



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

FRANCISCO JOSÉ MACIEL DE MOURA

*Dinâmica de Barreiras Costeiras na Costa Semiárida Brasileira:
O Caso do Litoral de Acaraú e Itarema – Ceará*

FORTALEZA

2018

FRANCISCO JOSÉ MACIEL DE MOURA

***Dinâmica de Barreiras Costeiras na Costa Semiárida Brasileira:
O Caso do Litoral de Acaraú e Itarema – Ceará***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos obrigatórios para a obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos

Orientador: Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes

Coorientadora: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M886d Moura, Francisco José Maciel de.
Dinâmica de barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira : o caso do litoral de Acaraú e Itarema -
Ceará / Francisco José Maciel de Moura. – 2018.
267 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes.
Coorientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

1. Barreiras costeiras. 2. Costa Semiárida. 3. Dinâmica morfológica e sedimentar. 4. Evolução. I. Título.
CDD 551.46

FRANCISCO JOSÉ MACIEL DE MOURA

**Dinâmica de Barreiras Costeiras na Costa Semiárida Brasileira:
O Caso do Litoral de Acaraú e Itarema – Ceará**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Aprovada em 29 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR
Universidade Federal do Ceará (Orientador)

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR
Universidade Federal do Ceará (Coorientadora)

Profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR
Universidade Federal do Ceará (Examinadora Interna ao Programa)

Dra. Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR
Universidade Federal do Ceará (Examinadora Interna à Instituição)

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles
Departamento de Geografia
Universidade Federal do Ceará (Examinador Externo ao Programa)

Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Pessoa
Curso de Geografia
Universidade Estadual do Ceará (Examinador Externo à Instituição)

Dedico este trabalho aos meus pais, Francisca (Quinha) e José (Dedé), por serem meu exemplo maior e melhor na vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela existência e pela luz divina, sem a qual seria impossível seguir em frente.

Aos meus pais, por serem os primeiros a acreditar neste sonho e por estarem sempre ao meu lado, me ensinando no melhor caminho a seguir nos estudos, no trabalho e na vida.

Aos meus tios Antônio e Francly, que são como pais, tendo me dado total apoio e confiança desde a minha chegada à Fortaleza para cursar a graduação.

Ao meu irmão Filipe Maciel, pelo companheiro e apoio em todos os momentos.

À minha família, por ser sempre a base forte sobre a qual assentamos nossos anseios.

Aos meus orientadores, professor doutor Jáder Onofre de Moraes e professora doutora Lidriana de Souza Pinheiro, que me deram a primeira oportunidade de ingressar no meio científico ainda durante a graduação, e por terem me orientado durante toda a trajetória até a Pós-Graduação. Meu muito obrigado por terem acreditado e pelos ensinamentos valiosos.

Às professoras doutoras Maria Ozilea Bezerra Menezes (UFC), Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco (UFC), e aos professores doutores Antônio Jeovah de Andrade Meireles (UFC), Paulo Roberto Silva Pessoa (UECE), pela disponibilidade em contribuir no melhoramento deste trabalho através do compartilhamento do seu conhecimento. Sou imensamente grato pela oportunidade de contar seu apoio nesta etapa tão importante da minha vida.

Em especial, aos amigos que estiveram mais presentes nesta reta final de doutorado: Eduardo Lacerda e Renan Pinheiro (companheiros desde o primeiro ano de graduação, há dez anos) Filipe Maciel (meu irmão), Antônio Rodrigues (Tião) e Francisco Oricélio, inicialmente companheiros de laboratório e de campo, e há muito grandes amigos. Muito obrigado pelo auxílio e pelos momentos de convivência.

A todos os amigos do grupo de pesquisa LGCO-UECE, que são numerosos e de diversas gerações, em especial: prof. Davis Pereira de Paula (UECE), Prof. Clairton Ciarlini (UECE), prof. Mailton Nogueira (IFCE), profa. Mariana Navarro (UECE), prof. Francisco Assis (SEDUC), prof. Miguel da Guia (IFRS), prof. Paulo Henrique (UNILAB), prof. Carlos Farrapeira (FATECI), profa. Brígida Miola (UNIFOR), profa. Andrea Almeida (UECE), profa. Marisa Ribeiro (IFRN), prof. Cleuton Almeida (IFPI),

Profa. Judária Maia (FANOR), Profa. Raquel Soares (INTA), prof. Jorge de Abreu (UESPI), profa. Neide (UESPI), profa. Tatiana Falcão (UNIFOR), profa. Glacianne Maia (UNIFOR), profa. Laldiane Pinheiro (UNIFOR), prof. Ádamo de Figueiredo (UNINASSAU), prof. Marcos de Brito (SEDUC), prof. Marcus Vinicius (UFC), Dra. Carolina Braga (SEMACE), Dr. Leonardo Borralho (SEMA), Ane, Ana, Adina, Adryane, Aluízio Júnior, Arthur, Carol, David Hélio, Emanuel, Érica, Felipe Lauro, Giovana, Guilherme, Gustavo, Jailson, Jarllys, João Abreu, João Sérgio, Liana, Luana, Luciano de Paula, Mariana Aquino, Mariana Araújo, Matheus, Melvin, Micaelle, Nicole, Ortência, Patrícia da Luz, Paulo André, Ramon, Rhaiane, Renan Lima, Rodrigo, Samara, Silvio, Sílvia, Tarcyana, Valdir, Valberglei e tantos outros amigos e colegas que fizeram ou fazem parte desse grupo, e que de alguma maneira contribuíram para o meu crescimento acadêmico-profissional e como pessoa. Há muitos outros, mas a memória não permitiu lembrar-se de todos na ocasião em que escrevia esses agradecimentos.

