



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**RAFAEL FIALHO DE OLIVEIRA**

**ASPECTOS GEODINÂMICOS ASSOCIADOS AO PROMONTÓRIO DE  
JERICOACOARA, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2022**

RAFAEL FIALHO DE OLIVEIRA

ASPECTOS GEODINÂMICOS ASSOCIADOS AO PROMONTÓRIO DE  
JERICOACOARA, CEARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal Do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental. Linha de Pesquisa: Estudo Socioambiental da Zona Costeira.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

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

---

- O51a Oliveira, Rafael Fialho de.  
Aspectos geodinâmicos associados ao Promontório de Jericoacoara, Ceará / Rafael Fialho de Oliveira. – 2022.  
167 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles.
1. Planície litorânea. 2. Análise multitemporal. 3. DSAS. 4. Método da mudança de polígono. I. Título.

CDD 910

---

RAFAEL FIALHO DE OLIVEIRA

ASPECTOS GEODINÂMICOS ASSOCIADOS AO PROMONTÓRIO DE  
JERICOACOARA, CEARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal Do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental. Linha de Pesquisa: Estudo Socioambiental da Zona Costeira.

Aprovada em: 22/07/2022

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cynthia Romariz Duarte  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Davis Pereira de Paula  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Eduardo Lacerda Barros  
Programa Cientista-Chefe Meio Ambiente (FUNCAP/SEMA/SEMACE)

---

Dr. Wallason Farias de Souza  
Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano de Itaitinga (SEMAM)

Para Maria Flor Pascoal Fialho.

## **AGRADECIMENTOS**

Esta tese parcial é especialmente dedicada a duas pessoas responsáveis pela minha constante (des)construção enquanto ser humano nos últimos anos: Gaby e Maria Flor. Talvez eu não tenha noção da minha evolução no período de convivência com estes seres iluminados, mas sei que ela existe.

Aos meus pais, Antônio Rogério Rebouças de Oliveira e Vânia Maria Fialho de Almeida Oliveira, que são meus pilares enquanto homem, e os principais responsáveis por todo meu desenvolvimento educacional e profissional. Amo vocês!

Ao professor Jeovah, não somente pela imensa contribuição na minha formação acadêmica e profissional, mas por acreditar neste projeto.

Ao professor Jader, pelos ensinamentos compartilhados desde o desenvolvimento do Mestrado.

À professora Cynthia pela disponibilidade e valiosas contribuições para a conclusão deste trabalho.

Aos professores Davis, Eduardo e Wallason, pelo aceite deste convite e pela consideração acadêmica e profissional ao longo das jornadas geográficas.

Grande abraço a tod@s!

## RESUMO

O litoral do estado do Ceará constitui um dos sistemas mais vulneráveis às formas não planejadas de uso e ocupação, cujas mudanças mais perceptíveis são as modificações na linha de costa, por processos de erosão e acresção, devidos às alterações nos processos de transferência de sedimentos entre praias e campos de dunas. A configuração de sua linha de costa é determinante na origem e evolução da planície litorânea, sendo as pontas e os promontórios tipos de feições costeiras que condicionam os aspectos geodinâmicos associados. Portanto, faz-se importante a elaboração de estudos que busquem o aprofundamento na caracterização dos processos atuantes nesses ambientes. Com base nessas premissas, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a evolução espaço-temporal do Promontório de Jericoacoara entre os anos de 1986 e 2021, por meio da extração das linhas de costa e dos depósitos eólicos ativos associados (campos de dunas e sedimentos em trânsito sobre a planície de aspensão ativa) a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento voltadas para a análise costeira, mediante a execução de procedimentos quanti e qualitativos, e auxiliado por visitas *in loco*. Para tanto, foram realizados processamentos de imagens previamente selecionadas do satélite *Landsat 5 TM* e *8 OLI*, seguidas da discussão e aplicação de métodos de mapeamento temporal das linhas de costa e depósitos eólicos ativos – sendo considerada a delimitação por interpretação visual como o mais adequado para o primeiro, e a delimitação por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) e Classificação Supervisionada (*Maximum Likelihood*), para o segundo. Com os dados espaços-temporais obtidos, procederam-se seus processamentos por meio do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e do método de Mudança do Polígono. Portanto, com base no procedimento LRR, constatou-se que a linha de costa do Promontório de Jericoacoara possui estabilidade em 3 setores (A, B e C), tendência a progradação em 1 setor (D), e extrema progradação no Setor E, apresentando erosão significativamente estatística em 32,79% do total da costa mapeada; e 44,68% de progradação significativamente estatística. A estabilidade apresentada permitiu que uma extensão considerável de sedimentos (2,51 km<sup>2</sup>) pudesse ser reinserida na dinâmica costeira a partir da porção NE do Promontório, migrados a uma taxa de 21,41 m/a, (procedimento EPR para os campos de dunas). Quanto à progradação em tendência e de forma extrema, ela foi evidenciada a partir do aporte

dos sedimentos, na faixa de praia a sotamar, oriundos do *bypass* executado pelas dunas do tipo *barcana*, na direção NE-SW, a uma taxa média geral de 16,29 m/a. Desta forma, conclui-se que a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento voltadas à análise costeira, especialmente no que tange mapeamentos em escala multitemporal, constitui-se uma ferramenta efetiva para o entendimento dos aspectos geodinâmicos associados às pontas e aos promontórios no Ceará, potencializando ações voltadas ao monitoramento ambiental, à gestão costeira e ao ordenamento territorial de ambientes vulneráveis aos processos de uso e ocupação do solo.

**Palavras-chave:** planície litorânea; análise multitemporal; DSAS; método da mudança de polígono.



## ABSTRACT

The seaside of the Ceará state constitutes one of the most vulnerable systems to unplanned forms of use and occupation, whose most perceptible changes are the ones on the coastline, by erosion and accretion processes due to alterations in the processes of sediment transferring between beaches and sand dune fields. The setting of its coastline is decisive in the origin and evolution of coastal plain, with points and promontories being types of coast features that condition the associated geodynamic aspects. Thus, the production of studies that seek to better characterize the processes acting within these environments is important. Based on such premises, the general objective of this paper was to analyze the space-time evolution of the Jericoacoara Promontory between 1986 and 2021 via extraction of the coastlines and the associated active wind deposits (sand dune fields and sediments in movement on the active aspersion plain) based on Geoprocessing and Remote Sensing techniques aimed at coastal analysis, through qualitative and quantitative procedures and aided by on-site visits. To this end, we processed images previously selected from 8 OLI and Landsat 5 TM satellite, followed by the discussion and application of methods of temporal mapping of coastlines and active wind deposits – with delimitation via visual interpretation being the most appropriate for the first one and delimitation via Principal Component Analysis (PCA) and Supervised Classification Analysis (Maximum Likelihood) for the second one. Having obtained the space-time data, we processed them via Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and the Change Polygon Method. Therefore, based on the LRR procedure, we verified that the coastline of the Jericoacoara Promontory is stable in three sectors (A, B and C), has a tendency towards progradation in one sector (D), and extreme progradation in Sector E, presenting statistically significant erosion in 32.79% of the mapped coast; and 44.68% of statistically significant progradation. The presented stability enabled the reinsertion of a considerable sediment extension (2,51 km<sup>2</sup>) to the coastal dynamic from the NE portion of the Promontory, migrated at a rate of 21.41 m/y (EPR procedure for sand dune fields). Regarding the tendency and extreme tendency towards progradation, it was evidenced by the sediment input, in the downstream beach strip, from the barcana dunes bypass in the NE-SW direction at a general average rate of 16.29 m/y. Thus, we conclude that the application of Geoprocessing and Remote Sensing techniques aimed at coastal

analysis, especially regarding mapping in multi-temporal scale, is an effective tool to understand the geodynamic aspects associated to points and promontories in Ceará, enhancing actions aimed at environmental monitoring, coastal management and territorial planning of environments vulnerable to soil use and occupation processes.

**Keywords:** beach plain; multi-temporal analysis; DSAS; change polygon method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma metodológico .....	24
Figura 2 – Esboço dos continentes Sul-americano e Africano há 150 milhões de anos A.P. ....	30
Figura 3 – Bacias sedimentares do Nordeste brasileiro .....	31
Figura 4 – Extensão das terras continentais (hachuradas) há 18 mil ano A.P..	36
Figura 5 – Praia de baía em equilíbrio dinâmico e estático .....	44
Figura 6 – Síntese da movimentação da ZCIT e padrões de ventos associados .....	58
Figura 7 – Comparativos entre uma composição RGB 653 e RGB Componentes Principais 123. ....	69
Figura 8 – Cenas das fotografias aéreas da área de estudo – ano 1959.....	74
Figura 9 – Fotografia aérea do Setor A .....	132
Figura 10 – Fotografia aérea dos campos de dunas móveis em <i>bypass</i> litorâneo .....	138
Figura 11 – Fotografias aéreas das dunas barcanas em <i>bypass</i> litorâneo no Promontório de Jericoacoara .....	144
Figura 12 – Fotografia aérea do conjunto de dunas barcanas em <i>bypass</i> litorâneo no Promontório de Jericoacoara.....	144
Figura 13 – Fotografias aéreas das dunas transversais em <i>bypass</i> litorâneo no Promontório de Jericoacoara .....	148

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 –	Mapa de Localização da Área de Estudo.....	22
Mapa 2 –	Trecho de maior ocorrência de eolianitos na costa do Ceará .....	37
Mapa 3 –	Fisiografia da linha de costa do Ceará, contendo as direções do litorall.....	39
Mapa 4 –	Principais pontas e promontórios do litoral do Ceará.....	43
Mapa 5 –	Mapa geológico da área de estudo .....	49
Mapa 6 –	Mapa geomorfológico da área de estudo .....	54
Mapa 7 –	Recorte das cenas Landsat para a área de estudo.....	81
Mapa 8 –	Mapeamento da linha de costa a partir das imagens Landsat 5 TM	83
Mapa 9 –	Mapeamento da linha de costa a partir das imagens Landsat 8 OLI	84
Mapa 10 –	Composição colorida, NDWI e MNDWI da Ponta de Jericoacoara a partir das imagens Landsat 5 TM – Período 1986 a 2008.....	85
Mapa 11 –	Composição colorida, NDWI e MNDWI da Ponta de Jericoacoara a partir das imagens Landsat 8 OLI – Período 2013 a 2021 .....	86
Mapa 12 –	Linhas de costa comparativas no ano de 2008 .....	89
Mapa 13 –	Linhas de costa comparativas no ano de 2019 .....	90
Mapa 14 –	Referenciais para a delimitação do campo de dunas e da planície de aspensão eólica ativa no Promontório de Jericoacoara.....	92
Mapa 15 –	Imagens RGB processadas a partir de Componentes Principais....	94
Mapa 16 –	Mapeamento geral do avanço do campo de dunas a partir das composições geradas pela ACP .....	96
Mapa 17 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara.....	107
Mapa 18 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor A .....	109
Mapa 19 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor B .....	111
Mapa 20 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor C .....	113
Mapa 21 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor D .....	115
Mapa 22 –	Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E .....	118

Mapa 23 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E-1 .....	119
Mapa 24 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E-2.....	122
Mapa 25 – Evolução geral dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Anos 1986 e 2021 .....	124
Mapa 26 – Evolução por período dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Setor A.....	126
Mapa 27 – Evolução geral da dinâmica do Promontório de Jericoacoara – Setor A .....	129
Mapa 28 – Evolução da geodinâmica do Promontório de Jericoacoara associada à integração de fluxos de matéria e energia no Setor A.	131
Mapa 29 – Evolução por período dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Setor B.....	134
Mapa 30 – Evolução morfológica das dunas próximas à Vila de Jericoacoara – Setor B .....	136
Mapa 31 – Evolução da geodinâmica do Promontório de Jericoacoara associada à integração de fluxos de matéria e energia no Setor B	138
Mapa 32 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – linhas de base 1 a 4 .....	141
Mapa 33 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – linhas de base 5 a 8 .....	142
Mapa 34 – Evolução por período dos campos de dunas transversais do Promontório de Jericoacoara – Setor C .....	145
Mapa 35 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – Setor C .....	147
Mapa 36 – Evolução espaço-temporal da barreira litorânea associada à integração de fluxos de matéria e energia .....	150

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das Paisagens.....	28
Quadro 2 – Resumo das características principais dos sistemas atmosféricos.	56
Quadro 3 – Indicadores de mapeamento de linha de costa.....	62
Quadro 4 – Síntese dos procedimentos estatísticos utilizados pelo <i>Digital Shoreline Analysis System</i> (DSAS).....	98
Quadro 5 – Síntese das distâncias (SCE) e taxas de variação (EPR) das linhas de costa do Promontório.....	103
Quadro 6 – Síntese das taxas LRR referente à evolução das linhas de costa do Promontório.....	104
Quadro 7 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica do Setor A.....	130
Quadro 8 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica dos campos de dunas móveis do tipo barcana.....	143
Quadro 9 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica dos campos de dunas do Setor C.....	148

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Taxas de regressão linear (LRR) no Promontório de Jericoacoara .	104
Gráfico 2 – Distribuição de valores LRR da área de estudo .....	105
Gráfico 3 – Extensão dos depósitos eólicos ativos (campos de dunas móveis e planície de aspersão ativa) do Setor A.....	127
Gráfico 4 – Extensão dos campos de dunas móveis do Setor B .....	135
Gráfico 5 – Extensão dos campos de dunas móveis do Setor C.....	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Informações das imagens <i>Landsat</i> 5 TM da Ponta de Jericoacoara	76
Tabela 2 –	Informações das imagens <i>Landsat</i> 8 OLI da Ponta de Jericoacoara.....	76
Tabela 3 –	Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para cada trecho .....	106
Tabela 4 –	Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para o trecho E-1.....	116
Tabela 5 –	Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para o trecho E-2.....	120
Tabela 6 –	Síntese das áreas da Duna do Pôr-do-Sol e da Duna Papai Noel..	137



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Análise por Componentes Principais
AP	Antes do Presente
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
DSAS	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Erro Padrão Estimado
EPR	<i>End Point Rate</i>
EPSG	<i>European Petroleum Survey Group</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
L1TP	<i>Landsat Level-1 Precision and Terrain</i>
LiDAR	<i>Light Detecting And Ranging</i>
LPGS	<i>Landsat Product Generation System</i>
LRR	<i>Linear Regression Rate</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MNDWI	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NSM	<i>Net Shoreline Movement</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDI	Processamento Digital de Imagem
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RMSE	<i>Root Mean Squared Error</i>

SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SCE	<i>Shoreline Change Envelope</i>
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
TGS	Teoria Geral de Sistemas
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS 1984	<i>World Geodetic System</i>
WLR	<i>Weighted Linear Regression</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	Análise Geoambiental .....	26
2.2	Evolução do Litoral Cearense .....	29
2.2.1	<i>Evolução Tectônica Mesozoico-Terciária</i> .....	29
2.2.2	<i>Evolução Eustático-Climática Quaternária</i> .....	34
2.3	FISIOGRAFIA E GEODINÂMICA DOS PROMONTÓRIOS DO LITORAL DO CEARÁ .....	39
2.4	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO PROMONTÓRIO DE JERICOACOARA.....	45
2.4.1	<i>Aspectos Geológicos e Geomorfológicos</i> .....	45
2.4.2	<i>Aspectos Hidroclimáticos</i> .....	55
2.5	GEOTECNOLOGIAS, MAPEAMENTO E ANÁLISE COSTEIRA .....	59
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
3.1	Levantamento e Compatibilização dos Dados Espaciais .....	71
3.2	Mapeamento da Linha de Costa.....	82
3.3	Mapeamento dos Depósitos Eólicos Ativos.....	91
3.4	Modelagem da Dinâmica Costeira do Promontório.....	97
3.4.1	<i>DSAS</i> .....	97
3.4.2	<i>Mudança de Polígono</i> .....	99
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	103
4.1	Movimento Geral da Linha de Costa.....	103
4.1.1	<i>Movimento Setorizado da Linha de Costa</i> .....	108
4.2	Movimento Geral dos Depósitos Eólicos Ativos .....	123
4.2.1	<i>Movimento Setorizado dos Depósitos Eólicos Ativos</i> .....	125
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	151
	REFERÊNCIAS .....	154

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas situadas nas interfaces entre diferentes ecossistemas, denominadas de ecótonos, configuram-se entre aquelas mais suscetíveis às consequências das pressões antropogênicas e aos efeitos das alterações climáticas globais. Dentre essas interfaces existentes no globo, verifica-se que um daqueles que reagem com maior rapidez a tais fatores são aqueles localizados na interface continente-oceano, ambientes onde se encontram as planícies costeiras (MAIA; FREIRE; LACERDA, 2005).

As características naturais das planícies costeiras dependem de fatores ligados diretamente à ação marinha e climática, tais como dinâmica eólica e variações dos fluxos/vazões de rios. Esses fatores influenciam a estabilidade da costa e o equilíbrio entre erosão e progradação (LACERDA, 2010; MEIRELES, 2011 e 2012), pois o litoral brasileiro possui extensos trechos que são caracterizados por grandes depósitos de sedimentos – que podem assumir a forma de cordões litorâneos, pontais e planícies de cristas de praia – e pela ocorrência de segmentos representados por terraços lamosos ocupados por manguezais, além das feições de falésias modeladas em sedimentos consolidados (MUEHE, 2006).

No que trata a análise de Muehe (2005), verifica-se nas áreas de maior ocupação do litoral brasileiro, relacionadas às maiores concentrações populacionais nas capitais (Rio de Janeiro, Salvador, Maceió, Recife e Fortaleza), que a erosão costeira é uma preocupação frequentemente agravada pela interferência do homem por meio de construções de estruturas que bloqueiam o trânsito livre de sedimentos, como na estabilização de desembocaduras fluviais, na construção de instalações portuárias ou para a fixação da linha de costa.

Isso é um reflexo direto do aumento da ocupação dos espaços litorâneos, principalmente devido à expansão urbana de grandes cidades. Portanto, à medida que os relatos sobre erosão costeira surgem concomitantemente ao crescimento da ocupação do litoral, faz-se necessária a elaboração de diagnósticos para cada situação específica de erosão, a fim de identificar as causas para assim aplicar medidas mitigadoras e de gerenciamento para aqueles ambientes.

Ao longo de seus 626,89 km (SEMA, 2022), a planície costeira do Ceará é composta por variadas formas em sua extensão, tais como praias, dunas, cordões arenosos, rochas de praias, falésias, lagunas, estuários etc., e fornece uma ampla

variedade de serviços reguladores e de provisionamento, além da gama de aspectos culturais correlacionados.

No entanto, as paisagens que compõem esse ambiente formam um dos sistemas mais instáveis do ponto de vista natural, vulneráveis às formas não planejadas de uso e ocupação antrópica, e que precisam de estratégias conservacionistas em que figurem os aspectos de sua dinâmica natural e capacidade de suporte de seus sistemas e subsistemas ambientais (TRICART, 1977; SOUZA, 2000; MEIRELES, 2012; MUEHE, 2013).

As alterações mais perceptíveis que podem ser impressas nesses sistemas dizem respeito às modificações na posição da linha de costa decorrente dos processos de erosão que ocorrem, em grande parte, devido à falta de retroalimentação de sedimentos pela dinâmica costeira – alteração dos processos de transferência de sedimentos entre campos de dunas e praia, e/ou por efeitos decorrentes de intervenção antrópica, tais como a construção de barragens ou obras que provocam a retenção do fluxo de sedimentos ao longo da costa (MUEHE, 2006; MEIRELES, 2012).

Conclui-se, portanto, que a erosão de praias é uma das consequências que mais vem modificando de forma intensa diversos trechos das áreas costeiras não só no Ceará, mas em escala global, transformando-se em um problema emergencial para os Governos, comunidade científica e sociedade em geral.

No caso do litoral cearense, vários estudos foram realizados a fim de melhor compreender a configuração da dinâmica costeira frente aos processos erosivos e dar suporte para a mitigação de impactos socioambientais negativos.

No campo da Ciência Geográfica há uma vasta produção científica sobre essa temática, cabendo destaque a trabalhos norteadores como o de Silva (1998), Morais *et al.* (2006), Claudino-Sales (2007) e Meireles (2012), os quais fazem abordagens gerais desde a origem dos litorais cearenses até sua evolução atual, identificando os agentes responsáveis pela dinâmica costeira, caracterizando as morfologias produzidas por esses processos e analisando suas principais funções ambientais, além de indicar os principais impactos resultantes da ocupação desordenada desses espaços, que acabam por expô-los a processos erosivos correlacionados à destruição de praias e recuo da linha de costa em direção ao continente.

Dadas as características fisiográficas do litoral do Ceará, o conhecimento

das variações de linha de costa e da mobilidade dos campos de dunas faz-se importante no entendimento da atuação – complexa e dinâmica – dos processos costeiros em promontórios e pontas litorâneas.

Promontórios são estruturas naturais que ocorrem ao longo da costa global, em locais que existem afloramentos de rochas mais resistentes acima, abaixo ou ao nível do mar – ou onde há terrenos elevados no litoral –, podendo, inclusive, ocorrer em costas arenosas como evidência de diversidade geológica e geomorfológica (BIRD, 2011; CLAUDINO-SALES, CARVALHO, 2014). São feições que se estendem do continente em direção ao oceano, detêm grande importância na configuração e evolução das planícies costeiras a elas associadas.

Em litorais dominados por acumulação de sedimentos – como é o caso do litoral do Ceará, a existência de pontas e promontórios litorâneos pode definir a ocorrência de locais com acumulação ainda mais expressiva, culminando no desenvolvimento de extensos campos de dunas, além de determinar os processos morfodinâmicos da planície costeira a ele associada, devido à interrupção do transporte de sedimentos realizado pelas correntes e ondas (deriva litorânea) (CLAUDINO-SALES, CARVALHO, 2014).

A ocupação sem um planejamento conectado aos aspectos da dinâmica natural nesses trechos do litoral, seja para lazer, moradia ou mesmo no contexto da expansão da malha urbana de municípios, tende a comprometer a integridade dos sistemas costeiros associados, podendo produzir desequilíbrios ambientais, principalmente sob a forma de erosão costeira.

Meireles, Silva e Thiers (2006) evidenciaram os principais indicadores morfogenéticos e processos erosivos relacionados com a ocupação de promontórios e margens dos estuários, onde a dinâmica costeira é completamente dependente do aporte de sedimentos proveniente dos campos de dunas, sendo regulados a partir dos eventos trans-regressivos que ocorreram durante o Quaternário.

Já o estudo de Meireles (2008) identificou que a ocupação de setores responsáveis pela conservação de aporte de sedimentos para a deriva litorânea no promontório na praia da Cpongua/CE, deu-se de forma inadequada, uma vez que não levou em consideração os fluxos de matéria e energia da planície costeira, induzindo a dinâmica em um novo comportamento evolutivo orientado para o avanço da erosão.

Claudino-Sales e Carvalho (2014) e Claudino-Sales, Wang e Carvalho

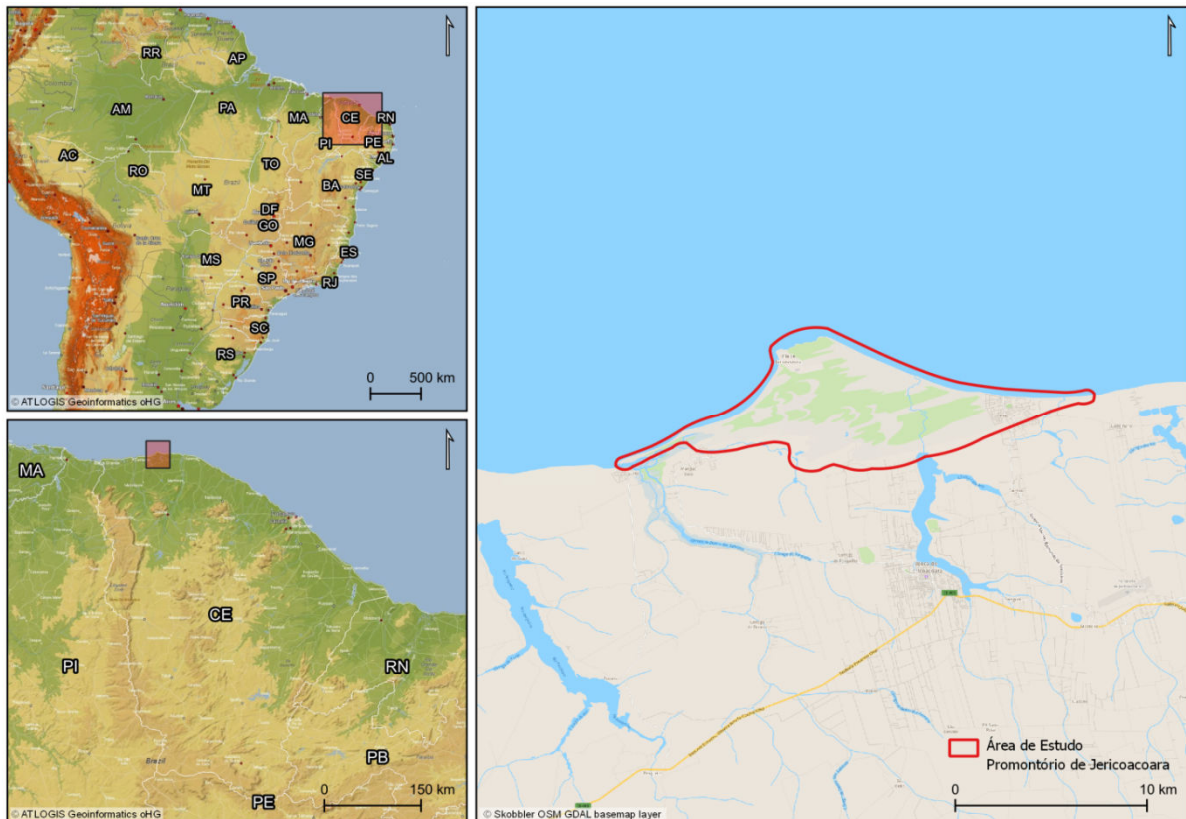
(2017) apresentam análises mais abrangentes das interações estabelecidas entre os promontórios e a dinâmica costeira no litoral do Ceará, nas quais dão embasamento à sua compreensão a partir das características de comprimento e largura, litologia e morfologia, bem como processos em ação em algumas dessas feições.

Tomando como base o conhecimento acerca dos elementos que compõem as morfologias da planície litorânea, é importante que os estudos dos aspectos geodinâmicos de promontórios devam ser entendidos a partir de seu contexto ambiental, uma vez que essas feições têm grande relevância na evolução da linha de costa e dos campos de dunas.

No entanto, a dinâmica litorânea desses ambientes ainda carece de estudos mais específicos, que possam quantificar taxas de variação da linha de costa e da evolução dos campos de dunas, por meio de análises multitemporais, utilizando técnicas específicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica voltados à análise costeira.

Diante do exposto, o presente trabalho investigou a evolução espaço-temporal das linhas de costa e dos depósitos eólicos ativos (campos de dunas móveis e planície de aspensão ativa) do Promontório de Jericoacoara usando um conjunto de dados multitemporais de 35 anos (1986 a 2021) por meio do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e da Mudança de Polígono, cujo recorte da área de estudo definida está representado no mapa de localização a seguir (ver Mapa 1).

Mapa 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados *Web Map Service* (WMS) de ATLOGIS *Geoinformatics* e do *Open Street Maps* (OSM).

Esse promontório foi escolhido por se constituir em uma área diferenciada no contexto fisiográfico da linha de costa do Ceará, seja por sua estrutura geológico-geomorfológica, seja pelo grau de conservação que ele apresenta – está inserido em uma unidade de conservação de proteção integral<sup>1</sup>, situado em uma região com grande potencial turístico. Os resultados apresentados podem, inclusive, servir de base para futuras análises correlatas.

Observa-se que a delimitação da poligonal da área de estudo levou em consideração a extensão do promontório diretamente impactado pela dinâmica costeira da região, iniciando a leste, próximo à localidade do Preá, no município de Cruz, e finalizando a oeste na margem direita do Riacho Guriú, no município de Jijoca de Jericoacoara.

A fim de nortear a pesquisa, foram construídos os seguintes

<sup>1</sup> Parque Nacional de Jericoacoara, criado pelo Decreto s/nº de 04 de fevereiro de 2002, alterado pela Lei nº 11.486 de 15 de junho de 2007. Disponível em <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-gericoacoara>. Acesso em 08 jul. 2022.



questionamentos: quais métodos podem identificar as áreas que são diretamente afetadas pelo aporte de sedimentos dos processos de *bypass* no Promontório de Jericoacoara? É possível caracterizar o papel dos movimentos da linha de costa e dos campos de dunas na dinâmica dos promontórios?

Tais questionamentos devem guiar a formulação da hipótese do presente estudo: a ocupação dos promontórios no Ceará (zonas de *bypass*) compromete o suprimento de sedimentos (retroalimentação) em depósitos sedimentares adjacentes, provocando erosão das formas deposicionais associadas.

Diante disso, foram estabelecidos os objetos da pesquisa ora pretendida:

- **Geral:**

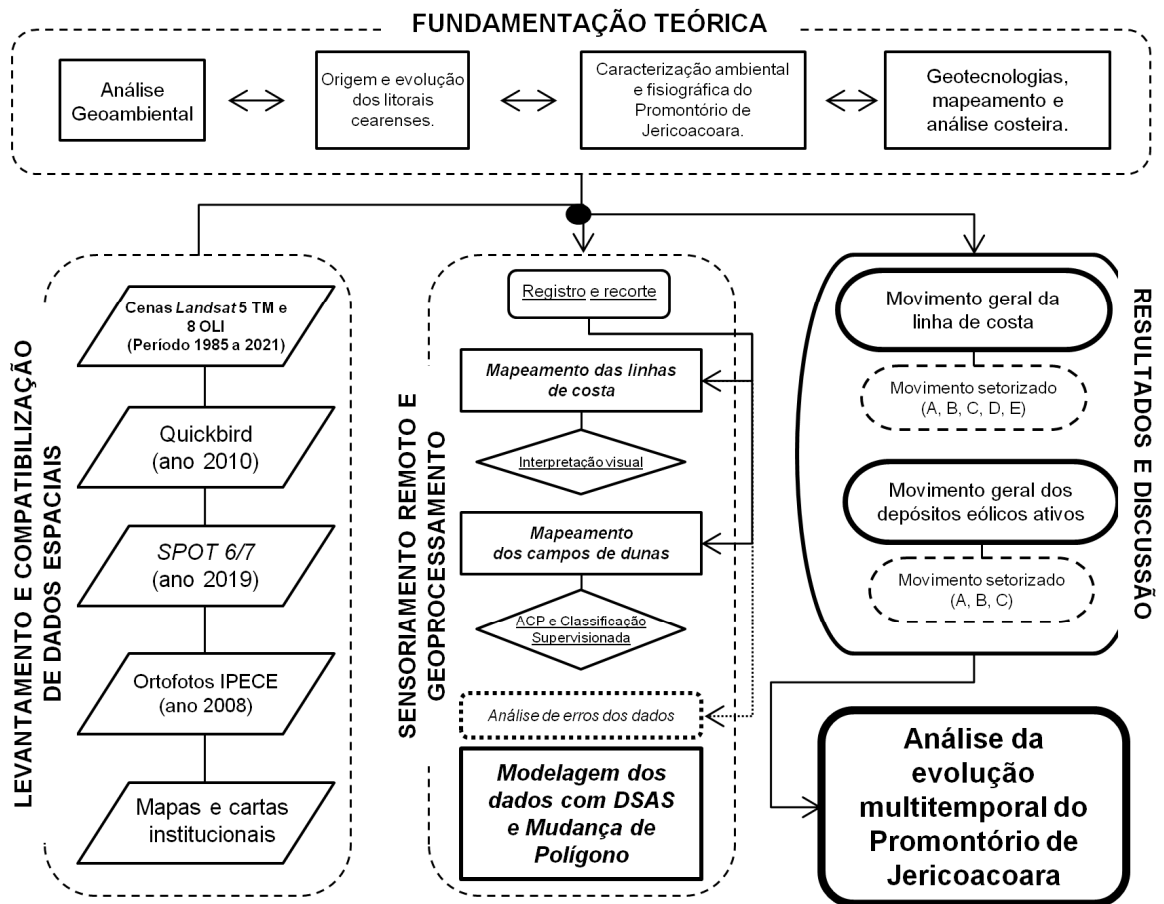
- Compreender a evolução espaço-temporal dos aspectos geodinâmicos associados ao Promontório de Jericoacoara, tomando como base a integração entre linha de costa e os depósitos eólicos ativos.

- **Específicos:**

- Resgatar os aspetos ligados à origem e evolução das pontas e promontórios do litoral do Ceará;
- Caracterizar as unidades morfológicas associadas ao Promontório de Jericoacoara;
- Executar processamentos digitais em imagens orbitais multitemporais para realçar as feições costeiras;
- Determinar o método mais adequado para o mapeamento da dinâmica costeira no Promontório de Jericoacoara;
- Evidenciar o processo de *bypass* litorâneo no Promontório;
- Calcular as taxas de mobilidade da linha de costa e as áreas de avanço dos depósitos eólicos ativos, especialmente aqueles correspondentes aos campos de dunas móveis.

A Figura 1 apresenta o fluxograma metodológico estruturado para alcançar os objetivos deste trabalho.

Figura 1 – Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, além deste capítulo introdutório e das considerações finais, o presente trabalho está dividido em outros 3 capítulos. O capítulo 2 trata da fundamentação teórica que embasou o estudo sobre a evolução multitemporal do Promontório de Jericoacoara. Alicerçado em uma ampla pesquisa bibliográfica, o trabalho se baseou em diversos estudos que envolvem a temática em discussão, partindo pela escolha da análise geoambiental das paisagens como categoria de análise geográfica, adentrando nas discussões sobre as origens e a evolução do litoral do Ceará a fim de embasar os aspectos fisiográficos e geodinâmicos das pontas e dos promontórios existentes nesse litoral, para assim caracterizar os aspectos ambientais do Promontório de Jericoacoara. Esse capítulo finaliza com as discussões acerca da aplicação de geotecnologias no mapeamento e na análise costeira.

O capítulo 3 é composto pela apresentação dos materiais utilizados e

compatibilizados na estrutura do trabalho, e pela discussão das vantagens e desvantagens dos métodos aplicados para o mapeamento da linha de costa e dos depósitos eólicos ativos associados à evolução multitemporal do promontório ora definido. Foi abordada, também nesse capítulo, a discussão dos métodos aplicados para a análise costeira do Promontório (DSAS e Mudança de Polígono).

Por sua vez, o capítulo 4 tratou da apresentação dos resultados quali e quantitativos obtidos pelos mapeamentos voltados à identificação das linhas de costa históricas e dos depósitos eólicos ativos associados ao Promontório de Jericoacoara, sendo realizadas as devidas discussões acerca da evolução espaço-temporal da área.

Buscou-se embasar a pesquisa em um caráter sistêmico, visando analisar os componentes geoambientais da planície costeira associada ao Promontório de Jericoacoara e suas inter-relações com os fluxos de matéria e energia e a ação humana, com fins de se apresentar resultados técnico-científicos que possam contribuir com o entendimento da dinâmica costeira no âmbito da Ciência Geográfica.

Assim, a análise da evolução espaço-temporal das linhas de costa e dos campos de dunas sobre o Promontório de Jericoacoara, mediante procedimentos quanti e qualitativos de SR e SIG, serviu para dimensionar o comportamento dinâmico daquela planície litorânea frente aos processos erosivos e progradativos, comparando suas evoluções morfodinâmicas multitemporais, além de lançar bases para fundamentar ações voltadas ao planejamento e à gestão de ambientes costeiros no estado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Análise Geoambiental

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a análise ambiental, que tem inspiração geossistêmica e indica uma abordagem interativa dos elementos que compõem o meio natural – em particular, nesse caso específico, daqueles associados à dinâmica costeira – como categoria de análise para embasar a condução do estudo ora proposto.

A Análise Ambiental Integrada (ou Análise Geoambiental) desempenha um papel de significativa relevância no âmbito das ciências da natureza, principalmente no desenvolvimento da Geografia Física, e nos últimos anos essa temática tem passado por discussões e modificações no que diz respeito ao aumento de sua potencialidade aplicativa.

Apesar de geralmente apresentar cunhos meramente mecanicistas, várias formas de apreensão e conhecimento dos fatores naturais foram desenvolvidas desde o século XVIII. Porém, foi a partir da visão de natureza da Biologia, com o surgimento da Ecologia, que foram apresentadas as primeiras bases do pensamento holístico, tendo como alicerce fundamental a concepção da Teoria Geral de Sistemas (TGS), proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy.

Bertalanffy (1973) define os sistemas como conjunto de elementos que se relacionam entre si, dado certo grau de organização, onde aqueles buscam atingir uma finalidade. Das relações entre os elementos decorre a organização do conjunto. Já o grau de organização entre eles confere o estado e a função do todo (CHRISTOFOLETTI, 1979). Dito de outra forma, cada todo se insere em um conjunto maior, em que este se constitui de diversos subsistemas.

Portanto, é embasado nas concepções da TGS que a Análise Geoambiental busca o entendimento da conexão entre os componentes dos sistemas a fim de compreender sua estrutura e seu funcionamento.

Nas considerações de Veado (1995, p. 5), a TGS “foi um caminho importante que a Geografia Física trilhou na procura das novas formas de síntese”, pois considerando a natureza como algo formado por elementos interligados e interdependentes, a análise de sistemas se tornou o método mais apropriado para a Geografia Física estudar e explicar a estrutura dinâmica dos fatos antrópico-naturais.

Assim posto, Thorness e Brunsten (1977 *apud* CLAUDINO-SALES, 2004,

p. 127) consideraram que,

Na medida em que o sistema procura realizar determinada finalidade, a compreensão de seu funcionamento depende da identificação dos elementos componentes e das relações entre componentes e seus atributos, bem como dos parâmetros de entradas (os inputs) e saídas (os outputs) da matéria e da energia que responderiam pelo funcionamento do todo.

Uma vez que essas considerações se constituem de significativa importância para as novas formas de síntese da Geografia Física contemporânea, buscou-se fundamentar este estudo nas considerações acerca da evolução da paisagem através da concepção da Teoria dos Geossistemas. Posto que o conceito de geossistema é colocado em evidência, a paisagem passa a ser analisada de acordo com a opção de escala definida na pesquisa, considerando-se, de forma integrada, as condições geoambientais e suas interações com a estrutura socioeconômica.

A análise ambiental, fundamentada no complexo geográfico denominado geossistema, deve ser pautada não apenas nos componentes da natureza, mas a partir da conexão entre eles, indo além da morfologia das paisagens, preferencialmente se projetando para o estudo da sua dinâmica, estrutura funcional e conexões (SOTCHAVA, 1977).

Os geossistemas são considerados sistemas naturais de nível local, regional ou global, nos quais obedecem a critérios de espacialização geográfica e se submetem às suas próprias escalas e peculiaridades qualitativas da organização geográfica, sendo compostos por componentes ambientais – substrato mineral, solo, seres vivos, água e massas de ar – que estão interconectados pela troca de matéria e energia em um mesmo conjunto, e estão associados a certo(s) tipo(s) de exploração biológica (SOTCHAVA, 1977; ROSS, 2006).

Portanto, geossistema é uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e organizados hierarquicamente (ROSS, 2006, p. 24), constituídos de componentes naturais intercondicionados e inter-relacionados no tempo e no espaço, fazendo parte de um todo que possui sua estrutura influenciada pelos fatores socioeconômicos e culturais.

Conforme considerações de Bertrand (1972) e Souza (2000), o geossistema, na definição e caracterização de uma paisagem, é uma unidade, onde o nível de um sistema taxonômico é subdividido em função de uma escala tempo-

espacial, em que o potencial ecológico (geologia, geomorfologia e condições climato-hidrológicas), a exploração biológica (solos, cobertura vegetal e fauna) e a ocupação antrópica constituem dados instáveis nessa escala.

Bertrand (1972) propôs um sistema com seis unidades taxonômicas, divididas em dois grandes grupos, unidades superiores e unidades inferiores. As primeiras são definidas como: a) zonas (zonalidade planetária); b) domínios (paisagens individualizadas); e c) regiões naturais (subunidades do domínio). Tais unidades estão ligadas principalmente às condições climáticas, estruturais e grandes biomas. As seguintes são definidas como: d) geossistemas (unidade de paisagem resultante da combinação local dos fatores ambientais e de uma dinâmica comum); e) geofácies (setor fisionomicamente homogêneo); e f) geótopos (menor unidade homogênea diretamente discernível do terreno). Estas estão associadas aos elementos biogeográficos e antrópicos dentro de uma escala socioeconômica, ou seja, a maior parte dos fenômenos que ocorre nestas grandezas resulta em combinações formadoras da paisagem. A seguir (Quadro 1) é apresentado um esboço do sistema taxonômico proposto por Bertrand (1972) a partir da caracterização de cada unidade de paisagem encontrada no Promontório de Jericoacoara/CE:

Quadro 1 – Classificação das Paisagens

UNIDADE DA PAISAGEM	ESCALA TÊMPORO-ESPACIAL	UNIDADES AMBIENTAIS - PROMONTÓRIO DE JERICOACOARA, CE	ELEMENTOS FUNDAMENTAIS
<b>Zona</b>	Grandeza I: > 1.000.000 km <sup>2</sup>	Intertropical	<b>Climáticos e Estruturais</b>
<b>Domínio</b>	Grandeza II: 100 mil a 1 milhão km <sup>2</sup>	Caatigas Semiáridas	
<b>Região Natural</b>	Grandeza III: 1 mil a 100 mil km <sup>2</sup>	Ambientes deposicionais e de acumulação litorâneo e pré-litorâneo	
<b>Geossistema</b>	Grandeza IV-V: 100 mil a 1 km <sup>2</sup>	Planície litorânea, morro e colina dissecada, tabuleiro pré-litorâneo	<b>Biogeográficos e Antrópicos</b>
<b>Geofácie</b>	Grandeza VI	Dunas, Faixa de Praia, Planícies Fluviomarinha e de Aspesão Eólica	
<b>Geótopo</b>	Grandeza VII	Lagoas freáticas, olhos d'água, etc.	

Fonte: Adaptado de Bertrand (1972).

Diante dessas considerações, tem-se que em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, reagindo uns sobre os outros, faz da paisagem um conjunto único em perpétua evolução. Portanto, tem-se assim a fundamentação de geossistema como

um importante conceito para a análise ambiental, especialmente no campo da Geografia Física.

## **2.2 Evolução do Litoral Cearense**

Para entender a dinâmica costeira associada às pontas e aos promontórios existentes no litoral do Ceará, faz-se necessário o entendimento da origem e evolução dessas feições no contexto regional e local. Portanto, buscou-se nas bases teóricas acerca da evolução morfoestrutural do litoral a compreensão da importância daquelas feições na configuração da planície costeira atual.

### **2.2.1 Evolução Tectônica Mesozoico-Terciária**

O litoral nordestino – no qual o litoral cearense está contido – evoluiu a partir de uma combinação de diversos fatores naturais, tanto de origem interna como por meio de agentes externos do relevo. Apesar de estes últimos serem bastante perceptíveis no tempo presente, sendo responsáveis pelo modelado das paisagens litorâneas existentes na região, é a evolução da complexidade morfoestrutural da região Nordeste a responsável pela configuração da linha de costa cearense, associadas à atuação dos agentes morfoclimáticos sobre esta.

Sabe-se que a origem do litoral nordestino remonta há milhões de anos, uma vez que o continente africano se encontrava unido à América do Sul há aproximadamente 100-120 Ma<sup>2</sup>. Em síntese, esses segmentos emersos da superfície terrestre foram sendo gradativamente fissurados em fragmentos individuais para depois serem separados por meio da atuação de intensos processos tectônicos através da expansão do assoalho oceânico do Atlântico (CLAUDINO-SALES, 2007). Ressalte-se também que os fatos que explicam essa evolução foram essenciais para a validação da Teoria da Deriva Continental e fundamentação da Teoria das Placas Tectônicas (TASSINARI, 2003).

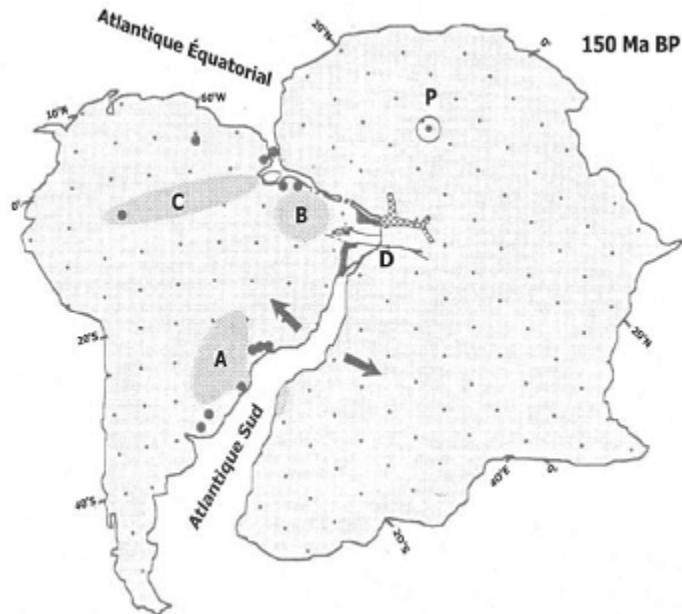
Porém, o entendimento do movimento lento e contínuo de separação das placas tectônicas sul-americana e africana é mais complexo do que aquilo que

---

<sup>2</sup> Ambos os continentes, juntamente com Oceania, Índia e Antártida, formavam o supercontinente *Gondwana*, segmento meridional do megacontinente *Pangeia*, cuja origem do complexo geológico-geomorfológico remonta ao Cretáceo e iniciado sua fragmentação há aproximadamente 220 Ma (TASSINARI, 2003; MATOS, 1992 *apud* CLAUDINO-SALES, 2007).

aparenta se constituir de “uma simples separação de placas”. O ciclo oceânico que iniciou a fragilização e consequente fragmentação da Pangeia também influenciou a abertura do Atlântico Sul (em relação ao Gondwana Ocidental) e foi realizada em etapas (CHANG *et al.*, 1988; POPOFF, 1988; WINDLEY, 1995; BRITO NEVES, 1999 *apud* CLAUDINO-SALES, PELVAST, 2007). A Figura 2 apresenta um esboço de como os processos tectônicos e vulcânicos que atuaram na separação dos respectivos continentes evoluíram.

Figura 2 – Esboço dos continentes Sul-americano e Africano há 150 milhões de anos A.P.



Fonte: Fonte: Matos (1992) *apud* Claudino-Sales e Pelvast (2007).

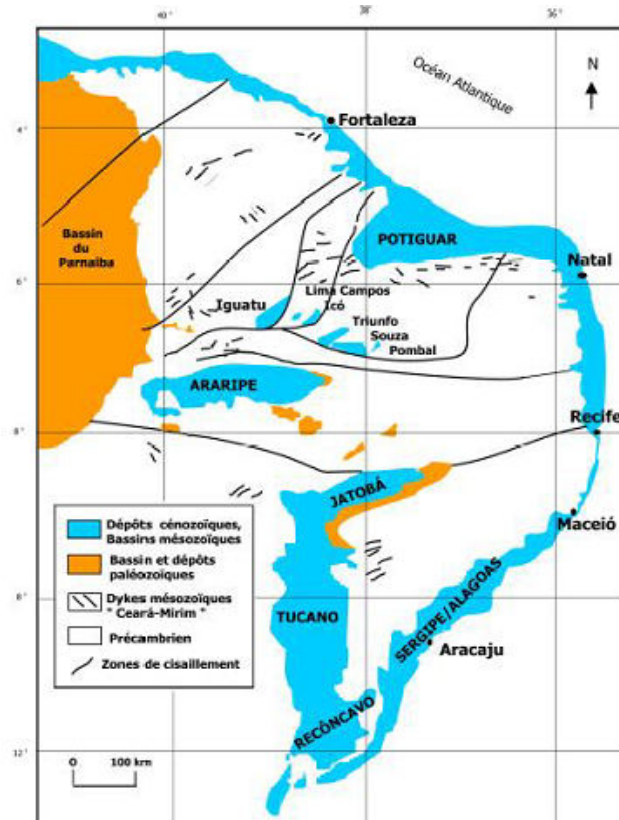
Conforme é possível observar na figura acima, a letra P indica o eixo de rotação do continente africano; enquanto a América do Sul rotacionou no sentido horário em relação à África, esta executou o movimento anti-horário, causando um movimento divergente de sentido leste-oeste ao sul das placas (indicado pelas setas) e, com a fissão destas, ocasionou vulcanismo e sedimentação na bacia do Paraná. As letras A, B, C representam locais com registros de atividade magmática entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior, e as manchas cinza-escuras que as cercam representam bacias intracratônicas das fases *rift*. Já os pontos escuros maiores indicam sítios de atividade tectônica intracontinental ocorridas desde o



Triássico Superior.

