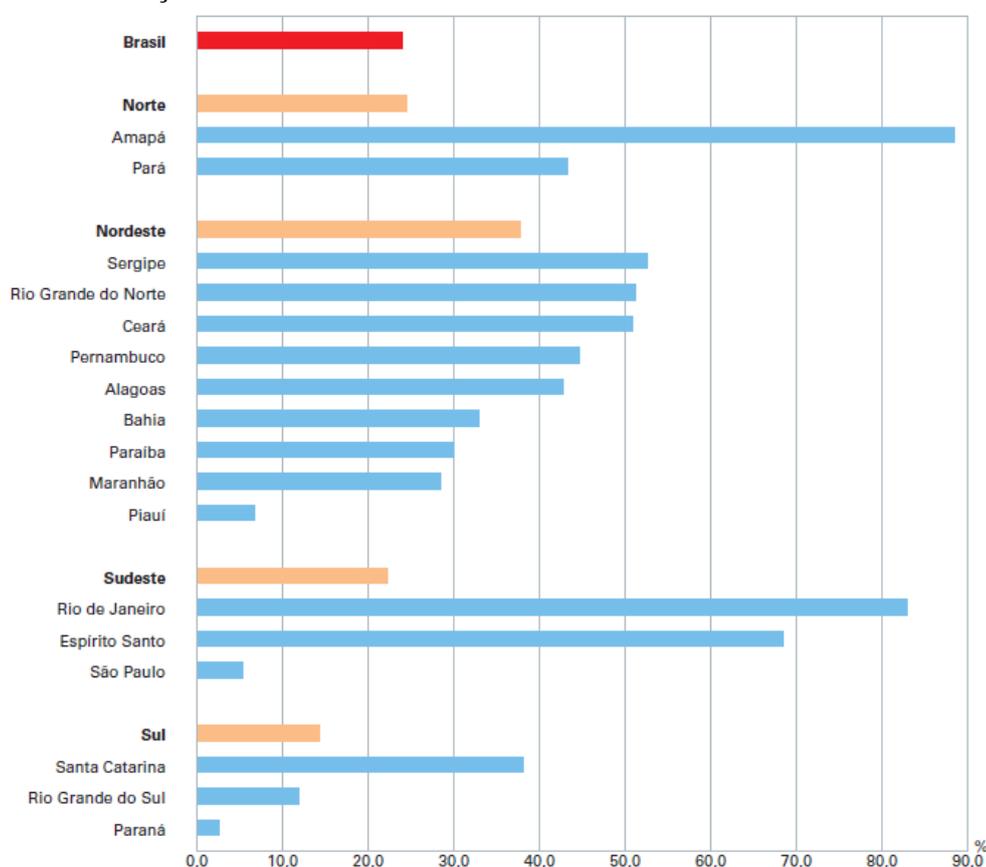
O perfil perpendicular a faixa litorânea, iniciando na zona de praia até o interior do continente, pode ser considerado através da caracterização das seguintes formas: plataforma continental (a retaguarda da zona de surf); faixa de praia (limite com a zona de *offshore*, incluindo a zona de *surf*, estirâncio, face de praia, esporões arenosos, cristas e cavas longitudinais, bancos de areia intermarés e zona de berma); campo de dunas fixas e moveis (zona de domínio das dunas moveis sobre tabuleiros pré-litorâneos); terraços marinhos, falésias vivas e mortas, estuários (limite interno definido pela associação vegetal e níveis de salinidade controlado pela maré), planícies de marés, manguezais e apicuns (limite da influência marinha estuário adentro), lagoas, lagoas costeiras. Nas áreas que envolvem estuários e canais de marés os processos litorâneos penetram até zonas mais interiores, notados pela presença de sedimentos argiloso-arenosos de mangue, vegetação de manguezal, mares dinâmica e de salinidade. O contato com morfologias tipicamente continentais e evidenciado pela ocorrência de depósitos aluviais, terraços fluviais, aluviões e depósitos coluviais; mata ciliar, caatinga e bosques de carnaúbas.

Além de compor sistemas ambientais complexos e diversificados que contribuem para o equilíbrio da biodiversidade marinha e terrestre e para a qualidade de vida da sociedade, historicamente, a localização litorânea foi estratégica na expansão e conquista de territórios e fundamental na economia das sociedades. A zona costeira ainda representa uma região de importância estratégica para as sociedades atuais, levando-se em consideração os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Tais aspectos possibilitam os fluxos de circulação oceânicos (pessoas e cargas), lugares para lazer, turismo e pesca (MORAES, 2007).

Algumas estimativas apontam que cerca de 50% da população mundial habitam as zonas costeiras (UNESCO, 2012; MMA, 2010). Segundo o IBGE (2015), as zonas costeiras do Brasil exprimem variadas situações com áreas densamente povoadas, com intensa urbanização, industrialização e exploração turística até espaços pouco ocupados e com grande significado ambiental, como os manguezais, estuários e restingas.

Segundo os dados do Censo Demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, aproximadamente 24% da população brasileira residem em municípios da zona costeira. No Nordeste, a concentração populacional é de 37,8% e, no Ceará, este número alcança 50,8%, ou seja, mais da metade da população cearense habita os 32 municípios costeiros dos 184 municípios do Estado (FIGURA 1). Os municípios que integram a zona costeira são definidos em lei pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), sendo aqueles que recebem influência direta dos fenômenos ocorrentes no litoral (IBGE, 2015).

Figura 1 - Proporção da população residente em área costeira, segundo as grandes regiões e as Unidades da Federação - 2010.



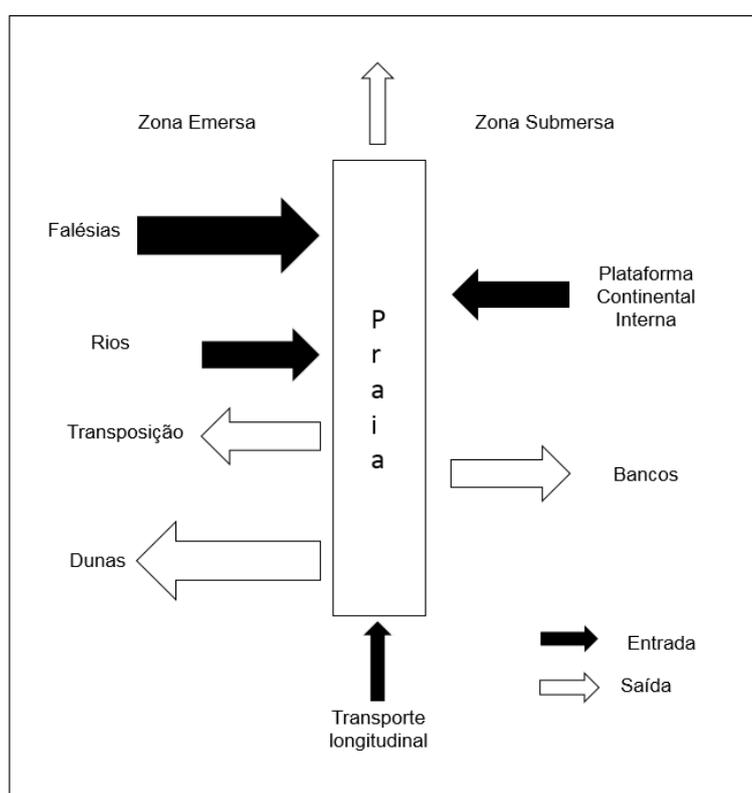
Fonte: Sinopse do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_uf_zip.shtm>. Acesso em: mar. 2015.

Assim, em razão da acelerada ocupação da zona costeira, com edificações cada vez mais próximas a faixa de praia, intensificaram-se os riscos associados às mudanças de posições da linha de costa, processo que acontece naturalmente pelo ajustamento morfodinâmico na

dinâmica praial, mas que também pode estar relacionado à erosão costeira ocasionada por fatores humanos em escalas locais, regionais e até globais, como as mudanças climáticas e elevação do nível do mar (MUEHE, 2013).

A erosão costeira consiste no balanço sedimentar negativo em determinado sistema praial (por motivações naturais ou antrópicas), ou seja, o material removido pelos processos costeiros é superior ao depositado, causando assim um déficit de sedimentos e o consequente recuo da linha de costa. Muehe (2013) mostra um esquema com o balanço sedimentar natural de um sistema praial (FIGURA 2).

Figura 2 - Balanço sedimentar natural de um sistema praial.



Fonte: Muehe (2013)

Atualmente, a erosão costeira se configura como um fenômeno que afeta 70% dos litorais da Terra. Outros 10% exprimem acreção e 20% não denotam mudanças significativas, tendo como possíveis causas as variações climáticas de longo prazo, a variável climática atual e podendo ser induzida por atividades humanas (TESSLER & MAHIQUES, 2009).

Esta temática é tratada em diversas partes do mundo, onde a sociedade é influenciada pelos efeitos da erosão costeira e os governantes preocupam-se com as causas atuais e as tendências e previsões, como em COMISSÃO EUROPEIA (2006), que aborda esses processos na União Europeia e UNESCO/COI (2012) tratando sobre a erosão costeira no Senegal, em Arthurton & Korateng (2006), que tratam sobre a dinâmica costeira e erosão no

Continente Africano e, ainda, o caso brasileiro, em que o Ministério do Meio Ambiente elaborou um volume sobre a erosão e progradação do litoral brasileiro, discutindo com especialistas de cada estado da Zona Costeira os processos erosivos, as causas e a possibilidades de contenção, apresentando-se relatórios em capítulos específicos (MUEHE, 2006).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sugere em seus diversos relatórios o aumento médio da temperatura global e a conseqüente elevação do nível médio do mar, ocasionando o recuo da linha de costa e a erosão costeira acentuada em toda Terra, afetando grande parcela da população mundial, concentrada em áreas costeiras, além dos danos materiais e prejuízos econômicos. Estimativas apontam que uma eventual elevação do nível relativo do mar em 1 metro atingiria um contingente de 146 milhões de pessoas, com prejuízos diretos na ordem de 100 bilhões de dólares (MUEHE, 2013).

No Brasil, Muehe (2006) garante que, de modo geral, há um predomínio das áreas afetadas por processos erosivos sobre áreas de acreção, sendo os principais motivos das modificações da linha de costa no Brasil: i) as intervenções humanas nos processos costeiros; ii) a urbanização; iii) a falta de suprimento sedimentar, por esgotamento da fonte natural (plataforma continental), pela retenção dos rios, perda de sedimentos para dunas e em obras de engenharia, estando as causas naturais vinculadas em um segundo plano, principalmente aquelas relacionadas a uma possível elevação do nível do mar.

A percepção de que o litoral é um ambiente sujeito a mudanças se estabelece à medida que aumenta a ocupação da orla costeira de modo que efeitos erosivos que antes da ocupação eram ignorados por não causarem prejuízos, passam a ser vistos como fator de risco, implicando em questões econômicas e sociais. (BRASIL, 2006, p.5).

Sobre as causas da erosão costeira no Brasil, Muehe (2005, p. 97) assinala que:

A identificação das causas da erosão costeira tem sido frequentemente um exercício de adivinhação devido à falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima de ondas e da evolução da linha de costa. Assim sendo tem sido difícil distinguir entre episódios de erosão ou progradação de tendências de longo prazo. Soma-se a isso. Em muitos casos, a falta de consenso sobre a tendência evolutiva de um dado segmento costeiro devido a diferenças metodológicas na investigação ou no período de tempo analisado.

No Estado do Ceará, a erosão costeira é um problema antigo, com destaque para a cidade de Fortaleza após os anos 1950, com a construção do porto do Mucuripe e a interferência no fluxo de sedimentos trazidos pela deriva litorânea, ocasionando uma perda considerável do perfil praiado no litoral norte e oeste da capital do Ceará, sendo necessária a intervenção por obras de engenharia (espigões) para atenuação do problema (MELO, 2006). O problema, todavia, foi somente transferido para o Município de Caucaia, ao oeste de Fortaleza e sotamar da

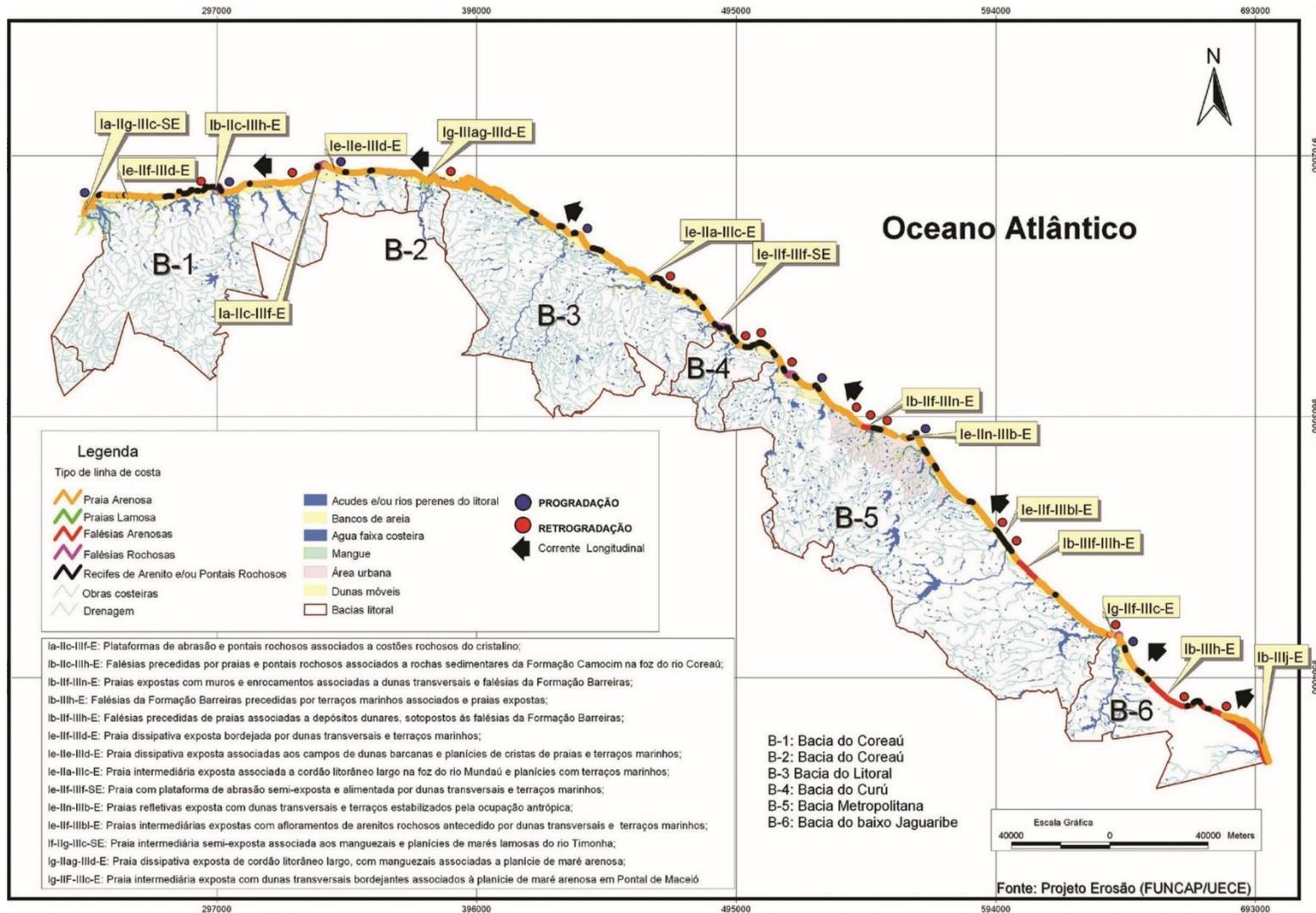
interferência inicial, que atualmente é afetado pelo avanço do mar (VASCONCELOS, 2010; MOURA, 2012).

Morais et al. (2006) fizeram um relatório geral sobre os processos erosivos e progradacionais no litoral cearense. A síntese desse estudo aponta um predomínio de processos erosivos sobre os progradacionais e possibilitou visualizar o fato de que a erosão está distribuída do leste ao oeste do Estado, inclusive no litoral de Icapuí (extremo leste do mapa), representado por falésias da Formação Barreiras, precedidas por terraços marinhos associados e praias expostas e falésias precedidas de praias associadas a depósitos dunares, sotopostos às falésias da Formação Barreiras (MAPA 2).

Meireles (2012) garante que os processos erosivos na linha de costa do Ceará estão diretamente relacionados com as ações humanas, tendo como possíveis causas os processos energéticos representados pela ação das ondas, marés e ventos, a disponibilidade de sedimentos e a configuração geomorfológica do litoral, associados à ocupação das áreas de aporte de sedimentos, com destaque para os promontórios e margens de estuários.

Assim, as zonas costeiras se evidenciam como ambientes vulneráveis às formas de uso e ocupação antrópica e que necessitam de estratégias de conservação que levem em consideração sua dinâmica natural e a capacidade de suporte dos sistemas ambientais

Mapa 2 - Erosão costeira no Ceará



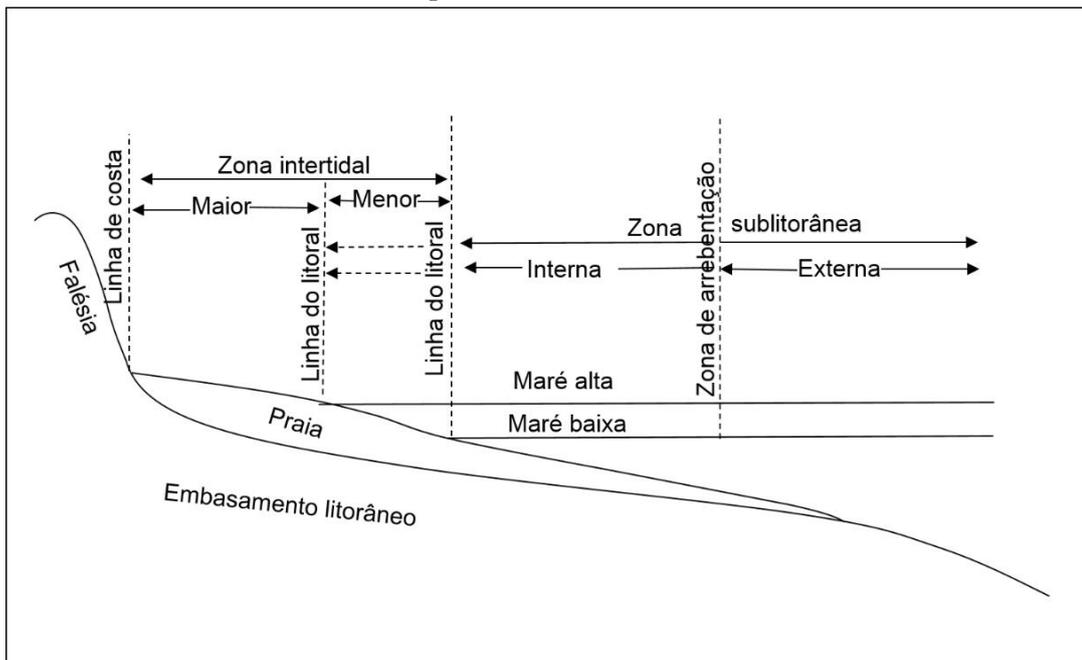
Fonte: Morais et al. (2006)

2.1.4 Evolução da linha de costa e o uso da ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS)

O litoral é uma região geográfica de interface dos ambientes marinhos, terrestres e atmosféricos, sendo a área mais elevada adjacente ao mar separada deste pela linha de costa ou litorânea, e onde residem dois terços da população mundial. Dentre as várias feições morfológicas e sistemas ambientais da zona costeira, destaca-se neste trabalho a linha de costa. Esta feição pode ser definida como a área de interface do continente com o oceano, caracterizada como limite máximo de alcance da maré.

Christofolletti (1980), quando aborda a nomenclatura descritiva do perfil litorâneo, distingue dois conceitos: a linha do litoral e a linha de costa. Para esse autor “a linha do litoral (*shoreline*) é, estritamente a linha que demarca o contato entre as águas e as terras, variando com os movimentos das marés entre os limites da zona intertidal (estirâncio e pós-praia)”, enquanto a linha de costa (*coastline*) é o limite terrestre da zona intertidal maior (pós-praia) e independente da ação das marés, ou seja, as marés altas excepcionais (sizígia) alcançam até esse limite (FIGURA 3).

Figura 3- Nomenclatura descritiva de perfil litorâneo.



Fonte: Christofolletti (1980).

Bird (2008) define a linha de costa, ou *coastline*, como a fronteira da terra no limite das marés altas normais, muitas vezes marcado pela ocorrência de vegetação ou a base de falésias, enquanto o termo *shoreline*, ou linha do litoral, é o limite móvel de ocorrência de água no perfil praiado durante a maré baixa e a maré alta. Dessa forma, as linhas do litoral são

modificadas diariamente pelo movimento das marés, enquanto a linha de costa é afetada apenas em eventos excepcionais. Esse autor ainda assina que há uma preferência dos autores estadunidenses no uso do termo *shoreline* em vez de *coastline*, contudo, estes termos podem ser considerados sinônimos, exceto em áreas com variações extremas de maré, citando o caso do Noroeste da Austrália, onde há amplitudes de maré de 10 m e a linha de costa muda até 8 km, conforme o período do ano.

A linha de costa pode ser facilmente identificada pela visão, mediante a diferença de umidade e tonalidade dos sedimentos. Esta constitui uma estratégia frequentemente adotada nos estudos de planícies costeiras arenosas, com suporte de imagens de satélites, como em Farias e Maia (2010), Moura (2012).

Sobre a complexidade da dinâmica que envolve a linha de costa, Camfield & Morang (1996) apud Marino & Freire (2013, p. 115) assinalam que,

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

Nesse mesmo sentido, Alfredini & Arasaki (2009) ressaltam que o equilíbrio das praias é, em geral, dinâmico, em que a quantidade de material entrada e saída desse sistema é semelhante no mesmo intervalo de tempo, ou seja, a posição da linha de costa é relativamente estável por um período de meses ou anos e a posição instantânea é afetada com oscilações em curtos períodos.

Como lembra Moura (2012), os estudos relacionados à evolução da linha de costa podem ser realizados de duas formas: i) métodos diretos, que consistem basicamente no monitoramento de praias por via do levantamento de perfis topográficos e da caracterização morfológica da praia, análise de sedimentos e integração com dados meteorológicos e oceanográficos; e ii) métodos indiretos, nos quais se utilizam geralmente produtos de sensores remotos. Ambos possuem vantagens e desvantagens, pois, apesar de o primeiro apontar informações precisas sobre o perfil praias com dados tridimensionais a um custo relativamente baixo, ele se torna inviável em extensas áreas e não permite a análise temporal pretérita. O segundo permite o estudo de grandes áreas, mas pode ser prejudicado pela disponibilidade de produtos de sensores remotos com alta resolução espacial pelo alto custo destes.

Por estas razões, neste trabalho se utilizam métodos indiretos para analisar a evolução da linha de costa do Município de Icapuí, tendo como principal meio o *Digital*

Shoreline Analysis System (DSAS) versão 4.3, que é uma extensão do *ArcGIS 10.1*, elaborada pelo *United States Geological Survey (USGS)*.

O DSAS é uma aplicação de software disponível gratuitamente que funciona no *ArcGIS*, onde é possível calcular as estatísticas de variação temporal de dados vetoriais de linha de costa. Nesta aplicação, os vetores de linha de costa obtidos por meio de produtos de sensores remotos são setorizados (por meio transectos transversais a linha de costa) e podem ser comparados e analisados por intermédio de seis procedimentos matemáticos e estatísticos, tendo como referência uma linha de base, produzindo dados numéricos relacionados as feições lineares e que permitem mensurar a evolução da linha de costa em determinado período e gerar mapas, gráficos e tabelas das áreas de progradação e erosão costeira (HIMMELSTOSS, 2009).

Esta metodologia é utilizada em pesquisas sobre variadas regiões costeiras no mundo, como em Genz et al. (2007) nos Estados Unidos; Mageswaran *et al.* (2015), Kaliraj, Chandrasekar e Magesh (2013), Mahapatra, Ratheesh e Rajawat (2014), Sheik e Chandrasekar (2011) na Índia; Kabuth, Kroon e Peterson (2014) na Dinamarca; Pérez-Alberti *et al.* (2013) na Espanha, Aiello (2013) na Itália; e também estudos realizados no Brasil como os de Farias e Maia (2010), Farias (2008), Moura (2012), Marino e Freire (2013). Em síntese, essas pesquisas destacam a evolução da linha de costa e as áreas mais afetadas pela erosão costeira, quantificando as variações em um determinado período e discutindo as causas e efeitos, além de apontar direcionamentos para o gerenciamento da zona costeira.

Conforme Marino e Freire (2013), o mapeamento da linha de costa, com o acompanhamento da sua evolução, possuem grande importância para o planejamento e gerenciamento da zona costeira, pois fornecem subsídios para faixas de recuo, apontam áreas de risco de erosão costeira e contribuem com informações para a implantação de obras de engenharia, intervindo diretamente na linha de costa.

O programa DSAS dispõe de seis procedimentos estatísticos, que produzem dados numéricos sobre as variações absolutas, médias e estatísticas da linha de costa: i) *Shoreline Change Envelope (SCE)*; ii) *Net Shoreline Movement (NSM)*; iii) *End Point Rate (EPR)*; iv) *Linear Regression Rate (LRR)*; v) *Weighted Linear Regression (WLR)* e vi) *Least Median of Squares (LMS)* (HIMMELSTOSS, 2009). Cada um desses procedimentos fornece dados que podem ser analisados e produzir informações com certo nível de precisão (dependente dos dados de entrada). O manual de instalação e uso do DSAS disponibilizado no *site* do USGS (HIMMELSTOSS, 2009) faz uma apresentação e a descrição desses procedimentos, apontando as potencialidades e limitações de uso de cada um.

De acordo com Oyedotun (2014), os principais fatores que determinam a escolha dos métodos estatísticos de análise pelo usuário em sua pesquisa são os objetivos do trabalho e as características dos conjuntos de dados disponíveis. A síntese dos métodos do DSAS apresentada no QUADRO 1, descreve os procedimentos e explana as vantagens e desvantagens de cada qual, baseando-se no manual de uso do programa e na aplicação realizada neste trabalho.

Vislumbrando-se o QUADRO 1, pode-se perceber que os seis procedimentos permitem obter informações relevantes para a compreensão do comportamento espaçotemporal da linha de costa, considerando as suas características específicas. O relacionamento entre os resultados obtidos pode ainda indicar tendências e servir para projeção de cenários.

Quadro 1 - Síntese dos métodos estatísticos utilizados pelo *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*.

Método	Descrição	Vantagens	Desvantagens
SCE	<i>Shoreline Change Envelope</i> . Distância máxima entre as linhas de costa em metros no período analisado.	Permite ter noção da instabilidade total no período de análise.	Considera somente duas linhas de costa (extremas espacialmente). É sempre um valor positivo (em metros), que não permite identificar se variação se refere a erosão ou deposição.
NSM	<i>Net Shoreline Moviment</i> . Distância entre a linha de costa mais recente e a mais antiga (m).	Permite verificar a variação total em metros (positiva ou negativa) no período da análise.	Considera somente duas linhas de costa (extremas temporalmente). Pode mascarar ciclos ou tendências erosivas e/ou deposicionais ao longo do período.
EPR	<i>End Point Rate</i> . Distância em metros da linha de costa mais antiga para a mais nova, dividido pelo período da análise (m/ano), ou seja, é uma média.	Permite em geral uma média de variação anual em metros (positiva ou negativa) por ano ao longo do período. Pode servir como parâmetro para projeção de cenários.	Considera somente duas linhas de costa (extremas temporalmente). Pode mascarar ciclos ou tendências erosivas e/ou deposicionais ao longo do período.
LRR	<i>Linear Regression Rate</i> . Taxa de regressão linear.	Considera todas as linhas de costa identificadas. Método puramente computacional. Baseia-se em conceitos estatísticos aceitos. Fácil de empregar. Permite visualizar ciclos e tendências erosivas e/ou deposicionais. Gera um valor de variação anual em metros. Pode servir como parâmetro para projeção de cenários.	Não considera o valor de incerteza atribuído a cada linha de costa. Susceptível a desvios extremos. Tende a subestimar a taxa de variação em relação a outras estatísticas como o EPR.

(CONTINUA)

(CONTINUAÇÃO)

WLR	<i>Weighted Linear Regression.</i> Taxa de regressão linear ponderada.	Considera todas as linhas de costa identificadas. Possibilita utilizar fontes de coleta com distintos níveis de precisão (ex. imagens com variadas resoluções espaciais) e compatibilizar os dados. Considera todas as linhas de costa e dá maior ênfase/peso aos dados mais confiáveis atribuídos a cada linha de costa pelo usuário no campo de incerteza.	Grande número de variáveis e cálculos para gerar a estatística. Cálculo de compreensão difícil. O uso de dados com baixa precisão pode ser um risco dada a escala de análise necessária para verificar a linha de costa, o que pode comprometer a análise, mesmo com a taxa ponderada.
LMS	<i>Least Median of Squares.</i> Regressão de mínimos quadrados ordinários e ponderados, a linha de melhor ajuste é colocada através dos pontos de modo a minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.	Cálculo robusto. É um procedimento que calcula a linha de regressão de modo que fique posicionada o mais próximo possível dos pontos, minimizando assim a influência de um possível ponto anômalo na equação de regressão total.	O cálculo é bastante complexo, dificultando a compreensão do procedimento realizado pelo SIG para adequar a linha de regressão.

Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016) com suporte em Himmelstoss (2009).

2.2 Procedimentos metodológicos

As zonas costeiras necessitam de estratégias de planejamento e gerenciamento dos seus espaços, considerando a integração das características físicas e socioeconômicas, além das especificidades dos sistemas ambientais. Deve-se atentar, ainda, para a capacidade de suporte desses sistemas e as funções que desempenham no equilíbrio dinâmico da costa, considerando as formas de uso e ocupação, de modo a minimizar os riscos atuais e futuros.

Entende-se que, com o foco em metodologias, conceitos e técnicas de planejamento e gestão ambiental relacionadas a abordagens sistêmicas, pode-se considerar o conjunto de fatores naturais e humanos que atuam na dinâmica costeira de Icapuí, de modo que haja o equilíbrio entre os componentes naturais e as demandas socioeconômicas. Esta pesquisa considerou metodologias neste sentido, como Rodriguez e Silva (2013) e Ross (2006).

Ross (2006) sugere um binômio entre a base teórico-metodológica sistêmica e as tecnologias da informação no planejamento ambiental em Geografia. Rodriguez e Silva (2013) entendem que o planejamento ambiental deve ter a paisagem como unidade de análise, isto é, o planejamento da paisagem, sendo esta uma unidade dialética e um complexo total que está em constante transformação.

Vários autores propõem suas estruturas organizacionais com as etapas e/ou fases do planejamento ambiental em variados contextos. Para Santos (2007), existem as seguintes fases: i) definição do objetivo; ii) diagnóstico; iii) levantamento de alternativas e iv) tomadas de decisão. Rodriguez & Silva (2013) propõem as seguintes: i) fase de organização e inventário; ii) análise; iii) diagnóstico; iv) prognóstico e v) execução. Encontram-se bastantes semelhanças nas descrições sobre as fases, assim como algumas diferenças metodológicas. Essas propostas servem para orientar projetos de planejamento e sintetizar o que é necessário para alcançar os objetivos propostos.

Considera-se a proposta de Rodriguez & Silva (2013) a mais adequada para alcançar os objetivos sugeridos, fazendo algumas adequações metodológicas e terminológicas. A última fase, ou seja, a execução, não pode ser desenvolvida nesta pesquisa, pois cabe somente aos órgãos e instituições responsáveis pelo planejamento da paisagem e do espaço em nível municipal, estadual e federal.

Assim, a realização dos objetivos propostos nesta pesquisa deverá ser alcançada uma vez cumpridas cinco etapas, sendo elas: i) levantamentos bibliográfico e cartográfico; ii) levantamentos e análises de campo; iii) elaboração e análise de banco de dados em SIG; iv)

diagnóstico de evolução e elaboração dos produtos cartográficos e v) projeção de tendências e cenários evolutivos.

2.2.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

Inicialmente, foi necessário sistematizar bancos de dados e informações técnico-científicas como subsídios para a caracterização geoambiental e a gestão dos sistemas ambientais litorâneos do Município de Icapuí. Essa etapa se assemelha à fase de organização e inventário, quando se realizam a coleta e a sistematização de informações que serão utilizados durante a investigação. Portanto, realizou-se aqui a pesquisa com a coleta de dados secundários, como imagens de satélite, mapas, trabalhos acadêmicos, relatórios técnico-científicos e outras informações que serviram de base para as fases posteriores.

O levantamento bibliográfico é uma atividade imprescindível em qualquer pesquisa acadêmica e este ensaio deve ser orientado a leituras que envolvem a geomorfologia e a dinâmica costeira, bem como a análise da paisagem com SIG, de modo que se tenha acesso aos principais periódicos relacionados a essas temáticas (nacionais e internacionais), além de livros e outros tipos de publicações. O levantamento cartográfico refere-se ao mapeamento básico do Município e às bases matriciais e vetoriais necessárias ao desenvolvimento da pesquisa, coletadas em fontes secundárias, além de mapas temáticos sobre o assunto focalizado e a área de estudos.

Assim, tendo como principal referência os periódicos da CAPES, disponíveis na internet, onde se encontram publicações de revistas científicas com a produção acadêmica do mundo inteiro, organizou-se um banco de dados com publicações referentes às seguintes temáticas i) enfoque sistêmico na Geografia; ii) planejamento e gestão de zonas costeiras; iii) dinâmica geoambiental, erosão costeira e o uso do DSAS; iv) evolução espaço-temporal da paisagem; v) geologia e geomorfologia litorânea; vi) geoprocessamento, sensoriamento remoto e geotecnologia; vii) impactos ambientais e conflitos na zona costeira; viii) ocupação da zona costeira; ix) legislação e x) mudanças climáticas e prognósticos ambientais.

Ainda à procura de bibliografias especializadas, foram feitas buscas no banco de teses e dissertações da Universidade Federal do Ceará e da Universidade Estadual do Ceará, assim como nas bibliotecas físicas dos Centros de Ciências e de Tecnologias e Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), além de outras instituições de pesquisa e ensino superior.

Demandaram-se informações em matérias de jornais de Fortaleza sobre as mudanças da linha de costa no Ceará, com destaque para as versões digitais do “Diário do Nordeste” e do “O Povo”. Assim, também se buscaram documentos relevantes sobre a dinâmica

costeira local e projetos de contenção do avanço do mar nas secretarias municipais de Icapuí. A Estação Ambiental Mangue Pequeno (EAMP) também foi uma importante fonte de informações sobre as questões ambientais do Município, por meio de projetos de Educação Ambiental e publicações, com destaque para o Atlas de Icapuí (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Sobre a coleta de dados cartográficos, deve-se destacar a importância, para esta pesquisa, de produtos de sensores remotos multitemporais (imagens de satélite e fotografias aéreas) para a análise da evolução da linha de costa. Assim, a coleta de dados foi realizada tanto em visitas a instituições como o LABOCART-UFC e a EAMP, como pelo acesso a plataformas institucionais *online* que possibilitam o acesso e o *download* de produtos sensores remotos, como o IBGE, a DGI-INPE, a USGS e o MMA.

Como o estudo propõe a análise da evolução dos sistemas ambientais costeiros nos últimos 27 anos, o uso de técnicas de geoprocessamento exige um embasamento também dessa área do conhecimento vinculada à Geografia para que se possa fundamentar os procedimentos que deverão ser adotados ao longo da pesquisa. Sobre esta fundamentação, entende-se que existem inúmeros trabalhos que podem servir de referência a este estudo, tanto na Geografia Física como em outras áreas do conhecimento como Oceanografia, Geologia, Ciências Ambientais e demais que se utilizam das técnicas e procedimentos em sensoriamento remoto, geoprocessamento e geotecnologias. Nesses estudos, percebe-se que a evolução da paisagem pode ser realizada por meio da análise de produtos de sensores remotos multitemporais (imagens de satélite e radar, fotografias aéreas etc.) em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (LANG; BLASCHKE, 2009; FLORENZANO, 2011; FITZ, 2010).

Os produtos de sensores remotos possuem diversas especificidades, dentre as quais se ressaltam as variadas resoluções espaciais, temporais e espectrais dos sensores para a análise da superfície terrestre. Um satélite/sensor pode ter excelente resolução temporal, como é o caso dos satélites Landsat, que, desde os anos de 1970, fornecem imagens da mesma área da Terra a cada 16 dias, mas com média resolução espacial (30 m no sensor *Thematic Mapper*), o que dificulta trabalhos com a escala de detalhe como é o caso das variações da linha de costa (NOVO, 2010). Outros satélites podem ter resolução espacial inferior a 1m, como o *WorldView* ou *QuickBird*, mas com uma disponibilidade de imagens bastante restrita, pois são de elevado valor comercial. Está posto, então, o principal desafio deste trabalho: a busca por produtos de sensores remotos que tenham resolução espacial e temporal adequadas para a análise dos sistemas ambientais costeiros do Município de Icapuí.

Em razão de tal fato, optou-se por coletar imagens multitemporais de variadas características e sensores e posteriormente selecionar as que melhor se adequam ao trabalho.

Assim, deve-se mencionar a coleta das seguintes imagens: i) missões Landsat de 1984 a 2015 (limitando-se pela resolução espacial de 30 metros desde o satélite Landsat 5) disponibilizadas pela USGS; ii) fotografias aéreas de 1987/1988, do INCRA, e coletadas no LABOCART-UFC; iii) imagens de alta resolução do satélite *Quickbird* dos anos de 2002/2003/2004 e 2009, com resolução espacial de 60 cm, disponibilizadas pelo IPECE ao LABOCART-UFC; iv) imagens do sensor HRC do satélite CBERS 2B, no período de 2007 a 2009, com resolução espacial de 2,5 m, disponibilizadas pelo INPE; v) imagens de alta resolução do satélite *WorldView II*, do ano de 2011, com resolução espacial de 50 cm, disponibilizadas pela Estação Ambiental Mangue Pequeno e Fundação Brasil Cidadão; vi) imagens do satélite *RapidEye*, com resolução espacial de 5 m fornecidas pelo MMA; e, por fim, vii) as imagens de alta resolução de vários sensores disponibilizadas pelo *Google Earth Pro*, no período de 2003 a 2015.