Aos colegas de doutorado pelos ricos momentos de aprendizado e companheirismo, em especial: Renan Pinheiro, Eduardo Lacerda, Samuel Valentim, Brígida Miola, Juliana Gaeta e Pollyana Morais.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, em especial aos que tive oportunidade de realizar disciplinas durante o doutorado: Profa. Dra. Maria Oziléa Bezerra Menezes, Profa. Dra. Helena Matthews-Cascon, Profa. Dra. Kamila Vieira, Prof. Dr. Luis Ernesto, Prof. Dr. Vicente Faria, Prof. Dr. Marcelo de Oliveira, e aos professores dos demais programas de pós-graduação da Universidade Federal do Ceará em que tive oportunidade de realizar disciplinas durante o doutorado: Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles, Prof. Dr. George Satander Sá Freire, Prof. Dr. César Ulisses, Prof. Dr. Daniel Rodrigues. Muito obrigado pelos valiosos ensinamentos prestados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais – PPGCMT - LABOMAR/UFC, por oferecer as condições necessárias para a realização do doutorado, através da figura especial da Isabela Abreu, secretária do PPGCMT. Muito obrigado Isabela pela enorme ajuda e pelos momentos de convívio agradável.

Ao Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC, através de todos os seus funcionários e estudantes. Obrigado especial ao “seu Murilo” (biblioteca) e “piu piu” (motorista).

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO – Universidade Estadual do Ceará – UECE, por toda a infraestrutura de equipamentos e recursos humanos disponibilizados para os trabalhos de campo, laboratório e gabinete.

À Universidade Estadual do Ceará, através do Programa de Pós-Graduação em Geografia (onde está instalado o LGCO) e do Setor de Transportes, que possibilitaram a infraestrutura de laboratório e de transporte para realização dos trabalhos de laboratório e de campo, respectivamente. Sou extremamente grato a essa casa, da qual fui aluno de graduação e estou tendo a oportunidade de atuar como professor. Muito obrigado a todos os funcionários e professores, em especial ao Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Pessoa e Prof. Dr. Davis Pereira de Paula (membros do LGCO), Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos e Prof. Dr. Otávio José Lemos Costa (coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE), Adriana e Nívea (secretárias do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE) e Aparecida (nossa guerreira responsável pela manutenção da ordem do prédio), que possibilitaram a realização das análises nas dependências do laboratório. Agradecimento especial também ao chefe do Setor de Transportes, José Gladson (Jacó) pela disponibilização do veículo e ao motorista Firmino, que esteve conosco durante os trabalhos de campo.

Ao “seu Mauro”, piloto da embarcação que serenamente nos conduziu durante os trabalhos de campo pelas reentrâncias do canal de maré, entre a linha de costa e a barreira costeira.

Aos demais amigos, colegas e pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização dos trabalhos que tornaram possível a conclusão desta tese de doutorado.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

As barreiras costeiras são corpos sedimentares que emergem próximo à costa e podem ou não estar conectadas ao continente, estando entre as feições deposicionais mais dinâmicas e mutáveis do sistema costeiro. São importantes principalmente porque oferecem proteção natural da linha de costa contra o efeito direto da ação abrasiva das ondas e tempestades. A Costa Semiárida Brasileira, entre o Cabo Calcanhar (RN) e a Ponta dos Mangues Secos (MA) apresenta sistemas bem desenvolvidos de barreiras costeiras, porém com poucos estudos com foco específico nesses sistemas. Os municípios de Acaraú e Itarema, no Litoral Oeste do Ceará, apresentam o mais proeminente sistema de barreiras costeiras do estado e um dos mais expressivos de todo o litoral setentrional brasileiro. Seu deslocamento acelerado pode provocar, dentre outras consequências, a maior exposição da zona costeira aos processos erosivos. Deste modo, o objetivo desse trabalho foi compreender a dinâmica morfológica e sedimentar de um sistema de barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira, tomando como estudo de caso o litoral dos municípios de Acaraú e Itarema, no estado do Ceará. A hipótese levantada neste trabalho, que veio a se confirmar, foi a de que as barreiras costeiras de Acaraú e Itarema têm apresentado nas últimas décadas significativas alterações morfológicas e sedimentares associadas principalmente à sua dinâmica migratória, implicando na redução generalizada de sua área e na reconfiguração morfológica, o que pode tornar o referido litoral mais exposto e, conseqüentemente, mais suscetível às múltiplas condições e eventos climato-oceanográficos. Foram utilizadas imagens de satélite atuais para a identificação da ocorrência das barreiras costeiras em toda a Costa Semiárida Brasileira (aproximadamente 1.100 km) e caracterização quanto às principais formas de uso e ocupação. Para a análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema em escala interdecadal, foram selecionadas 8 barreiras costeiras do tipo *spit*, analisadas num intervalo temporal de 44 anos (1973/1985/1993/2007/2017), a partir do uso de imagens de satélite da série Landsat, escolhidas a partir da aplicação da metodologia de anos padrões, que classifica os diferentes anos numa escala que varia de super úmido a super seco. A partir disso, calculou-se a taxa de variação da linha de costa por meio do método do polígono de mudança (*Change polygon*). Para a avaliação do processo migratório sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema foram realizadas quatro campanhas trimestrais de levantamento de campo (abril/julho/outubro de 2016 e janeiro de 2017) em um sistema *spit*-ilha barreira de aproximadamente 5,7 km de extensão lateral e linha de costa abrigada de aproximadamente 4,3 km de extensão lateral. Em cada campanha utilizou-se GPS geodésico, do tipo DGPS (*Differential Global Positioning System*), aferindo alta precisão e acurácia aos dados de variação da linha de costa. Para a compreensão do comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema foram realizados 40 perfis topográficos perpendiculares nas quatro campanhas de campo, sendo 10 perfis por campanha (5 no sistema *spit*-ilha barreira e 5 na linha de costa abrigada), por meio do uso de DGPS, além da coleta e análise granulométrica e geoquímica de 96 amostras de sedimentos superficiais inconsolidados, referentes a todo período de monitoramento. Também foram levantadas informações acerca do comportamento sazonal dos agentes hidrodinâmicos e dos processos eólicos atuantes, especificamente dados relativos à altura, período e direção de ondas, além dos parâmetros de velocidade direção dos ventos. Para determinação dos ciclos de sedimentação no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de