Ou seja, os continentes acima começaram a se separar a partir da região sul. Conforme acontecia o movimento divergente nesta região, na porção relativa ao atual Nordeste brasileiro acontecia um conjunto complexo de fenômenos de deformação que potencializaram a posterior fragmentação da crosta naquela região que daria origem ao Atlântico Sul. Claudino-Sales e Peulvast (2007), fundamentados em estudos ligados à origem estrutural da região Nordeste, descrevem bem os eventos distensivos de direção SE-NW associados à abertura do oceano, cuja principal consequência foi o desenvolvimento de uma larga depressão tectônica entre as regiões oeste e nordeste dos futuros continentes africano e sul-americano. A Figura 3 mostra os eixos estruturais (Recôncavo-Tucano-Jatobá/Sergipe-Alagoas e Cariri/Potiguar, respectivamente situados ao sul e ao norte da falha de Patos, no estado da Paraíba), bem como um conjunto de *riffts*, que foram originados durante os eventos de ruptura da crosta.

Figura 3 – Bacias sedimentares do Nordeste brasileiro



Fonte: Almeida *et al.* (1988 *apud* CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2007).

Conforme a figura acima, as áreas em destaque (bacias sedimentares) apresentam sedimentos de idade jurássica nas suas partes basais, que segundo Matos (1992 *apud* CLAUDINO-SALES; PEULVAST, 2007), nada mais são do que testemunhos do início de fissão da crosta do Gondwana.

Enquanto aconteciam as atividades tectônicas e vulcânicas nas regiões de ruptura entre os continentes sul-americano e africano, as fossas tectônicas foram sendo abertas a partir dos limites dos continentes até a ruptura total da porção ocidental do supercontinente Gondwana nas porções continentais individualizadas conhecidas hoje, dando origem ao Atlântico Equatorial após a expansão e o resfriamento do assoalho oceânico (CLAUDINO-SALES; PELVAST, 2006; CLAUDINO-SALES, 2007).

Em resumo, de acordo com Claudino-Sales e Peulvast (2007), foi durante o Triássico Superior e o Cretáceo Superior (230-90 Ma A.P.) que o complexo conjunto de fenômenos de deformação da superfície terrestre originou a formação da margem continental do Nordeste brasileiro – aqui incluído o litoral cearense – que dão suporte às morfologias costeiras impressas na paisagem.

Morais, Carvalho e Maia (1994) e Moraes (2000) caracterizaram os aspectos geológico-geomorfológicos mais antigos (Pré-Cambriano e Cretáceo) da zona costeira do Ceará como sendo constituídos por arranjos lito-estratigráficos bastantes simples, dado que a composição de rochas do embasamento cristalino é representada basicamente por quartzitos e gnaisses que eventualmente afloram ao longo da linha de costa, na forma de pontas modeladas pela ação marinha, que desempenham papel marcante na configuração da zona costeira em relação aos condicionantes de progradação ou retrogradação que provocam em praias adjacentes.

Claudino-Sales (2007), ao citar a expressão “reliquias da paisagem”, afirma que as feições mais antigas evidenciadas na paisagem costeira são devidas a cenários litorâneos cretáceos que influenciaram a dinâmica costeira a partir da alternância de compartimentos relativamente deprimidos e elevados, das mudanças da orientação de linha de costa e da presença de pontas rochosas cristalinas.

Em suma, são os eventos ocorridos em períodos geológicos mais antigos que explicam a configuração atual da zona costeira do Ceará composta pelo embasamento cristalino. Porém, é a partir da atuação dos agentes morfoclimáticos

mais recentes (Neógeno e Quaternário) que se desenvolvem as atuais paisagens daquela zona, em que formações sedimentares e depósitos eólicos se sobrepõem às rochas cristalinas e imprimem as formas do relevo litorâneo do Estado.

No caso da evolução intermediária das formações sedimentares quaternárias, representadas pela Formação Barreiras, a configuração costeira se deve principalmente ao processo conhecido como flexura marginal. Conforme apresentado por Claudino-Sales (2007), esse processo se deve à subsidência térmica ocasionada pelo afundamento da margem continental recém-formada pela expansão do Oceano Atlântico, onde o interior do continente foi soerguido devido ao rebaixamento de sua borda (segmento costeiro). Com o interior relativamente montanhoso, os processos intempéricos e erosivos sobre a superfície foram mais incisivos, ocasionando uma grande quantidade de sedimentos que foram “transportados por fluxos fluviais catastróficos, corridas de detritos, deslizamentos e corridas de lama” (BIGARELLA; ANDRADE, 1965; ALHEIROS *et al.*, 1988 *apud* CLAUDINO-SALES, 2007, p. 236). Assim, esse material foi sendo depositado na porção mais rebaixada do continente – a zona costeira –, recobrando todas as depressões litorâneas constituídas pelo embasamento cristalino, e originando a Formação Barreiras entre os períodos do Mioceno e Quaternário Inferior. Morais (2000, p. 112) caracteriza a Formação Barreiras de forma clara e objetiva:

Os depósitos cenozoicos constituem os tabuleiros pré-litorâneos e colinas suaves semiarredondadas, formando falésias na linha de costa, denominados de Formação Barreiras. Estes elementos marcantes da evolução plioleustocênica estão associados com a evolução do relevo regional através de mudanças climáticas e eventos tectônicos, detríticos e lateríticos.

Com a fase de estruturação estabilizada, as estruturas da Formação Barreiras passaram a ser modeladas por agentes externos do relevo, mais especificamente pelas águas continentais e marítimas. As primeiras, a partir da nova configuração hidrográfica, foram desnivelando porções do relevo caracteristicamente tabular<sup>3</sup> através de fluxos da rede de drenagem. Já as águas marítimas foram/são responsáveis pelo modelado dos depósitos na linha de costa, quando eles estão

---

<sup>3</sup> Traçando um perfil topográfico no Estado do Ceará com o ponto A partindo do interior (depressão sertaneja) em direção a um ponto B no litoral, percebe-se que a mudança nas paisagens não se dá por uma ruptura topográfica, mas por uma questão de altimetria e forma de relevo: enquanto se percebe um relevo mais alto e mais ondulado no sertão, o relevo da Formação Barreiras se torna mais rebaixado e menos ondulado, possuindo uma forma tabular. Daí as denominações tabuleiro costeiro ou pré-litorâneo (SOUZA, 1988; CLAUDINO-SALES, 2007).

diretamente em contato com os processos de deposição, erosão e abrasão marinha. Uma vez que esses processos são constituídos, principalmente pelas variações do nível do mar, dão origem às morfologias de praia, dunas e falésias.

Portanto, a principal característica morfoestrutural da Zona Costeira do Ceará – a partir da caracterização da Formação Barreiras – se deve à presença dos depósitos sedimentares azoicos de origem continental e também litorânea, de idade miocênica, em que se tem os tabuleiros costeiros modelados pela ação de escoamentos areolares e, próximo do mar, pela ação eólica e por processos continentais, como deflação e escoamento superficial livre (CLAUDINO-SALES, 2016).

### **2.2.2 Evolução Eustático-Climática Quaternária**

É entendimento das geociências em geral que a sociedade atualmente vive em uma fase interglacial da idade glacial ocorrida da Era Cenozoica e que as mudanças climáticas não são consideradas novidades na história geológica do globo terrestre. Conforme afirmam Rocha-Campos e Santos (2003), o registro geológico mostra evidências de, pelo menos, sete outros períodos em que o Planeta apresentou menor temperatura que a atual (idades glaciais ou períodos de refrigeração global), alternando com períodos de aquecimento global, que duraram intervalos variáveis, desde alguns milhões até dezenas de milhões de anos.

Tais evidências estão relativamente bem documentadas sob a forma de rochas ou através de feições típicas da ação geológica pretérita do gelo. No Brasil há variados indícios da ocorrência de glaciações, mesmo sendo um país que possui a maior porção territorial entre os trópicos, as quais influenciaram fortemente as paisagens e os ecossistemas.

As principais evidências registradas nas paisagens brasileiras estão extensivamente distribuídas em bacias sedimentares, onde variados exemplos de depósitos e feições típicas da ação glacial do gelo estão bastante preservados e datam de diferentes períodos, como do Neoproterozoico, Siluriano inferior-Ordoviciano superior, Devoniano superior e Permo-Carbonífero (ROCHA-CAMPOS; SANTOS, 2003).

No entanto, evidências também podem ser encontradas em outras regiões, como é o caso da zona costeira. Deslocamentos de antigas linhas de costa

proporcionam formas de estudos das variações do nível do mar, por conta de mudanças do clima ou da estrutura do relevo, mediante registros de marés, levantamentos geodésicos e indicadores biológicos, sendo ainda um desafio a obtenção de dados precisos dessas variações (ELORZA, 2008; BIRD, 2011).

Devido às oscilações globais do nível dos oceanos como consequência das glaciações ocorridas entre o final do Mioceno e início do Quaternário, encontram-se registros de antigos níveis marinhos tanto acima (dezenas de metros) quanto abaixo (centenas de metros) do nível atual do mar, estando representados no contato entre sedimentos tipicamente continentais e marinhos (MEIRELES *et al.*, 2005). Esse processo é sintetizado por Claudino-Sales (2007, p. 237), no qual afirma que

Durante as glaciações, o nível dos oceanos baixou e nos períodos interglaciais como o atual, quando então a água retida sobre os continentes retornou aos oceanos, o nível subiu. A cada glaciação correspondeu, portanto, uma ampla regressão marinha global, ou eustática – isto é, recuo do oceano e ampliação da zona costeira através da formação de planícies litorâneas – e, a cada fase interglacial, uma transgressão eustática, ou invasão da zona costeira pelo mar.

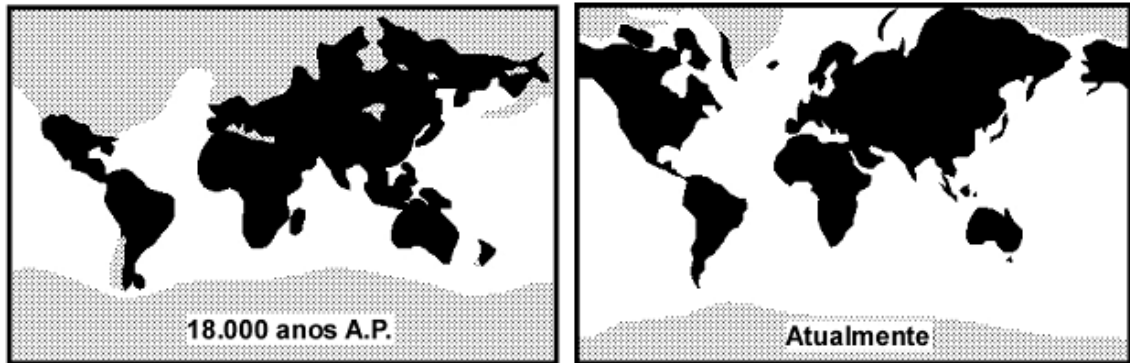
Porém, deve ser ressaltado que ocorreram várias flutuações do nível do mar ao longo da história geológica, e o processo descrito acima diz respeito ao último evento que se tem registro. Apesar da variação de volume de água contida nos oceanos, e devido ao fato de que estes se encontram interconectados, os movimentos eustáticos podem se diferenciar de acordo com sua origem: tectônico-eustático (movimentos tectônicos em bacias oceânicas), sedimentar-eustático (diminuição da capacidade dos oceanos devido à deposição de sedimentos) e glacial-eustático (devido ao crescimento e desintegração das geleiras) (ELORZA, 2008)<sup>4</sup>.

A Figura 4 evidencia a extensão do último evento de glaciação que ocorreu há aproximadamente 18 mil anos A.P., quando as grandes geleiras retiveram porção significativa das águas oceânicas, cujos registros mostram o nível relativo do mar abaixo cerca de 100 metros em relação ao nível atual, fato que possibilitou a formação de diversos componentes das planícies costeiras globais devido à exposição dos terrenos que foram emersos.

---

<sup>4</sup> Elorza (2008) também cita outros fatores que podem atuar em intensidades menores para a flutuação do nível do mar, como a temperatura dos oceanos, vulcanismo, hidrostatia, movimentos geoidais, correntes oceânicas e ações antrópicas.

Figura 4 – Extensão das terras continentais (hachuradas) há 18 mil ano A.P.



Fonte: Hederson (1998) *apud* Meireles *et al.* (2005).

Porém, há 5 mil anos, as planícies litorâneas (entre o Rio Grande do Sul e o Rio Grande do Norte) já verificavam a transgressão marinha na planície costeira, cujos registros de níveis verificados eram de 3 a 5 metros acima do nível atual (SUGUIO, 2008).

Meireles *et al.* (2005) afirmam que o estudo das oscilações do nível do mar é de fundamental importância para o entendimento da origem das planícies costeiras a partir da identificação da sequência dos depósitos geológicos e da compreensão dos processos morfogenéticos que atuaram durante os eventos transgressivos e regressivos dos oceanos, os quais produziram importantes modificações na dinâmica terrestre, induzindo – principalmente no caso dos litorais cearenses – um complexo conjunto de morfologias e ecossistemas.

As evidências das flutuações oceano-climáticas no litoral do estado do Ceará foram encontradas nas mais diversas morfologias da planície costeira. Meireles *et al.* (2005) afirmam que, desde o litoral de Icapuí, no extremo leste, até a região de Granja, localizada no limite oeste do estado, podem ser identificadas em terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, plataformas de abrasão marinha escalonadas, gerações de dunas e eolianitos, antigos corais sobre a berma e estirâncio, depósitos de mangue acima do nível máximo das marés e submersos na plataforma continental proximal, falésias mortas e complexos sistemas representados por deltas de marés e lagunas costeiras.

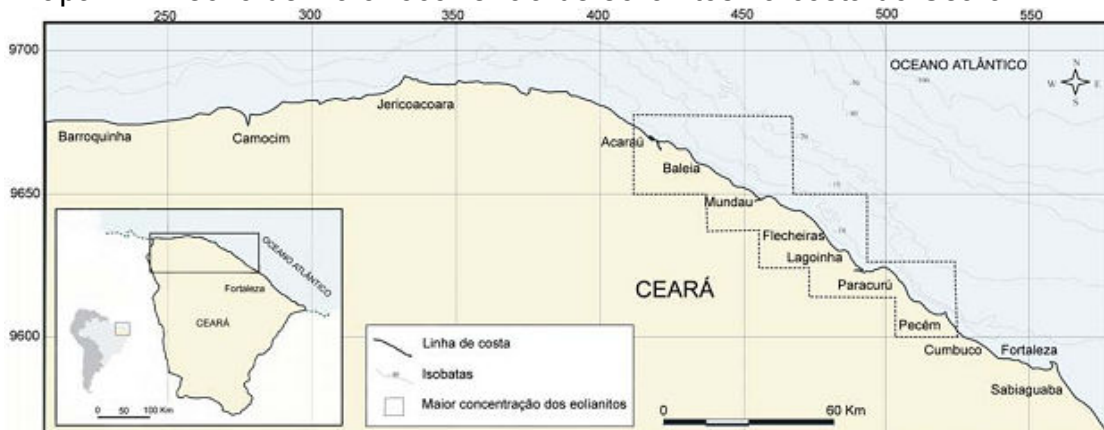
No que tange às evidências nas morfologias da paisagem costeira no Ceará, cabe destaque para a origem dos campos de dunas que se estendem desde o estado do Rio Grande do Norte até o Maranhão. Evidências de modificações

climáticas associadas às oscilações do nível do mar estão ligadas a períodos regressivos do oceano, onde havia disponibilidade de areia na plataforma interna recém-descoberta, e com a atuação de climas áridos e semiáridos, onde havia mais intensidade de ventos e insolação, e pluviosidade e umidade reduzidas, proporcionaram condições ideais para o transporte dos sedimentos arenosos para a formação dos campos de dunas sobre a planície costeira (MEIRELES *et al.*, 2005).

Outra das evidências expressivas dos eventos ora em análise são aquelas identificadas em eolianitos existentes no litoral oeste do estado do Ceará. A princípio conhecidas como dunas reliquiárias, estes depósitos eólicos foram inicialmente estudados por Meireles & Gurgel Jr. (1994) e Maia *et al.* (1998), os quais evidenciaram a importância de estudos mais detalhados a respeito dessas estruturas a fim de entender os processos paleoambientais que provocaram a cimentação dos constituintes mineralógicos, por se tratar de formações peculiares de rara beleza no litoral cearense.

Nesse sentido, Carvalho *et al.* (2008) conduziram estudos nas áreas do estado onde mais ocorrem aquelas morfologias (ver Mapa 2), em que interpretaram que a maioria desses eolianitos corresponde a uma fase de baixo nível de mar em relação ao atual (regressão), associado à intensa ação eólica em áreas onde predominavam dunas compostas, e que ao final de sua evolução formaram grandes dunas parabólicas.

Mapa 2 – Trecho de maior ocorrência de eolianitos na costa do Ceará



Fonte: Carvalho *et al.* (2008).

A associação da origem dos eolianitos a um nível do mar mais rebaixado fica evidente na análise da composição de seus substratos e em sua distribuição

espacial ao longo da costa, uma vez que Carvalho (2003) e Branco *et al.* (2007 *apud* CARVALHO *et al.*, 2008, p. 127) “consideram, à luz do padrão dinâmico das dunas atuais, serem incompatíveis com a posição da linha de costa atual”.

Cabe menção ainda para a interação entre a oscilação do nível do mar e a constituição da Formação Barreiras durante o final do Mioceno e início do Quaternário. Conforme Claudino-Sales (2007), a ampliação da faixa de praia ocorrida durante a regressão marinha permitiu o avanço da dissecação e/ou exposição da Formação Barreiras até as áreas então expostas da plataforma continental interna e, de forma contrária, durante as transgressões marinhas, parcela da zona costeira submergiu e a abrasão marinha destruiu as estruturas pré-existentes desta formação, originando as falésias e fornecendo novos materiais que foram transportados ao longo da linha de costa pela deriva litorânea e depositados nas planícies costeiras.

Contudo, essa interação fica mais restrita às atuações dos agentes morfoclimáticos, pois, conforme afirmam Meireles *et al.* (2005), as evidências encontradas em Icapuí mostram que desde o último grande período interglacial, por volta de 123.000 anos A.P., ocorrem influências de processos transgressivos na construção da planície. O mesmo estudo afirma ainda que os processos tectônicos, com movimentos verticais mais proeminentes (isostasia, tectono-eustasia, sedimento-eustasia), não foram preponderantes na evolução daquela planície, uma vez que os terraços se encontram no mesmo nível de base que foram originados e a ocorrência de processos tectônicos certamente teria arrasado essa morfologia.

Entende-se assim que a compreensão da dinâmica costeira no estado do Ceará deve considerar as evidências – presentes nas mais diversas morfologias – de variações do nível relativo do mar a fim de se formatar as bases para uma eventual reconstituição de seus antigos níveis por meio de um modelo de evolução paleogeográfico (MEIRELES *et al.*, 2005).

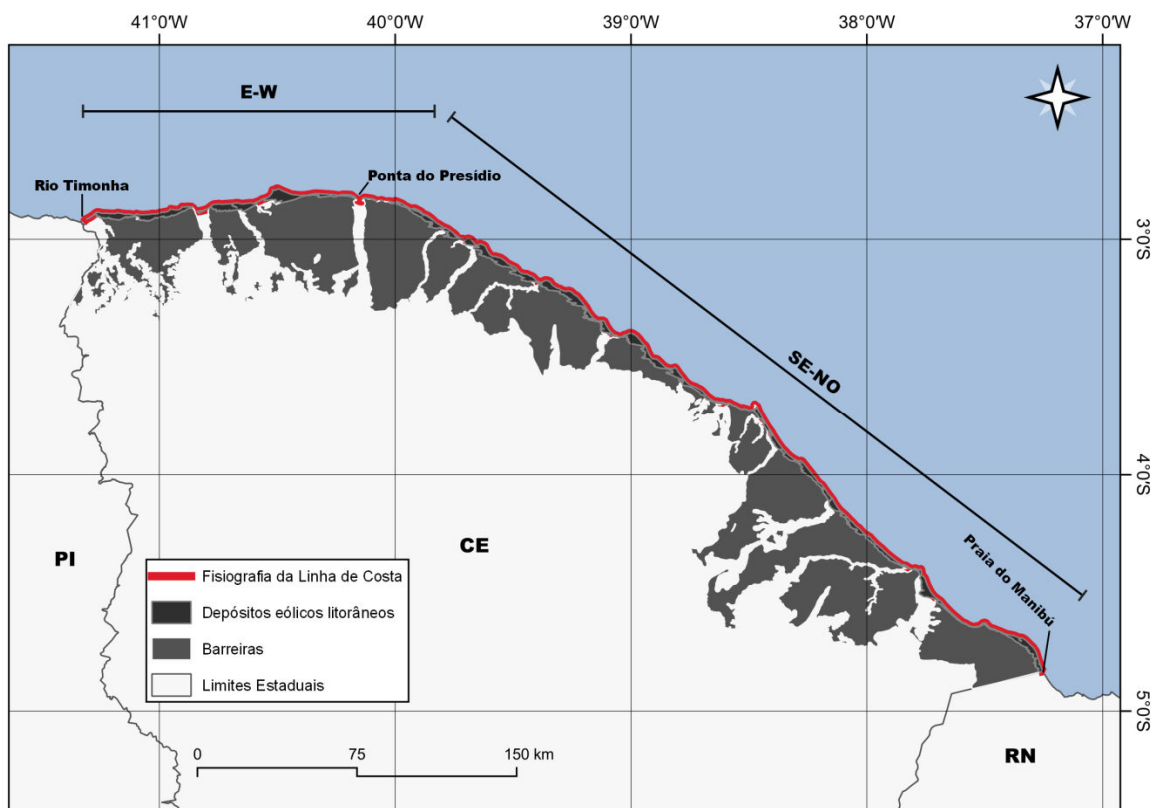
Nesse sentido, cabe destaque para as discussões científicas sobre a ocorrência ou não de um aquecimento global devido às ações antrópicas desde a Primeira Revolução Industrial (cuja principal consequência é o aumento das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera) e sua relação com o aumento do nível médio dos oceanos devido ao derretimento das geleiras.



## 2.3 FISIOGRAFIA E GEODINÂMICA DOS PROMONTÓRIOS DO LITORAL DO CEARÁ

A extensão linear do litoral do Ceará é de aproximadamente 626,89 km, conforme levantamento realizado pelo diagnóstico do meio físico para a atualização do zoneamento geoambiental da planície costeira (SEMA, 2022), apresentando duas direções principais: sudeste-noroeste, iniciando na Praia do Manibu (localmente conhecida como Praia do Ceará), situada na fronteira com Tibau, no Estado do Rio Grande do Norte (costa leste), até a ponta do Presídio, na foz do Rio Acaraú, no município de Acaraú (costa oeste); e a direção leste-oeste, que parte da ponta do Presídio (em Acaraú) até a embocadura do Rio Timonha, na fronteira com o Estado do Piauí (costa extremo oeste). Essa espacialização está representada no Mapa 3 a seguir.

Mapa 3 – Fisiografia da linha de costa do Ceará, contendo as direções do litoral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa linha de costa apresenta traços de retificação ao longo de sua extensão, onde as direções descritas acima são interrompidas pela projeção

perpendicular de pontas e promontórios para o oceano, que interferem no comportamento da dinâmica costeira, fato que confere a essas feições significativa importância na configuração da fisiografia da costa e na hidrodinâmica marinha regional. No entanto, o que são pontas e promontórios, e por que são tão importantes no estudo da dinâmica costeira?

Ponta pode ser definida como uma “porção terminal de um cabo ou extremidade externa de qualquer área continental, que avança para o interior do corpo de água, sendo, em geral, menos proeminente que um cabo” (BRASIL, 2004, p. 251). Quanto à definição de promontório, esta mesma publicação o define como “porção saliente e elevada de qualquer área continental que avança para dentro de um corpo aquoso” (BRASIL, 2004, p. 256).

Por sua vez, Guerra e Guerra (2010, p. 504) definem promontório como uma “denominação dada aos cabos quando terminam por afloramentos rochosos escarpados”. Quanto à definição de ponta, os mesmos autores definem esta morfologia como uma

Extremidade saliente da costa, de fraca elevação, que avança de forma aguçada em direção ao oceano, sem ter porém grande altura. Do ponto de vista geomorfológico, as pontas coincidem, geralmente, com o aparecimento de rochas duras mais resistentes ao efeito da erosão diferencial (GUERRA; GUERRA, 2010, p. 499-500).

Tomando como base as definições apresentadas, pode-se depreender que ambas as feições – ponta e promontório – possuem configuração complexa na interface continente, oceano e atmosfera, sendo caracterizadas por estarem embasadas em estruturas diferenciais na morfologia costeira em geral – principalmente se associadas a litorais de constituição arenosa, uma vez que são formadas por materiais litologicamente mais resistentes à abrasão marinha e aos processos de intemperismo.

Além de originados por litologias mais resistentes às intempéries, Bird (2011) afirma também que essas feições podem ser derivadas de movimentos tectônicos relativamente recentes, que soerguem setores que se projetam no mar.

Portanto, essas feições possuem significativa importância na configuração litorânea em geral, podendo agir no controle da morfodinâmica da costa onde quer que elas ocorram, sendo o foco de energia das ondas, defletindo ou bloqueando correntes costeiras, além de interferir no transporte de sedimentos (GEORGE *et al.*, 2015).

Com base no que foi apresentado até aqui, verifica-se que independentemente da complexidade (atitude, constituição litológica, extensão na paisagem) de uma ponta ou promontório, o principal resultado que ambos conferem ao ambiente litorâneo é a disposição da linha de costa adjacente a eles (a barlamar ou a sotamar). Ou seja, geralmente se desenvolve uma praia de baía, uma linha de costa curva ou uma enseada, dificilmente se dispendo de forma retilínea na linha de costa.

Nos estudos relativos à caracterização fisiográfica da planície costeira cearense, observa-se que na configuração da linha de costa há ocorrências de eventuais pontas e promontórios, estando associadas predominantemente às formações Tércio-Quaternárias e aos afloramentos do Pré-Cambriano e do Cretáceo, além das associações às construções biogênicas (SOUZA, 2000; MORAIS *et al*, 2006; MEIRELES; SILVA; THIERS, 2006; CLAUDINO-SALES; CARVALHO, 2014; CLAUDINO-SALES, 2016).

Nesse sentido, Moraes *et al*. (2006, p. 136) caracterizam a ocorrências de pontas e promontórios no litoral do Ceará, conforme apresentado a seguir:

A configuração da linha de costa denota avanços de retificação onde largas enseadas se alternam com pontas ou promontórios que se projetam para o mar e têm maior resistência litológica. As feições mais conspícuas estratigraficamente são o embasamento cristalino aflorando em zonas pontuais, tais como Jericoacoara, Pecém, Ponta do Mucuripe e Iguape. O Pré-Cambriano ocorre na linha de costa na forma de pontais desempenhando papel relevante no balanço de sedimentos e comportamento energético das ondas condicionando as áreas de retrogradação e progradação de praias.

Pode-se destacar que, de maneira geral, a compartimentação topográfica do litoral cearense não possui cotas altimétricas elevadas avançando do continente para o oceano, estando tais altitudes ligadas mais à ocorrência dos campos de dunas (ativos fixados) que se encontram sobre estruturas litológicas associadas à Formação Barreiras, além das linhas de rupturas relacionadas à ocorrência de falésias (ativas e inativas). A exceção fica por conta do afloramento rochoso cristalino associado ao Serrote de Jericoacoara: localizado na praia de mesmo nome, que é uma morfologia constituída de quartzito ferrífero cataclasado (de idade Pré-Cambriana), na qual forma uma proeminente saliência que quebra a regularidade da linha de costa, possuindo cota aproximada de 98 metros e uma crista de direção ENE-WSW com aproximadamente 2 km de extensão da linha de

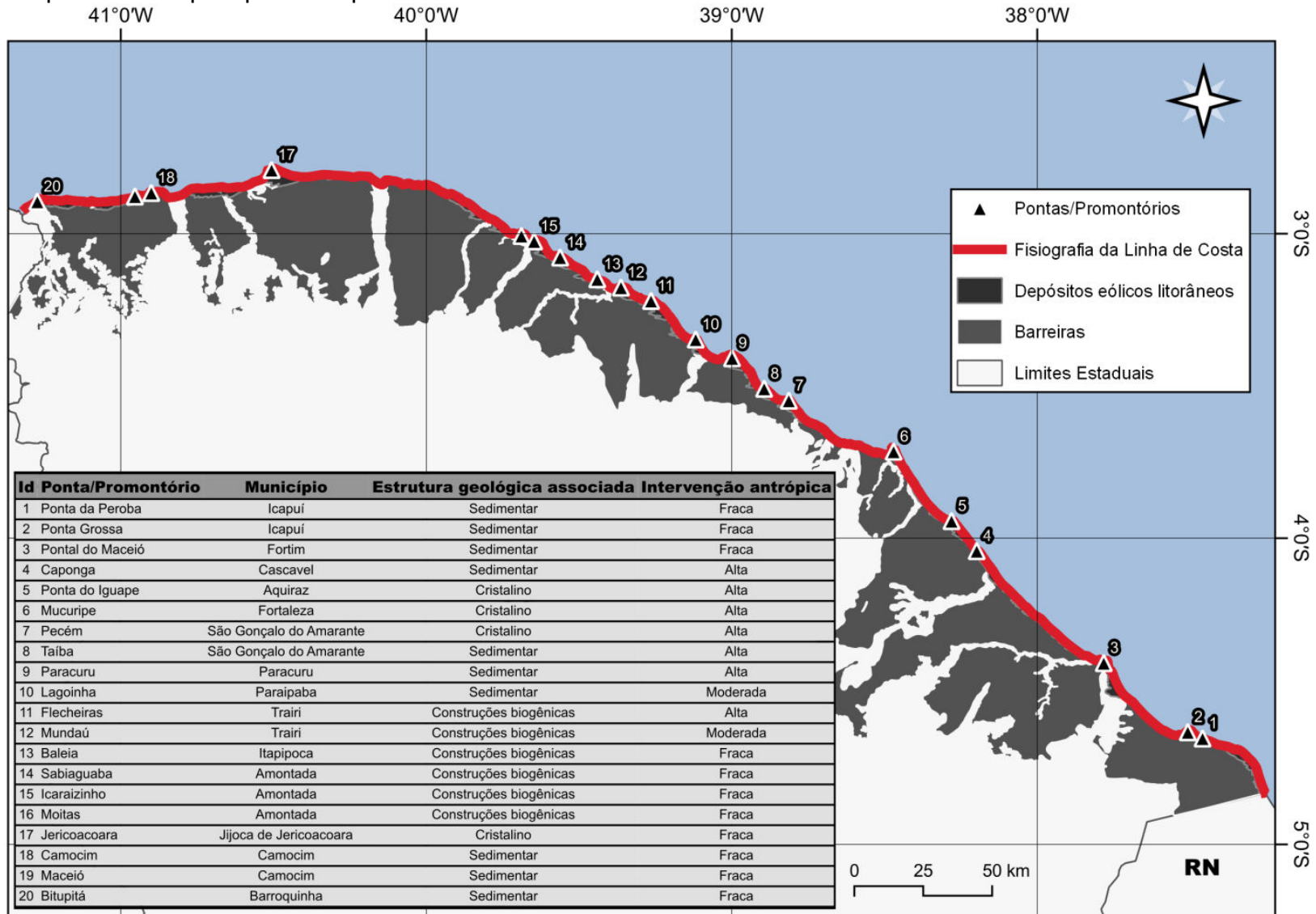
preamar (MORAIS *et al.*, 2006).

Os demais promontórios, normalmente citados nos estudos do litoral cearense, como em Morais (2000) e Claudino-Sales e Carvalho (2014), são: Ponta do Iguape (formada predominantemente por quartzitos), Ponta do Mucuripe (quartzitos, gnaisses e migmatitos), Ponta do Pecém (quartzitos e gnaisses distribuídos em duas sequências contínuas que iniciam no pós-praia, avançam pela zona intertidal e se estendem em porções isoladas até a profundidade de 20 metros).

Destaque-se ainda a ocorrência de outras feições na linha de costa, que se alternam com enseadas e reentrâncias, principalmente nas embocaduras dos principais canais fluviais do Ceará.

O Mapa 4 apresenta a espacialização das pontas e dos promontórios abordados nos trabalhos que fundamentam o presente estudo. Consta ainda um quadro que traz a identificação, localização e estrutura geológica associada, além de indicar os graus de intervenção antrópica com base na ocupação atual verificada a partir do tipo de localidade identificada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da visualização de imagens orbitais.

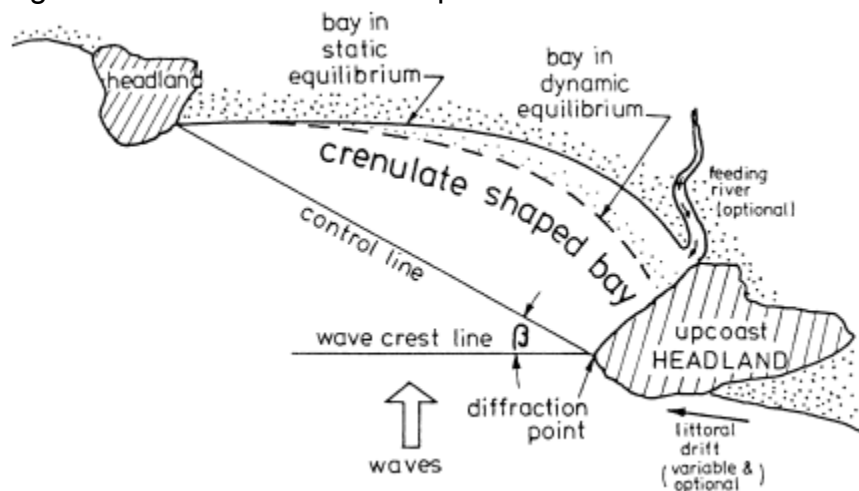
Mapa 4 – Principais pontas e promontórios do litoral do Ceará



Fonte: Adaptado de Claudino-Sales e Carvalho (2014); Pinheiro (2015); Claudino-Sales; Wang e Carvalho (2017).

A linha de costa associada às pontas e aos promontórios pode ser disposta em linha reta, ao longo de determinada extensão, ou pode ser curvada em um plano separado pela ponta/promontório. A esta segunda dá-se o nome de “praia de baía” ou enseada. Também podem ser encontrados termos similares para descrevê-la, como praia em forma de baía, “*pocket beach*”, baía zeta, baía em formato de arco e baía em formato de meio coração. Elas podem estar totalmente expostas à ação das ondas, parcialmente abrigadas ou totalmente protegidas pelas morfologias em questão (MORENO, 2005; HSU, 2005). A Figura 5 traz um esboço de como se processa a dinâmica costeira em uma praia de baía formada entre duas pontas/promontórios.

Figura 5 – Praia de baía em equilíbrio dinâmico e estático



Fonte: Hsu (2005).

Dado a configuração da linha de costa do Ceará, dominada pela acumulação de sedimentos, cabe destacar um processo fundamental na atuação da dinâmica costeira sobre os promontórios que é responsável pela disposição de campos de dunas, denominado *bypass* costeiro (ou litorâneo). Esse processo foi observado inicialmente por Tinley (1985), que estudou zonas de transpasse longitudinal de areias eólicas sobre promontórios para o sistema de deriva litorânea na costa da África do Sul, definidas como *headland bypass dune field* – ficando aqui conhecidas como zonas de *bypass*. Ressalte-se que, conforme o autor, esse transpasse normalmente ocorre sob condições ideais de migração de sedimentos dunares, como ausência de obstáculos (naturais e/ou antrópicos) e condições

climáticas favoráveis.

Ainda conforme Tinley (1985), as dunas que se formam a montante de um promontório (barlamar) podem migrar pelo seu topo (ou extensão) em direção à praia de enseada, onde recoloca as areias para a deriva litorânea.

Tomando como base o conhecimento acerca dos elementos que compõem a dinâmica ambiental da zona litorânea, os estudos relacionados à morfologia costeira – quer sejam de promontórios, quer sejam de pontas litorâneas – não devem se basear apenas na forma pela forma, mas devem ser entendidos pela sua dinâmica complexa e seu contexto estrutural regional. Para tanto, deve-se partir de parâmetros geológicos, geomorfológicos e hidroclimáticos (além dos aspectos oceanográficos, quando de estudos mais especializados desse campo científico) para o entendimento dos processos atuantes na dinâmica.

## **2.4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO PROMONTÓRIO DE JERICOACOARA**

### **2.4.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos**

O contexto geológico geral no qual o Promontório de Jericoacoara está inserido é a Província Costeira do Estado do Ceará, região noroeste do Domínio Setentrional da Província Borborema, cujo domínio geológico é representado tanto por estruturas geológicas antigas (constituídas por sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau) quanto estruturas recentes (representadas pelos depósitos fluviomarinho, marinho, eólicos litorâneos e aluviais, além dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros). Portanto, nessa área podem ser encontrados afloramentos rochosos neoproterozoicos e feições erosivas quaternárias (JULIO *et al.*, 2013; CAVALCANTI; CAVALCANTE, 2014; PINEO, 2020).

Outras nomenclaturas quanto à distinção do contexto geológico local podem ser observadas nos relatórios referentes à unidade de conservação gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (BRASIL, 2009; 2011c), além dos trabalhos de Arruda (2007) e Júlio (2012), os quais classificam em três grandes ambientes geológicos, sendo o primeiro compreendido pelo embasamento cristalino aflorante na região do Serrote de Jericoacoara, o segundo composto por rochas sedimentares da Formação Barreiras e por arenitos

de praia (*beachrocks*), e o terceiro por área de depósitos holocênicos de característica eólica ou fluviomarinha.

No que diz respeito às estruturas antigas, apesar de elas estarem sotopostas pelas coberturas fanerozoicas e quaternárias representadas pela Formação Barreiras e pelos sedimentos fluviais, marinhos e eólicos do Pleistoceno e do Holoceno, elas emergem a norte da área de estudo exatamente no Serrote de Jericoacoara, e são evidenciadas na plataforma de abrasão marinha exatamente no setor máximo do Promontório (CLAUDINO-SALES, 2016). Julio *et al.* (2013) indicam que o embasamento Pré-Cambriano, representado pela Formação São Joaquim, do Grupo Martinópolis, ocorre apenas no setor Norte. Porém, conforme se verifica em Pinéo *et al.* (2020), o embasamento também ocorre a sul-sudoeste da área de estudo.

Ainda conforme Julio *et al.* (2013), o cristalino presente no Promontório ocorre numa típica sequência de Flysch com metassedimentos alóctones sobre o embasamento, em idades variando entre 2,8 e 1,5 Ga (Zircão). Nesse grupo, individualizam-se ainda as Formações Covão (topo), Santa Terezinha (intermediária) e São Joaquim (base), além de vulcânicas sinsedimentares, diques vulcânicos cretácicos, basaltos correlatos ao vulcanismo Rio Ceará Mirim e diques vulcânicos peralcalinos cenozoicos de composição fonolítica a traquítica (JULIO *et al.*, 2013).

A Formação São Joaquim é constituída por quartzitos puros e micáceos com xistos, rochas calcissilicáticas e formações ferríferas intercaladas, cujas litologias se encontram intensamente dobradas e redobradas, evidenciando as fases de deformação do embasamento cristalino (PINÉO *et al.*, 2020). Apresentam ainda forte fraturamento, resultante da individualização da Placa Sul-Americana que levou à formação da margem continental do Ceará e do Nordeste brasileiro em geral. As formações ferríferas intercaladas (lateritas ferruginosas) foram desenvolvidas pela oxidação/hidratação dos quartzitos, formando crostas conglomeráticas com clastos de quartzo de espessura métrica e itabiritos (JULIO *et al.*, 2013).

Vê-se, portanto, que a complexidade das estruturas antigas na área do Promontório de Jericoacoara possui significativa importância na configuração da linha de costa e na compreensão da evolução da dinâmica costeira na região, uma vez que são tais estruturas que condicionam a distribuição dos fluxos de matéria e energia sobre as estruturas geológicas mais recentes.

Além das rochas sedimentares do Grupo Barreiras e dos arenitos de praia



(*beachrocks*), as estruturas mais recentes da área de estudo podem ser identificadas pelos depósitos holocênicos, os quais estão representados pelos sedimentos marinhos, eólicos, fluviomarinhos, aluviais, lacustres e fluviolacustres (BRASIL, 2011; PINÉO *et al.*, 2020).

Os depósitos marinhos (também denominados de sedimentos litorâneos ou depósitos de praia) são representados por areias com granulometria finas e médias, de cores creme a cinza claras, oriundas da plataforma continental adjacente e das rochas que ocorrem na praia. São compostos principalmente por grãos de quartzo sub-arredondados, e secundariamente, por minerais pesados e bioclastos (BRASIL, 2009).

Esses sedimentos litorâneos foram gerados durante o período de regressão holocênica e pelas variações sazonais de maré até o tempo presente, e são depositados pela deriva litorânea, constantemente mobilizados pela ação eólica e retrabalhados pela abrasão marinha na faixa praial (CEARÁ, 2016).

De acordo com Brasil (2009), os arenitos praias ocorrem na área em uma extensão de 2 km na linha de costa, constituindo uma linha de arenitos cimentados por material carbonático. Podem se apresentar fraturados ou com diaclases, sulcos e, em geral, superfície corroída. Esses arenitos possuem cores cinza, creme a castanho, granulometria fina a grossa, níveis conglomeráticos e cimento carbonático. São moderadamente selecionados, com grãos sub-arredondados a angulosos.

Conforme Rodrigues e Aguiar (1995 *apud* BRASIL, 2009), os *beachrocks* apresentam mineralogia quartzosa, com subordinada quantidade de feldspato e óxido de ferro, apresentando também fragmentos de conchas. Entre a praia da Pedra Furada e a praia da Vila de Jericoacoara, esses arenitos praias apresentam granulometria variada. Já na porção noroeste do Promontório, eles apresentam granulometria média a fina, enquanto em direção a nordeste, a granulometria aumenta de tamanho, com fragmentos de quartzitos variando de arredondados a angulosos. Brasil (2009) indica ainda que podem ser observadas duas gerações diferentes de rochas de praia: uma constituída por frações clásticas e outra constituída por fragmentos de rochas Pré-Cambrianas, sendo formadas em graus diferentes de erosão da praia.

Quanto aos depósitos eólicos, destaca-se que são feições que apresentam maior extensão na área do Promontório, os quais também recobrem os

sedimentos da Formação Barreiras e os terraços marinhos holocênicos. Esses depósitos ocorrem na direção predominante nordeste-sudoeste e leste-oeste, e compõem um extenso campo de dunas que são alimentadas primordialmente pelas praias do Desterro e Preá, situados a extremo leste do Promontório (JULIO *et al.*, 2013; MEIRA, 2016).

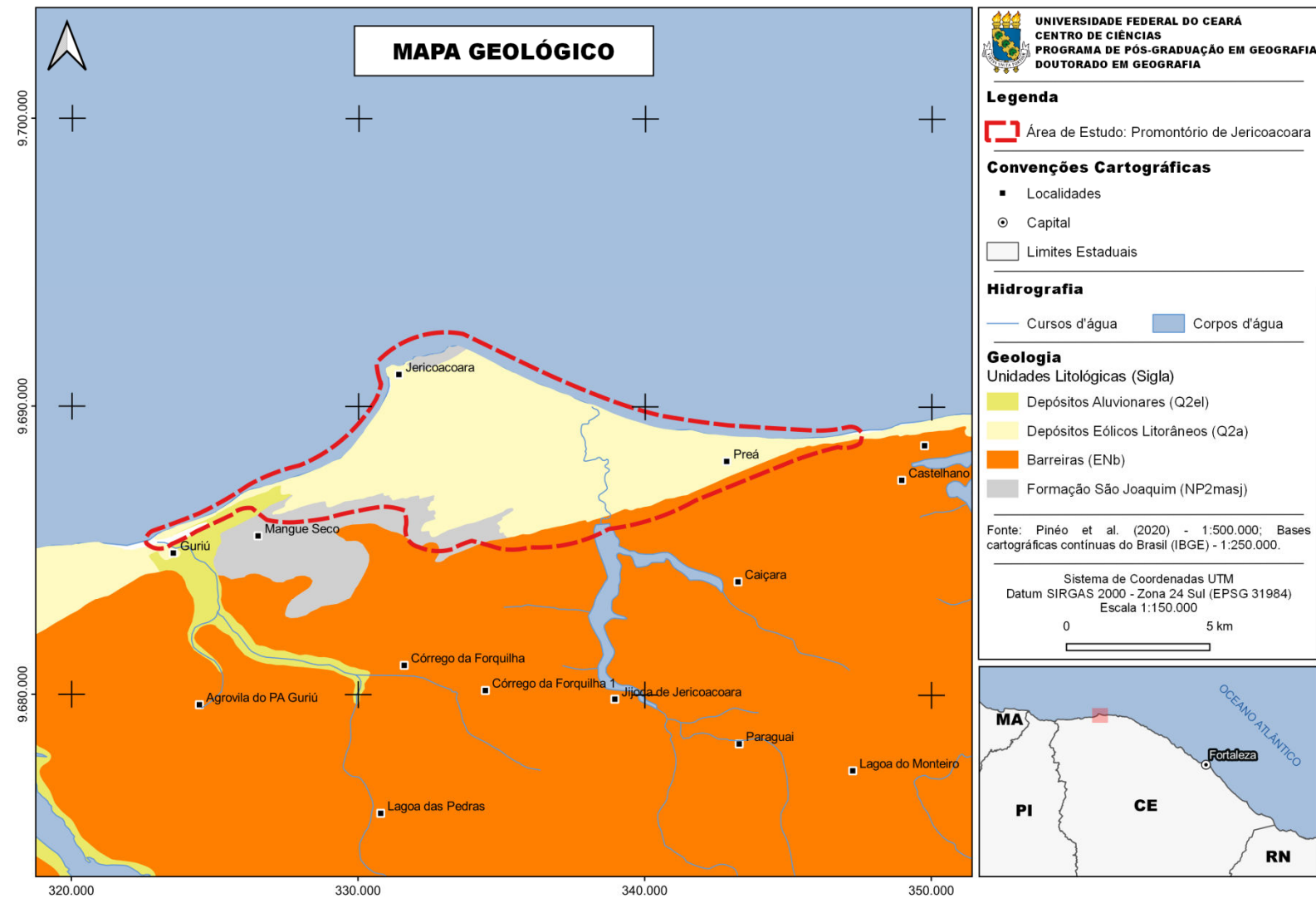
Ainda sobre esses depósitos, Pinéo *et al.* (2020) afirmam que são constituídos por areias quartzosas de granulação fina a média, bem selecionadas pelo transporte eólico. Sua gênese está relacionada às recorrentes variações climáticas desse período, mais precisamente na transição do Pleistoceno para o Holoceno, durante a regressão marinha, quando houve emersão da Plataforma Continental, ocorrendo o inverso no momento da transgressão marinha (CEARÁ, 2016).

O Grupo Barreiras é representado pela Formação Barreiras Indiviso, na qual é constituída por sedimentos de origem continental e marinha de textura areno-argilosa, mal a pobremente consolidados e mal selecionados, e de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com cimento argiloso, ferruginoso e às vezes silicoso, de granulação fina a média, e repousam sobre o embasamento cristalino Pré-Cambriano (NUNES; SILVA; VILAS BOAS, 2011).

Essa formação ocupa a porção centro-sul da área de estudo, estando parcialmente sotoposta por sedimentos holocênicos, depósitos eólicos, e sendo fracamente dissecada por cursos fluviais (Riacho Doce e Riacho Guriú), e pontilhada por lagoas perenes e intermitentes. Conforme afirmado no Relatório do ICMBio (BRASIL, 2009), também se constata a exposição dos sedimentos da Formação Barreiras em cortes e em forma de falésias.

A seguir é apresentado o mapa geológico da área de estudo (Mapa 5).

Mapa 5 – Mapa geológico da área de estudo



Fonte: Pinéo *et al.* (2020). Elaborado pelo autor.

Tratando-se da compartimentação geomorfológica associada ao Promontório de Jericoacoara, tomando como base a compartimentação geológica ora apresentada, pode-se dividi-la em três unidades: 1) planície litorânea, tendo como subsistemas a faixa praial, planícies de aspensão eólica ativas e inativas, campo de dunas, planície fluviomarina, planícies fluviais, planícies fluviolacustre, planícies lacustres e terraço de maré; 2) tabuleiros costeiros; e 3) relevo residual.