Ainda se necessitou de bases vetoriais de mapeamento básico, disponibilizadas pelo IBGE, IPECE, MMA e a base físico-ambiental utilizada no Atlas de Icapuí (MEIRELES & SANTOS, 2012), disponibilizada pelos autores e pela Fundação Brasil Cidadão.

2.2.2 Levantamentos e análises de campo

O trabalho de campo é um procedimento muito importante na Geografia, principalmente, na Geografia Física. A realização dos levantamentos de campo nesta pesquisa se fez necessária para alcançar variados objetivos, dentre eles o reconhecimento, os diálogos com os moradores, comunidades e com o poder público, a coleta de pontos afetados por erosão costeira com o uso de GPS, a verificação das estratégias de contenção (para análise preliminar e comparação com informações geradas pelo SIG), o diagnóstico da dinâmica ambiental e a validação dos trabalhos de gabinete.

A realização dos trabalhos de campo exigiu uma preparação prévia de instrumentos e técnicas utilizadas e também de infraestrutura e logística. Assim, foi necessária a elaboração de cartas-imagem e mapas básicos da área de estudos, reserva de GPS junto ao LABOCART para coleta de pontos e articulação com as comunidades e com o poder público na realização de visitas.

Realizaram-se, inicialmente, trabalhos de campos visando ao reconhecimento do litoral sob estudo, quando foram visitadas as praias e comunidades litorâneas, desde o extremo leste do Município de Icapuí, na divisa com o Estado do Rio Grande do Norte, até o extremo oeste, no limite com o Município de Aracati. Este trajeto foi realizado por vias consolidadas, ou seja, restringiu-se as entradas de acesso de praias e comunidades litorâneas e áreas próximas. Foi possível iniciar o percurso do Mirante de Icapuí, que permite uma visão panorâmica da

planície costeira do Município e visitar as praias de Tibau, Ceará, Barrinha de Manibu, Melancias, Tremembé, Requenguela, Barrinha, Barreiras, Barreiras da Sereia, Peroba, Redonda, Ponta Grossa e Retiro Grande.

Assim, pôde-se ter uma noção sobre o estado de conservação ambiental da planície costeira, principalmente nos núcleos das comunidades, verificar as características dos sistemas de praias, elaborar esboços dos perfis de praia, constatar processos erosivos e estratégias de contenção de avanço da linha de costa. Verificou-se, contudo, a necessidade de novos percursos exclusivamente pela faixa de praia.

Outros trabalhos de campo foram realizados com a utilização de veículo especializado para o percurso na faixa de praia, onde se percorreu a orla desde a praia de Retiro Grande até a praia de Tibau (RN). Além de complementar as observações realizadas no campo anterior, foi possível analisar todo o litoral do Município, as morfologias, a dinâmica praial, as formas de uso e ocupação, os impactos com ênfase na erosão costeira e nas tentativas de contenção pelas comunidades e pelo poder público, como a construção de muros, blocos de rocha, paredões de rocha, sacos de areia, palhas, madeiras, estacas, entulhos, vegetação e outros materiais. Essas ações e estruturas puderam ser fotografados e geolocalizados com o auxílio de uma câmera fotográfica equipada com GPS, de modo a produzir um mapa com os locais afetados pelo avanço do mar e as alternativas de contenção empregadas.

Realizou-se, ainda, a terceira etapa de trabalhos de campo, sendo esta voltada ao diálogo com o poder público sobre os processos erosivos e as questões ambientais no Município e, ainda, na busca de informações referentes a projetos de contenção já realizados e os planos para as futuras contenções. Foram visitadas a Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo, a Secretaria Municipal de Administração e Finanças, a Secretaria Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente e o Instituto Municipal de Fiscalização e Licenciamento Ambiental, além de se haver feito contatos com membros da Defesa Civil do município. Dessa forma, foi possível dialogar com secretários ou representantes públicos e obter importantes informações relacionadas a erosão costeira de Icapuí.

Ainda se realizaram trabalhos de campo para o diálogo com as comunidades litorâneas sobre as variações da linha de costa e a comparação com os dados obtidos na análise em SIG e validação dos dados de gabinete.

2.2.3 Elaboração e análise de banco de dados em SIG

O banco de dados foi sistematizado a partir da junção de dados matriciais e vetoriais em ambiente SIG, sendo utilizados dois *softwares* para sistematização e análise dos dados, o

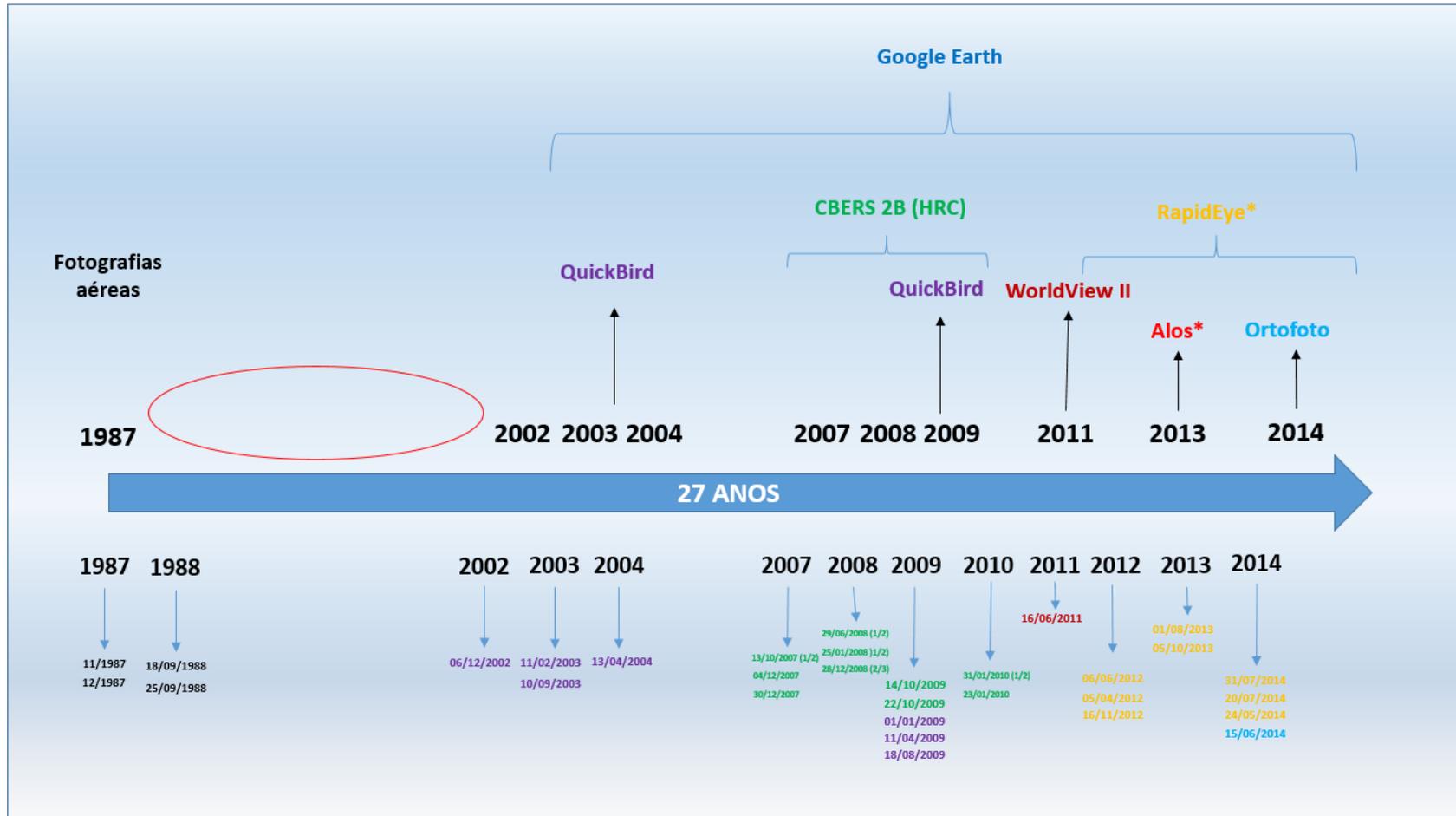
QGIS 2.8 e o ArcGIS 10.1. Os produtos de sensores remotos possuem importância significativa na elaboração do banco de dados, pois a partir deles pode-se gerar dados vetoriais através da vetorização que permitem obter informações espaciais que poderão ser comparadas e analisadas para compreender a evolução espaçotemporal dos sistemas ambientais.

Este banco de dados conta com imagens de média resolução espacial das missões LANDSAT, desde 1984 até 2015 (para análise regional), e com algumas imagens de alta resolução espacial, como as *QuickBird* (2004 e 2009), *CBERS 2b* (2009), *Worldview II* (2011), *ALOS* (2013), *RapydEye* (2013), fotografias aéreas dos anos de 1980 e imagens de vários satélites disponibilizadas no *Google Earth Pro* (FIGURA 4). O banco de dados encontra-se registrado no *Datum* oficial brasileiro, o SIRGAS 2000, e em Sistema de Coordenadas UTM zona 24 Sul. As imagens foram georreferenciadas a partir de uma ortofoto de 2013, com resolução espacial de 20 cm, utilizando pontos de controle semelhantes por intermédio do método suavizador de lâminas finas e com um erro aceitável próximo a 1 metro.

A coleta das imagens multitemporais de sensores remotos é um ponto-chave do desenvolvimento da pesquisa, pois possibilitou o trabalho de evolução da paisagem, cabendo detalhar os critérios na escolha das imagens. Dentre as diversas características dos produtos de sensores remotos, duas delas são fundamentais nesta metodologia, sendo elas a resolução temporal (intervalo de tempo em que um sensor oferece imagens da mesma área) e resolução espacial (tamanho do pixel da imagem, ou seja, qual o tamanho do menor objeto visível na imagem). Para se destacar a evolução da linha de costa, é necessário um grande nível de detalhe, principalmente quando as variações são pequenas, de modo que somente a utilização de imagens de alta e média resolução espacial podem oferecer resultados satisfatórios. A disponibilidade dessas imagens é reduzida diante do seu valor comercial, mas é possível a elas ter acesso com a intervenção de órgãos governamentais e outras organizações. Portanto, a utilização de diferentes sensores/satélites não compromete a análise visto que a alta resolução espacial dos sensores utilizados permite a identificação com precisão da linha de costa e a obtenção de resultados satisfatórios.

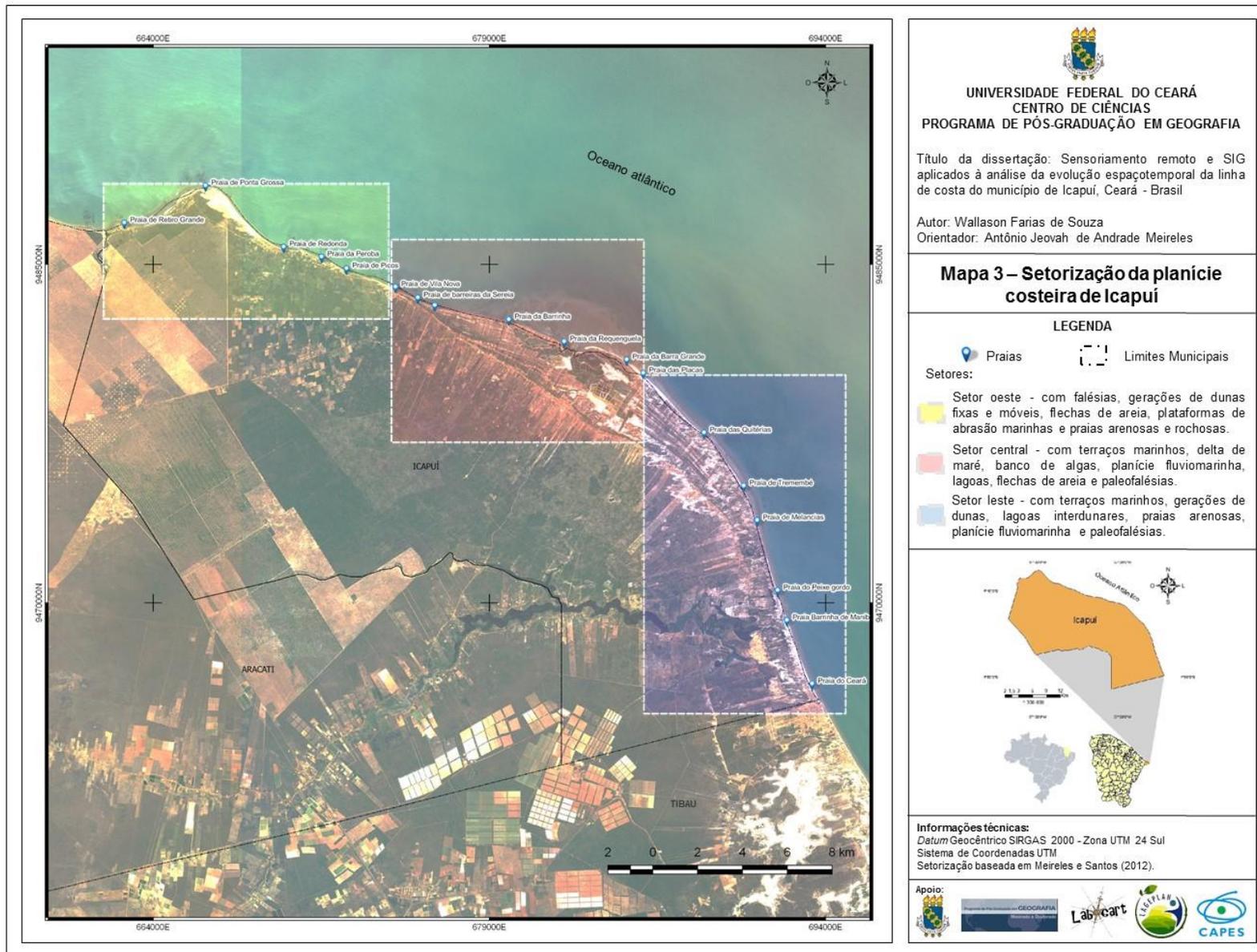
Para facilitar a análise e melhorar a apresentação dos dados, optou-se por setorizar os aproximadamente 45 km de linha de costa do Município. Assim, baseando-se em Meireles e Santos (2012), na divisão do litoral conforme a dinâmica natural e os aspectos geomorfológicos, diferenciaram-se três principais setores - i) oeste; ii) central e iii) leste (MAPA 3) - com a possibilidade de subsetorização destes em trechos mais detalhados para melhor análise e apresentação dos resultados, agrupando por processos erosivos ou progradacionais, além dos trechos sem modificação considerável.

Figura 4 - Distribuição temporal das imagens de alta resolução espacial coletadas para compor o banco de dados.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

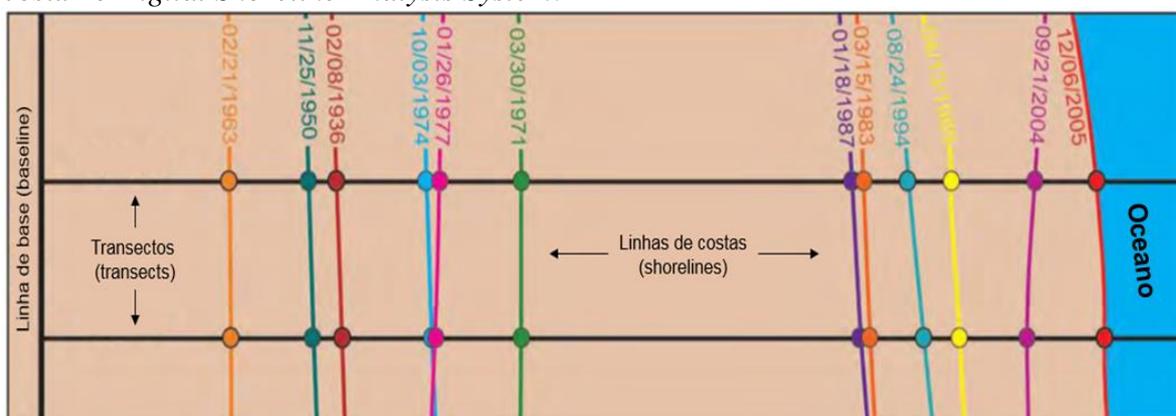
Mapa 3 - Setorização da planície costeira de Icapuí.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Visando a verificar a intensidade da evolução da linha de costa de Icapuí, optou-se pelo uso do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), extensão que amplia as funcionalidades do software *ArcGIS* 10.1 e permite calcular as variações da linha de costa em um dado período através de procedimentos matemáticos e estatísticos em ambiente SIG. O DSAS necessita de três arquivos vetoriais lineares para gerar os cálculos: i) uma linha de base, que deve ser paralela à linha de costa (*onshore* ou *offshore*), em uma distância que possibilite o cálculo, e, ii) variados vetores de linha de costa de variados anos, contendo um atributo de data vinculado e um de incerteza (em metros) derivado da resolução espacial da imagem, e iii) vários transectos, ou seja, linhas retas transversais à linha de costa, geradas automaticamente pelo DSAS com espaçamento predefinido pelo usuário que saem da linha de base, cruzam os vetores de linha de costa e servem para calcular as variações no tempo (FIGURA 5).

Figura 5 - Representação dos dados necessários para calcular a variação temporal da linha de costa no *Digital Shoreline Analysis System*.



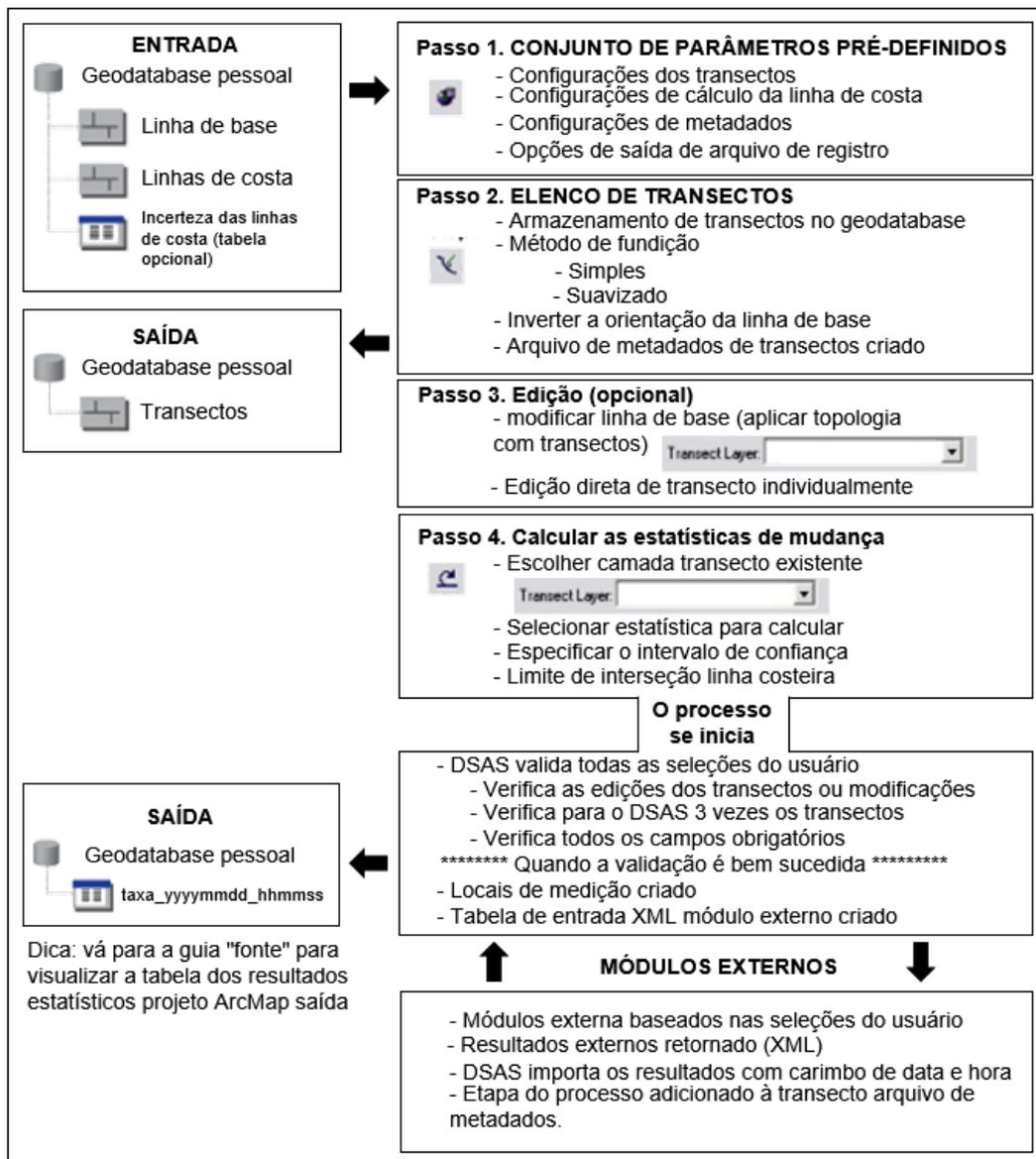
Fonte: Adaptado de Himmelstoss (2009).

O funcionamento do DSAS deve seguir um roteiro predefinido com entrada e saída de dados (FIGURA 6). Em síntese, cria-se um *Geodatabase Personal* vinculado ao *ArcGIS*, contendo um arquivo referente à linha de base e um de linhas de costa (entrada). Em seguida, definem-se os parâmetros para os transectos e estes são criados e incorporados ao *Geodatabase Personal* (passo 2), sendo possível editar qualquer um dos dados antes de aplicar o cálculo (passo 3). Tendo esses dados, é possível calcular as estatísticas de variação, escolhendo um dos seis procedimentos por vez e gerando um arquivo de tabela no formato XML, que é incorporado ao geodatabase (passo 4).

Assim, obteve-se a linha de base por meio de vetorização manual, tomando como referência a linha de costa atual. Adotou-se uma linha de base *onshore*, ou seja, dentro do continente. Os vetores de linha de costa obtidos por meio de produtos de sensores remotos foram comparados e analisados por meio do *DSAS*, que, mediante seis procedimentos matemáticos e estatísticos enseja dados numéricos que são relacionados às feições lineares e

permitem mensurar a evolução da linha de costa em determinado período e produzir mapas, gráficos e tabelas das áreas de progradação e erosão.

Figura 6 - Fluxograma metodológico do *Digital Shoreline Analysis System*.



Fonte: Himmelstoss (2009); tradução nossa (SOUZA, 2016).

O critério adotado para a delimitação da linha de costa em campo (FIGURA 7) e nas análises de produtos de sensores remotos (FIGURA 8) foi o limite tênue entre os sedimentos afetados pelas ondas e pela dinâmica das marés, facilmente identificado visualmente por tonalidades claras e escuras, características de sedimentos secos e úmidos, respectivamente. Essa estratégia é frequentemente adotada nos estudos de planícies costeiras arenosas com o auxílio de imagens de satélites, como em Farias e Maia (2009) e em Moura (2012).

Figura 7- Mosaico com fotografias em campo, destacando a linha de costa em praias de Icapuí.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Figura 8 - Mosaico com fotografias aéreas e imagens de satélite, destacando a linha de costa de Icapuí.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Os transectos - conjunto de feições lineares que cruzam transversalmente as linhas de costa e permitem a realização dos cálculos de variação - foram posicionados a cada 500 metros na linha de costa de cada setor. Na análise de detalhe de algum subsetor, no entanto, esse valor pode ser readequado.

Utilizaram-se quatro dos seis cálculos fornecidos pelo DSAS - Taxa de Regressão Linear ou *Linear Regression Rate (LRR)*, Taxa do Ponto Final ou *End Point Rate (EPR)*, Distância Máxima de Mudança do Litoral ou *Shoreline Change Envelope (SCE)* e Movimento Líquido da Linha de Costa ou *Net Shoreline Movement (NSM)*. Entende-se que, apesar de os

outros dois procedimentos serem mais completos no que se refere aos cálculos e regras adotadas para definir a variação da linha de costa, a qualidade dos dados de entrada (imagens com resolução espacial de no máximo 5 metros) possibilita que a Taxa de Regressão Linear Simples responda com precisão à tendência de evolução da linha de costa de Icapuí. O cálculo, feito automaticamente pelo programa no método LRR, está sintetizado na FIGURA 9.

Figura 9 - Fórmula da regressão linear simples aplicada no método LRR/DSAS.

$Y = A + Bx$	Onde: A é interseção da linha no eixo Y. B é a inclinação da linha (variação anual). X é a variável independente.
$A = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$	Onde: Σ é a soma de variáveis. x é ano de cada análise. y é a distância de cada ponto para a linha de base. N é a quantidade de linhas inseridas
$B = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$	

Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Nesta pesquisa as linhas de base estiveram em posição *onshore* (continental), os vetores de linha de costa foram extraídos de imagens de alta resolução espacial (0,35 cm e 2,5 m) desde 1987 até 2014 e os transectos tiveram um intervalo a cada 500 metros, em um trecho de aproximadamente 45 km de linha de costa, totalizando 87 transectos nos três setores principais, e informações mais detalhadas em subsetores quando foi necessário, de modo que informações detalhadas foram obtidas de toda a extensão do litoral do Município.

2.2.4 Diagnóstico de evolução e elaboração dos produtos cartográficos

Os dados gerados pelo DSAS foram sistematizados e interpretados, de modo a realizar um diagnóstico das tendências evolutivas da linha de costa para o período proposto e elaborar produtos cartográficos que permitiram a compreensão espacial e temporal desta evolução.

O diagnóstico foi realizado de modo setorizado, visando a facilitar a compreensão dos resultados. Em síntese, o litoral de Icapuí foi dividido em três grandes setores com aproximadamente 15 km de linha de costa cada um, sendo estes compartimentados em subsetores conforme os processos identificados. Vale ressaltar que as análises foram realizadas a cada 500 m (posicionamento dos transectos), tendo como referência a linha de base.

Para cada um dos setores, foram gerados gráficos, tabelas e produtos cartográficos que permitam compreender a dinâmica da linha de costa em determinado trecho e buscar explicações para esse comportamento espaçotemporal. As tabelas exprimem os resultados dos quatro procedimentos matemáticos e estatísticos utilizados por via de uma formatação condicional expressa em cores, do verde ao vermelho, indicando se a variação foi positiva, estável ou negativa.

O procedimento SCE denota variação do amarelo ao verde, quanto maior a variação em metros. Já os resultados dos procedimentos NSM, EPR e LRR demonstram formatação condicional, variando do amarelo ao vermelho, nas variações negativas, e do amarelo ao verde, nas positivas.

Os gráficos foram produzidos para cada um dos transectos com suporte no procedimento LRR e exprimem a posição da linha de costa em todos os dados inseridos, além da linha de regressão baseada nos indicadores. Esses gráficos foram mostrados em conjunto com produtos cartográficos, a fim de facilitar a compreensão sobre qual trecho da costa eles se referem. Outros gráficos mais sintéticos foram produzidos para os procedimentos NSM, SCE e EPR.

A variação geral dada pelos procedimentos SCE, NSM, EPR e os resultados detalhados dados pelo LRR, R^2 e o gráfico gerado destes permitiram classificar os trechos em cinco classes principais, conforme estão na sequência.

i) Erosão contínua, onde o trecho analisado registrou, desde as primeiras imagens, perdas de sedimentos e erosão progressiva.

ii) Erosão moderada e/ou semicontínua, quando o intervalo temporal definido registrou a predominância de processos erosivos, mas também apresentou processos dinâmicos com o volume de sedimentos compatíveis com a erosão e com a acreção de areia.

iii) Relativamente estável, em que a dinâmica espaçotemporal foi mantida com aportes de sedimentos compatíveis com o volume transportado pela deriva litorânea, expressando baixas variações positivas ou negativas da linha de costa.

iv) Progradação moderada e/ou semicontínua, quando determinados intervalos temporais registraram dinâmicas com o volume de sedimentos compatíveis com a erosão e com a acreção de areia, mas com a dinâmica que registrou picos de acréscimos de sedimentos no domínio praial.

v) Progradação contínua, quando a faixa de praia apresentou um contínuo aporte de sedimentos com deposição de areia superior ao da deriva litorânea no setor analisado.

A apresentação deste conjunto de informações se deu por meio de cartas-imagem de cada um dos setores e subsetores, identificando a classe de evolução, os processos, as causas e os efeitos socioambientais, além das possibilidades de contenção da erosão costeira.

2.2.5 Projeção de tendências e cenários evolutivos

A projeção de tendências e cenários evolutivos é uma fase capital nos estudos em Geografia Física (GREGORY, 1985), assim como em áreas próximas em modelagens no campo das mudanças climáticas, da qualidade dos recursos hídricos, dos cenários evolutivos de ecossistemas e geomorfologias, além dos cenários econômicos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Conforme Rodriguez, Silva & Cavalcanti (2013), o estudo da evolução da paisagem possibilita a identificação de tendências estáveis e instáveis, as mudanças cíclicas e não-cíclicas, bem como o papel dos fatores internos e externos, sendo estes a base da prognose ou projeção de cenários evolutivos.

Para Christofolletti (1999, p.174), a elaboração de cenários alternativos na modelagem de sistemas ambientais “engloba o diagnóstico adequado dos sistemas ambientais em sua estruturação, processos e dinâmica”. Essa modelagem consiste, então, em identificar mudanças nos *inputs* de um sistema e verificar se a sequência de processos conduz a situações de estabilidade ou instabilidade, sendo os cenários as respostas dadas pelo sistema considerando os novos estados. Os cenários julgados como positivos devem levar em consideração perspectivas e metas sociais, econômicas e políticas.

A elaboração de cenários consiste em um desafio para a Ciência ante as mudanças socioambientais cada vez mais rápidas e complexas, contudo é uma etapa sempre mais necessária na análise de sistemas ambientais e na Geografia Física.

Apontar possíveis cenários evolutivos consistiu em um desafio para esta pesquisa. Esses cenários foram pensados com base nas informações geradas pela análise em SIG pelo DSAS e por meio do relacionamento dessas informações com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), sobre os possíveis aumentos no nível do mar até o fim do século XXI, como consequência do aquecimento global.

Levando em consideração o fato de o recorte temporal para o DSAS ser de 27 anos, de 1987 a 2014, optou-se por projetar cenários para as próximas duas décadas, ou seja, em um intervalo próximo ao analisado. Para isso, foram considerados principalmente os dados fornecidos pelo método NSM, apontando a variação total no período analisado, e pelo método LRR, que considerou todas as linhas de costa inseridas no recorte de 27 anos e ensejou uma

tendência de evolução anual para cada um dos transectos. O valor do EPR, que é a média de variação anual no período, também foi considerado, mas com menor relevância.

As projeções para o final do século XXI foram baseadas nos dados fornecidos pelo quinto relatório do IPCC sobre mudanças climáticas. O IPCC é um órgão constituído em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, formado por um conjunto de pesquisadores de várias nacionalidades vinculados à Organização das Nações Unidas (ONU), que discutem as mudanças climáticas globais em três grupos de trabalho. Este grupo também é responsável pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) definida na ECO-92, no Rio de Janeiro (RJ), que tem como objetivo agregar os países na tentativa de reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, contando atualmente com 192 países (INICIATIVA VERDE, 2014).

Para esta pesquisa, considerou-se o quinto relatório do IPCC, que sugere quatro possíveis cenários de elevação da temperatura média global e elevação do nível médio global do mar, considerando as emissões de gases de efeito estufa. As previsões mais otimistas sugerem uma elevação da temperatura média global de 0,3° C a 1,7° C com elevação do nível médio do mar em 26 cm a 55 cm, enquanto a mais pessimista indica um aumento de 2,6° C a 4,8° C, com elevação do nível médio do mar de 45 cm a 82 cm, o que acarretaria impactos socioambientais significativos nas áreas costeiras (IPCC, 2014).

Para a discussão das possibilidades de alcançar a redução das emissões de gases de efeito estufa e frear a elevação da temperatura global, visando alcançar os objetivos da CQNUMC, existem as Conferências das Partes (COP), sendo a última, a COP 21, realizada em Paris. Nesse evento, os representantes de 195 países aprovaram um acordo global do clima, onde se comprometeram a manter o aquecimento global muito abaixo de 2° C e buscando esforços para limitar esse aumento em 1,5° C acima dos registros pré-industriais, além de os países desenvolvidos investirem 100 milhões de dólares por ano no combate à mudança do clima e nos efeitos dessas mudanças em países em desenvolvimento (FCCC, 2015).

As projeções dadas para os próximos 20 anos interpretadas com suporte nos resultados do DSAS, possivelmente, serão mais precisas em decorrência dos fatores locais e regionais que regulam a dinâmica geoambiental da zona costeira em Icapuí. Já as projeções para o fim do século, concedidas pelo IPCC, foram incorporadas, de modo a proporcionar cenários mais gerais que podem ocorrer com intensidades diferentes do que as apontadas, visto que levam em conta fatores e impactos em escala global. Coadunados com os dados sistematizados ao longo do litoral icapuiense, entretanto, os efeitos das mudanças climáticas também resultam em efeitos variados em escala local.

3 DINÂMICA NATURAL E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DOS SISTEMAS AMBIENTAIS LITORÂNEOS DE ICAPUÍ

3.1 Caracterização geoambiental

O fato de o Município de Icapuí estar localizado na zona costeira lhe atribui uma complexa dinâmica natural, também relacionada com as formas de uso e ocupação humana. Neste tópico serão discutidos de forma geral os elementos geográficos (geologia, geomorfologia, climatologia, recursos hídricos, solos e cobertura vegetal) que compõem e modelam a planície costeira de Icapuí, para que se possa discutir a caracterização e a dinâmica dos sistemas ambientais litorâneos.

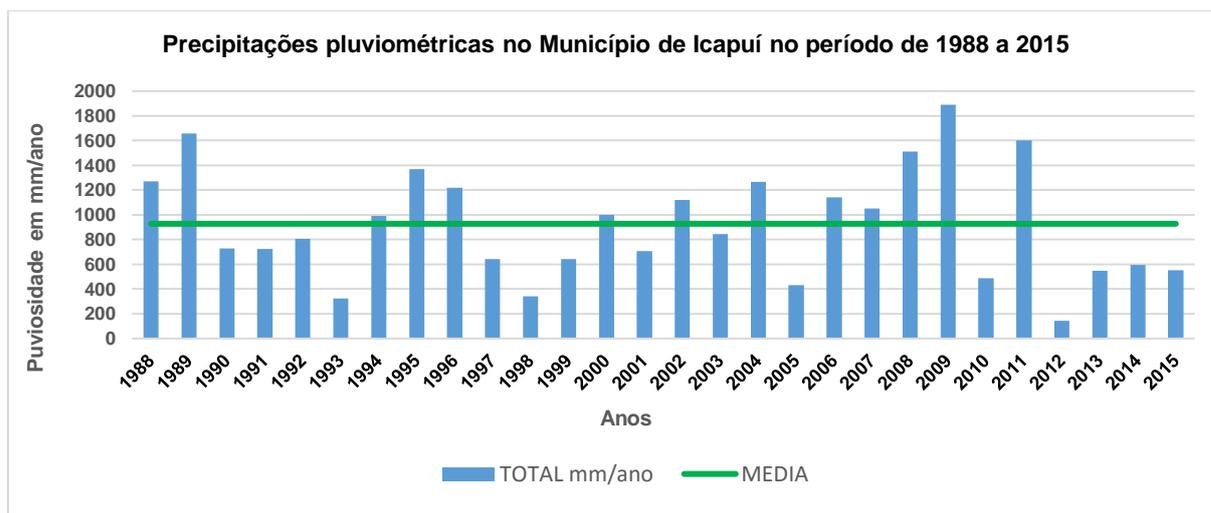
Meireles *et al.* (2005) explicam que o referido Município possui uma linha de costa de aproximadamente 45 quilômetros de extensão e representa um dos mais complexos sistemas ambientais da costa cearense, com indicadores de processos e morfologias que evidenciam as mudanças no nível relativo do mar e alterações climáticas no Quaternário.

Os componentes geomorfológicos originados durante as mudanças no nível relativo do mar e alterações climáticas no Quaternário são remodelados pelos fatores exógenos, atualmente. Dentre estas morfologias, estão terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, cordões arenosos, gerações de dunas, falésias (associadas as Formações Barreiras e Tibau), praias arenosas, planícies fluviomarinha, ambientes lacustres e lagunares e delta de maré.

O clima do Município é do tipo Tropical Quente Semiárido Brando e se caracteriza pela concentração das chuvas nos meses de fevereiro a maio, com média pluviométrica de 949 mm/ano (GRÁFICO 1) e temperaturas medias de 27° C. O GRÁFICO 1 permite visualizar a irregularidade das chuvas ao longo dos anos, com alguns períodos bastante chuvosos, acima da média, como em 1994-1996 e 2006-2009 e 2011, e outros períodos com precipitações reduzidas e bem abaixo da média, como 1990-1993, 1997-1999 e 2012-2015.