Itarema a partir de testemunhagem do substrato foram realizadas a coleta, descrição e análise de 10 testemunhos em diferentes setores, a partir de georreferenciamento dos pontos de amostragem. A Identificação da ocorrência das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira e caracterização quanto às principais formas de uso e ocupação, permitiu uma análise inédita do padrão de sua distribuição espacial e morfologia, tendo sido identificados 39 *spits* e 9 ilhas barreira. O estado do Ceará concentra a maior parte dos *spits* (26, do total de 39), enquanto o Rio Grande do Norte concentra a maior parte das ilhas barreira (6, do total de 9). Constatou-se que os *spits* da Costa Semiárida Brasileira são mais afetados pelas pressões antrópicas e apresentam maiores limitações ambientais que as ilhas barreira, provavelmente devido à maior dificuldade de acesso e às alterações mais significativas na configuração morfológica apresentada pelas ilhas. A análise do processo migratório e mudanças morfológicas interdecadais referentes às barreiras costeiras de Acaraú e Itarema indicou a intensificação da dinâmica de movimentação e alteração no padrão morfológico dessas barreiras nas últimas quatro décadas. A atuação de processos erosivos têm ocasionado perdas substanciais de área e reconfiguração morfológica em praticamente todas as barreiras costeiras desta região. Nos últimos 44 anos, mais de 1,5 milhões de m² foram perdidos, o que representou valor superior a 36% de redução da área total inicial dos *spits*. A alta mobilidade a que estão submetidos esses *spits* pode significar, portanto, não apenas o seu desaparecimento, mas também de muitos setores da linha de costa à retrobarreira. A avaliação do processo migratório sazonal de um sistema spit-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema indicou o papel protetivo significativo exercido pela barreira costeira e que os processos erosivos ocorridos em escala interdecadal tendem a se intensificar também sazonalmente, em escala anual, cujos reflexos são experimentados também pela linha de costa, que apesar de ser abrigada começa a apresentar setores com tendências erosivas. A compreensão do comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema spit-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema indicou que a barreira costeira apresenta maior variabilidade morfodinâmica, cujas extremidades são altamente vulneráveis aos processos migratórios e erosivos, fato atestado pelas sucessivas fases entre *spit* e ilha barreira as quais experimenta. Mesmo o setor central da barreira apresenta-se suscetível aos processos erosivos por conta da sobrelavagem da linha de costa durante eventos de alta energia. O surgimento de uma barra arenosa na área abrigada próxima à extremidade leste indica que a ilha barreira está próxima de se reconfigurar como *spit*. A composição sedimentar predominante é de areia e areia com cascalho esparsos, contendo grãos sem um padrão definido de selecionamento em função da elevada morfogênese e diferentes agentes hidrodinâmicos e morfodinâmicos atuantes. A linha de costa apresentou comportamento morfodinâmico mais estável, com perfis planos, porém menos extensos por se encontrar confinada. O predomínio dos sedimentos mais finos em relação aos do sistema *spit*-ilha barreira, com 88% das amostras englobando areia fina, areia muito fina ou silte, revelou o comportamento sedimentar diferenciado por se tratar de uma linha de costa abrigada, porém em muitos setores foram registrados processos erosivos mais intensos, aliados aos processos que ocorrem na barreira costeira e à provável ação de correntes de marés mais intensas. A análise dos dez testemunhos permitiu a identificação das fácies sedimentares e a interpretação do modo de ocorrência e sucessão das diferentes camadas, tendo sido recuperados e analisados 8.38,5 metros de camada de sedimentos.

Palavras-chave: Barreiras Costeiras, Costa Semiárida Brasileira, Dinâmica morfosedimentar e evolutiva.