No que se refere à origem e evolução das subunidades morfológicas que compõem a planície litorânea, elas foram desenvolvidas a partir de eventos de abrangência global, relacionadas com as mudanças climáticas e os eventos eustáticos que ocorreram durante o Quaternário, além de estarem associadas localmente e regionalmente a componentes meteorológicos ligados à ação dos ventos, sazonalidade das precipitações pluviométricas e insolação, que atuam na dinâmica de transporte de sedimentos (*bypass* litorâneo e costeiro), formação de lagoas costeiras e comportamento ecodinâmico da fauna e flora (MEIRELES; RAVENTOS, 2002; MEIRELES, 2011; MEIRELES; DANTAS; SILVA, 2011; JULIO *et al.*, 2013). Serão descritas a seguir as principais subunidades morfológicas associadas à área do Promontório, evidenciando aquelas que cumprem função determinante na análise proposta por este estudo.

A faixa praial está disposta por toda a extensão do Promontório, sendo diretamente afetada apenas nos trechos onde há exposição das rochas do embasamento cristalino (quartzitos da Formação São Joaquim, situados ao norte do Promontório) e dos arenitos de praia que resistem à atuação da abrasão marinha (situados na região de estirâncio, próximo da enseada da Vila de Jericoacoara). Corresponde a uma área plana e extensa, coberta e descoberta diariamente pela ação das marés, na qual foi modelada pelos processos de oscilações do nível do mar e flutuações climáticas no passado, e atualmente constantemente é esculpida nas condições atuais pelos processos costeiros – ventos, ondas, marés e correntes marinhas, caracterizando-se assim como uma morfodinâmica instável (BRASIL, 2011; MEIRELES; RAVENTOS, 2002; MEIRELES, 2011; MEIRELES; DANTAS; SILVA, 2011).

Uma subunidade morfológica muito importante na paisagem do Promontório de Jericoacoara relacionada à faixa praial é a barreira litorânea. Atualmente, essa morfologia se estende por dezenas de metros, sobre a faixa praial, situada entre a duna Pôr do Sol, a SW da Vila de Jericoacoara, e a direita da

desembocadura do estuário do Riacho Guriú. Foram originadas a partir do aporte e deposição de sedimentos provenientes das dunas de 2ª geração, associado à ação das marés, ondas e correntes, em particular as correntes longitudinais, além das interações dessas variáveis com a morfologia litorânea, geralmente planas e pouco profundas na zona infralitorânea (PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2006; MEIRELES *et al.*, 2011).

A presença dessas formações sedimentares a jusante do Promontório de Jericoacoara, e não em toda a extensão do litoral de Jijoca de Jericoacoara, deve-se ao elevado suprimento de sedimentos, transportado paralelamente à praia, e aos mecanismos próprios da dinâmica atual das correntes longitudinais, ondas, marés e cursos fluviais, além de expressar as interações dessas variáveis com a morfologia litorânea (PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2006).

De acordo com Ceará (2022), entre a barreira litorânea que está situada a oeste da Vila de Jericoacoara e a planície de deflação eólica estabilizada, pode-se observar durante a maré baixa a presença notória de um terraço de maré plano, que se prolonga por dezenas de metros, recortado por pequenos canais rasos, caracterizando-se como um tipo de praia intermediária com menor nível de energia, uma vez que a atuação da maré depende fortemente de sua amplitude.

A planície de aspensão eólica se configura pela presença de terrenos por terrenos planos por onde ocorrem a movimentação dos campos de dunas móveis de segunda geração e a ocorrência de extensas lagoas interdunares (formadas por ascensão do lençol freático em depressões interdunares de deflação, durante a quadra chuvosa), cuja origem está associada aos eventos regressivos do mar durante o Holoceno e Pleistoceno, tratando-se de possíveis depósitos de praia sucessivamente recobertos por sedimentos eólicos durante o processo de migração dos campos de dunas móveis de 2ª geração (MEIRELES *et al.*, 2011).

É nessa subunidade morfológica em que ocorrem os processos de erosão eólica e antrópica, relacionada tanto ao trânsito de veículos de tração nas 4 rodas (tanto provenientes do distrito de Preá – no sentido E-W, quando da própria sede municipal, no sentido N-S), quanto à migração de sedimentos em geral para a formação das dunas de 2ª geração (barcanas e barcanoides), e onde se verifica um complexo de lagoas interdunares. É uma importante unidade morfológica na configuração da deriva eólica sobre o Promontório, uma vez que é sobre ela que o processo de *bypass* costeiro age.

Conforme é possível constatar atualmente, por conta de sua relativa estabilidade – se comparado a outras unidades morfológicas – essas feições estão sendo modificadas intensivamente pelo tráfego de veículos particulares e de cooperativas de natureza turística (translado e passeios) que trafegam por diversos trechos do Promontório, comprometendo o habitat de espécies da fauna e flora, importante à sobrevivência do ecossistema (CEARÁ, 2022).

Na área de estudo, é possível observar que essa unidade se divide em planície de aspensão eólica ativa (composta por ambientes sem cobertura vegetal, com depressões lineares associadas às trilhas formadas para o trânsito de veículos 4x4) e planície de aspensão eólica inativa (ou estabilizada, na qual apresenta ambientes com cobertura vegetal pioneira herbácea e arbustiva).

No tocante às dunas costeiras, pode-se observar a presença dessas unidades em todo o litoral cearense. São formações constituídas por areias inconsolidadas, de granulação fina a média, oriundas da plataforma continental e/ou de sedimentos provenientes da erosão costeira, e que estão subordinadas aos processos de acumulação e transporte eólico. Formam cordões de sedimentos paralelos à linha de costa, nos quais são interrompidos por planícies e sobrepostos a litologias pretéritas, que são transportados pela ação eólica e, conforme os processos meteorológicos atuantes, podem apresentar diferentes formas e aspectos (CLAUDINO-SALES, 2007; MEIRELES *et al.*, 2011; CEARÁ, 2016; PINÉO *et al.*, 2020).

Na área diretamente ligada ao Promontório de Jericoacoara podem ser identificadas três gerações de dunas: dunas de primeira geração (dunas fixas: parabólicas e, secundariamente dômicas, localizadas mais no interior da planície costeira, fixadas por vegetação); dunas de segunda geração (dunas móveis: barcanas e barcanoides, que transitam sobre a planície de aspensão eólica) e dunas de terceira geração (dunas móveis atuais, do tipo longitudinais, dispostas sobre a zona de berma, e barcanas de pequeno porte) (MEIRELES, 2011).

Nos setores próximos às dunas de segunda geração, as dunas fixas estão sendo soterradas pelas dunas móveis, pois, sendo mais elevadas que as dunas de segunda e terceira geração, possivelmente, atuam como barreiras eólicas para a migração das dunas que se dirigem para setores SE-SW da planície costeira de Jericoacoara (MEIRELES *et al.*, 2011; MEIRELES, 2014; CEARÁ, 2022).

A fonte de sedimentos para a origem desse campo de dunas está situada

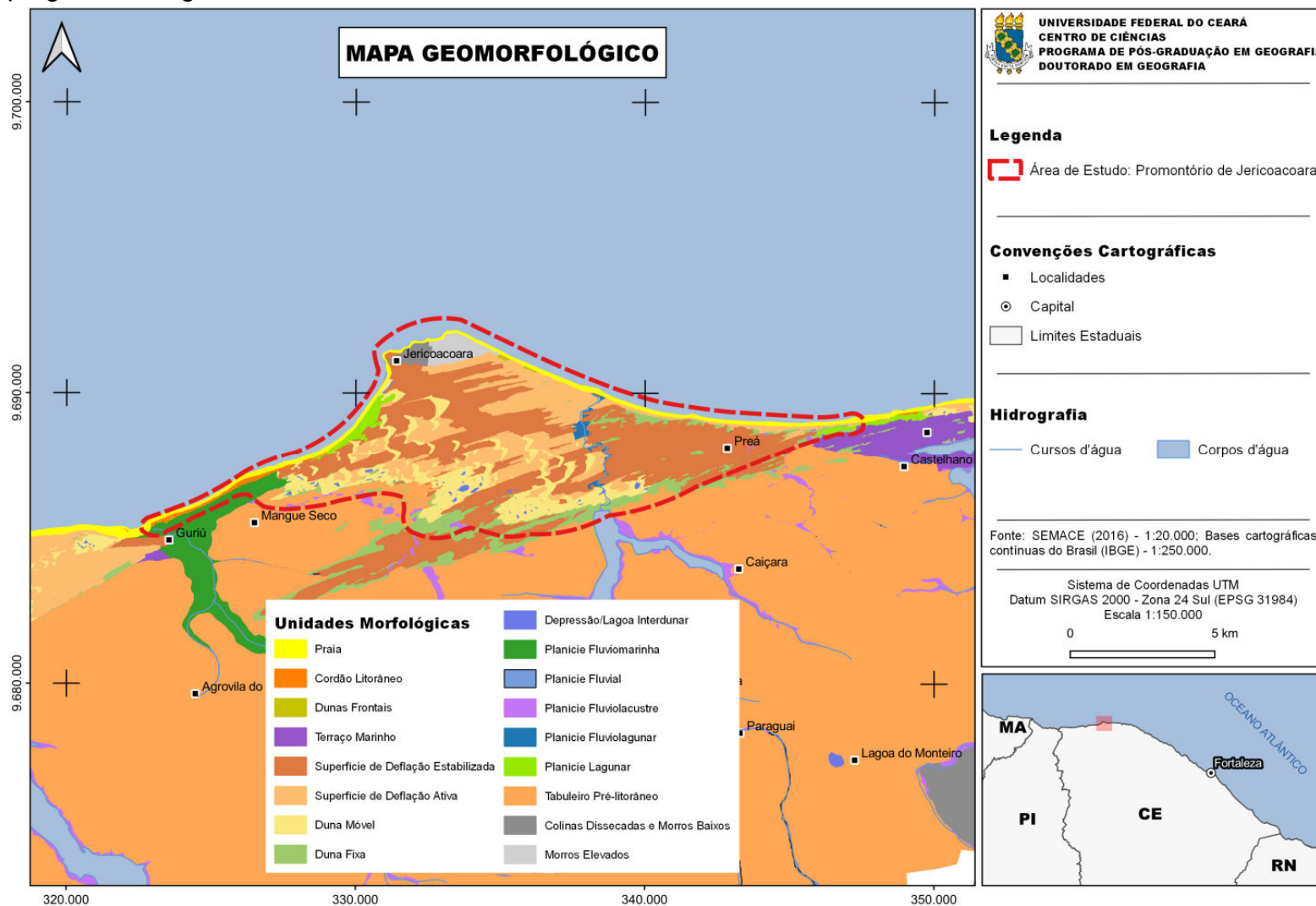
no extremo leste do Promontório, situado na Praia do Preá (Praia do Desterro), no município de Cruz. Esse fato se deve primordialmente às características morfológicas desse setor, constituído por uma larga zona de estirâncio com declividade suave. Ressalte-se também que as relações com as variações do nível relativo do mar também propiciaram grandes volumes de areia para a deriva eólica e, conseqüentemente, para a composição das morfologias atuais (MEIRELES *et al.*, 2011; MEIRA, 2016).

No que se refere à planície fluviomarinha, situada no extremo oeste do Promontório de Jericoacoara – junto ao baixo curso do Riacho Guriú, é um ambiente de agradação sedimentar, sujeito às oscilações de maré e processos continentais, nas proximidades das comunidades de Mangue Seco e Guriú, onde ocorre a interação entre as características fluviais e marinhas (CEARÁ, 2016).

Conforme afirma Meireles *et al.* (2011), a flecha de areia na sua margem direita do Riacho Guriú está associada aos fluxos de matéria e energia, também vinculados aos provenientes do sistema estuarino, nos quais proporcionam a migração da foz de leste a oeste. Entre a flecha de areia e a planície de deflação eólica originou-se um canal de maré anastomosado perpendicular ao leito principal do Riacho Guriú, com vegetação de mangue.

A seguir é apresentado o mapa geomorfológico da área de estudo (Mapa 6).

Mapa 6 – Mapa geomorfológico da área de estudo



Fonte: Ceará (2016). Elaboração própria.



### 2.4.2 Aspectos Hidroclimáticos

Além de influenciar diretamente o regime e a disponibilidade de recursos hídricos de um determinado local, os aspectos hidroclimáticos de uma paisagem se caracterizam como fatores determinantes de suas condições ambientais, principalmente quando levamos em conta que é a variação pluviométrica e o regime de ventos que atuam como variáveis essenciais no controle dos processos costeiros (MORAIS *et al.*, 2006; SOUZA, *et al.*, 2009).

Assim como ocorre na Região Semiárida do Nordeste do Brasil, os principais sistemas atmosféricos responsáveis pelas precipitações no Estado do Ceará, os quais são: Frentes Frias (FF); Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS); Linhas de Instabilidade (LI); Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM); Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (CEARÁ, 2014). O Quadro 2, a seguir, resume as principais características da atuação desses sistemas.

Quadro 2 – Resumo das características principais dos sistemas atmosféricos

<b>Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre o Nordeste</b>	
<b>Sistemas (sigla)</b>	<b>Principais características</b>
ZCIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema meteorológico mais importante na determinação pluviométrica na Região Nordeste;</li> <li>• Circunda a faixa equatorial e, entre os meses de março-abril, migra para a posição mais ao sul do desta faixa;</li> <li>• Formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os alísios do hemisfério sul;</li> <li>• É mais significativa sobre os oceanos, fazendo com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) seja um dos fatores determinantes na sua posição.</li> </ul>
FF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São bandas de nuvens organizadas que se formam pela confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa);</li> <li>• Atua principalmente entre os meses de novembro e janeiro.</li> </ul>
VCAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formam-se no Oceano Atlântico entre os meses de outubro e março, com trajetória normalmente de leste para oeste;</li> <li>• São um conjunto de nuvens que se assemelham a um círculo girando no sentido horário, formando nuvens causadores de chuvas em sua periferia, e movimentos de subsidência do ar na área central, aumentando a pressão e inibindo a formação de chuvas.</li> </ul>
LI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo cumulus, organizadas em forma de linha;</li> <li>• Encontram-se ao sul da Linha do Equador, influenciando as chuvas no litoral norte do Nordeste e regiões adjacentes e ocorrem no período da tarde e início da noite;</li> <li>• Formam principalmente nos meses de verão no hemisfério sul (dezembro a março);</li> <li>• Sua formação se dá basicamente pelo fato de que com a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical ocorre o desenvolvimento das nuvens cumulus;</li> <li>• Outro fator que contribui para o incremento das Linhas de Instabilidade, principalmente nos meses de fevereiro e março, é a proximidade da ZCIT.</li> </ul>
CCM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São aglomerados de nuvens que se formam devido à condições locais favoráveis (temperatura, relevo, pressão, etc) e provocam chuvas fortes e de curta duração;</li> <li>• Normalmente as chuvas associadas a este fenômeno meteorológico ocorrem de forma isolada.</li> </ul>
DOL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil.</li> <li>• Chuvas que ocorrem nos meses de junho, julho e agosto são influenciadas por esse sistema atmosférico;</li> </ul>

Fonte: Ceará (2014). Elaboração própria.

O regime pluviométrico da área do presente trabalho, assim como da

região na qual está inserida, é disciplinado principalmente pela ZCIT, que oscila por toda a faixa dos trópicos, e ao Centro de Vorticidade Ciclônica, com tempo variável dentro do período de chuvas, além de outros sistemas de menor escala que atuam na área como as linhas de instabilidade formadas ao longo da costa, e as brisas marítimas (SOUZA, 2000; FERREIRA; MELLO, 2005).

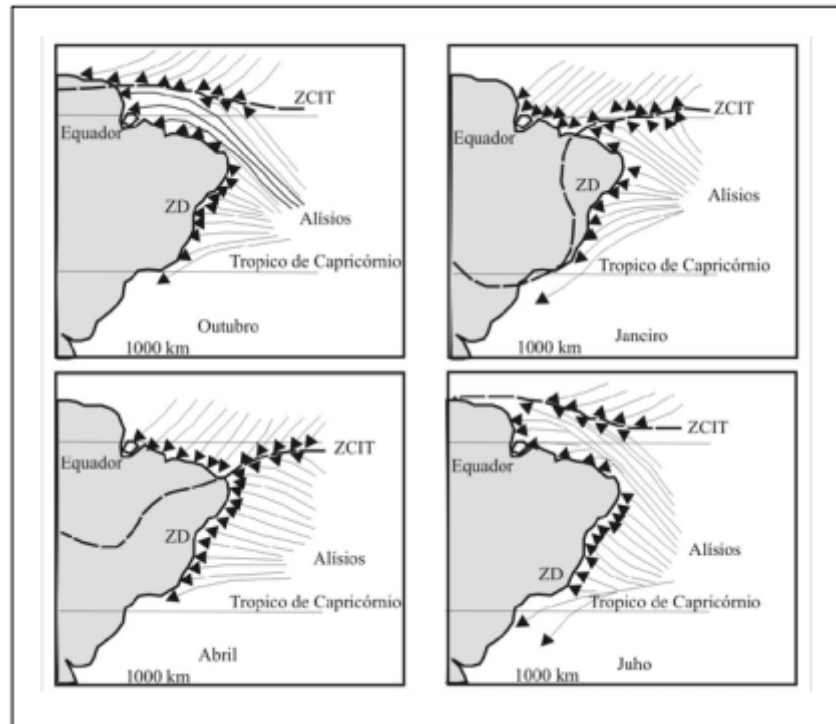
Ressalte-se ainda que a região de ocorrência da ZCIT é marcada pela confluência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, correspondendo a uma intensa nebulosidade e baixa pressão atmosférica (PHILANDER; PACANOWSKI, 1986 *apud* MEIRELES; GORAYEB; PEREIRA FILHO, 2018).

O regime pluviométrico, porém, é variável, fazendo com que as precipitações ocorram no primeiro semestre, distribuindo-se com maior incidência entre os meses de março e abril. Os padrões termodinâmicos sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul controlam fortemente a circulação atmosférica na Região Nordeste do Brasil. Isso faz com que, em períodos nos quais se verificam anomalias negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na bacia do Atlântico, a intensidade e duração pluviométrica da região sejam afetadas negativamente, ocorrendo chuvas abaixo das médias históricas (FERREIRA; MELO, 2005).

Ainda sobre a atuação da ZCIT na região, sua movimentação é marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste, em que se verifica seu deslocamento no sentido meridional entre os meses de dezembro a fevereiro (atuação menos intensa, indicando a estação pré-chuvosa) e março e abril (quando efetivamente ela atua com maior intensidade) (CARVALHO; MAIA; DOMINGUEZ, 2006; CEARÁ, 2014). Cabe ainda destacar que o comportamento pluviométrico negativo é bastante influenciado por fenômenos do tipo *El Niño* que, ao favorecer uma posição da ZCIT mais ao norte e por um maior período, prolonga, desta forma, a vigência da estação seca.

A seguir, a Figura 6 traz uma síntese esquemática da atuação da ZCIT em sua faixa de atuação.

Figura 6 – Síntese da movimentação da ZCIT e padrões de ventos associados



Fonte: Carvalho, Maia e Dominguez (2006).

No caso da planície costeira associada ao Promontório de Jericoacoara, o conjunto de unidades morfológicas presentes nesse sistema está diretamente relacionado aos componentes meteorológicos regionais e locais (MEIRELES, 2011). Como afirmam Meireles, Gorayeb e Pereira Filho (2018), os agentes que atuam na dinâmica de transporte de sedimentos, formação de lagoas costeiras e comportamento ecodinâmico da fauna e flora daquela área são a ação dos ventos, a sazonalidade das precipitações pluviométricas e a insolação.

A precipitação média anual da área de estudo é de 826,8 mm (município de Jijoca de Jericoacoara), e de 1.140,00 mm (município de Cruz), e a estação chuvosa está concentrada em cinco meses consecutivos, normalmente iniciando em fevereiro, com os valores máximos frequentemente associados aos meses de março e abril (CEARÁ, 2021). As precipitações tendem a diminuir a partir de julho e permanecem baixas até dezembro.

No que tange à composição da morfologia local, especialmente no que diz respeito ao aporte de sedimentos da linha de costa para a planície litorânea, e à migração dos campos de dunas móveis, a ação eólica se apresenta como um importante componente da dinâmica da paisagem natural.

Devido à atuação da ZCIT no primeiro semestre, a intensidade dos ventos é menor, se comparado ao segundo semestre, quando já não há incidência daquele sistema atmosférico. Assim, quanto menores os índices pluviométricos, ventos mais elevados e maior insolação, há maior intensidade na migração das dunas móveis. Essa dinâmica é potencializada com a diminuição do nível hidrostático do lençol freático, fazendo com que haja menor incidência das lagoas sobre a planície costeira (MEIRELES, 2011; MEIRELES; GORAYEB; PEREIRA FILHO, 2018).

Ressalte-se que, apesar do regime de ventos atuar como definidor do formato e da orientação das dunas, Meireles (2011) afirma que, no Promontório de Jericoacoara, as dunas estão relacionadas com a fisiografia da linha de costa e a plataforma continental, e que possivelmente atuaram na disponibilidade dos sedimentos, distribuição e competência dos ventos para a deriva eólica.

De acordo com Meireles (2011), as direções predominantes dos ventos na planície litorânea associada ao Promontório são de sudeste, leste-sudeste, leste e nordeste, e as médias de velocidade chegam a superar os 4 m/s nos meses de estiagem (segundo semestre).

Porém, conforme aponta o trabalho de Santos (2019 *apud* XIMENES NETO *et al.*, 2021), na área de origem dos sedimentos que migram em direção ao Promontório, situado na Praia do Preá, a velocidade média do vento é de 8 m/s e a direção predominante varia conforme o semestre: no primeiro semestre são provindos entre leste-nordeste e leste-sudeste, e no segundo são provindos de leste-sudeste.

Dessa forma, temos que a integração entre as médias de pluviometria e velocidade dos ventos se constitui como um importante indicador para a análise da dinâmica morfogenética da planície costeira associada ao Promontório de Jericoacoara.

## **2.5 GEOTECNOLOGIAS, MAPEAMENTO E ANÁLISE COSTEIRA**

A busca de conhecimento pelo estudo da realidade do espaço geográfico traz, em diversos momentos, a necessidade do apoio de variados tipos de ferramentas, às quais podem se caracterizar como específicas ou multidisciplinares, a depender dos fins a que se pretende a análise.

Com o advento tecnológico verificado, sobretudo nas duas últimas

décadas, diversas ferramentas foram desenvolvidas e difundidas na espacialização de dados e informações que permitem a análise das condições do ambiente em diferentes áreas de interesse, identificando, localizando e mapeando cada característica – sejam elas naturais ou sociais, possibilitando as intervenções necessárias nos lugares que delas precisam, se for o caso.

O Sensoriamento Remoto, quando utilizado em conjunto aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), torna-se uma importante ferramenta para a extração de informações da superfície terrestre, gerando assim grande número de informações e possibilitando a programação de ações adequadas para a tomada de decisões por constituir ferramentas de articulação e informações geoespaciais (RODRIGUES; RODRIGUES; CAMPOS, 2015).

Conforme afirmam Fushita *et al.* (2013), é essencial a adoção de método e prática que melhor represente os objetivos que se almejam em um estudo ambiental, pois, caso contrário, há o risco em se produzir resultados distorcidos da realidade.

No entanto, cabe ressaltar que o uso de geotecnologias por si só pode ocasionar a extração e interpretações de informações errôneas, caso não haja a validação de campo. Ou seja, faz-se necessário a vivência e experiência *in loco*.

Em trabalhos de cunho geográfico, é importante que o fluxo metodológico seja executado em etapas que alternem a análise de dados e as observações de campo, os quais buscam o aperfeiçoamento sistemático até a chegada à legenda definitiva e à geração do mapa final através da extrapolação da informação utilizando dados cartográficos e de Sensoriamento Remoto e ferramentas de análise espacial (VICENS; RODRIGUEZ; CRONEMBERGER, 2019).

Em relação ao mapeamento de linha de costa, constatou-se – na literatura científica pesquisada – uma variedade de técnicas para extrair tais linhas de imagens orbitais e de fotografias aéreas (MOORE, 2000; EKERCIN, 2007; PARDO-PASCUAL *et al.*, 2012; SOUZA, 2016; SILVA NETO *et al.*, 2020).

Esses métodos são amplamente empregados não só na Geografia, mas também nas ciências ambientais de maneira geral, no que tange estudos que detectam e analisam as mudanças na paisagem em várias escalas de tempo. Foi tomando como base a análise dessas mudanças que pesquisadores – principalmente do campo da Geomorfologia Costeira – passaram a desenvolver e adotar indicadores na análise das mudanças costeiras.

Para a concepção deste trabalho, foi necessário realizar uma revisão de termos e conceitos relativos às feições existentes nos sistemas costeiros, uma vez que a entrada das informações nos modelos e processamentos necessários à análise da dinâmica costeira depende desse entendimento. Porém, cabe ressaltar que essa revisão não tem como finalidade o estabelecimento de regras de aplicação de conceitos, bem como não visa a discussão crítica de eventuais inconsistências de seus usos.

Termos como zona costeira, litoral, praia e linha de costa podem ser facilmente empregados dentro de um mesmo contexto, mas se referirem a diferentes feições na análise fisiográfica das áreas transicionais entre continentes e oceanos, ou mesmo na transição de ambientes terrestres (faixas de terras) e aquosos (corpos de água).

Conforme análise bibliométrica da produção científica global de fontes de dados e ferramentas para análise e detecção de mudanças na linha de costa realizada por Ankrah, Monteiro e Madureira (2022), o termo “*shoreline*” (linha de praia/costa) foi inicialmente usado por Gulliver (1899) em seu artigo que tratou do desenvolvimento das costas do ponto de vista geográfico, definindo o termo como “a linha formada pela interseção do plano do mar com a terra”. Além disso, tendo como referência a *shoreline*, o autor denomina a região imediatamente voltada à terra/continente como *coast* (costa), e a região imediatamente voltada ao mar como *shore* (praia). Assim, falésias e deltas são feições costeiras, enquanto as ondas avançam e recuam ao longo da praia.

Apesar do trabalho de Gulliver (1899) ter como um dos objetivos descrever os efeitos geográficos da “inconstância linear dos litorais” ocorridas até então (especialmente no litoral dos Estados Unidos), no que diz respeito à escala temporal humana, foi somente entre os anos 1960 e 1970 que o termo “*shoreline change*” surge em pesquisas científicas realizadas a partir do desenvolvimento de diversas ferramentas geoespaciais, incluindo as fotografias aéreas e as imagens de satélite.

Com o advento dessas ferramentas, pesquisas sobre a variabilidade da posição das linhas de costas passaram a ser mais frequentes, uma vez que seu entendimento tinha como finalidade a conscientização sobre os perigos e riscos costeiros, como a erosão costeira e seus impactos sobre os habitantes destas áreas, conforme reiterado por Burningham e Fernandez-Nunez (2020).

Conforme enfatizado por Boak e Turner (2005), o indicador de linha de costa é utilizado como uma forma de ilustrar a posição da linha de costa, sendo passíveis de classificação em 3 grupos. O grupo 1 incluiu os indicadores baseados em características costeiras visíveis (uma linha de maré alta anterior ou o limite úmido/seco, por exemplo). Já o grupo 2 é baseado em dados de maré (nível médio de água alta ou nível médio do mar). Por fim, o grupo 3 é baseado na aplicação de habilidades de processamento de imagens para extrair as principais características da linha de costa. Esses grupos de indicadores podem ser utilizados separadamente (MOORE; RUGGIERO; LIST, 2006; MAHAPATRA; RATHEESH; RAJAWAT, 2014; CRAPOULET *et al.*, 2017; BOYE *et al.*, 2018) ou de forma combinadas (LUIJENDIJK *et al.*, 2018; SALMON; DUVAT; LAURENT, 2019; VOS *et al.*, 2019; POLLARD *et al.*, 2020). O Quadro 3 traz resumidamente a classificação dos indicadores de linha de costa.

Quadro 3 – Indicadores de mapeamento de linha de costa.

	Tipo de Indicador	Métodos de extração
<b>Grupo 1</b>	Características visuais	Faixa entre-marés (úmida/seca)
<b>Grupo 2</b>	Dados de marés	Levantamentos altimétricos associados aos dados de marés
<b>Grupo 3</b>	Extração a partir de índices (PDI)	NDWI, MNDWI

Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos métodos de extração a partir da interpretação visual e aquele que extrai automaticamente as linhas de costa, Chen *et al.* (2019, p. 281, tradução nossa<sup>5</sup>) afirmam que

Interpretação visual é simples e tem alta precisão, mas devido sua lentidão e carga de trabalho intensa, ela não fornece dados rápidos sobre extensas áreas. Quando comparada com a interpretação visual, a extração automática é mais rápida e mais eficiente, porém sofre com erros e confusões espectrais. Nestas condições, geralmente são necessárias

<sup>5</sup> Citação original: “Visual interpretation is simple and has high accuracy, but because of its slow speed and heavy workload, it cannot provide rapid data over a large area. Compared with visual interpretation, automatic interpretation is faster and more efficient, but suffers from spectral confusion and error. Complex post-processing operations are usually needed in such conditions”.



operações complexas de pós-processamento.

Com base no exposto, o método de interpretação visual permite a obtenção de melhores resultados na delimitação de linhas de costa, principalmente quando na utilização de imagens com alta resolução espacial, pois a interpretação por meio desses produtos tende a um mapeamento mais eficiente dos limites costeiros.

Um fator que pode dificultar e/ou limitar o mapeamento de linhas de costa através desse método diz respeito à extensão do recorte espacial determinado. Costas mais extensas tendem a demandar um período maior de tempo para a interpretação, determinação e mapeamento (vetorização manual) de seus limites, especialmente se executados com a proposta de análise multitemporal daqueles ambientes.

Os tipos de ambientes costeiros também podem limitar a identificação da preamar, como em litorais rochosos, por exemplo. No entanto, é fato que as posições da linha de costa podem fazer referência a qualquer característica linear consistente, como a faixa de vegetação, e os limites entre a maré alta e maré baixa (neste caso, passível de ser delimitada com base na identificação da faixa úmida/seca), sendo denominada por Shalowitz (1964) como "linha de costa aparente".

Os mapeamentos executados a partir de levantamentos topográficos associados à extração de dados de marés têm indicador da linha de costa baseado em um *datum* altimétrico e são determinados pela interseção entre o perfil costeiro com uma elevação vertical específica, definida pelos constituintes das marés, e o Nível Médio do Mar (NMM) de uma determinada área. Normalmente esses métodos são mais usados em monitoramentos contínuos de praias e aplicados em escalas locais, dado sua complexidade, disponibilidade e custos de operação dos equipamentos (BOAK; TURNER, 2005; SCHWEITZER, 2013; SANTOS *et al.*, 2015; CASTRO; ROCHA; VIEIRA, 2020).

No trabalho de Oliveira (2009), por exemplo, para se caracterizar e compreender os processos morfodinâmicos locais da linha de costa, foram realizados levantamentos de perfis topográficos perpendiculares à linha de costa, abrangendo feições da praia, berma, estirâncio e antepraia. Tudo isso utilizando equipamentos topográficos (nível, mira e estação total).

A complexidade desses levantamentos pode se caracterizar pela

possibilidade em se combinar variáveis geológicas, geomorfológicas e geomorfométricas do local a fim de quantificar a vulnerabilidade costeira às mudanças físicas do litoral quanto às suas taxas de erosão/acreção. A disponibilidade envolve a capacidade da equipe em planejar e executar levantamentos sazonais (verão e inverno) de perfis de praia georreferenciados e nivelados em relação ao NMM. O custo está atrelado à aquisição de equipamentos de precisão e às despesas relacionadas ao descolamento da equipe (transporte, diárias, alimentação etc.). Portanto, apesar de ser um método preciso de aquisição de informações, sua aplicação fica inviável sem a observância desses fatores.

No que diz respeito aos indicadores contemplados pelo Grupo 3, Chen *et al.* (2019) apresentam e explicam alguns dos principais métodos de extração automática de linhas de costa a partir da aplicação e do processamento digital de imagens orbitais, a saber: detecção de bordas, segmentação baseada em *Threshold* (binarização da imagem), método baseado na região, redes neurais, sub-pixel e extração baseada em análise de índices. Tomando como base a aplicação de índices, esse método é bastante claro: separar terra e água a partir da análise de índices resultantes de matemática entre bandas de uma determinada cena.

Inicialmente Gao (1996) propôs o índice de diferença de água normalizado (da sigla em inglês NDWI, *Normalized Difference Water Index*), que consistia em diferenciar vegetação e água em uma imagem a partir da seguinte equação de bandas:

$$NDWI_{GAO} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

onde NIR é referente à banda do infravermelho próximo e SWIR se refere ao infravermelho médio.

Já McFeeter (1996) propôs um NDWI voltado a diferenciar as feições terra e água a partir do cálculo entre as bandas do verde (*green*) e do infravermelho próximo (NIR), descritas na seguinte equação:

$$NDWI_{MCFEETER} = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (2)$$

Por sua vez, Xu (2005) sugeriu modificar o NDWI proposto por McFeeter

a fim de se obter maior eficiência em diferenciar as superfícies secas daquelas que se apresentam com características úmidas e aquosas, tendo em vista que o NDWI mistura as respostas espectrais daqueles alvos. Para tanto, o autor sugere trocar a banda do infravermelho próximo (NIR) pela banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR), modificando o NDWI a partir da seguinte equação:

$$MNDWI_{XU} = \frac{Green-SWIR}{Green+SWIR} \quad (3)$$

Ao modificar a equação, Xu (2005) afirma que o produto gerado tem três resultados: 1) a reflectância da água terá maior valor positivo, uma vez que ela absorve mais comprimentos de onda da banda do infravermelho médio; 2) áreas edificadas terão mais valores negativos; e 3) solo e vegetação também terão valores negativados, pois ambos refletem mais a luz do infravermelho médio do que do infravermelho próximo. Em resumo, de acordo com aquele autor, o MNDWI se apresenta como método mais eficiente visto que distingue, de forma eficiente, a água da terra (edificações, solos e vegetação).

Nesse sentido, o presente trabalho buscou analisar a aplicação dos métodos de extração de linha costa dos Grupos 1 e 3, uma vez que aqueles descritos no Grupo 2 demandariam mais tempo, esforços e investimentos para sua aplicação. Maiores considerações sobre o resultado dessa análise se encontram no capítulo 3.

Assim como nos processos de delimitação das linhas de costa acima mencionados, entende-se que a identificação e delimitação de campos de dunas a partir de imagens de sensoriamento remoto também envolvem métodos automatizados e manuais, a partir de sua integração com Sistema de Informação Geográfica (SIG). Nesse sentido, há uma diversidade de trabalhos que desenvolvem variados métodos e técnicas de análise, conforme os fins pretendidos.

Tais métodos podem variar desde o simples levantamento de informações *in loco* com fins de mapeamento topográfico, geodésico (SANTOS *et al.*, 2013) e/ou aerolevantamentos (CARNEIRO, 2011) até a extração de informações em escritório, por meio de métodos e técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG para mapeamentos temáticos (MEIRELES, 2011; DURÁN, 2020), podendo haver uma integração entre eles com vistas à investigação quantitativa da evolução da forma de dunas e desenvolvimento de padrões fisiográficos (HUGENHOLTZ *et al.*, 2012;

HESP, 2013).

Outros, mais complexos, podem ir além de apenas delimitar campos de dunas, podendo buscar estimativas da velocidade de migração de acordo com as variações climáticas (BOGLE; REDSTEER; VOGEL, 2015) e até classificar os tipos de sedimentos conforme os sistemas eólicos atuantes (ROCHA, 2014, 2017), ou buscar analisar as origens e a evolução de sistemas dunares locais sob os aspectos naturais e sociais (PINHEIRO, 2009).

Tratando-se da evolução de campos de dunas, são comuns trabalhos que aplicam como principal procedimento técnico a análise espaço-temporal a partir do uso de imagens multitemporais. França e Filho (2003), Pereira Filho (2014), Dúran (2020) e Guerra *et al.* (2020) buscam, por meio da análise multitemporal de imagens de sensores remotos, entender os processos de mobilidade espaço-temporal de campos de dunas (e suas causas) como um dos fatores responsáveis na configuração da dinâmica costeira.

No entanto, para a extração e delimitação das feições dunares, pode-se utilizar o procedimento de distinção e identificação das feições conhecido como classificação de imagens. Conforme Paranhos Filho *et al.* (2021), este procedimento pode ser feito manualmente ou com o auxílio de sistemas de Processamento Digital de Imagens (PDI), podendo ser distinguido em classificação manual e classificação automática.

Porém, destaca-se que essa distinção está mais relacionada às formas de reconhecimento dos dados e das informações que podem ser extraídas dos diferentes tipos de cobertura do solo através das imagens de sensores remotos do que aos métodos de classificação existentes no Sensoriamento Remoto.

Nesse caso, os métodos de classificação automática de imagens orbitais existentes se baseiam na classificação multiespectral – que se baseia na resposta espectral dos alvos a serem identificados –, e em classificação orientada a objeto, que, além da resposta espectral, considera o arranjo espacial dos *pixels* (PARANHOS FILHO *et al.*, 2021).

A classificação automática é o método mais comum para a identificação de objetos na cobertura e no uso do solo, e dentre os trabalhos que o utilizam, podem ser citados Vieira Junior (2011), Fernandes e Amaral (2013), Sousa, Valladares e Espindola (2016), Rodrigues (2015), Vale *et al.* (2018).

Esse método, executado por meio de *softwares* de PDI e por aplicações

em SIG, baseia-se na extração mais rápida de informações de objetos existentes nas imagens, característica que implica na menor interferência do intérprete externo e maior aceitação de resultados provenientes de algoritmos estatísticos (NOVO, 1995; FLORENZANO, 2008, 2011; RODRIGUES; RODRIGUES; CAMPOS, 2015).

No caso do presente estudo, optou-se por usar a classificação supervisionada utilizando o classificador vizinho mais próximo (*Maximum Likelihood*). Conforme afirmam Zanotta, Ferreira e Zortea (2019), esse classificador é um dos algoritmos mais simples e intuitivos disponíveis, e conforme se determinam as classes em uma imagem, cada amostra será classificada segundo a classe majoritária entre seus *pixels* vizinhos.

Uma vez que a classificação automática parte da resposta espectral das imagens, a aplicação de algumas técnicas faz-se necessária para aumentar o potencial de respostas das feições que se pretende identificar nas imagens. Além daquelas consideradas essenciais para o PDI – correções atmosféricas e geométricas, e realce de imagens – existem as transformações espectrais e os modelos de mistura espectral.

Dado que as imagens multiespectrais possuem informações importantes no que se refere ao comportamento espectral dos alvos que, por muitas vezes, o olho humano não consegue distinguir, as imagens resultantes do processo de transformação espectral “são capazes de evidenciar certas características dos alvos que normalmente estão ocultas no conjunto de feições original e, ao mesmo tempo, concentrar o conteúdo essencial da imagem em um número reduzido de dimensões” (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019, p.125).

Nesse sentido, tem-se a Análise por Componentes Principais (ACP), considerada uma técnica clássica do Sensoriamento Remoto que busca tanto a extração de feições quanto a redução do volume total de dados – sem prejuízo na qualidade do produto final. Assim, uma de suas principais funções é a determinação da extensão de correlação existente entre duas ou mais bandas e, através de uma transformação matemática, remover a redundância nos dados multiespectrais (CRÓSTA, 1992; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

Como afirmam Uchoa e Castro (2011), essa é uma técnica que vem sendo amplamente utilizada no campo da Geologia com fins de mapeamento de feições de alteração hidrotermal em províncias metalogenéticas. Ou seja, essa transformação espectral pode ser utilizada na identificação de concentrações

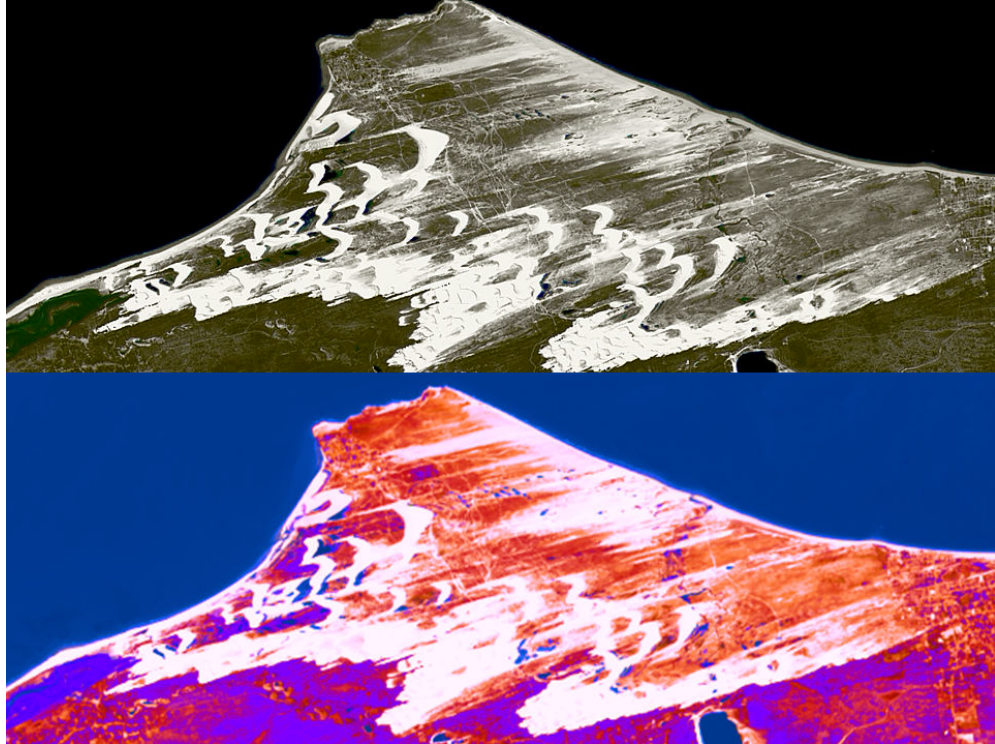
minerais, pois, uma vez que, quando combinadas, realçam aspectos das assinaturas espectrais dos diferentes materiais minerais, especialmente aqueles constituídos por quartzo.

Essa técnica também pode ser aplicada para analisar mudanças ocorridas no uso e na ocupação do solo, além de ser usada como suporte a estudos de vulnerabilidade à perda de solo (GOMES; MALDONATO, 1998; SOUZA; ARAÚJO; GALVÍNCIO, 2007).

No caso de aplicações em áreas costeiras, pode-se citar o trabalho de Alves, Amaro e Vital (2003), os quais utilizaram a ACP para identificar e delimitar feições geológicas e geomorfológicas para o monitoramento e a avaliação da dinâmica costeira no litoral norte do Rio Grande do Norte. No estudo, os autores afirmam que as imagens originadas após a aplicação da ACP são melhores na identificação e extração de feições costeiras do que uma composição RGB simples.

A fim de ilustrar essa afirmativa, a Figura 7 apresenta uma cena recortada comparando duas composições *Landsat* 8 OLI da área do presente estudo, sendo uma RGB simples utilizando as bandas 6, 5 e 3 (mescladas com a banda 8 pancromática) e uma imagem RGB criada com Componente Principal 1 no vermelho (*Red*), Componente Principal 2 no verde (*Green*) e Componente Principal 3 no azul (*Blue*).

Figura 7 – Comparativos entre uma composição RGB 653 e RGB Componentes Principais 123.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme se observa, a imagem RGB Componentes Principais 123 realça as feições costeiras do Promontório de Jericoacoara, especialmente no que diz respeito à identificação dos depósitos eólicos ativos associados ao campo de dunas móveis e aos sedimentos que compõem a planície de aspensão ativa.

Portanto, para o mapeamento das feições arenosas atuantes nos processos de *bypass* litorâneo no Promontório de Jericoacoara, foram consideradas ambas as unidades geoambientais nos produtos finais e nos cálculos de suas mobilidades.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A busca de conhecimento pelo estudo da realidade do espaço geográfico traz, em diversos momentos, a necessidade do apoio de variados tipos de ferramentas, às quais podem se caracterizar como específicas ou multidisciplinares, a depender dos fins a que se pretende a análise.

No caso da ciência geográfica, Fitz (2008) afirma que esse apoio é devido à preocupação do geógrafo, enquanto pesquisador, acerca da ideia de como o espaço geográfico é construído, organizado e estruturado. O mapa é um clássico exemplo de uma das ferramentas mais utilizadas como um meio de se atingir um fim nos estudos da Geografia, bem como de outras ciências, sejam elas ligadas à Terra ou não.

Junto à evolução do pensamento geográfico, tem-se um desenvolvimento tecnológico acelerado, o que implica em uma necessária adaptação dessa ciência frente aos avanços técnico-científicos. As geotecnologias como parte desse avanço são entendidas como

As novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008, p. 11).

Diante do exposto, buscou-se executar essa etapa do estudo com maior relevância, uma vez que demanda determinado cuidado com os dados espaciais levantados e produzidos, sobretudo no que tange à escala, sistema de projeção cartográfico e *datum* utilizados – além do cuidado de uniformizar toda a base cartográfica – a fim de evitar distorções capazes de induzir ao erro.

Uma vez que o presente estudo objetiva a uma análise de elementos fortemente dinâmicos e instáveis da planície litorânea do Ceará, o uso de técnicas de Geoprocessamento a partir de bases espaciais com referenciais uniformes foi de absoluta importância para o alcance dos objetivos propostos, pois o processamento adequado das informações buscou tornar os resultados mais confiáveis, a fim de evitar distorções que comprometessem a análise principal.

Estudos detalhados dos processos costeiros ligados à análise da evolução multitemporal de linhas de costa e campo de dunas em promontórios, conduzidos com o uso de Sensoriamento Remoto e ferramentas de Sistemas de



Informação Geográficas (SIG) podem ajudar cientistas, gestores públicos e a sociedade em geral, a compreender os processos que regem a evolução das paisagens costeiras com maior precisão e eficiência, bem como diagnosticar e prognosticar os impactos decorrentes daqueles processos.

No âmbito da análise integrada da planície litorânea, deve-se considerar que os processos atuantes nesse geossistema se desenvolvem dentro de uma ampla escala de análise temporal, sendo esta normalmente dividida em uma escala de milênios (processos dinâmicos associados às variações climáticas e flutuações do nível do mar no período Quaternário), e em uma escala de anos (evolução controlada pelos processos dinâmicos atuais).

A análise temporal estabelecida à escala de milênios também pode ser entendida como análise em escala temporal de longo termo (décadas a séculos) e de médio termo (anos a décadas), e são relevantes dentro do contexto histórico evolutivo do(s) ambiente(s) a serem estudados. Já a escala de anos – aqui também entendida como escala temporal de curto termo (horas a anos), permite avaliar a amplitude da extensão costeira retrabalhada em curto período (STIVE *et al.*, 2002).

Quando analisada pelo viés da multitemporalidade, a evolução costeira é, em última análise, impulsionada por um grupo complexo de processos operando em conjunto em escalas variadas, que podem ser o aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos ou mesmo a própria atividade antrópica naquele sistema.

O desenvolvimento de métodos e técnicas para a análise das mudanças de linhas de costa e do movimento de campo de dunas permite sua aplicação, em nível global, regional e local, para todos os tipos de linhas/limites móveis. Para o caso deste trabalho, a análise da morfodinâmica costeira da Ponta de Jericoacoara foi executada a partir da extração de informações objetivas de cada uma das feições supramencionadas por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas.

### **3.1 Levantamento e Compatibilização dos Dados Espaciais**

As informações espaciais para os fins pretendidos neste trabalho podem ser obtidas de diversas formas e por variados custos. Normalmente esses meios consistem em levantamentos em campo com instrumentos específicos, que geram uma maior quantidade de dados precisos e eficientes das feições a serem

analisadas.

Por conta disso, os dados históricos são limitados ou inexistentes, fazendo com que a escolha de quais dados usar seja determinada pela disponibilidade dos dados da área a ser estudada e pela facilidade em acessá-los. Em análises temporais, Boak e Turner (2005) afirmam que esse fato pode acarretar uma “incerteza potencial adicional” ao estudo, uma vez que se busca informações que estão historicamente disponíveis, independentemente da exclusividade da fonte (mapas com diferentes escalas, sensores distintos, equipamentos com acurácia e precisão diferentes etc.).

Devido a tais incertezas potenciais, o resultado final de um estudo que visa o mapeamento de limites dinâmicos (como é o caso das feições existentes em uma paisagem litorânea) pode ficar comprometido. Por isso a manutenção de uma fonte padronizada, aliada a uma metodologia consolidada, faz-se importante na análise, conforme forem os objetivos estabelecidos nesta.