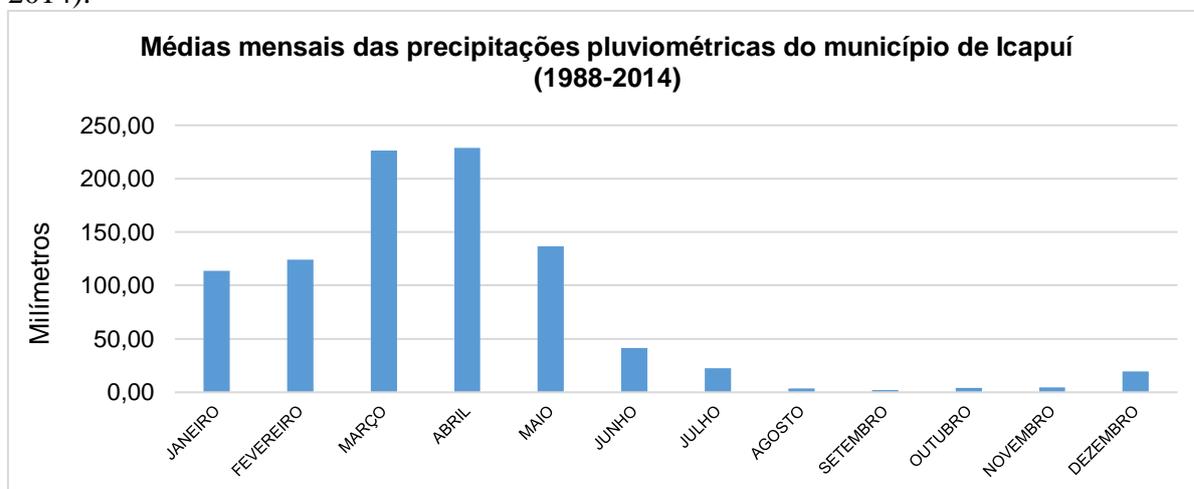
Assim como em grande parte do Nordeste brasileiro, o principal sistema responsável pelas chuvas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com chuvas concentradas no primeiro semestre, nos meses de fevereiro a maio (GRÁFICO 2), e estiagem no segundo semestre do ano com elevadas temperaturas e valores mais altos na velocidade dos ventos (MEIRELES & SANTOS, 2012; IPECE, 2014; FUNCEME, 2015). Vale ressaltar que o *el Niño* e a *la Niña*, que consistem no aquecimento e resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico, respectivamente, também influenciam a dinâmica climática no Ceará, sendo associado períodos de secas severas ao fenômeno *el Niño* e precipitação elevadas quando ocorre *la Niña* (FERNANDEZ & MUEHE, 2006; CPTEC, 2015).

Gráfico 1- Precipitações pluviométricas de Icapuí de 1988 a 2015



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016) com base nos dados da FUNCEME (2015).

Gráfico 2 - Médias mensais das precipitações pluviométricas do Município de Icapuí (1988-2014).



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016) com base nos dados da FUNCEME (2015).

No que se refere à dinâmica hidrográfica, o Município possui apenas um rio de maior expressão - rio Arrombado - que desemboca na praia de Manibu, além do estuário da Barra Grande, vinculado a um sistema lagunar (lagoa do Cajuais e do Carapicu) e é associado à ressurgência de água do lençol freático nas paleofalésias. Deve-se ressaltar, ainda, a importância das lagoas costeiras e interdunares existentes ao longo dos terraços marinhos e campos de dunas, respectivamente (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Sobre os solos e a cobertura vegetal, há que destacar o baixo desenvolvimento dos solos nas áreas litorâneas, caracterizadas por praias arenosas, exceto nas porções onde ocorre o ecossistema manguezal ou nas áreas de tabuleiros próximos ao litoral, ou ainda os solos pouco desenvolvidos na faixa de berma, dunas fixas ou cordões arenosos.

Sobre a vegetação, destacam-se a de mangue, a de tabuleiro litorâneo e as pioneiras em dunas. No ecossistema manguezal, onde existem solos halomórficos pouco desenvolvidos e lamacentos, predomina a vegetação de mangue, com quatro principais tipos, popularmente conhecidos como mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*), o mangue preto (*Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*) e o mangue de botão (*Conocarpus erectus*). As matas de tabuleiro litorâneo ocorrem em quase todos o Município ocupando as áreas de tabuleiro bem próximas às falésias e ocorrendo também em dunas fixas. Nas áreas próximas as lagoas, existe a floresta mista dicótilo-palmácea, enquanto, no pós-praia e áreas subseqüentes ocorrem a vegetação pioneira psamófila e a herbácea-arbustiva típica das restingas (salsa e pinheirinho da praia). Nos terraços marinhos, área com solos arenosos, existe um coqueiral, que, apesar de não ser nativo, adapta-se bem às condições locais (MEIRELES & SANTOS, 2012; SILVA, 2012).

A integração destes elementos físico-ambientais conduz à compreensão de uma unidade de paisagem com intensa dinâmica, instabilidade e diversidade de morfologias e subsistemas ambientais que compõem a planície costeira de Icapuí.

3.2 Planície litorânea

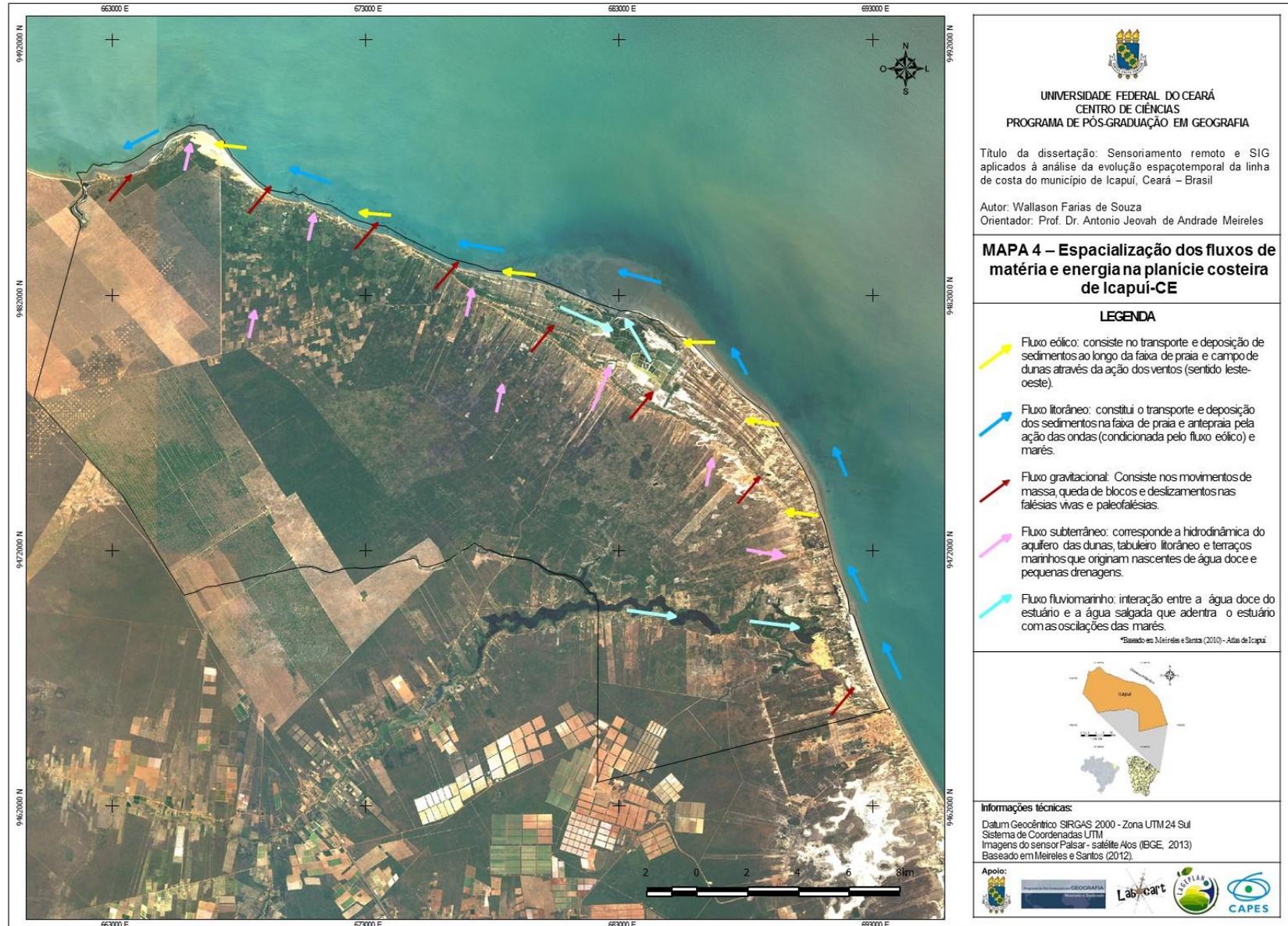
Os sistemas ambientais litorâneos do Município de Icapuí compõem um conjunto de paisagens singulares no litoral cearense com falésias vivas, paleofalésias, extensos campos de dunas e algumas praias pouco ocupadas que, todavia, são afetados pelos efeitos da erosão costeira (avanço do mar) e outros impactos socioambientais em diversos setores.

Conforme Meireles & Santos (2012), a gênese da planície costeira de Icapuí se deu a partir da produção de sedimentos e nutrientes pelos fluxos de matéria e energia, de modo que a distribuição e deposição ao longo das unidades ambientais estão associadas às flutuações do nível relativo do mar, às mudanças climáticas e às energias modeladoras atuais.

Esses autores classificaram os fluxos de matéria e energia da planície costeira de Icapuí, como: i) litorâneo; ii) eólico; iii) gravitacional; iv) subterrâneo; v) fluviomarinho; vi) lagunar e vii) paleofluxos (MAPA 4).

A interação destes fluxos costeiros com a base física contribui para a formação e modelagem das diversas unidades e sistemas ambientais ao longo da planície costeira de Icapuí, que também são influenciadas por interferências humanas por intermédio das formas de uso e ocupação, que vão desde o emprego para moradia até atividades econômicas de alto valor comercial, como as salinas e as carciniculturas (criação de camarão em cativeiro).

Mapa 4 - Espacialização dos fluxos de matéria e energia da planície costeira de Icapuí-CE



Fonte: Elaboração própria (SOUSA, 2016).

Meireles e Santos (2012) identificaram as seguintes unidades geoambientais, baseando-se na geologia e geomorfologia local, como geralmente se faz em análises sistêmicas em Geografia: i) faixa de praia; ii) planície fluviomarinha; iii) dunas; iv) lagoas; v) lagoas; vi) terraços marinhos; vii) planície fluvial; viii) tabuleiro pré-litorâneo, além das falésias vivas, paleofalésias e do mar litorâneo, que se optou por inserir nessa caracterização. As falésias e paleofalésias constituem-se como uma feição do tabuleiro, morfologia tipicamente continental, mas, dada a representatividade das falésias e paleofalésias da planície litorânea, optou-se por incorporar às discussões dessas morfologias a planície litorânea.

Na pesquisa em questão, a planície litorânea foi compartimentada em três setores representativos da diversidade geoambiental e ecológica, o que serviu de base para a setorização proposta neste estudo, sendo a evolução da linha de costa reflexo das interações entre esses sistemas ambientais de modo local e regional.

O primeiro setor (oeste) é caracterizado pelas falésias, gerações de dunas fixas e móveis, flechas de areia, plataformas de abrasão e praias arenosas e rochosas; o segundo setor (central) está associado à desembocadura de um canal estuarino (Barra Grande) com a ocorrência de paleofalésias, terraços marinhos, delta de maré, banco de algas, estuário, planície fluviomarinha, canais de maré, lagoas, flechas de areia e praias arenosas; e o terceiro setor (leste) exhibe paleofalésias, terraços marinhos, gerações de dunas, lagoas interdunares, estuário, manguezal e praias arenosas.

Com amparo nesta proposição e nos trabalhos de campo realizados ao longo do litoral do Município, descrevem-se neste capítulo os sistemas ambientais costeiros de Icapuí, suas especificidades e interações, além de suas funções no equilíbrio da dinâmica costeira e evolução da linha de costa.

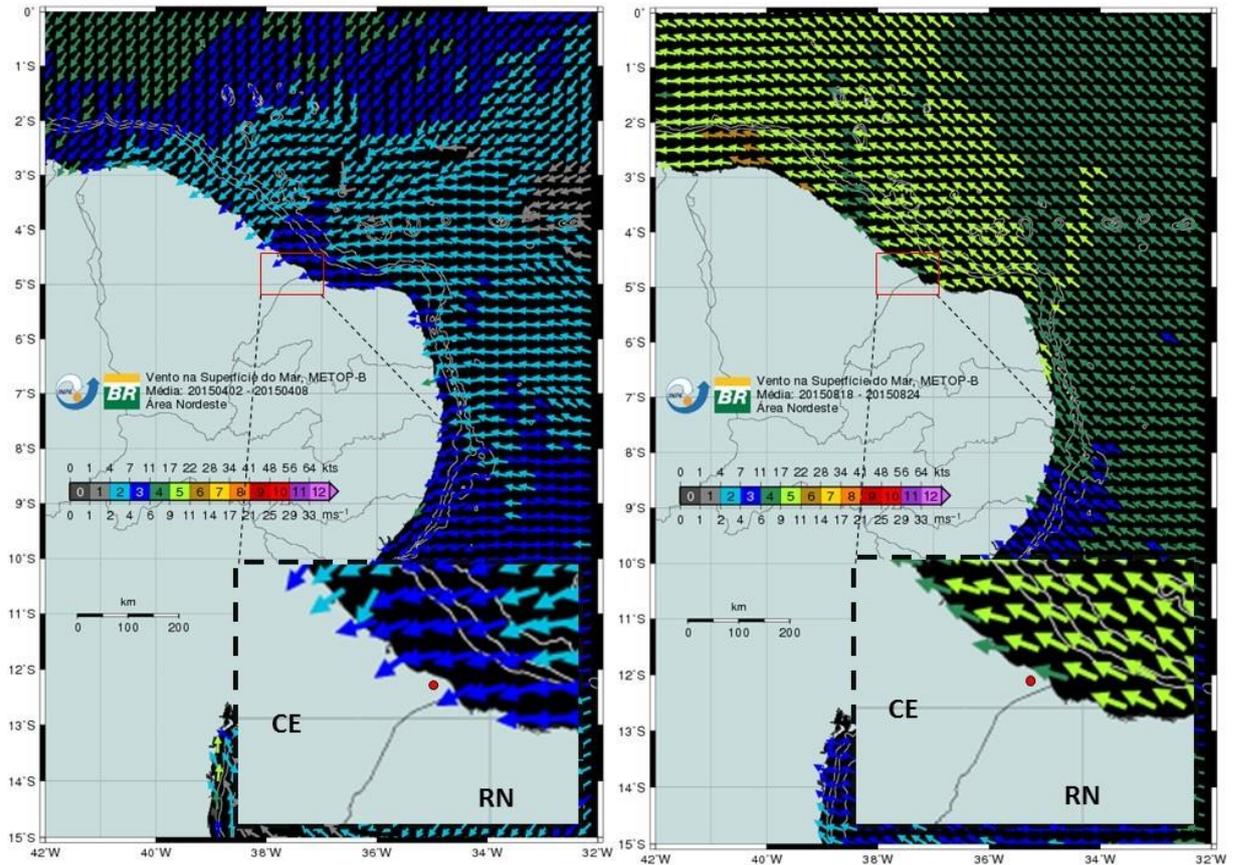
3.2.1 Mar litorâneo

O mar litorâneo corresponde à área entre a linha de costa e o fim da plataforma continental, onde ocorrem variados processos que influenciam diretamente no comportamento da linha de costa, como a dinâmica dos ventos e das ondas, a deriva litorânea e o transporte de sedimentos para alimentar a faixa de praia e os campos de dunas.

Os ventos constituem-se como elemento climático por demais relevante no contexto da dinâmica costeira, pois atuam na formação das ondas que incidem na faixa de praia e no transporte de sedimentos do perfil praial para os campos de dunas. Meireles e Santos (2012) destacam o fato de que a direção preferencial dos ventos no litoral cearense é de SE, ESE, E e NE, com médias de 4,5 m/s nos meses mais secos (alcançando mais de 11 m/s); na estação

chuvosa predominam os ventos de nordeste e na estação seca os ventos de sudeste (FIGURA 10).

Figura 10 - Mosaico com a direção e a intensidade dos ventos nos dois semestres.



Fonte: CPTEC/INPE/PETROBRAS (2016).

Sobre os tipos de ondas no Estado do Ceará, estas são principalmente do tipo *sea*, com altura média significativa de 1,1 m e período médio de cinco a seis segundos, enquanto as ondas do tipo *swell* atuam do verão até o outono do hemisfério sul, com um período da ordem de 24 segundos. No segundo semestre do ano, os ventos ficam mais fortes e as ondas do tipo *sea* têm alturas mais elevadas, sendo neste período também que as ondas *swell* estão em ação, de modo que a arrebentação tende a apresentar maior turbulência e há mais transporte de sedimentos na deriva litorânea, que se mostra de oeste para leste no estado do Ceará. As marés são do tipo semidiurnas, caracterizadas por duas preamares e duas baixamares em cada dia lunar (24h50min), com amplitude média de 3 m, controladas, sobretudo, por fatores astronômicos (CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2006).

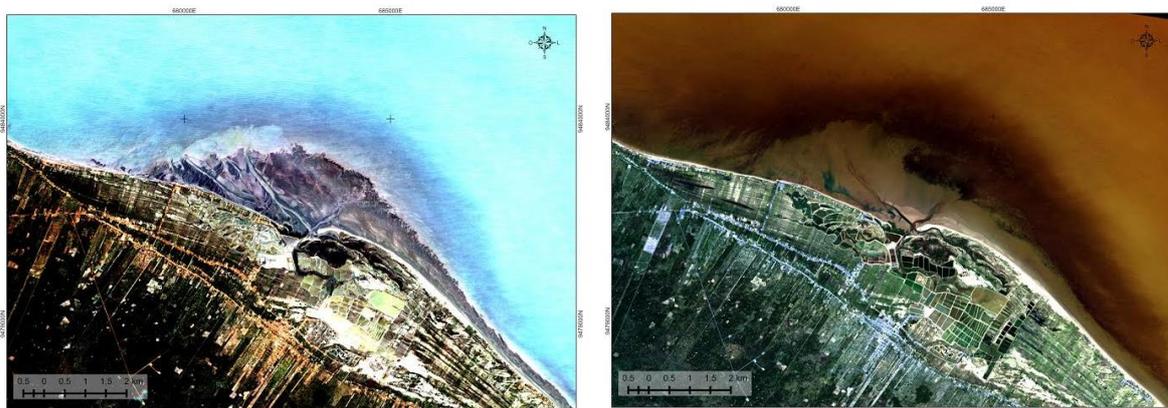
Segundo Maia (1998) *apud* Claudino-Sales & Peulvast (2006), a corrente litorânea longitudinal (deriva litorânea) influenciada pela ação das ondas é responsável pelo transporte longitudinal permanente de sedimentos de leste para oeste, com velocidades médias de 0,34 m/s, tendo as maiores velocidades no segundo semestre do ano. As correntes de maré, por sua

vez, são importantes nas desembocaduras fluviais, com velocidades de 0,29 a 3 m/s. Esses processos contribuem com o balanço sedimentar entre a linha de costa e a plataforma continental.

3.2.2 Delta de maré

Defronte à desembocadura do estuário da Barra Grande, no setor central do litoral de Icapuí, desenvolve-se um delta de maré. De acordo com Meireles, Raventos e Thiers (2006), este sistema deltaico do tipo *ebb delta* é um dos mais complexos sistemas marinho-costeiros do litoral do Ceará, sendo uma evidência, em conjunto com outras morfologias do litoral de Icapuí, de eventos transgressivos do nível do mar e mudanças climáticas no Holoceno (FIGURA 11).

Figura 11 - Mosaico com imagens do satélite Alos de 2013 em composições falsa-cor evidenciando o delta de maré em Icapuí.



Fonte: Souza (2015).

Conforme Suguio (2003), o conceito de delta é muito amplo, sendo empregado para associações de fácies sedimentares que constituem zonas de progradação vinculadas a um curso fluvial, sendo originalmente construídas com base nos sedimentos deste. Assim, para a formação de um delta é necessário que um curso fluvial com transporte sedimentar considerável tenha sua foz em um corpo d'água permanente e em relativo repouso, ou seja, a energia deste corpo d'água não seja capaz de dispersar os sedimentos. A energia do curso fluvial deve ser capaz de manter um ou mais canais no depósito sedimentar, prosseguindo a deposição de sedimentos, de modo que o delta progradará para dentro do corpo receptor.

Ainda de acordo com Suguio (2003, p.248), sobre a deposição de sedimentos e formação de deltas, afirma-se que “um rio fornece sedimentos terrígenos à zona costeira e à plataforma continental interna mais rapidamente que a velocidade de remoção pelos agentes geológicos litorâneos.”

O delta de maré existente em Icapuí regula localmente a dinâmica das ondas, balanço de sedimentos entre a planície de maré, faixa de praia e plataforma continental e o

potencial de biodiversidade, podendo ser compartimentado em dois grandes setores, emerso e submerso, sendo o primeiro exposto durante a maré baixa e o segundo sempre submerso. Este sistema está diretamente relacionado ao conjunto de morfologias e sistemas ambientais da planície costeira de Icapuí, sendo resultado da atuação dos fluxos de matéria e energias atuais e pretéritos nesta região.

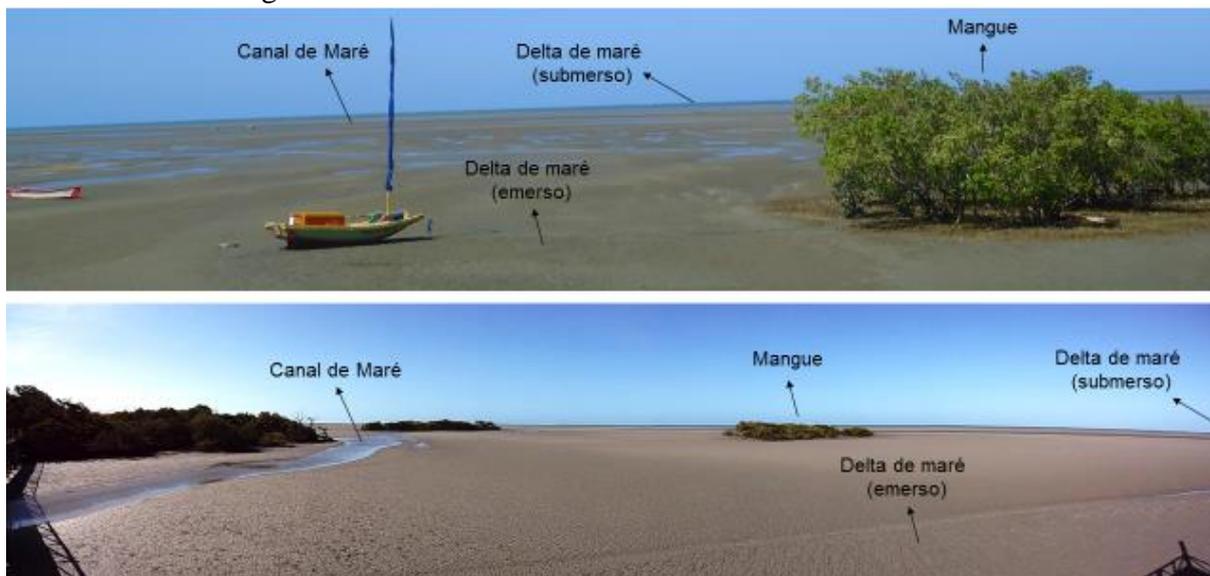
Conforme Meireles, Raventos & Thiers (2006), a deposição destes sedimentos e formação do sistema deltaico de maré vincula-se a um conjunto de processos morfológicos, sedimentológicos, níveis topográficos, contatos geológicos, distribuição geográfica, fluxos de matéria e energia e fatores ecológicos. Assim, as variações eustáticas no Quaternário, a disponibilidade de sedimentos, a fisiografia da linha de costa, o aprisionamento de sedimentos pela existência de algas e afloramentos rochosos são fatores que contribuem para a formação do delta de maré.

Em síntese, baseando-se em Meireles, Raventos & Thiers (2006), a formação e a evolução do delta ocorreram com as flutuações do nível do mar no Quaternário, com períodos transgressivos, sendo o último deles há 5100 anos AP, originando uma linha de paleofalésias com aproximadamente 30 km de extensão. O período regressivo posterior propiciou a geração de cordões arenosos (*spits*) associados a antigas faixas de praia com cristas e cavas dispostas sobre os terraços marinhos, sendo no total nove esporões de areia.

O fluxo gravitacional das águas subterrâneas propicia o afloramento do lençol freático na base das paleofalésias e a geração de um sistema lagunar em conjunto com as lagoas costeiras nas cavas dos cordões arenosos. Periodicamente, em períodos de máxima vazão, há o rompimento da sequência de flechas litorâneas e um fluxo enorme de sedimentos é transportado para faixa de praia e plataforma continental. Esse aporte episódico de sedimentos e nutrientes associado aos processos costeiros e oceanográficos (ventos, ondas, marés, correntes marinhas), à fisiografia da linha de costa e a fatores como afloramentos rochosos (antigas plataformas de abrasão) e algas condicionaram a deposição de sedimentos e a formação do delta de maré. Atualmente, este sistema continua sendo alimentado pela dinâmica costeira e estuarina, através dos diversos canais de maré que contribuem com carga significativa de sedimentos.

A ocorrência deste sistema proporciona uma extensa planície de até dois quilômetros além da linha de costa com a cota máxima de cinco metros, o que condiciona a exposição do setor emerso do delta em maré baixa e os diversos canais de maré, além da vegetação de mangue em alguns setores próximos a linha de costa (FIGURA 12). Neste mesmo ambiente, desenvolvem-se atividades tradicionais associadas ao banco de algas do Cajuais, como coleta de algas, pesca e mariscagem.

Figura 12 - Mosaico de imagens panorâmicas do delta de maré de Icapuí durante a baixa-mar, destacando morfologias associadas.



Fonte: Souza (2015)

O banco de algas representa um importante componente ambiental do delta de maré, caracterizando-se pelo aparecimento de algas durante a baixa-mar com papel fundamental na regulação da biodiversidade, principalmente na alimentação de aves migratórias e ainda na relação comunitária por meio da utilização das algas para a produção de alimentos e cosméticos por moradores das comunidades de Barrinha e Requenguela (SILVA, 2012).

Em virtude da relação de interdependência desses sistemas (paleofalésias, terraços marinhos, planície fluviomarinha e delta de maré), qualquer alteração nestes pode afetar a dinâmica e o aporte sedimentar no delta de maré. O principal sistema que promove a interligação desses ambientes são os canais de maré. Assim, conforme Meireles (2012), o delta de maré é o sistema de maior complexidade geoambiental da região, pois resulta dos fluxos de matéria e energia dos sistemas locais e regionais da planície costeira e ambientes marinhos.

3.2.3 Linha de costa e faixa de praia

O Município de Icapuí possui aproximadamente 45 km de linha de costa, estendendo-se desde o limite com o Município de Tibau, na divisa com o Estado do Rio Grande do Norte (extremo leste), até o limite com o Município de Aracati, no Ceará (extremo oeste).

Assim, como a planície costeira, a faixa de praia e a linha de costa podem ser compartimentadas em três grandes setores, considerando a dinâmica geoambiental e a mudança na direção da linha de costa (MEIRELES & SANTOS, 2012; SANTOS, 2008). A faixa de praia é predominantemente arenosa ao longo do Município, exceto no setor oeste, no qual se destacam falésias vivas, ou seja, que são submetidas diariamente à ação das ondas e marés,

ocorrendo um recuo proporcionado pela abrasão marinha que condicionou a existência de plataformas de abrasão no perfil praiial, além do acúmulo de sedimentos mais grosseiros associados à fragmentação da rocha. Também nas desembocaduras fluviais e estuários (Barra Grande e Arrombado), percebem-se sedimentos mais argilosos, característicos de áreas de planícies fluviomarinhas.

O setor leste compreende o trecho entre a praia do Ceará (divisa com o RN) até a praia de Quitérias, passando pelas praias de Barrinha de Manibu, Peixe Gordo, Melancias e Tremembé, além da desembocadura do rio Arrombado. Este trecho com aproximadamente 14 km de extensão é caracterizado por praias arenosas, planas e com um pós-praia caracterizado por dunas de 3ª geração e terraços marinhos (FIGURA 13).

Como informa Santos (2008), este setor do litoral de Icapuí é caracterizado por praias dissipativas, com declividade próxima a 2° e granulometria predominante de areias finas e médias. Dentre os problemas verificados, destacam-se a erosão costeira em alguns pequenos trechos e a derrubada de casas, associadas à ocupação irregular e a mudanças na desembocadura do rio Arrombado.

Figura 13 - Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor leste de Icapuí.



Fonte: Souza (2014).

O setor central da linha de costa compreende o trecho entre da praia das Placas até a praia de Barreiras da Sereia, passando pelas praias da Barra Grande, Requenguela, Barrinha e Barreiras. Conforme Silva (2012), a faixa de praia deste setor do litoral de Icapuí é composta por areias quartzosas, grãos de feldspato, fragmentos de rocha e biodetritos associados a terraços marinhos holocênicos e pequenas dunas, constituindo-se como praias dissipativas, com declividades em torno de 2° e granulação predominante de areias finas e médias.

Este setor do litoral está diretamente associado ao estuário da Barra Grande e ao delta de maré. O perfil praiial é bem plano e associado a enorme quantidade de sedimentos depositados no delta de maré, possibilitando uma enorme zona de estirâncio, onde se formam canais de maré durante a baixamar, variando em alguns trechos aproximadamente em 2 km

entre as marés baixas e altas. Nas áreas próximas ao estuário da Barra Grande, há sedimentos argilosos associados ao ecossistema manguezal (FIGURA 14). A linha de costa é interrompida pelo estuário da Barra Grande, que propiciou a formação de uma flecha litorânea (*spit*) que evolui de leste para oeste.

Figura 14 -Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor central de Icapuí.



Fonte: Souza (2014).

O setor oeste, que se estende da praia de Retiro Grande até as proximidades da praia de Vila Nova, caracteriza-se por praias arenosas e por falésias quase continuamente submetidas às ações das ondas e marés. Este trecho compreende as praias de Retiro Grande, Ponta Grossa, Redonda, Peroba, Picos e Vila Nova e tem aproximadamente 15 km de extensão. Entre as praias de Vila Nova e Retiro Grande, observou-se um perfil praial plano, com uma larga zona de estirâncio associados à plataforma de abrasão, e pós-praia reduzido em razão de falésias vivas (FIGURA 15). Deve-se ressaltar que, em algumas áreas, há um pós-praia um pouco mais relevante e que possibilita a ocupação como das comunidades de Redonda e Peroba. É também nessas comunidades, entretanto, onde se observam problemas relacionados a erosão costeira, causando estragos nas estruturas físicas, como vias e residências, e nos usos tradicionais da faixa de praia, como portos de pequenas embarcações de pescadores locais.

Figura 15 - Foto panorâmica representativa das morfologias das praias do setor oeste de Icapuí.



Fonte: Souza (2014).

3.2.4 Terraços marinhos

As oscilações do nível relativo do mar durante o período Quaternário também condicionaram a formação de um conjunto de morfologias que indicam as transgressões e regressões marinhas, dentre as quais, os terraços de origem marinha na planície costeira de Icapuí.

As oscilações do nível do mar são motivadas por diversos fatores, sendo o principal deles as mudanças climáticas associadas aos períodos de glaciação e deglaciação (glacioeustasia), contudo, outros fatores devem ser considerados, como as mudanças isostáticas (glacioisostasia e hidroisostasia), geoidais (geoidoeustasia) e tectônicas (tectonoeustasia), sendo assim o nível do oceano em um determinado ponto da costa resultado de complexas interações das superfícies oceânicas e continentais, ou seja, condicionado por fatores globais, regionais e locais (SUGUIO, 2010).

Para Suguio (2010), os terraços de construção marinha (*wave-built terraces*) são depósitos sedimentares marinhos situados acima do nível do mar atual e são evidências inquestionáveis de antigos níveis do mar que podem estar associados a distintos episódios transgressivos do Quaternário.

Os terraços marinhos de Icapuí estão associados às duas últimas transgressões marinhas e regressões subsequentes, sendo um deles de origem pleistocênica, ou seja, mais antigo, originado da regressão posterior ao máximo de 123.000 anos A.P., quando o mar esteve 8m acima do nível atual, o que originou também a linha de paleofalésias nos setores central e leste da planície costeira. O segundo terraço, de origem holocênica (mais recente), está associado a regressão posterior à última transgressão, ocorrida em 5.100 anos A.P., quando o nível do mar esteve de 4 a 5 m acima do atual, sendo realizadas sondagens em conchas encontradas no local datadas de 2.000 anos A.P. (MEIRELES & SANTOS, 2012; MEIRELES, 2012). Esses dados e informações aproximam-se das variações do nível do mar na costa leste do Brasil, conforme sintetizadas por Suguio (2010).

Estes ambientes ocorrem desde o início do setor central deste estudo, nas proximidades da praia de Vila Nova, até o limite do Município de Icapuí com Tibau, na praia do Ceará, quando as ondas alcançam novamente as falésias. Conforme Meireles & Santos (2012), os terraços marinhos são em sua maioria holocênicos, exceto uma pequena porção situada no sopé da paleofalésia nas proximidades da Sede Municipal.

Os terraços marinhos de Icapuí constituem uma sequência de pelo menos nove cordões arenosos, representando antigas faixas de praia com cristas e cavas relacionadas às transgressões e regressões marinhas. Segundo Santos (2009), são compostos quase que

exclusivamente por grãos de quartzo (90%), sendo em geral areias finas ou muito finas, com altitude média de 4m, sendo que ocorrem dunas sobre os terraços. Estes estão associados a um canal fluviomarinho e a superfícies lacustres e lagunares com água proveniente da ressurgência do lençol freático na base das paleofalésias. Portanto, ao longo do tempo, os terraços foram remodelados pela ação da água, onde em evento de máxima vazão foram rompidos pelo fluxo fluvial, fornecendo episodicamente considerável aporte de sedimentos para a formação do delta de maré e para a deriva litorânea.

Atualmente, o setor central dos terraços holocênicos encontra-se altamente modificado por atividades humanas às margens do estuário da Barra Grande, sendo elas salinas e carcinicultura. Ao longo dos terraços, também há a cultura de coqueiros que, apesar de não ser uma composição vegetal nativa, adaptou-se bem ao ambiente com solos arenosos, tem baixo impacto ambiental e é importante na economia do Município (SILVA, 2012; MEIRELES & SANTOS, 2012).

Dessa forma, os terraços marinhos são importantes ambientes arenosos que testemunham a variações do nível do mar no Quaternário, com relações diretas e indiretas com outros sistemas ambientais da planície costeira de Icapuí, como o delta de maré, os campos de dunas, a planície fluviomarinha, ambientes lagunares e lacustres. Constituem, também, um excelente estoque de sedimentos que podem ser transportados pela dinâmica fluviomarinha em eventos de máxima vazão para a deriva litorânea e servir de aporte de sedimentos para as praias a sotamar do estuário da Barra Grande (FIGURA 16).

Figura 16 - Mosaico de imagens panorâmicas dos terraços marinhos de Icapuí, destacando as morfologias associadas e as formas de uso.



Fonte: Souza (2014).

3.2.5 Planície fluviomarinha

O Município de Icapuí não possui grandes sistemas fluviais, somente pequenos rios e riachos que nascem no tabuleiro pré-litorâneo e desembocam nas praias de Manibu (rio Arrombado) e Retiro Grande, além do estuário da Barra Grande, que é um canal estuarino ocasionado pela ressurgência do lençol freático no sopé das paleofalésias e que percorre destas em direção ao oceano, perpassando terraços marinhos, flechas de areia e o delta de maré. A desembocadura destes canais no mar propicia a formação de planícies fluviomarinhas, ou seja, áreas em que a água do mar adentra o continente pelo curso fluvial, o que é ocasionado pelas oscilações da maré.

Nessas áreas, desenvolvem-se o ecossistema manguezal e a sua vegetação característica, o mangue, que é uma APP conforme o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), com predominância das espécies de mangue vermelho ou sapateiro (*Rhizophora mangle*), mangue branco ou manso (*Laguncularia racemosa*), mangue preto (*Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*), mangue ratinho (*Conocarpus erectus*), além de espécies características dos apicuns (SILVA, 1993; SILVA, 2012)

O rio Arrombado tem nascentes em áreas de tabuleiro nas localidades de Mata Fresca, em Aracati, e Gravier, em Icapuí, e deságua entre as praias de Peixe Gordo e Manibu, tendo um curso de aproximadamente 18 km. A influência da maré ocorre vários quilômetros continente adentro até as proximidades da comunidade de Gravier. Campos de dunas de 2ª e 3ª geração nas proximidades das comunidades de Córrego do Sal e Manibu, respectivamente, migram em direção ao leito fluvial (de leste para oeste), contribuindo para o retorno destes sedimentos à faixa de praia na porção leste do Município.

Em sua foz, dada a sua baixa capacidade no transporte de sedimentos e associada à dinâmica climática e aos barramentos, o canal pode ser temporariamente fechado pelos sedimentos em deriva litorânea e reaberto quando houver energia fluvial suficiente para o rompimento da barreira natural de sedimentos, o que pode acontecer em um curso diferente do anterior. Estes fatores e a dinâmica das ondas e marés deslocaram a foz no sentido noroeste e promoveram o surgimento de uma flecha litorânea.

Conforme o Diagnostico Geoambiental do rio Arrombado, elaborado pela Prefeitura Municipal de Icapuí, identificou-se um conjunto de geradores de impactos ambientais na planície fluvial do rio Arrombado, alguns deles com influência direta na planície fluviomarinha e na faixa de praia e pós-praia, como a construção de barragens. Além disso, foram mencionados a degradação das nascentes, o desmatamento das margens, a ocupação de APPs e o desenvolvimento de atividades turísticas (PREFEITURA DE ICAPUÍ, 2013).

Destaca-se o fato de que a migração periódica da desembocadura fluvial associada a construções irregulares de residências sobre o perfil praial, dunas e terraços, ocasionaram situações de risco e a destruição de residências (FIGURA 17).

Figura 17 -Desembocadura do rio Arrombado, no litoral de Icapuí.



Fonte: Souza (2014).

O estuário da Barra Grande é um canal fluviomarinho que ocorre em virtude da ressurgência da água doce do lençol freático nas paleofalésias nas proximidades das comunidades de Mutamba, Cajuais e Berimbau, e que alimenta sistemas lacustres (lagoa do Carapicu ou Cajuais) principalmente no primeiro semestre do ano (estação chuvosa) (SILVA, 2012).