ABSTRACT

Coastal barriers are sedimentary bodies that emerge near the coast and may or may not be connected to the continent, being among the most dynamic and changeable depositional features of the coastal system. They are important mainly because they offer natural shoreline protection against the direct effect of the abrasive action of waves and storms. The Brazilian Semiarid Coast, between Cabo Calcanhar (RN) and Ponta dos Mangues Secos (MA), presents well developed systems of coastal barriers, but with few studies with a specific focus on these systems. The municipalities of Acaraú and Itarema, on the West Coast of Ceará, present the most prominent system of coastal barriers of the state and one of the most expressive of all the northern Brazilian coast. Its accelerated displacement can cause, among other consequences, the greater exposure of the coastal zone to the erosive processes. In this way, the objective of this work was to understand the morphological and sedimentary dynamics of a system of coastal barriers in the Brazilian Semiarid Coast, taking as a case study the coast of the municipalities of Acaraú and Itarema, in the state of Ceará. The hypothesis raised in this work, which came to be confirmed, was that the coastal barriers of Acaraú and Itarema have presented in the last decades significant morphological and sedimentary alterations associated mainly to their migratory dynamics, implying in the general reduction of their area and in the reconfiguration morphological, which may make the said coast more exposed and, consequently, more susceptible to multiple climatic-oceanographic conditions and events. Current satellite images were used to identify the occurrence of coastal barriers along the Brazilian Semiarid Coast (approximately 1,100 km) and characterization of the main forms of use and occupation. For the analysis of the migratory process and the main morphological changes of the coastal barriers of Acaraú and Itarema on an interdecadal scale, eight coastal spit barriers were selected, analyzed over a period of 44 years (1973/1985/1993/2007/2017), using the satellite images of the Landsat series, chosen from the application of the methodology of standard years, which classifies the different years on a scale that varies from super wet to super dry. From this, the rate of change of the coastline was calculated by means of the method of the polygon of change (Change polygon). For the evaluation of the seasonal migratory process of a spit-barrier system and associated coastline in the coast of Itarema, four quarterly field survey campaigns (April / July / October 2016 and January 2017) were carried out in a spit-barrier island of approximately 5.7 km of lateral extension and sheltered coastline of approximately 4.3 km of lateral extension. In each campaign geodesic GPS of the type DGPS (Differential Global Positioning System) was used, assessing high precision and accuracy to the data of coastline variation. To understand the seasonal morphosedimentary behavior of a spit-barrier system and associated coastline in the coast of Itarema, 40 perpendicular topographic profiles were performed in the four field campaigns, with 10 profiles per campaign (5 in the spit-barrier island system and 5 in the sheltered coastline), through the use of DGPS, in addition to the collection and granulometric and geochemical analysis of 96 samples of uncolored surface sediments, referring to the entire monitoring period. Information about the seasonal behavior of the hydrodynamic agents and the wind turbine processes, specifically data related to the height, period and direction of waves, as well as wind direction parameters were also collected. In order to determine the sedimentation cycles in the spit-barrier system and associated coastline in the coast of Itarema from the substrate witness, 10 samples were collected, described and analyzed in different sectors, from georeferencing of the sampling points. The identification of the occurrence of coastal barriers in the Brazilian Semiarid Coast and characterization of

the main forms of use and occupation allowed an unprecedented analysis of the spatial distribution and morphology patterns, with 39 spits and 9 barrier islands identified. The state of Ceará concentrates most of the spits (26, out of 39), while Rio Grande do Norte concentrates most of the barrier islands (6, out of 9). It was found that the spits of the Brazilian Semiarid Coast are more affected by anthropic pressures and present greater environmental limitations than the barrier islands, probably due to the greater difficulty of access and the most significant changes in the morphological configuration presented by the islands. The analysis of the migratory process and interdecadal morphological changes related to the coastal barriers of Acaraú and Itarema indicated the intensification of the movement dynamics and changes in the morphological pattern of these barriers in the last four decades. The performance of erosive processes has caused substantial area losses and morphological reconfiguration in practically all the coastal barriers of this region. In the last 44 years, more than 1.5 million m² were lost, representing a value superior to 36% reduction of the total initial area of the spits. The high mobility to which these spits are subjected may therefore mean not only their disappearance but also many sectors of the coastline to the backbarrier. The evaluation of the seasonal migratory process of a spit-barrier system and associated coastline in the coast of Itarema indicated the significant protective role played by the coastal barrier and that the erosive processes occurring on an interdecadal scale tend to intensify also seasonally on an annual scale, whose reflections are also experienced by the coastline, which despite being sheltered begins to present sectors with erosive tendencies. The understanding of the seasonal morphosedimentary behavior of a spit-barrier system and associated coastline in the coast of Itarema indicated that the coastal barrier presents greater morphodynamic variability, whose extremities are highly vulnerable to the migratory and erosive processes, a fact attested by the successive phases between spit and barrier island that you experience. Even the central sector of the barrier is susceptible to erosive processes due to the overwashing of the coastline during high energy events. The emergence of a sandy bar in the sheltered area near the east end indicates that the barrier island is close to being reconfigured as spit. The predominant sedimentary composition is sand and sand with sparse gravel, containing grains without a defined selection pattern due to high morphogenesis and different hydrodynamic and morphodynamic agents. The coastline presented a more stable morphodynamic behavior, with flat profiles, but less extensive because it was confined. The predominance of the thinner sediments compared to the spit-barrier system, with 88% of the samples including fine sand, very fine sand or silt, revealed the sedimentary behavior differentiated by a sheltered coastline, but in many sectors more intense erosion processes were recorded, together with the processes that occur in the coastal barrier and the probable action of more intense tidal currents. The analysis of the ten samples allowed the identification of the sedimentary facies and the interpretation of the mode of occurrence and succession of the different layers, and 8.38.5 meters of layer of sediments were recovered and analyzed.