Fotografias históricas terrestres também podem fornecer informações gerais ao analista, quando se pode identificar determinadas características morfológicas da área em estudo, como uma restinga ou entrada de canal. Porém, a maioria das fotos terrestres é, por definição, muito oblíqua, com informações limitadas (ou ausentes) quanto à escala ou aos pontos de controle no solo. Por essas razões, a maioria das fotografias históricas é de valor limitado para aplicação no mapeamento quantitativo de linhas costeiras passadas (DOLAN; HAYDEN; MAIO, 1983 *apud* BOAK; TURNER, 2005).

Uma das formas de se conseguir dados precisos e confiáveis para o mapeamento de linha de costa e dos campos de dunas são os levantamentos geodésicos primários dos lineamentos costeiros e dos perfis de praia, por meio do uso de instrumentos específicos, tais como estação total e GNSS. No entanto, além de ser um meio que demanda certo tempo e custo – principalmente se executado em larga escala, em análises multitemporais o pesquisador teria que dispor de informações históricas desses levantamentos, preferencialmente sempre através do mesmo equipamento que se inicia (ou equipamento com especificações semelhantes ou melhores) a pesquisa a fim de não comprometer o seu resultado final.

Há ainda o fato das condições geográficas dos litorais, que eventualmente podem se mostrar como fator limitante desses serviços devido à dificuldade de

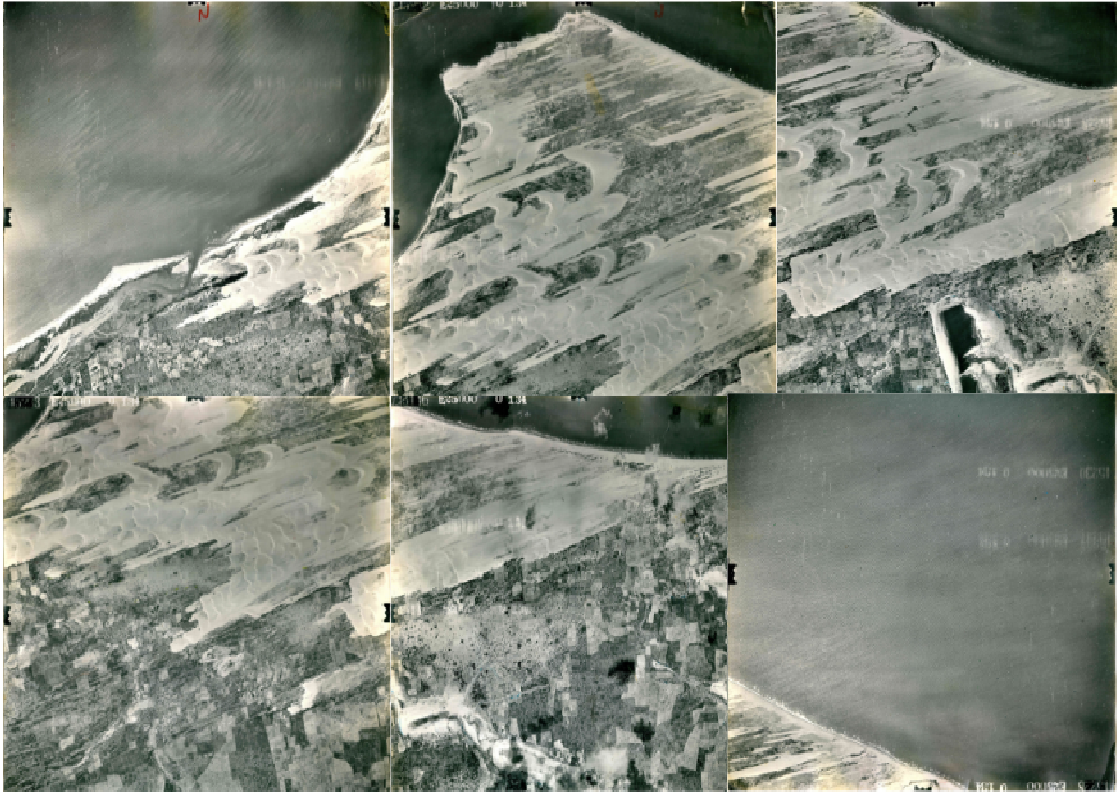
acesso para as medições, como são os casos de litorais rochosos, com altimetria elevada, e dos ambientes costeiros passíveis de inundações periódicas.

Mapas costeiros e cartas náuticas também são frequentemente utilizados como fonte para mapeamentos multitemporais do litoral, pois dispõem de extensas coberturas espaciais. Porém, a cobertura temporal pode ser restrita e, na maioria das vezes, é muito específica de um determinado local. Também podem conter erros potenciais de escala, mudanças de *datum*, distorções (devidas a enrugamentos, estiramentos, vincos, rasgos e dobras), diferentes padrões de levantamento e de publicação, erros de projeção e revisão parcial (BOAK; TURNER, 2005).

Fotografias aéreas ainda são muito utilizadas para mapeamentos, desde os atuais aos históricos. Ao pesquisar sobre esse método de obtenção de dados espaciais, Boak e Turner (2005) afirmam que aqueles produtos começaram a ser registrados no mundo entre os anos 1920 e 1930. Apesar de também cobrirem vastas áreas, os dados provenientes desses levantamentos (geralmente disponíveis de forma “bruta”) podem conter distorções que comprometem a análise precisa do litoral, havendo a necessidade de corrigi-las previamente.

Nas pesquisas realizadas para a concepção do presente estudo, buscaram-se fotografias aéreas junto aos arquivos do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (Figura 8). No entanto, além das distorções comuns das fotografias (distorção radial, distorção de relevo, inclinação e inclinação da aeronave e variações de escala causadas por mudanças de altitude ao longo de uma linha de voo), um fator determinante para sua não utilização deveu-se à dificuldade em aplicar correções geométricas, por meio de pontos de controle no terreno, que permitissem um mínimo georreferenciamento das fotografias.

Figura 8 – Cenas das fotografias aéreas da área de estudo – ano 1959



Fonte: Acervo da Sede do DNOCS (Administração Central).

Já o Sensoriamento Remoto fornece informações oportunas de feições da paisagem costeira que os demais meios de obtenção de dados – especialmente os levantamentos em campo – têm como limitante, além de prover dados em grande escala em menor tempo, e com precisão aceitável (dependendo do método aplicado e da resolução espacial do dado selecionado).

As imagens com alta resolução espacial podem ser obtidas a partir de imageamentos aéreos por meio de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas – também conhecido como RPAS, sigla de *Remotely Piloted Aircraft System* (popularmente, esses sistemas podem ser conhecidos por Drones e VANTs<sup>6</sup>), ou através de sensores remotos em satélites orbitais. Porém, em ambos os casos, os custos são elevados, e sua obtenção e aplicação se torna onerosa. Cite-se ainda a baixa disponibilidade<sup>7</sup> e, na maioria dos casos, indisponibilidade<sup>8</sup> de informações de

<sup>6</sup> Para melhor compreensão, consultar <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/qual-a-diferenca-entre-drone-vant-e-rpas/>. Acesso em: 15 de mar. 2022.

<sup>7</sup> No caso das imagens de satélite, os sensores remotos comerciais de alta resolução espacial datam somente a partir do ano de 1999, quando do lançamento do satélite Ikonos II com capacidade de imageamento de 1 metro (QUARTAROLI; BATISTELLA, 2005). Já a disponibilidade de imagens aéreas depende do local que se quer a fotografia e de encontrar uma empresa que a possua em

séries históricas, bem como da cobertura de certas áreas.

Já imagens com resoluções espaciais moderadas possuem facilidade de acesso e as séries históricas longas estão disponíveis gratuitamente em acervos on-line, como se verifica no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)<sup>9</sup> e no Serviço Geológico dos Estados Unidos (da sigla em inglês USGS)<sup>10</sup>, fato que reduz drasticamente o custo das pesquisas que utilizam aqueles dados, quando comparado com imagens de alta resolução espacial.

Com base nisso, foi realizada uma vasta pesquisa a respeito da aplicação de métodos e técnicas em Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) que pudessem extrair as informações necessárias para se atingir os objetivos deste trabalho, por meios acessíveis e cientificamente eficazes.

Portanto, para a identificação e o mapeamento de linha de costa e do campo de dunas dos recortes espaciais deste estudo, foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 5 TM* e *Landsat 8 OLI*, entre os anos de 1986 e 2021. Ressalte-se ainda que todas as cenas utilizadas foram adquiridas sob demanda<sup>11</sup> e processadas através do Sistema de Geração de Produto de Nível 1 (LPGS), processadas para a completa correção da precisão de terreno por meio de parâmetros aplicados para “Tipo de Produto” e “Correção de Terreno L1T”<sup>12</sup>. Sendo assim, todas as imagens passaram por processamentos padronizados e possuem georreferenciamento consistente dentro das tolerâncias prescritas, com erro médio quadrático (RMSE) inferior a 0,4 metros nas imagens *Landsat 5 TM*, e inferior a 9 metros nas imagens *Landsat 8 OLI*.

Com base no exposto, as Tabela 1 e Tabela 2 detalham as principais

---

seu acervo. Por exemplo, em contato realizado por *e-mail* no dia 21 de junho de 2018 com a central de vendas da empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S/A, só havia uma fotografia aérea para as áreas selecionadas para este trabalho, do ano de 1968, na escala de 1:70.000, com custo relativamente elevado para ser empregado em uma pesquisa científica.

<sup>8</sup> Órgãos e instituições públicas eventualmente podem dispor de fotografias aéreas mais antigas, principalmente devido ao Projeto Radam Brasil. Porém, isso depende do estado de conservação do acervo e, em alguns casos, de se realizar um levantamento mais amplo a fim de se conseguir dados com maior sequência histórica. Há ainda a possibilidade de as imagens existentes em acervos não estarem digitalizadas, e tão pouco georreferenciadas, e como foi exposto anteriormente, esse fato dificulta uma análise mais precisa da evolução das costas.

<sup>9</sup> <https://www.inpe.br>.

<sup>10</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov>.

<sup>11</sup> <https://glovis.usgs.gov/>.

<sup>12</sup> Para maiores informações, ver [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-4-5-thematic-mapper-tm-level-1-data?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acesso em: 04 de maio 2022.

informações das cenas obtidas para a área de estudo do Promontório de Jericoacoara.

Tabela 1 – Informações das imagens *Landsat 5 TM* da Ponta de Jericoacoara

<b>Cena</b>	<b>Data</b>	<b>Horário da Cena</b>	<b>Satélite/Sensor</b>	<b>Bandas Utilizadas</b>	<b>Resolução Espacial (m)</b>	<b>RMSE</b>
218/62	30/07/1986	12:14:49	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.209
218/62	21/09/1988	12:23:18	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.195
218/62	13/08/1991	12:16:06	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.229
218/62	18/06/1994	12:11:26	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.363
218/62	29/08/1997	12:24:31	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.227
218/62	21/08/2000	12:30:18	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.104
218/62	14/08/2003	12:29:33	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.246
218/62	06/08/2006	12:45:54	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.162
218/62	11/08/2008	12:38:37	Landsat 5 TM	B1, B2, B3, B4, B5, B7	30	0.206

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados fornecidos pela USGS.

Tabela 2 – Informações das imagens *Landsat 8 OLI* da Ponta de Jericoacoara

<b>Cena</b>	<b>Data</b>	<b>Horário da Cena</b>	<b>Satélite/Sensor</b>	<b>Bandas Utilizadas</b>	<b>Resolução Espacial (m)</b>	<b>RMSE</b>
218/62	25/08/2013	12:54:38	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	7.144
218/62	28/08/2014	12:52:40	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	6.979
218/62	14/07/2015	12:52:08	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	5.646
218/62	30/06/2016	12:52:26	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	6.855
218/62	21/09/2017	12:52:45	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	5.870
218/62	08/09/2018	12:52:11	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	6.143
218/62	07/06/2019	12:52:22	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	8.444
218/62	27/07/2020	12:52:31	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	6.007
218/62	27/05/2021	12:52:18	Landsat 8 OLI	B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8	15/30	8.541

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados fornecidos pela USGS.

No que tange às resoluções espaciais das imagens do *Landsat 8 OLI*, ressalte-se que foram compostas imagens coloridas RGB 653, mescladas com a imagem pancromática do sensor (banda 8), para a delimitação das linhas de costa históricas. Já para o mapeamento dos campos de dunas, utilizou-se apenas a composição RGB criada com Componente Principal 1 no vermelho (*Red*), Componente Principal 2 no verde (*Green*) e Componente Principal 3 no azul (*Blue*), utilizando as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do *Landsat 5 TM*, e as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do *Landsat 8 OLI*.

Para a escolha e aquisição das imagens *Landsat* detalhadas na tabela anterior, buscou-se cenas cuja cobertura de nuvens fosse inferior a 40%. Portanto, foram priorizados os imageamentos nos meses de julho, agosto e setembro, período em que o principal sistema atmosférico indutor de chuvas na região (Zona de Convergência Intertropical) não tem atuação na região. Ou seja, a cobertura de nuvens nesse período tende a ser menor se comparado aos meses do 1º semestre, garantindo um melhor resultado na extração das informações.

Porém, conforme se observa nas tabelas acima, as cenas do ano de 1994 (*Landsat 5 TM*) e dos anos 2016 e 2021 (*Landsat 8 OLI*) foram escolhidas em datas do 1º semestre. Isso se deveu à não existência de imagem dentro do período pretendido e/ou à intensa presença de nuvens na área de estudo, buscando-se assim imagens com menor cobertura possível em datas próximas ao período.

Para a delimitação da linha de referência para as análises desta pesquisa, foram utilizadas imagens orbitais de alta resolução espacial do sistema sensor óptico *Satellite Pour l'Observation de la Terre 6 e 7* (SPOT 6/7). Esses produtos do sensor SPOT possuem ortorretificação planimétrica e fusão de imagens, além de terem passado por outros processamentos que proporcionaram acuidade e melhorias na resolução espacial (1,5 metros ou 2,25 m<sup>2</sup> por *pixel*) nas diferentes bandas multiespectrais. Todas as imagens adquiridas possuem bandas com resolução espectral que variam do azul (450 – 520 nm, banda 1) até o infravermelho próximo (760 – 890 nm, banda 4).

A cobertura das imagens SPOT 6/7 abrangem os meses de junho e julho do ano de 2019, com composição colorida NIR4R3G2B1 (espectro do visível e infravermelho próximo), sistema de projeção Universal Transversa de Mercator e

*datum* SIRGAS 2000.

Foram utilizados ainda outros materiais geocartográficos que pudessem subsidiar o presente trabalho, tais como imagens orbitais e fotografias aéreas de alta resolução espacial. Registre-se ainda que, além dos dados matriciais (raster), também foram utilizados dados vetoriais. Os materiais e os locais de obtenção estão descritos a seguir:

- Imagens do satélite *Quickbird*, dos anos de 2004 e 2010 (composição colorida RGB fusionada à banda pancromática, com resolução espacial de 60 centímetros), em formato matricial (*TIFF*), adquiridas junto ao acervo geocartográfico da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE);
- Ortofotocartas digitais do IPECE, do ano 2008, em formato matricial (*TIFF*), com respectivo mapeamento em CAD (curvas de nível com equidistância de 10 metros, traçados de vias de acessos, hidrografia, base cadastral), em escalas 1:20.000, apenas do município de Jijoca de Jericoacoara, adquiridas junto ao acervo desta instituição;
- Cenas SRTM para a confecção de Modelos Digitais de Elevação (MDE), adquiridas junto ao repositório do USGS *Earth Explorer*;
- Arquivos vetoriais georreferenciados em formatos *shapefile* e *Computer Aided Designer* (CAD) referentes aos limites territoriais – limites distritais, municipais, estaduais e federais da República Federativa do Brasil, obtidos no *site* do IBGE<sup>13</sup> e do IPECE<sup>14</sup>;
- Arquivos matriciais em formato TIF referentes às cartas planialtimétricas, na escala 1:100.000, das folhas Acaraú SA 24-Y-B-IV e Camocim SA 24-Y-A-VI, correspondem aos municípios de Jijoca de Jericoacoara e Cruz, obtidos no Geoportal do Exército Brasileiro<sup>15</sup>;
- Arquivos vetoriais georreferenciados em formatos *shapefile* referentes às/aos órbitas/pontos das cenas dos satélites *Landsat 5 TM* e *8 OLI*, obtidas no *site* da USGS<sup>16</sup>;
- Mapa geológico digital do estado do Ceará, escala 1:500.000,

---

13 <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

14 <https://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/georreferenciados/index.htm>.

15 <https://www.geoportal.eb.mil.br/dsg>.

16 <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-shapefiles-and-kml-files>.



elaborado por Pinéo (2020), em formato vetorial (*shapefile*);

- Mapa da Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará, escala 1:250.000, elaborada pela FUNCEME e Souza (2000), em formato vetorial (*shapefile*) e matricial (JPEG);
- Mapa Geodiversidade do estado do Ceará, escala 1:750.000, elaborado pela CPRM (2014)<sup>17</sup>, em formato vetorial e matricial;
- Mapas da reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do estado do Ceará, escala de 1:10.000, nos formatos matriciais (ortofotos e modelos digitais de superfície) e vetoriais (*shapefiles* dos zoneamentos) elaborados e disponibilizados pela SEMACE (2016).

Diante do exposto, e a fim de uma melhor compreensão das técnicas aplicadas para o alcance dos objetivos, os métodos executados para a concepção deste trabalho estão descritos a seguir. Ressalte-se que todos os processamentos espaciais (vetoriais e matriciais) relacionados à análise da evolução multitemporal foram executados utilizando os *softwares* QGIS 3.18.3-Zürich, ArcMap 10.5, DSAS v5.0 e ERMapper 7.0.

### **Registro e recorte**

Após a aquisição dos dados coletados, foram procedidas ações de tratamento, extração e armazenamento das informações, que se encontram descritas a seguir.

Uma vez que as imagens orbitais adquiridas junto ao serviço da USGS possuem parâmetro de projeção cartográfica diferente da identificada na área deste estudo (Projeção UTM, *Datum* WGS84, Zona 24 **Norte**), procedeu-se a compatibilização ao referencial espacial no qual o Promontório de Jericoacoara está inserido (Projeção UTM, *Datum* WGS84, Zona 24 **Sul**).

A fim de garantir a precisão do georreferenciamento das imagens obtidas e convertidas, procedeu-se à verificação do posicionamento dos referidos objetos a uma imagem *Landsat* ETM+ *Geocover*, ano 2001, ortorretificada e disponível no arquivo do *Earth Explorer*, bem como também foi utilizada a imagem SPOT 6/7

17

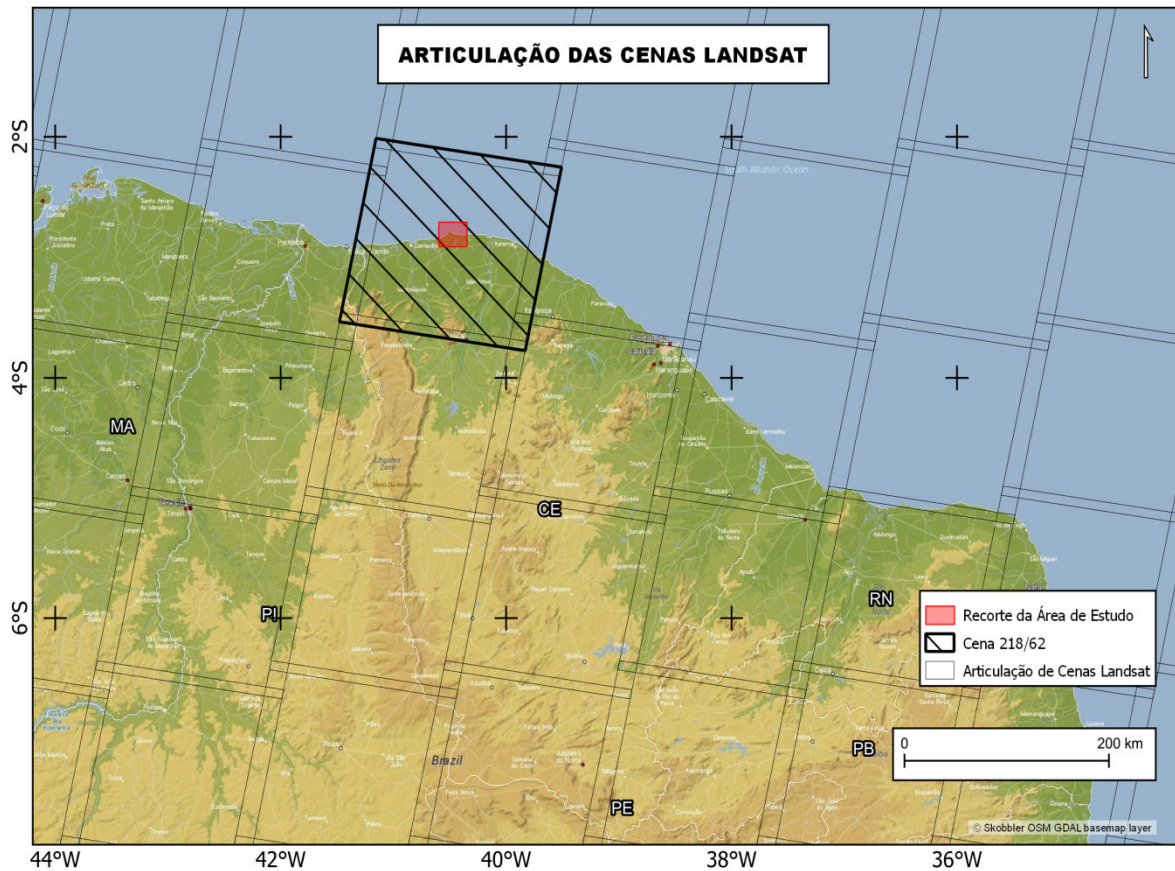
[https://gd.cprm.gov.br/mapas\\_geodiversidade/gdce\\_lito.zip](https://gd.cprm.gov.br/mapas_geodiversidade/gdce_lito.zip).

citada anteriormente. Esse procedimento consiste em verificar e comparar, por meio de sobreposição entre cenas e interpretação visual, o relacionamento espacial das principais feições terrestres imageadas pelos sensores, tais como corpos de água, estradas e áreas antropizadas, e fixar pontos de controle.

No caso deste trabalho, buscou-se preferencialmente verificar feições próximas às áreas de estudo com intuito de conferir maior confiabilidade da interpretação, visto que tais áreas são as que sofreram o recorte da cena. No entanto, conforme o procedimento foi sendo executado, observou-se que não foi necessária a correção geométrica das cenas, tendo em vista que a elas já foram asseguradas as devidas correções geométricas quando dos pré-processamentos ao nível 1 (L1TP).

Dado que a extensão da área de estudo foi estabelecida com base na identificação e delimitação da extensão do Promontório de Jericoacoara, e a fim de assegurar a confiabilidade dos dados espaciais analisados, a pesquisa considerou o recorte espacial das cenas *Landsat* obtidas para a elaboração dos mapas temáticos em uma escala aproximada de 1:150.000, definida com base no Erro Padrão Estimado (EPE), uma vez que a resolução espacial das imagens com menor detalhe é de 30 metros por *pixel*. O Mapa 7 ilustra a extensão da área de recorte frente à cena *Landsat* obtida para o presente estudo.

Mapa 7 – Recorte das cenas Landsat para a área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados órbita/ponto disponibilizada em *shapefile* pela USGS e dos limites territoriais disponibilizados em *shapefile* pelo IBGE.

Ressalte-se que a definição da escala se deu conforme orientações do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) exigido para mapeamentos<sup>18</sup>, bem como à parâmetros adotados pela ABNT-NBR 13133<sup>19</sup> acerca do erro gráfico admissível na elaboração do desenho topográfico, que é de 0,02 milímetros.

Em seguida, procedeu-se a etapa de extração das informações ora armazenadas que passaram pelo tratamento acima descrito.

O armazenamento dos dados brutos e dos produtos gerados foi realizado tanto em HD externo quanto no próprio notebook em que foram executados os procedimentos e elaborado o relatório. Para executar essa etapa, procedeu-se nova compatibilização do referencial espacial para a Projeção UTM, zona 24 Sul, do

<sup>18</sup> Apesar de o PEC (Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984) ter sido estabelecido em uma época em que a cartografia era gerada por processos analógicos, ainda é a única instrução reguladora de normas técnicas da cartografia brasileira regente.

<sup>19</sup> Essa norma trata da execução de levantamentos topográficos.

*Datum* SIRGAS 2000<sup>20</sup>. Assim, todas as informações em formato matricial e vetorial foram reprojatadas ao Sistema de Referência de Coordenadas EPSG 31984<sup>21</sup>, gerando novos arquivos para cada um dos produtos que também foram armazenados nos dispositivos mencionados.

### 3.2 Mapeamento da Linha de Costa

O Mapa 8 e Mapa 9 a seguir, apresentam as delimitações das linhas de costa a partir da interpretação das respectivas imagens *Landsat*. Observa-se que a extensão das linhas levou em consideração a área do promontório diretamente afetada pela dinâmica costeira que incide na região.

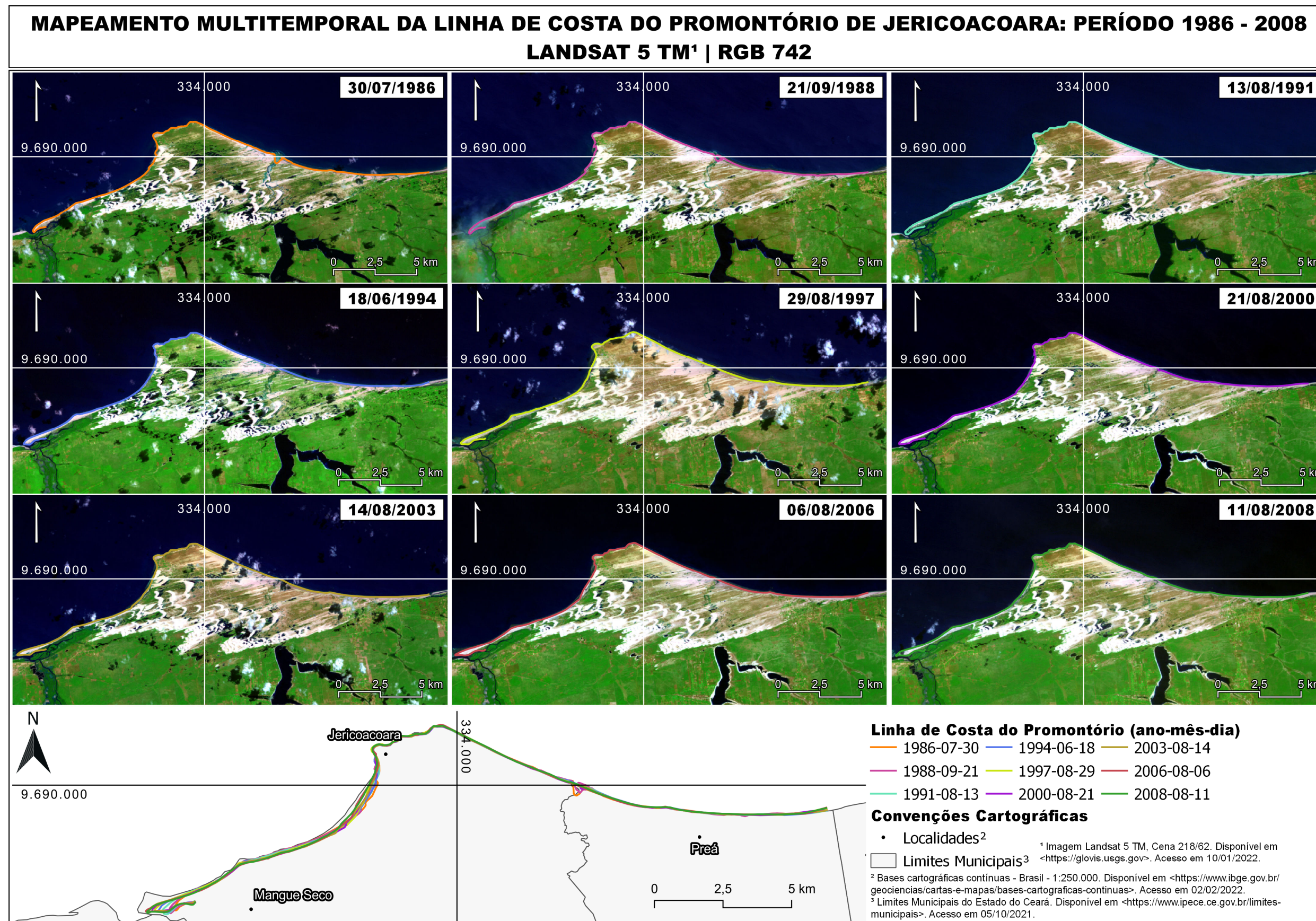
Posteriormente, são apresentados o Mapa 10 e o Mapa 11 com os produtos de cada um desses métodos, bem como a extração das linhas de costa para cada período em análise neste trabalho, nos quais foram sobrepostas às linhas de costa mapeadas a partir da interpretação visual de cada imagem.

---

<sup>20</sup> Conforme Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005, que estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000), como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN).

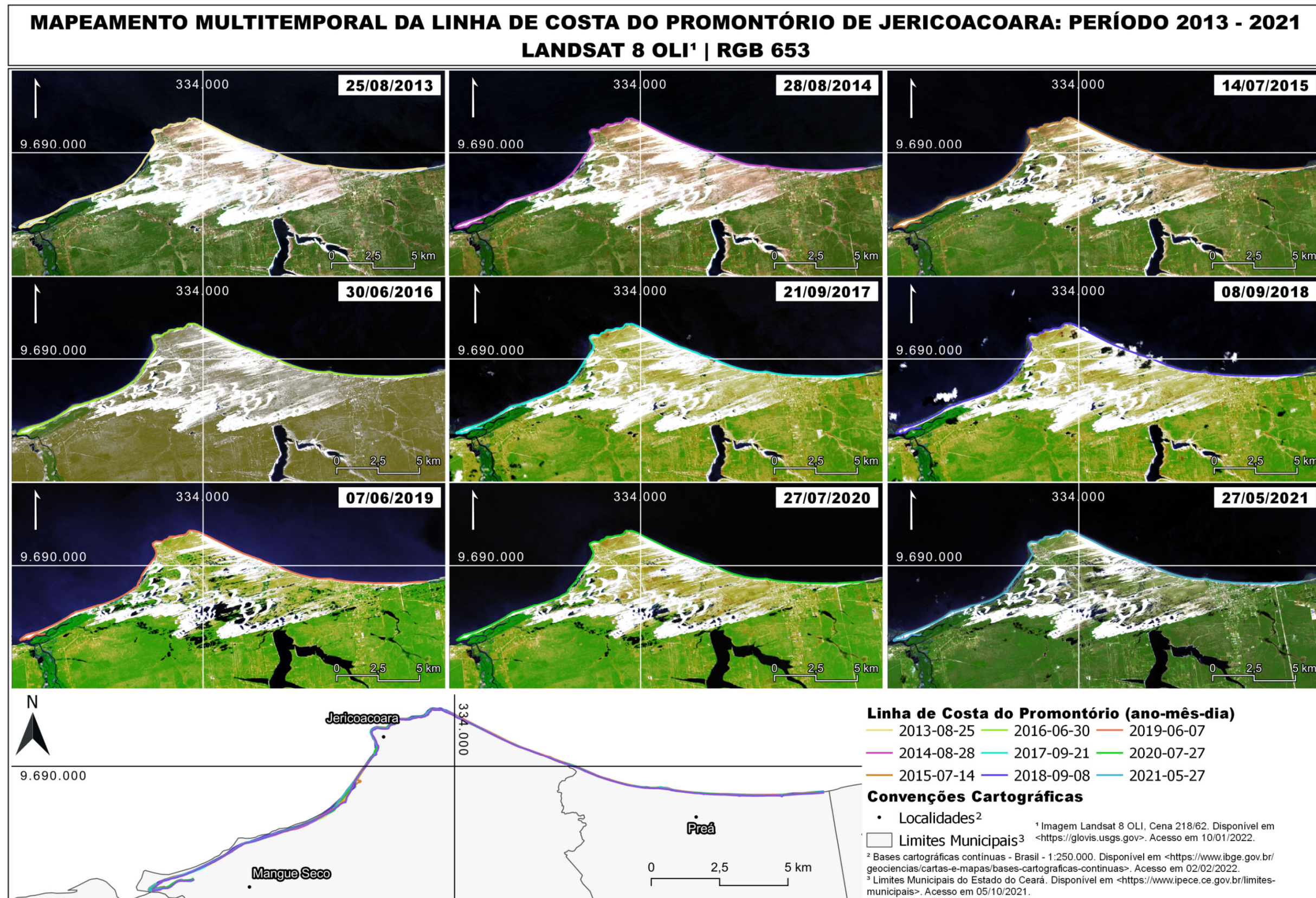
<sup>21</sup> O conjunto de dados de parâmetros geodésicos globais, aqui entendidos como Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC), foram organizados e padronizados através de uma série de códigos pelo *European Petroleum Survey Group* (EPSG), um grupo de pesquisa ligado à *International Association of Oil and Gas Producers* (IOGP), e que atualmente é mantido pelo *Geodesy Subcommittee of the IOGP Geomatics Committee*. Disponível em [www.epsg.org](http://www.epsg.org). Acesso em: 22 de jul. 2019.

Mapa 8 – Mapeamento da linha de costa a partir das imagens Landsat 5 TM



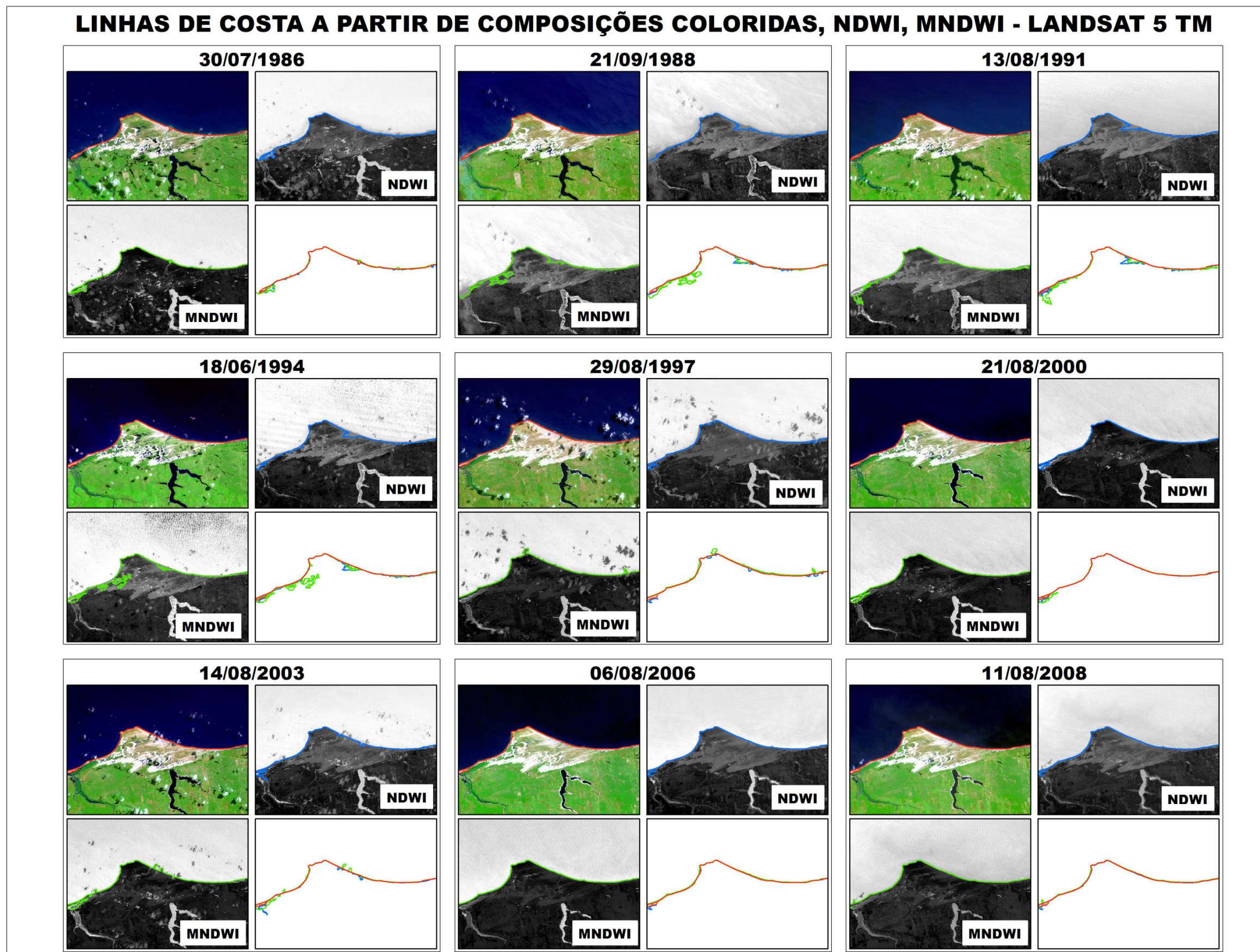
Fonte: Elaboração própria.

Mapa 9 – Mapeamento da linha de costa a partir das imagens Landsat 8 OLI



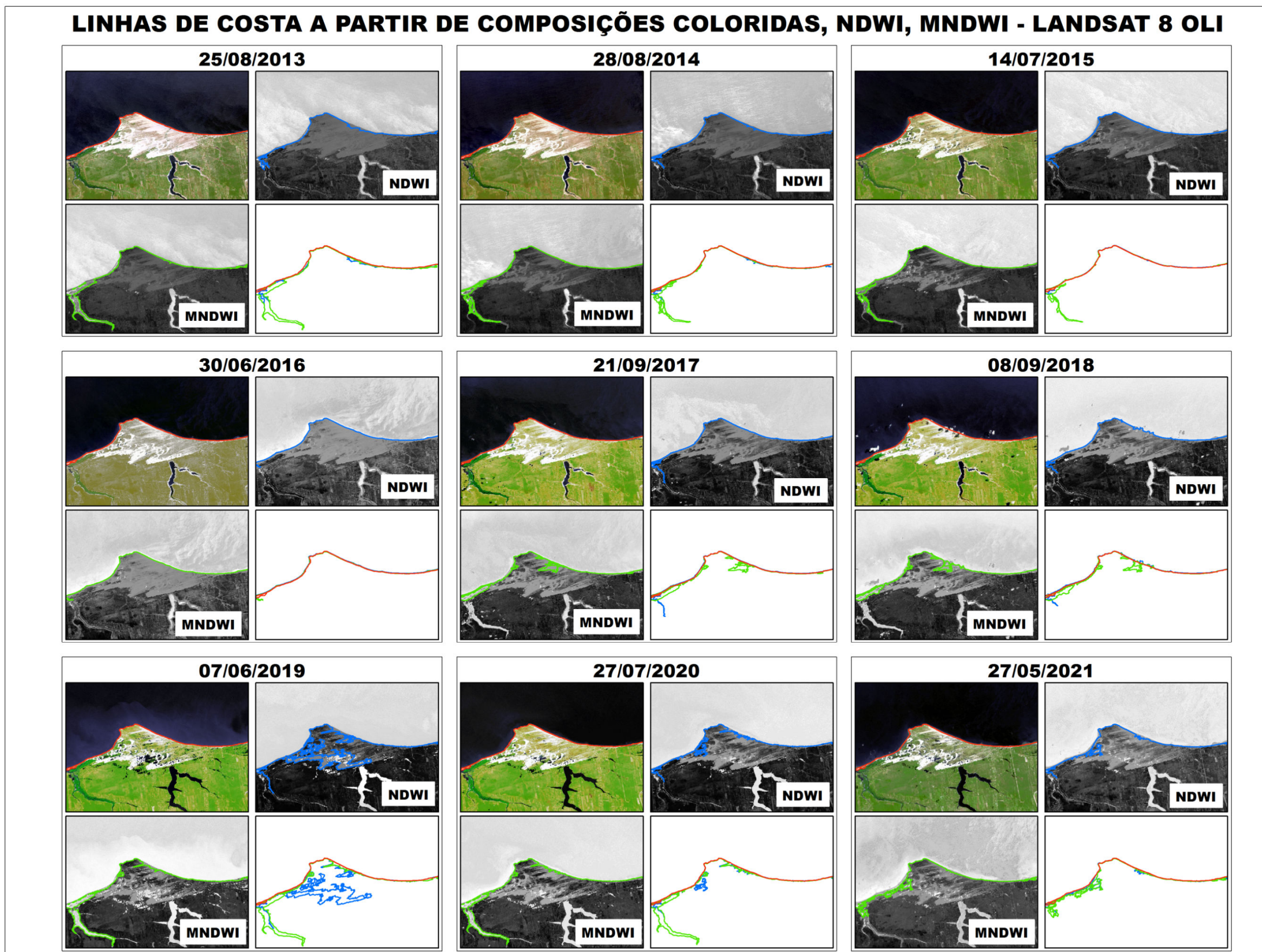
Fonte: Elaboração própria

Mapa 10 – Composição colorida, NDWI e MNDWI da Ponta de Jericoacoara a partir das imagens Landsat 5 TM – Período 1986 a 2008



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 11 – Composição colorida, NDWI e MNDWI da Ponta de Jericoacoara a partir das imagens Landsat 8 OLI – Período 2013 a 2021



Fonte: Elaboração própria.



Conforme se observa nos Mapas 10 e 11, ambos os métodos aplicados para extração das linhas de costa mostram claramente a distinção entre o corpo de água (Oceano Atlântico) da área de superfície, tendo como resultado valores positivos e negativos, respectivamente.

No entanto, com o aprimoramento proposto pelo MNDWI, percebe-se um melhoramento visual (e de *pixels*) nos limites do corpo de água – que tendem a ser interpretados como a linha de costa. Em consequência, percebe-se tanto quantitativamente (*pixels*) quanto qualitativamente (maior brilho e contraste em relação ao corpo de água, bem como menor ruído na imagem) que as áreas referentes aos solos e à vegetação possuem valores mais negativos no MNDWI.

Cabe ressaltar que, para o MNDWI, o valor limite que distingue os *pixels* (*threshold*) relativos às superfícies de terra e água é igual a zero, sendo positivos os valores referentes à terra e negativos os valores de água (XU, 2005).

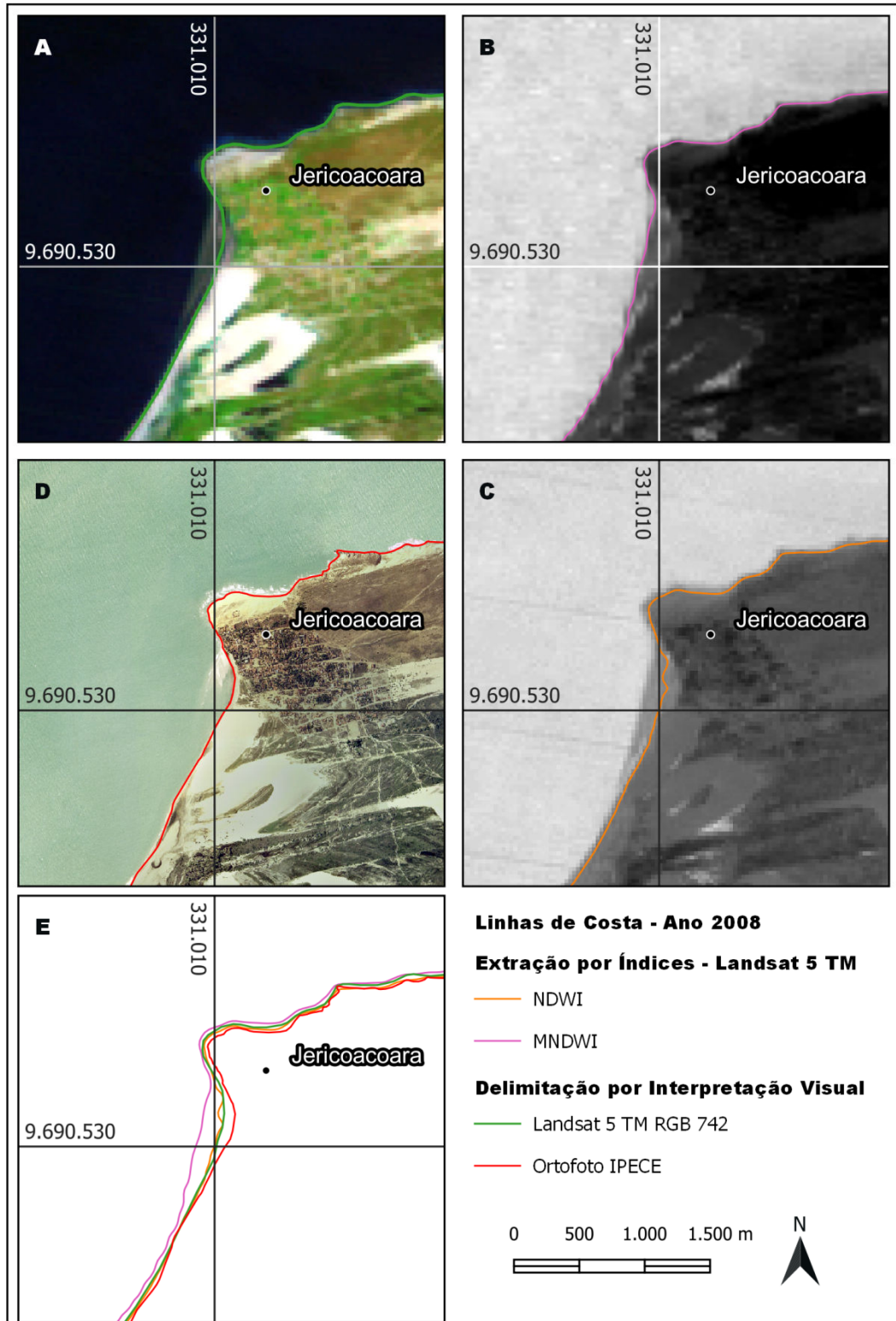
Apesar de Xu (2018) e Xu e Gong (2018) afirmarem que o MNDWI pode ser considerado o melhor método de extração baseado em análise de índices para o mapeamento de linhas de costa, dado seu desempenho e replicabilidade de limites, não foi o que se constatou na aplicação para este trabalho – assim como para a aplicação do NDWI. Ao contrário do que os métodos acima descritos têm por finalidade, o que se verifica na área do Promontório é que as linhas de costa extraídas não condizem com as linhas de costa delimitadas pela interpretação visual. Na verdade, a variação em alguns casos foi bastante significativa se comparadas àquelas mapeadas por esse método.

Os motivos para isso podem dizer respeito desde a não execução correta dos métodos até ao fato de a área em questão apresentar significativa variação entre marés. Kelly e Gontz (2018) avaliaram a aplicabilidade do método a partir de levantamentos de campo com GPS. Na ocasião, foi constatada que aplicação do MNDWI (bem como de outros índices) possui maior precisão em costas com faixas entre marés diárias estreitas, pois como dito anteriormente, o objetivo do mesmo é separar corpos aquosos de áreas terrestres (solos, vegetação e edificações).