Conforme Meireles e Souza (2015), o estuário da Barra Grande é um indicador das variações do nível do mar, pois este sistema estuarino está relacionado com a linha de paleofalésias, demarcando o limite máximo da penúltima transgressão marinha, a progradação da linha de costa, originando os terraços marinhos e a evolução do delta de maré.

A planície fluviomarinha propicia a formação do ecossistema manguezal nas proximidades da comunidade de Requenguela, com uma área de aproximadamente 135 hectares de vegetação de mangue (SILVA, 2012) e com atuação de projetos socioambientais vinculados à Estação Ambiental Mangue Pequeno.

Defronte ao exutório, ocorre o delta de maré, o que propicia uma extensa faixa de areia (estirâncio), durante a maré baixa, de aproximadamente 2 km, e possibilita visualizar a continuação dos canais, sugerindo uma dinâmica de transporte e deposição dos sedimentos e bancos de areia por meio da deriva litorânea (FIGURA 18). O aporte de água doce da Formação Barreiras também ocasiona ressurgências no delta de maré na forma de olhos d'água utilizados pelo peixe-boi marinho (MEIRELES & SOUZA, 2015)

Figura 18 - Estuário da Barra Grande e delta de maré durante a baixa-mar.



Fonte: Souza (2014).

O estuário da Barra Grande, no entanto, também está degradado por atividades como as salinas e a carcinicultura, que afetam diretamente o ecossistema manguezal. Conforme Silva (2012), existem relatos de uma primeira salina na região em 1894, outros em 1920, e a carcinicultura ocupou o estuário desde 2000. Essas duas atividades econômicas continuam em funcionamento.

A importância ambiental da área foi oficialmente reconhecida pelo poder público com a criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA), através da Lei Municipal N° 298/00 de 12 de maio de 2000, que criou a APA do Manguezal da Barra Grande, com 1260,31 hectares (SEMACE, 2015). Apesar do nome, abrange não somente o ecossistema manguezal, mas também os terraços marinhos, faixa de praia e delta de maré (FIGURA 19).

Figura 19 - Limites da APA do estuário da Barra Grande.



Fonte: Meireles & Souza (2013).

A planície fluviomarinha e o ecossistema manguezal da Barra Grande estão associados ao delta de maré e são influenciados pela dinâmica das marés e fluxos de sedimentos que contribuem para o equilíbrio dinâmico destes sistemas e para a biodiversidade local, além de promover o sustento e a qualidade de vida para comunidades locais (pesca e mariscagem). Em direção ao extremo oeste do Município, ocorrem novamente ressurgências do lençol freático em falésias e paleofalésias e formações de canais de maré entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, com a existência de pequenos trechos com vegetação de mangue.

No limite do Município de Icapuí com Aracati, há um pequeno curso fluvial que corta o tabuleiro e a falésias, associada a um *graben* por Torquato, Torquato & Moraes (1996). O rio possui baixa vazão em virtude de alguns barramentos, inclusive no exutório, com a formação de um pequeno açude pertencente a uma casa de veraneio, contribuindo para que ele não deságue no mar, exceto em eventos de alta vazão em chuvas intensas (FIGURA 20).

As planícies fluviomarinhas e sistemas fluviais e estuarinos associados desempenham funções ambientais e ecológicas imprescindíveis para a manutenção do equilíbrio dinâmico e sistêmico da zona costeira, manutenção da biodiversidade e dos modos de vida tradicionais, além de serem ambientes fundamentais para amortecimento dos futuros impactos das mudanças climáticas e elevação do nível do mar.

Figura 20 - Exutório de pequeno curso fluvial na praia de Retiro Grande.



Fonte: Souza (2010).

3.2.6 Campos de dunas

As dunas são sistemas ambientais litorâneos relacionadas a disponibilidade e transporte de sedimentos da faixa de praia para o interior do continente por ação eólica pretérita e atual, possuindo importância significativa na dinâmica da zona costeira. Estes ambientes têm suas formas de uso e ocupação regulamentadas nas Resoluções nº 303/2002 e nº 341/2003, do CONAMA, além do Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

O litoral do Município de Icapuí possui campos de dunas que, assim como os outros componentes ambientais da planície litorânea de Icapuí, sugerem uma dinâmica pretérita com as condições climáticas e níveis do mar diferentes do atual e remodeladas pela dinâmica litorânea atual, sendo classificadas como dunas de três gerações distintas e com as fisionomias dos tipos barcana, transversal, dômica e parabólica. A formação dos campos de dunas de Icapuí está possivelmente relacionada a eventos regressivos e climas áridos durante o Quaternário, propiciando elevada disponibilidade de sedimentos e maior intensidade dos ventos que promoveram o transporte dos sedimentos da faixa de praia e plataforma continental para a interior do continente (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Meireles (2012) demonstra como os principais indicadores morfológicos para definição de três gerações de dunas, considerando, dentre outros fatores, a atividade eólica, os tipos e processos associados, a localização geográfica, a cobertura pedogenética e vegetal, a sedimentologia, a dinâmica quaternária e a dinâmica atual. Em síntese, as dunas de primeira geração são as mais antigas, com cobertura pedogenética desenvolvida e fixadas por vegetação arbustivas e arbórea, localizadas em áreas mais interiores (tabuleiros) e associadas a dinâmica Quaternária. As dunas de segunda geração são moveis ou semifixas, entre as dunas de primeira e terceira geração escalando falésias, com solos incipientes por vezes com vegetação arbustiva-arbórea e gramíneas, relacionadas à dinâmica Quaternária e com migração ativa em direção ao continente e às zonas de *bypass* com a ocorrência de lagoas interdunares em áreas de deflação. As dunas de terceira geração constituem aquelas que estão mais próximas à linha de costa migrando sobre a zona de berma em processo de formação a partir da dinâmica litorânea atual, são moveis, sem manifestação pedológica e com cobertura vegetal incipiente (gramíneas, salsa de praia etc.)

No setor oeste destacam-se os campos de dunas mais antigos associados ao período transgressivo posterior ao máximo transgressivo do Pleistoceno, estando localizadas sobre o tabuleiro e fixadas por vegetação arbórea. As dunas móveis (2ª geração) que se estendem das localidades de Barreira de Sereia até Retiro Grande são possivelmente associadas a níveis do mar mais baixos do que o atual e à elevada aridez, o que possibilitou ventos com a competência suficiente para promover o “cavalcamento” das dunas sobre as falésias e a deposição dos sedimentos sobre o tabuleiro, originando extensos campos de dunas (FIGURA 21). No setor central, as dunas estão posicionadas predominantemente sobre os terraços marinhos (2ª geração) e por vezes se confundem com os cordões arenosos. No setor leste, são evidenciadas as três gerações de dunas com campos de dunas de 1ª geração posicionados sobre tabuleiro, desde as comunidades de Ibicuitaba até Barrinha de Manibu, dunas de 2ª geração sobre os

terraços marinhos desde a comunidade de Tremembé até o limite com Tibau e dunas de 3ª geração, próximas à faixa de praia atual, desde o promontório no limite com Tibau até o e estuário da Barra Grande (FIGURA 22). Em todos os setores ocorrem dunas de terceira geração relacionadas à dinâmica litorânea atual (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Figura 21 - Dunas das 3 gerações sobre o promontório de Ponta Grossa e promovendo o *bypass* de sedimentos.



Fonte: Souza (2015).

Além da importância para a compreensão da dinâmica Quaternária, as dunas constituem sistemas ambientais de importância significativa no aporte de água doce para o lençol freático e de sedimentos para a faixa de praia, quando associadas aos promontórios e estuários (zonas de *bypass*). Em Icapuí, as dunas do setor leste posicionadas na margem direita do rio Arrombado são depositadas no leito do rio e devolvidas por este para a faixa de praia em eventos de alta vazão. O mesmo acontece na margem direita do estuário da Barra Grande, onde as dunas de segunda geração sobre os terraços marinhos migram em direção ao estuário e os sedimentos são devolvidos à deriva litorânea. No caso de associação com os promontórios, deve-se destacar o caso da praia de Ponta Grossa, onde um enorme volume de sedimentos associado a dunas de 2ª e 3ª geração ultrapassou o promontório e promoveu o retorno dos sedimentos para deriva litorânea. Este caso propiciou extensa área de progradação a oeste do pontal, entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande.

A conservação destes sistemas dunares em Icapuí é relativamente boa sendo estes geralmente ocupados e utilizados por comunidades locais. Deve-se, todavia, atentar para a

possível chegada de parques eólicos e o problemas e riscos socioambientais causados por esses empreendimentos quando instalados sobre os campos de dunas (MEIRELES, 2011).

Figura 22 - Dunas de 2ª e 3ª gerações no setor leste de Icapuí.



Fonte: Souza (2015).

3.2.7 Falésias e paleofalésias

As falésias são feições geomorfológicas litorâneas que exibem face abruta ou escarpada decorrente da abrasão marinha por via do solapamento da base e desmoronamento do topo (GUERRA & GUERRA, 2007). Conforme a legislação brasileira, em artigos da Resolução 303 do CONAMA e da Lei nº 12.651 de 2012, as falésias são Áreas de Preservação Permanente, enquadrando-se como borda de tabuleiro em até 100 m em projeções horizontais.

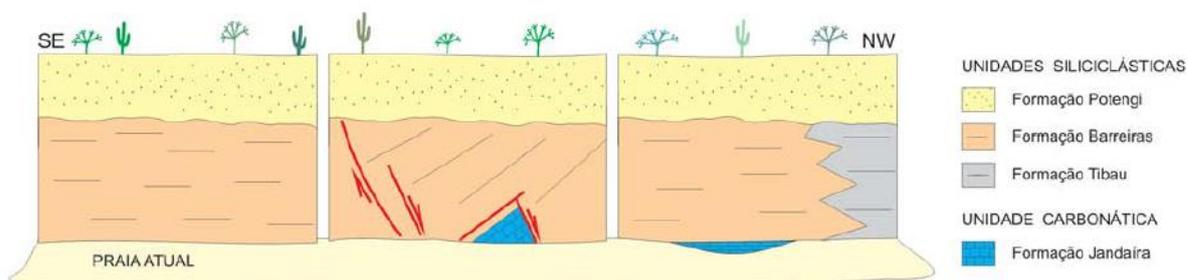
Todo o litoral do Município de Icapuí apresenta feições em formas de falésias, que são escarpas íngremes associadas à ação atual ou pretérita das ondas e marés. Estas feições possuem até 70 metros de altura e representam ambientes instáveis de vulnerabilidade elevada, como ocorre nas praias de Retiro Grande, Ponta Grossa, Redonda e Peroba (MEIRELES, 2012).

É possível individualizar dois setores: os de falésias vivas ou ativas e o de falésias mortas, inativas ou paleofalésias. Em um setor a escarpa íngreme está submetida atualmente à ação das ondas e marés e em constante evolução e modelamento, caracterizado pelo solapamento basal e desmoronamento da parte superior e ocasionando blocos e plataforma de abrasão no perfil praiar. No outro setor, o das paleofalésias, a ação das ondas e marés não atinge atualmente esta feição, todavia, no passado recente ou mesmo no passado geológico (Quaternário) esta estrutura foi submetida a este fluxo energético.

Verificou-se a ocorrência de falésias vivas no setor oeste da planície litorânea, desde a praia de Vila Nova até a praia de Ponta Grossa, onde um acúmulo recente de sedimentos nos últimos 30 anos (observado em imagens LANDSAT) associado ao promontório gerou uma extensa faixa de deposição de sedimentos ao leste do promontório e impossibilitou a ação das ondas na rocha, e nas proximidades da praia de Retiro Grande.

Conforme Sousa *et al.* (2009), a litologia das falésias da zona costeira de Icapuí é constituída por i) unidade de rochas carbonáticas correlacionadas à Formação Jandaíra (base das falésias); ii) unidades de rochas siliciclásticas relacionadas as Formações Barreiras e Tibau (lateral e verticalmente nas falésias) e iii) rochas da Formação Potengi (topo das falésias) (FIGURA 23).

Figura 23 - Perfil esquemático representativo das formações que compõem as falésias em Icapuí.



Fonte: Sousa *et al.* (2009).

Meireles (2012) associou as energias modeladoras como as correntes pluviais e ação das ondas com as características sedimentológicas e estruturais das falésias, além das interferências humanas, para explicar a origem das falésias em distintos níveis (terraços), como se observa em Icapuí, em três níveis, sendo eles: i) o mais elevado, zona de cimeira do tabuleiro; ii) mais inferior, com sedimentos argiloarenosos (fácies basal) e contato entre sedimentos arenoargilosos e conglomeráticos na fácies superior; e iii) plataforma de abrasão atual, originada pela ação das ondas e marés. A fácies arenosa é afetada pela erosão pluvial enquanto os sedimentos arenoargilosos são relativamente mais resistentes. A fácies argilosa é mais afetada pela ação das ondas. A ação humana aliada à erosão pluvial também promove o festonamento e voçorocas no primeiro nível.

As paleofalésias foram identificadas desde o limite com o Município de Tibau, no extremo leste de Icapuí até a praia de Vila Nova, sendo esta estrutura associada às flutuações do nível do mar e às mudanças climáticas no Quaternário. Também se evidencia um pequeno

trecho de paleofalésias entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, estando relacionadas à deposição de sedimentos nos últimos 30 anos.

Meireles (2012) associou a existência das paleofalésias às mudanças climáticas e flutuação do nível do mar durante o Quaternário, o que condicionou um nível do mar até 8 m mais elevado do que o atual em 123.000 anos A.P. Durante o período transgressivo, a linha de costa esteve posicionada até 3 km de distância continente adentro (considerando a linha de costa atual), promovendo o recuo da formação rochosa. O período regressivo posterior possibilitou a formação sequencial de cordões arenosos e, conseqüentemente, das paleofalésias e terraços marinhos, já que a ação direta das ondas e marés sobre a rocha não é mais possível.

No que se refere às formas de uso e ocupação destas feições, percebeu-se que estão conservadas em alguns setores sendo destruídas somente por fatores naturais. Ao longo do litoral existem ocupações de comunidades locais, casas de veraneio e pousadas na base, na face (entre os patamares) e principalmente no topo destas feições. Conhecidas pela população local como “serras”, as paleofalésias e as falésias vivas são ambientes instáveis e sua ocupação representa um risco decorrente da instabilidade associada ao ataque das ondas e à erosão pluvial.

Ao longo do litoral cearense, algumas áreas de falésia estão indevidamente ocupadas e em situações de risco como na praia de Canoa Quebrada, em Aracati, enquanto em outros locais existem Unidades de Conservação, como é o caso do Monumento Natural das Falésias de Beberibe.

A integração destes ambientes com outros sistemas ambientais da zona costeira permite compreender sua importância quando relacionados à evolução da linha de costa. As falésias vivas contribuem com significativo aporte de sedimentos para a faixa de praia e deriva litorânea desde a ação pluvial e das ondas e conseqüentes movimentos de materiais como os desmoronamentos e quedas de blocos, o que está diretamente relacionado com a quantidade de areia disposta na faixa de praia. Portanto, há um sistema de retroalimentação, de modo que, quando a faixa de praia dispõe de areia suficiente para o equilíbrio, o ataque das ondas na falésia é menor, e o inverso acontece quando há um déficit de areia, o ataque das ondas é maior e o recuo da falésia se intensifica, havendo maior aporte de sedimentos para a deriva litorânea, mas podendo acarretar riscos locais em áreas ocupadas.

3.2.8 Tabuleiro pré-litorâneo

O tabuleiro pré-litorâneo, como o próprio nome sugere, constitui uma morfologia continental próxima ao litoral e que, em tese, não compõe o sistema costeiro. Em razão, porém,

da representatividade desta unidade na dinâmica costeira local, com as falésias e paleofalésias (bordas do tabuleiro) e as nascentes fluviais, optou-se por integrá-lo à caracterização geoambiental.

Conforme Lima, Morais & Souza (2000), os tabuleiros pré-litorâneos possuem topografia plana com declive suave para o litoral, cobertos por sedimentos arenoargilosos e são dissecados por cursos fluviais, originando os interflúvios tabulares. Os tabuleiros são naturalmente recobertos por vegetação de tabuleiros, caatinga litorânea e manchas de cerrado, vegetação bastante descaracterizada pelas formas de uso e ocupação.

Os tabuleiros pré-litorâneos do Ceará são constituídos por sedimentos do Miopleistocênicos da Formação Barreiras, estando situados próximos ao litoral, adentrando o continente entre 40 e 80 km, por vezes chegando até o contato com o mar na forma de falésias vivas (BEZERRA & MAIA, 2012).

Os tabuleiros pré-litorâneos são sistemas ambientais com características tipicamente continentais. Na área de estudos, todavia, este ambiente possui relações diretas com a planície costeira, como por via do aporte de águas do lençol freático ou mesmo com sedimentos para deriva litorânea, quando os tabuleiros estão sob ação das ondas e marés, originando as falésias vivas, continuamente submetidas à ação das ondas e maré.

Análises sedimentológicas realizadas por Bezerra & Maia (2012) no tabuleiro pré-litorâneo de Icapuí sugerem, por meio das características granulométricas dos sedimentos, que ocorrem paleodunas com espessura de até 4m, depositadas sobre os sedimentos da Formação Barreiras. Fato que pode ser notado, também, nas imagens de satélite e de radar (SRTM, por exemplo), além de curvas de nível obtidas por levantamentos topográficos ou LIDAR, principalmente no setor oeste do Município e pode ser outra evidência das flutuações do nível do mar. Os atuais campos de dunas de primeira e segunda gerações encontram-se sobre o tabuleiro pré-litorâneo, tendo “escalado” as falésias e se depositado sobre as rochas da Formação Barreiras, o que é evidenciado perto das localidades de Ponta Grossa, Redonda e Vila Nova, no setor oeste, e de Morro Pintado e Manibu, no setor leste.

Dentre os principais usos desta unidade em Icapuí, destaca-se a extração de petróleo na Fazenda Belém, em arenitos da formação Açu (SOUZA, SÁ & ANTUNES, 2008). Este campo foi descoberto em 1980 com exploração concedida à PETROBRAS, em 1998, representando 15% do petróleo extraído no Estado do Ceará (PETRÓLEO, 2015).

Assim, apesar de constituir uma unidade continental, a proximidade com o litoral condiciona o tabuleiro como um sistema importante na compreensão da dinâmica atual e pretérita da planície litorânea de Icapuí.

4 COMPORTAMENTO ESPAÇOTEMPORAL DA LINHA DE COSTA DE ICAPUÍ-CE

A erosão costeira é um fato que ocorre naturalmente na linha de costa, assim como os processos de progradação, estando relacionados principalmente a fatores climáticos e oceanográficos. Essas variações periódicas da linha de costa, no entanto, quando associadas aos modos de uso e ocupação antrópica do sistema costeiro, desde a ocupação próxima à linha de costa até as interferências em áreas responsáveis pelo aporte de sedimentos para a faixa de praia, pode ensejar processos erosivos mais acentuados e efeitos socioambientais que afetam estruturas físicas (casas, barracas, vias etc.) e a qualidade de vida da população. Além disso, a erosão costeira também pode estar relacionada com o aumento do nível do mar decorrente das mudanças climáticas atuais (aquecimento global), sendo um importante fator a se considerar para as próximas décadas.

Em Icapuí, em pelo menos quatro praias (Redonda, Peroba, Barreira de Sereia e Barrinha), as comunidades litorâneas são afetadas pelos efeitos da erosão costeira ou avanço do mar (QUATRO, 2014), que vão desde a desestabilização e redução da faixa praial até a derrubada de residências. Dessa forma, investigou-se a evolução espaçotemporal da linha de costa por meio do DSAS, podendo ser mensuradas as variações da linha de costa em um dado período e identificar os setores onde essas variações se referem à erosão costeira, de modo que seja possível também relacionar com efeitos sentidos pelas comunidades e visualizar as possíveis causas destes processos, diferenciando-os em temporários ou contínuos, além das possibilidades de contenção.

4.1 Mensuração das variações da linha de costa através do *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*

Com a extração das linhas de costa, ao se empregar produtos de sensores remotos em Sistema de Informações Geográficas e a integração com a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, foi possível calcular as taxas de variação da linha de costa do Município de Icapuí de 1987 a 2014 (27 anos) e mensurar, mediante quatro procedimentos matemáticos e estatísticos, os processos erosivos e progradacionais a cada 500 m e distribuídos em três setores e variados subsetores.

A apresentação dos resultados ocorre na forma de mapas, cartas-imagem, gráficos e tabelas. Os mapas e imagens de satélite tiveram o norte modificado, deixando sempre a linha de costa em orientação preferencial leste-oeste para melhorar a apresentação e visualização da área representada e dos resultados. As tabelas que demonstram os resultados dos procedimentos

do DSAS estão sob formatação condicional em cores, onde o procedimento SCE denota variação do amarelo ao verde, quanto maior a variação em metros. Já os resultados dos procedimentos NSM, EPR e LRR apresentam formação condicional variando do vermelho ao amarelo nas variações negativas e do amarelo ao verde nas variações positivas.

Como já expressei, os procedimentos SCE, NSM e EPR são importantes na análise da variação geral da linha de costa no dado recorte espaçotemporal, mas que pode mascarar processos e tendências evolutivas por considerar somente duas linhas de costa (extremas espaciais ou extremas temporais) para produzir os resultados. Por isso, apresentam-se e discutem-se os resultados sintéticos desses procedimentos, mas dá-se ênfase na discussão dos resultados obtidos a partir do procedimento LRR, por considerar todas as linhas de costa inseridas na análise e possibilitar a visualização de tendências e relacionar com variáveis climáticas e oceanográficas.

O LRR permitiu identificar com fidelidade o conjunto de dados por meio da taxa de variação anual para cada transecto, além de ser possível relacionar a variação entre cada uma das linhas de costa inseridas, por meio de uma regressão linear simples. O R^2 representa o quanto em porcentagem o modelo consegue explicar a amostra, variando de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo estiver do 1, melhor o modelo se ajusta à amostra. Tal fato significa dizer que, quando o R^2 estiver próximo ao 0, a linha de costa exprime intensa oscilação entre progradação e erosão ao longo do período, e, quando próximo ao 1, que a linha de costa segue uma tendência erosiva ou progradacional bem definida, sendo este valor transformado em porcentagem.

A variação geral dada pelos procedimentos SCE, NSM, EPR com os resultados detalhados concedidos pelo LRR, R^2 e o gráfico gerado destes permitiram classificar os trechos em cinco classes principais: i) erosão contínua, ii) erosão moderada e/ou semicontínua, iii) relativa estabilidade, iv) progradação moderada e/ou semicontínua e v) progradação elevada. Então, os transectos foram associados em subsetores de acordo com a dinâmica e os possíveis processos atuantes.

4.1.1 Setor oeste

O setor oeste compreende o trecho do limite de Icapuí com Aracati (extremo oeste) até as proximidades da comunidade de Vila Nova, tendo como limite com o setor central o fim da ocorrência das falésias vivas. Este setor caracteriza-se por falésias vivas, cordões arenosos e extensos campos de dunas. Os trabalhos de campo e as análises prévias permitiram entender que possivelmente este trecho apresenta as maiores variações da linha de costa de Icapuí, tanto

erosivas como progradação. Os quatro procedimentos realizados por meio do DSAS geraram dados de 29 transectos que evidenciam a evolução espaçotemporal de pontos a cada 500 m neste setor, sendo especificadas as variações em unidade métrica (TABELA 1).

Deve-se destacar o fato de que não há disponibilidade das fotografias aéreas de 1987 no trecho dos transectos 1 ao 9 e que ainda não há resultados disponíveis para os transectos 28 e 29, pois estes pertenciam ao setor central, sendo gerados com o setor central e posteriormente realocados ao setor oeste.

Assim, com o procedimento SCE, foi possível verificar a distância máxima em metros entre as linhas de costa no período da análise, o que permite constatar o grau máximo de variabilidade/instabilidade de um determinado ponto. De modo geral, perceberam-se variações de 20 a 60 metros, exceto entre os setores 5 e 9, em que as variações estiveram entre 150 e 200 m, compreendendo o setor a sotamar do promontório de Ponta Grossa.

Tabela 1 - Síntese das variações da linha de costa em metros obtidas por cada procedimento do DSAS para o setor oeste.

Praias	Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R ²
Retiro Grande	1	32,17 ↓	-19,72 ↓	-2,03 ↓	-2,22 ↓	45%
	2	19,18 ↓	-19,18 ↘	-1,97 ↘	-2 ↓	81%
	3	37,21 ↓	-33,37 ↓	-3,44 ↓	-3,84 ↓	80%
	4	19,82 ↘	-11,38 ↘	-1,17 ↘	-1,17 ↘	29%
Ponta Grossa	5	241,73 ↑	241,73 ↑	24,88 ↑	18,64 ↑	47%
	6	176,38 ↑	176,38 ↑	18,16 ↑	19,07 ↑	77%
	7	147,54 ↑	131,56 ↑	13,54 ↑	12,56 ↑	60%
	8	133,74 ↑	133,74 ↑	13,77 ↑	13,24 ↑	82%
	9	197,34 ↑	157,67 ↑	16,23 ↑	18,7 ↑	64%
	10	40,39 ↑	22,22 ↘	0,85 ↘	1,27 ↘	60%
Redonda	11	28,75 ↘	-8,04 ↘	-0,31 ↘	-0,37 ↘	10%
	12	33,82 ↘	14,34 ↘	0,55 ↘	0,74 ↘	35%
	13	24,85 ↘	-6,44 ↘	-0,25 ↘	0,23 ↘	5%
	14	15,37 ↘	-8,85 ↘	-0,26 ↘	0 ↘	0%
Peroba	15	24,64 ↘	-2,85 ↘	-0,11 ↘	0,33 ↘	11%
	16	15,88 ↘	-11,64 ↘	-0,45 ↘	-0,17 ↘	8%
	17	17,67 ↓	-16,37 ↘	-0,63 ↘	-0,37 ↘	18%
	18	18,04 ↓	-17,71 ↘	-0,68 ↘	-0,43 ↘	25%
Picos	19	17,16 ↓	-17,16 ↘	-0,66 ↘	-0,61 ↘	68%
	20	35,82 ↘	-1,63 ↘	-0,06 ↘	0,3 ↘	4%
	21	16,56 ↘	-12,99 ↘	-0,5 ↘	-0,48 ↘	53%
Vila Nova	22	33,15 ↓	-25,81 ↘	-0,99 ↘	-1,03 ↘	77%
	23	23,11 ↘	-5,66 ↘	-0,22 ↘	0 ↘	0%
	24	34,57 ↑	26,96 ↘	1,03 ↘	1,05 ↘	56%
Vila Nova	25	21,3 ↑	19,48 ↘	0,75 ↘	0,45 ↘	29%
	26	28,82 ↑	20,94 ↘	0,8 ↘	0,87 ↘	59%
	27	60,65 ↑	19,36 ↘	0,74 ↘	1,27 ↘	29%
Vila Nova	28	29,74 ↘	-3,06 ↘	-0,12 ↘	-0,28 ↘	6%
	29	20,73 ↘	-5,07 ↘	-0,19 ↘	-0,16 ↘	5%

LEGENDAS ESPECÍFICAS	
SCE: Distância máxima entre as linhas de costa (m).	
NSM: Distância entre a linha de costa mais recente e a mais antiga (m).	
EPR: Distância em metros da linha de costa mais recente para a mais antiga, dividido pelo período da análise (m/ano).	
LRR: Estatística de variação considerando todas as linhas de costa (m/ano).	
R²: Valor associado a estatística do LRR. Representa o quanto em porcentagem a linha de regressão consegue explicar a amostra, variando de 0 a 1.	

LEGENDA GERAL	
Indica erosão contínua	Indica progradação moderada e/ou semicontinua
Indica erosão moderada e/ou semicontinua	Indica progradação contínua
Indica erosão relativa estabilidade	

Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O procedimento NSM calculou a distância em metros entre as linhas mais antiga e mais recente, indicando a variação absoluta da linha de costa de acordo com os transectos no recorte temporal definido. Dos 29 transectos, dez apontaram progradação, compreendendo o trecho dos transectos 5 ao 10, 12 e 24 ao 27. As variações positivas foram muito altas dos transectos 5 ao 9, entre 130 e 240 m e por volta dos 20 m nos transectos 10, 12 e 24 ao 27. Os trechos dos transectos 1 ao 4, 8, e 13 ao 23 apresentaram erosão na linha mais recente em relação a mais antiga, sendo identificado um avanço do mar de 1 a 34 m.

Com o cálculo fornecido pelo EPR foi possível obter a média de variação anual (positiva ou negativa) baseada no recorte temporal conforme os transectos, ou seja, a variação total (NSM) dividida pelo período (anos). Os maiores valores de variação anual foram positivos, referentes à progradação entre os setores 5 e 9 (praia de Ponta Grossa), com oscilações entre 13 e 15 m/ano, aproximadamente. Os maiores valores negativos concentram-se no trecho dos setores 1 ao 4 (praia de Retiro Grande), onde a erosão média variou entre 1 e 3,5 m/ano. Vale ressaltar que o recorte temporal entre os transectos 1 e 9 é menor, da ordem de 10 anos. Entre os transectos 10 e 27, as variações médias anuais foram pequenas, entre processos erosivos na maioria dos casos variando entre 0 e -1 m, e processos progradacionais isolados entre 0 e 1 m.

O LRR produziu os resultados mais confiáveis para a tendência de variação anual da linha de costa, pois considerou todas as linhas de costa para a geração dos dados. De modo geral, o LRR confirma os resultados dos procedimentos anteriores. O resultado apontou que 13 transectos mostram praias com variação anual negativa (erosão), 2 com valor zero e 14 com variação positiva (acrescimento). Sendo o trecho entre os transectos 1 e 4 com maior erosão, entre 1 e 4 m/ano, o trecho dos transectos 5 ao 9 com maior crescimento, entre 13 e 19 m/ano e o trecho entre os transectos 10 e 27 com variação anual entre 0 e 2 m/ano, positivos ou negativos.

Os dados gerados pelo DSAS permitiram gerar gráficos mediante os quais foi possível posicionar as linhas de costa de variados anos em relação à linha de base, onde se pode observar os movimentos de erosão e crescimento ao longo do recorte temporal, relacionando essas tendências com fatores climáticos e oceanográficos, por exemplo.

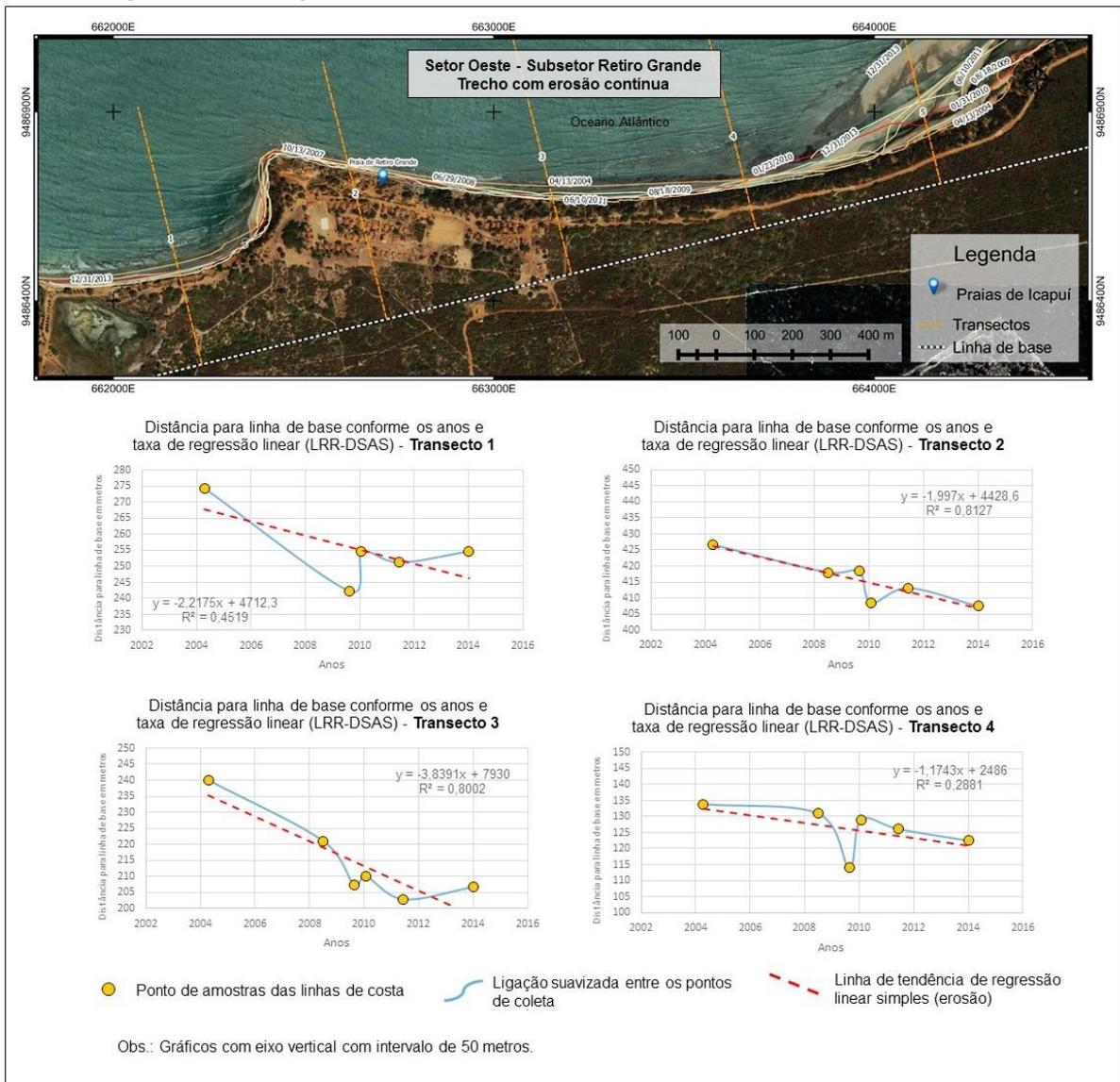
O R^2 , valor associado a estatística do LRR expressou resultado acima de 50 % em 12 dos 29 transectos, sendo a linha de regressão melhor aplicável entre os transectos 2 e 10 (exceto 5), ou seja, setores que expressam uma tendência contínua e bem definida. Nos setores 11 a 18, 20, 23, 25 e 27, o baixo percentual dado sugere elevada variabilidade da linha de costa, ou seja, não se tem uma tendência bem definida.

A integração deste banco de dados fornecido por variados procedimentos matemáticos e estatísticos permitiu a identificação dos processos erosivos e progradacionais do

setor oeste da linha de costa em Icapuí, por meio dos quatro procedimentos do DSAS e classificar subsetores ou fácies de acordo com a proximidade geográfica e os processos ao longo do tempo, tendo como referência principal o LRR.

Assim, o trecho dos transectos 1 ao 4, denominado de subsetor Retiro Grande, foi classificado como trecho em erosão contínua, pois exibiu predominantemente processos erosivos no recorte temporal e possui linha de tendência muito inclinada no gráfico, o que é comprovado pelo resultado do R² que está próximo a 1, sugerindo que a linha de tendência se adequa bem aos dados, exceto no transecto 4, que indica um ponto anômalo referente ao ano de 2009 (CARTA-IMAGEM 1)

Carta-imagem 1 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Retiro Grande.

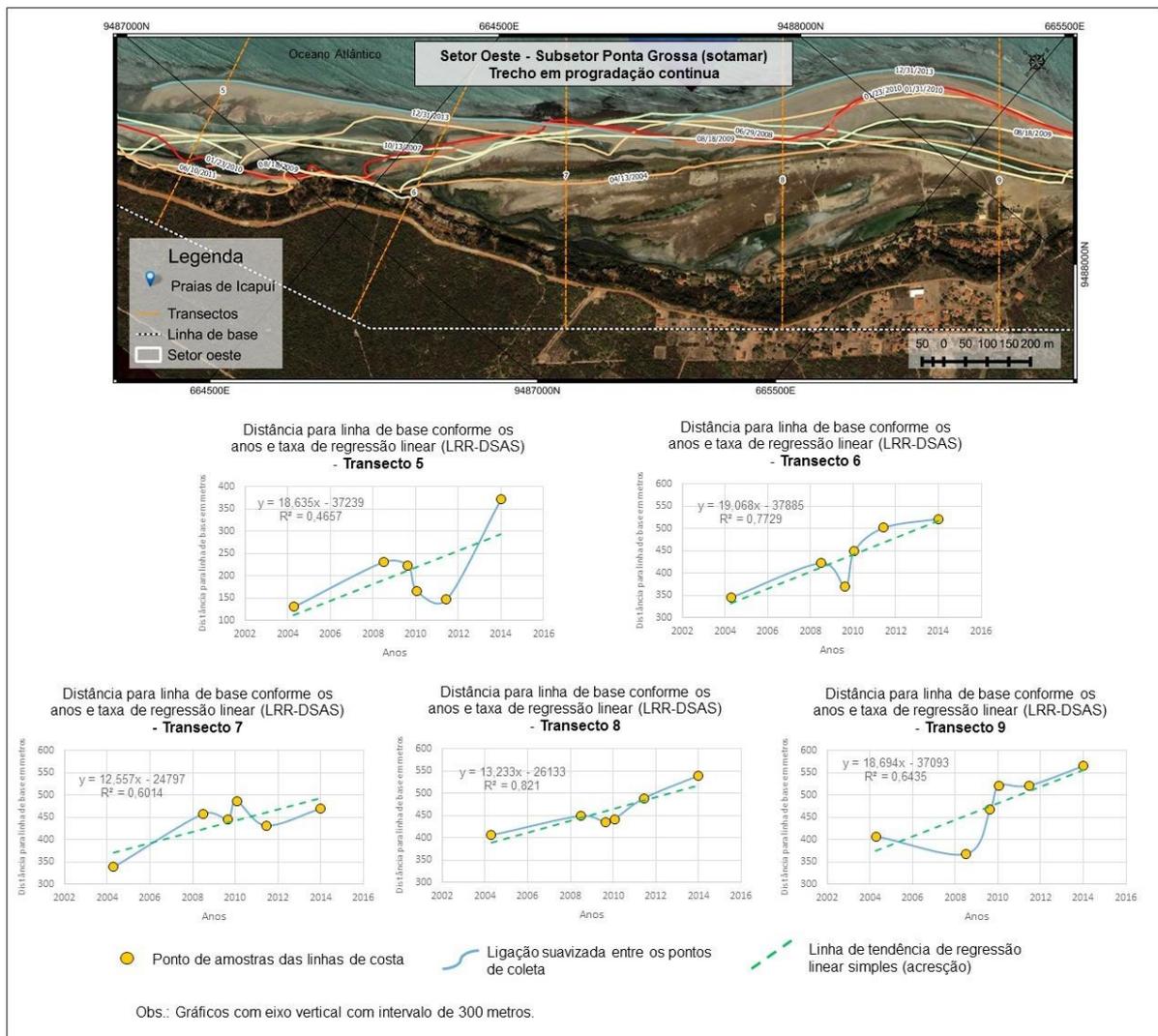


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Os resultados dos cinco transectos seguintes em direção leste, denominado de subsetor Ponta Grossa (sotamar), compreendendo o trecho dos transectos 5 ao 9, apresentaram uma tendência totalmente inversa. Os resultados dos procedimentos indicaram elevada acresção de faixa de praia, a mais alta verificada no setor oeste e possivelmente em todo o Município.