Keywords: Coastal Barriers, Brazilian Semiarid Coast, Morphosedimentary and Evolutionary Dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Barreiras costeiras na região de Acaraú e Itarema/Ceará	25
Figura 02	Classificação do sistema de barreiras costeiras baseada na morfologia e geometria	26
Figura 03	Tômbolo na região de Tofino, Canadá	27
Figura 04	Bay-mouth Barrier (barreira de boca de baía)	28
Figura 05	Flying <i>Spit</i> em Spurn Point, Inglaterra	29
Figura 06	Cuspate foreland em Cape Hatteras, EUA	30
Figura 07	Ilhas Barreira em Ship Island, EUA	31
Figura 08	Distribuição global das ilhas barreira	35
Figura 09	Ambientes sedimentares relacionados ao sistema de ilhas barreira	36
Figura 10	Destruição de ilha barreira no sudoeste da Flórida, EUA, após passagem do furacão Charley (2004)	38
Figura 11	Cidade de San Diego, EUA, com boa parte do seu núcleo urbano construída sobre um spit, e inúmeras estruturas rígidas para conter a movimentação do corpo arenoso	39
Figura 12	Compartimentação do litoral nordestino	42
Figura 13	Variação da precipitação anual em diferentes setores da Costa Semiárida	46
Figura 14	Regime diário de ventos em diferentes setores da Costa Semiárida	46
Figura 15	Variações de maré em diferentes setores da Costa Semiárida	47
Figura 16	Sistema de barreiras costeiras no litoral de Itarema e Acaraú, Ceará	48
Figura 17	Caracterização sedimentar da região costeira de Itarema, Ceará	49
Figura 18	Movimentação e rompimento de spit em Acaraú, Ceará	50
Figura 19	Área de manguezal à retaguarda de <i>spits</i> , na região de Porto dos Barcos em Itarema, Ceará	51
Figura 20	Evidências de processos erosivos em um spit na localidade de Volta do Rio, Acaraú	52
Figura 21	Delimitação da Linha de costa (em vermelho)	64
Figura 22	Etapas do método <i>Change Polygon</i>	66
Figura 23	Representação espacial da TVLC	67
Figura 24	Transferência de referencial de nível (RN) para a área de realização dos perfis topográficos	73
Figura 25	Monitoramento da linha de costa através do uso de DGPS	74
Figura 26	Coleta de testemunhos no sistema <i>spit</i> -ilha barreira e na linha de costa associada	80
Figura 27	Núcleo urbano do município de Galinhos/RN	99
Figura 28	Núcleo urbano do município de Areia Branca/RN e infraestrutura implantada para a produção de sal marinho à retaguarda do <i>spit</i>	101
Figura 29	<i>Spit</i> de Iguape, em Aquiraz/CE, quase totalmente ocupado por residências de alto padrão	104
Figura 30	Casebres e a criação de gado bovino no Spit-ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema/CE	107
Figura 31	Especulação imobiliária e apropriação de terrenos para construção de hotéis de alto padrão na linha de costa associada à Ilha do Guajiru, em Itarema/CE	108
Figura 32	<i>Spit</i> localizado em volta do Rio, Acaraú/CE, bastante desconfigurado pela construção de parque eólico	109

Figura 33	Molhe no Porto de Luís Correia/PI, alterando a dinâmica sedimentar da área do spit e da desembocadura do rio Igarauçu	113
Figura 34	<i>Spit</i> de Travosa, em Santo Amaro do Maranhão/MA, posicionado logo após um expressivo campo de dunas	114
Figura 35	Surgimento da ilha barreira de Guamaré/RN a partir do rompimento da ilha barreira de Galinhos/RN	116
Figura 36	A estreita ilha barreira de Diogo Lopes (2), em Diogo Lopes/RN, e a área da linha de costa por ela abrigada	118
Figura 37	Ilha barreira de Macau (1), em Macau/RN, formada a partir do rompimento de um spit	118
Figura 38	Ilha barreira de Macau (2), em Macau/RN, protegendo a área de produção de sal e a sede do município	119
Figura 39	Ilha barreira do Delta do Parnaíba, em Araisos/MA, associados a extensos campos de dunas sobre a ilha	121
Figura 40	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 1 (Almofala-Itarema)	126
Figura 41	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 1 (Almofala-Itarema)	127
Figura 42	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 2 (Guajiru-Itarema)	141
Figura 43	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 2 (Guajiru-Itarema)	141
Figura 44	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 3 (Praia do Farol - Itarema)	134
Figura 45	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 3 (Praia do Farol - Itarema)	135
Figura 46	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 4 (Volta do Rio - Acaraú)	138
Figura 47	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 4 (Volta do Rio - Acaraú)	139
Figura 48	Figura 48 – Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 5 (Coassu - Acaraú)	142
Figura 49	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 5 (Coassu - Acaraú)	143
Figura 50	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 6 (Arpoeiras - Acaraú)	146
Figura 51	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 6 (Arpoeiras - Acaraú)	147
Figura 52	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 7 (Foz do Rio Acaraú – Acaraú)	150
Figura 53	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 7 (Foz do Rio Acaraú – Acaraú)	151
Figura 54	Configuração morfológica interdecadal do <i>spit</i> 8 (Aranaú - Acaraú)	154
Figura 55	Processo migratório interdecadal do <i>spit</i> 8 (Aranaú - Acaraú)	155
Figura 56	Expansão da vegetação de mangue na área de maior acresção sedimentar da ilha barreira	160
Figura 57	Processo de sobrelavagem da ilha barreira causando retirada massiva de sedimentos e desaparecimento de extensas áreas	162
Figura 58	Deposição de seixos, rodólitos e conchas na área abrigada da ilha barreira	164
Figura 59	Canal de comunicação estabelecido entre a ilha barreira e a linha de costa a partir do rompimento da conexão do antigo <i>spit</i>	167
Figura 60	Processos erosivos na área abrigada da linha de costa associada à ilha-barreira	167
Figura 61	Formação de barras arenosas na área abrigada da linha de costa	170
Figura 62	Estruturas rígidas para contenção da erosão na área abrigada da linha de costa	171
Figura 63	Exposição de material sedimentar reliquiar na linha de costa abrigada	173