Portanto, litorais que possuem extensas áreas úmidas entre os limites de maré alta e baixa podem retornar resultados incoerentes dos limites de linhas de costa extraídos pelo método citado. Para melhor entendimento, Mapa 12 e o Mapa 13, a seguir, trazem em detalhes subsetores da área de estudo em que a delimitação dos métodos de extração baseados em índices apresenta uma maior

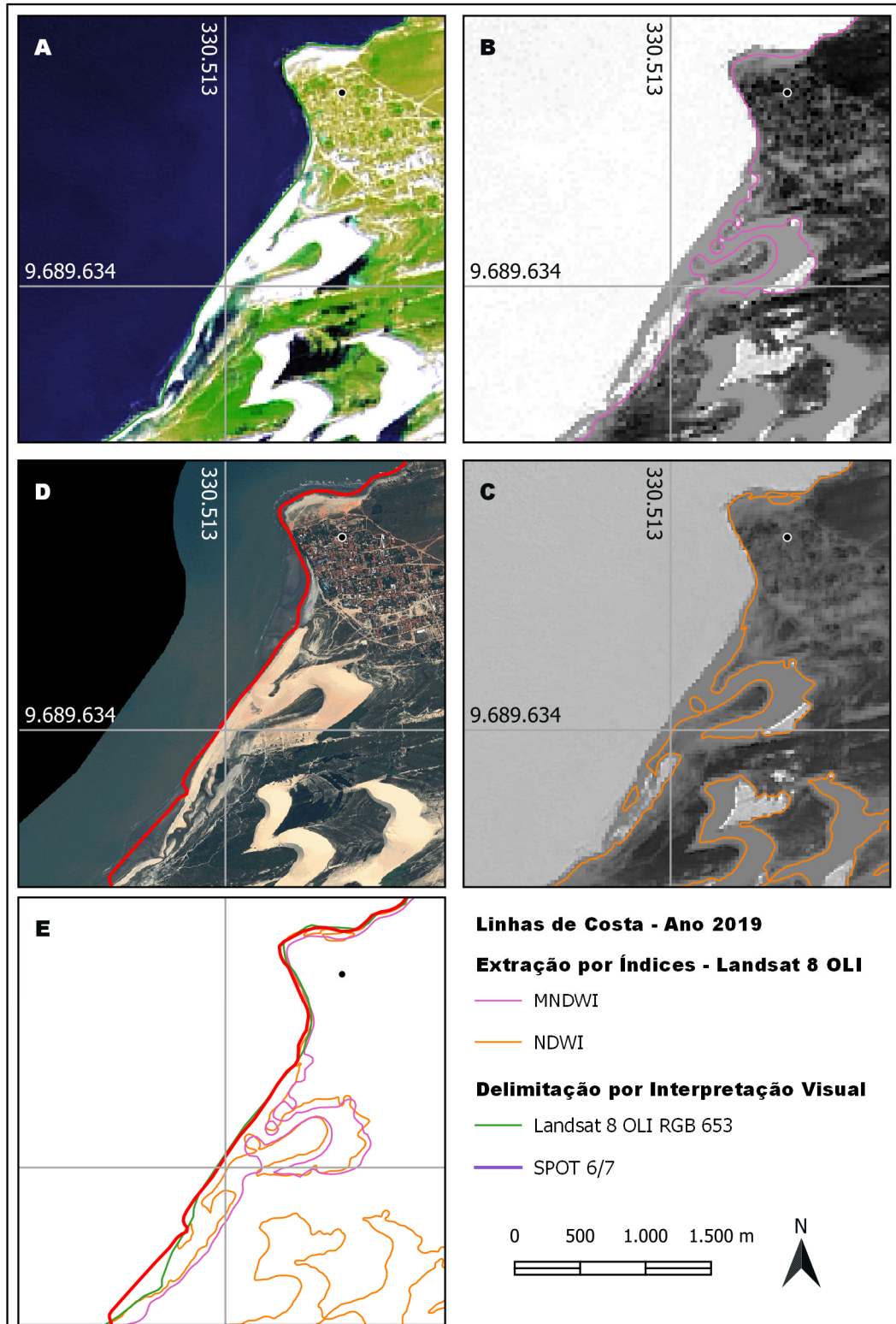
variação espacial em relação às linhas de costa delimitadas a partir da interpretação visual de uma imagem *Landsat 5 TM*, 8 OLI – com resolução espacial de 30 e 15 metros, respectivamente –, de uma ortofoto derivada de levantamento aéreo (resolução de 2 metros), e de uma imagem SPOT 6/7 (resolução espacial de 1,5 metros). Ressalte-se que se estabeleceu o mesmo intervalo temporal para essas comparações, uma vez que as imagens com melhor resolução espacial são apenas dos anos 2008 e 2019.

Mapa 12 – Linhas de costa comparativas no ano de 2008



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 13 – Linhas de costa comparativas no ano de 2019



Fonte: Elaboração própria.

Conforme se observa no trecho delimitado do Mapa 12, há uma variação significativa entre as linhas extraídas a partir dos índices e aquelas delimitadas por

interpretação visual para o ano de 2008. As imagens A e D trazem a delimitação visual com base na imagem RGB do *Landsat 5 TM* e da Ortofoto do IPECE, enquanto as imagens B e C dizem respeito aos índices MNDWI e NDWI, respectivamente.

Percebe-se que a variação entre as delimitações com base na interpretação é pequena, onde a maior diferença está concentrada no ponto de maior curvatura da enseada da praia (acima de 30 metros). Outros trechos possuem diferença inferior a 30 metros, fazendo com que esteja dentro de um erro que pode ser tolerado neste estudo, pois, uma vez que o trabalho visa analisar a tendência evolutiva do Promontório, as diferenças inferiores a 30 metros podem ser desconsideradas. Quando se analisa as diferenças entre as delimitações manuais e aquelas extraídas a partir dos índices, é notório que a variação supera os 150 metros, especificamente quando se compara o MNDWI com as delimitações visuais.

Neste caso, as respostas espectrais do sensor permitiram essa maior variação do índice, fazendo com que o limiar 0 (zero) estabelecido por Xu (2018) e Xu e Gong (2018) não seja o valor limite para a diferenciação entre corpos de água e áreas terrestres, seja devido às conclusões de Kelly e Gontz (2018) quanto à diferença entre marés, seja devido às próprias respostas espectrais das imagens para a área de estudo.

Ressalte-se ainda que essa comparação se refere apenas ao trecho delimitado. Em outros trechos os valores estão bem acima dos 150 metros verificados, conforme pode se observar nos Mapas 10 e 11 acima.

Para o trecho representado no Mapa 13, referente ao ano de 2019, percebe-se uma variação ainda maior das linhas de costas delimitadas pelos índices extraídos a partir da imagem do *Landsat 8 OLI*.

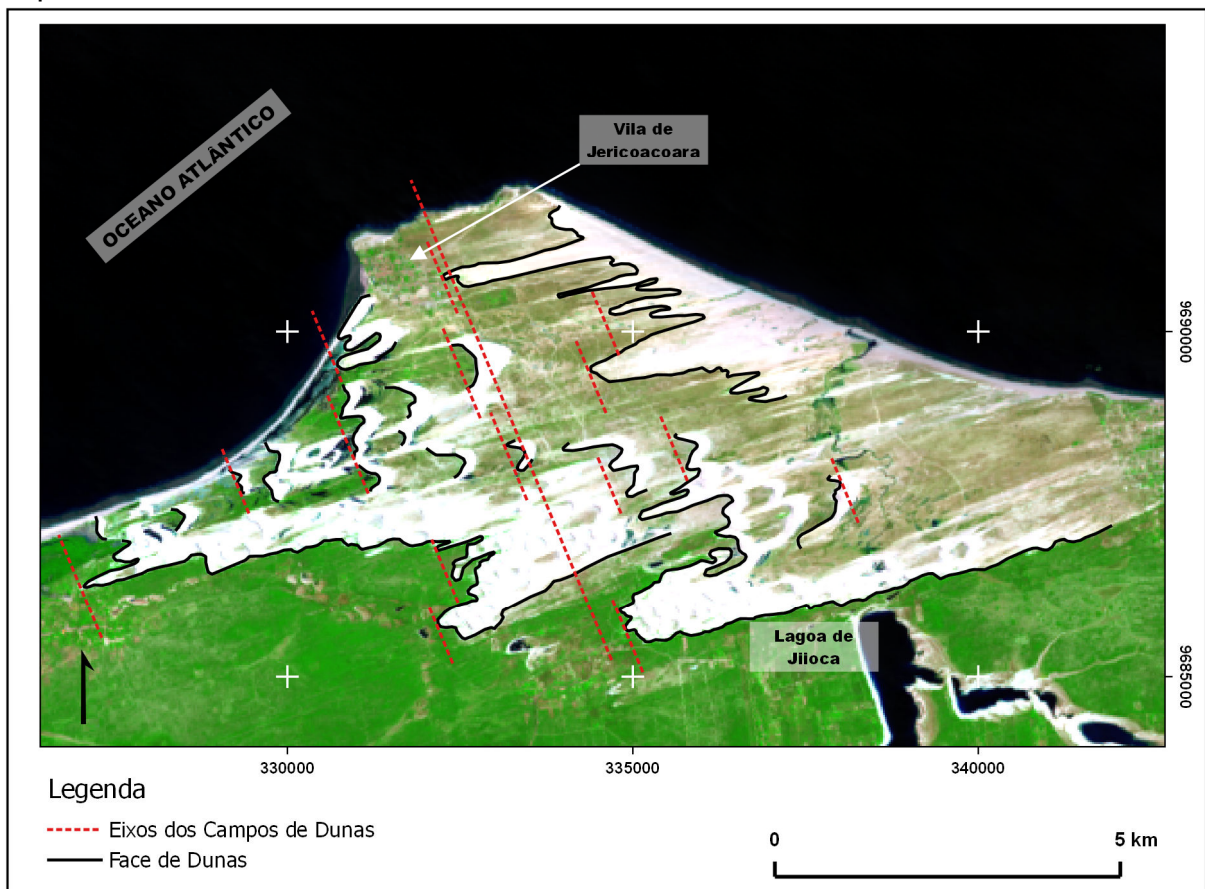
Portanto, dado a diferença entre as linhas mapeadas pela interpretação visual – mesmo que por imagens com resolução espacial de 15 e 30 metros – e aquelas extraídas a partir de índices amplamente analisados por trabalhos científicos no mundo, este trabalho optou pelo uso das primeiras.

### **3.3 Mapeamento dos Depósitos Eólicos Ativos**

Uma vez que este estudo busca caracterizar a evolução multitemporal dos depósitos eólicos ativos associados aos campos de dunas móveis e às planícies

de aspersão eólica – e tendo em vista a extensão e complexidade dessas feições constatada sobre o Promontório de Jericoacoara –, a identificação, delimitação e mapeamento tomou como base o método utilizado por Meireles e Raventos (2009), no qual usou como referência de análise apenas face de avalanche de cada célula, situada a sotavento do respectivo complexo (Mapa 14). Ou seja, partindo do eixo das células em sentido prioritário da migração eólica dos sedimentos, foi delimitada apenas a diferença da área de migração de cada agrupamento de células.

Mapa 14 – Referenciais para a delimitação do campo de dunas e da planície de aspersão eólica ativa no Promontório de Jericoacoara



Fonte: Elaboração própria.

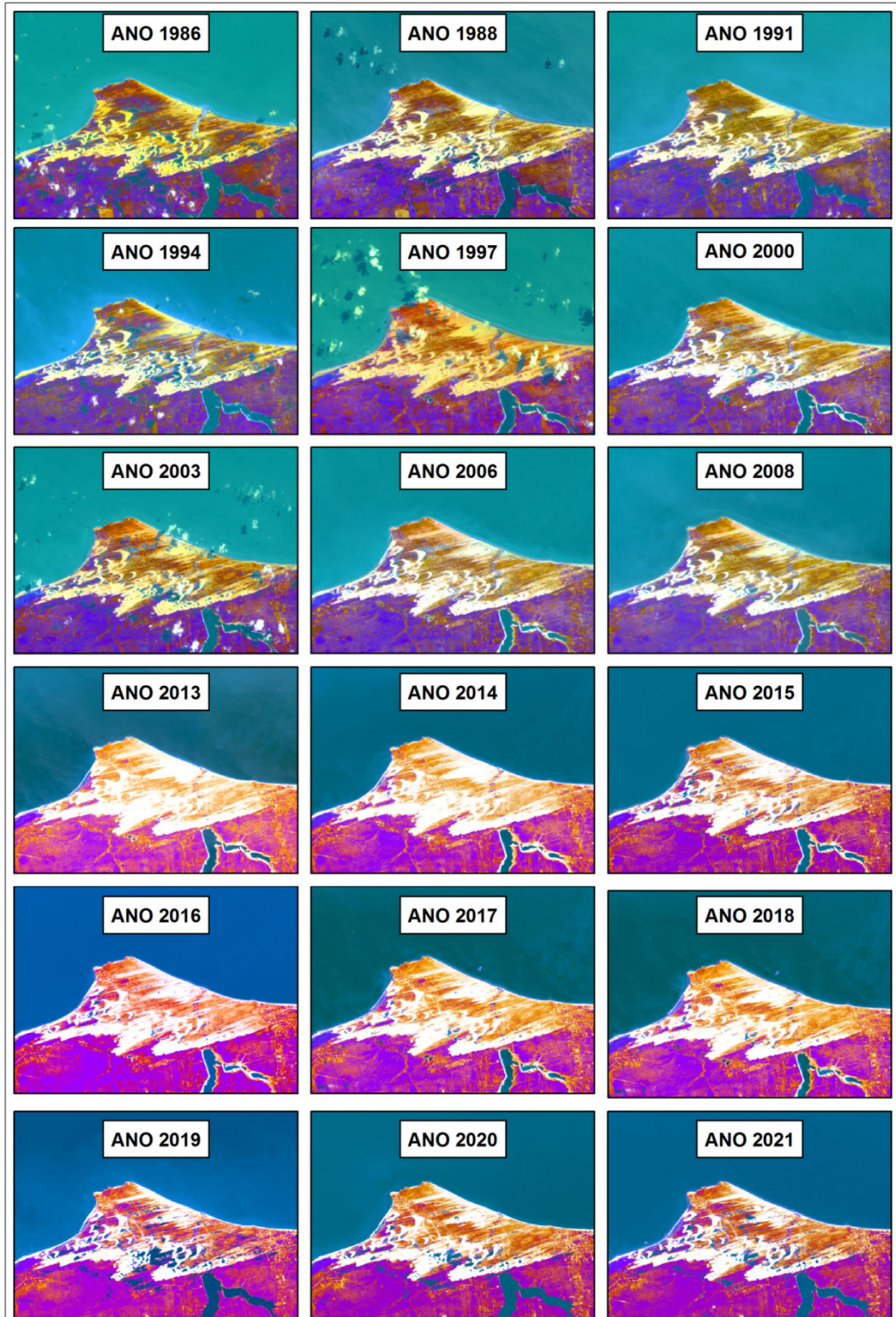
Para tanto, foi usado o processamento de imagens, utilizando o algoritmo do *software ER Mapper 7.0*, para a geração de imagens RGB através da Análise por Componentes Principais, pois a aplicação desse método resulta em combinações que destacam as características dos campos de dunas quanto ao realce dos sedimentos ativos em trânsito sobre o Promontório. Ou seja, inicialmente buscou-se delimitar as feições arenosas diretamente correlacionadas aos depósitos eólicos

litorâneos que atuam na dinâmica de transporte de sedimentos (*bypass* litorâneo) para depois associá-las efetivamente às unidades morfológicas relativas às dunas de 2ª e 3ª geração e à planície de aspensão eólica, calculando as áreas de avanço e as taxas de variação espaço-temporais.

Para as composições de imagens RGB do *Landsat 5 TM* e do *Landsat 8 OLI*, foram empregadas as bandas do visível (VIS), do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR).

O Mapa 15 traz as imagens geradas para cada ano devido ao período da análise deste estudo. Destaque-se o resultado na visualização e identificação dos depósitos eólicos ativos (campos de dunas e planície de aspensão ativa) que transitam sobre a planície litorânea em tons amarelo-claros.

Mapa 15 – Imagens RGB processadas a partir de Componentes Principais



Fonte: Elaboração própria.

Apesar da aplicação de um método automático (classificação de imagens) para a extração e delimitação dos depósitos eólicos ativos implicarem em um



montante maior de dados a serem tratados antes de submetê-los à análise da evolução espaço-temporal dessas feições, ele se apresentou como o melhor para o alcance dos objetivos deste trabalho, uma vez que melhor destaca as feições a serem mapeadas.

Com esse resultado, foram estabelecidos pares de intervalos para se delimitar as áreas de avanço das feições mapeadas após a execução da classificação supervisionada a partir da quantificação e da mensuração do movimento da planície de aspersão eólica ativa e dos campos de dunas móveis: anos de 1986 e 2000; 2000 e 2008; 2008 e 2013; e 2013 e 2021.

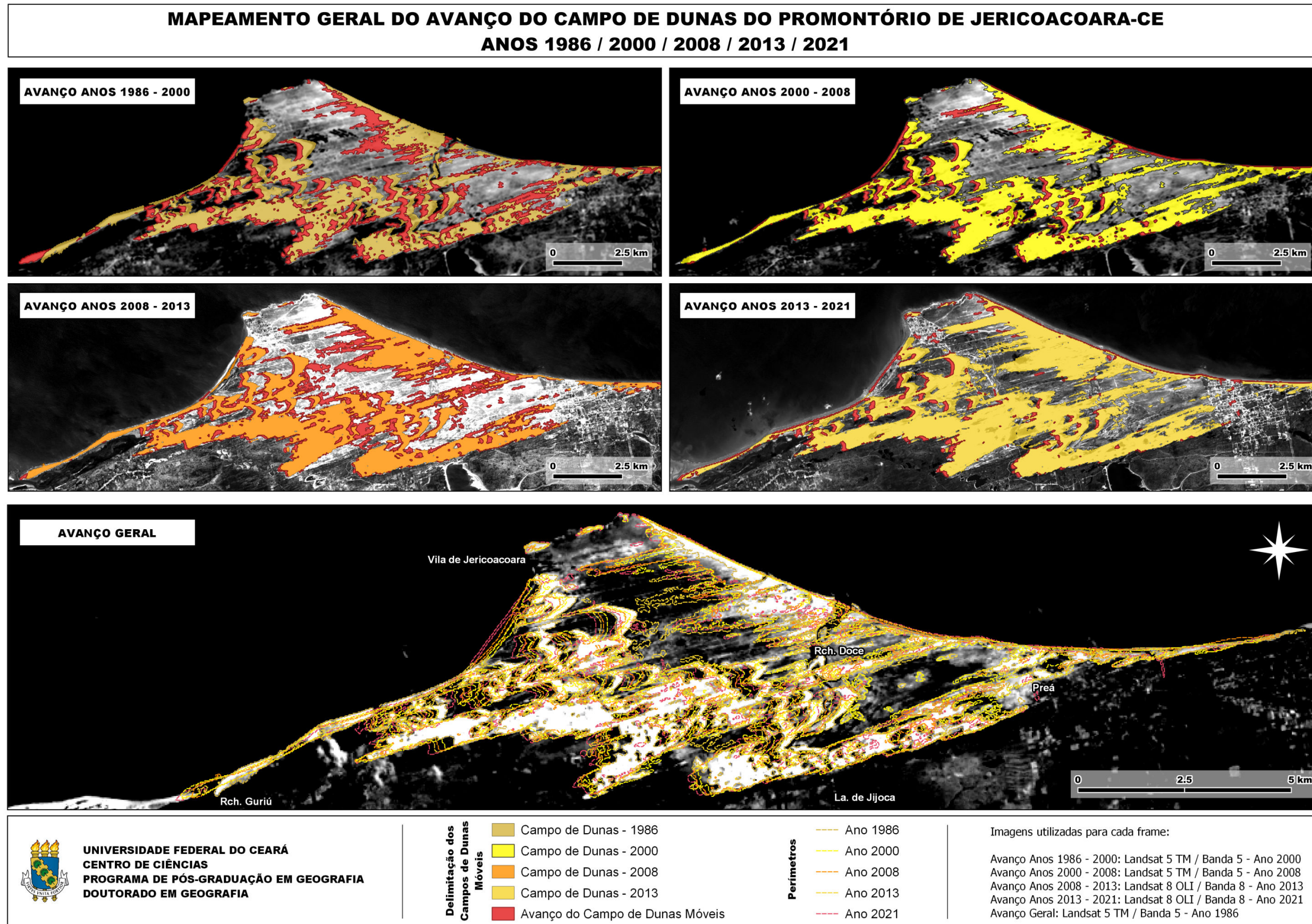
Os intervalos ora definidos se deve ao fato de serem imagens em que há menor incidência de cobertura de nuvens, facilitando assim o mapeamento das feições.

Para uma melhor visualização e identificação das feições, os agrupamentos de depósitos eólicos ativos foram divididos em três setores (A, B e C) e representados em mapas de detalhe.

Por fim, foi elaborado um mapa comparativo entre o primeiro e último ano do período (1986 e 2021) tanto da área de avanço quanto para se calcular as taxas médias de variação anual das feições sedimentares.

O mapeamento geral dos depósitos eólicos ativos no Promontório de Jericoacoara se encontra representado no Mapa 16.

Mapa 16 – Mapeamento geral do avanço do campo de dunas a partir das composições geradas pela ACP



Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 Modelagem da Dinâmica Costeira do Promontório

#### 3.4.1 DSAS

O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é uma extensão gratuita que funciona dentro do *software* ArcGIS, e é usada para calcular estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha de costa – que podem ser obtidos por diferentes meios. A partir do estabelecimento de uma linha de base a esses vetores (que podem ser *onshore* ou *offshore*), são geradas linhas transversais (denominadas transectos) e, com base nas informações espaciais e temporais coletadas a partir da intersecção entre os vetores costeiros, obtém-se dados que podem ser comparados e analisados por intermédio de procedimentos matemáticos e estatísticos, 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 *et al.*, 2021).

Cada método usado para calcular as taxas de mudança da linha costeira é baseado nas diferenças medidas entre as posições da linha costeira ao longo do tempo, medidas ao longo dos transectos, sendo expressas em metros por ano. Quando os cálculos de taxa selecionados pelo usuário são calculados, o DSAS gera uma nova classe de feição de taxa de transecção e uma classe de feição de intersecção de ponto.

Os cinco procedimentos estatísticos que a aplicação dispõe produzem dados numéricos sobre as variações absolutas, médias e estatísticas da linha de costa, e são identificados como: *i) Shoreline Change Envelope (SCE); ii) Net Shoreline Moviment (NSM); iii) End Point Rate (EPR); iv) Linear Regression Rate (LRR) e v) Weighted Linear Regression (WLR)*. O Quadro 4, a seguir, traz a síntese de cada um dos procedimentos executados pelo DSAS, discorrendo sobre suas principais vantagens e desvantagens de sua aplicação.

Quadro 4 – Síntese dos procedimentos estatísticos utilizados pelo *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*

Procedimento	Descrição	Vantagens	Desvantagens
<b>Shoreline Change Envelope (SCE)</b>	Calcula a distância entre a linha mais distante e a mais próxima da baseline.	Determina a variação máxima da linha de costa, permitindo se conhecer a instabilidade total do período de análise. Método de fácil aplicação e entendimento;	O cálculo é feito utilizando apenas duas linhas (especialmente extremas), mascarando possíveis eventos ocorridos na área de estudo. Ou seja, não permite identificar se a variação se refere à erosão ou deposição.
<b>Net Shoreline Movement (NSM)</b>	Calcula a distância entre a linha mais antiga e a mais recente.	Determina a instabilidade máxima durante o período analisado (temporalmente extremas), permitindo verificar a variação total em metros (positiva ou negativa) no período da análise; Método de fácil aplicação e entendimento.	O cálculo é feito utilizando apenas duas linhas, mascarando ciclos ou tendências erosivas e/ou deposicionais na área de estudo.
<b>End Point Rate (EPR)</b>	Calcula a média anual, durante o período analisado, a partir da distância entre a linha mais antiga e a recente;	Determina a variação anual média da linha de costa durante o período analisado; Pode servir como parâmetro para projeção de cenários; Método de fácil aplicação;	O cálculo é feito utilizando apenas duas linhas (temporalmente extremas), mascarando possíveis eventos ocorridos na área de estudo.
<b>Linear Regression Rate (LRR)</b>	Calcula a variação da linha de costa através da regressão linear, em função do espaço sobre o tempo;	O cálculo é feito utilizando todas as linhas de costa, melhorando a confiança do resultado. Permite visualizar regiões com tendências erosivas ou de acreção sedimentar; Pode servir como parâmetro para projeção de cenários; Método de fácil aplicação;	O cálculo não considera a incerteza acerca da posição da linha de costa (não quantifica os possíveis erros); Susceptível a desvios extremos; Tende a subestimar a taxa de variação em relação a outras estatísticas como o EPR.
<b>Weighted Linear Regression (WLR)</b>	Calcula a variação da linha de costa através da regressão linear ponderada, em função do espaço sobre o tempo;	O cálculo é feito utilizando todas as linhas de costa e contabiliza os possíveis erros; Dentre todos os métodos, é que apresenta maior confiabilidade nos resultados;	O cálculo é feito a partir de um número de variáveis; Maior tempo no processamento dos dados; 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.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Himmelstoss *et al.* (2021).

Cada um desses procedimentos produz informações com certo nível de precisão, conforme a qualidade dos dados de entrada. Porém, é o objetivo do trabalho e as características do conjunto de dados que se pretende aplicar que determinam a escolha dos métodos estatísticos de análise pelo usuário (OYEDOTUN, 2014).

Dadas as características dessa aplicação, que envolve a criação de uma linha de base adequada para a geração dos transectos para os cálculos das estatísticas necessárias à análise de movimentos lineares, o método DSAS pode ser aplicado para a análise de movimentos lineares diversos, como aqueles que se referem à evolução de campos de dunas móveis.

No que diz respeito à análise multitemporal costeira a partir do movimento linear das feições que se quer estudar, cabe registrar também que outros métodos foram desenvolvidos como alternativa ao DSAS. Desses, podem-se citar o *Analyzing Moving Boundaries Using R*, conhecido como AMBUR (JACKSON; ALEXANDER; BUSH, 2012), o *End Point Rate tool for QGIS – EPR4Q* (LIMA *et al.*, 2021) e o *Open*

*Digital Shoreline Analysis System* – ODSAS (GÓMEZ-PAZO *et al.*, 2022).

Esses métodos tomam como base o princípio de alguns dos procedimentos aplicados pelo DSAS, necessitando estabelecer linhas de base paralelas às linhas de costa para poder gerar transectos transversalmente. Com a intersecção destes, são extraídas as informações espaços-temporais necessárias para os respectivos cálculos estatísticos. A grande diferença – e talvez a principal vantagem – entre eles e o DSAS é o fato de serem aplicações de código-aberto e gratuitas<sup>22</sup>. Porém, a principal desvantagem desses métodos em relação ao DSAS se deve ao fato de serem aplicações complexas<sup>23</sup>, necessitando de conhecimentos básicos e, para alguns casos, avançados para o simples uso nos sistemas em que operam – como é o caso do AMBUR<sup>24</sup>. Devido a isto, essas aplicações tendem a restringir a acessibilidade para um público maior.

Dadas as necessidades do presente trabalho, utilizou-se para o cálculo da variação das linhas de costa o procedimento *Linear Regression Rate* (LRR). Já para quantificar o movimento dos depósitos eólicos ativos e campos de dunas, utilizou-se os procedimentos *Shoreline Change Envelope* (SCE) e *End Point Rate* (EPR) para quantificar as distâncias máximas dos anos inicial e final e a variação média percorrida por ano, respectivamente.

### 3.4.2 Mudança de Polígono

Como alternativa ao método de análise da linha de costa aplicado por ferramentas como o DSAS (HIMMELSTOSS *et al.*, 2021) e AMBUR (JACKSON; ALEXANDER; BUSH, 2012), Smith e Cromley (2012) propuseram o método da Mudança de Polígono, no qual busca determinar a diferença espacial total entre as posições de duas linhas, onde a mudança média a ser calculada é definida pela

---

<sup>22</sup> Apesar de ser uma extensão que pode ser obtida gratuitamente, é necessário ter acesso ao ArcGIS, que é um *software* proprietário.

<sup>23</sup> O EPR4Q necessita de conhecimentos avançados no QGIS, especialmente no manuseio do modelador gráfico, além de sua construção ser complexa, para o caso de o usuário não obter um arquivo modelo para adicionar ao modelador. Já o ODSAS v1.0 necessita de conhecimentos na operação da aplicação *open-source* SAGA GIS e no ambiente R a fim de delinear o fluxo de trabalho necessário para o cálculo da variação das linhas de costa.

<sup>24</sup> O AMBUR é baseado na linguagem R, que nada mais é do que um ambiente disponível gratuitamente para computação estatística e gráfica, que fornece uma variedade de técnicas como modelagem linear e não-linear, testes estatísticos, análises de séries temporais, classificação, agrupamento etc. Maiores informações do sistema R podem ser obtidas em <https://r-forge.r-project.org>. Acesso em: 21 abr. 2021.

razão da área de avanço (ou retração) dividida pelo comprimento da linha.

Alguns trabalhos podem ser citados como casos de aplicação e validação do método em questão para áreas costeiras. No caso da aplicação da análise multitemporal de linhas de costa, pode-se citar o trabalho de Conceição, Albuquerque e Espinoza (2020), que buscou caracterizar as modificações ocorridas na orla península da cidade do Rio Grande, sul do Brasil, entre os anos de 2004 a 2018.

Já Oliveira *et al.* (2019) utilizaram o método de Mudança de Polígono como ferramenta para analisar a regeneração de dunas frontais, enquanto Silva e Serpa (2015) visaram a análise da evolução do campo de dunas expostas. Ambos os trabalhos também foram realizados em regiões litorâneas na região Sul do Brasil.

Apesar dos trabalhos acima se constituírem em litorais com características ambientais diferentes da área do Promontório de Jericoacoara, o método de Mudança de Polígono possibilitou a extração de informações referentes ao deslocamento das referidas feições costeiras em análises multitemporais, apresentando-se como um método válido para os fins pretendidos por este estudo.

No que se refere à aplicação do método em áreas com características ambientais similares, pode-se citar Silva, Amaro e Matos (2015), que quantificam as mudanças planimétricas do campo de dunas do litoral norte do Rio Grande do Norte, inicialmente delimitando-as a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto, para então utilizar parâmetros simples de operação de intersecção e subtração para avaliar as mudanças de área, em um período de 24 anos de observação.

Já o trabalho de Moreira *et al.* (2020) buscou, por meio de análises comparativas, a determinação do método mais adequado para quantificar o comportamento de uma linha de costa no litoral do estado do Ceará. Para tanto, foram comparados os resultados obtidos pela execução do método da Mudança de Polígono com do DSAS, e apesar de ambas as proposições apresentarem valores de deslocamento do segmento costeiro muito próximos, indica-se o primeiro método como aquele que apresenta resultados mais robustos para a análise da variação da linha de costa.

No entanto, cabe ressaltar que todos os trabalhos citados tiveram como fim básico o fornecimento de subsídios e ferramentas estratégicas para os gestores públicos quanto ao planejamento de ações de mitigações relacionadas à dinâmica costeira, uma vez que muitos municípios costeiros do Ceará e do Brasil têm

apresentado problemas sérios ligados à erosão costeira nas últimas décadas.

No tocante à execução do método de Mudança de Polígono, embora este seja sensível à definição e medição do comprimento da linha de análise, os resultados são mais invariáveis a mudanças de parâmetros do que o método de transecção da linha de base, sugerindo que a técnica de Mudança de Polígono pode ser um método de mudança de costa mais robusto (SMITH; CROMLEY, 2012).

No caso do trabalho de Smith e Cromley (2012), toda a região de mudança entre dois limites é quantificada. Ou seja, todas as porções de ambos os limites são usadas no cálculo da área no método de Mudança de Polígono, sendo gerados polígonos a partir das extremidades de ambos os segmentos de linha vetorizados – e que compõem a área a ser analisada, criando assim uma nova topologia de polígono com base nessa unidade de área recém-criada. Portanto, faz-se necessário subtrair os polígonos formados pelas linhas correspondentes à imagem mais recente e à imagem mais antiga, gerando um polígono de diferença.

Calcular a área de mudança é simples, mas estimar o comprimento da linha de mudança a ser usado como denominador na estimativa da taxa de mudança é um pouco mais complexo, pois envolve determinar o comprimento de duas linhas. As abordagens propostas por Smith e Cromley (2012) envolve: a 1) divisão da área pelo comprimento médio das duas linhas, e 2) estimar um comprimento central para cada polígono a partir da aplicação de algoritmos especializados na determinação de eixos mediais.

No caso a ser aplicado para a análise do movimento do campo de dunas e da evolução dos sedimentos em trânsito na planície de aspersão ativa proposta por este trabalho, foi realizada uma adaptação do método de Smith e Cromley (2012), onde o polígono de diferença gerado pôde ser decomposto em uma série de polígonos simples, representando as áreas de mudança relativas ao avanço dos depósitos eólicos ativos.

Assim, uma vez que a tendência dessas feições costeiras é de um movimento único, conforme a direção dos ventos na região, essa mudança sempre tenderá a ser positiva. Ou seja, dificilmente será verificada uma célula dunar realizar o movimento inverso em seu processo migratório, diferentemente do que se produz na aplicação desse método na análise da variação da linha de costa.

Com base nos resultados obtidos na diferença entre polígonos aplicados para determinar a variação dos campos de dunas, e dado a complexidade em

segmentar os agrupamentos das feições dunares na área do Promontório de Jericoacoara, este trabalho optou por identificar, quantificar e mensurar as áreas de avanço a partir desse método.

Inicialmente, a aplicação da Mudança de Polígono se deu com a visualização do avanço geral no Promontório através da elaboração de mapas, e posteriormente pela análise de agrupamentos específicos da variação das dunas que afetaram diretamente a configuração da linha de costa do Promontório, especialmente no setor a sotamar deste.

Após a execução dessa etapa, e com a identificação das áreas de avanço delimitadas, buscou-se calcular as taxas de variação do movimento por ano com o DSAS para os anos temporalmente extremos: 1986 e 2021.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Movimento Geral da Linha de Costa

Após o mapeamento temporal das linhas de costa por meio do método de interpretação visual das imagens *Landsat 5* e *8*, foi possível executar os processamentos e cálculos das taxas de variação da linha de costa do Promontório de Jericoacoara no período de 1986 a 2021 (35 anos) com a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS).

O procedimento para a mensuração dos processos erosivos e progradação foi o LRR, e foram processados por meio de transectos espaçados a cada 50 metros e distribuídos em cinco setores da área de estudo, gerando um total de 555 transectos. No entanto, a fim de apresentar os resultados gerados para os procedimentos SCE e EPR, foi elaborado o Quadro 5 com as sínteses dos resultados referentes ao movimento geral da linha de costa estabelecida.

Quadro 5 – Síntese das distâncias (SCE) e taxas de variação (EPR) das linhas de costa do Promontório

<b>Shoreline Change Envelope (SCE)</b>	
<i>Distâncias médias gerais (m):</i>	
Total de transectos	555
Distância média:	108.35 m
Distância máxima:	1048.64 m
ID do transecto mais distante:	543
Distância mínima:	23.67 m
ID do transecto mais próximo:	105
<b>End Point Rate (EPR)</b>	
<i>Taxa média (m/a):</i>	
Total de transectos	555
Taxa média:	0.51 m/a
Transectos em erosão	302 (54.41%)
Transectos significativa em erosão	30.45%
Valor máximo (m/a)/ Id do transecto	-8.12/ 545
Média de todas as taxas erosivas	-1.25 m/a
Transectos em progradação	253 (45.59%)
Transectos em significativa progradação	15.86%
Valor máximo (m/a)/ Id do transecto	30.11/ 543
Média de todas as taxas progradativas	2.6 m/a

Fonte: Elaboração própria.

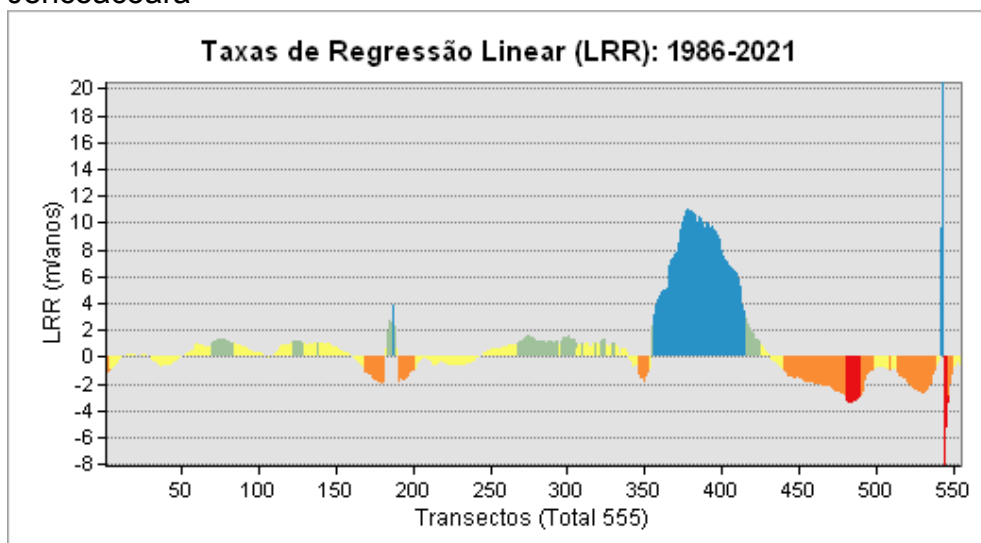
O procedimento LRR gerou um conjunto de dados por meio da taxa de variação anual para cada transecto, no qual foi possível relacionar a variação entre cada uma das linhas de costa inseridas, por meio de uma regressão linear simples. Dessa forma, os resultados mostraram a tendência do cenário evolutivo, mesmo com as linhas de costa identificadas, delimitadas e mapeadas a partir de imagens com média resolução espacial. O Quadro 6, a seguir traz a síntese dos resultados obtidos após o processamento dos dados através do procedimento LRR. Em seguida, o Gráfico 1 ilustra o resultado geral da variação das linhas de costa da área de estudo por meio do LRR.

Quadro 6 – Síntese das taxas LRR referente à evolução das linhas de costa do Promontório

<i>Linear Regression Rate (LRR)</i>	
<i>Taxa média (m/a):</i>	
Total de transectos	555
Taxa média:	0.7 m/a
Transectos em erosão	246 (44.32%)
Transectos significativa em erosão	32.79%
Valor máximo (m/a)/ Id do transecto	-8.13/ 544
Média de todas as taxas erosivas	-1.31 m/a
Transectos em progradação	309 (55.68%)
Transectos em significativa progradação	44.68%
Valor máximo (m/a)/ Id do transecto	20.48/ 543
Média de todas as taxas progradativas	2.3 m/a

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 1 – Taxas de regressão linear (LRR) no Promontório de Jericoacoara



Fonte: Elaboração própria.

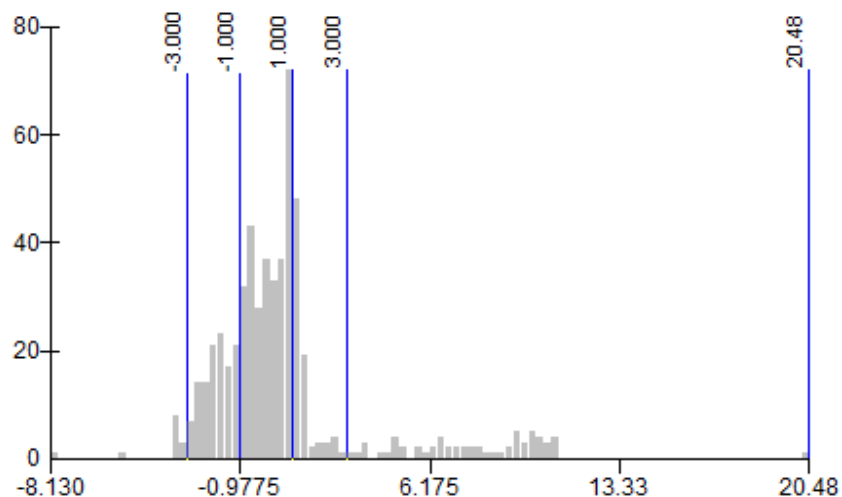
Conforme é possível observar no quadro acima, o procedimento LRR resultou em uma variação de 0,7 metros/ano para toda a linha de costa mapeada entre os anos de 1986 e 2021, apresentado a quantidade total de 246 transectos em erosão absoluta (ou seja, transectos com taxas negativas), ou 44,32% do total, com variação média total de -1,31 m/a. Já os transectos em progradação absoluta foram estabelecidos em um total de 309, correspondendo a 55,68% do total, com variação média total de 2,3 m/a.

O transecto identificado como aquele que apresentou maior taxa de erosão foi o n. 544, com variação negativa máxima de -8,13 metros/ano. Esse transecto compõe a barreira litorânea situada na margem esquerda do Riacho Guriú, no extremo oeste do Promontório de Jericoacoara.

Já o transecto com maior taxa de progradação está situado ao lado do descrito acima – portanto, compondo a barreira litorânea situada na margem esquerda do Riacho Guriú, e foi identificado com o n. 543, com variação positiva máxima de 20,48 metros/ano.

O Gráfico 2 abaixo traz a visualização dos valores de LRR calculados, em que se verifica uma distribuição das taxas de regressão linear mais concentrada entre as faixas de -2,0 a 2,0 metros/ano, e valores positivos e negativos extremos isolados: 20,48 e -8,13 metros/ano. Conforme se observa no gráfico, foram estabelecidos intervalos compostos por 5 classes, divididas da menor para a maior em: i) -8,13 a -3,00; ii) -2,99 a -1,00; iii) -0,99 a 1,00; iv) 1,01 a 3,00; v) 3,01 a 20,48.

Gráfico 2 – Distribuição de valores LRR da área de estudo



Fonte: Elaboração própria.

Com base nisso, este trabalho classificou os trechos em cinco classes dinâmicas principais a partir da delimitação dos eixos em azul do gráfico acima: i) extrema erosão, ii) tendência erosiva, iii) estabilidade, iv) tendência a progradação, e v) extrema progradação.

A Tabela 3 indica as taxas médias para cada setor, além de informações sobre quais transectos o compõem, extensão e classificação dinâmica estabelecida.

Tabela 3 – Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para cada trecho

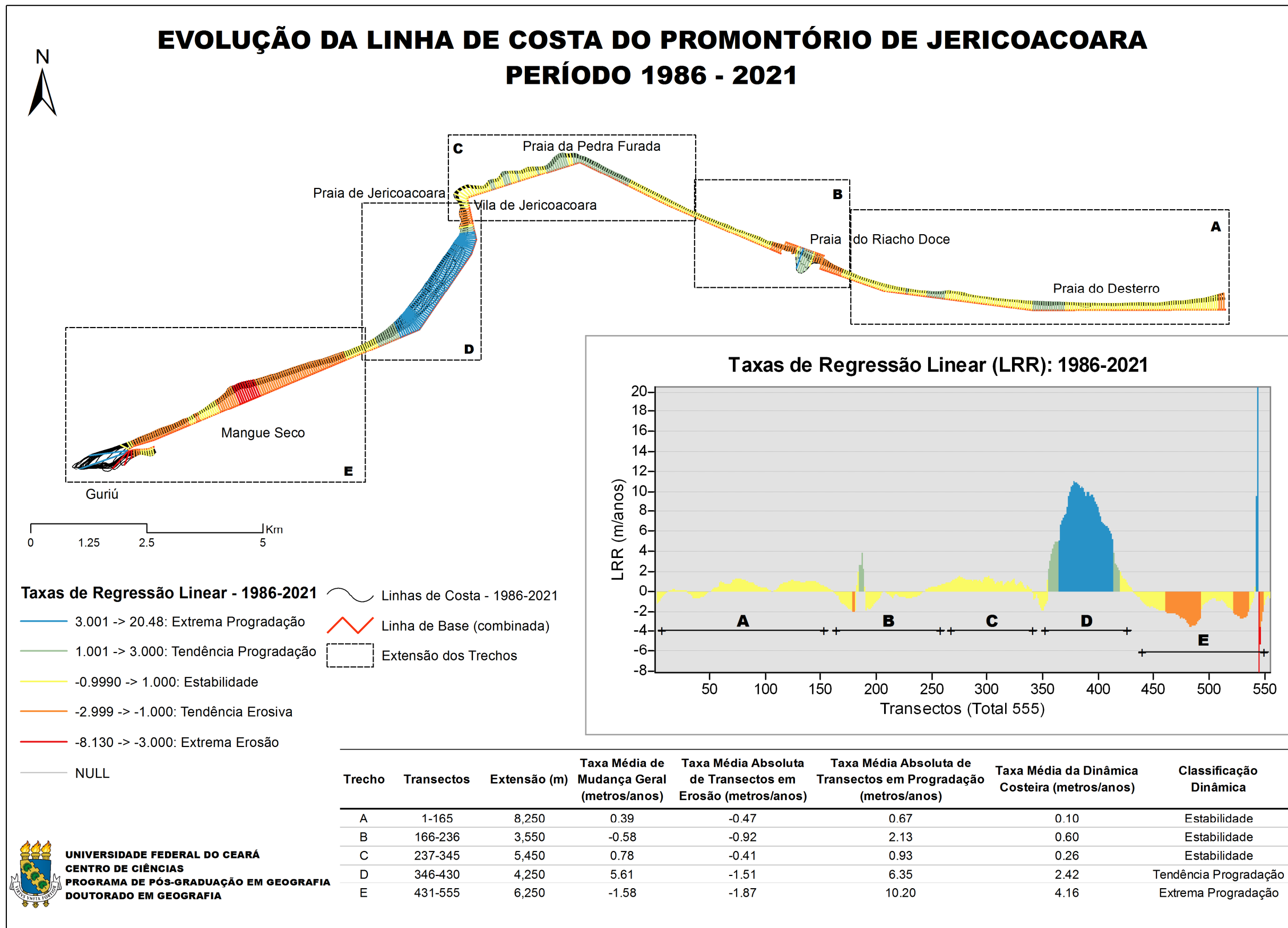
Trecho	Transectos	Extensão (m)	Taxa Média de Mudança Geral (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Erosão (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Progradação (metros/anos)	Taxa Média da Dinâmica Costeira (metros/anos)	Classificação Dinâmica
A	1-165	8,250	0.39	-0.47	0.67	0.10	Estabilidade
B	166-236	3,550	-0.58	-0.92	2.13	0.60	Estabilidade
C	237-345	5,450	0.78	-0.41	0.93	0.26	Estabilidade
D	346-430	4,250	5.61	-1.51	6.35	2.42	Tendência Progradação
E	431-555	6,250	-1.58	-1.87	10.20	4.16	Extrema Progradação

Fonte: Elaboração própria.

A taxa média de mudança geral (metros/anos) diz respeito à média calculada para os valores de cada agrupamento de transectos que compõem os setores (trecho). A coluna taxa média absoluta de transectos em erosão (metros/anos) traz a média calculada apenas para os valores negativos absolutos de cada transecto, enquanto a coluna seguinte, que traz a média dos transectos em progradação, diz respeito à média calculada apenas para os valores positivos absolutos. A coluna taxa média da dinâmica costeira (m/a) é a média entre os transectos em erosão e progradação, na qual se estabeleceu a classificação dinâmica de cada setor (trecho), sendo verificados três setores em estabilidade (setores A, B e C), um em tendência a progradação (setor D) e um em extrema progradação (setor E).

Por fim, o Mapa 17, a seguir, traz o resultado geral do processamento das taxas de regressão linear do Promontório de Jericoacoara para o período estabelecido. Nesse produto também constam o Gráfico 1 com a identificação dos setores e a Tabela 3 descrita acima. A análise setorizada será apresentada e discutida nas seções seguintes.

Mapa 17 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1 Movimento Setorizado da Linha de Costa Setor A

O Setor A está situado no extremo leste da área de estudo, com uma extensão linear aproximada de 8,2 quilômetros, estendendo-se desde o distrito de Preá, no município de Cruz, até as proximidades da praia do Riacho Doce. Juntamente com os setores B e C, eles compõem a região a barlar do Promontório, sendo, portanto, a área de entrada dos sedimentos que transpassam essa estrutura costeira.