Os resultados no NSM permitem entender a variação absoluta deste subsetor entre 150 e 240 m de acresção e média em EPR de 13 a 25 m/ano. A taxa de regressão linear (LRR) apontou variação entre 12 e 20 m/ano. Dessa forma, classificou-se este subsetor como um trecho em progradação contínua. Percebem-se no mapa as grandes variações da linha de costa e nos gráficos as linhas de tendências positivas e a ligação entre os pontos quase sempre referentes à acresção (CARTA-IMAGEM 2).

Carta-imagem 2 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Ponta Grossa (sotamar).

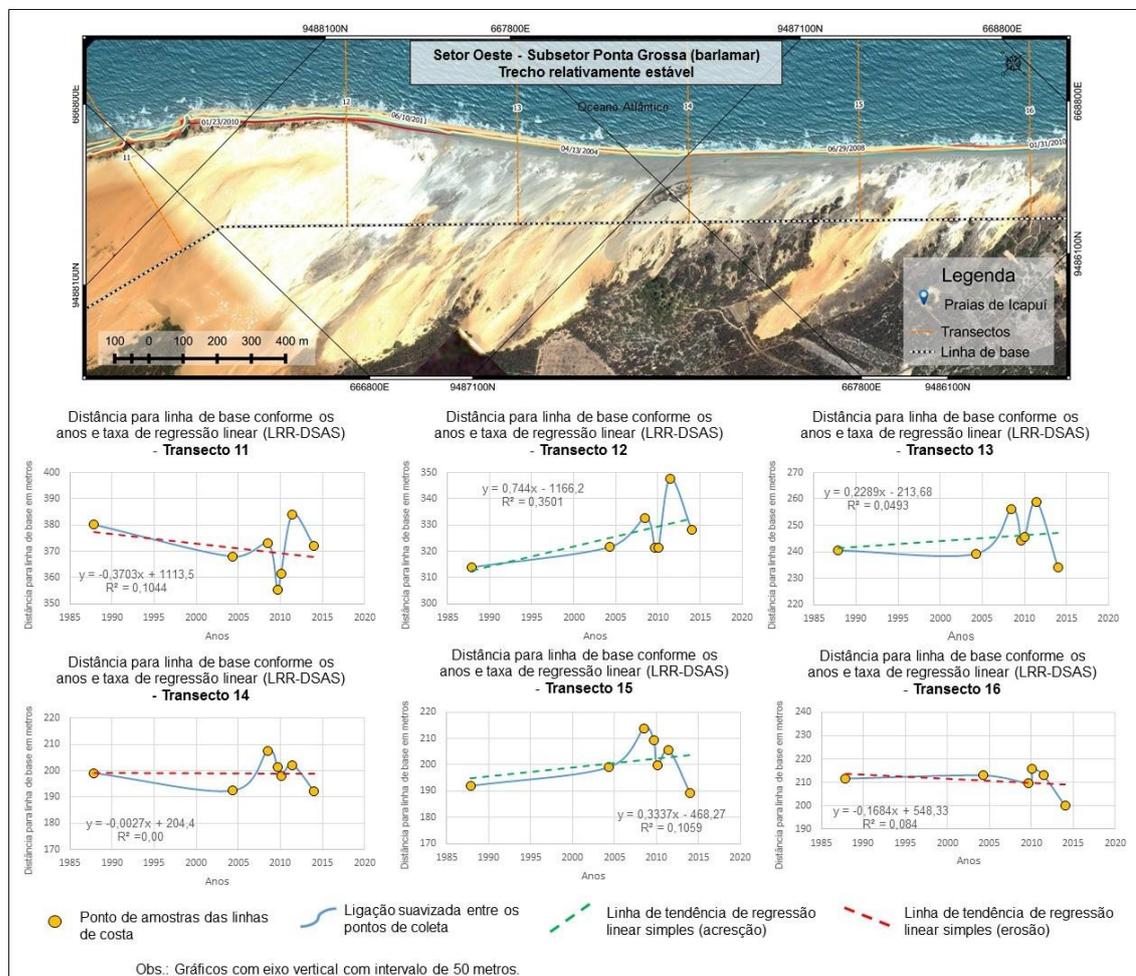


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O subsetor seguinte compreende um trecho com pequenas variações na linha de costa, comparando-se com os demais transectos. Este trecho segue desde o limite com a

comunidade de Redonda até a face oeste do promontório de Ponta Grossa, compreendendo uma área pouco ocupada e relacionada a falésias vivas e campos de dunas de várias gerações e foi denominado de subsetor Ponta Grossa (barlamar). Assim, o trecho compreendido pelos transectos 11 ao 16 denota baixas variações absolutas (NSM) no período de 1987 a 2014, em torno 10 m, predominantemente negativos (erosão), exceto no transecto 12, onde progradou quase 15 m. Associado a isso, a média (EPR) e a tendência (LRR) de variação também apresentaram baixos valores entre -0,5 e 0,5 m/ano, o que motivou classificar este trecho como relativamente estável. Os dados posicionados nos gráficos e os valores de R^2 próximos a zero, no entanto, permitem entender que, apesar da relativa estabilidade, a linha de costa variou entre movimentos erosivos e progradacionais ao longo do tempo e não demonstrou uma tendência bem definida (CARTA-IMAGEM 3).

Carta-imagem 3 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Ponta Grossa (barlamar).

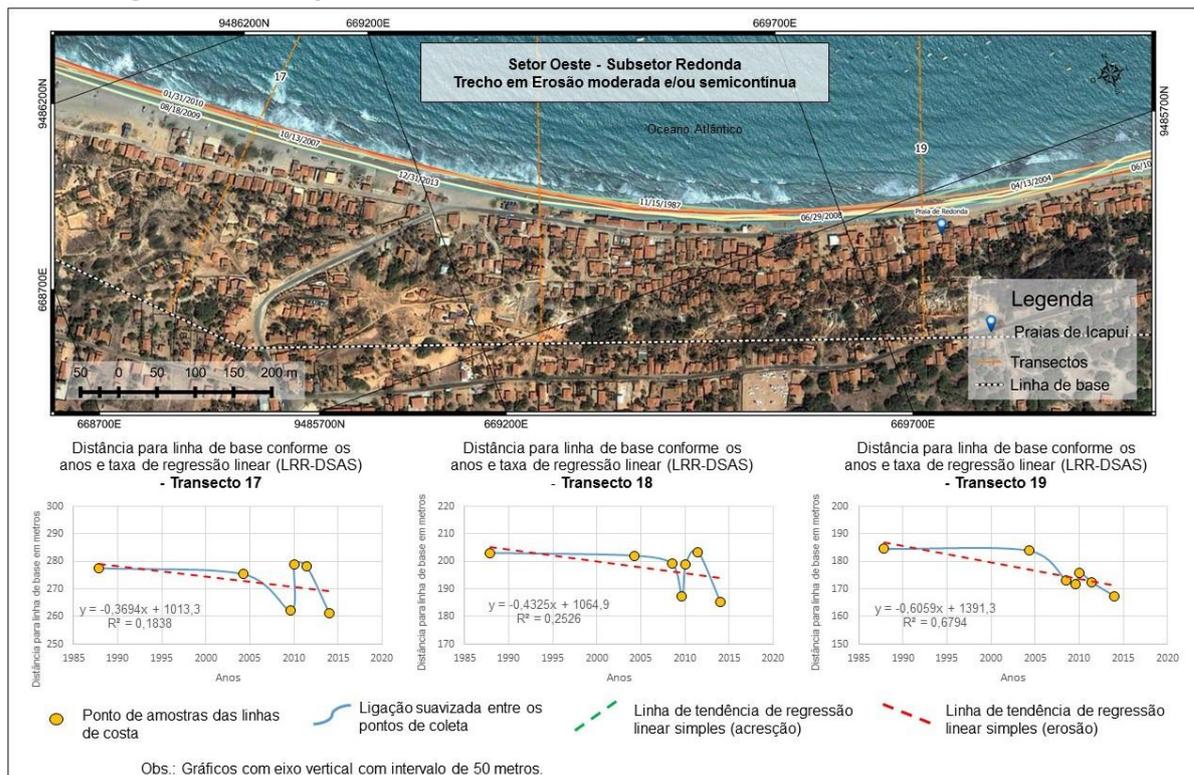


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O subsetor posterior compreende o trecho dos transectos 17 ao 19, vinculado à praia de Redonda, importante comunidade litorânea do Município, posicionada em uma enseada

entre dois pequenos promontórios, indicando variações negativas moderadas e semicontínuas ao longo do período. Os recuos absolutos (NSM) foram da ordem de 15 m, enquanto os valores médios (EPR) e de tendência (LRR) foram inferiores a -1 m/ano. Os dados posicionados nos gráficos e as linhas de tendência geradas pelo LRR, além dos baixos valores resultantes de R^2 , permitiram classificar este trecho como em erosão moderada e/ou semicontínua, pois apresentaram movimentos erosivos e progradacionais irregulares ao longo dos anos e possuem linhas de regressão pouco inclinadas, o que não significa dizer que as influências negativas desse avanço do mar sejam reduzidas, pois a ocupação próxima a faixa de praia condicionou danos materiais (CARTA-IMAGEM 4).

Carta-imagem 4 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Redonda.

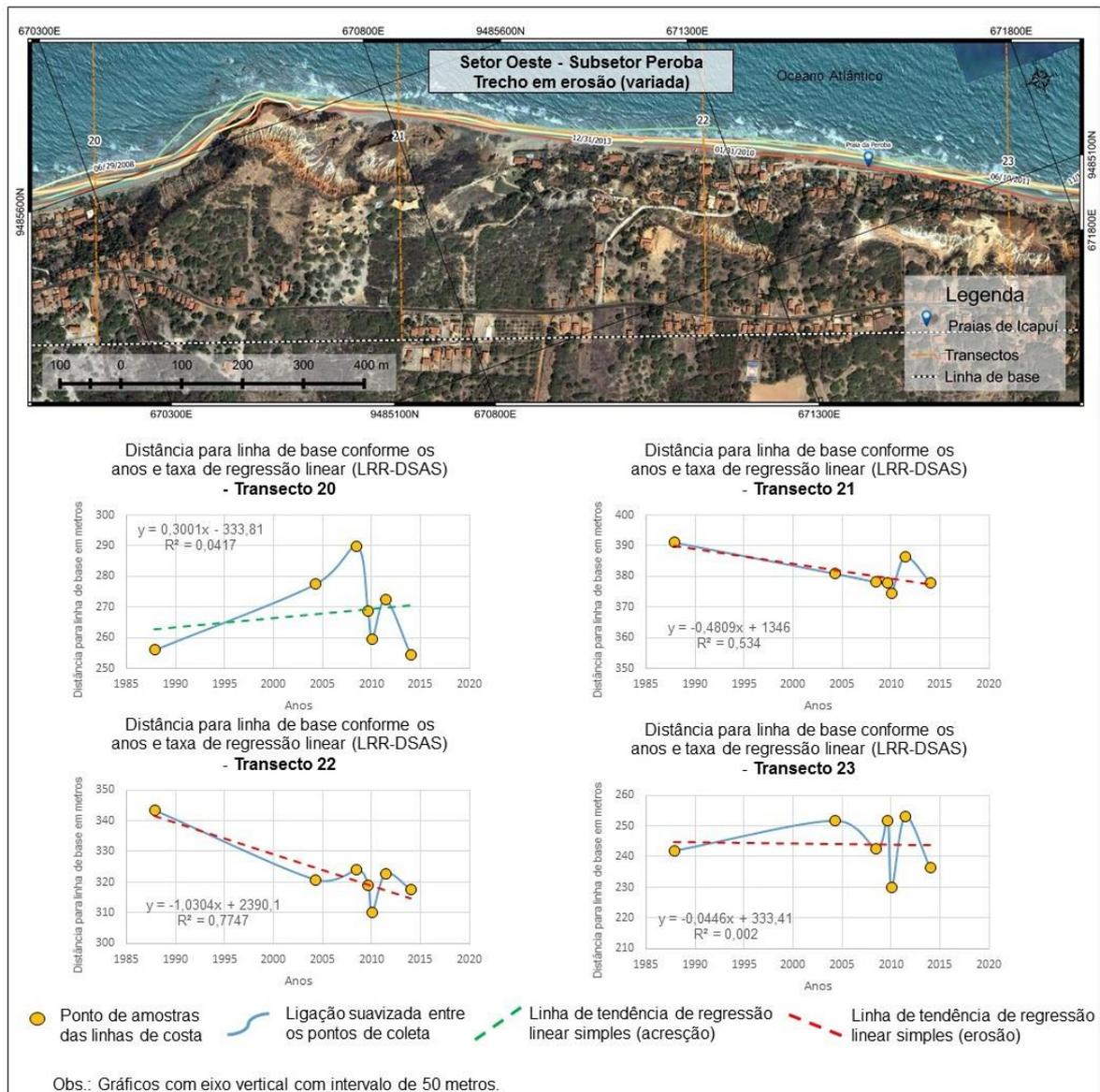


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O subsetor seguinte possui aproximadamente 2 km e se estende desde o limite leste da comunidade de Redonda até a comunidade de Peroba. Os quatro transectos agrupados aqui possuem processos predominantemente erosivos, mas com ocorrências diferenciadas. Os transectos 20 e 23 apresentam pequena variação absoluta de -1,63 m e -5,66 m, respectivamente, ao longo do período, e taxas médias e tendências próximas a zero, o que permitiu classificá-los como relativamente estáveis, apesar das variadas mudanças erosivas e progradacionais ao longo do período, como é verificável no gráficos referentes aos respectivos transectos e comprovável pelo valor de R^2 próximo a zero. Os transectos 21 e 22 mostram erosão mais intensa, sendo

verificado um recuo absoluto de 13 m e 25,81 m, respectivamente, e média e tendências entre -0,5 m e -1 m, o que evidencia um trecho em erosão moderada e/ou semicontínua no transecto 21 e um trecho em erosão contínua intensa e contínua no transecto 22. Em síntese, pôde-se verificar que o subsetor Peroba possui predominantemente processos erosivos, mas de intensidades diferentes (CARTA-IMAGEM 5).

Carta-imagem 5 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Peroba.

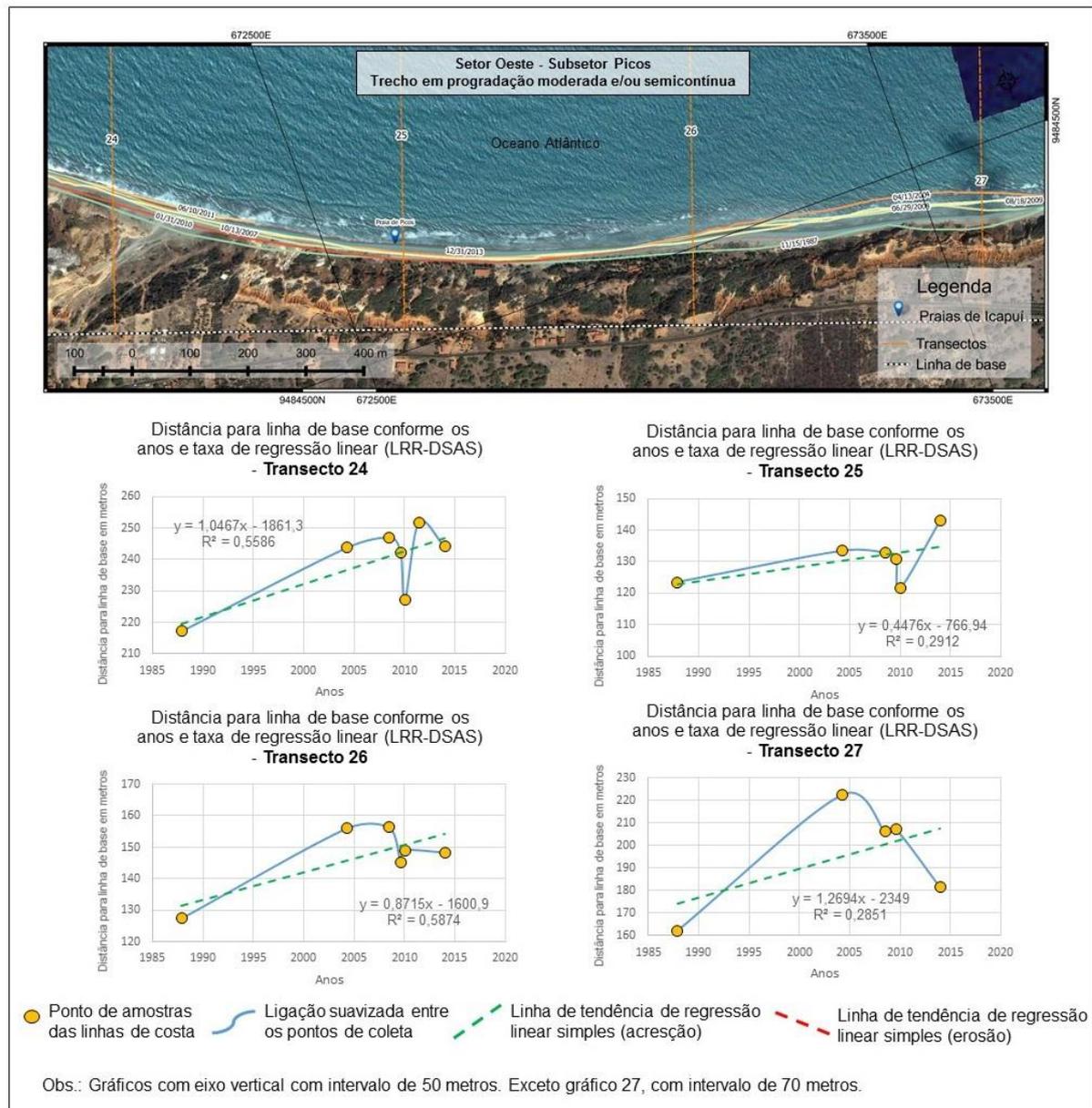


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O último trecho do setor oeste compreende aproximadamente 2 km de linha de costa desde a comunidade de Picos até o limite com o setor central, nas proximidades da praia de Vila Nova, do transecto 24 ao 27. Os dados resultantes dos do DSAS apontaram variações predominantemente relacionadas a progradação, com variações absolutas (NSM) próximas a

20 m e médias (EPR) e tendências (LRR) positivas em torno de 1 m/ano. Os valores de R^2 indicam que as linhas de tendência respondem entre 30 e 60% as variações da linha de costa, o que é explicado pela ocorrência de pontos anômalos nos gráficos, principalmente nos anos de 2009 e 2010. A integração dos resultados permitiu classificar este subsetor como um trecho em progradação moderada e/ou semicontínua (CARTA-IMAGEM 6).

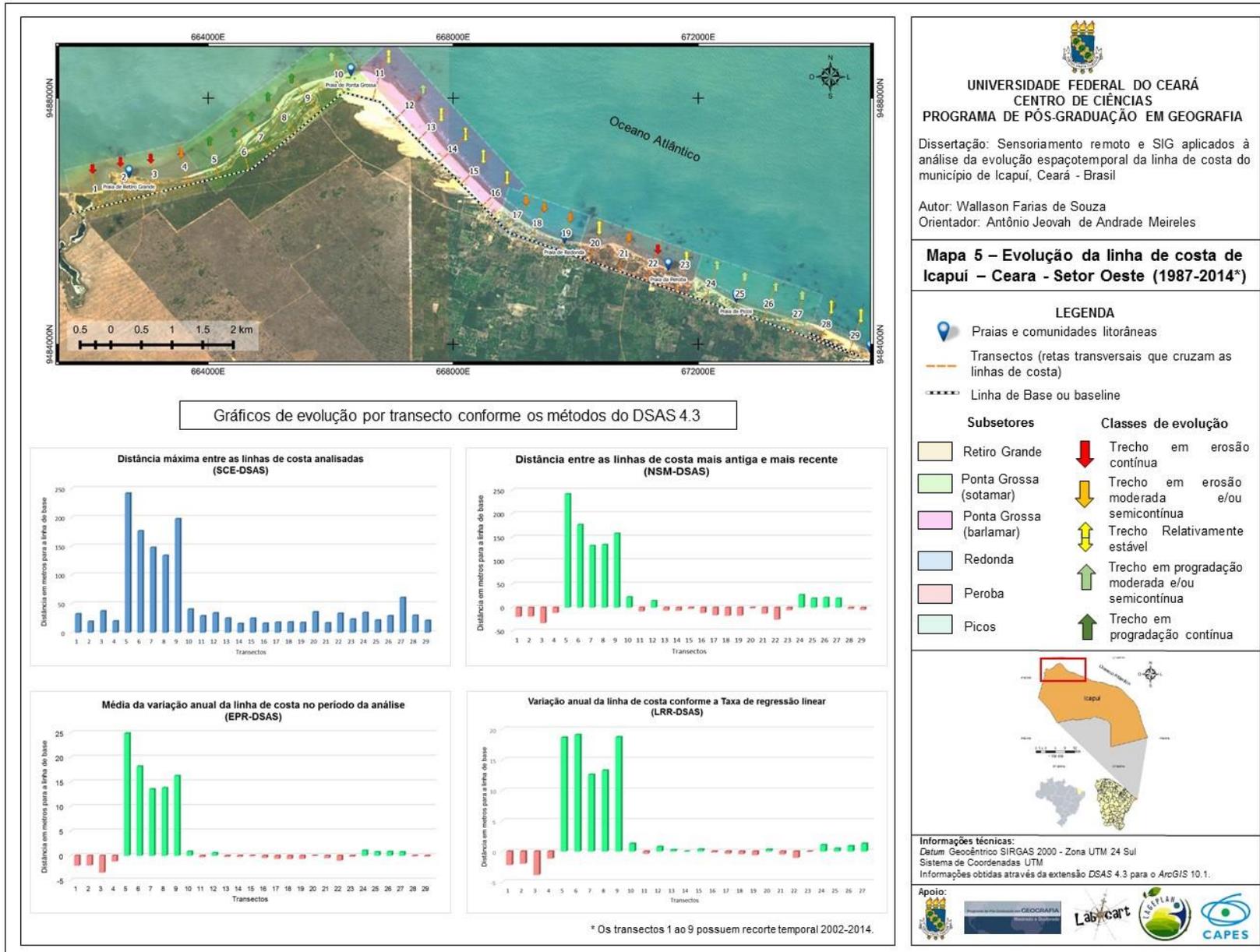
Carta-imagem 6 - Evolução da linha de costa do setor oeste - subsetor Picos.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O MAPA 5 sintetiza os resultados e a classificação dos processos do setor oeste. Em síntese, este foi compartimentado em seis subsetores, tendo como base a localização geográfica e os processos identificados.

Mapa 5 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Oeste (1987-2014).



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Dos 29 transectos analisados, quatro exibiram erosão contínua, cinco apontaram erosão moderada e/ou semicontínua, nove demonstraram relativa estabilidade, seis progradação moderada e/ou semicontínua e outros cinco registraram progradação contínua, evidenciando que em pelo menos nove transectos deve-se atentar para os processos erosivos da linha de costa.

4.1.2 Setor central

O setor central compreende o trecho onde há ocorrência de dois sistemas ambientais relacionados às flutuações do nível relativo do mar, sendo eles o delta de maré (vinculado ao estuário da Barra Grande) e os terraços marinhos. Este trecho limita-se ao oeste com o início da ocorrência das falésias, nas proximidades da comunidade de Vila Nova, e ao leste com o fim da ocorrência do delta de maré.

Os trabalhos de campo neste setor possibilitaram identificar o fato de que, em dois trechos, existem variações mais significativas, sendo uma erosiva relacionada à praia da Barrinha, onde a erosão já causou a derrubada de residências e equipamentos públicos, e outra progradação, relacionada à flecha litorânea (*spit*) no estuário da Barra Grande.

A aplicação do DSAS para este setor se deu através de quatro procedimentos estatísticos e a geração de transectos a cada 500m, que permitiram analisar a evolução espaçotemporal de 29 pontos distribuídos em aproximadamente 15 km de linha de costa, sendo especificadas as variações em unidade métrica (TABELA 2).

Deve-se destacar o fato de que o motivo de os gráficos da taxa de regressão linear (LRR) referentes aos transectos 19 e 20 não apresentarem referências à linha de costa dos anos de 1980, decorre do crescimento da flecha litorânea no estuário da Barra Grande, no sentido leste - oeste, motivando a criação de linha de costa em uma área anteriormente caracterizada pela desembocadura do canal estuarino. O transecto 18 refere-se ao exutório do canal da Barra Grande em todas as imagens do período analisado, o que justifica os valores nulos em todas as estatísticas.

O procedimento SCE permitiu verificar a máxima variação da linha de costa em cada um dos transectos, o que pode indicar a instabilidade de determinados pontos da linha de costa. De modo geral, as variações estiveram entre 15 e 50 m, sendo alguns transectos e pequenos trechos com maiores variações, como nos transectos 9 ao 13, na praia de Barrinha, com variações de aproximadamente 110 m e nos transectos 21, 22 e 26, com variações um pouco superiores a 50 m, correspondendo à área a barlamar do estuário da Barra Grande.

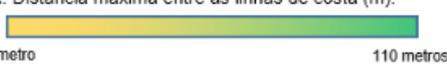
O NSM indicou a distância em metros entre as linhas mais antigas e mais recentes, indicando a variação absoluta da linha de costa, de acordo com os transectos no recorte temporal

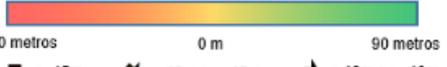
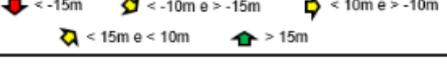
definido. Dos 29 transectos analisados, 14 apontaram progradação, compreendendo os trechos dos transectos 5 ao 7 e 23 ao 29, e os transectos 13, 15, 17 e 19, além do valor nulo referente ao transecto 18. A principais variações observadas neste procedimento, indicam um processo erosivo acentuado nos transectos 9 ao 12, correspondendo à praia da Barrinha com o recuo da linha de costa em aproximadamente 110 m, e outros recuos de menor intensidade, mas também relevantes em Barreiras da Sereia (2 ao 4) e Barra Grande (21 e 22). Além destes comportamentos erosivos, foram observadas, também, movimentos que caracterizaram a deposição de sedimentos e a progradação considerável da linha de costa nos transectos 23 ao 29, com uma deposição de até 88 m no transecto 26. Além deste, outros trechos e transectos também apontaram acresção de menor relevância ao longo do setor central.

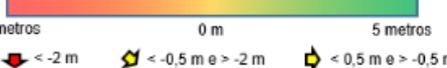
Tabela 2 - Síntese das variações da linha de costa em metros obtidas, por cada procedimento do DSAS para o setor central.

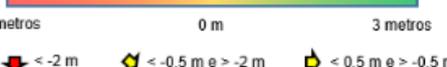
Praias	Transectos	SCE	NSM	EPR	LRR	R ²
Vila Nova/ Barreiras da Sereia	1	12,53	-10,9	-0,41	-0,35	62%
	2	19,12	-15,5	-0,58	-0,5	60%
	3	31,72	-25,8	-0,97	-0,96	84%
	4	32,02	-24,8	-0,93	-0,83	51%
Barreiras	5	33,55	15,4	0,58	0,36	12%
	6	38,14	22,82	0,86	0,72	40%
	7	31,18	31,18	1,17	0,48	30%
	8	41,99	-42	-1,63	-1,16	69%
Barrinha	9	76,34	-73,3	-2,85	-2,72	91%
	10	109,44	-101	-3,93	-4,45	94%
	11	109,34	-109	-4,25	-4,23	94%
	12	49,01	-38,7	-1,5	-1,84	87%
	13	55,89	49,65	1,93	1,87	73%
Requeneua	14	28,79	-0,58	-0,02	-0,44	15%
	15	35,82	19,48	0,76	0,61	17%
	16	24,76	-6,07	-0,24	-0,45	20%
Barra Grande	17	20,03	6,75	0,26	-0,17	4%
	18	0	0	0	0	0%
	19	23,55	12,83	4,28	-1,36	3%
	20	30,5	-8,57	-0,76	-1,59	25%
	21	66,67	-28,5	-1,07	-1,16	33%
Placas	22	53,41	-43,7	-1,64	-1,69	77%
	23	30,64	10,16	0,38	0,53	28%
	24	18,03	18,03	0,68	0,35	26%
	25	46,89	37,93	1,43	1,54	87%
	26	88,2	88,2	3,32	2,73	89%
	27	31,8	31,8	1,2	0,94	70%
	28	21,85	21,85	0,82	0,78	91%
	29	49,68	49,68	1,87	1,51	84%

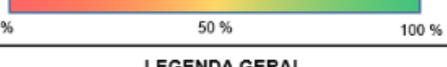
LEGENDAS ESPECÍFICAS

SCE: Distância máxima entre as linhas de costa (m).

0 metro 110 metros

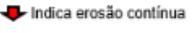
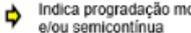
NSM: Distância entre a linha de costa mais recente e a mais antiga (m).

-110 metros 0 m 90 metros


EPR: Distância em metros da linha de costa mais recente para a mais antiga, dividido pelo período da análise (m/ano).

-5 metros 0 m 5 metros


LRR: Estatística de variação considerando todas as linhas de costa (m/ano).

-5 metros 0 m 3 metros


R²: Valor associado a estatística do LRR. Representa o quanto em porcentagem a linha de regressão consegue explicar a amostra, variando de 0 a 1.

0 % 50 % 100 %

LEGENDA GERAL

 Indica erosão contínua  Indica progradação moderada e/ou semicontínua

 Indica erosão moderada e/ou semicontínua  Indica progradação contínua

 Indica relativa estabilidade

Fonte: Elaborado própria.

Por intermédio do procedimento EPR, obteve-se a média da variação da linha de costa em metros por ano para cada um dos 29 transectos. Este cálculo possibilitou estimar a média de variação tendo como base os dados inseridos. Então, observou-se que a média para todos os transectos está entre -5 m/ano e $+5$ m/ano, destacando os valores negativos, ou seja, de erosão nos transectos 9, 10 e 11, correspondente à praia da Barrinha, com recuos de até $-4,25$ m/ano, e os valores positivos, ou seja, de acresção referente aos transectos 19 e 23 ao 29, relacionados com uma flecha litorânea a barlar do estuário da Barra Grande, com acresção de até $4,28$ m/ano.

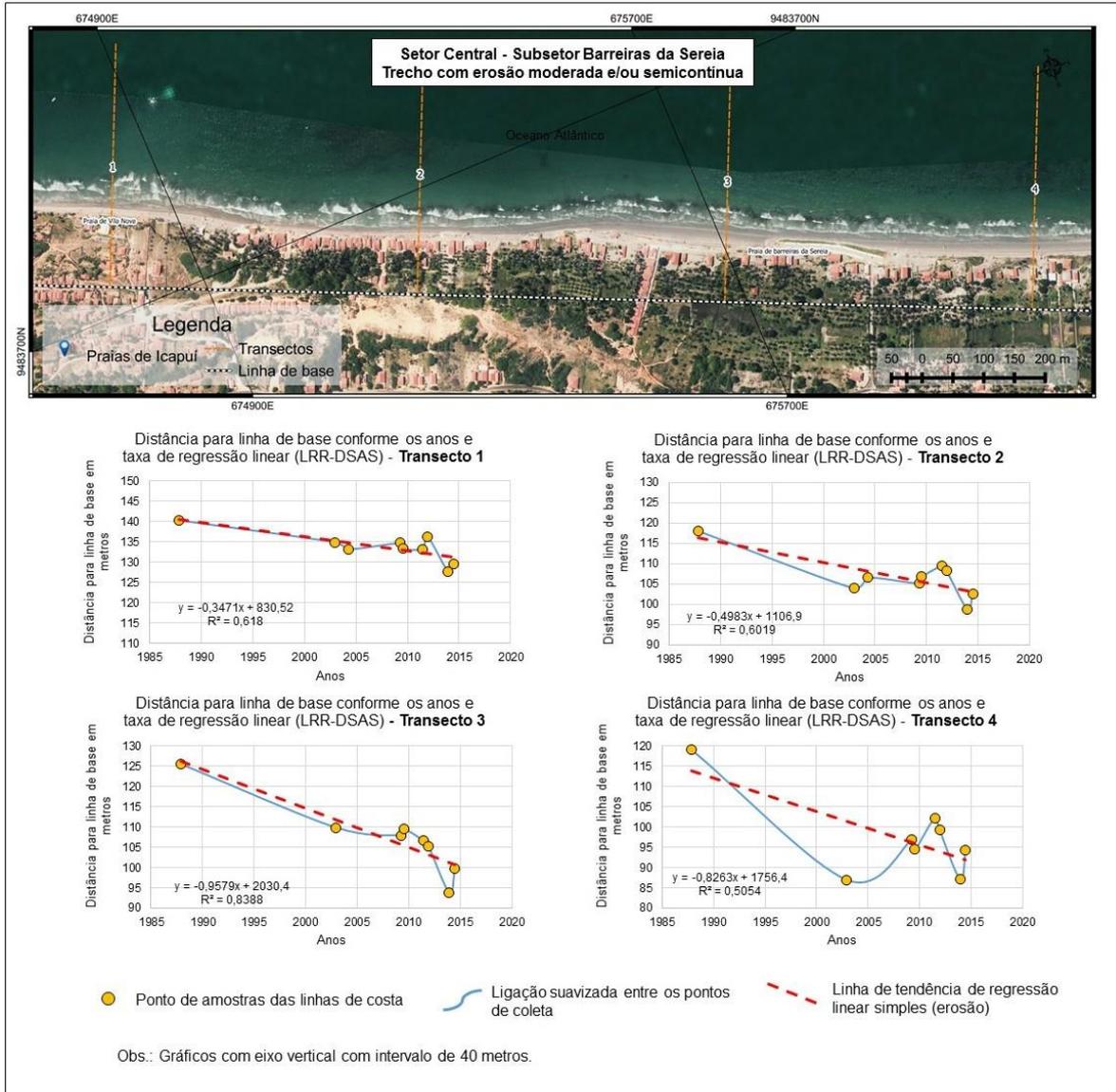
A taxa de regressão linear fornecida pelo procedimento LRR indicou com precisão a variação anual da linha de costa, considerando todos os vetores inseridos no banco de dados. Os resultados desse procedimento apontam um intervalo de variação de -5 m/ano a $+3$ m/ano, tendo a maioria dos transectos resultados próximos aos fornecidos pelo EPR. Assim, impõe-se o destaque nas tendências extremas observadas, sendo as mais negativas nos transectos 9 ao 11, com recuos de até $-4,45$ m/ano, e as tendências mais positivas identificadas nos transectos 13 e 25 ao 29, com acresção de até $2,72$ m/ano.

O R^2 , valor associado à estatística do LRR e que indica o quanto a linha de regressão responde aos dados da amostra, exibiu valores superiores a 50% em 16 transectos, sendo as tendências mais bem definidas aquelas entre os transectos 8 ao 13 e 25 ao 29, o que permite relacionar o LRR e o R^2 e indicar uma tendência erosiva bem definida no primeiro caso e uma tendência progracional bem definida no segundo. Os outros transectos que apresentam percentual inferior a 50% indicam elevada variabilidade na posição da linha de costa, não se observando assim nenhuma tendência bem definida no recorte temporal analisado.

Com a integração dos dados produzidos pelos procedimentos estatísticos no DSAS, classificaram-se os subsetores de acordo com a proximidade geográfica e as evoluções identificadas, tendo a taxa de regressão linear maior relevância.

Assim, observou-se uma tendência erosiva entre os transectos 1 e 4, relacionada às praias de Vila Nova e Barreira da Sereia, classificando como um trecho em erosão moderada ou semicontínua, pois os procedimentos indicaram erosão moderada em torno de 20 metros no recorte temporal analisado, a linha de tendência esteve consideravelmente inclinada no gráfico em direção a linha de base e a ligação suavizada entre os pontos exibiu predominantemente processos erosivos (CARTA-IMAGEM 7).