Figura 64	Localização dos perfis de monitoramento para estudo do comportamento morfosedimentar	175
Figura 65	Variação anual do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)	177
Figura 66	Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 1 - SPIT - (P1-S)	177
Figura 67	Principais setores do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)	178
Figura 68	Variação anual do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)	181
Figura 69	Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 2 - SPIT - (P2-S)	181
Figura 70	Principais setores do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)	182
Figura 71	Variação anual do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)	185
Figura 72	Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 3 - SPIT - (P3-S)	185
Figura 73	Principais setores do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)	186
Figura 74	Variação anual do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)	189
Figura 75	Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 4 - SPIT - (P4-S)	189
Figura 76	Principais setores do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)	190
Figura 77	Variação anual do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)	193
Figura 78	Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 5 - SPIT - (P5-S)	193
Figura 79	Principais setores do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)	194
Figura 80	Variação sazonal no grau de seleção dos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	199
Figura 81	Variação sazonal no diâmetro médio dos grãos dos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	201
Figura 82	Variação sazonal nos teores de carbonato de cálcio dos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	203
Figura 83	Variação anual do perfil 1 – COSTA – (P1-C)	205
Figura 84	Visão geral do perfil 1 – COSTA – (P1-C)	205
Figura 85	Variação anual do perfil 2 – COSTA – (P2-C)	208
Figura 86	Visão geral do perfil 2 – COSTA – (P2-C)	208
Figura 87	Variação anual do perfil 3 – COSTA – (P3-C)	211
Figura 88	Visão geral do perfil 3 – COSTA – (P3-C)	211
Figura 89	Variação anual do perfil 4 – COSTA – (P4-C)	214
Figura 90	Visão geral do perfil 4 – COSTA – (P4-C)	214
Figura 91	Variação anual do perfil 5 – COSTA – (P5-C)	217
Figura 92	Visão geral do perfil 5 – COSTA – (P5-C)	217
Figura 93	Variação sazonal no grau de seleção dos sedimentos superficiais da linha de costa	222
Figura 94	Variação sazonal no diâmetro médio dos grãos dos sedimentos superficiais da linha de costa	224
Figura 95	Variação sazonal nos teores de carbonato de cálcio dos sedimentos superficiais da linha de costa	226
Figura 96	Testemunhos coletados em diferentes ambientes associados ao sistema <i>spit</i> -ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema/CE	227
Figura 97	Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA)	230
Figura 98	Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/MAR (TP2-S/MA)	232

Figura 99	Perfil representativo do testemunho TP3-SPIT/MAR (TP3-S/MA)	234
Figura 100	Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME)	237
Figura 101	Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/MEIO (TP2-S/ME)	239
Figura 102	Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C)	242
Figura 103	Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C)	244
Figura 104	Perfil representativo do testemunho TP3-SPIT/CANAL (TP3-S/C)	246
Figura 105	Perfil representativo do testemunho TP1-COSTA (TP1-C)	249
Figura 106	Perfil representativo do testemunho TP2-COSTA (TP2-C)	251

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Dados multiespectrais das imagens utilizadas	65
Tabela 02	Dados de entrada para teste da TVLC	66
Tabela 03	Classificação numérica dos totais precipitados	68
Tabela 04	Anos padrões para o posto Acaraú (1970 – 2017)	70
Tabela 05	Estatística das precipitações (níveis mensal e anual)	71
Tabela 06	Levantamento dos <i>spits</i> do Estado do Rio Grande do Norte	86
Tabela 07	Levantamento dos <i>spits</i> do Estado do Ceará, entre Icapuí e Cascavel	89
Tabela 08	Levantamento dos <i>spits</i> do Estado do Ceará, entre Aquiraz e Amontada	90
Tabela 09	Levantamento dos <i>spits</i> do Estado do Ceará, entre Itarema e Acaraú	91
Tabela 10	Levantamento dos <i>spits</i> do Estado do Ceará, entre Acaraú e Barroquinha	92
Tabela 11	Levantamento dos <i>spits</i> dos Estados do Piauí e do Maranhão	94
Tabela 12	Levantamento das ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira	97
Tabela 13	Índices pluviométricos e respectiva classificação dos anos selecionados para Acaraú e Itarema	122
Tabela 14	Análise comparativa entre a área inicial (1973) e final (2017) dos <i>spits</i> de Acaraú e Itarema	156

LISTA DE MAPAS

Mapa 01	Diversidade do sistema <i>spit</i> -ilha barreira analisado	54
Mapa 02	Diversidade do setor de linha de costa abrigada considerada na análise	55
Mapa 03	Localização do sistema <i>spit</i> -ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema, Ceará	72
Mapa 04	Localização dos perfis topográficos realizados no sistema <i>spit</i> -ilha barreira e linha de costa associada	76
Mapa 05	Estações de testemunhagem no sistema <i>spit</i> -ilha barreira e linha de costa associada	81
Mapa 06	Identificação dos <i>spits</i> da Costa Semiárida Brasileira	84
Mapa 07	Identificação das ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira	96
Mapa 08	<i>Spits</i> de Acaraú e Itarema considerados na análise do processo migratório e mudanças morfológicas em escala interdecadal	123
Mapa 09	Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016	159
Mapa 10	Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016	161
Mapa 11	Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017	163
Mapa 12	Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017	165
Mapa 13	Área da linha de costa abrigada analisada	168
Mapa 14	Variação da linha de costa para o período abril/2016 a julho/2016	169
Mapa 15	Relação acresção x erosão para o período abril/2016 a julho/2016	169
Mapa 16	Variação da linha de costa para o período julho/2016 a outubro/2016	172
Mapa 17	Relação acresção x erosão para o período julho/2016 a outubro/2016	172
Mapa 18	Variação da linha de costa para o período outubro/2016 a janeiro/2017	174
Mapa 19	Relação acresção x erosão para o período outubro/2016 a janeiro/2017	174