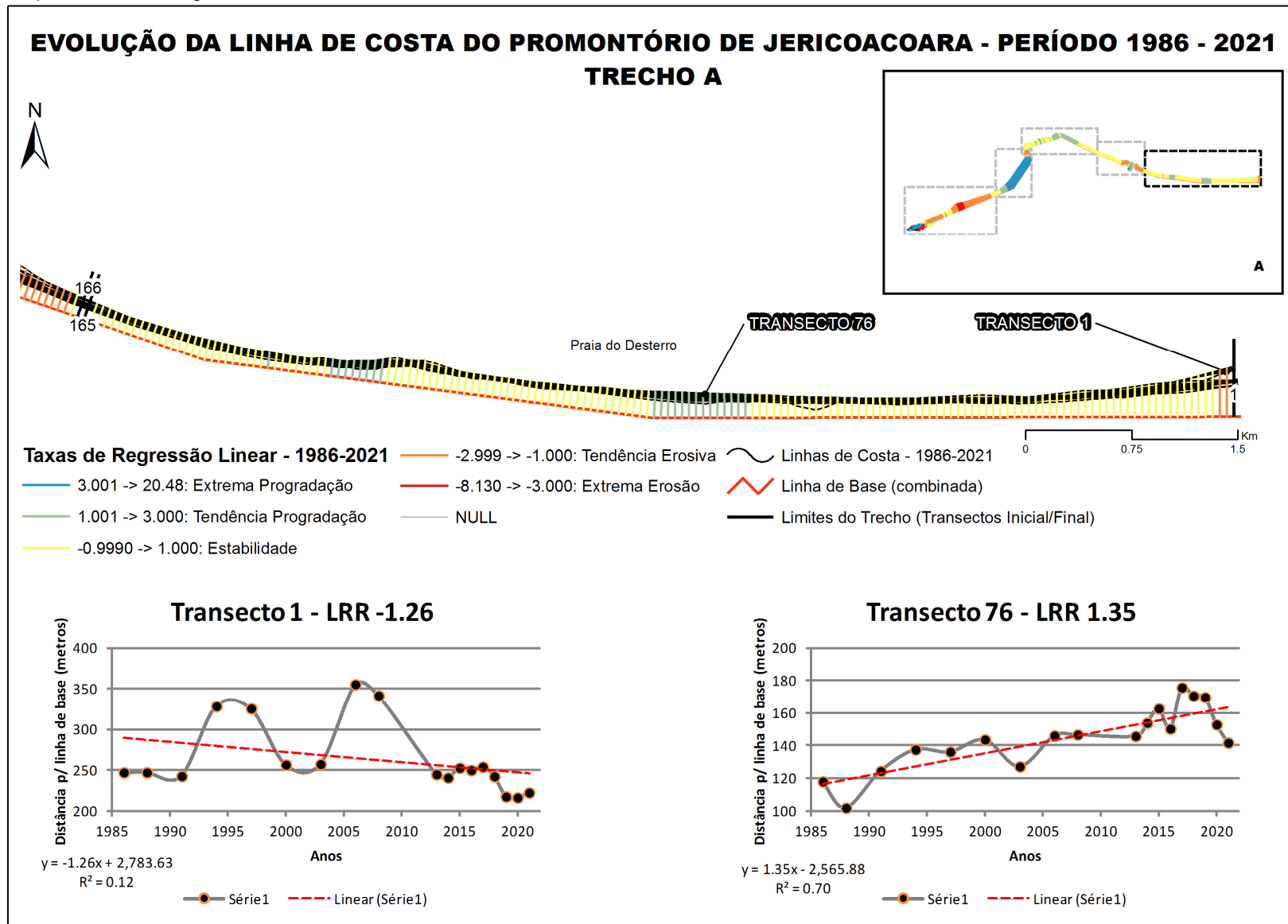
É composto por 165 transectos, e possui taxa média de dinâmica costeira de 0,10 metros por ano, o que o caracteriza com uma dinâmica estável. O Mapa 18 situado na próxima página traz em detalhe a espacialização das linhas de costas históricas, da linha de base estabelecida e dos transectos delimitados para o processamento LRR do Setor A.

Conforme é possível observar, foram elaborados gráficos de dispersão para dois transectos com valores de LRR extremos a fim de entender as tendências de variação da costa em cada período histórico. O transecto 1 foi o que apresentou o maior valor negativo, e o transecto 76 aquele com maior valor positivo.

O valor de  $R^2$  (ou coeficiente de determinação) indicado em cada gráfico é a porcentagem de variância nos dados explicada por uma regressão, e representa o quanto o modelo explica a amostra para cada transecto. Esses valores variam de 0 a 1, em que quanto mais o modelo estiver próximo a 1, melhor ele se ajusta à amostra. Ou seja, esse coeficiente reflete a relação linear entre pontos da linha de costa ao longo de cada transecto. Quando o  $R^2$  estiver próximo ao 0, a linha de costa exprime intensa oscilação entre erosão e progradação ao longo do período, e quando próximo ao 1 a linha de costa segue uma tendência erosiva ou progradacional bem definida. (SOUZA, 2016; HIMMELSTOSS *et al.*, 2021).

Portanto, para os transectos selecionados no Setor A, observa-se que o n. 1 tem  $R^2$  igual a 0,12, possuindo maior oscilação entre os anos de 1991 e 2013. Já para o transecto n. 76, o  $R^2$  é igual a 0,70, fazendo com que este tenha uma tendência progradacional.

Mapa 18 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor A



Fonte: Elaboração própria.

## Setor B

Situado na área central da região a barlamar do Promontório, é o trecho em que está situada a praia do Riacho Doce, ou seja, é onde está localizado o exutório do Riacho Doce. De todos os setores delimitados, é o que possui menor extensão – aproximadamente 3,5 quilômetros (no qual dispõe de 71 transectos), e entre aqueles classificados como “estáveis”, é o que possui mais variação da dinâmica costeira: 0,60 metros por ano.

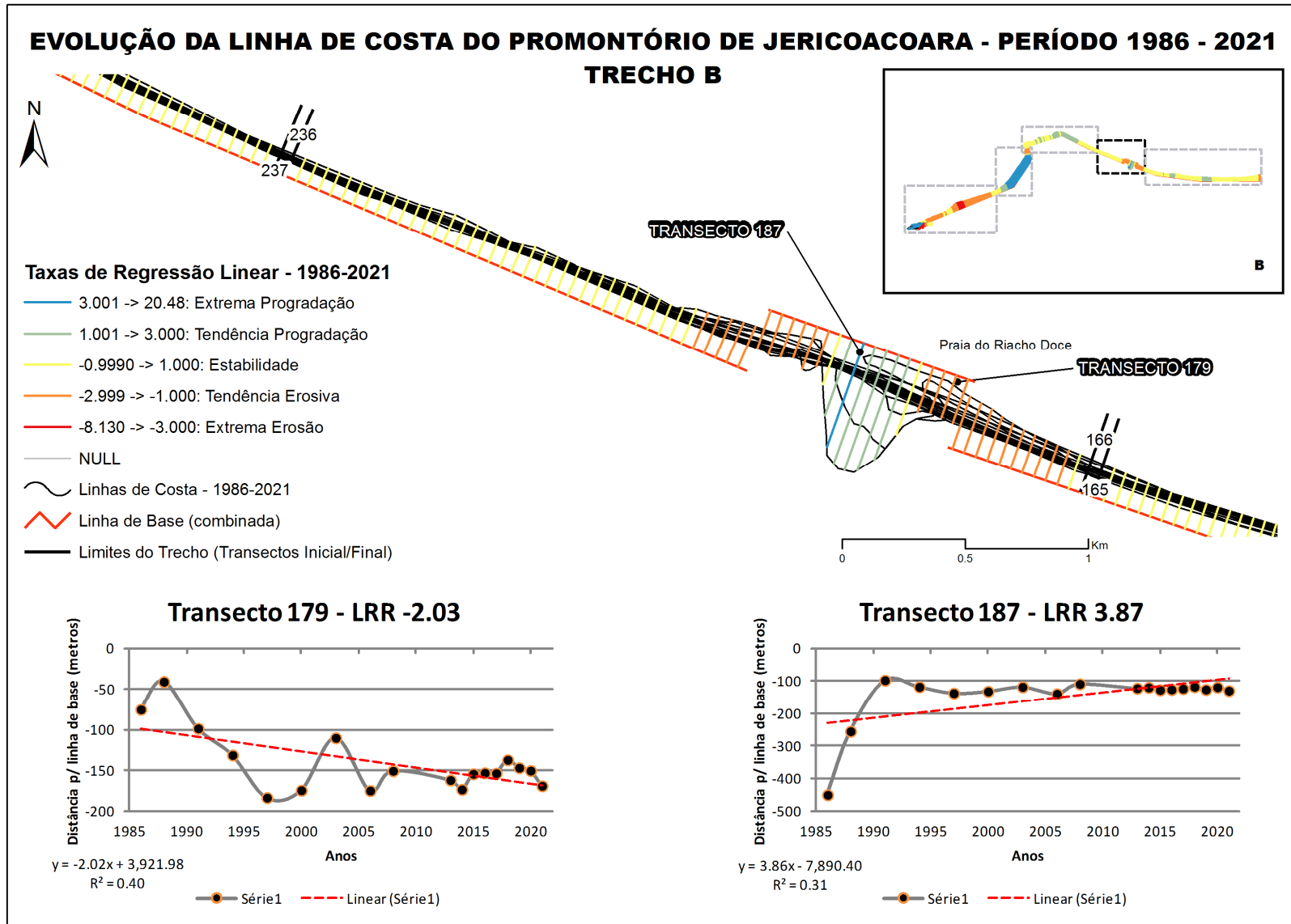
Isso se deve basicamente à variação da linha de costa devida à dinâmica do exutório do Riacho Doce, que no início do período do estudo apresentou uma maior variação espacial. Aliás, também foi constatado que o próprio Riacho Doce apresentou uma intensa dinâmica no período devido à mobilidade do campo de dunas no transpasse sobre o Promontório, fato que será oportunamente abordado mais adiante. O Mapa 19 traz em detalhe a espacialização do Setor B, bem como identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento LRR e os apresenta em gráficos de dispersão.

Os transectos com valores de LRR mais extremos identificados no Setor B foram o n. 179 (LRR igual a -2,03 m/a) e o n. 187 (LRR igual a 3,87 m/a). Observa-se que ambos estão situados na área de influência do exutório do Riacho Doce e, conforme já indicado acima, há uma grande variação espacial no início do período estabelecido para o estudo, devido principalmente à dinâmica apresentada pelo fluxo hídrico do riacho à época.

Para confirmar a variação espacial ao longo dos anos, ambos os valores de  $R^2$  estão abaixo dos 50%, sendo 0,4 para o transecto n. 179 (maior variação espacial verificada entre os anos de 1986 e 2006) e 0,31 para o transecto n. 187 (1986 e 1991). Apesar do intervalo temporal ser menor neste, há uma maior diferença espacial no período – aproximadamente 500 metros.



Mapa 19 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor B



Fonte: Elaboração própria.

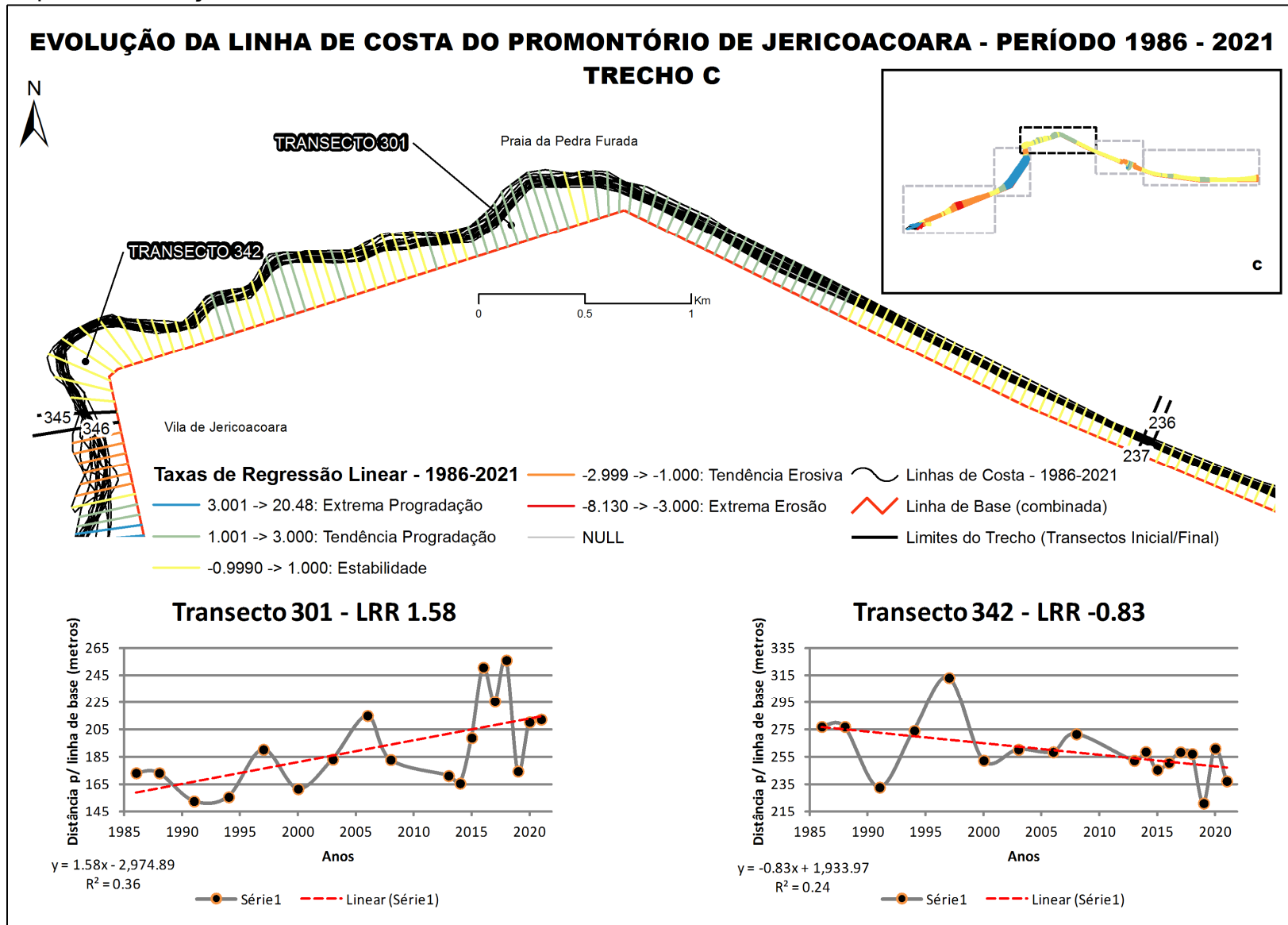
## Setor C

O Setor C está situado na área central do Promontório de Jericoacoara, e foi um dos trechos cuja identificação e delimitação das linhas de costa foi a mais complicada, uma vez que o trecho apresenta praias eminentemente rochosas. Ou seja, é exatamente nessa área que se encontra o ápice do Promontório, onde o Serrote de Jericoacoara se expõe para o oceano, e a interpretação visual da linha de costa pela diferenciação de áreas úmidas e secas é dificultada pela tonalidade das rochas. Possui extensão de aproximadamente 5,4 quilômetros (dispondo de 109 transectos), e também está classificado como “dinâmica estável”, com uma taxa média de 0,26 metros por ano.

O Mapa 20 traz em detalhe a espacialização do Setor C, e assim como as demais, também identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento LRR e apresenta os valores das linhas de costa em gráficos de dispersão. No caso dos transectos com valores de LRR mais extremos, estes foram o n. 301 (LRR igual a 1,58 m/a) e o n. 342 (LRR igual a -0,83 m/a).

No que diz respeito aos valores de  $R^2$ , estão abaixo dos 40%, sendo 0,36 para o transecto n. 301 e 0,24 para o transecto n. 342. Isso confirma a dificuldade supracitada quanto à delimitação das linhas de costa. Porém, esse fator não compromete os resultados obtidos na apresentação da tendência dinâmica do trecho, visto que o mesmo está classificado como estável.

Mapa 20 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor C



Fonte: Elaboração própria.

## Setor D

O Setor D é o primeiro situado a sotamar do Promontório de Jericoacoara, e é um dos que apresentaram uma dinâmica costeira mais intensa. Na classificação estabelecida por este trabalho, foi determinado como “tendência a progradação”, com uma taxa média de 2,42 metros por ano. Possui extensão de aproximadamente 4,2 quilômetros (dispondo de 85 transectos).

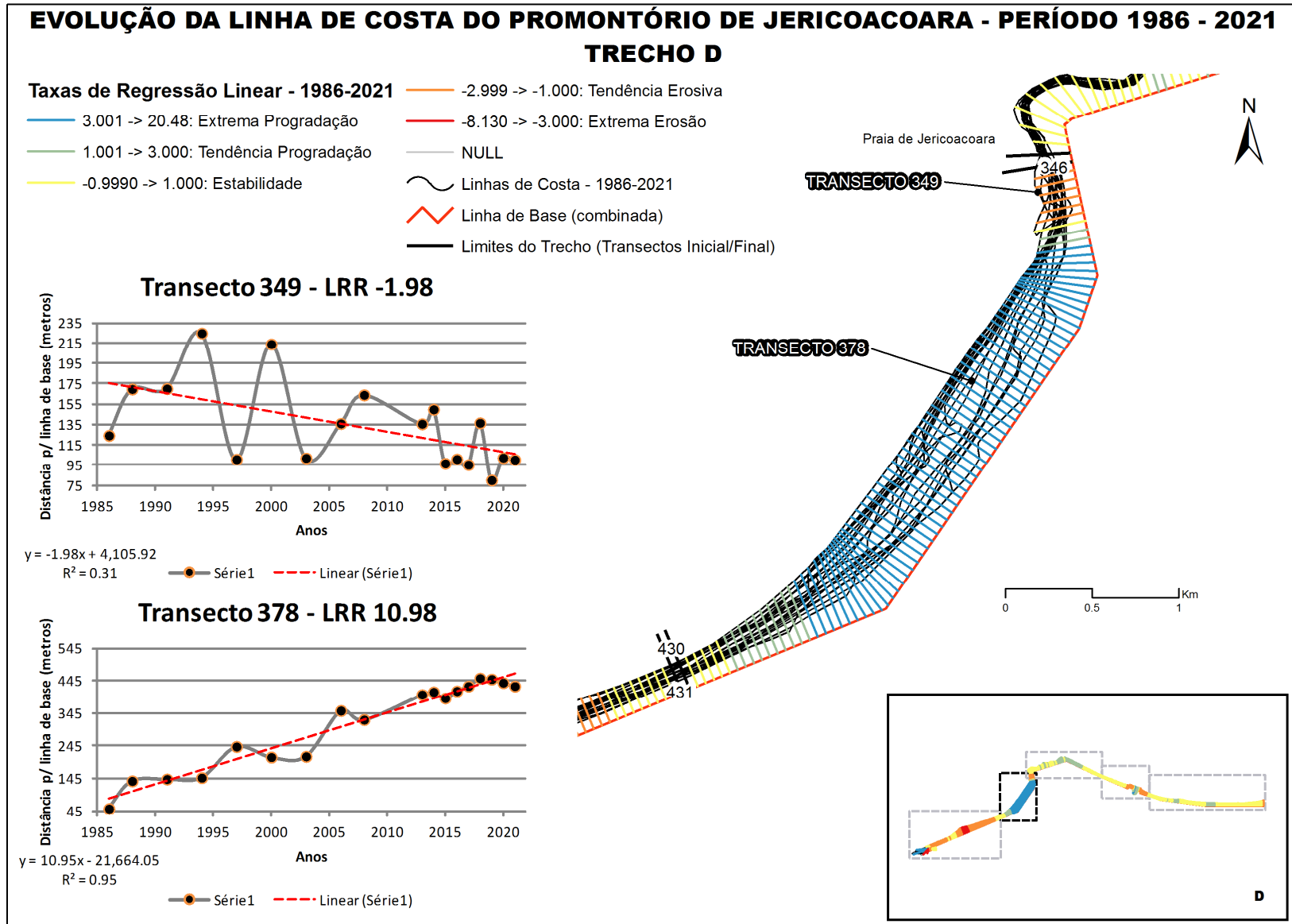
A classificação desse trecho pode ser associada ao movimento dos campos de dunas, onde se verificou pelas imagens o contato direto destes com a linha de costa, implicando assim na retroalimentação das praias adjacentes.

O Mapa 21 traz em detalhe a espacialização do Setor D, e também identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento LRR e apresenta os valores das linhas de costa em gráficos de dispersão. No caso dos transectos com valores de LRR mais extremos, estes foram o n. 349 (LRR igual a -1,98 m/a) e o n. 378 (LRR igual a 10,98 m/a).

Cabe destacar que o transecto n. 349 está situado próximo à enseada da Praia da Vila, e conforme indica o valor de  $R^2$  (igual a 0,31), expressando assim uma intensa variação entre erosão e progradação. Isso pode ser associado a dois fatores de extrema relevância na dinâmica local: 1) a disposição dos sedimentos oriundos da deriva litorânea na área próxima à enseada; 2) o processo de ocupação da vila. Como vem sendo constatado nos últimos anos, sempre no período chuvoso, a rua principal da vila se torna o principal vetor de escoamento das águas pluviais, as quais são desaguadas exatamente próximas ao transecto n. 349.

No que diz respeito ao valor de  $R^2$  para o transecto n. 378 (igual a 0,95), este mostra a tendência a progradação daquele ponto do litoral. Na verdade, como se vê no Mapa 21, essa tendência se prolonga aos transectos próximos. Como falado anteriormente, esse trecho se caracteriza principalmente pelo contato dos campos de dunas com a linha de costa. E assim como no transecto anterior, podemos associar essa tendência a dois fatores: o natural e o antrópico. Obviamente, o natural diz respeito à mobilidade dos campos de dunas pela ação eólica. No caso do fator antrópico, este se relaciona ao intenso movimento humano sobre as dunas, principalmente naquela popularmente conhecida como Duna do Pôr do Sol. Quando desse movimento, uma maior quantidade de sedimentos é mobilizada, principalmente quando ocorre na face de avalanche da duna.

Mapa 21 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor D



Fonte: Elaboração própria.

## Setor E

Por fim, o Setor E é o trecho situado no extremo oeste do Promontório de Jericoacoara, no qual possui extensão de aproximadamente 6,2 quilômetros (dispondo de 125 transectos), e assim como o Setor D, apresenta uma intensa dinâmica costeira. Com base na classificação aplicada por este trabalho, ele está definido como um setor de “extrema progradação”, com uma taxa média de 4,16 metros por ano (a maior taxa dos setores).

O Mapa 22 traz em detalhe a espacialização do Setor E, e seguindo a mesma metodologia de apresentação dos setores anteriores, identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento LRR e apresenta os valores das linhas de costa em gráficos de dispersão. No caso dos transectos com valores de LRR mais extremos, estes foram o n. 543 (LRR igual a 20,48 m/a) e o n. 544 (LRR igual a -8,13 m/a), e os valores de  $R^2$  são iguais a 0,65 e 0,52, respectivamente.

Porém, ao se analisar o trecho mais detalhadamente, percebe-se que a classificação definida acima para o setor se dá por conta de uma extrema variação espacial de uma feição presente na região, no caso a flecha arenosa situada próxima à desembocadura do Riacho Guriú, limite dos municípios de Jijoca de Jericoacoara e Camocim. Isso pode ser constatado pelo fato de os próprios transectos de valores mais extremos serem contínuos e comporem exatamente aquela feição geomorfológica.

Conforme é possível ver no Mapa 22, que trata do Setor E, os demais transectos possuem valores que tendem da estabilidade à tendência de erodibilidade da costa no Setor E. Devido a esta particularidade, será feita uma análise mais detalhada do trecho, separando os transectos que compõem a flecha arenosa. Ou seja, serão analisados os transectos do 431 ao 541 (total de 111 transectos), e em seguida os transectos do 542 ao 555 (14 transectos) que compõem a flecha.

Com base nisso, a Tabela 4 discrimina as taxas médias para o setor E-1, além da classificação dinâmica com base nesse detalhamento da área. Em seguida é apresentado o Mapa 23 que indica a espacialização dos transectos que compõem o referido setor.

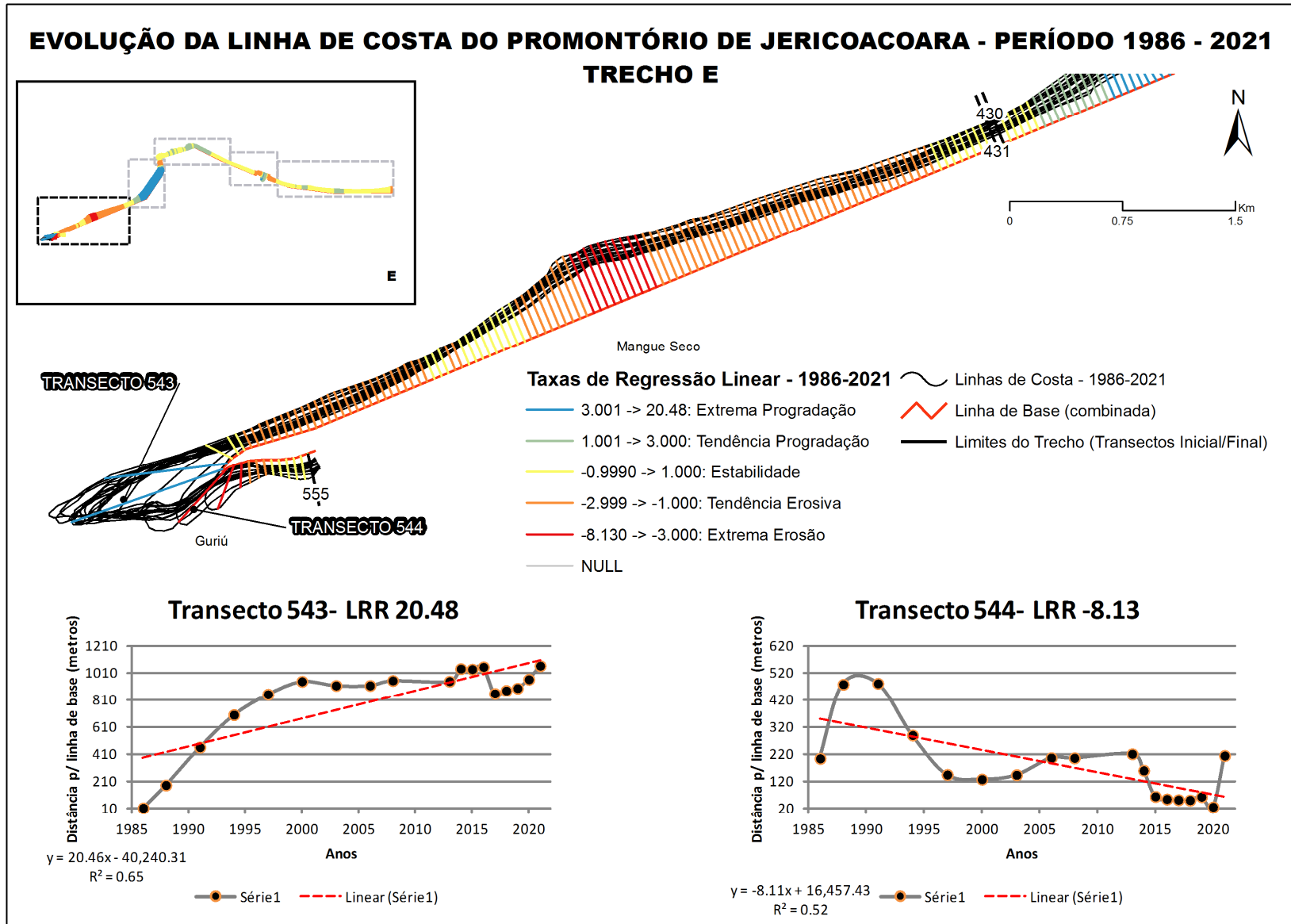
Tabela 4 – Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para o trecho

## E-1

Trecho	Transectos	Extensão (m)	Taxa Média de Mudança Geral (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Erosão (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Progradação (metros/anos)	Taxa Média da Dinâmica Costeira (metros/anos)	Classificação Dinâmica
E-1	431-541	5,550	-1.81	-1.83	0.54	-0.64	Estabilidade

Fonte: Elaboração própria.

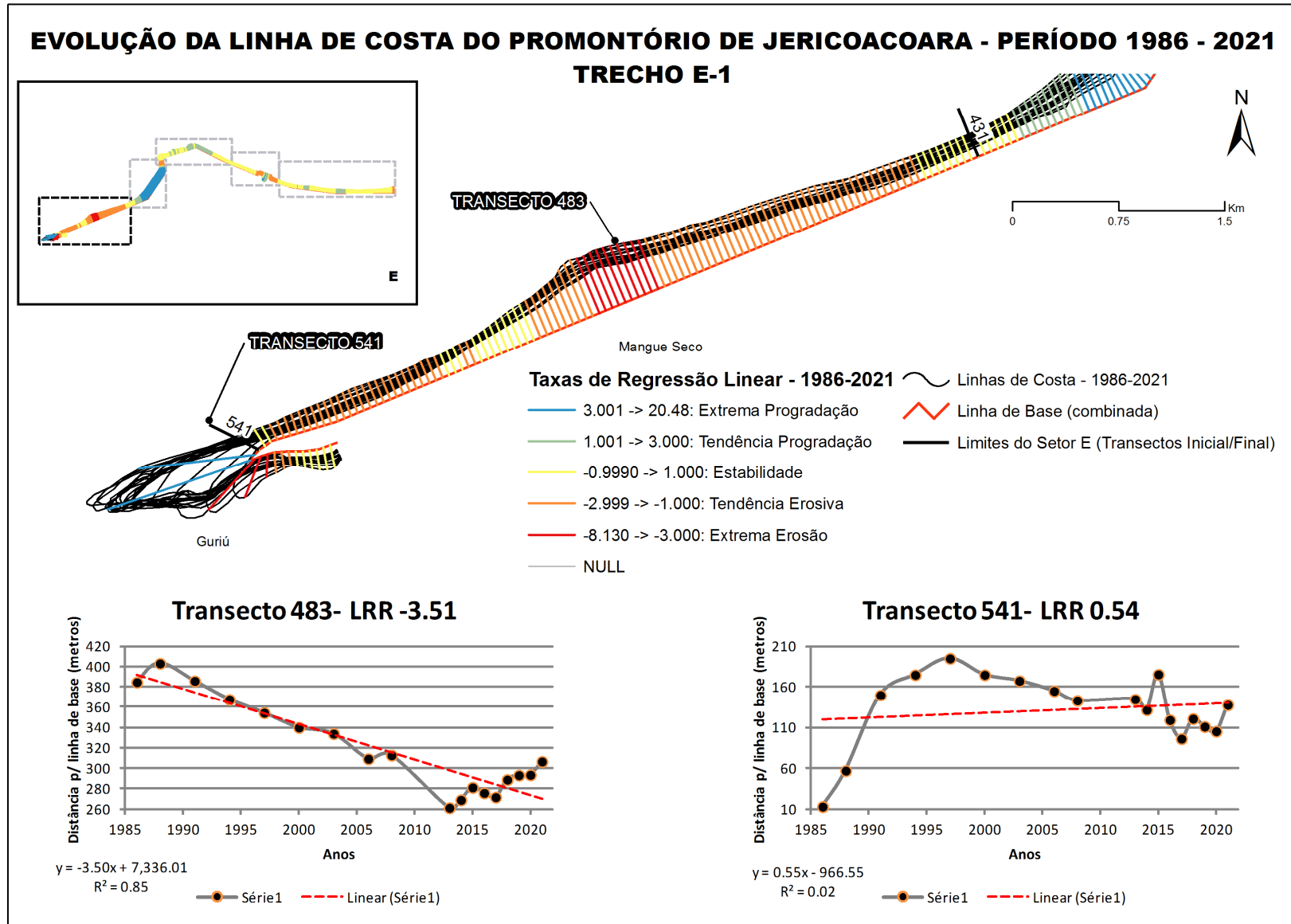
Mapa 22 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E



Fonte: Elaboração própria.



Mapa 23 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E-1



Fonte: Elaboração própria.

Como se depreende nesse detalhamento do Setor E-1, que possui extensão de aproximadamente 5,5 quilômetros, sua nova classificação está definida como “estável”, com uma taxa média de -0,64 metros por ano.

Seguindo a mesma metodologia de apresentação dos setores anteriores, na qual identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento, o transecto n. 483 possui valor LRR igual a -3,51 m/a, e o transecto n. 541 possui LRR igual a 0,54 m/a, e os valores de  $R^2$  são iguais a 0,85 e 0,02, respectivamente. Portanto, os transectos ora detalhados possuem características dinâmicas diferentes ao longo dos anos, sendo o de valor negativo apresentando maior tendência à erodibilidade, e o de valor positivo apresentando uma intensa oscilação entre progradação e erosão ao longo do período analisado.

Diante do exposto, entende-se que os sedimentos que alargaram a linha de costa no trecho anterior (Setor D) não contribuíram para ocasionar o mesmo efeito no setor imediatamente posterior. Apesar de no computo geral do Setor E-1 indicar uma dinâmica estável, vê-se que uma tendência à erosão bem intensa no transecto n. 483.

Quanto ao Setor E-2, que compõe a flecha litorânea à margem direita do Riacho Guriú, o Mapa 24 traz a espacialização dos transectos que o compõem. Antes, porém, apresenta-se a Tabela 5 contendo a classificação dinâmica com base nesse detalhamento da área.

Tabela 5 – Setores, extensão, taxas médias e classificação dinâmica para o trecho E-2

Trecho	Transectos	Extensão (m)	Taxa Média de Mudança Geral (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Erosão (metros/anos)	Taxa Média Absoluta de Transectos em Progradação (metros/anos)	Taxa Média da Dinâmica Costeira (metros/anos)	Classificação Dinâmica
E-2	542-555	700	0.21	-2.26	15.03	6.38	Extrema Progradação

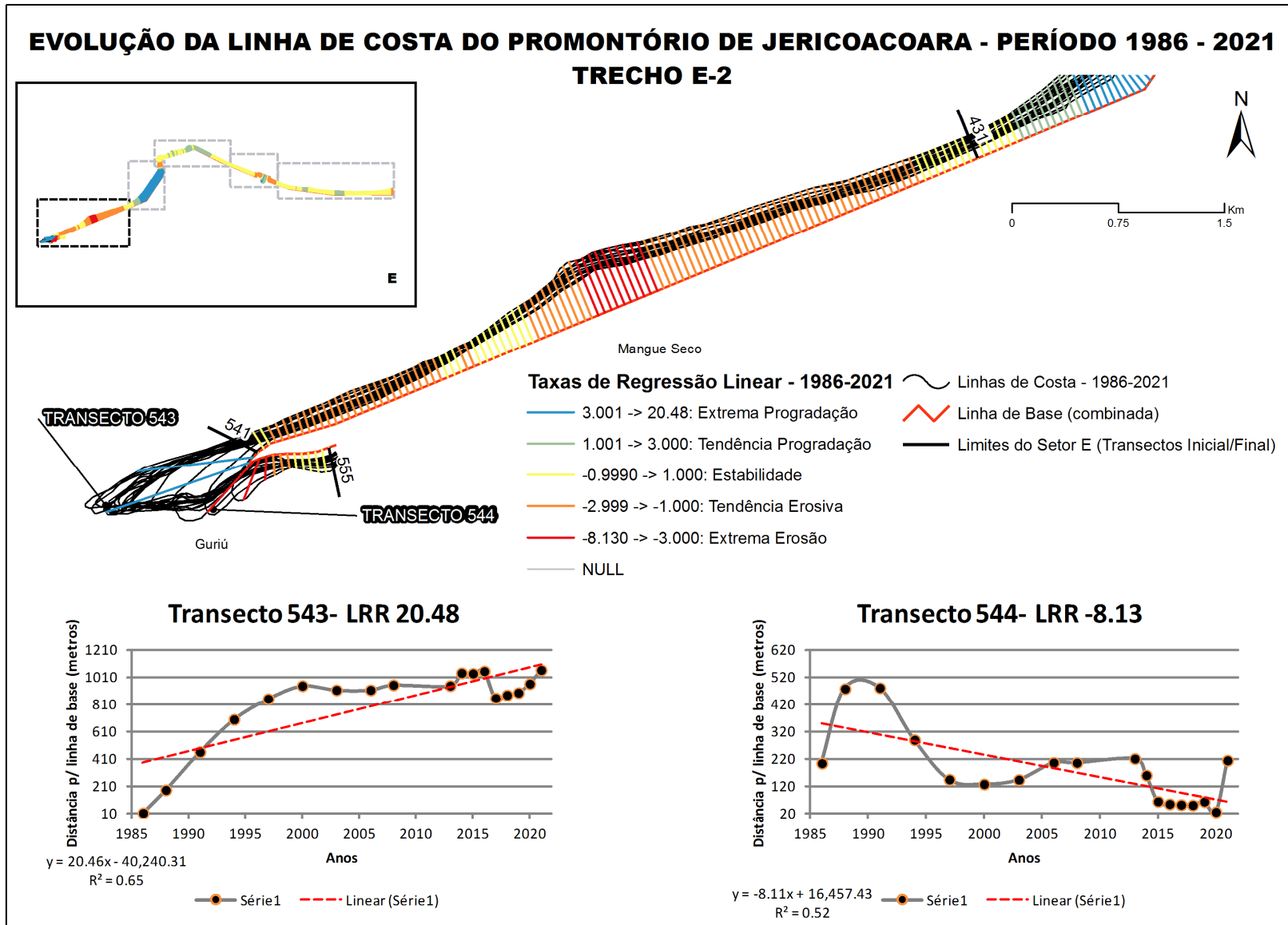
Fonte: Elaboração própria.

O detalhamento do Setor E-2, com extensão de aproximadamente 700 metros, indica a classificação dinâmica como “extrema progradação”, com uma taxa média de 6,38 metros por ano.

Seguindo a mesma metodologia de apresentação dos setores anteriores, na qual identifica os transectos mais extremos delimitados após o processamento, o transecto n. 543 possui valor LRR igual a 20,48 m/a, e o transecto n. 544 possui LRR igual a -8,13 m/a, e os valores de  $R^2$  são iguais a 0,65 e 0,52, respectivamente.

Sendo assim, os transectos ora detalhados possuem características dinâmicas semelhantes ao longo dos anos, ambos apresentando uma intensa oscilação entre progradação e erosão ao longo do período analisado.

Mapa 24 – Evolução da linha de costa do Promontório de Jericoacoara – Setor E-2



Fonte: Elaboração própria.

## 4.2 Movimento Geral dos Depósitos Eólicos Ativos

Após o mapeamento temporal dos depósitos eólicos ativos, através da classificação supervisionada das composições coloridas da ACP, foi possível identificar as unidades geoambientais campos de dunas móveis e planície de aspersão ativa, delimitá-las e calcular as áreas de avanço.

Para tanto, essa análise estabeleceu recortes temporais do período estabelecido para este estudo para melhor inferir sobre a evolução do *bypass* litorâneo no Promontório de Jericoacoara (anos 1986 e 2000; anos 2000 e 2008; anos 2008 e 2013; anos 2013 e 2021), além de recortes espaciais para se analisar detalhadamente certos agrupamentos de depósitos eólicos.

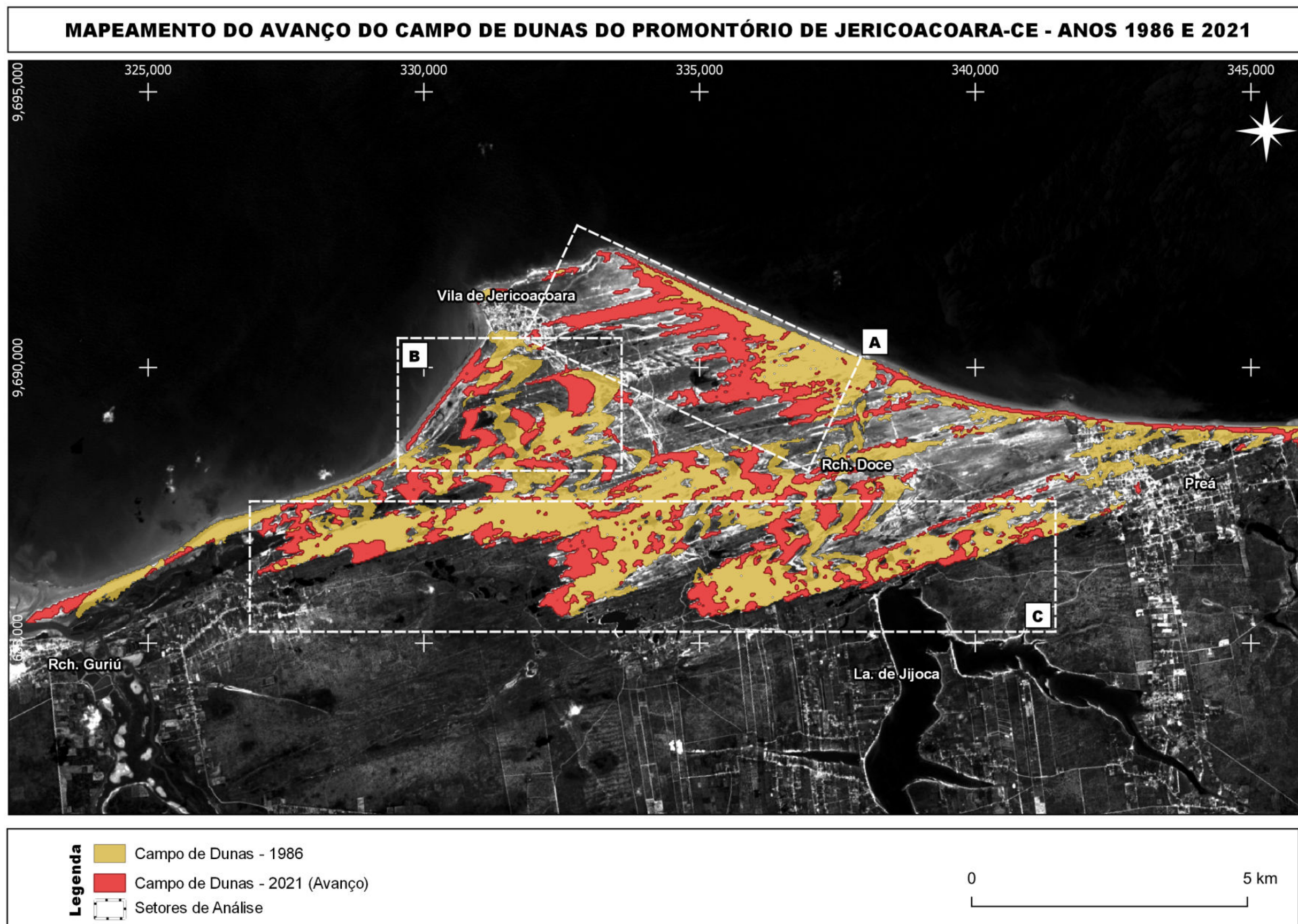
A delimitação dos recortes espaciais teve como base o papel funcional de cada setor nos aspectos geodinâmicos do Promontório. Por exemplo, o Setor A possui importância quanto à disposição inicial dos sedimentos oriundos da faixa praial, e abrange as dunas de 3ª geração, constituída pelas dunas frontais e pelos depósitos eólicos que transitam sobre a superfície de aspersão eólica ativa. Por sua vez, o Setor B apresenta dunas barcanas em sua extensão, nas quais possuem relevante importância na dinâmica dado que são as morfologias que diretamente influenciam na retroalimentação da linha de costa a sotamar do Promontório. É ainda nesse setor que essas morfologias sofrem com maior pressão antrópica, devido a sua proximidade com a Vila de Jericoacoara.

Por fim, o Setor C foi estabelecido para se quantificar a migração do campo de dunas móveis de 2ª geração sobre as áreas de dunas fixas mais interiores da planície litorânea (ao sul da área de estudo), nas quais evoluem para o soterramento da vegetação fixadora existente a jusante.

Após a análise da evolução espaço-temporal realizada para cada um desses setores, foram feitos os cálculos da extensão total e das taxas de migração tomando como base apenas os anos inicial e final do recorte temporal estabelecido pelo estudo.

O Mapa 25, a seguir, apresenta o mapeamento geral dos depósitos eólicos ativos, constituídos especialmente pelas unidades geoambientais campos de dunas móveis e planície de aspersão ativa, referentes aos anos 1986 e 2021.

Mapa 25 – Evolução geral dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Anos 1986 e 2021



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.1 Movimento Setorizado dos Depósitos Eólicos Ativos Setor A

Verifica-se que a evolução dos aspectos geodinâmicos do Promontório de Jericoacoara nesse setor é evidenciada pelas áreas de avanço decorrentes do aporte e da deposição dos sedimentos da expressiva faixa de estirâncio situada a leste-nordeste, e das dunas frontais existentes imediatamente no pós-praia, que migram em direção à planície litorânea, estabelecendo assim a dinâmica inicial do *bypass* litorâneo. Apesar de não possuir fluxo hídrico significativo ao longo do ano, destaca-se a importância do Riacho Doce na disposição dos sedimentos sobre a planície, especialmente no 1º semestre, quando da intensificação das chuvas e, conseqüentemente, da vazão do riacho.

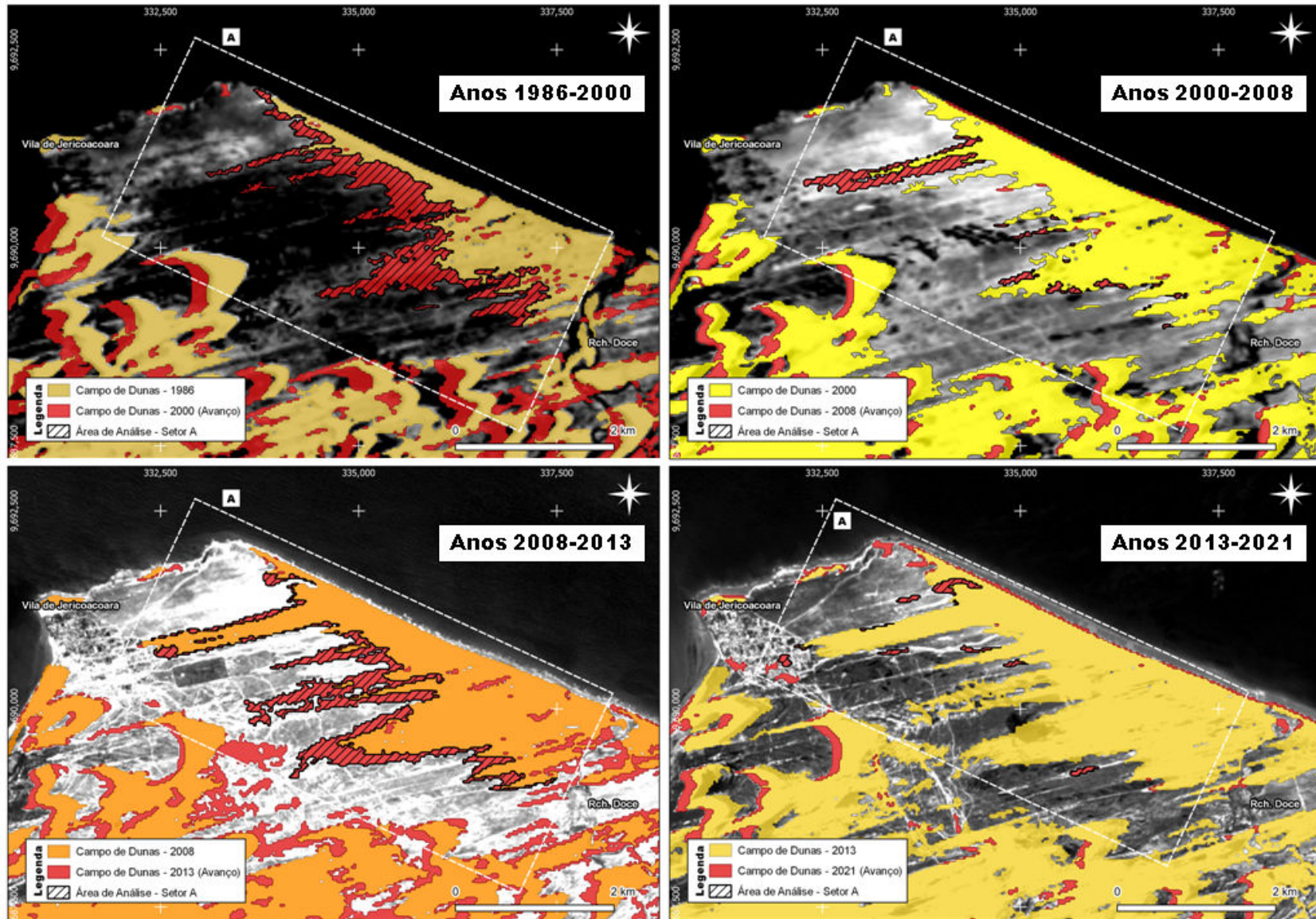
Com base no lineamento identificado a partir da faixa de praia em direção à Vila de Jericoacoara, na porção mais a norte do Setor A, constata-se também o avanço da planície de aspersão ativa decorrente especificamente do aumento das trilhas abertas para o trânsito de veículos de turismo – oriundos da localidade do Preá no extremo leste do Promontório, que potencializam a migração dos sedimentos através dos canais escavados na planície litorânea.

Aliás, com o aumento do fluxo turístico verificado, sobretudo a partir entre o final dos anos 2000 e início da década de 2010, uma via terrestre às margens da faixa de praia – entre o Preá e o Serrote de Jericoacoara – foi sendo consolidada com o aumento do tráfego de veículos na área, chegando ao ponto de o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão federal que gere o Parque Nacional de Jericoacoara, uma unidade de conservação de proteção integral, solicitar aos órgãos de infraestrutura municipais a manutenção da via para possibilitar a circulação da frota na região, a fim de evitar a degradação de locais onde não deveria haver tráfego de veículos<sup>25</sup>. O Mapa 26 apresentado a seguir ilustra a evolução espacial do Setor A, cujas áreas de avanço entre os períodos estabelecidos estão representadas pelas poligonais na cor vermelha, e as áreas referências de cada ano-base estão ilustradas pelas poligonais nas cores amareladas.