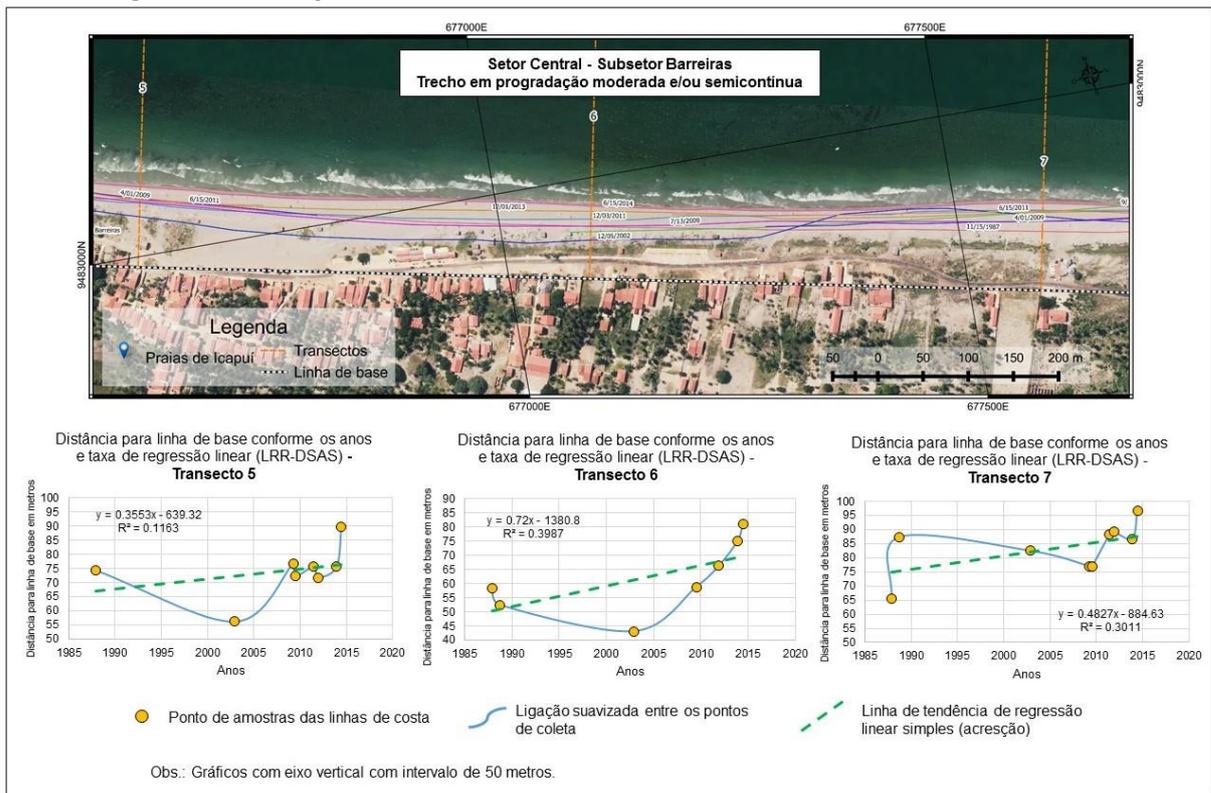
Carta-imagem 7 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barreiras da Sereia.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Na sequência, nas proximidades da praia de Barreiras, observou-se um comportamento espaçotemporal da linha de costa diferente do anterior. Enquanto o movimento foi predominantemente negativo no primeiro subsetor, no segundo, identificou-se tendência positiva, ou seja, de acresção da linha de costa. Três transectos, 5 ao 7, exibiram este comportamento com variação total entre 15 e 30 metros de 1987 a 2014 e médias (EPR) e tendências (LRR) entre 0,5 e 1 metro. Assim, categorizou-se este subsetor como um trecho em progradação moderada e/ou semicontínua, visto que as linhas de tendências nos gráficos dadas pelo LRR mostraram declividade considerável, distanciando-se da linha de base (CARTA-IMAGEM 8).

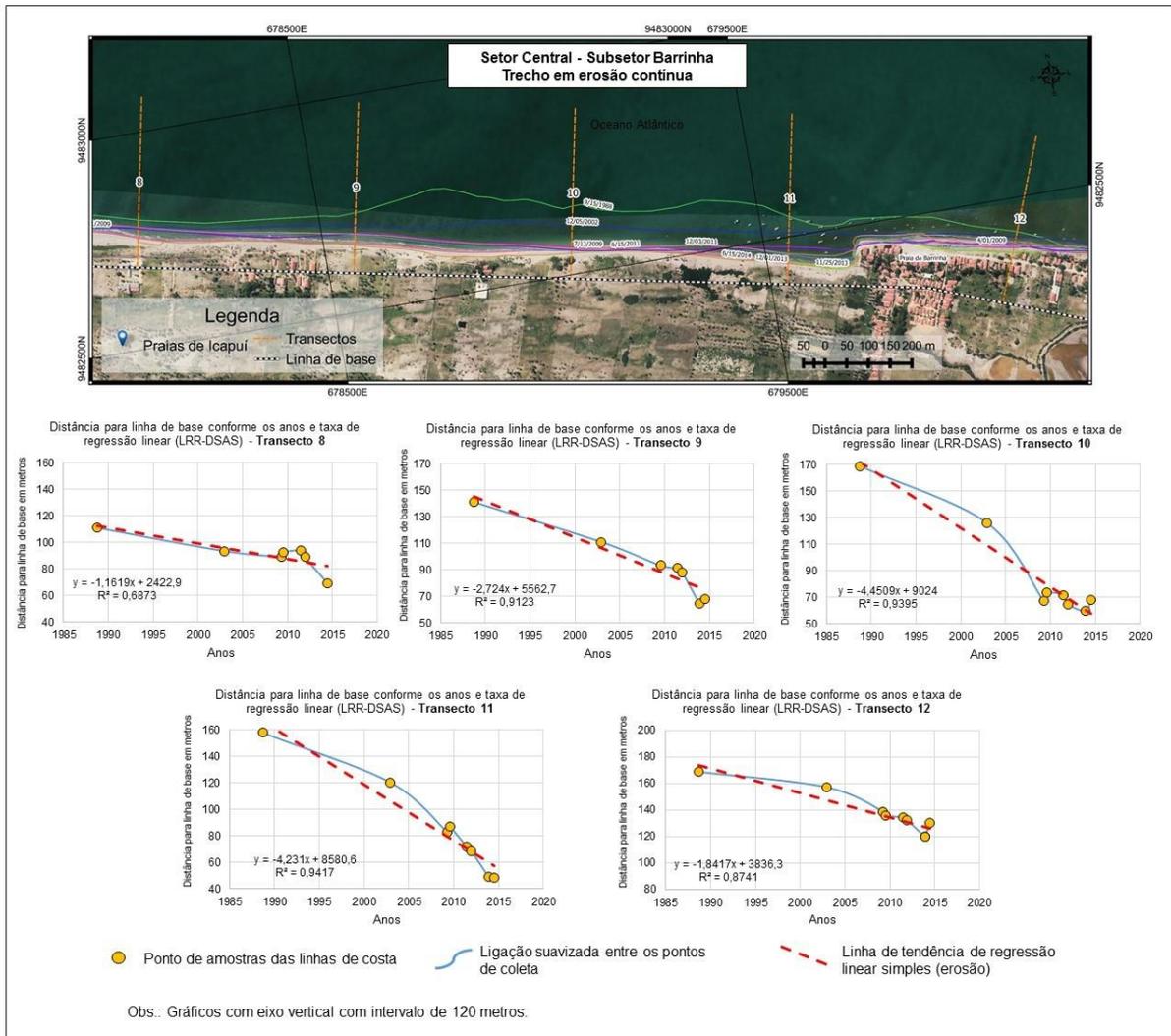
Carta-imagem 8 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barreiras.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Evidenciou-se no próximo subsector uma tendência erosiva predominante. Tal fato já havia sido previamente identificado nos trabalhos de campo iniciais e no levantamento de informações sobre a erosão costeira no Município junto ao poder público, visto que existe um muro de contenção com pedras na tentativa de diminuir a erosão costeira. Portanto, os dados fornecidos pelo DSAS neste trecho comprovaram a forte tendência erosiva ao longo dos anos em um trecho de aproximadamente 2,5 km. A erosão absoluta (NSM) no período 1987 – 2014 esteve entre -42 e -109 metros, sendo a média (EPR) e a tendência (LRR) entre -1,5 e -4,3 metros por ano. O valor do R^2 sempre esteve acima de 70% para este trecho, o que indica uma tendência evolutiva bem definida. De posse dessas informações e com o auxílio dos gráficos dos transectos 8 ao 12, indicando uma linha de tendência bastante inclinada na direção da linha de base, categorizou-se este subsector como um trecho em erosão contínua (CARTA-IMAGEM 9).

Carta-imagem 9 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barrinha.

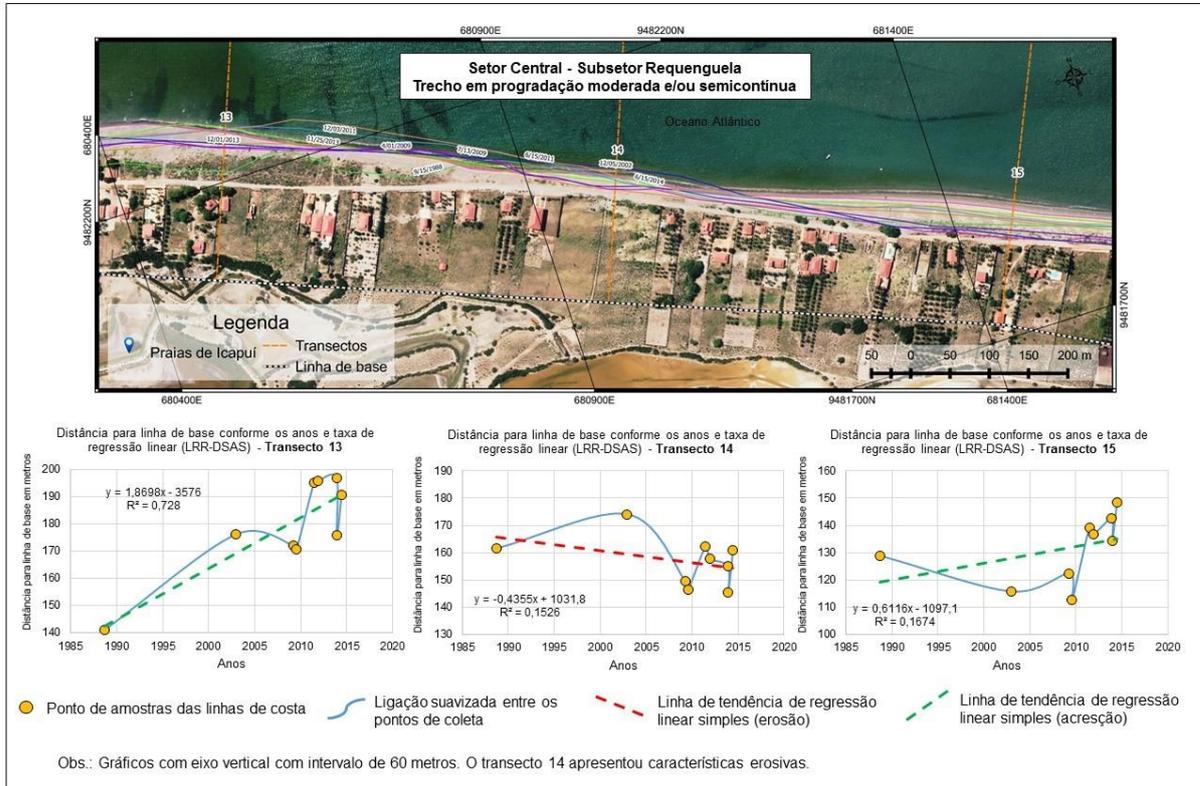


Fonte: Elaborado pelo autor (SOUZA, 2016).

O subsetor seguinte, denominado como Requenguela, foi composto pelos três transectos seguintes, 13 ao 15, e apresentou baixa variabilidade, em geral, exceto no transecto 13, com variação positiva de quase 50 metros. O transecto 14 expressou relativa estabilidade com variações absolutas, médias e tendências próximas a zero. Os valores obtidos no NSM nos transectos 13 e 15, com variações absolutas de 49,65 m e 19,48 m, respectivamente, indicam grande progradação ao longo dos 27 anos analisados, contudo os valores médios (EPR) e de tendência (LRR) por ano sugerem uma progradação moderada e/ou semicontínua. Dessa forma, apesar da disparidade de indícios levantados pelos dados resultantes dos procedimentos do DSAS, avaliou-se este subsetor como um trecho em progradação moderada e/ou semicontínua, pois as linhas de tendências dos gráficos estão inclinadas distanciando-se da linha de base nos gráficos referentes aos transectos 13 e 14, enquanto no 14 ela se encontra levemente inclinada

na direção da linha de base, mas percebe-se um movimento de estabilidade nos gráficos mais recentes (CARTA-IMAGEM 10).

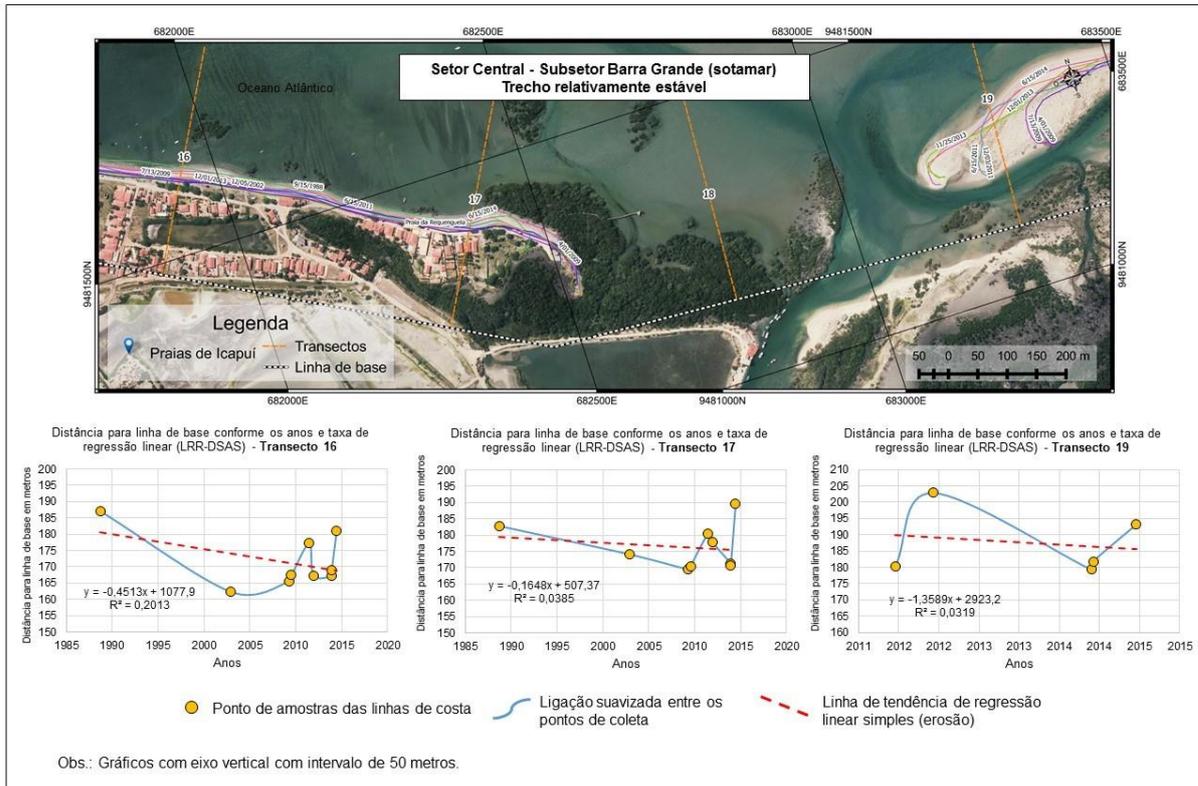
Carta-imagem 10 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Requenguela.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O subsetor Barra Grande (sotamar) está vinculado ao estuário da Barra Grande, estando em grande parte a sotamar deste. Corresponde a um trecho de baixa variabilidade da linha de costa com máximas variações (SCE) da ordem de 20 metros. As variações absolutas dadas pelo NSM estiveram entre -6 m e 13 m. Os valores médios e de tendência dados pelo EPR e LRR, respectivamente, foram muito baixos, entre -1 m e 1 m, exceto no transecto 19, pelo fato do recorte temporal deste ser diferenciado, pois corresponde a deposição ocasionada pelo crescimento da flecha litorânea a barlar do estuário. O transecto 18 corresponde à área de desembocadura fluvial e ocupação por vegetação de mangue e não foi considerado na análise tendo seus valores nulos. De posse desses dados e do posicionamento da linha de tendência dada pelo LRR no gráfico, que, apesar da tendência negativa, esteve sempre pouco inclinada, classificou-se este subsetor como um trecho relativamente estável no que se refere ao posicionamento da linha de costa. Obviamente, deve-se considerar a dinâmica fluviomarina local (CARTA-IMAGEM 11).

Carta-imagem 11- Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barra Grande (sotamar).

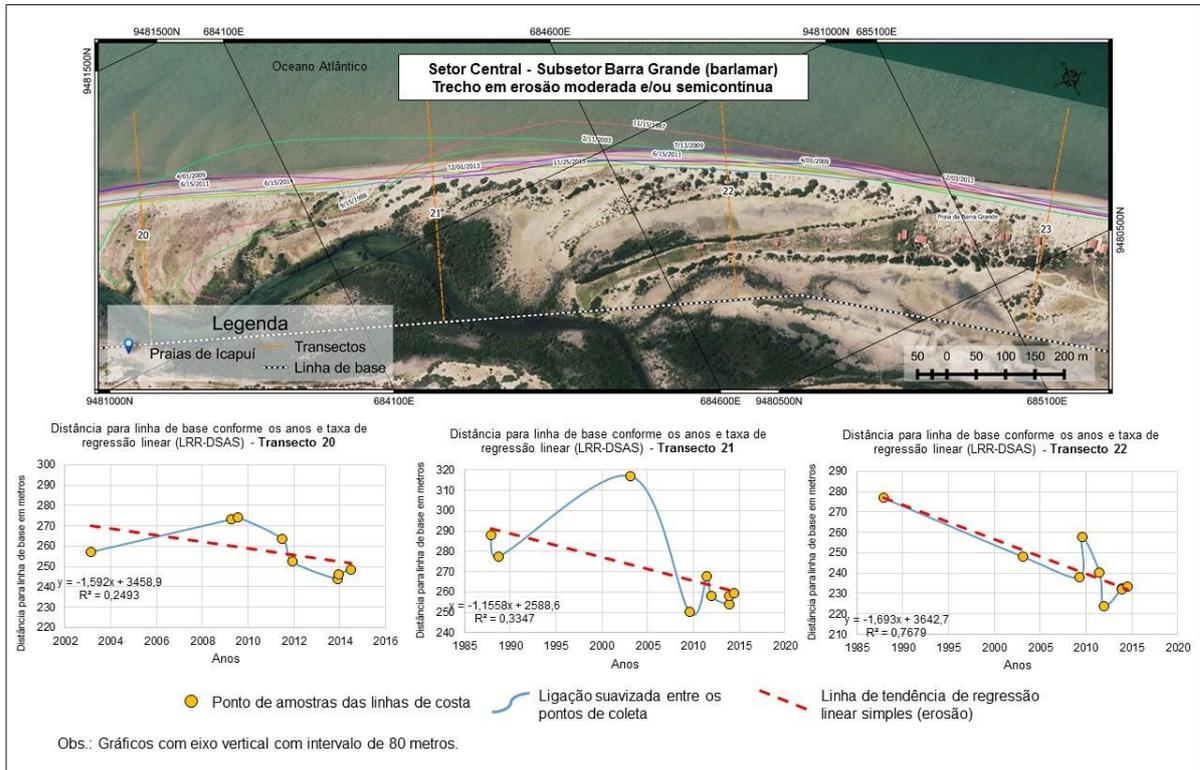


Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Os quatro transectos seguintes estão posicionados a barlamar do estuário da Barra Grande no domínio de uma flecha litorânea relacionada a este estuário e foram agrupados dadas as suas características erosivas, sendo duas delas mais intensas, superiores a 25 metros na variação absoluta (NSM). Os valores médios (EPR) e de tendência (LRR) observados para estes transectos estiveram entre -0,5 e -2 metros, sendo o valor de R^2 baixo, ou seja, não há uma tendência de evolução bem definida. Assim, optou-se por classificar este subsetor como um trecho em erosão moderada e/ou semicontínua (CARTA-IMAGEM 12).

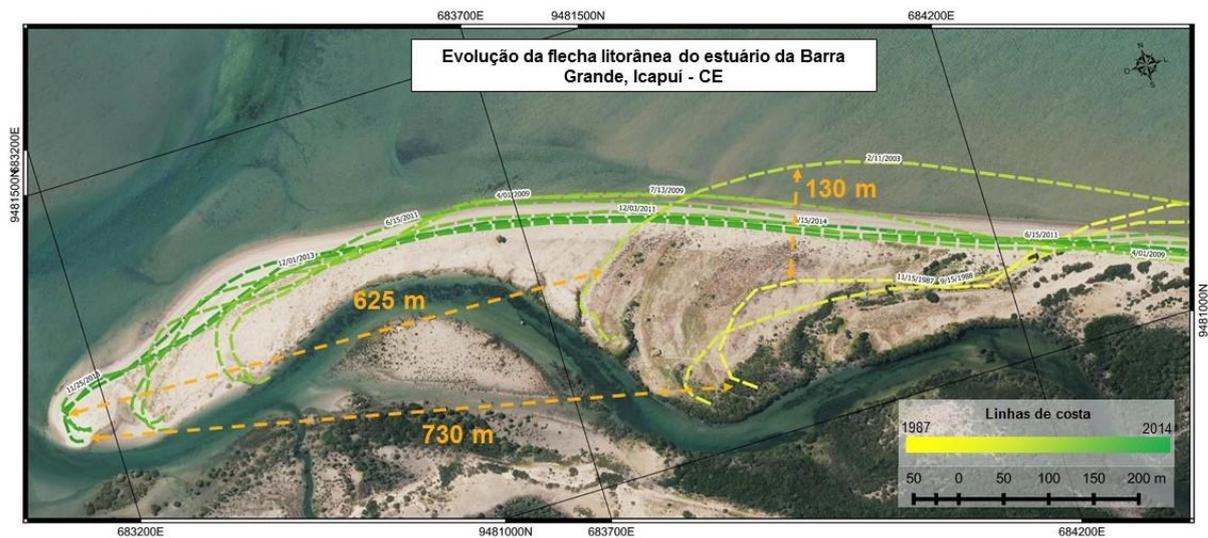
Deve-se destacar o fato de que este subsetor é caracterizado por uma flecha litorânea (*spit*) relacionada ao estuário da Barra Grande. Portanto, há uma intensa dinâmica sedimentar condicionada por um conjunto de morfologias litorâneas que fazem deste trecho altamente instável, como se pode observar na Carta-imagem 12, o crescimento da flecha litorânea no sentido da deriva (leste - oeste) e a mudança da desembocadura do canal da Barra Grande superiores a 700 metros (FIGURA 24).

Carta-imagem 12 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor Barra Grande (barlamar)



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Figura 24 - Evolução da flecha litorânea do estuário da Barra Grande.



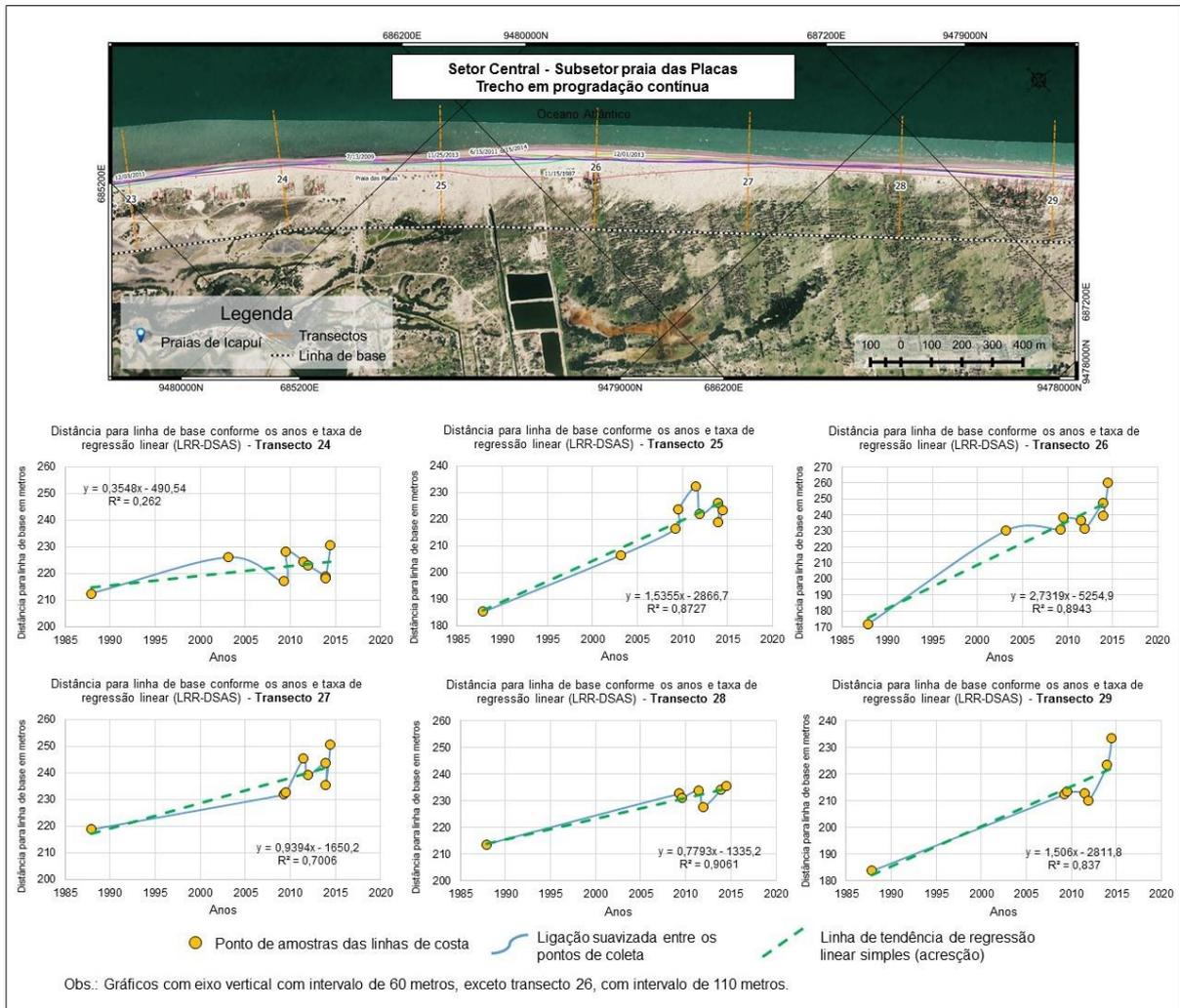
Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Os últimos transectos relativos ao setor central estão no limite da ocorrência do delta de maré na planície costeira de Icapuí. Este trecho compreende cerca de 3,5 km de linha de costa, entre os transectos 23 e 29, e caracteriza-se por uma elevada progradação evidenciada nos quatro procedimentos do DSAS e no valor de R^2 , sugerindo essa tendência evolutiva. Apesar de o transecto 23 exibir características de progradação moderada e/ou semicontínua, ele

foi incorporado a este subsetor. Nos transectos 24 ao 29, foram observadas elevadas variações espaciais da linha de costa ao longo dos anos (SCE) e variações temporais absolutas (NSM) com valores entre 18 e 88 metros, e valores médios (EPR) e de tendência (LRR) sempre positivos representando acresção entre 0,5 e 3,5 metros por ano. Além destas evidências, o valor de R^2 ratifica uma tendência bem definida para quase a totalidade deste subsetor, onde entre os transectos 25 e 29 este valor foi sempre superior a 70%.

Os gráficos gerados confirmam essa tendência ao verificar uma linha de tendência bastante inclinada e sempre se distanciando da linha de base, o que permitiu classificar este subsetor como um trecho em progradação contínua (CARTA-IMAGEM 13).

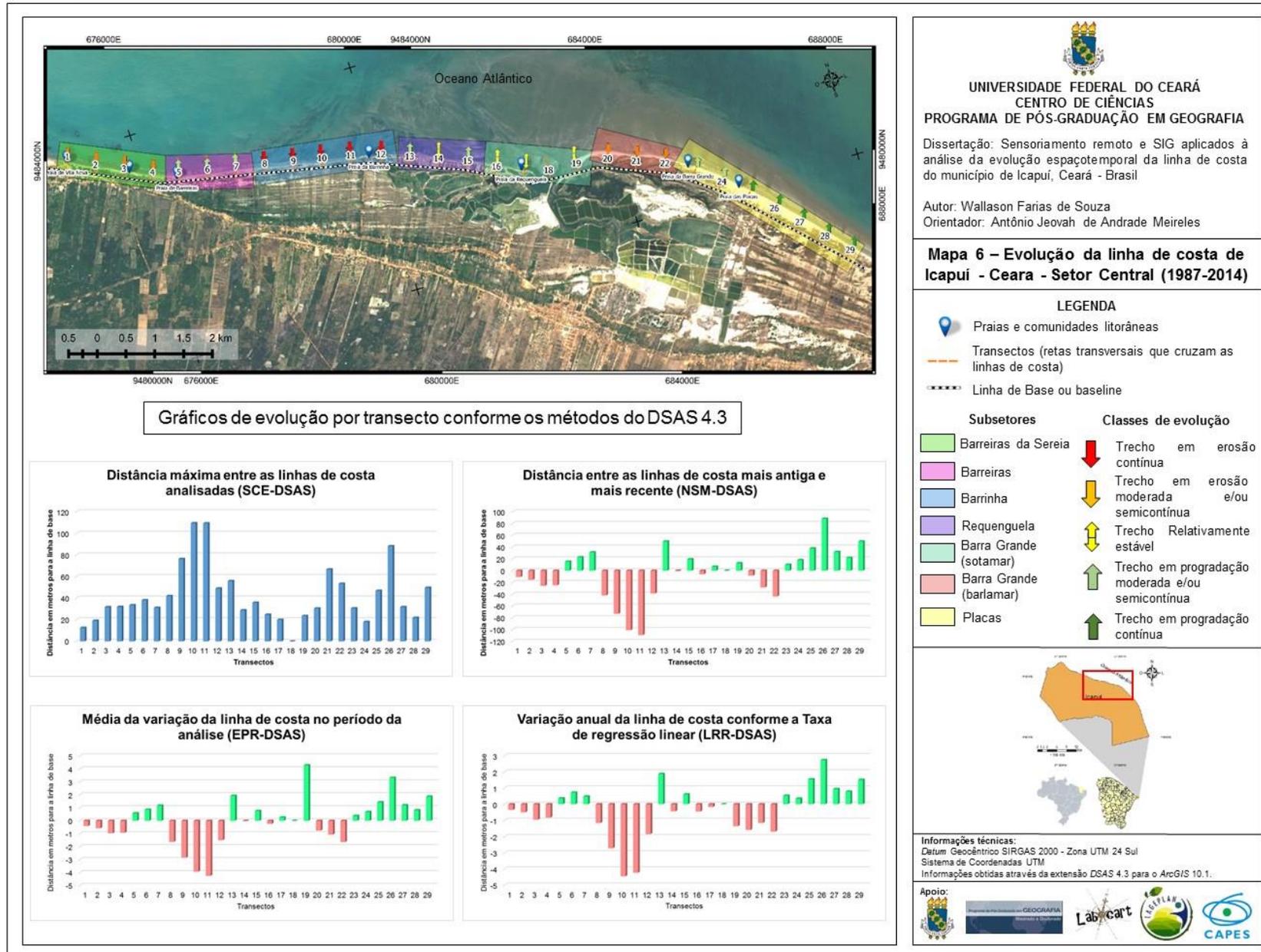
Carta-imagem 13 - Evolução da linha de costa do setor central - subsetor praia das Placas



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

O MAPA 6 sintetiza os resultados dos quatro procedimentos do DSAS para todos os transectos do setor central e apresenta uma classificação qualitativa para os subsetores baseando-se nos processos identificados.

Mapa 6 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Central (1987 – 2014).



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Dos 29 transectos do setor central, cinco apresentaram características de erosão contínua, sete de erosão moderada e/ou semicontínua, quatro apresentaram relativa estabilidade, sete de progradação moderada e/ou semicontínua e cinco apresentaram características de progradação contínua. Um dos transectos teve seus resultados nulos pela localização no estuário da Barra Grande. Ou seja, em pelo menos 12 dos 29 pontos da linha de costa analisados deve-se ter especial atenção aos processos erosivos.

4.1.3 Setor leste

O setor leste compreende o trecho caracterizado pelos terraços marinhos e paleofalésias no setor do litoral de Icapuí com orientação Sudeste – Noroeste, estendendo-se da praia de Quitérias até o limite com a praia de Tibau, na divisa com o Rio Grande do Norte.

A análise da evolução da linha de costa para este setor do litoral de Icapuí se deu de maneira diferenciada dos demais setores. Neste foram realizados somente três procedimentos do DSAS, sendo eles o SCE, o NSM e o EPR, ou seja, não se analisou neste setor a taxa de regressão linear dada pelo LRR. Três principais fatores motivaram a análise mais simplificada para este setor: i) a baixa variação da linha de costa e a inexistência de impactos socioambientais e estruturas de controle da erosão costeira, identificada nos trabalhos de campo iniciais, ii) a dificuldade no georreferenciamento com precisão das fotografias aéreas da década de 1980 pela inexistência de pontos de controle e iii) a confirmação da baixa variabilidade da linha de costa a partir do SCE, NSM e EPR.

O trecho do litoral referente ao setor leste possui aproximadamente 15 km de extensão e foi subcompartimentado em 29 transectos espaçados em 500 metros entre si. O intervalo temporal adotado para este setor foi menor, compreendendo os anos de 2003 a 2014, totalizando 11 anos, sendo que para os procedimentos adotados neste setor considerou-se somente as linhas de costa dessas duas datas extremas temporalmente. A TABELA 3 sintetiza os resultados dos procedimentos do DSAS para o setor leste.

Através do procedimento SCE, foi possível confirmar que as máximas variações espaciais foram pouco relevantes considerando-se a variabilidade natural da linha de costa e comparando-se com os dados gerados para os setores oeste e central. Todos os transectos apontaram variação máxima entre 0 e 27 metros, exceto o transecto 20, que apresentou uma variação de aproximadamente 77 metros devido a mudança na desembocadura do rio Arrombado.

Os valores dados pelo procedimento NSM possibilitaram verificar a distância da linha de costa mais recente para a linha de costa mais antiga, verificando a variabilidade dos 29

pontos da linha de costa para o intervalo temporal analisado para este setor (2003-2014). Novamente, apenas o transecto apresentou anomalia em relação aos demais, com uma variação de aproximadamente 77 metros, semelhante ao valor do SCE. Os demais transectos apresentaram variações absolutas pouco relevantes para o intervalo de 11 anos, desde movimentos erosivos de até 10 metros como progradações de até 26,4 metros. Outro fato que deve ser comentado é a variação positiva acima do normal identificado para o setor no trecho entre os transectos 8 e 11, com progradação entre 11 e 27 metros.

Os dados gerados pelo EPR, ou seja, as médias de variação anual para cada um dos 29 transectos também induziram ao entendimento da predominância de baixa variação da linha de costa e tendências de relativa estabilidade para quase todo o setor leste. Em 27 dos 29 transectos a média anual esteve entre -1 e 2 m, sendo que os transectos anômalos referem-se ao transecto 9, que apresentou progradação média de 2 m/ano e o transecto 20, que se refere as mudanças na desembocadura do rio Arrombado, com erosão de 6,78 m. A TABELA 3 sintetiza os resultados por procedimento do DSAS.

Tabela 3 - Síntese das variações da linha de costa em metros obtidas por cada procedimento do DSAS para o setor leste.

Praias	Transectos	SCE	NSM	EPR
Quitéria	1	9.42	↔ -9.42	↔ -0.83
	2	0.24	↔ 0.24	↔ 0.02
	3	10.35	↔ -10.4	↔ -0.91
	4	1.83	↔ 1.83	↔ 0.16
	5	9.31	↔ 9.31	↔ 0.82
	6	4.32	↔ 4.32	↔ 0.38
	7	3.89	↔ -3.89	↔ -0.34
Tremembé	8	21.68	↑ 21.7	↑ 1.91
	9	26.44	↑ 26.4	↑ 2.33
	10	15.9	↑ 15.9	↑ 1.4
	11	11.75	↔ 11.8	↔ 1.04
Melacias	12	3.54	↔ 3.54	↔ 0.31
	13	4.33	↔ 4.33	↔ 0.38
	14	3.72	↔ 3.72	↔ 0.33
	15	8.56	↔ 8.56	↔ 0.75
Peixe Gordo	16	19.15	↑ 19.2	↑ 1.69
	17	13.62	↔ 13.6	↔ 1.2
	18	6.89	↔ 6.89	↔ 0.61
	19	7.18	↔ 7.18	↔ 0.63
Barrinha de Manibu	20	76.92	↓ -76.9	↓ -6.78
	21	4.65	↔ 4.65	↔ 0.41
	22	4.31	↔ 4.31	↔ 0.38
	23	2.12	↔ 2.12	↔ 0.19
	24	0.18	↔ 0.18	↔ 0.02
Ceará	25	2.48	↔ 2.48	↔ 0.22
	26	0.84	↔ 0.84	↔ 0.07
	27	5.06	↔ 5.06	↔ 0.45
	28	13.61	↔ 13.6	↔ 1.2
	29	6.23	↔ -6.23	↔ -0.55

LEGENDAS ESPECÍFICAS

SCE: Distância máxima entre as linhas de costa (m).



0 metro 77 metros

NSM: Distância entre a linha de costa mais recente e a mais antiga (m).



-77 metros 0 m 27 metros

↓ < -15m
↔ < -10m e > -15m
↔ < 10m e > -10m
↔ < 15m e < 10m
↑ > 15m

EPR: Distância em metros da linha de costa mais recente para a mais antiga, dividido pelo período da análise (m/ano).