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Varição anual de altura e período de ondas para o litoral de Itarema	56
Gráfico 02	Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de janeiro	57
Gráfico 03	Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de janeiro	57
Gráfico 04	Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de abril	58
Gráfico 05	Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de abril	58
Gráfico 06	Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de julho	59
Gráfico 07	Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de julho	59
Gráfico 08	Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de outubro	60
Gráfico 09	Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de outubro	60
Gráfico 10	Estatística descritiva da normal climatológica (1970 - 2017)	68
Gráfico 11	Distribuição pluviométrica e representatividade percentual da quadra chuvosa – posto Acaraú – (1970 – 2017)	69
Gráfico 12	Classificação dos anos padrões (1970 - 2017)	71
Gráfico 13	Distribuição pluviométrica mensal - posto Acaraú - (1970 - 2017)	71
Gráfico 14	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 1 – Almofala/Itarema	124
Gráfico 15	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 1 – Almofala/Itarema	124
Gráfico 16	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 2 – Guajiru/Itarema	128
Gráfico 17	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 2 – Guajiru/Itarema	128
Gráfico 18	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 3 – Praia do Farol/Itarema	132
Gráfico 19	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 3 – Praia do Farol/Itarema	132
Gráfico 20	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 4 – Volta do Rio/Acaraú	136
Gráfico 21	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 4 – Volta do Rio/Acaraú	136
Gráfico 22	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 5 – Coassu/Acaraú	140
Gráfico 23	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 5 – Coassu/Acaraú	140
Gráfico 24	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 6 – Arpoeiras/Acaraú	144
Gráfico 25	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 6 – Arpoeiras/Acaraú	144
Gráfico 26	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 7 – Foz do Rio Acaraú/Acaraú	148
Gráfico 27	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 7 – Foz do Rio Acaraú/Acaraú	148
Gráfico 28	Evolução interdecadal da área do <i>spit</i> 8 – Aranaú/Acaraú	152
Gráfico 29	Taxa de variação da linha de costa do <i>spit</i> 8 – Aranaú/Acaraú	152
Gráfico 30	Varição espacial (área) individual dos <i>spits</i> de Acaraú e Itarema	157
Gráfico 31	Varição espacial (área) total dos <i>spits</i> de Acaraú e Itarema	157
Gráfico 32	Taxas de variação do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016	159
Gráfico 33	Taxas de variação do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016	161
Gráfico 34	Taxas de variação do sistema <i>spit</i> - ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017	163
Gráfico 35	Taxas de variação do sistema <i>spit</i> - ilha-barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017	165
Gráfico 36	Correlação entre as taxas de variação do sistema <i>spit</i> -ilha-barreira em	

	escala intra-anual e interanual	166
Gráfico 37	Relação acresção x erosão sazonal para a linha de costa abrigada	170
Gráfico 38	Volume do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)	179
Gráfico 39	Balanço sedimentar do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)	179
Gráfico 40	Volume do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)	183
Gráfico 41	Balanço sedimentar do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)	183
Gráfico 42	Volume do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)	187
Gráfico 43	Balanço sedimentar do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)	187
Gráfico 44	Volume do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)	191
Gráfico 45	Balanço sedimentar do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)	191
Gráfico 46	Volume do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)	195
Gráfico 47	Balanço sedimentar do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)	195
Gráfico 48	Classificação de Folk aplicada aos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	196
Gráfico 49	Classificação pela média aplicada aos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	197
Gráfico 50	Grau de seleção dos sedimentos superficiais do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	197
Gráfico 51	Volume do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)	206
Gráfico 52	Balanço sedimentar do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)	206
Gráfico 53	Volume do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)	209
Gráfico 54	Balanço sedimentar do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)	209
Gráfico 55	Volume do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)	212
Gráfico 56	Balanço sedimentar do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)	212
Gráfico 57	Volume do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)	215
Gráfico 58	Balanço sedimentar do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)	215
Gráfico 59	Volume do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)	218
Gráfico 60	Balanço sedimentar do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)	218
Gráfico 61	Classificação de Folk aplicada aos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada	219
Gráfico 62	Classificação pela média aplicada aos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada	220
Gráfico 63	Grau de seleção dos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada	220

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO, REFERENCIAL TEÓRICO E ÁREA DE ESTUDO	24
1.1	Os sistemas de barreiras costeiras	24
1.1.1	As principais categorias de barreiras costeiras	25
1.1.2	A dinâmica evolutiva e os principais impactos associados à movimentação das barreiras costeiras	32
1.1.2.1	<i>As ilhas barreira</i>	34
1.1.2.2	<i>Os spits</i>	38
1.2	A Costa Semiárida Brasileira e a ocorrência de barreiras costeiras	41
1.2.1	Caracterização geral dos aspectos ambientais a que estão submetidas as barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira	45
1.3	As barreiras costeiras de Acaraú e Itarema, Litoral Oeste do Ceará	47
1.3.1	Comportamento sazonal dos agentes hidrodinâmicos e dos processos eólicos no litoral de Itarema	56
1.4	HIPÓTESE	61
1.5	OBJETIVOS	61
1.5.1	Objetivo Geral	61
1.5.2	Objetivos Específicos	61
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	62
2.1	Levantamento cartográfico das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira	62
2.2	Análise espacial da variação da linha de costa	63
2.3	Determinação dos anos-padrões	67
2.4	Monitoramento do processo migratório sazonal do sistema <i>spit-ilha barreira</i> e linha de costa associada	72
2.5	Análise do comportamento morfo-sedimentar sazonal do sistema <i>spit-ilha barreira</i> e linha de costa associada	75
2.5.1	Realização de perfis topográficos	75
2.5.2	Coleta dos sedimentos superficiais	77
2.5.3	Análise granulométrica	77
2.5.4	Determinação dos teores de carbonato de cálcio	78
2.5.5	Determinação dos parâmetros relativos aos agentes hidrodinâmicos e eólicos	79
2.6	Testemunhagem do substrato para determinação dos ciclos de sedimentação no sistema <i>spit-ilha barreira</i> e linha de costa associada	79
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
3.1	Ocorrência das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira e principais formas de uso e ocupação	83
3.1.1	Padrões de ocorrência e morfologia	83
3.1.1.1	<i>Spits no Estado do Rio Grande do Norte</i>	85
3.1.1.2	<i>Spits no Estado do Ceará</i>	87
3.1.1.3	<i>Spits nos Estados do Piauí e do Maranhão</i>	93
3.1.1.4	<i>Ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira</i>	95