---

<sup>25</sup> Ver <https://www.focus.jor.br/icmbio-diz-que-estrada-que-liga-geri-a-praia-do-prea-nao-e-estrada>. Acesso em: 06 jul. 2022.

Mapa 26 – Evolução por período dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Setor A

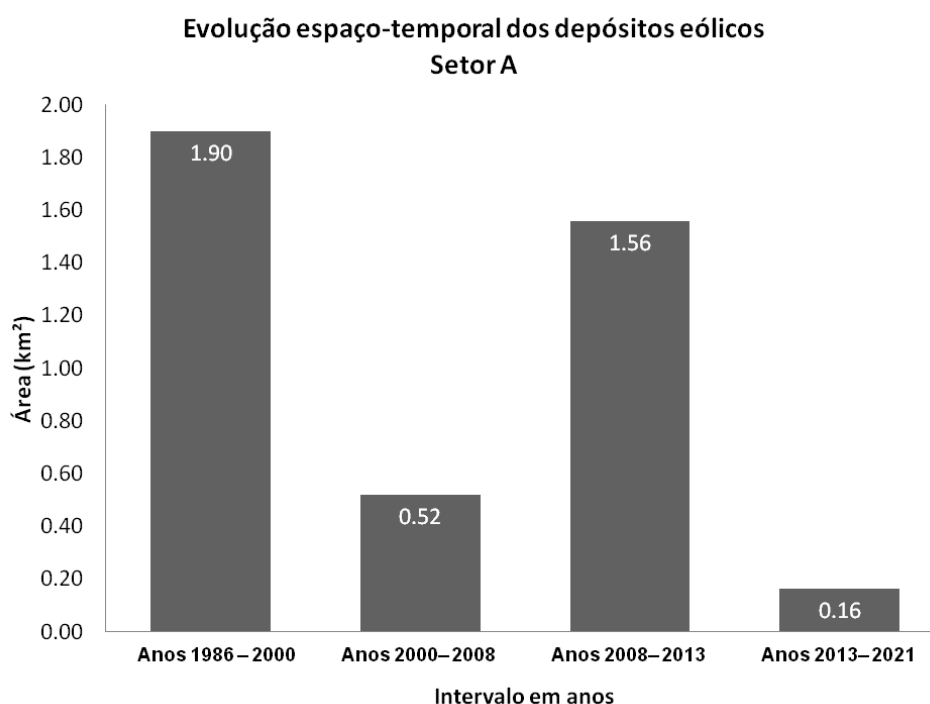


Fonte: Elaboração própria.



As regiões hachuradas apresentadas no mapa acima correspondem a determinadas áreas de avanço dos depósitos eólicos ativos, e foram escolhidas com fins representativos para o cálculo das extensões de sedimentos migrados no processo de *bypass*. O critério dessa escolha se baseou na identificação das principais frentes de avanço de sedimentos. A seguir, o Gráfico 3 apresenta a soma dos valores absolutos calculados para cada um dos polígonos hachurados e delimitados por período.

Gráfico 3 – Extensão dos depósitos eólicos ativos (campos de dunas móveis e planície de aspersão ativa) do Setor A



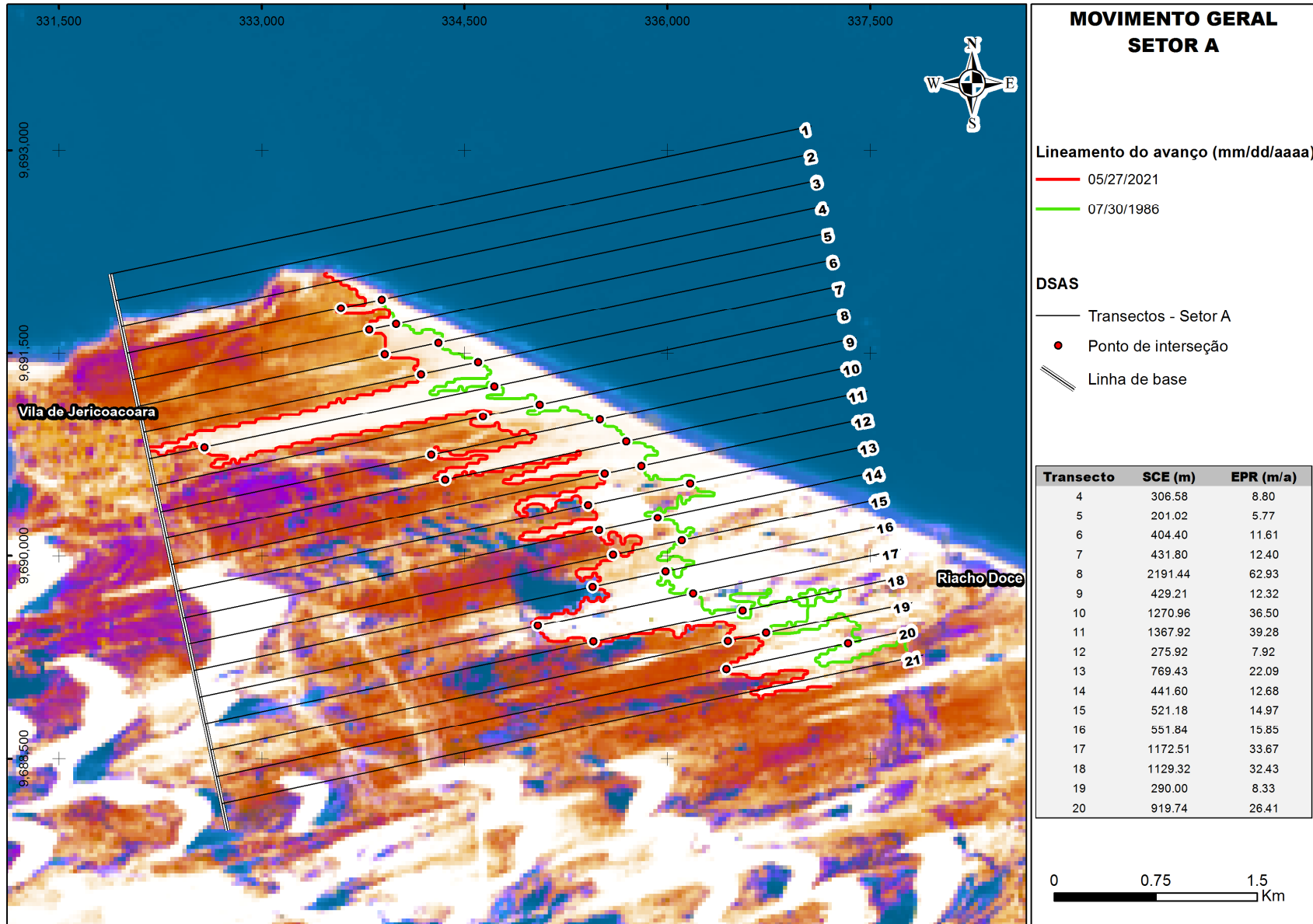
Fonte: Elaboração própria

Conforme se depreende da quantificação apresentada acima, há uma considerável evolução dos depósitos eólicos ativos no primeiro intervalo estabelecido (14 anos), havendo uma redução para o segundo intervalo (que possui 8 anos de diferença).

Com menor extensão em relação ao primeiro intervalo, o período definido pelos anos 2008 e 2013 (intervalo de 5 anos) proporcionalmente apresenta maior extensão de depósitos eólicos ativos migrando sobre o Promontório. Portanto, os processos geodinâmicos mais atuantes no Setor A para os períodos analisados evidenciam uma maior intensidade no primeiro e terceiro intervalos.

No que tange às distâncias e taxas médias calculadas a partir do DSAS, segue o Mapa 27 com a espacialização dos processos executados.

Mapa 27 – Evolução geral da dinâmica do Promontório de Jericoacoara – Setor A



Fonte: Elaboração própria.

O Mapa acima apresenta os lineamentos referentes às faces de avanço dos anos inicial e final do período abrangido pelo estudo. Foram traçados transectos perpendiculares às respectivas linhas (com distância de 200 m) a fim de se calcular a distância total e as taxas médias anuais para a evolução do setor.

O procedimento SCE retornou resultados das distâncias totais percorridas no período. A distância máxima identificada, com aproximadamente 2.191,44 m, é referente ao transecto 8. Nesse caso, observa-se no mapa que essa linha transversal corresponde aos canais abertos, por meio de trilhas, para o trânsito de veículos em direção à Vila. A menor verificada corresponde ao transecto 5, com cerca de 201,02 m, localizado próximo ao Serrote de Jericoacoara, fato que evidencia que essa morfologia funciona como uma barreira natural ao aporte de sedimentos na região norte do Promontório.

Quanto ao resultado do procedimento EPR, constatou-se que, no período abordado por este trabalho (35 anos), os depósitos eólicos aportados no Setor A do Promontório a partir da linha de costa se movimentaram a uma taxa de 21,41 metros por ano. A síntese dos resultados obtidos a partir do DSAS, por meio dos procedimentos acima mencionados, está descrita abaixo no Quadro 7.

Quadro 7 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica do Setor A

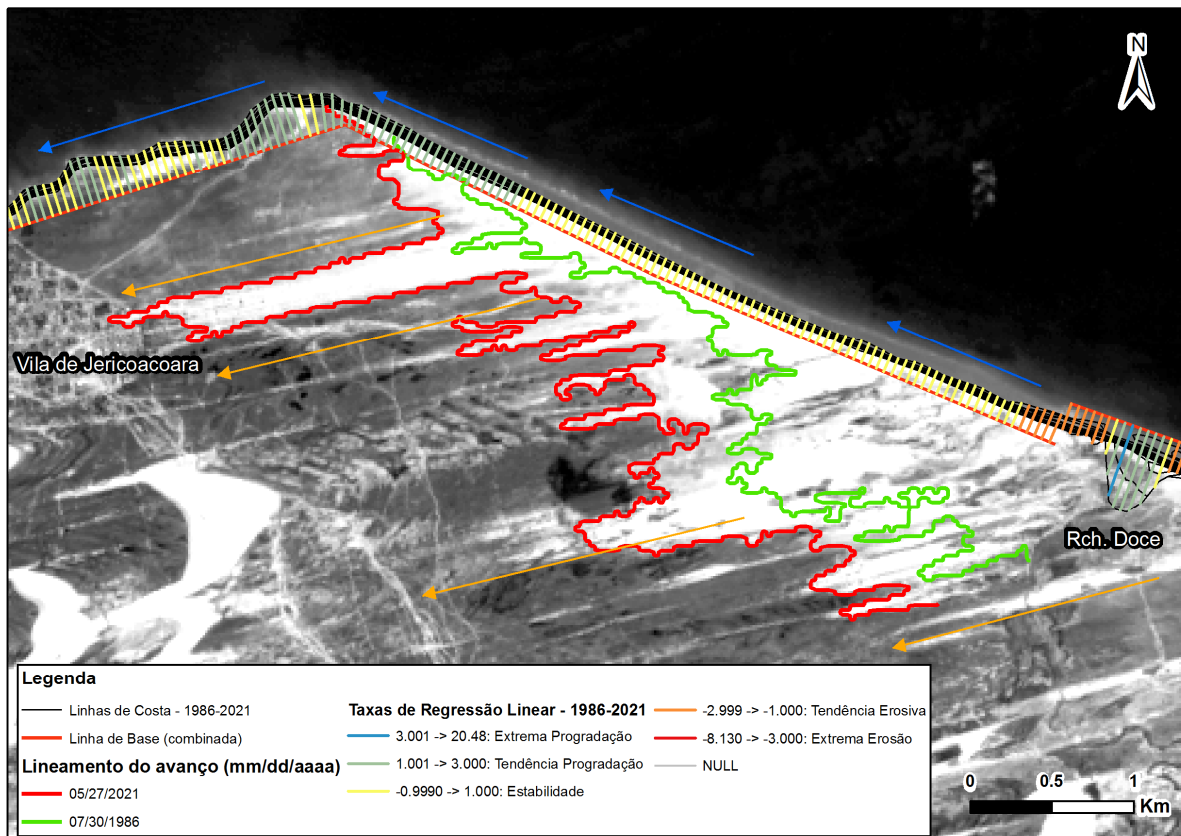
<b>Shoreline Change Envelope (SCE)</b>	
<i>Distâncias médias gerais (m):</i>	
Total de transectos	17
Distância média:	745.58 m
Distância máxima:	2191.44 m
ID do transecto mais distante:	8
Distância mínima:	201.02 m
ID do transecto mais próximo:	5
<b>End Point Rate (EPR)</b>	
<i>Taxa média (m/a):</i>	
Total de transectos	17
Taxa média:	21.41 m

Fonte: Elaboração própria.

Cabe lembrar que a análise multitemporal das linhas de costa associadas

a esse setor constatou estabilidade, fato que evidencia equilíbrio na dinâmica costeira, uma vez que o aporte de sedimentos para o processo de *bypass* no Promontório não ocorreu devido à retração ou progradação do litoral, fato que pode ser evidenciado no Mapa 28 abaixo. Como é possível observar nesse produto, a integração dos fluxos associados ao *bypass* litorâneo na área realizam o aporte dos sedimentos oriundos da deriva costeira (setas em azul) à faixa de praia, e através da ação eólica (setas em laranja), eles são remobilizados para o pós-praia (formando dunas frontais), e destes são dispostos sobre a planície de aspensão ativa.

Mapa 28 – Evolução da geodinâmica do Promontório de Jericoacoara associada à integração de fluxos de matéria e energia no Setor A

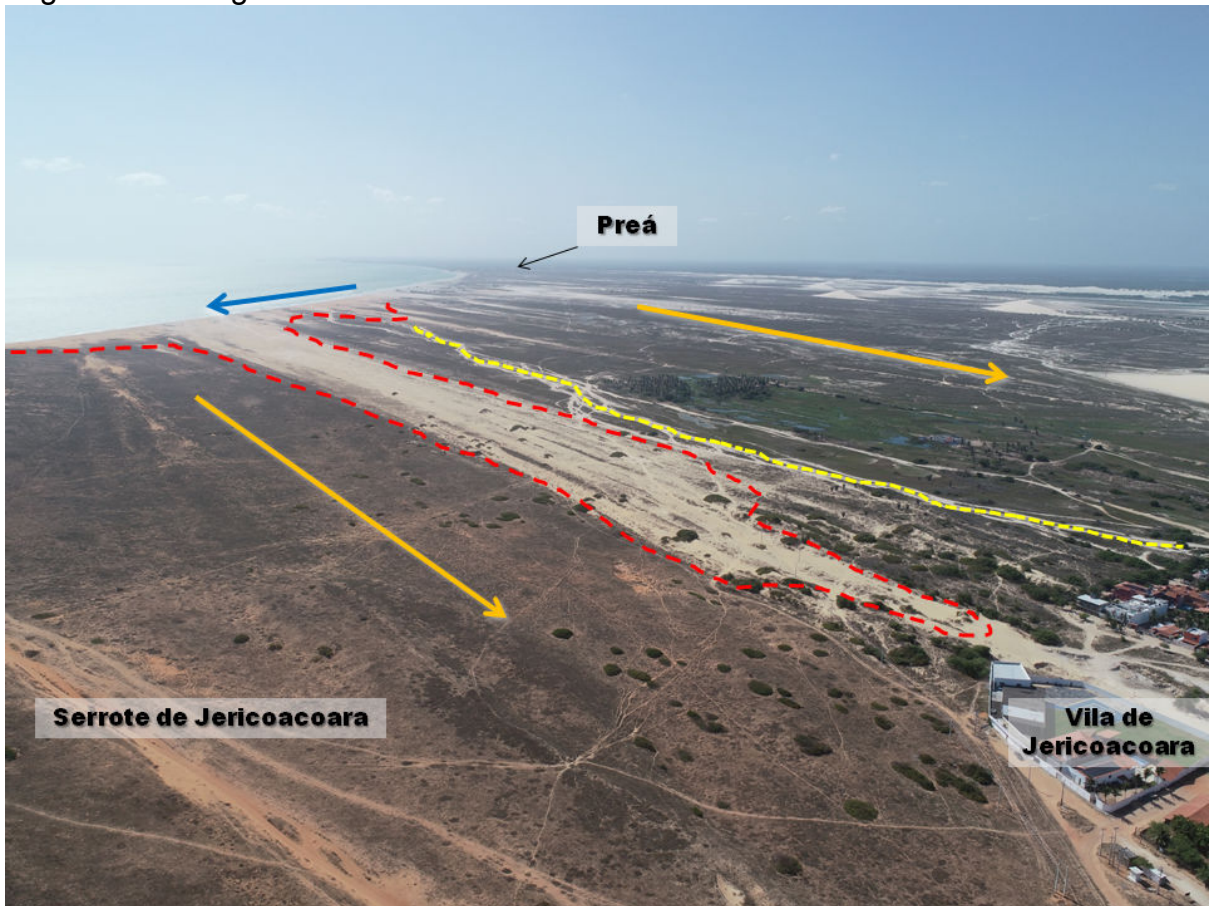


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 9 – Fotografia aérea do Setor A, a seguir, traz uma fotografia aérea em perspectiva oblíqua da área que abrange o Setor A, que apresenta as indicações dos fluxos de matéria e energia que atuam no local, em que a seta em azul indica a direção da deriva litorânea e a seta amarela, o fluxo eólico. A linha pontilhada em vermelho indica a mobilização dos sedimentos que migram da faixa de praia em direção à Vila, proporcionando uma sequência de corpos dunares. Já a

linha pontilhada amarela aponta as trilhas abertas para o tráfego de veículos provenientes do Preá.

Figura 9 – Fotografia aérea do Setor A



Fonte: Registro gentilmente cedido por Davis Pereira de Paula (28 ago. 2021).

## Setor B

Os aspectos geodinâmicos identificados no Setor B evidenciam a evolução dos depósitos eólicos associados às dunas de 2ª geração do tipo barcana, situadas próximas à Vila de Jericoacoara, sendo uma delas (Duna do Pôr do Sol) considerada uma das paisagens mais representativas do turismo na região.

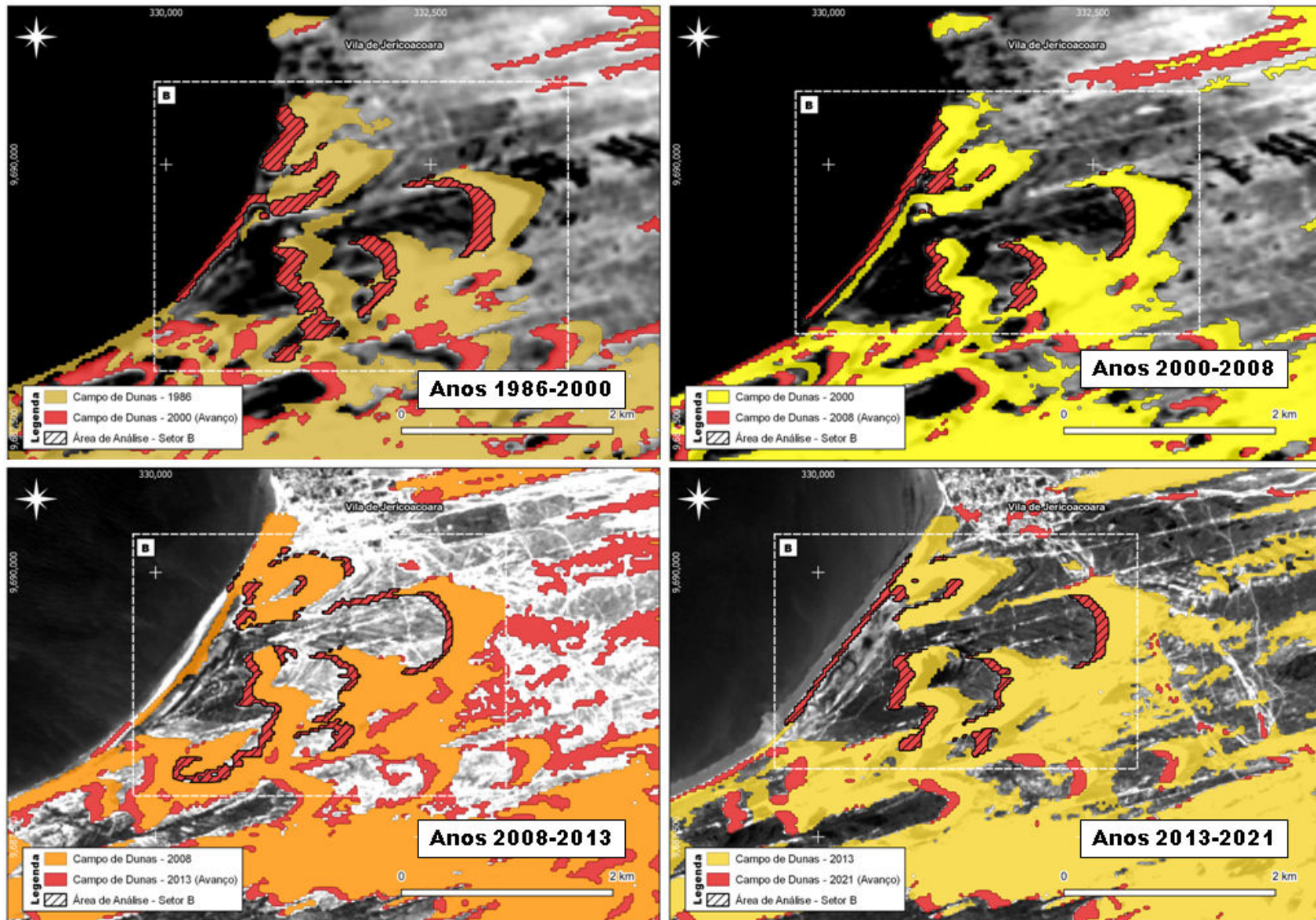
Dada a configuração atual de alguns desses corpos dunares – especificamente a Duna do Pôr do Sol (DPS), Duna do Papai Noel (DPN) e Duna Arraia (DA), a análise realizada para esse setor optou por comparar a distribuição espaço-temporal dessas morfologias dunares a fim de evidenciar as mudanças na área, perímetro e tendência de deslocamento das dunas.

Também foi possível observar a ação dos fluxos de matéria e energia vinculados com a migração continuada e direcionada para a faixa de praia, completando assim o processo de *bypass* litorâneo nesse setor do Promontório.

Portanto, constatou-se que devido a esse processo, associado à intensa movimentação turística sobre aqueles campos de dunas situados mais próximos da Vila, há uma tendência geral de diminuição de suas áreas e alterações de alta frequência do perímetro (contorno das dunas).

As seções compostas pelo Mapa 29 – Evolução por período dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Setor B, a seguir, apresentam a evolução do Setor B em cada período delimitado para a análise multitemporal deste trabalho.

Mapa 29 – Evolução por período dos depósitos eólicos ativos do Promontório de Jericoacoara – Setor B

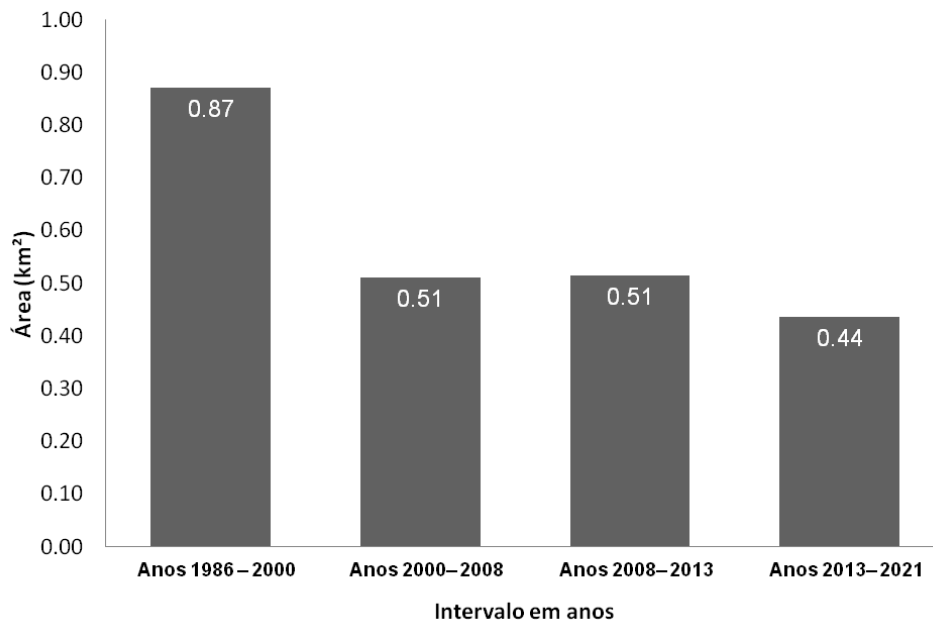


Fonte: Elaboração própria.



A fim de quantificar as extensões das áreas de avanço espacializadas no Mapa acima, o Gráfico 4, a seguir, descreve os valores absolutos das áreas delimitadas pelas hachuras. No que se pese a área do primeiro período (1986-2000) ser maior (ressaltando-se que esse intervalo é maior em relação aos demais), observa-se uma tendência regular nos avanços para cada período, evidenciando que não houve interferências naturais ou induzidas que comprometessem o processo de *bypass* nesse setor do Promontório.

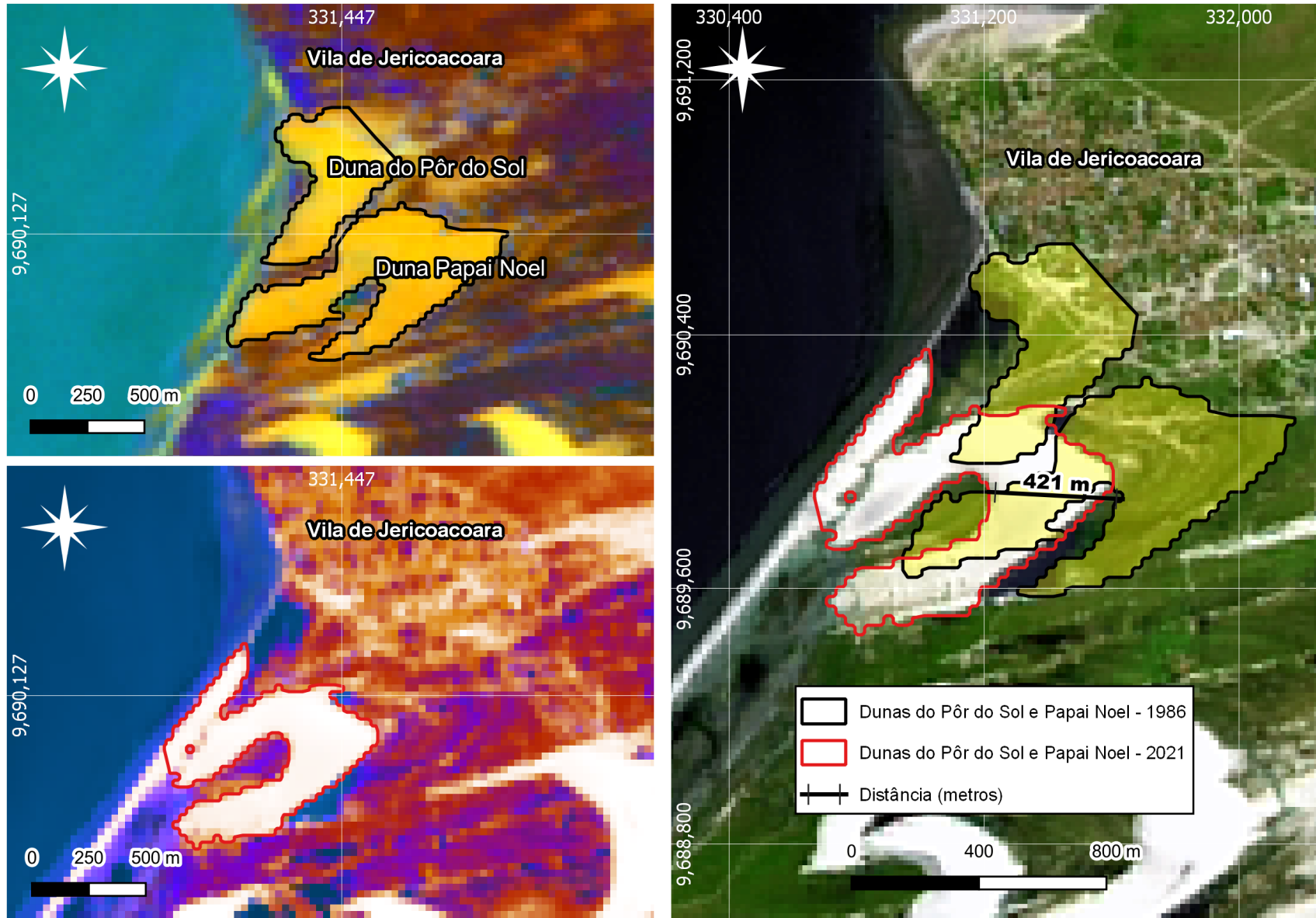
Gráfico 4 – Extensão dos campos de dunas móveis do Setor B  
Evolução espaço-temporal dos Campos de Dunas  
Setor B



Fonte: Elaboração própria

As representações espaciais em detalhe, representadas pelo Mapa 30, trazem a área correspondente ao Setor B, onde está colocada em evidência a morfologia da Duna do Pôr do Sol e Duna do Papai Noel. Especialmente para essas feições, não foram calculadas taxas de variação. Isso se deve às mudanças significativas apresentadas nas morfologias no período da análise, sobretudo na alteração da face de deslizamento da DPS (que é o referencial espacial que este estudo está baseado para os cálculos no DSAS).

Mapa 30 – Evolução morfológica das dunas próximas à Vila de Jericoacoara – Setor B



Fonte: Elaboração própria.

Conforme se observa na imagem acima, essa alteração foi ocasionada essencialmente pela conclusão do *bypass* efetuado pela DPS, na qual alcançou a faixa de praia e passou a realocar os sedimentos para a deriva litorânea a sotamar do Promontório. Quanto à alteração evidenciada a partir da alteração morfológica da DPN, pode-se inferir que, ao continuar seu movimento em direção à faixa de praia, essa morfologia acabou por ser incorporada à DPS.

A Tabela 6, a seguir, apresenta o resumo das áreas calculadas para cada ano, ressaltando que o valor da área mais recente se deve à incorporação ora mencionada.

Tabela 6 – Síntese das áreas da Duna do Pôr-do-Sol e da Duna Papai Noel

	Ano	Área (km <sup>2</sup> )
Duna Pôr-do-Sol	1986	0.22
Duna Papai Noel	1986	0.38
DPS+DPN	2021	0.39

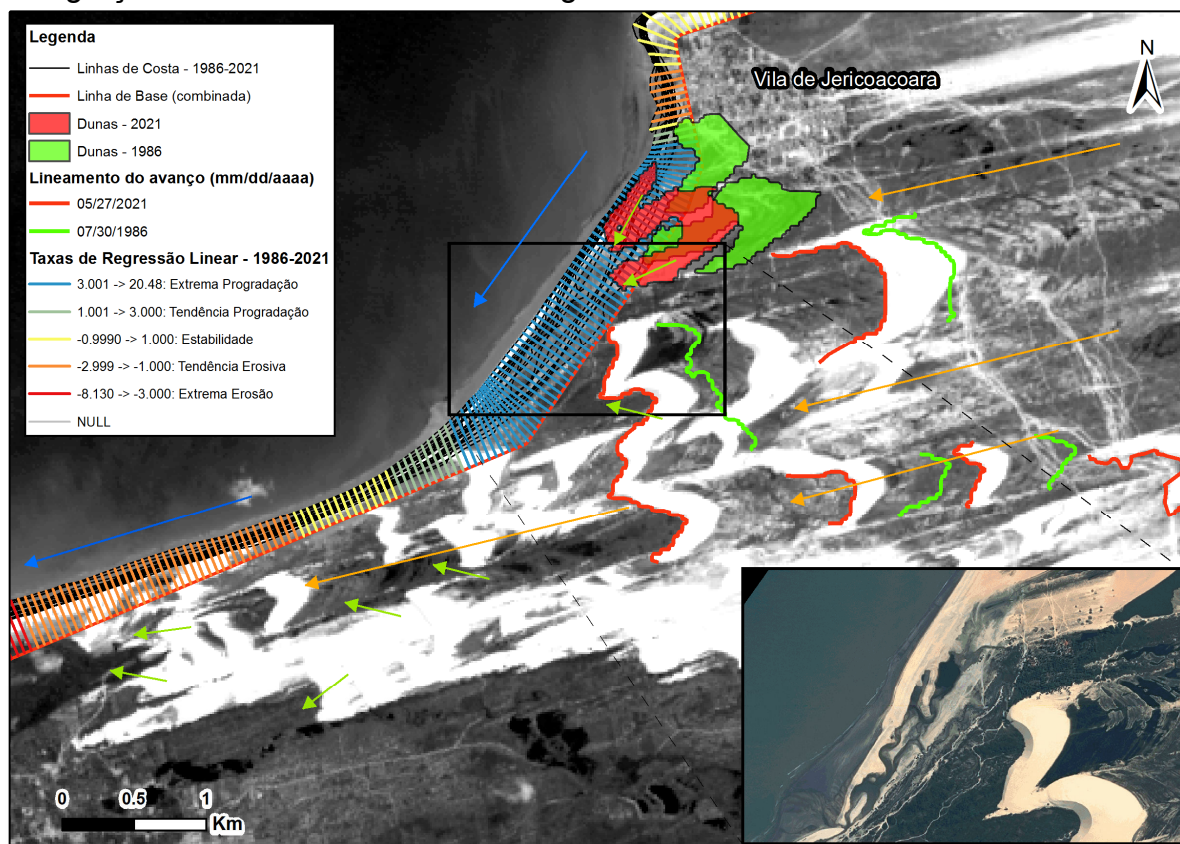
Fonte: Elaboração própria.

Constata-se na tabela acima o processo de incorporação citado, evidenciado pela diminuição em 35% da área equivalente à soma das duas dunas no ano de 1986.

Ainda tomando como base a espacialização dos campos de dunas da figura acima, foi calculada a distância entre tais dunas – utilizando como base o ponto máximo da curvatura formada pela face de avalanche, em que se constatou uma distância aproximada de 421 metros, resultando em uma média anual do movimento em 35 anos em cerca de 12 metros/ano.

No que tange à linha de costa associada, destaca-se que a principal consequência desse processo é sua progradação, além de se constatar o aumento de um terraço de maré relacionado à barreira litorânea formada devido ao aporte dos sedimentos oriundos desses campos de dunas. O Mapa 31 abaixo apresenta a integração entre os fluxos atuantes no processo de *bypass* nesse setor do Promontório, onde se verifica o aporte dos sedimentos oriundos desse processo sendo realocados à faixa de praia a sotamar por meio da ação eólica (setas em laranja), que, por sua vez, os dispõem novamente na deriva costeira (setas em azul).

Mapa 31 – Evolução da geodinâmica do Promontório de Jericoacoara associada à integração de fluxos de matéria e energia no Setor B



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o detalhe acima, atuando em um intervalo de 35 anos, esse processo propiciou a progradação da faixa de praia adjacente, formando um pequeno terraço de maré à jusante das dunas do Pôr-do-Sol e Papai Noel. As setas em verde indicam a atuação dos fluxos hídricos subterrâneos, os quais tendem a aflorar nas áreas mais rebaixadas do terraço de maré, bem como na planície de aspersão eólica (entre os campos de dunas móveis) e na área do tabuleiro mais ao sul da imagem acima.

A Figura 10 abaixo traz um registro fotográfico aéreo dos campos de dunas em análise (feições delimitadas por linhas tracejadas em vermelho) a partir do limite sul da Vila de Jericoacoara. A seta na cor amarela indica a direção do fluxo eólico, e a seta azul, a direção da deriva litorânea.

Figura 10 – Fotografia aérea dos campos de dunas móveis em *bypass* litorâneo



Fonte: Registro gentilmente cedido por Davis Pereira de Paula (19 nov. 2021).

Conforme é possível observar no registro acima, o processo de *bypass* litorâneo é evidenciado pelo contato da Duna do Pôr do Sol na faixa de praia, ocasionando além do aporte dos sedimentos na deriva litorânea, a progradação da linha de costa no local. Permite ainda o desenvolvimento do terraço de maré adjacente às dunas, e contribui para a formação de uma barreira litorânea no extremo oeste do Promontório, estendendo-se por dezenas de metros às margens da desembocadura fluviomarinha do Riacho Guriú. A imagem também permite constatar a integração da Duna do Papai Noel com a Duna do Pôr do Sol.

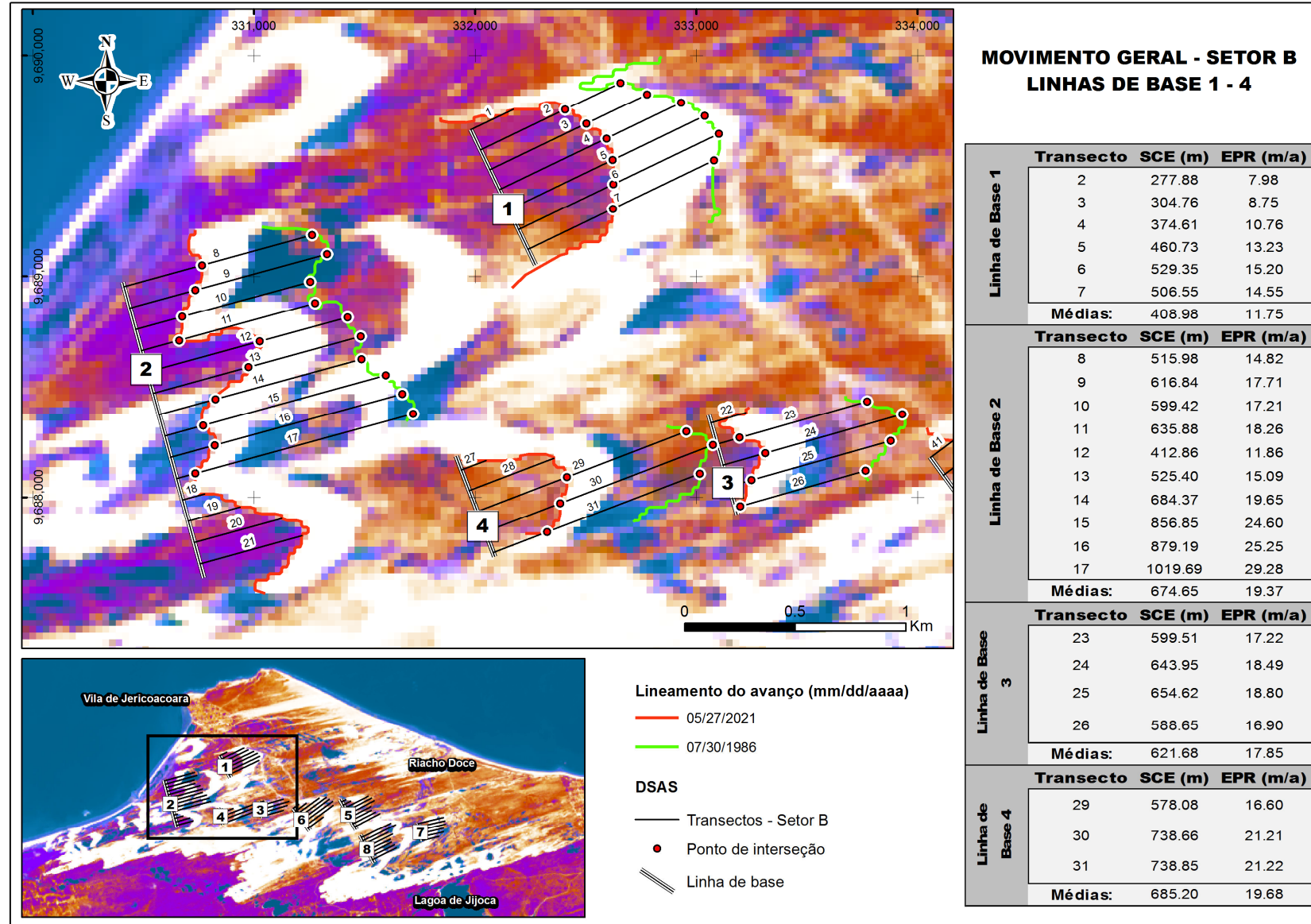
Uma vez que não foi possível quantificar as taxas e calcular a evolução espaço-temporal (a partir do DSAS) dos principais campos de dunas móveis observados no Setor B, este estudo delimitou outros corpos dunares, de mesma tipologia, que transitam em células isoladas na área central do Promontório tanto em direção à faixa de praia a sotamar, como transitam em direção aos campos de dunas transversais que migram sobre a vegetação arbórea e sobre as dunas de 1ª geração.

Nesse sentido, foram delimitadas 8 células dunares, identificadas e numeradas a partir das linhas de base estabelecidas. A fim de se calcular a distância total e as taxas médias anuais para essas morfologias, os transectos traçados

perpendiculares às linhas referentes às faces de avalanche foram delimitados com distância de 100 metros.

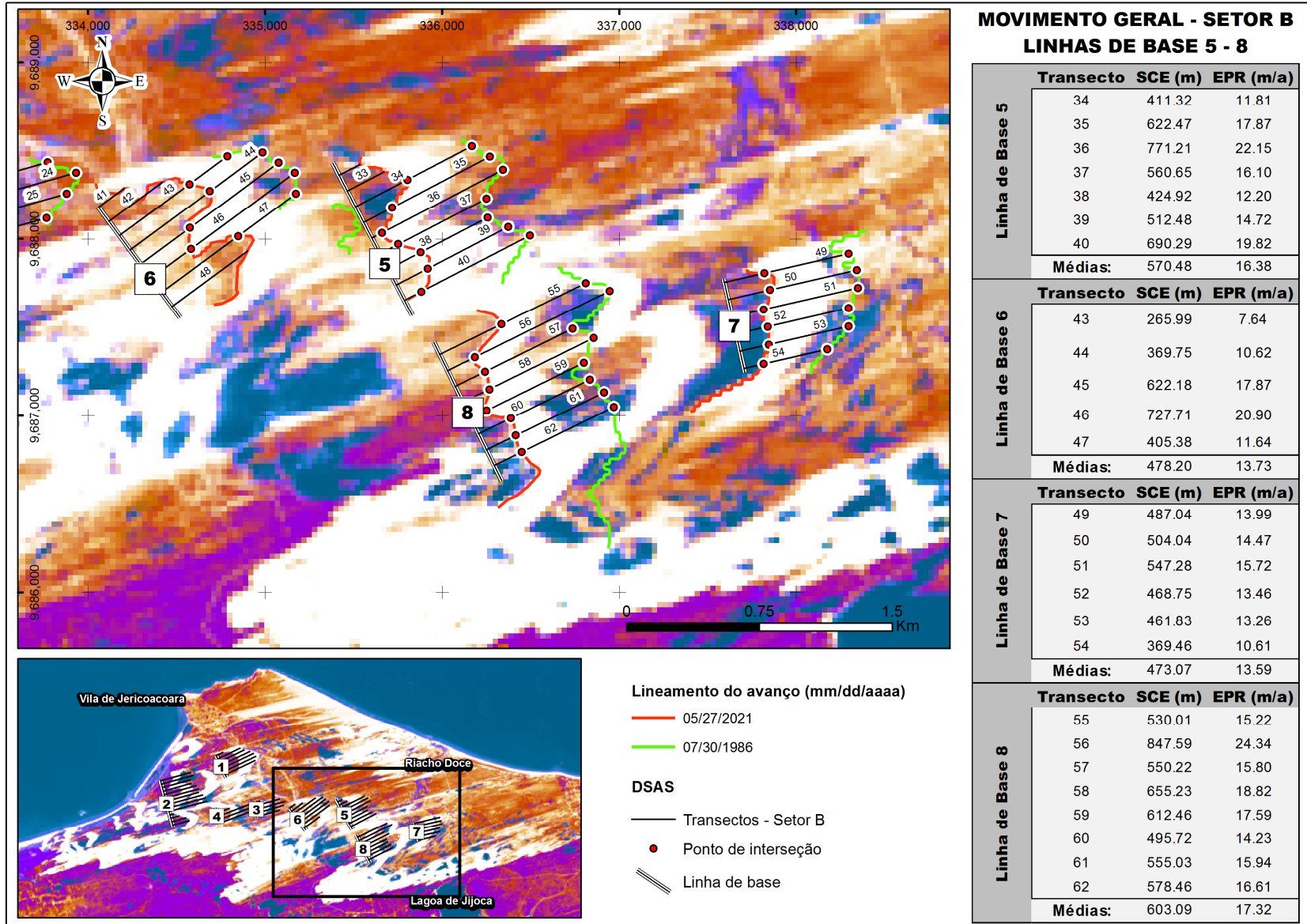
As representações do Mapa 32 e Mapa 33 trazem a espacialização das células ora descritas, acompanhadas de tabelas que indicam os valores médios das taxas calculadas nos procedimentos SCE e EPR para cada célula dunar.

Mapa 32 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – linhas de base 1 a 4



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 33 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – linhas de base 5 a 8



Fonte: Elaboração própria.



Como se constata nas representações acima, as células representadas pelas linhas de base 2 e 4 apresentam as maiores distâncias percorridas (SCE) e as maiores variações médias espaços-temporais (EPR) entre os anos de 1986 e 2021, com 674,65 m - 685,20 m e 19,37 m/a - 19,68 m/a, respectivamente.

Cada ressaltar que essas células dunares se encontram próximas de completar o processo de *bypass* sobre o Promontório e, conforme a análise temporal realizada, as lagoas interdunares localizadas a sotamar do movimento realizado não se constituíram obstáculo suficiente para diminuir a velocidade da migração no período.

Com base nas médias gerais calculadas para as células dunares de ambos os mapas, o procedimento SCE identificou o transecto 17 (localizado no campo de dunas identificado pela linha de base 2) como aquele que apresentou maior distância no período, com aproximadamente 1.019,69 metros de diferença (ver Mapa 32).

Quanto ao resultado do procedimento EPR, constatou-se que, no período abordado por este trabalho, o conjunto de dunas barcanas analisadas se movimentou a uma taxa de 16,29 metros por ano. A síntese dos resultados obtidos a partir do DSAS está descrita no Quadro 8 abaixo.

Quadro 8 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica dos campos de dunas móveis do tipo barcana

<b>Shoreline Change Envelope (SCE)</b>	
<i>Distâncias médias gerais (m):</i>	
Total de transectos	49
Distância média:	567.15 m
Distância máxima:	1019.69 m
ID do transecto mais distante:	17
Distância mínima:	265.99 m
ID do transecto mais próximo:	43
<b>End Point Rate (EPR)</b>	
<i>Taxa média (m/a):</i>	
Total de transectos	49
Taxa média:	16.29 m

Fonte: Elaboração própria.

As Figura 11 e Figura 12 a seguir apresentam fotografias aéreas oblíquas do conjunto de células formadas por dunas barcanas em processo de *bypass* no Promontório de Jericoacoara, evidenciando em setas amarelas a direção do fluxo eólico verificado na região.

Figura 11 – Fotografias aéreas das dunas barcanas em *bypass* litorâneo no Promontório de Jericoacoara



Fonte: Registro gentilmente cedido por Davis Pereira de Paula (28 ago. 2021).