-7 metros 0 m 2,5 metros

↓ < -2 m
↔ < -0,5 m e > -2 m
↔ < 0,5 m e > -0,5 m
↔ < 2 m e < 0,5 m
↑ > 2 m

LEGENDA GERAL

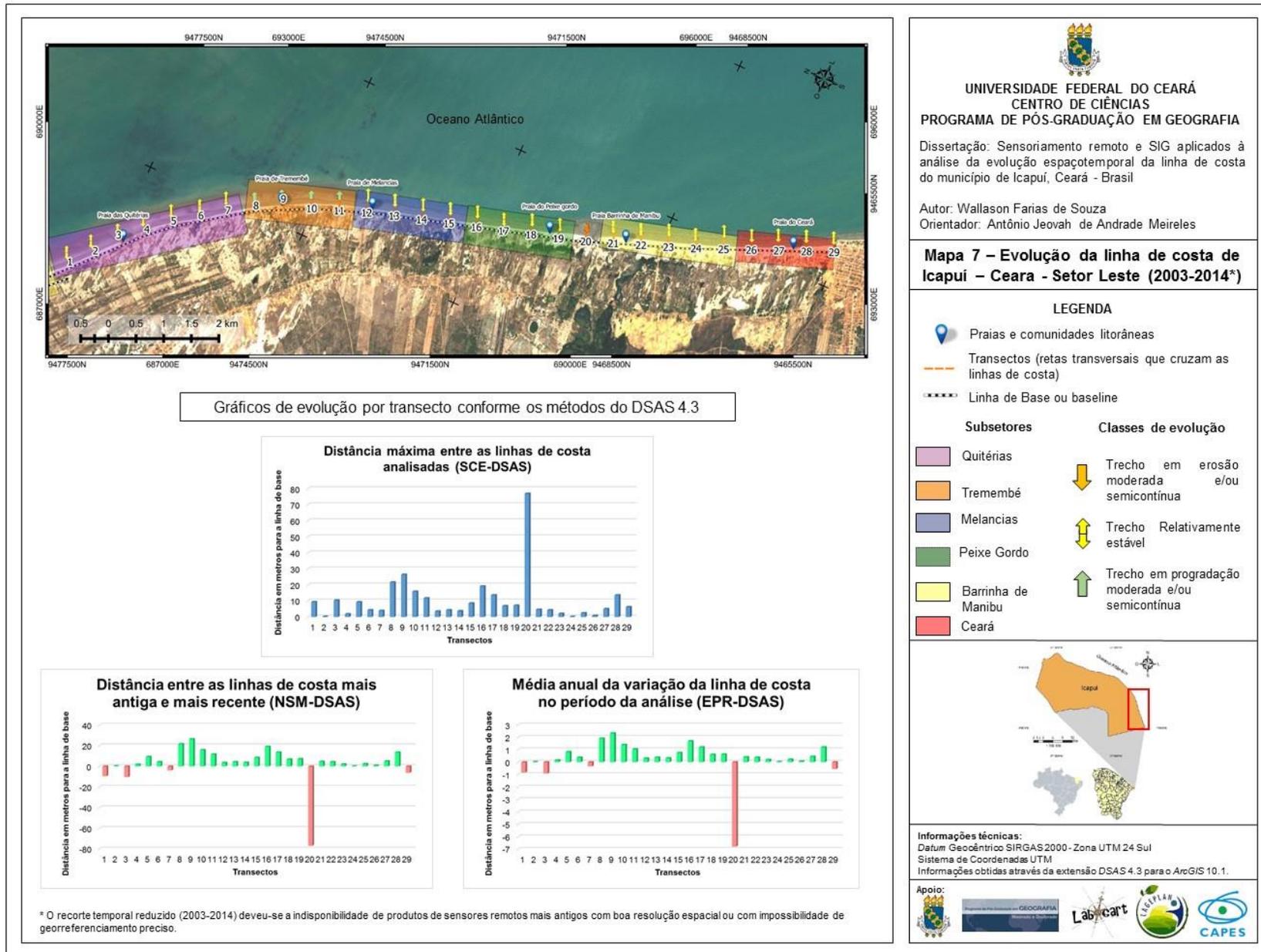
↓ Indica erosão contínua
↔ Indica progradação moderada e/ou semicontínua
↔ Indica erosão moderada e/ou semicontínua
↑ Indica progradação contínua
↔ Indica relativa estabilidade

Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Inicialmente, optou-se por atribuir a este setor como um todo a característica de relativa estabilidade, pois não foram identificados processos erosivos ou progradacionais relevantes em nenhum trecho. Todavia, ao se analisar os resultados dos três procedimentos do DSAS, verificou-se em pequenos trechos há a ocorrência de progradação e erosão que convém ser relatado. Entre os transectos 8 ao 11, optou-se por classificar como um trecho em progradação moderada e/ou semicontínua, dada a deposição identificada no período ser acima do habitual para este setor. Enquanto no transecto 20, referente a desembocadura do rio Arrombado, optou-se por classifica-lo como um trecho em erosão moderada e/ou semicontínua, dada a variabilidade de sua desembocadura conforme o comportamento climático e por consequência de competência e capacidade fluvial, assim como da dinâmica das marés, que induzem períodos de erosão e deposição de sedimentos na faixa de praia.

O MAPA 7 apresenta a síntese dos procedimentos do DSAS e as categorias de evolução identificadas para cada um dos transectos do setor leste, assim como o agrupamento em trechos de acordo com os processos evolutivos.

Mapa 7 - Evolução da linha de costa de Icapuí - Setor Leste (2013-2014).



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

5 TRECHOS DO LITORAL DE ICAPUÍ AFETADOS POR EROSÃO COSTEIRA: CAUSAS, EFEITOS E POSSIBILIDADES DE CONTENÇÃO

As variações da linha de costa ocorrem naturalmente em variadas escalas temporais, sendo este sistema um complexo em permanente transformação. Mudanças extremas e em curto período, entretanto podem estar associadas a ação humana em diferentes escalas e que podem acarretar impactos sobre os ambientes naturais e as ocupações e estruturas antrópicas próximas ao mar.

Foram diagnosticados processos erosivos ao longo do litoral do município de Icapuí por meio do DSAS e dos trabalhos de campo. Esses processos ocorreram com diferentes intensidades e ocasionaram variados efeitos. No setor oeste identificaram-se 3 trechos com erosão costeira, sendo eles nas praias de Retiro Grande, Redonda e Peroba; no setor central também foram identificados 3 três trechos com processos erosivos, nas praias de Barreiras da Sereia, Barrinha e Barra Grande (barlamar); e no setor leste, apesar da relativa estabilidade, deve-se atentar as constantes mudanças na faixa de praia ocasionadas pelas mudanças de local da desembocadura do rio Arrombado, próximo ao transecto 20 deste setor.

Os impactos e efeitos socioambientais da erosão costeira para o município de Icapuí vão desde a desestabilização do sistema praias que, apesar de ser altamente dinâmico e passar por constantes períodos de erosão e deposição, teve seu balanço sedimentar comprometido em alguns trechos, até os danos físicos e materiais das comunidades costeiras com a perda de casas, vias de acesso e pequenos portos de atracamento e as consequentes mudanças de hábitos.

Optou-se por considerar neste trabalho como possíveis causas para a erosão costeira em Icapuí os fatores naturais e humanos em diferentes em escalas, partindo do local, passando pelo regional até o global, sendo que para cada trecho identificaram-se os fatores mais relevantes para esse processo.

Tendo se refletido sobre as possíveis causas e os efeitos/impactos socioambientais da erosão costeira em Icapuí, deve-se discutir sobre as estratégias de contenção deste processo e as possibilidades de mitigação dos seus efeitos. Isso pode partir de ações pontuais e de curto prazo, como as estratégias de moradores para o aprisionamento dos sedimentos com sacos de areia, blocos de rocha e inserção de vegetação ou até mesmo de obras de engenharia projetadas pelo poder público. Essa reflexão também pode ser feita ainda através da projeção de cenários evolutivos baseados nos processos identificados por meio do DSAS, considerando variáveis locais, regionais e globais, apontando direcionamentos para o planejamento e gestão da zona costeira, com ênfase na linha de costa deste município.

5.1 Impactos e efeitos socioambientais da erosão costeira

A análise dos resultados do DSAS para o litoral de Icapuí permitiu verificar que o mesmo possui seis principais trechos afetados por erosão costeira, sendo eles individualizados nos subsetores correspondentes às praias de Retiro Grande, Redonda, Peroba, Barreiras da Sereia, Barrinha e Barra Grande (barlamar) totalizando 21 transectos dos 87 no total.

Os efeitos socioambientais derivados das variações da linha de costa estão geralmente relacionados aos processos erosivos, pois, com o recuo da linha de costa em direção ao continente, as formas de uso e ocupação antrópicas são comprometidas. Entre os efeitos, pode-se mencionar o comprometimento de estruturas residenciais e vias de acesso, bens públicos, redução da faixa de praia para banhistas e para o atracamento de pequenas embarcações, o que induz a adoção de estratégias para atenuar os efeitos da erosão.

No setor oeste, a erosão evidenciada nas proximidades da praia de Retiro Grande, entre os transectos 1 e 4, provocou um recuo da faixa de areia entre o estirâncio e as falésias, de modo que as ondas atacam as falésias mais intensamente, provocando o solapamento e o consequente desmoronamento do topo, ou seja, um recuo das falésias, evidenciado pelos blocos na base das falésias e pelas tentativas de contenção pelos moradores.

A comunidade de Retiro Grande está localizada no topo das falésias e no tabuleiro, com algumas residências nas escarpas e nos patamares intermediários. A erosão costeira associada à erosão pluvial das falésias tem colocado algumas dessas residências em situações de risco, sendo algumas delas já abandonadas (FIGURA 25A). Em tal situação, os moradores buscaram estratégias que pudessem conter ou amenizar os efeitos desses processos, dentre elas o plantio de árvores no intuito de as raízes darem maior sustentação e resistência as falésias em decorrência da ação das chuvas ou erosão pluvial (FIGURA 25B) e das ondas e marés (FIGURA 25C). Outra estratégia verificada foi a inserção de estacas de madeira e galhos de árvore com a mesma intenção. Essas duas estratégias foram realizadas por moradores locais e veranistas no intento de proteger suas residências. Outra estrutura de maior porte está localizada na fazenda Retiro Grande, limite de Icapuí com Aracati, onde o proprietário construiu um muro com blocos de rocha posicionados de modo a proteger sua propriedade, posicionada em um corte do tabuleiro vinculado a um pequeno canal fluvial (FIGURA 25D).

O segundo subsetor onde se identificou erosão costeira compreende um trecho de praia de aproximadamente 1,5 km, nas proximidades da praia de Redonda. Apesar das variações absolutas, médias e de tendência terem sido classificadas como inferiores ao observado em Retiro Grande, erosão moderada e/ou semicontínua, os efeitos socioambientais derivados desse

processo foram bem mais significativos em virtude da ocupação antrópica mais elevada e muito próxima à faixa de praia. Redonda é um dos principais núcleos populacionais do Município, bastante ocupada por veranistas e com fluxo turístico considerável, com ocupação sobre o tabuleiro, patamares de falésias e perto da faixa de praia (pós-praia).

Figura 25 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Retiro Grande em Icapuí: A) casa de veraneio abandonada em patamar de falésia e sinais de erosão; B) marcas de erosão pluvial em falésia; C) muro de pedras para controlar a erosão costeira; e D) fazenda Retiro Grande e estruturas de controle da erosão.



Fonte: Souza (2015).

Assim, os efeitos socioambientais do recuo da faixa de praia e o avanço do mar foram mais perceptíveis e sentidos pela população, pois propiciaram o comprometimento de estabelecimentos comerciais (barracas de praia) (FIGURA 26A) e vias de asfalto, alteraram o posicionamento do atracamento de pequenas embarcações de pescadores locais (FIGURA 26B), além de comprometer a estrutura física de casas de veraneio e de moradores locais próximas à faixa de praia (FIGURA 26 C e D). A redução da faixa de praia também dificulta o uso para o lazer, principalmente em maré alta, quando a faixa de praia fica bem estreita em alguns pontos.

Ainda no setor oeste, o subsetor Peroba também expressou processos erosivos, sendo estes ainda menos expressivos quantitativamente do que os registrados em Retiro Grande e em Redonda. Assim como em Redonda, contudo, a ocupação em Peroba é considerável e está posicionada perto da faixa de praia, na base das falésias, atualmente não alcançadas pelas ondas

e marés. Esta configuração propiciou condições para que a erosão costeira impactasse a comunidade, que é constituída por moradores locais, veranistas e pousadas.

Figura 26 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Redonda, em Icapuí: A) barraca de praia com estruturas de proteção contra as ondas; B) erosão costeira reduziu a faixa de praia e destruiu parte da via de asfalto; C) casa de veraneio com estruturas de proteção; D) parte de casa destruída pela ação das ondas.



Fonte: Souza (2015).

Os principais efeitos socioambientais da variação da linha de costa consistem no recuo de falésias em alguns trechos, associados à erosão pluvial, e no risco para as residências que ocupam indevidamente essas feições. Percebeu-se também que o avanço do mar alcançou e destruiu parte de uma via de paralelepípedo e por poucos metros não alcançou as residências próximas. Identificou-se ao longo deste subsetor o fato de que muitos proprietários de residências adotaram estratégias visando conter a erosão costeira e reduzir dos seus efeitos, como aterros, entulhos, estacas de madeira, troncos, galhos e palhas de árvores, além de manter e introduzir vegetação rasteira na zona de berma, tendo estas estratégias duas principais funções: a redução da energia da onda nas estruturas e o aprisionamento dos sedimentos (FIGURA 27).

De modo geral, o setor oeste demonstra variados níveis de variação da linha de costa, sendo os três subsetores em erosão, dois em progradação e um com relativa estabilidade. Os efeitos socioambientais estão diretamente vinculados aos processos erosivos, pelo avanço do mar, modificação e redução do ambiente praiar e danos sobre vias e residências.

Figura 27 - Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Peroba, em Icapuí: A e B) estruturas de proteção a casas de veraneio contra a erosão costeira; C) vegetação rasteira aprisionando os sedimentos; D) via de paralelepípedo afetada pela erosão e estruturas de proteção.



Fonte: Souza (2015).

No setor central, pelo menos 12 dos 29 transectos apresentaram erosão costeira relevante, distribuídos em três trechos, sendo eles nas praias de Barreiras da Sereia, Barrinha e Barra Grande (barlamar). Nos dois primeiros trechos, a erosão tem acontecido de forma intensa e tem causado os maiores danos socioambientais. Nestas duas áreas, também houve interferências do poder público na construção de estruturas de engenharia para a contenção deste processo.

Na praia de Barreiras da Sereia, entre os transectos 1 e 4 do setor central, a erosão tem se intensificado nos últimos anos e provocado danos consideráveis nas marés de sizígia. Dezenas de casas de moradores locais e veranistas foram destruídas ou tiveram suas estruturas comprometidas, vias de acesso e rede elétricas foram expostas à ação das ondas e marés e várias estratégias de contenção foram adotadas pelos moradores, como sacos de areia, estacas de madeira, muros de pedras, vegetação, entulhos e outros (EROSÃO, 2015). Em janeiro de 2016, a Prefeitura iniciou a construção de um muro de contenção com blocos de rocha em um trecho de 500 metros das praias de Vila Nova e Barreiras da Sereia com recursos do Ministério da Integração Nacional, que também serão destinados a outros setores do litoral do Município.

Além desse, já existe um muro de contenção nas proximidades do transecto 4, com extensão de 300 metros construído em 2009 (FIGURA 28).

Figura 28- Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Barreiras da Sereia, em Icapuí: A) casa de veraneio próxima a praia e estratégias de contenção; B) estruturas de proteção em madeira contra a erosão costeira e rede elétrica na praia; C) Casas e estruturas de contenção feitas por moradores; D) muro com blocos de rocha e vegetação protegendo a via e as casas da ação do mar.

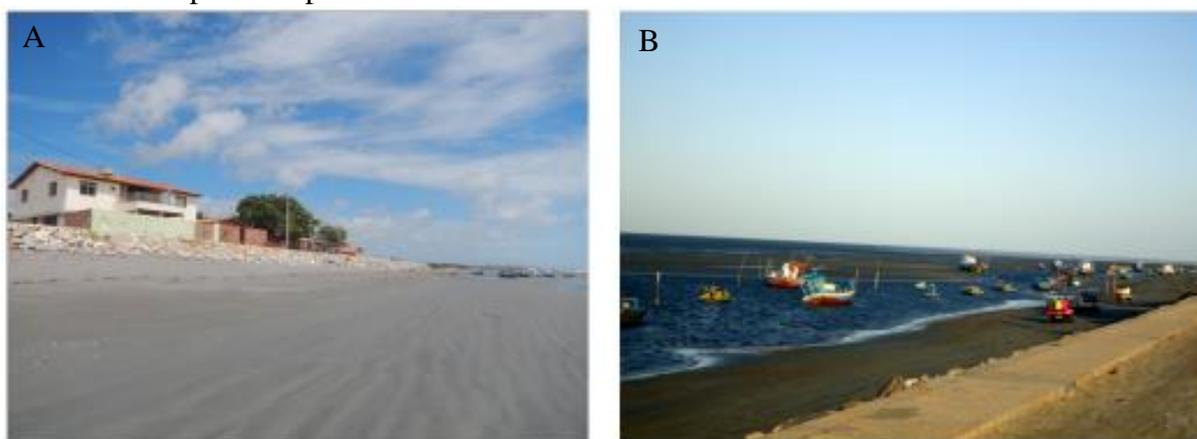


Fonte: Souza (2015).

Na praia de Barrinha identificaram-se os principais movimentos erosivos da linha de costa e os principais danos socioambientais causados por esse processo no Município de Icapuí. O mar avançou cerca de 100 metros em alguns setores e destruiu casas, vias e equipamentos públicos, como uma escola e uma quadra de esportes. As marés dos inícios dos anos de 2009 (EROSÃO, 2009) e 2011 (AVANÇO, 2011) causaram muitos estragos, ao ponto de colocar o Município em estado de emergência. No ano de 2012, concluiu-se a construção de um muro de contenção com recursos do Ministério da Integração Nacional, assim como foram entregues 30 casas populares para as famílias que tiveram casas destruídas (SECA, 2012; CONCLUÍDA, 2012) (FIGURA 29).

Braga e Medeiros (2015) pesquisaram a percepção dos moradores sobre o avanço do mar na comunidade de Barrinha e os riscos associados a esse processo. Imagens de satélite multitemporais permitem verificar as variações e os danos às estruturas físicas ao longo dos anos (FIGURA 30).

Figura 29 – Conjunto de imagens do muro de contenção da erosão costeira na praia de Barrinha: A) vista a partir da zona de estirâncio em maré baixa; B) vista a partir do muro de contenção evidenciado o perfil de praia em maré baixa.



Fonte: Souza (2015).

No caso da praia da Barra Grande, o setor de praia vinculado à flecha litorânea a sotamar do estuário foi classificado como erosivo, com base nos resultados gerados pelo DSAS. A área, porém, é pouco ocupada e os efeitos socioambientais são mínimos.

Figura 30 - Mosaico com imagens de satélites multitemporais e de alta resolução espacial, evidenciando as variações da linha de costa (grade a cada 100 m).



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

Com relação ao setor leste, os processos erosivos da linha de costa são pouco relevantes e este setor possui menos núcleos de ocupação. Deve-se atentar somente para as ocupações na faixa de praia e pós-praia próxima à desembocadura do rio Arrombado, que, em decorrência das suas mudanças de local na foz, cria-se uma área com intensa dinâmica, variando

entre períodos de erosão e deposição. Nos trabalhos de campo, foi possível perceber danos a estruturas físicas de casas relacionadas a esse processo (FIGURA 31).

Figura 31 - Casa com estrutura física comprometida em razão da mudança da foz do rio Arrombado



Fonte: Souza (2015).

5.2 As possíveis causas das variações identificadas: progradação e erosão costeira

Como expresso anteriormente, as variações da linha de costa ocorrem naturalmente em diferentes escalas temporais, no entanto, mudanças extremas e em curto período associadas à ocupação da zona litorânea, podem acarretar os efeitos e impactos aqui mencionados.

Considera-se neste trabalho como possíveis motivações para as mudanças extremas da linha de costa os fatores naturais e os motivados pela ação humana. Esses fatores podem ocorrer em várias escalas (local, regional e global). Para cada trecho, destaca-se o possível fator mais atuante no processo identificado, mas este será sempre resultado da combinação de múltiplos fatores em diferentes escalas.

Como processo natural, consideram-se aqueles que ação humana não influencia de forma significativa, como o comportamento climático normal, a fisiografia da costa, o transporte natural de sedimentos por ação eólica, marinha ou fluvial, a ação dos ventos, ondas e marés, entre outros.

Os fatores motivados pela ação humana são aqueles motivados pelas interferências por meio das formas de uso e ocupação do espaço: por exemplo, a interferência no transporte de sedimentos por barragens nos rios ou ocupação do berma e das dunas, extração de areia, construção de portos e outros.

Considerou-se como fatores locais aqueles que são no próprio Município, como fatores regionais os que ocorrem ou são reflexos de alguma ação humana próxima ao Município e global como os fatores que ocorrem no Planeta como um todo e podem de alguma maneira influenciar na dinâmica costeira local.

O QUADRO 2 sintetiza os possíveis fatores identificados e considerados com influência significativa nos processos de erosão e progradação da linha de costa de Icapuí.

Quadro 2 - Fatores que influenciam os processos erosivos e deposicionais mais significativos na linha de costa de Icapuí-CE.

Fatores	Locais	Regionais	Globais
Naturais	Orientação da linha de costa Promontórios Delta de maré Estuários Bypass de sedimentos Erosão pluvial e abrasão marinha nas falésias Comportamento meteorológico e climático do município Fixação de dunas, Rochas de praia e plataformas de abrasão	Comportamento climático (estiagens, secas e períodos chuvosos) relacionado ao el Niño e la Niña.	Ciclos solar e lunar, temperatura da água do mar, correntes marinhas, massas de ar que controlam o clima local e global.
Humanos	Ocupação de zonas de berma Ocupação de promontórios Barramentos de cursos fluviais (estuário da Barra Grande e rio Arrombado) Salinas e carcinicultura Obras de engenharia costeira	Barramento de rios (destaque para rio Apodi-Mossoró) a barlar do município, Ocupação das áreas de bypass de sedimentos.	Efeito estufa e aquecimento global. Derretimento de massas de gelo em terra firme. Expansão da água pelo aquecimento dos oceanos.

Fonte: Elaborado pelo autor (SOUZA, 2016).

5.2.1 Fatores naturais

Vários fatores e processos naturais podem ter contribuído para as variações da linha de Icapuí no recorte temporal proposto, como o comportamento climático, os processos oceanográficos e costeiros, a fisiografia da linha de costa e as feições como os estuários, promontórios e delta de maré.

A orientação da linha de costa é um fator que pode influenciar diretamente no balanço de sedimentos de determinado trecho de praia, assim como as mudanças abruptas dessa orientação, no caso dos estuários e promontórios. Os processos costeiros ocorrem de maneira diferenciada, conforme a orientação da linha de costa, como, por exemplo, o ângulo de incidência das ondas e o transporte longitudinal dos sedimentos, a migração dos sedimentos de praias para os campos de dunas pela ação dos ventos e outros.

Ao longo do litoral de Icapuí, foram notadas três principais orientações, diretamente associadas aos setores de estudos, uma sul-norte (setor leste), uma sudeste-oeste (setor central) e uma leste-oeste (setor oeste). No primeiro caso, observou-se tendência de estabilidade vinculada àquela orientação, enquanto nos dois últimos observou-se instabilidades relacionadas à ação humana e às mudanças na orientação principal (estuários e promontórios). No primeiro caso, todavia, há uma tendência maior de fixação das dunas e do não retorno dos sedimentos

dessas feições para a faixa de praia, enquanto nos setores central e oeste há um maior retorno dos sedimentos.

Sobre a dinâmica climática em escala local e regional, destaca-se que o volume de chuvas mal distribuídas durante o ano e ao longo dos anos, por influência principal da Zona de Convergência Intertropical e dos eventos de *el Niño/la Niña*, respectivamente, além da velocidade e direção dos ventos que está diretamente relacionada à temperatura e ao período do ano, contribuem de modo significativo para o comportamento da linha de costa.

Observou-se que os períodos de seca estão possivelmente associados a uma maior erosão costeira, pois os rios diminuem o aporte de sedimentos continentais para a deriva litorânea e muitas vezes sua desembocadura é barrada por sedimentos das praias, como acontece no rio Arrombado. A seca, decorrente dos baixos índices pluviométricos, também tem como característica as elevadas temperaturas, o que favorece o transporte dos sedimentos pela ação dos ventos, sendo transportados da faixa de praia para os campos de dunas e bancos de areia nos estuários.

Assim, foi possível relacionar essas características com algumas informações geradas nos gráficos do procedimento LRR, como a tendência erosiva no ano de 2010, quando as chuvas foram inferiores a 450 mm, e nos últimos dados da amostra referentes ao fim de 2013 e 2014, durante um longo período de seca. O inverso foi observado dos anos de 2005 a 2010, quando muitos dos gráficos apresentaram um maior distanciamento em relação a linha de base, ou seja, progradação da linha de costa, sendo coincidente com um longo período de chuvas acima da média, de 2006 a 2010.

Sabe-se que os promontórios e estuários possuem funções significativas no aporte de sedimentos para a linha de costa (MEIRELES, 2008). Ao longo da linha de costa de Icapuí, os estuários da Barra Grande e do rio Arrombado contribuem com os sedimentos do tabuleiro, dos terraços marinhos e campos de dunas, tendo sua vazão regulada pela dinâmica climática local. Os promontórios, por sua vez, contribuem com o transpasse de sedimentos transportados pelos ventos para o continente, possibilitando o retorno destes sedimentos para a deriva litorânea. Além disso, também podem influenciar na diminuição da energia das ondas no setor imediatamente a sotamar.

Verificou-se a ocorrência de cinco promontórios ao longo do litoral de Icapuí, sendo quatro deles no setor oeste e um no extremo do setor leste. O promontório de Ponta Grossa é o de maior dimensão e os outros são pequenas pontas que contrastam a linearidade da costa nas praias de Retiro Grande, Peroba, Redonda, Picos e Ceará/Tibau. Percebeu-se que os promontórios estão diretamente relacionados à progradação da linha de costa a sotamar, como

se pode observar em Ponta Grossa, onde o transpasse de sedimentos do campo de dunas sobre o promontório, o retorno à deriva litorânea e a baixa energia de ondas propiciaram a deposição de uma larga faixa de areia que se estende por mais de 3 km desde o transpasse, em uma área correspondente ao subsetor Ponta Grossa (sotamar), o que também foi percebido em dimensão menor nos outros pequenos pontais do Município (transectos 20 e 23 do setor oeste). Relacionada a essa deposição, também se percebeu uma erosão a sotamar dessa área de progradação, possivelmente associada ao déficit de sedimentos propiciado pela deposição a barlar, como acontece nos subsetores Retiro Grande, Redonda e Peroba. Portanto, é possível que os promontórios e o transpasse de sedimentos tenham ocasionado progradação da linha de costa imediatamente a sotamar e erosão em trechos a sotamar mais distantes.

No caso dos estuários, apenas dois cursos fluviais contribuem com sedimentos para a deriva em escala local, sendo o canal da Barra Grande e o rio Arrombado, geralmente com baixa capacidade no transporte de sedimentos, exceto nos períodos de chuvas, quando a vazão aumenta e há o transporte mais efetivo dos bancos e barras arenosas depositadas no leito dos rios. O rio Arrombado possui papel significativo no retorno dos sedimentos dos campos de dunas e terraços marinhos do setor leste, além dos sedimentos do tabuleiro onde está a sua nascente, contribuindo com a acreção de sedimentos na área imediatamente a sotamar, correspondente ao subsetor Peixe Gordo. Enquanto o canal da Barra Grande transporta uma quantidade menor de sedimentos do sopé das paleofalésias e dos terraços marinhos, dado o seu nível de intervenção por salinas e carcinicultura, também pode atuar no transporte dos sedimentos do delta de maré, onde há a continuação dos seus canais, contribuindo com o balanço de sedimentos para os subsetores Barra Grande (sotamar) e Requenguela.

O delta de maré no setor central da planície costeira de Icapuí também pode contribuir com o balanço sedimentar das praias a sotamar (oeste), pois causa uma retenção dos sedimentos em deriva e daqueles provenientes do estuário da Barra Grande, além de interferir na energia das ondas e no transporte longitudinal dos sedimentos. Este fator natural pode ser um dos responsáveis pelos processos erosivos ocorrentes nas praias a sotamar do delta, sendo elas nos subsetores Barrinha, Barreiras da Sereia, Peroba e Redonda.

As rochas de praia e plataformas de abrasão também podem influenciar os elementos que controlam o balanço de sedimentos em determinado setor de praia. Uma das hipóteses para o acúmulo de sedimentos no delta de maré é a existência dessas feições que motivaram o aprisionamento dos sedimentos (MEIRELES, RAVENTOS & THIERS, 2006).

É possível visualizar, em imagens de satélites e em campo, antigas plataformas de abrasão marinha submersas, principalmente no setor oeste, de modo que estas podem contribuir

na diminuição da energia das ondas sobre a costa, no aprisionamento de sedimentos e na formação de pequenos tómbolos em maré baixa. A área de maior influência deste processo no comportamento da linha de costa dá-se no subsetor Ponta Grossa (sotamar), onde a progradação pode ser motivada também pela dissipação da energia das ondas em contato com antigas plataformas de abrasão. No caso dos subsetores Redonda, Peroba e Picos, onde também ocorrem antigas plataformas de abrasão, mas observam-se processos erosivos, entende-se que essas formações também diminuem a incidência da energia das ondas sobre a costa, sendo responsáveis por amenizar a erosão costeira nesses locais.

Os sedimentos provenientes da decomposição e desagregação das falésias por erosão pluvial e abrasão marinha são importantes fontes para o balanço sedimentar das praias do litoral oeste de Icapuí, sendo a primeira influenciada por variável climatológica mais intensa no primeiro semestre do ano, e a segunda por influência das ondas e marés, dependente do período do mês e do ano (ciclo lunar e solar), direção e intensidade dos ventos e outros fatores.

A fixação das dunas ou o não retorno dessas para a faixa de praia em decorrência da orientação da costa, é um processo natural que pode acarretar em um déficit de sedimentos para as praias a sotamar. Este fenômeno pode ser uma evidência para o relativo equilíbrio verificado no setor leste e para eventuais processos erosivos verificados a sotamar, nos setores central e oeste, pois as dunas do setor leste têm maior tendência de não retornarem seus sedimentos para a faixa de praia, dada a orientação da linha de costa.

Em uma escala mais ampla, outros fatores naturais podem contribuir para variações locais da linha de costa, como os ciclos lunar e solar, influenciando na dinâmica das marés e controlando o clima, respectivamente. O clima global, por sua vez, também interfere no deslocamento das massas de ar que atuam regional e localmente, assim como influencia as correntes marinhas e a temperatura da água do mar, que se expande quanto mais elevada a sua temperatura. Estes fatores controlam a dinâmica e o equilíbrio natural da zona costeira, sendo as mudanças extremas da linha de costa pouco associadas a eles, mas sim a fatores naturais locais e regionais.

5.2.2 Fatores humanos

As variações da linha de costa ocorrem naturalmente e que fazem parte do equilíbrio dinâmico da zona costeira. Esse processo, no entanto, pode ser potencializado ou influenciado diretamente pela ação humana em distintas escalas, seja pela interferência no balanço sedimentar local e regional, até nas mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global.

Em Icapuí, entende-se que dois fatores humanos principais motivam os impactos e efeitos socioambientais da erosão costeira, sendo eles a ocupação indevida de áreas susceptíveis à ação direta das ondas e marés e a interferência no aporte de sedimentos pelas formas de uso e ocupação inadequadas dos sistemas ambientais costeiros.

A ocupação muito próxima ao mar pode ser a principal responsável por potencializar os efeitos da erosão costeira nas praias dos subsetores Redonda e Peroba, no setor oeste, e Vila Nova e Barreiras da Sereia, no setor central, onde as casas, barracas de praia e vias foram construídas na zona de berma, setor inicial do pós-praia, o que pode eventualmente ser afetado pela ação das ondas e marés.

A ocupação desordenada das zonas de berma tende a fixar sedimentos que eventualmente poderiam retornar à deriva litorânea, quando fossem submetidos à ação marinha, o que pode causar um déficit de sedimentos a sotamar. Tal fato deve ser considerado, então, em escala local, visto que partes de algumas comunidades estão localizadas nessas áreas, como Ceará, Barrinha de Manibu, Tremembé, Barrinha, Vila Nova, Peroba e Redonda, e em escala regional, considerando a ocupação dessas áreas em municípios a barlar.

A ocupação dos setores de *bypass* de sedimentos, notadamente os promontórios e estuários, tem originado variados impactos ambientais na zona costeira cearense (MEIRELES, 2008). Ao longo do litoral de Icapuí, foram identificados cinco promontório e dois cursos fluviais que se enquadram como zonas de *bypass*. Em escala regional, destacam-se a barlar os estuários dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu e o promontório da Ponta do Mel no Rio Grande do Norte

Observou-se que os cinco promontórios identificados no litoral de Icapuí possuem pouca ocupação e contribuem positivamente no balanço sedimentar da linha de costa, seja com o transpasse de sedimentos, com destaque para o promontório de Ponta Grossa, seja com a proteção da linha de costa a sotamar, onde se enquadram os pequenos pontais nos subsetores Retiro Grande, Redonda e Peroba. Somente o promontório no limite com a cidade de Tibau-RN denota nível de ocupação elevado e pouco contribui para o transpasse de sedimentos.

Sabe-se que os cursos fluviais são significativos na contribuição de sedimentos para a zona costeira. As formas de uso e ocupação humanas desses sistemas, no entanto, ao longo do seu curso, podem reduzir o aporte de sedimentos para a deriva litorânea e linha de costa. Em escala local, os dois cursos fluviais do Município estão consideravelmente ocupados e impactados.

No caso do rio Arrombado, o diagnóstico geoambiental elaborado pela IMFLA aponta vários desses impactos, dentre eles a construção de barragens ao longo do rio, com

destaque para as das localidades de Ariza e Mata Fresca (alto e médio curso), construídas nos anos de 1970 e o barramento no estuário construído no fim dos anos 1990 e início dos anos 2000 (PREFEITURA DE ICAPUÍ, 2013). Esses barramentos podem influenciar na redução do transporte dos sedimentos pelo rio, ao favorecerem o assoreamento das áreas próximas às barragens e diminuir a capacidade do rio no transporte de sedimentos em virtude de ser diminuída sua vazão.

No estuário da Barra Grande, os principais impactos são relacionados às salinas e à carcinicultura na planície fluviomarinha, o que reduz ainda mais a capacidade do canal em transportar os sedimentos das falésias, terraços marinhos e cordões arenosos para a deriva litorânea, além de favorecer a deposição dos sedimentos no delta de maré, onde deságua. Fato que pode estar relacionado com a erosão das praias a sotamar, nos subsetores Barrinha, Barreiras da Sereia, Peroba e Redonda.

Em escala regional, os estuários dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu são os mais importantes rios do Estado do Rio Grande do Norte e encontram-se submetidos a variadas atividades econômicas que influenciam no seu equilíbrio ambiental, dentre elas a extração de sal, além de possuírem barramentos ao longo de seus cursos, o que pode contribuir para uma diminuição no aporte de sedimentos para a deriva litorânea. O promontório de maior representatividade a barlar de Icapuí é a Ponta do Mel, que tem pouca ocupação e contribui ativamente com o transpasse dos sedimentos do campo de dunas, promovendo o retorno desses para a faixa de praia e deriva litorânea.

Em escala global, o aquecimento global e as mudanças climáticas provocadas pela emissão de gases potencializadores do efeito estufa na atmosfera são os principais responsáveis pelo possível aumento do nível do mar em todo o planeta. Estudos sugerem que a temperatura média do planeta aumentou em torno de 0,5°C nos últimos 60 anos e até 1°C nos últimos 100 anos (CPTEC, 2016).

Como possíveis consequências desse aumento da temperatura global, pode-se mencionar o derretimento das massas de gelo em terra firme e das calotas polares e a expansão da água pelo aquecimento dos oceanos (expansão térmica da água) que podem contribuir significativamente para a elevação do nível do mar em todo o Mundo. Portanto, a erosão costeira em Icapuí pode também estar associada às mudanças climáticas globais e à consequente elevação do nível do mar provocada pelo aumento das temperaturas nos últimos 100 anos.

5.3 As estratégias de contenção da erosão costeira e mitigação de seus efeitos

A erosão costeira é um problema que afeta grande parte do litoral do Mundo, e as estratégias de contenção deste processo são pensadas por diversos profissionais e em variadas contextos, além das estratégias paliativas adotadas pelas populações locais afetadas por esse processo.

Alfredini e Arasaki (2009) afirmam que essas intervenções estruturais se constituem como obras de defesa dos litorais com as funções de agir no balanço do transporte sólido, favorecer a estabilização ou ampliação da linha de costa e defendê-la contra a erosão. Estas obras devem atender a três requisitos básicos - o econômico, na análise do custo-benefício, o ambiental, relacionado com questões socioeconômicas, ecológicas e estéticas, e deve ter influência mínima nas áreas adjacentes, de modo que definir a intervenção mais conveniente em cada caso é muito complexo.

Alfredini e Arasaki (2014) classificam os seguintes tipos de obras estruturais de defesa dos litorais: obras longitudinais aderentes, espigões, quebra-mares costeiros, alimentação artificial das praias e obras de proteção contra inundações e ação do vento, além de soluções para mudanças na evolução de linha de costa no tempo sem estruturas costeiras rígidas.

Em Icapuí, a população local possui diversas estratégias que amenizam os efeitos da erosão, como sacos de areia, estacas de madeira, blocos de rochas e outras. Em alguns casos, foi necessária a construção de obras de engenharia para a redução dos efeitos da erosão costeira, como é o caso das praias de Barrinha e Barreiras da Sereia, com a edificação de um paredão com blocos de rocha, apesar do impacto paisagístico ser bastante significativo.

Sobre as estratégias adotadas pela população local, em todas elas, a intenção é diminuir a energia direta das ondas sobre as casas, barracas e vias, além de promover o aprisionamento dos sedimentos.