Figura 12 – Fotografia aérea do conjunto de dunas barcanas em *bypass* litorâneo no Promontório de Jericoacoara

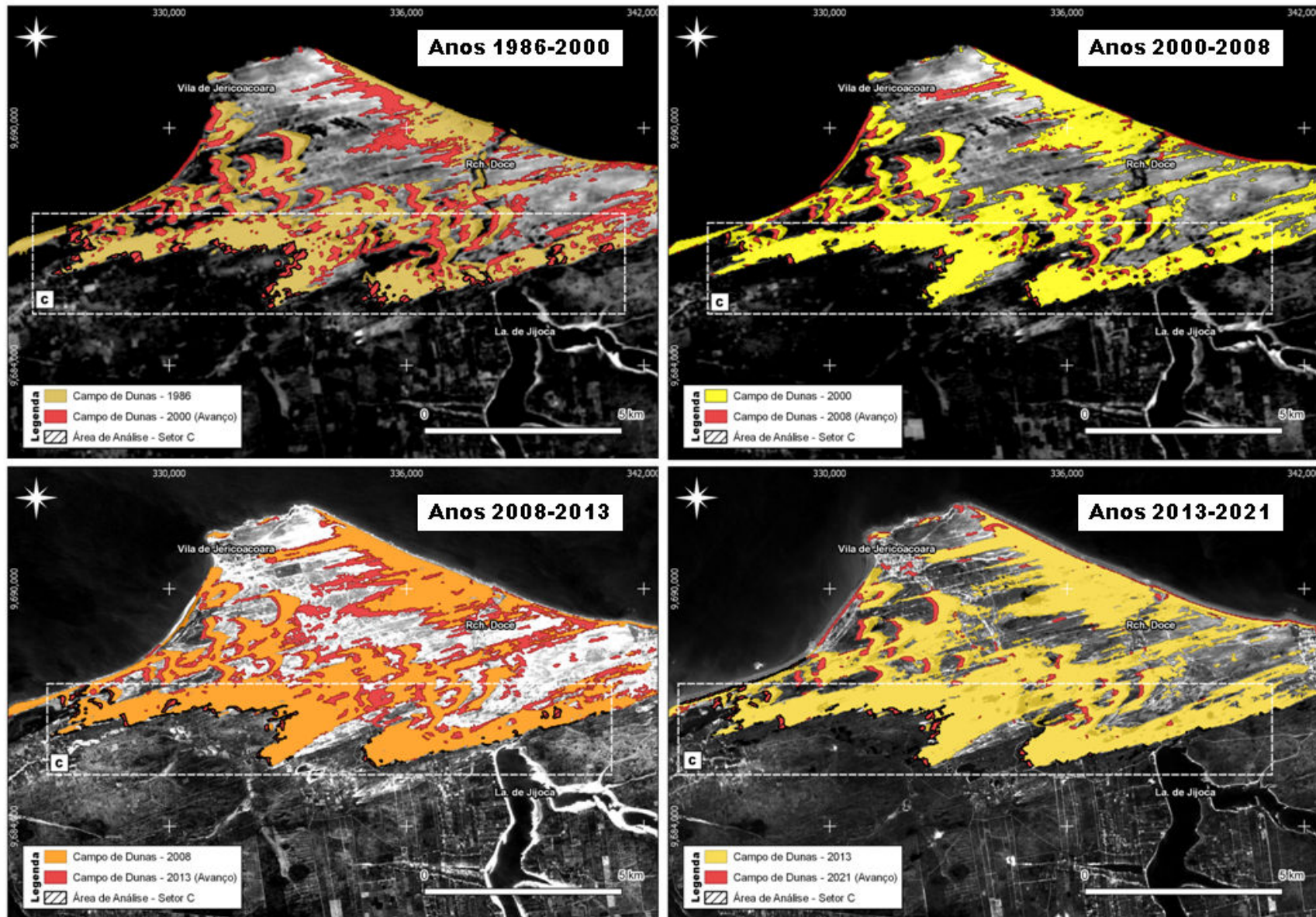


Fonte: Registro gentilmente cedido por Davis Pereira de Paula (28 ago. 2021).

## Setor C

O Mapa 34 a seguir apresenta a espacialização das áreas de avanço do Setor C, referente ao campo de dunas móveis, do tipo transversal, que avança sobre áreas vegetadas e sobre dunas de 1ª geração que se encontram estabilizadas por processos pedogenéticos.

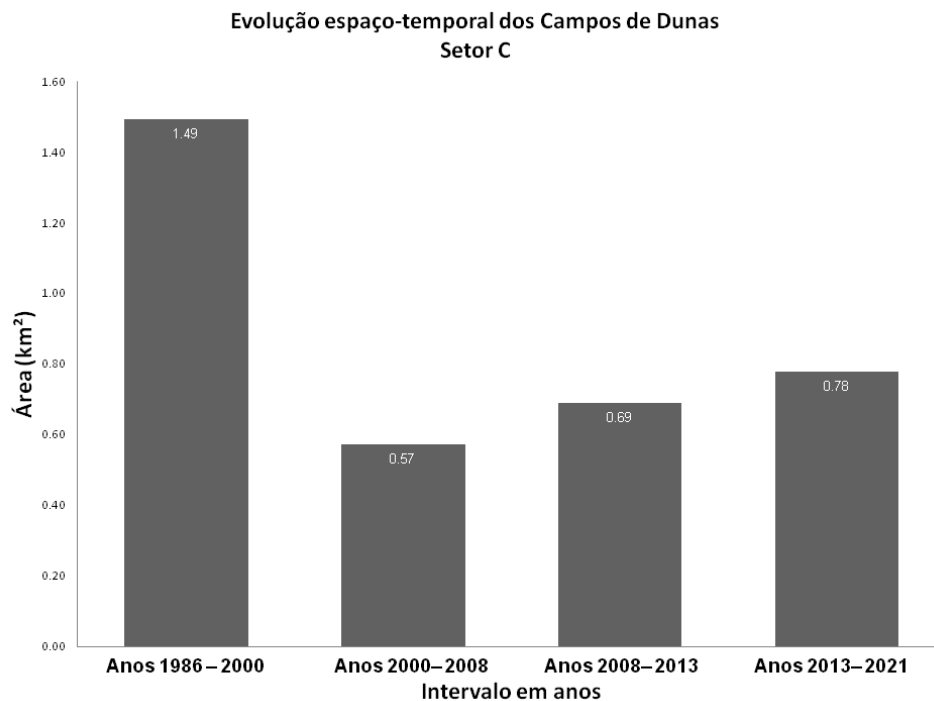
Mapa 34 – Evolução por período dos campos de dunas transversais do Promontório de Jericoacoara – Setor C



Fonte: Elaboração própria.

Assim como foi feito para os outros setores, as regiões hachuradas apresentadas nos mapas acima correspondem às áreas de avanço dos sedimentos sobre a vegetação, sendo escolhidas para fins representativos do cálculo das extensões determinados agrupamentos migrados a parti da ação eólica. Em seguida, o Gráfico 5 traz esses valores para os recortes temporais abrangidos pela figura.

Gráfico 5 – Extensão dos campos de dunas móveis do Setor C

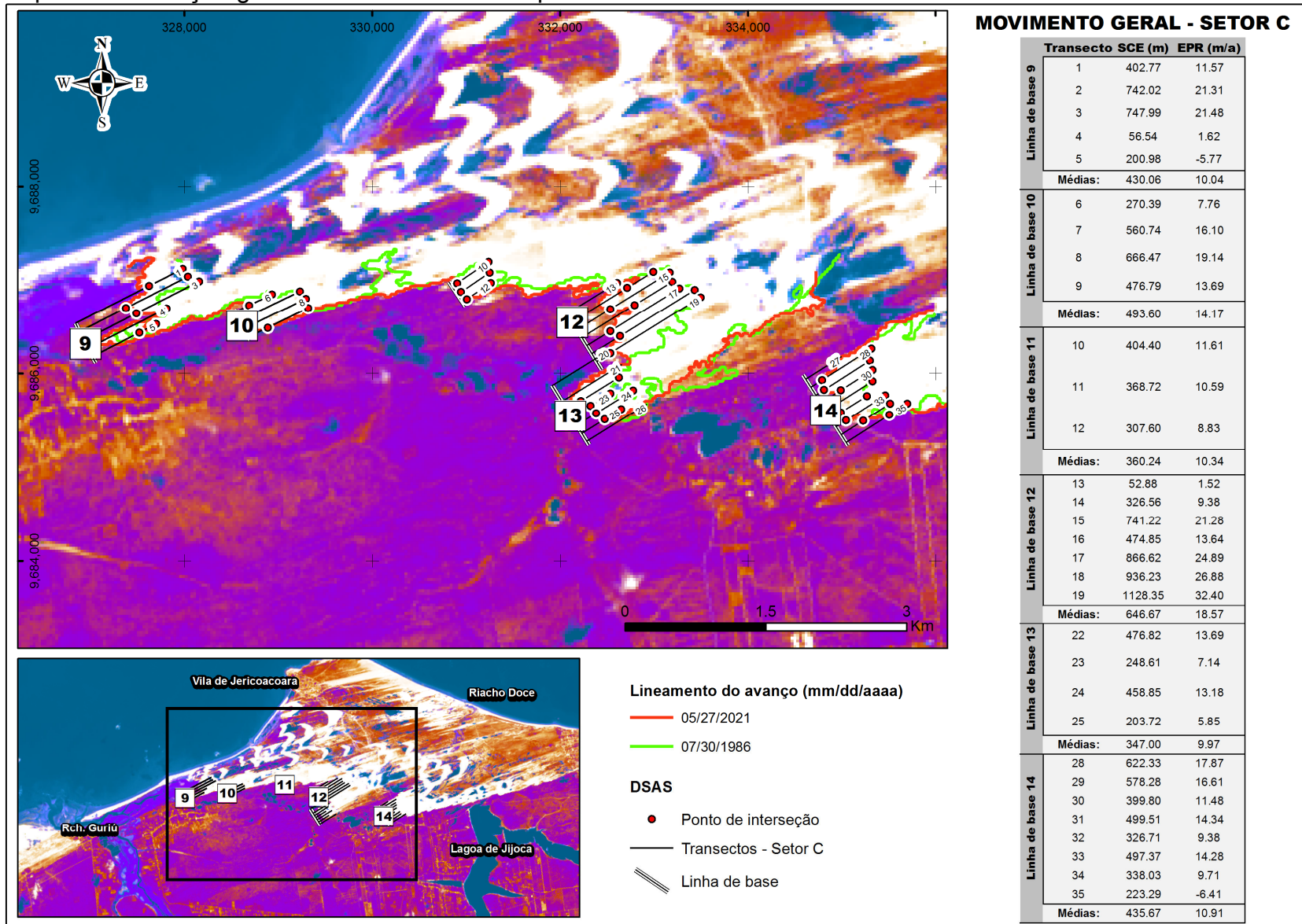


Fonte: Elaboração própria

Quando se compara a representatividade das áreas de avanço dos 3 setores, pode-se verificar que é o Setor C aquele que apresenta menor avanço relativo quando comparado aos setores A e B. Isso se deve exatamente ao fato de os campos de dunas móveis ali presentes estarem migrando sobre extensas áreas vegetadas e se sobrepondo aos campos de dunas fixadas existentes, fazendo com que essas feições funcionem como obstáculo natural ao movimento dos sedimentos em trânsito sobre o Promontório.

As áreas de avanços distinguidas para a quantificação das distâncias e taxas médias anuais do movimento do campo de dunas foram espacializadas No Mapa 35, a seguir, na qual constam 6 frentes de avanço analisadas, identificadas conforme as linhas de base correspondentes.

Mapa 35 – Evolução geral da dinâmica dos campos de dunas móveis do Promontório de Jericoacoara – Setor C



Fonte: Elaboração própria.

Como se depreende da tabela anexa ao mapa acima, a frente de avanço representada pela linha de base 12 apresenta a maior distância percorrida (SCE) e a maior variação média espaço-temporal (EPR) no período, com 646,67 m e 18,57 m/a, respectivamente. As fotografias apresentadas na Figura 13 ilustram o processo de sobreposição dos campos de dunas transversais sobre a área vegetada da planície litorânea e do tabuleiro costeiro, com a indicação, em setas amarelas, da direção do fluxo eólico.

Figura 13 – Fotografias aéreas das dunas transversais em *bypass* litorâneo no Promontório de Jericoacoara



Fonte: Registro gentilmente cedido por Davis Pereira de Paula (28 ago. 2021).

No que tange à média geral para a espacialização de frentes de avanço estabelecida acima, o Quadro 9 apresenta a quantificação média de SCE e EPR, em que se verifica uma distância média calculada em 471,14 metros, e uma variação média de avanço de 12,74 metros/ano.

Quadro 9 – Síntese das distâncias e taxas da evolução geodinâmica dos campos de dunas do Setor C

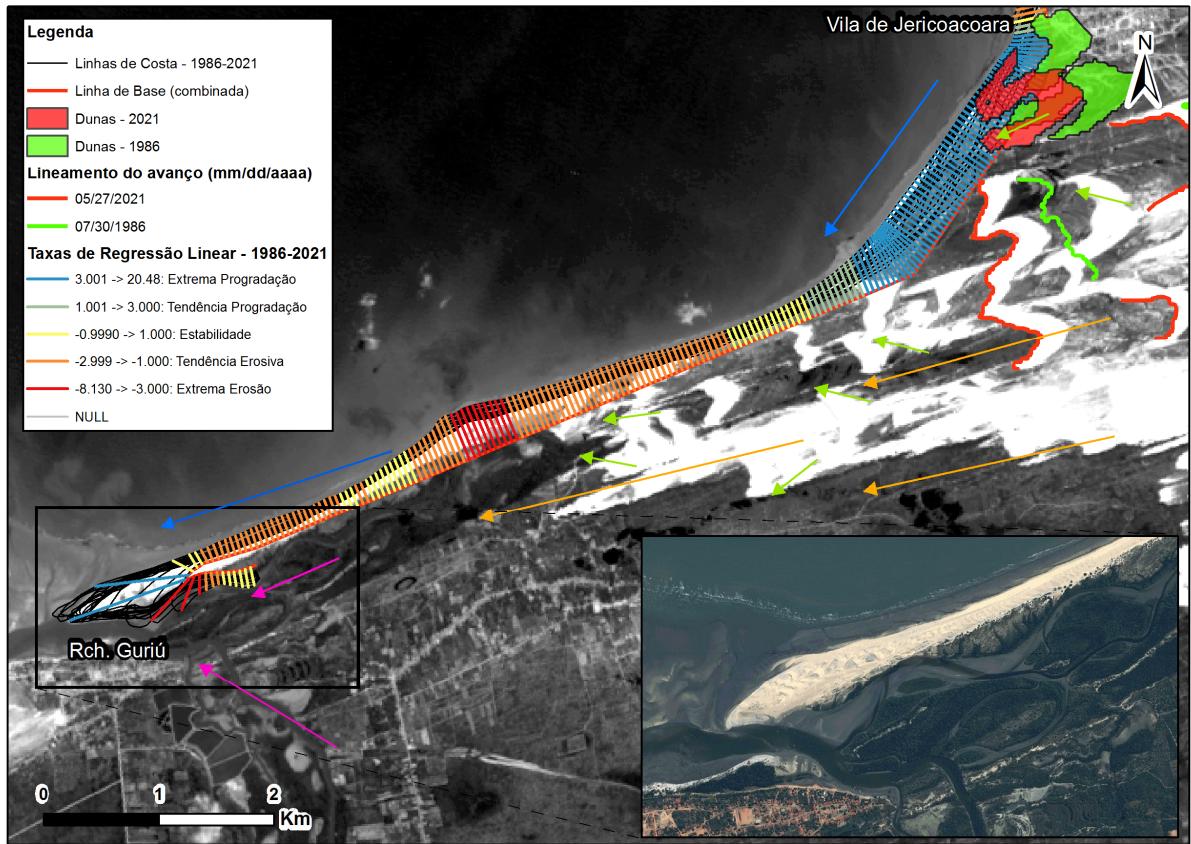
<b>Shoreline Change Envelope (SCE)</b>	
<i>Distâncias médias gerais (m):</i>	
Total de transectos	31
Distância média:	471.14 m
Distância máxima:	1128.35 m
ID do transecto mais distante:	19
Distância mínima:	52.88 m
ID do transecto mais próximo:	13
<b>End Point Rate (EPR)</b>	
<i>Taxa média (m/a):</i>	
Total de transectos	31
Taxa média:	12.74 m

Fonte: Elaboração própria.

Dado a transversalidade do direcionamento do campo de dunas que se evidencia nesse setor do Promontório de Jericoacoara (NE-SW), o processo de *bypass* levará um tempo maior para ser concluído em relação aos demais setores. E quando esse processo for concluído, os sedimentos serão aportados na planície fluviomarina do Riacho Guriú, impactando direta e indiretamente as linhas de costa das praias adjacentes ao Promontório, portanto, fora da linha de costa diretamente associada a essa feição costeira.

Abaixo, o Mapa 36 apresenta a espacialização da integração evolutiva da linha de costa associada aos fluxos de matéria e energia atuantes na área, cujas indicações de suas atuações estão representadas pelas setas: em azul, deriva litorânea; em laranja, a atuação do fluxo eólico; em verde, os fluxos subterrâneos que emergem nas unidades geoambientais adjacentes em períodos chuvosos; e em roxo, a indicação dos fluxos fluviomarinhas relativos à interação entre os fluxos do Riacho Guriú e de marés.

Mapa 36 – Evolução espaço-temporal da barreira litorânea associada à integração de fluxos de matéria e energia



Fonte: Elaboração própria.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a evolução espaço-temporal do Promontório de Jericoacoara, tomando como base a integração entre linha de costa e os depósitos eólicos ativos – estes representados pelos campos de dunas móveis e pelas planícies de aspersão eólica –, utilizando métodos e técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Dadas as particularidades que pontas e promontórios no litoral do Ceará têm no controle dos aspectos morfodinâmicos da linha de costa e na configuração da planície costeira associada a tais acidentes geográficos, essa área de estudo foi escolhida devido à sua excepcionalidade no contexto regional, uma vez que é um promontório que detém características morfoestruturais diferenciadas quando comparado às demais feições da costa cearense – ou seja, é uma feição residual do tipo morro, com aproximadamente 98 metros de altura, sustentada por um extenso afloramento rochoso cristalino –, originado por complexos processos evolutivos ao longo de milhares de anos.

Além disso, o Promontório de Jericoacoara possui uma complexidade de unidades geoambientais, configuradas tanto pelos aspectos ambientais atuantes no local quanto pelo processo de *bypass* litorâneo que continuamente é executado.

Essas unidades conferem à região um vasto potencial turístico a ser explorado, cujas taxas de ocupação foram ampliadas com a construção de um aeroporto regional em suas proximidades. Apesar disso, o Promontório é uma área quase totalmente abrangida por uma unidade de conservação federal de proteção integral. Portanto, apesar desse crescimento turístico, ainda possui ambientes abióticos com elevado grau de conservação, conforme é possível depreender nos mapas e cartas-imagens produzidas neste trabalho.

Esses produtos foram elaborados a partir da aplicação de métodos de mapeamentos amplamente discutidos na literatura acadêmica e científica. No caso dos mapeamentos históricos das linhas de costa e dos depósitos eólicos ativos, este estudo aplicou aqueles que melhor atenderam aos objetivos propostos, sendo o método de interpretação visual utilizado na delimitação da linha de costa, e a extração das feições correspondentes aos depósitos eólicos ativos, realizada a partir da classificação supervisionada de composições RGB processadas por meio da Análise de Componentes Principais (ACP).

Com isso, foram calculadas taxas de variação da linha de costa e as áreas de avanço dos depósitos eólicos ativos, especialmente aqueles correspondentes aos campos de dunas móveis, a fim de evidenciar e caracterizar o processo de *bypass* litorâneo no Promontório. Essa etapa foi executada por meio de processamentos no *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e pela aplicação do método de Mudança do Polígono. A aplicação de ambas as técnicas se apresentou adequada aos objetivos estabelecidos, visto que elas se complementaram para alcançar os resultados necessários para a análise da evolução da linha de costa e dos campos de dunas associados ao Promontório.

Portanto, ao estabelecer a classificação dinâmica com base nos resultados dos métodos e das técnicas ora aplicadas, este trabalho constatou que a estabilidade em 3 setores estabelecidos para a análise segmentada da linha de costa do Promontório de Jericoacoara (A, B e C), tendência a progradação em 1 setor (D), e extrema progradação no Setor E, o que significa que, estatisticamente, esse litoral apresenta 44,68% de significativa progradação, 22,53% de significativa estabilidade, e 32,79% de significativa erosão no total da costa mapeada. Nesse sentido, o Promontório apresentou pouca tendência à erodibilidade no período investigado.

A estabilidade do litoral ora apresentada permitiu que uma extensão considerável de sedimentos pudesse ser reinserida na dinâmica costeira, sendo constatado na porção NE do Promontório uma área de avanço na ordem de 2,51 km<sup>2</sup>, aproximadamente, que foram migrados a uma taxa de 21,41 m/a.

Quanto à progradação em tendência e de forma extrema, ela foi evidenciada a partir do aporte dos sedimentos, na faixa de praia a sotamar, oriundos principalmente do *bypass* executado pelas dunas do tipo barcana – cuja mobilidade se processou na direção NE-SW, a uma taxa média geral de 16,29 m/a.

Apesar do efeito barreira produzido pelo Promontório de Jericoacoara, constatou-se nesta análise que ele não bloqueia completamente o movimento das areias em direção a oeste. Aliás, diferentemente do que geralmente se observa em pontas e promontórios do litoral do Ceará, a extrema progradação evidenciada a sotamar da área deste estudo se deve ao pleno funcionamento do processo de *bypass* ao longo dos últimos 35 anos.

A constatação ora descrita foi possível uma vez que os métodos aplicados permitiram a identificação das áreas que são diretamente afetadas pelo aporte de

sedimentos do processo de *bypass* no Promontório de Jericoacoara – no caso à área diretamente associada ao transpasse das dunas situadas próximas à Vila de Jericoacoara e à extrema variação da barreira litorânea situada no extremo oeste do Promontório.

Com base nisso, esta análise multitemporal do Promontório permitiu caracterizar o papel dos movimentos da linha de costa e dos campos de dunas a partir dos aspectos geodinâmicos associados, e possibilitou confirmar a tese ora estabelecida, tendo em vista que a ocupação dos promontórios do litoral do Ceará pode comprometer o suprimento de sedimentos (retroalimentação) em depósitos sedimentares adjacentes, provocando erosão das formas deposicionais associadas, especialmente quando a ação ocorre de forma desordenada, sem o devido planejamento territorial.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento voltadas à análise costeira, especialmente no que tange os mapeamentos em escala multitemporal, constitui-se uma ferramenta efetiva para o entendimento dos aspectos geodinâmicos associados a pontas e promontórios no Ceará, além de os resultados alcançados poderem potencializar a efetividade de ações voltadas ao monitoramento ambiental, à gestão costeira e ao ordenamento territorial de ambientes vulneráveis aos processos de uso e ocupação do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; VITAL, H. Multitemporal Analysis of Multispectral Landsat 5 - Thematic Mapper Images for Monitoring and Evaluation of Coastal Morphodynamic on the Northeastern Coast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí-SC, 35, 2003. p. 279–283. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40928772>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- ANKRAH, J.; MONTEIRO, A.; MADUREIRA, H. Bibliometric Analysis of Data Sources and Tools for Shoreline Change Analysis and Detection. **Sustainability**, [s.l.], 14, 4895, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14094895>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- ARAUJO, T. D.; FONSECA, E. L. Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando sensoriamento remoto orbital. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 280-295, 2016.
- ARRUDA, M. G. C. **Parque Nacional de Jericoacoara: Zoneamento Ambiental para o plano de manejo**. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- BERTALANFFY, L. Von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis (RJ): Editora Vozes, 1975.
- BIRD, Eric C. F. **Coastal geomorphology: an introduction** (English Edition). Chichester: Ed. Wiley, 2011.
- BOAK, E.H.; TURNER, I. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], 21, 2005. p. 688–703. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- BOGLE, R.; REDSTEER, M. H.; VOGEL, J. Field measurement and analysis of climatic factors affecting dune mobility near Grand Falls on the Navajo Nation, southwestern United States. **Geomorphology**, [s.l.], vol. 228, 2015. p. 41-51. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.023>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- BOYE, C. B.; ADDO, K. A.; WIAFE, G.; DZIGBODI-ADJIMAH, K. Spatio-temporal analyses of shoreline change in the Western Region of Ghana. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], 22, 2018. p. 769-776. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0607-z>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- BRANDÃO, R. de L.; FREITAS, L. C. B. (org.) **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16726/1/Geodiversidade\\_CE.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16726/1/Geodiversidade_CE.pdf). Acesso em: 14 ago. 2019.
- BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Relatório do Meio Físico: Subsídios ao Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara**. Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt->

br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-jericoacoara/arquivos/relatorio\_meiofisico.pdf. Acesso em: 21/06/2022.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara** – Encarte 1. Brasília: 2011a. 53p.

BURNINGHAM, H.; FERNANDEZ-NUNEZ, M. Shoreline change analysis. *In: Sandy Beach Morphodynamics*. Jackson, D.W.T., Short, A.D., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; p. 439–460.

CARNEIRO, M. C. S. M. **Monitoramento das dunas utilizando o sistema de mapeamento a laser (lidar) aerotransportável**: um estudo do campo de dunas do município de Rio do Fogo, RN, Brasil. 2011. 132f. Tese de Doutorado. - Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

CARVALHO, A. M.; MAIA, L. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. Caracterização do Processo de Migração Das Dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, Costa Noroeste do Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, v.39. n. 1, 2006. p.44-52.

CARVALHO, A. M., *et al.* Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil: Registro ímpar de um paleo-sistema eólico costeiro. **SIGEP**, [s.l.], 118, 2008. p 121-130.

CASTRO, L. Q.; ROCHA, T. B.; VIEIRA, R. Mapeamento da linha de costa e avaliação da vulnerabilidade e susceptibilidade à erosão costeira entre a foz do Rio São João e a foz do Rio Una – Cabo Frio/RJ. **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, 2020, 53 (Especial): p. 7-24. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/arquivosdecienciadomar/article/download/42696/165449>. Acesso em: 02 jun. 2022.

CAVALCANTI, J. A. D.; CAVALCANTE, J. C. Evolução geológica. *In: BRANDÃO, Ricardo de Lima; FREITAS, Luís Carlos Bastos (org.). Geodiversidade do estado do Ceará*. Fortaleza : CPRM, 2014. p. 19-34.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre o Nordeste**. 2014. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=967>. Acesso em: 23 jun. 2022.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal – Cruz**. 2021. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 23 jun. 2022.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal - Jijoca de Jericoacoara**. 2021. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 23 jun. 2022.

CEARÁ. Superintendência Estadual de Meio Ambiente. **Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará: zona costeira e unidades de conservação costeiras.** Relatório final de caracterização ambiental e dos mapeamentos. GEOAMBIENTE. Fortaleza: SEMACE, 2016. 475 p.

CEARÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Consolidado do Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Ceará – ZEEC.** Fortaleza: SEMA, 2022.

CEARÁ. Superintendência de Obras Públicas – SOP-CE. **Estudo de capacidade de suporte ou de carga da Vila de Jericoacoara, município de Jijoca de Jericoacoara, Ceará, tendo como fator limitante os recursos hídricos.** Fortaleza: SOP-CE, 2022.

CHEN, C. *et al.* Extraction of bridges over water from high-resolution optical remote-sensing images based on mathematical morphology. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], Vol. 35, n. 10, p. 3664–3682, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.915437>. Acesso em: 30 ago. 2021.

CHEN, C. *et al.* Coastline information extraction based on the tasseled cap transformation of Landsat-8 OLI images. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], vol. 217, p 281–291, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.021>. Acesso em: 30 ago. 2021.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia.** HUCITEC/EDUSP, São Paulo, 1979.

CLAUDINO-SALES, V. C. **Geografia, Sistemas e Análise Ambiental:** Abordagem Crítica. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 16, p. 125-141, 2004.

CLAUDINO-SALES, V. C. Os litorais cearenses. *In*: SILVA, J. B. da; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (org.). **Ceará: um novo olhar geográfico.** 2. ed. atual. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 387-406.

CLAUDINO-SALES, V. C. **Megageomorfologia do Estado do Ceará.** 1. ed. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas, 2016. 90 p.

CLAUDINO-SALES, V. C.; PEUVAST, Jean-Pierre. Geomorfologia da Zona Costeira do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *In*: SILVA, J. B. *et. al.* **Litoral e Sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro.** Fortaleza, Expressão Gráfica, 2006. p. 317-327.

CLAUDINO-SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 2. 2007. p. 7-21.

CLAUDINO-SALES, V. C.; WANG, P; CARVALHO, A. M. Interactions between various headlands, beaches and dunes in the coast of Ceara, Northeast Brazil.

**Journal of Coastal Research**, [s.l.], vol. 34, n. 2, 2017. p. 413-428.

CONCEIÇÃO, T. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A. Uso do método do polígono de mudança para caracterização do comportamento da linha de costa do município do Rio Grande, entre os anos de 2004 a 2018. **GeoUECE (online)**, Fortaleza, v. 09, n. 16, 2020. p. 123-134. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2106/3633>. Acesso em: 29 jun. 2022.

CRAPOULET, A.; HÉQUETTE, A.; MARIN, D.; LEVOY, F.; BRETEL, P. Variations in the response of the dune coast of northern France to major storms as a function of available beach sediment volume. **Earth Surface Process and Landforms**, [s.l.], 42, 2017. p. 1603-1622. Disponível em <https://doi.org/10.1002/esp.4098>. Acesso em: 28 jun. 2022.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. Ver. Campinas, SP: IG/Unicamp, 1992. 170 p

DURÁN, G. Y. B. **Análise multitemporal de uso e cobertura da terra nas planícies costeiras do Baixo Jaguaribe e de Camocim no Estado do Ceará com fins de determinação de mudanças e relações com a instalação de parques eólicos**. 2020. 290 f. Tese (doutorado) – Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

EKERCIN, S. Coastline change assessment at the Aegean Sea Coasts in Turkey using multitemporal Landsat imagery. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], 23, 2007, p. 691-698. Disponível em <https://doi.org/10.2112/04-0398.1>. Acesso em: 28 jun. 2022.

ELORZA, M. G. **Geomorfología**. Madrid: Pearson Educación S.A., 2008. 920p.

FERNANDES, L. R.; AMARAL, R. F. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s.l.], 13, 2013. p. 45-49. Disponível em <https://www.scielo.mec.pt/pdf/rgci/v13n1/v13n1a04.pdf>. Acesso: em 31 jul. 2019.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], vol. 1, n. 1, 2005. p. 15-28. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909>. Acesso em: 13 mai. 2021.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G.. Sensoriamento Remoto para geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G. (org.): **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 12-35.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação ao sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FUSHITA, A. T.; REIS, R. R.; FARESIN, L.; SANTOS, J. E. Desempenho da classificação supervisionada em diferentes programas: comparação por meio do uso da terra e do índice de naturalidade da paisagem. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2013, p. 6465.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid from Space. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], 58, 1996. p. 257-266.

GOMES, A. R.; MALDONATO, F. D. Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido. **Anais [...]**. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 959-967.

GÓMEZ-PAZO, A.; PAYO, A.; PAZ-DELGADO, M. V.; DELGADILLO-CALZADILLA, M. A. Open Digital Shoreline Analysis System: ODSAS v1.0. **Journal of Marine Science and Engineering**, [s.l.], 10, 26, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.3390/jmse10010026>. Acesso em: 28 abr. 2022.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 652 p.

GUERRA, R. G. P.; MOREIRA, A. de S.; SILVA, J. R. M.; NASCIMENTO, H. H. O.; BARROS, E. L. Migração de dunas e o processo de soterramento no litoral de Barroquinha, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, 53 (Especial), 2020. p. 100-109.

GULLIVER, F. P. Shoreline Topography. **Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences**, [s.l.], vol. 34, no. 8, 1899, p. 151–258. Disponível em <https://doi.org/10.2307/20020880>. Acesso em: 21 abr. 2022.

HAPKE, C. J.; HIMMELSTOSS, E. A.; KRATZMANN, M. G.; LIST, J.H.; THIELER, E. R. **National assessment of shoreline change**: historical shoreline change along the New England and Mid-Atlantic coasts: U.S. Geological Survey OpenFile Report 2010-1118, 2011, 57p.

HESP, P. A. Conceptual models of the evolution of transgressive dune field systems. **Geomorphology**, vol. 199, 2013. p. 138-149. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.014>. Acesso em: 21 abr. 2021.

HIMMELSTOSS, E.A.; HENDERSON, R.E.; KRATZMANN, M.G.; FARRIS, A.S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091, 2021. 104 p., Disponível em: <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>. Acesso em: 21 abr. 2021.

HSU, John R.C. Engineering applications of coastal geomorphology. *In*:



SCHAWARTZ, M. L. (org.). **Encyclopedia of coastal science**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 415-419.

HUGENHOLTZ, C. H.; LEVIN, N.; BARCHYN, T. E.; BADDOCK, M. C. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. **Earth-Science Reviews**, [s.l.], vol. 111, 2012. p. 319–334. Disponível em: doi:10.1016/j.earscirev.2011.11.006. Acesso em: 21 abr. 2022.

IBGE. **Resolução nº 1/2005**. Resolução do presidente: altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 fev. 2005. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR\_01\_25fev2005.p df. Acesso em: 17 fev. 2014.

JACKSON JR., C. W.; ALEXANDER, C. R.; BUSH, D. M. Application of the AMBUR package for spatial-temporal analysis of shoreline change: Jekyll Island, Georgia, USA. **Computers & Geosciences**, [s.l.], 41, 2012. p. 199-207. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.009. Acesso em: 11 set. 2017.

JULIO, D.; MAGINI, C.; MAIA, L. P.; CASTRO, J. W. A. Ponta de Jericoacoara: belo promontório de rochas neoproterozoicas associadas a praia e dunas quaternárias com registros de variações do nível do mar. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M.; SALLUN FILHO, W.; QUEIROZ, E. T.; (ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. v. 3. Brasília: CPRM, 2013. p. 85-98.

JULIO, K. de. **A Ponta de Jericoacoara e seu potencial como sítio geológico no Brasil no patrimônio Mundial** (World Heritage Comittee – UNESCO). 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

KELLY, J.T.; GONTZ, A.M. Using GPS-surveyed intertidal zones to determine the validity of shorelines automatically mapped by Landsat water indices. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, [s.l.], vol. 65, 2018; 65: p.92–104. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.007. Acesso em: 24 abr. 2021.

LACERDA, L. D. Transformações na interface continente-oceano devido a mudanças globais. In: 62o Reunião Anual da SBPC, 2010, Natal. **Anais [...]**. Resumos de Posters & Conferências. São Paulo: SBPC, 2010. v. 1. p. 1-3.

LACERDA, L. D. de; GODOY, M. D.; MAIA, L. P. Mudanças climáticas globais: Caçando indicadores no Nordeste Brasileiro. **Ciência Hoje**, [s.l.], v. 46, p. 32-37, 2010.

LIMA, T.; FERNANDÉZ- FERNANDÉZ, S.; ESPINOZA, J. M. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; BERNARDES, C. End Point Rate Tool for QGIS (EPR4Q): validation using DSAS and AMBUR. **ISPRS International Journal Geo-Information**, [s.l.], 10, 162, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijgi10030162. Acesso em: 28 abr. 2022.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports**, [s.l.], 8, 2018. p. 1–11. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>. Acesso em: 28 jun. 2022.

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**, [s.l.], 42, 2014. p. 869-876. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s12524-013-0334-8>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MAIA, L. P. *et al.* **Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos bechrocks e eolianitos da região costeira do Ceará**. Boletim XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, [s.l.], 1997. p. 177-181.

MAIA L.P.; FREIRE, G.S.S.; LACERDA L.D. Accelerated dune migration and sand transport during El Niño events along the NE Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, [s.l.], 21 (6): 2005. p. 1121-1126.

McFEETERS, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remoting Sensing**, [s.l.], 7, 1996. p. 1425-1432.

MEIRA, S. A. “**Pedras que cantam**”: o patrimônio geológico do Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará, Brasil. 169f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

MEIRELES, A. J. A.. Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície Costeira da Cpongua, município de Cascavel, litoral leste cearense. **Confins**, Paris, v. 2, p. 1, 2008.

MEIRELES, A. J. A. Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE-BR. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, 2011. p. 169-190. Disponível em: <https://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/663>. Acesso em: 31 jul. 2019.

MEIRELES, A. J. A. **Geomorfologia costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 489 p.

MEIRELES, A. J. A.; DANTAS, A. J. A.; SILVA, E. V. **Parque Nacional de Jericoacoara: trilhas para a sustentabilidade**. Fortaleza: Edições UFC, 2011. 157 p.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A.; PEREIRA FILHO, N. de S. Campos de dunas em Jericoacoara: intervenções humanas como possível indicador de mudança na dinâmica morfológica. **Confins**, Paris, 34, 2018. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/12884>. Acesso em: 24 jun. 2022.

MEIRELES, A. J. A. & GURGEL JR., J.B. Dinâmica costeira em áreas com dunas móveis associadas a promontórios, ao longo do litoral cearense. 38º Cong. Bras. Geol., Balneário de Camboriú/SC. **Anais [...]** V1, 1994. p. 403.

MEIRELES, A. J. A *et al.* Integração Dos Indicadores Geoambientais de Flutuações

do Nível Relativo do Mar e de Mudanças Climáticas no Litoral Cearense. *In: Mercator – Revista de Geografia da UFC*, Fortaleza: UFC, ano 4, n. 8, 2005. p.109-134.

MEIRELES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S. I. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/Ceará. *Mercator*, Fortaleza, v. 1, n. 1, 2002. p. 79-94. Disponível em <https://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/197>. Acesso em: 03 ago. 2019.

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

MOORE, L. J. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, [Royal Palm Beach, Florida], 16, 1, 2000. p. 111-124.

MOORE, L. J.; RUGGIERO, P.; LIST, J. H. Comparing mean high water and high water line shorelines: should proxy-datum offsets be incorporated into shoreline change analysis? *Journal of Coastal Research*, [s./], jul. 2006, vol 22, n. 4, p. 894-905. Disponível em <https://www.jstor.org/stable/4300347>. Acesso em: 25 mai. 2022.

MORAIS, J. O. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. *In: Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. LIMA, L. C.; SOUZA, M. J. N & MORAIS, J. O. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 106-184.

MORAIS, J. O.; CARVALHO, A. M.; MAIA, L. P. Dunas da Região Costeira do Estado do Ceará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38. Balneário Camboriú/SC. *Anais [...]* v.1, 1994. p. 405.

MORAIS, J. O *et al.* Erosão e progradação do litoral do Ceará. *In: DIETER MUEHE (org). Erosão e progradação do litoral do Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA. v. 1, 2006. p. 131-154.

MORAIS, J. O. *et al.* Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, [s./], 8(2), 2008. p. 61-76. Disponível em: [https://www.aprh.pt/rgci/pfd/rgci-132\\_morais.pdf](https://www.aprh.pt/rgci/pfd/rgci-132_morais.pdf). Acesso em: 24 abr. 2021.

MORENO, Luis J. Headland-bay Beach. *In: SCHAWARTZ, M. L. (ed.). Encyclopedia of coastal science*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 508-511.

MUEHE, DIETER (org). *Erosão e progradação do litoral do Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA. v. 1, 2006. p. 131-154.

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. p. 160-190.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *In: Revista Mercator*, Ano 04, n. 07, Fortaleza, 2005. p. 97-110. Disponível em:

<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewFile/113/85>. Acesso em: 10 jun. 2018.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações**. 2 ed., São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1995.

NUNES, F. C.; SILVA, E. F.; VILAS BOAS, G. S. **Grupo Barreiras**: característica, gênese e evidências de neotectonismo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 31p.

OLIVEIRA, G. G. de. **Análise integrada da linha de costa entre o Riacho Barro Preto e Rio Catu, Aquiraz-CE**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. 211f.

OLIVEIRA, U. R. ; CUNHA, J. A. ; LEAL, K. B. ; SIMOES, R. S. ; TABAJARA, L. . Regeneração de dunas frontais no balneário do Mar Grosso, São José do Norte, RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, [s.l.], v. 1, 2019. p. 42-61. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/bgg/article/download/88328/55050/0>. Acesso em: 29 jun. 2022.

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](http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/3.2.2_ShorelineGeometry.pdf) Acesso em: 03 jul. 2022.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; OLIVEIRA, A. P. G.; BOLOGNEZ, A. K. A. A. C. Classificação de Imagens. *In*: PARANHOS FILHO, A. C. *et al.* (org.). **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá: PR: Uniedusul, 2021. p. 105-134.

PARDO-PASCUAL, J. E.; ALMONACID-CABALLER, J.; RUIZ, L. A.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], vol 123, 2012. p. 1-11. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.024>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PEREIRA FILHO, N. S. **Análise da dinâmica-temporal (1973 a 2014) das dunas de Jericoacoara, Ceará, Brasil**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2015. 85 f.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Formas Litorâneas: barreiras no litoral 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. 383-389.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M.; COSTA, F. G.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; GOMES, F. E. M.; BESSA, M. D. M. R.; LIMA, A. F.; HOLANDA, J. L. R.; FREIRE, D. P. C. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Projeto Geologia e

Recursos Minerais do Estado do Ceará. Escala de 1:500.000. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil/CPRM, 2020.

PINHEIRO, M. V. A. **Evolução geoambiental e geohistórica das dunas costeiras do município de Fortaleza, CE.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. 182f.

PINHEIRO, M. V. A. **Evolução geoambiental das dunas de transpasse do estado do Ceará.** Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. 152 f.

POLLARD, J. A.; SPENCER, T.; BROOKS, S. M.; CHRISTIE, E. K.; MÖLLER, I. Understanding spatio-temporal barrier dynamics through the use of multiple shoreline proxies. **Geomorphology**, [s.l.], 354, 2020. 107058. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107058>. Acesso em: 28 jun. 2022.

QUARTAROLI, C. F.; BATISTELLA, M. **Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. 146 p.

ROCHA, M. N. **Estimativa de transporte eólico na duna costeira móvel do Pico Alto, Paracuru, Ceará.** 2014. 91f. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional em 2014) – Universidade Estadual do Ceará, 2014.

ROCHA, M. N. **Dinâmica dos depósitos eólicos de bypass na planície costeira de Paracuru, Brasil:** subsídio para ações de contenção e manejo. 148 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2017. 148 f.

ROCHA-CAMPOS, A. C.; SANTOS, P. R. dos. Ação Geológica do Gelo. *In*: TEIXEIRA, W. *et al* (editores). **Decifrando a Terra.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 215-246.

RODRIGUES, M. *et al.* Uma revisão histórica acerca do conhecimento sobre a sedimentação atual, em ambientes marinhos submersos, do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Oceanografia**, [s.l.], 47 (1), 1999. p. 91-106. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rbo/article/view/6860/8329>. Acesso em: 31 jul. 2021.

RODRIGUES, M. T. **Comportamento de Sistemas de Informações Geográficas por meio de classificação supervisionada em diferentes bacias hidrográficas.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2015. 118 f.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; CAMPOS, S. Desempenho da classificação supervisionada em diferentes sistemas de informação geográfica. *In*: CAMPOS, S.; PIROLI, E. L.; BENINI, S. M. (orgs). **Geoprocessamento aplicado a análises ambientais.** Tupã: ANAP, 2015. p. 32-44.

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

SALMON, C.; DUVAT, V. K. E.; LAURENT, V. Human- and climate-driven shoreline changes on a remote mountainous tropical Pacific Island: Tubuai, French Polynesia. **Anthropocene**, [s.l.], 2019, 25, 100191. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100191>. Acesso em: 28 jun. 2022.

SANKAR, R. D.; MURRAY, M. S.; WELLS, P. Decadal scale patterns of shoreline variability in Paulatuk, N.W.T, Canada. **Polar Geography** [s.l.], Vol. 42, n. 3, 2019. p. 196–213. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1088937X.2019.1597395>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. Altimetria GNSS de precisão aplicada ao monitoramento da dinâmica sedimentar costeira de curta duração em escala regional. **BCG – Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, nº 4, out-dez, 2013. p. 624-638.

SCHWEITZER, A. **Monitoramento da linha de costa: uma análise de métodos e indicadores aplicados em investigações na escala de eventos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, Florianópolis, 2013. 130p.

SHALOWITZ, A. L. Shore and Sea Boundaries, with Special Reference to the Interpretation and Use of Coast and Geodetic Survey Data, vol. 2: **Interpretation and Use of Coast and Geodetic Survey Data US Government Printing Office**, Washington, DC, 1964. Disponível em <https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/shore-and-sea-boundaries.html>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SILVA NETO, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; FREIRES, E. V.; SOUSA, W. R. N.; SILVA, M. T. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 13, n. 01, 2020. p. 143-155. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p143-155>. Acesso em: 13 mai. 2022.

SILVA, E. V. **Geoecologia da paisagem do litoral cearense: uma abordagem ao nível de escala regional e tipológica**. Tese (Professor titular) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Fortaleza, 1998.

SILVA, F. E.; AMARO, V. E.; MATOS, M. F. A. Análise multitemporal do campo de dunas móveis do litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6966-6973. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4JGQ>. Acesso em: 01 ago. 2019.

SILVA, M. J. B. ; SERPA, C. G. Estudo da evolução morfodinâmica do campo de dunas da praia do Cassino (Brasil) a partir de geotecnologias. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 11, 2015. p. 1-13. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/5072>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SMITH, M.J., CROMLEY, R.G. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. **Transactions in GIS**, [s.l.], 16, 1, 2012. p. 3-15. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. Biogeografia, n. 14. Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia: São Paulo, 1978.

SOUSA, R. S.; VALLADARES, G. S.; G. M. Mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra da planície costeira do estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], vol. 9, n. 05, 2016. p. 1606-1620. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233812>. Acesso em: 21 abr. 2022.

SOUSA, W. R. N. *et al.* Extração automática de linhas de costa aplicada ao monitoramento de processos de erosão costeira. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2017. p. 6423-6429. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3PSMCSC>. Acesso em: 09 jul. 2019.

SOUSA, W. R. N.; SOUTO, M. V. S.; MATOS, S. S.; DUARTE, C. R.; SALGUEIRO, A. R. G. N. L.; SILVA NETO, C. A. Creation of a coastal evolution prognostic model using shoreline historical data and techniques of digital image processing in a GIS environment for generating future scenarios. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], 39, 13, 2018. p. 4416-4430. Disponível em: <https://doi:10.1080/01431161.2018.1455240>. Acesso em: 13 abr. 2021.

SOUZA, C. D. *et al.* Emprego de imagens Landsat na análise temporal de linha de costa na porção oeste do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 29, nº 2, 2016, p. 181-194.

SOUZA, C. R. G. Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiros e erosão costeira. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, Volume Especial 30 anos, 2012. p. 307-371. Disponível em <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53853/57816>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SOUZA, F.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada-PE utilizando análise por componentes principais (ACP). **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n. 3, set/dez. 2007.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia da UFC**, Vol.1, Fortaleza: UFC, 1988. p. 73-91.

SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. *In*: **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. LIMA, L.C.; SOUZA, M. J. N & MORAIS, J. O. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 6-104.

SOUZA, W. F. **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução**

**espaço-temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará-Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. 134 f.

STIVE, M. J. F. *et al.* Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal engineering**, [s.l.], v. 47, n. 2, 2002. p. 211-235.

SUGUIO, K. **Mudanças ambientais da Terra.** São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336 p.

TASSINARI, C. C. G. Tectônica Global *In*: TEIXEIRA, W. *et al.* (editores). **Decifrando a Terra.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 97-112.

TINLEY, K. F. Coastal dunes of South Africa. **South Africa National Scientific Programmers' Report**, Pretoria: Foundation for Research Development, 1985.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** FIBGE – SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

UCHOA, E. B.; CASTRO, N. A. Processamento Digital de Imagens: Análise em Componentes Principais – ACP (Técnica de Crósta) e Razão de Bandas Landsat – TM para Realçar Mármore e/ou Minerais Carbonáticos do Município de Independência – CE. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza, Vol. 24, n. 1, 28 - 35, 2011. p. 138-145.

VALE, J. R. B. *et al.* Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, [s.l.], v. 4, n. 13, 2018. p. 26-44. Disponível em: <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n13p26-44>. Acesso em: 01 abr. 2022.

VEADO, Ricardo ad-Víncula. **O Geossistema:** embasamento teórico e metodológico (Relatório de qualificação). UNESP: Rio Claro, 1995.

VICENS, R. S.; RODRIGUEZ, J. M.; CRONEMBERGER, F. M. A paisagem físico-geográfica: representação cartográfica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 2, jul./dez. 2019. p. 2-17.

VIEIRA JUNIOR, J. A. **Análise comparativa dos métodos de classificação de imagem de alta resolução espacial para mapeamento da cobertura do solo.** Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. 32 f.

VOS, K.; HARLEY, M. D.; SPLINTER, K. D.; SIMMONS, J. A.; TURNER, I. L. Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery. **Coastal Engineering**, [s.l.], 150, 2019. p. 160–174. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.004>. Acesso em: 28 jun. 2022.

XIMENES NETO, A. R.; PINHEIRO, M. S.; VASCONCELOS, Y. G.; LEISNER, M. M.; PAULA, D. P. Padrão deposicional misto siliciclástico-carbonático na interação praia-duna: o caso da Praia do Preá, CE (NE-Brasil). **Quaternary and Environmental**



**Geosciences**, [s.l.], 12 (1), 2021. p; 29-35. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/73244/44250>. Acesso em: 21 mai. 2022.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], Vol. 27, n. 14, 20, 2006. p. 3025–3033. Disponível em: <https://doi:10.1080/01431160600589179>. Acesso em: 03 jul. 2019.

XU, N. Detecting coastline change with all available Landsat data over 1986–2015: a case study for the state of Texas, USA. **Atmosphere**, [s.l.], 9 (3), 2018:107. Disponível em: <https://doi:10.3390/atmos9030107>. Acesso em: 03 jul. 2019.

XU, N; GONG, P. Significant coastline changes in China during 1991–2015 tracked by Landsat data. **Science Bulletin**, [s.l.], 63, 2018. p. 883–886. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.05.032>. Acesso em: 03 jul. 2019.

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.