Os sacos de areia empilhados, por exemplo, diminuem a energia direta das ondas sobre as casas e preservam as estruturas físicas dessas em maré altas e eventos de ressacas. Esta estratégia é geralmente adotada pelos moradores e comunidade com menor poder aquisitivo e se utilizam de materiais de baixo valor econômico e disponíveis no próprio ambiente. Dependendo da energia das ondas, essa estratégia perde efetividade e pode ser destruída.

Os aterros com areia, entulhos e pedregulhos servem para proteger temporariamente determinada estrutura da ação das ondas e são geralmente feitos pelos moradores locais com baixo poder aquisitivo. Esta estratégia tende a ser desfeita com a ação das ondas e o transporte

dos sedimentos. Identificou-se o fato de que moradores com poder aquisitivo mais elevado posicionaram pequenos blocos de rocha à frente de suas casas.

As estacas de madeira foram estratégias identificadas em casas de moradores locais e veranistas de baixo e alto poder aquisitivo e são responsáveis por dissipar a energia das ondas e favorecer o aprisionamento dos sedimentos nos setores onde estão posicionadas as casas (normalmente na faixa de pós-praia). Tal estratégia parece denotar uma maior resistência ao ataque das ondas e, localmente, sustenta o perfil de praia, protegendo as edificações. Foi possível constatar que essa iniciativa proporciona melhor proteção quando comparada com os sacos de areia, entretanto, pela falta de manutenção, a erosão é retomada.

A inserção de vegetação na zona de berma foi outra estratégia identificada ao longo do litoral do Município, visando ao aprisionamento dos sedimentos. Em casas de alto padrão, inseriu-se um gramado na zona de berma/pós-praia, transformando-a em uma espécie de jardim.

No caso de estruturas rígidas de controle da erosão e proteção da costa, observou-se o fato de que três trechos do Município tiveram a construção de enrocamentos/paredões de rocha, sendo dois construídos pelo poder público, em Barrinha e em Barreiras da Sereia, e um particular, em Retiro Grande. Outra obra de engenharia deve ser implementada em 2016 em um trecho entre as praias de Barreiras da Sereia e Redonda. O MAPA 8 espacializa as estratégias de controle da erosão e proteção da costa em Icapuí.

Entende-se que, além das estratégias de controle da erosão costeira, podem ser planejadas e discutidas a retirada das ocupações em áreas de aporte de sedimentos e o favorecimento da deriva litorânea ao longo da linha de costa. Isto, possivelmente, conduziria à redução dos efeitos da erosão costeira no Município.

Mapa 8 - Estratégias de contenção dos efeitos da erosão costeira no litoral de Icapuí - Ceará, Brasil.



Fonte: Elaboração própria (SOUZA, 2016).

5.4 Projeção de cenários evolutivos e direcionamentos para o planejamento e gestão da zona costeira de Icapuí-CE

Os dados gerados pelo DSAS por meio da observação dos últimos 27 anos, com o uso de produtos de sensores remotos, permitiram estimar e refletir sobre a possível evolução da linha de costa para os próximos 20 anos, considerando a variação geral, a média por ano e a tendência de regressão linear para cada transecto, subsetores e setores.

Para o setor oeste, a maior tendência erosiva, observada em Retiro Grande, deverá ser reduzida nos próximos ano por dois fatores naturais. O primeiro decorre da resistência das falésias ao ataque das ondas e o segundo é consequente da migração dos sedimentos dos bancos arenosos do subsetor Ponta Grossa (sotamar), que tem crescido ao longo dos anos na direção de Retiro Grande. Além disso, os impactos associados à ocupação da linha de praia, alterando a deriva litorânea nesse trecho, devem ser menores, pois as intervenções estão predominantemente no tabuleiro.

Já nos outros dois trechos em erosão identificados no setor oeste, os subsetores de Redonda e Peroba, apesar da baixa variação na tendência de erosão anual, as ocupações próximas à linha de costa e os possíveis défices no aporte sedimentar por fatores naturais e, principalmente, humanos em diferentes escalas, poderão contribuir com futuros processos erosivos mais acentuados e com efeitos socioambientais mais significativos que os observados nas décadas passadas.

No caso do setor central, os três trechos em erosão devem receber cuidados especiais, principalmente no que se refere a novas ocupações próximas à linha de costa. O subsetor de Barreiras da Sereia deve ser o de maior preocupação, pela conjunção de dois motivos principais - o surgimento e intensificação recente da erosão e as ocupações muito próximas à linha de costa. Caso seja mantida a variação constatada (reco de 0,5 a 1m/ano) é possível a continuidade da erosão com impactos socioambientais de elevada magnitude, associados a um possível reco da linha de costa de até 20 metros nos próximos 20 anos. Há, porém, uma perspectiva da implantação de estratégias de contenção da erosão costeira pelo poder público para este trecho.

No caso do subsetor Barrinha, entende-se que, apesar de ser o trecho com a maior variação negativa do Município, há uma tendência de reduzir a erosão e mitigar os impactos para os próximos 20 anos. A redução dos valores de erosão decorre do fato do avanço contínuo da erosão nos últimos 30 anos haver orientado a implantação de estruturas rígidas para o controle da erosão costeira na área mais densamente ocupada. Assim, a erosão deverá continuar,

porém de forma menos intensa e com impactos socioambientais de menor intensidade, caso seja constatada a eficiência da obra de enrocamento (monitoramento e manutenção das estruturas de contenção). Deve-se coibir a construção de residências, estabelecimentos comerciais, equipamentos turísticos e vias de acesso nos setores de domínio das ondas e das marés, principalmente na pós-praia (zona de berma e dunas).

Para o subsetor de Barra Grande (barlamar), é necessária especial atenção para evitar a ocupação desse setor praial, que faz parte de uma flecha litorânea associada ao estuário da Barra Grande, constatado como um sistema com forte instabilidade morfológica. É natural para este trecho passar por variados períodos erosivos e progradacionais de variadas intensidades, dada a dinâmica fluviomarinha atuante sobre ele. Dessa forma, é possível que ao longo dos próximos 20 anos sejam observadas intercalações entre os processos de erosão e de progradação neste trecho que regem o crescimento da flecha litorânea no sentido da deriva (leste – oeste).

No setor leste, foram notadas relativa estabilidade e ausência de processos erosivos relevantes. Para os próximos 20 anos, entretanto, com um possível aumento da ocupação neste setor do litoral de Icapuí (com residências e vias de acesso construídas na zona de berma) e possíveis pressões antrópicas nos sistemas ambientais costeiros que regulam o aporte de sedimentos a barlamar, projeta-se que em alguns trechos haverá processos erosivos mais intensos (principalmente nos mais próximos da praia de Tibau/RN), além de danos e impactos socioambientais derivados desse processo.

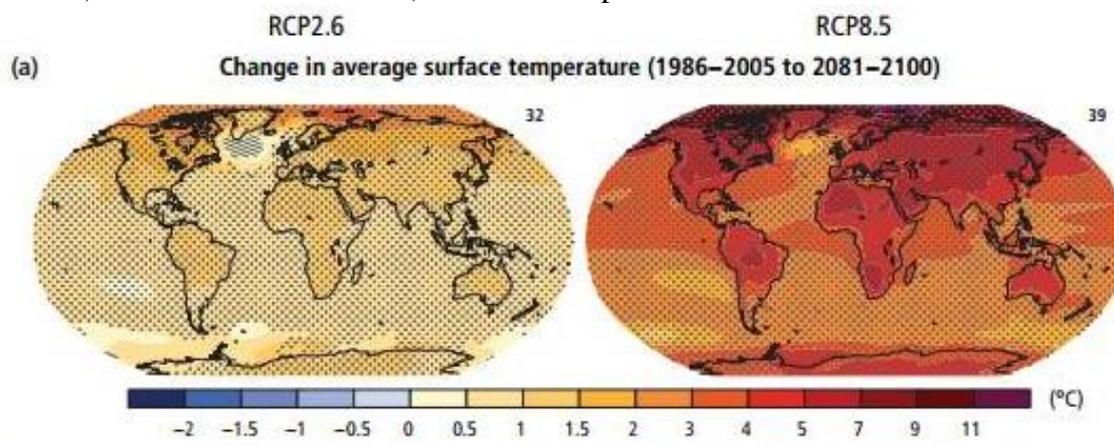
Deve-se pensar, ainda, que, além dos fatores naturais e humanos locais e regionais, existem os fatores humanos globais que devem influenciar mais ativamente o comportamento espaçotemporal da linha de costa nas próximas duas décadas e até o fim do século: a elevação do nível médio do mar decorrente da mudança climática provocada pelo aquecimento global.

Conforme o quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), a temperatura média da Terra tem subido consideravelmente desde o início da era industrial até os dias atuais. Este documento também apresenta o prognóstico de tendências considerando o aumento da temperatura média do Planeta em diferentes cenários possíveis decorrentes da emissão dos gases de efeito estufa na atmosfera e as variadas consequências deste processo, dentre elas, o aumento do nível do mar (FIGURA 32).

Os dados apresentados pelo conjunto de especialistas que compõem essa Organização sugerem quatro possíveis cenários de elevação da temperatura e a consequente elevação do nível do mar, considerando a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera expressa em *watts* por metro quadrado. Assim, os números dados após a sigla RCP, que

significa *Representative Concentration Pathways* ou Vias Representativas de Concentração, referem-se à quantidade de radiação solar refletida pela Terra (W/m^2) (IPCC, 2014; INICIATIVA VERDE, 2014).

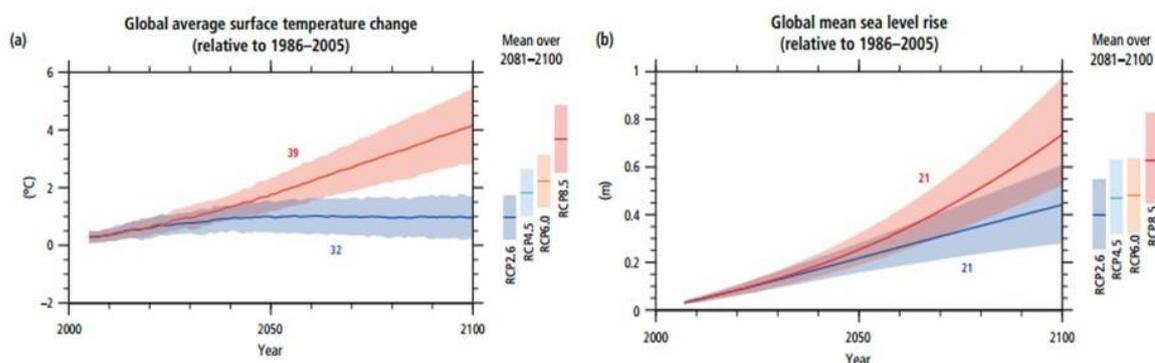
Figura 32 - Mudanças de temperatura na superfície da terra baseada no quinto relatório do IPCC: a) cenário mais otimista. b) cenário mais pessimista.



Fonte: IPCC (2014).

A elevação da temperatura no cenário mais otimista apresentado para o final do século XXI é o dado pelo RCP2.6, onde a temperatura média global aumentaria de $0,3^\circ\text{C}$ a $1,7^\circ\text{C}$. Nos dois cenários intermediários a temperatura aumentaria entre $1,1^\circ\text{C}$ a $2,6^\circ\text{C}$ (RCP4.5) e $1,4^\circ\text{C}$ a $3,1^\circ\text{C}$ (RCP6.0). Para o cenário mais pessimista (RCP8.5) o aumento da temperatura ficaria entre $2,6^\circ\text{C}$ a $4,8^\circ\text{C}$. O que provocaria, dentre outros impactos sociais e ambientais apresentados no quinto relatório do IPCC, a elevação global do nível do mar, que também é estimada tendo como base nos quatro cenários possíveis (IPCC, 2014) (FIGURA 33).

Figura 33 - Projeção de cenários do IPCC para o fim do século XXI: a) aumento da temperatura na superfície da terra; b) elevação global do nível médio do mar.



Fonte: IPCC (2014).

Sobre a elevação do nível do mar, o IPCC (2014) aponta que, no cenário mais otimista (RCP2.6), o nível médio global do mar subiria de 26 cm a 55 cm, enquanto no cenário mais pessimista a elevação seria da ordem de 45 cm a 82 cm, tendo essas estimativas um grau

médio de confiabilidade. Destaca-se que esta elevação não deve ser uniforme em todas as regiões da Terra, mas que cerca de 95% das áreas oceânicas devem ter o nível do mar elevado e que perto de 70% dos litorais do Mundo devem experimentar uma elevação do nível do mar próxima de 20% da média global.

Essas possíveis elevações da temperatura e do nível do mar até o fim do século poderão criar e potencializar processos erosivos da zona costeira em todo o globo. Os impactos locais dessas mudanças são mais difíceis de projetar, exceto no caso das geleiras, áreas insulares, regiões abaixo do nível do mar e planícies costeiras arenosas baixas, onde muito provavelmente as influências serão mais intensas com elevados custos de adaptação.

Desse modo, entende-se que a projeção de cenários e tendências evolutivas para o litoral de Icapuí deve considerar os relatórios do IPCC sobre as mudanças climáticas e elevação do nível do mar em nível global também como uma perspectiva para o nível local, relacionando com os processos dos últimos 27 anos mostrados pelo DSAS. Essas informações podem apontar direcionamentos para o planejamento e a gestão da zona costeira, de modo que os tomadores de decisões possam entender a complexidade do sistema costeiro de modo mais amplo e relacioná-lo com os fatores naturais e humanos atuantes sobre ele em escalas local, regional e global.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desta pesquisa foi analisar a evolução espaçotemporal (1987-2014) da linha de costa do Município de Icapuí, considerando de forma integrada a dinâmica costeira local, visando a subsidiar o planejamento e a gestão da área. A zona costeira de Icapuí compreende um dos mais diversos e complexos sistemas ambientais da costa cearense.

Avalia-se neste trabalho que foi possível sistematizar bancos de dados e informações técnico-científicas (SIG, mapas temáticos e relatórios) como subsídios para a caracterização geoambiental e a gestão dos sistemas ambientais litorâneos do Município de Icapuí. Assim, foram caracterizados ambientes como o mar litorâneo, o delta de maré, a linha de costa e a faixa de praia, as planícies fluviomarinhas, os campos de dunas, os terraços marinhos, as falésias e paleofalésias e o tabuleiro pré-litorâneo, de modo a refletir sobre a dinâmica entre eles e, principalmente, como esses ambientes influenciam no equilíbrio dinâmico da linha de costa.

Além da caracterização físico-ambiental, analisou-se a dinâmica costeira de Icapuí-CE, considerando a interação dos agentes naturais e antrópicos nos sistemas ambientais e a sua influência no comportamento espaçotemporal da linha de costa. Os 45 km de linha de costa, aproximadamente, possuem alta variabilidade espaçotemporal, denotando trechos erosivos e deposicionais. A erosão costeira é um processo natural que pode ser acentuado pela ação humana em distintas escalas e gerar impactos e efeitos socioambientais com custos sociais e econômicos elevados.

O uso de métodos diretos e/ou indiretos para o acompanhamento da evolução da linha de costa depende de um conjunto de fatores, sendo os mais importantes a disponibilidade de dados, o tempo/período da análise e os custos econômicos.

Considera-se que as tecnologias da geoinformação sejam o principal caminho metodológico para a análise pretérita da linha de costa a nível municipal em três décadas, como foi realizado neste trabalho, pois essas tecnologias (sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas) permitem acompanhar no tempo e no espaço o comportamento dinâmico dessa feição litorânea com um custo econômico relativamente baixo.

O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) constituiu-se como excelente metodologia de análise indireta da evolução da linha de costa por meio de um SIG, pois permitiu gerar dados e informações sobre o comportamento espaçotemporal da linha de costa de Icapuí, identificar os trechos de progradação e erosão mais significativos e as tendências evolutivas, além de possibilitar a projeção de possíveis cenários evolutivos.

Por meio dessa metodologia, foi possível evidenciar os trechos do litoral do Município com maior variação da linha de costa, por meio dos métodos matemáticos e estatísticos NSM, SCE, EPR e LRR, destacando aqueles afetados por erosão costeira (avanço do mar), quantificando os recuos (erosão) e avanços (progradação), bem como classificando os trechos de acordo com os processos identificados. Assim, foram adotadas cinco classes de evolução: progradação contínua, progradação moderada e/ou semicontínua, relativamente estável, erosão moderada e/ou semicontínua e erosão contínua.

Observou-se que ao longo do litoral do Município de Icapuí ocorrem processos erosivos e progradação significativos, com maiores variações nos setores oeste e central, enquanto o setor leste apresentou relativa estabilidade. Esses três setores foram compartimentados em subsetores de acordo com os processos identificados, de modo que se identificaram 19 subsetores, sendo dois trechos classificados como em erosão contínua, quatro em erosão moderada e/ou semicontínua, sete em relativa estabilidade, quatro em progradação moderada e/ou semicontínua e dois em progradação contínua.

No setor oeste, destacaram-se os processos erosivos dos subsetores Retiro Grande, Redonda e Peroba, com tendências de erosão da ordem 0,5 a 4 m/ano, com maiores impactos e preocupações nos dois últimos, enquanto no subsetor Ponta Grossa (sotamar) observou-se uma progradação considerável de até 240 metros nos 27 anos de análise com tendência de acresção entre 12 e 20 m/ano.

No setor central, observou-se o maior processo erosivo em Icapuí, relacionado ao trecho da praia de Barrinha, com erosão de até 115 metros nos últimos 27 anos e tendência erosiva entre 1,2 e 4,5 m/ano. Este trecho foi também o que teve a população mais impactada pela erosão, assim como teve a construção de uma estrutura rígida de controle da erosão e proteção da costa. Também se constatou uma erosão significativa na praia de Barreiras da Sereia com impactos mais recentes, com tendências de recuos da ordem de 1 m/ano e ainda uma erosão menos significativa no subsetor Barra Grande (barlamar). Neste setor observou-se também um trecho de acresção relacionado à flecha litorânea do estuário da Barra Grande, com variações positivas de até 80 m nos últimos 27 anos e tendências de acresção entre 0,5 e 3 m/ano.

O setor leste demonstrou relativa estabilidade em quase todo o litoral, exceto no trecho em progradação moderada na praia de Tremembé e no trecho de alta instabilidade relacionado à desembocadura do rio Arrombado.

Dessa forma, não é possível sintetizar/unificar o processo evolutivo existente no município, pois ao longo do seu extenso litoral ocorrem variados comportamentos evolutivos.

Foi possível discutir sobre as possíveis causas e consequências do comportamento espaçotemporal da linha de costa verificado, com ênfase nos trechos afetados por erosão costeira e, assim, vislumbrar possibilidades de redução dos seus efeitos.

As causas foram classificadas em fatores naturais e fatores humanos, sendo compartimentados conforme a escala que ocorrem a nível local, regional e/ou global. Dentre as causas naturais, destacaram-se a orientação da linha de costa, as áreas de aporte sedimentar, o comportamento meteorológico e climático e os ciclos lunar e solar. Os fatores humanos principais referem-se à ocupação inadequada das áreas de aporte sedimentar, o barramento de cursos fluviais, a ocupação muito próxima à linha de costa e as mudanças climáticas e elevação do nível médio do mar provocadas pelo aquecimento global.

As consequências desses processos foram abordadas conforme os subsetores e vão desde os impactos ambientais no sistema praias até os prejuízos sociais e econômicos com a perda de casas, vias e equipamentos públicos, bem como a necessidade de adotar estratégias de contenção da erosão e proteção da costa por parte dos moradores, com sacos de areia, entulhos e estacas de madeira, e pelo poder público, com a destinação de recursos para a construção de estruturas rígidas de contenção, como os enrocamentos em Barrinha e Barreiras da Sereia.

Estimaram-se ainda possíveis cenários de evolução considerando os dados e informações geradas pelo DSAS e o último relatório do IPCC sobre as mudanças climáticas e variações do nível médio do mar. No primeiro, cenários para os próximos 20 anos e, no segundo, até o fim do século XXI, de modo que se destacou o fato de que os trechos com ocupação mais próxima à linha de costa, como em Redonda e Peroba, devem ter especial atenção nessas duas projeções, assim como se deve planejar adequadamente a ocupação dos sistemas ambientais costeiros, considerando a evolução espaçotemporal da linha de costa, a capacidade de suporte dos ambientes litorâneos e as funções destes no equilíbrio dinâmico da zona costeira.

Possivelmente, as análises futuras utilizando essa metodologia obterão resultados numéricos de evolução mais precisos e significativos, pois o avanço das tecnologias da geoinformação, principalmente aquelas relacionadas aos produtos de sensores remotos, disponibiliza produtos cada vez mais precisos (altas resoluções espacial e temporal de sensores remotos) e têm se popularizado com diferentes programas de imageamento, além do avanço e popularização dos Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) ou *drones*. Desse modo, os possíveis erros e inconsistências por meio dos dados inseridos no DSAS, como os de ordem climatológica, resolução espacial e temporal das imagens, e outros, serão consideravelmente reduzidos.

Compreende-se que a aplicação dessa metodologia no litoral do Município de Icapuí poderá servir de base para estudos mais aprofundados sobre a dinâmica geoambiental da zona costeira do Município, assim como auxiliar no planejamento e gestão da zona costeira por parte do poder público em variadas escalas de trabalho, aliado ao monitoramento por meio de métodos diretos e indiretos da linha de costa. Este trabalho pode também motivar a aplicação do DSAS em outras áreas litorâneas no Brasil e no mundo pela fácil adequação metodológica e a crescente disponibilidade de dados.

Espera-se que esta pesquisa possa direcionar ações do poder público e da sociedade, com vista a pensar o sistema costeiro de maneira mais ampla e dinâmica, em que interferências humanas inadequadas podem resultar em situações de risco, impactos socioambientais e prejuízos econômicos. Almeja-se, por consequente, a condução de estratégias racionais e sustentáveis de uso e ocupação da zona costeira, através do planejamento e a gestão dos seus espaços e sistemas ambientais, considerando suas potencialidades e limitações, de modo que se reduzam os processos de erosão costeira e os seus efeitos socioambientais em Icapuí.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Brasil: paisagens de exceção: o litoral e o pantanal mato-grossense**. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2006.
- AB'SÁBER, A. N. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2001.
- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**. São Paulo, Ateliê Editorial, 2005.
- AIELLO, A.; CANORA, F.; PASQUARIELLO, G.; SPILOTRO. Shoreline variations and coastal dynamics: A space–time data analysis of the *Jonian* littoral, Italy. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.129, n.1, p.124-135, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771413002904#>>. Acesso em: 2 mar. 2015.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia Portuária**. São Paulo: Blucher, 2009.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas**. São Paulo: Blucher, 2014.
- ARTHURTON, R.; KORATENG, K. Coastal and marine environments. *In: Africa environment outlook 2: our environment, our wealth*. Nairobi, Kenya: DEWA/UNEP, 2006. Disponível em: <http://www.unep.org/dewa/Africa/publications/AEO-2/content/pdf/aeo2_ch5.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.
- AVANÇO do mar – Cascavel e Icapuí decretam estado de emergência. **Blog do Eliomar - O povo**, Fortaleza, 18 abr 2011. Disponível em: <<http://blog.opovo.com.br/blogdoeliomar/avanco-do-mar-cascavel-e-icapui-decretam-estado-de-emergencia/>>. Acesso em: 1 fev. 2016.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. *In: Caderno de Ciências da Terra*, v.13, p.1-21. São Paulo, 1972.
- BEZERRA, J. L. C.; MAIA, L. P. Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**. Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 47-55, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/8411/1/2012_art_ljbezerra.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2015.
- BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An introduction**. England: **British Library**, 2008. Disponível em: <<http://baa.univpgripalembang.ac.id/perpusfkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Fisik/Geomorfologi%20Pantai.pdf>>. Acesso em: 16 jun 2015.
- BRAGA, H. MEDEIROS, W.D.A. Percepção do avanço do mar na praia da Barrinha, Icapuí/CE. *In: GEOTemas*, v 5, n. 1, p.49-72. Pau dos Ferros/RN, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.uern.br/index.php/geotemas/article/viewFile/1211/789>>. Acesso em: 21 fev. 2016.
- BRASIL. **Lei 12.651/2012 (lei ordinária) 25/05/2012** – Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 23 out 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/205/_publicacao/205_publicacao03022011100749.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1999.

CLAUDINO-SALES, V. C; PEULVAST, J. P. Geomorfologia da zona costeira do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *In*: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p. 349-366.

COMISSÃO EUROPEIA. **Viver com a erosão costeira na Europa** – Sedimentos e espaço para a sustentabilidade. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2006. Disponível em: <http://www.euroasion.org/project/euroasion_pt.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2015.

CONAMA. **Resolução 303, de 20 de março de 2002** – Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 23 out 2015.

CONCLUÍDA 1ª etapa da contenção do mar em comunidades de Icapuí. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 11 fev 2012. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/concluida-1-etapa-da-contencao-do-mar-em-comunidades-de-icapui-1.188298>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

CPTEC. Clima. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

CPTEC. Glossário. **Aquecimento Global**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#32>>. Acesso em 28 fev. 2016.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. New York: Cambridge University Press, 2010

EROSÃO marinha destrói construções em Icapuí. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 31 mar 2009. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/erosao-marinha-destroi-construcoes-em-icapui-1.739221>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

EROSÃO marinha também afeta litoral da praia do Icapuí. **O Povo**, Fortaleza, 29 set 2015. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/app/opovo/cotidiano/2015/09/29/noticiasjornalcotidiano,3511550/erosao-marinha-tambem-afeta-litoral-da-praia-do-icapui.shtml>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

FARIAS, E. G. G. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

- FARIAS, G. G. F.; MAIA, L. P. Uso de técnicas de Geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Integrada da Zona Costeira**, v. 10, n. 4, p. 521-544, 2010. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.
- FERNANDEZ, G. B.; MUEHE, D. Algumas considerações sobre os efeitos do fenômeno El Niño sobre feições costeiras ao longo da costa brasileira. **Revista GEOgrafia**, ano 8, n.15, p.115-128, 2006. Disponível em: <<http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/191/183>>. Acesso em: 16 mai. 2015.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.
- FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. United Nations. **Adoption of the Paris agreement**. Paris, 2015.
- GENZ, A. S.; FLETCHER, C.H.; DUNN, R. A.; FRAZER, L. N.; ROONEY, J. J. The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods. **Journal of Coastal Research**, v.23, n.1, p.87-105, 2007. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf>. Acesso em: 2 set. 2014.
- GREGORY, K.J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1985.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
- HIMMELSTOSS, E.A. 2009. “DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide”. In: THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., AND ERGUL, AYHAN. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0** — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey, 2009. *updated for version 4.3. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.
- IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 12 out 2015.
- INICIATIVA VERDE. **Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação: grupo de trabalho II do IPCC – impactos, adaptação e vulnerabilidade** (tradução do relatório do IPCC). São Paulo, 2015.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: synthesis report**. Geneva, Switzerland, 2014.
- IPECE. Perfil básico municipal 2014. **Icapuí**. Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Icapui.pdf>. Acesso em: 13 jul 2015.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

KABUTH, A. K.; KROON A.; PEDERSEN, J. B. T. Multidecadal Shoreline Changes in Denmark. **Journal of Coastal Research**, volume 30, No 4, p. 714-728, 2014. Disponível em: < <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.2112/JCOASTRES-D-13-00139.1>>. Acesso em 30 ago 2015.

KALIRAJ, S. ;CHANDRASEKAR, N.; MAGESH, N. S. Impacts of wave energy and littoral currents on shoreline erosion/ accretion along the south-west coast of Kanyakumari, Tamil Nadu using DSAS and geospatial technology. **Environmental earth sciences**, vol:71 iss:10 pg:4523 -4542, 2014. Disponível em:<http://www.researchgate.net/profile/S_Kaliraj/publication/257961861_Impacts_of_wave_energy_and_littoral_currents_on_shoreline_erosionaccretion_along_the_southwest_coast_of_Kanyakumari_Tamil_Nadu_using_DSAS_and_geospatial_technology/links/00b4952b2033a04f03000000.pdf>. Acesso em 30 mai 2015.

KAMPEL, M.; AMARAL, S.; SOARES, M. L. G. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro... *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 979-986.

KLEMAS, V. Airborne Remote Sensing of Coastal Features and Processes: An Overview. **Journal of Coastal Research**, Florida, v.29, n.2, p.239-255, 2013. Disponível em: <<http://www.bioone.org/pdf/10.2112/JCOASTRES-D-12-00107.1>>. Acesso em: 7 mar. 2014.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000. 268p.

LINS-DE-BARROS, F. M.; MUEHE, D. Tradição da geografia nos estudos costeiros. *In: Revista Mercator*, Ano 08, n. 16, p. 103-109. Fortaleza, 2009. Disponível em: < <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/214/224>>. Acesso em: 21 set. 2015.

LIU, M. XU, Y. HU, Y. LI, C. SUN, F. CHEN, T. A Century of the Evolution of the Urban Area in Shenyang, China. *In: PLoS ONE*, V.9, n. 6, p.1-9. USA, 2014. Disponível em: <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0098847&representation=PDF>. Acesso em: 19 set. 2015.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas... *In: GUERRA, A. J. T; JORGE, M. C. O. (Org.). Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

MAGESWARAN T.; RAM MOHAN V., CHENTHAMIL SELVAN S.; ARUMUGAM T. Assessment of shoreline changes along Nagapattinam coast using geospatial techniques. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. Volume 5, No 4. Disponível em: <http://www.ipublishing.co.in/jggsarticles/volfive/EIJGGS5048.pdf>. Acesso em: 28 set. 2015.

MAHAPATRA, M.; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A. S. Shoreline Change Analysis along the Coast of South Gujarat, India, Using Digital Shoreline Analysis System. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, Volume 42, Issue 4, pp 869-876, 2014. Disponível em:< <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12524-013-0334-8>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

MARINO, M. T. R. D.; FREIRE, G. S. S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro... **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v.13, n.1, p.113-129, 2013. Disponível em: < http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf >. Acesso em: 2 mar. 2014.

MASCARO, S. A. **Evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo nas estâncias turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim (SP)**. 192 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2004.

MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**. Confins [online] v. 11, 2008. Disponível em: < <https://confins.revues.org/6970?lang=pt> >. Acesso: 18 jan 2015.

MEIRELES, A. J. A. **Geomorfologia costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEB, A.; THIERS, P.R.L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, Fortaleza, v.4, n.8, p.109-134, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1193/1/INTEGRACAO%20DOS%20INDICADORES%20GEOAMBIENTAIS%20DE.pdf>>. Acesso em: 12 jun 2015.

MEIRELES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S.; THIERS, P. R. L. Aspectos geodinâmicos do delta de maré da planície costeira de Icapuí/CE. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p. 367-382.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

MEIRELES, A. J. A.; SOUZA, W. F. **Diagnóstico ambiental APA da Barra Grande/Icapuí-CE**. Fortaleza, AQUASIS, 2014.

MEIRELES, A.J.A.; RUBIO ROMERO, P. Geomorfología litoral: una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará, nordeste de Brasil. **Revista de Geografia**. Universitat de Barcelona, Espanha, v. 32/33, p. 165-182, 1999. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/download/46110/56916>>. Acesso em: 3 fev. 2015.

MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade. Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície Costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**. Confins [online] 2 | 2008. Disponível em: <<http://confins.revues.org/2423>>. Acesso: 18 jan 2013.

MELO, J. B. Ocupação urbana e impactos ambientais de empreendimentos construídos na zona costeira de Fortaleza-CE. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p 299-308.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007.

MORAIS, J. O.; FREIRE, G. S. S.; PINHEIRO, L.; SOUZA, M. J. N.; CARVALHO, A. M.; PESSOA, P. R.; OLIVEIRA, S. H. M. Ceará. In: MUEHE, D (Org.). **Erosão e progradação**

no litoral brasileiro. Brasília, DF: MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ce_erosao.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

MOURA, M. R. **Dinâmica costeira e vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará.** 210 f. Tese (doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MOURA, M. R. **Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970 – 2008.** 137 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

MUEHE, D (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro.** Brasília, DF: MMA, 2006.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *In: Revista Mercator*, Ano 04, n. 07, p. 97-110. Fortaleza, 2005. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewFile/113/85>>. Acesso em: 21 set. 2015.

MUEHE, D. Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. In. GUERRA, A. J. T; JORGE, M. C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de textos, 2013.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2010.

OYEDOTUN, T. D. T. Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis. *In: COOK, S.J., CLARKE, L.E. & NIELD, J.M. (Org.) Geomorphological Techniques* (Online Edition). British Society for Geomorphology; London, UK. ISSN: 2047-0371. Disponível em: <http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/3.2.2_ShorelineGeometry.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2015.

PÉREZ-ALBERTI, A.; PIRES, A.; FREITAS, L.; CHAMINÉ, H. Shoreline change mapping along the coast of Galicia, Spain. *Proceedings of the ICE - Maritime Engineering*, Issue 3, 01 September 2013, p. 125 –144, 2013. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Augusto_Perez-Alberti/publication/256461166_Shoreline_change_mapping_along_the_coast_of_Galicia_Spain/links/00b49522f59eb8e142000000.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

PETROBRAS faz nova descoberta de petróleo em terra no Ceará. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 27 jan. 2015. Disponível em: <<http://diarionordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/petrobras-faz-nova-descoberta-de-petroleo-em-terra-no-ceara-1.1206597>>. Acesso em: 19 set. 2015.

PREFEITURA DE ICAPUÍ. Instituto Municipal de Fiscalização e Licenciamento Ambiental - IMFLA. **Diagnóstico geoambiental do rio Arrombado, Icapuí-CE**, 2013. Disponível em: <<http://www.icapui.ce.gov.br/index.php/servicos-ao-cidadao/category/21-comunicados?download=66:diagnostico-geoambiental-rio-arrombado>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

QUATRO praias destroçadas em Icapuí. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 21 fev 2014. Disponível em: <<http://diarionordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/quatro-praias-destrocadas-em-icapui-1.817469>>. Acesso em: 8 mar. 2014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e Gestão Ambiental**: Subsídios da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica. Fortaleza: UFC, 2013.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SAM, L. GAHLOT, N. PRUSTY, B.G. Estimation of dune celerity and sand flux in part of West Rajasthan, Gadra area of the Thar Desert using temporal remote sensing data. *In: Arabian Journal of Geosciences*. V 8, n. 1, p 295-306. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-013-1219-4>>. Acesso em: 7 mar. 2014.

SANTOS, A. M. F. **Zoneamento geoambiental para uma gestão planejada e participativa**: planície costeira do município de Icapuí/CE. 2008. 150 f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2008.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

SECA agrava avanço do mar e erosão no litoral cearense. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 21 dez 2012. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/seca-agrava-avanco-do-mar-e-erosao-no-litoral-cearense-1.53714>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

SEMACE. **Área de Proteção Ambiental do Manguezal da Barra Grande**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/area-de-protecao-ambiental-do-manguezal-da-barra-grande/>>. Acesso em: 18 maio 2015.

SHEIK, M.; CHANDRASEKAR. A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. **Geo-spatial Information Science**, December 2011, Volume 14, Issue 4, pp 282-293, 2011. Disponível em:< <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11806-011-0551-7>>. Acesso em: 28mai 2015.

SILVA, E.V. **Dinâmica da paisagem**: estudo integrado de ecossistemas litorâneos em Huelva (Espanha) e Ceará (Brasil). 1993. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

SILVA, J. A. **Manguezal do estuário Barra Grande em Icapuí-CE: da degradação ao processo de recuperação e mudança de atitude**. 125 f. Dissertação (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. São Paulo: USP, 48p. (Traduzido da versão inglesa *The Study of Geossystems*).1977.

SOUSA, D. C.; SÁ, E. F. J; VITAL, H.; NASCIMENTO, M. A. L. Falésias da praia de Ponta Grossa: importantes deformações tectônicas em rochas sedimentares da formação barreiras. *In: Winge, M. (Org.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: CPRM, 2009. v. 2, 516 p. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/SIGEP_Vol_II.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2015.

SOUZA, D. C.; SÁ, E. F. J; ANTUNES, A. F. Deformação neógena e suas implicações na estruturação dos campos de petróleo na região de Icapuí-Ponta Grossa (CE), Bacia Potiguar emersa. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38(2 - suplemento), p.97-110, 2008. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rbg/v38n2s1/v38n2s1a08.pdf>>. Acesso em 17 jul. 2015.

SOUZA, M. J. N.; MELENEU NETO, J. S.; SANTOS, J. O.; GONDIM, M. S. **Diagnóstico Geoambiental de Fortaleza**: subsídios ao macrozoneamento ambiental... Fortaleza, Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M.M. Processos oceânicos e produtos sedimentares. *In*: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a terra**. São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 376-399.

TORQUATO, J. R.; TORQUATO, A. M. P.; MORAES, R. M. O GRABEN DA FAZENDA RETIRO GRANDE E OUTROS ASPECTOS NEOTECTÔNICOS NA REGIÃO DA PRAIA DE REDONDA (CEARÁ). **Geonomos**, ano 4, n.2, p.17-21, 2006. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/4_2_17_21_Torquato.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2015.

TROPMAIR, H. GALINA, M.H. Geossistemas. *In*: **Revista Mercator**, ano 5, n. 10 p.79-89. Fortaleza, 2006. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/69/44>>. Acesso em: 21 set. 2015.

UNESCO/COI. **Guia de opções de adaptação nas zonas costeiras à atenção dos decisores locais**. Senegal, 2012. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002166/216603por.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.

USERY, E. L.; CHOI, J.; FINN, M. P. Modeling Sea-Level Rise and Surge in Low-Lying Urban Areas Using Spatial Data... *In*: SHOWALTER, P. S.; LU, Y. (Org.). *In*: **Geospatial Techniques...** Springer Netherlands, 2010. p.11-30. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-2238-7_2>. Acesso em: 27 mar. 2014.

VANCONCELOS, R. G. F. **Estudo do fenômeno da erosão marinha na praia de Icarai no município de Caucaia - Ceará. 2010. 61 f. Monografia** (Especialização em segurança pública e defesa civil) - Faculdade Metropolitana da Grande Fortaleza, 2010.