3.1.2	Pressões antrópicas e limitações ambientais das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira	98
3.1.2.1	<i>A situação dos spits</i>	98
3.1.2.2	<i>A situação das ilhas barreira</i>	114
3.2	Processo migratório e as principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema em escala Interdecadal	122
3.2.1	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 1 (Almofala/Itarema – Ceará)	124
3.2.2	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 2 (Guajiru/Itarema – Ceará)	128
3.2.3	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 3 (Praia do Farol/Itarema – Ceará)	132
3.2.4	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 4 (Volta do Rio/Acaraú– Ceará)	136
3.2.5	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 5 (Coassu/Acaraú– Ceará)	140
3.2.6	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 6 (Arpoeiras/Acaraú– Ceará)	144
3.2.7	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 7 (Foz do Rio Acaraú/Acaraú– Ceará)	148
3.2.8	Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do <i>spit</i> 8 (Aranaú/Acaraú– Ceará)	152
3.2.9	Situação geral do processo migratório e mudanças morfológicas interdecadais das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema - Ceará	156
3.3	Processo migratório sazonal de um sistema <i>spit</i>-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema	158
3.3.1	Dinâmica do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016	158
3.3.2	Dinâmica do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016	160
3.3.3	Dinâmica do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017	162
3.3.4	Dinâmica do sistema <i>spit</i> -ilha barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017	164
3.3.5	Dinâmica da linha de costa para o período de abril/2016 a julho/2016	168
3.3.6	Dinâmica da linha de costa para o período de julho/2016 a outubro/2016	171
3.3.7	Dinâmica da linha de costa para o período de outubro/2016 a janeiro/2017	173
3.4	Comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema <i>spit</i>-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema	175
3.4.1	Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira – Perfil 1 <i>Spit</i>	176
3.4.2	Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira – Perfil 2 <i>Spit</i>	180
3.4.3	Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira – Perfil 3 <i>Spit</i>	184

3.4.4	Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira – Perfil 4 <i>Spit</i>	188
3.4.5	Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira – Perfil 5 <i>Spit</i>	192
3.4.6	Comportamento sedimentar sazonal do sistema <i>spit</i> -ilha barreira	196
3.4.7	Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 1 Costa	204
3.4.8	Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 2 Costa	207
3.4.9	Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 3 Costa	210
3.4.10	Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 4 Costa	213
3.4.11	Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 5 Costa	216
3.4.12	Comportamento sedimentar sazonal da linha de costa abrigada	219
3.5	Os ciclos de sedimentação no sistema <i>spit</i>-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema a partir de testemunhagem do substrato	227
3.5.1	Barreira	228
3.5.2	Dunas	234
3.5.3	Canal de maré	240
3.5.4	Linha de costa abrigada	247
4.	CONCLUSÕES	252
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	257

1. INTRODUÇÃO, REFERENCIAL TEÓRICO E ÁREA DE ESTUDO

1.1 Os sistemas de barreiras costeiras

As barreiras arenosas costeiras, ou como são chamadas mais comumente barreiras costeiras (*coastal barriers*), é o termo utilizado para descrever corpos sedimentares que emergem próximo à costa, podendo estar conectados à linha de costa através de uma ou de duas extremidades, ou estar completamente desconectados do continente (figura 01).

Em geral, as barreiras costeiras estão separadas do continente através de corpos d'água, como lagunas, lagoas costeiras, canais de maré, cursos fluviais, ou áreas pantanosas. Elas podem isolar linhas de costa e áreas de baía, servindo, como o próprio nome sugere, de primeira barreira de proteção do continente contra a ação direta de ondas e marés.

As barreiras costeiras podem ser compostas inteiramente de cascalhos ou são, mais comumente, constituídas por areias, contendo quantidades variáveis de cascalho, silte e argila. Em geral, sua ocorrência se dá em costas onde a componente de transporte longitudinal de sedimentos (corrente de deriva litorânea) é significativamente importante.

A origem e evolução desses sistemas estão ligadas à ação sucessiva ou combinada de ondas, marés, correntes longitudinais, ventos, e fluxo hidrossedimentológico em desembocaduras fluviais (Davis,1994).

Segundo Davidson-Arnott (2010), as barreiras são constituídas por uma plataforma subaquática, ou base, sobre a qual se elabora o componente subaéreo sobrejacente (parte exposta dos corpos sedimentares). Este componente subaéreo das barreiras consiste de vários ambientes, como praia, dunas e uma variedade considerável de sedimentos depositados durante eventos de tempestades ou de mar agitado, bem como por aqueles transportados pela ação eólica.

Ainda de acordo com o autor, as barreiras estão entre as feições deposicionais mais dinâmicas e mutáveis do sistema costeiro, e respondem rapidamente às alterações na oferta de sedimentos e à elevação do nível do mar. Elas podem mudar de forma, extensão e direção de comprimento em função da atuação diferenciada de agentes hidrodinâmicos e morfodinâmicos.

Figura 01 – Barreiras costeiras na região de Acaraú e Itarema/Ceará



Fonte: Prefeitura Municipal de Itarema.

Estas barreiras frequentemente acompanham margens continentais passivas, existindo duas categorias principais: as ilhas barreiras (*barrier islands*) e as flechas litorâneas (*spits*, esporões arenosos, restingas). Tais depósitos assumem posição de destaque na configuração do litoral, com dimensões em geral superiores a 1 km de comprimento lateral.

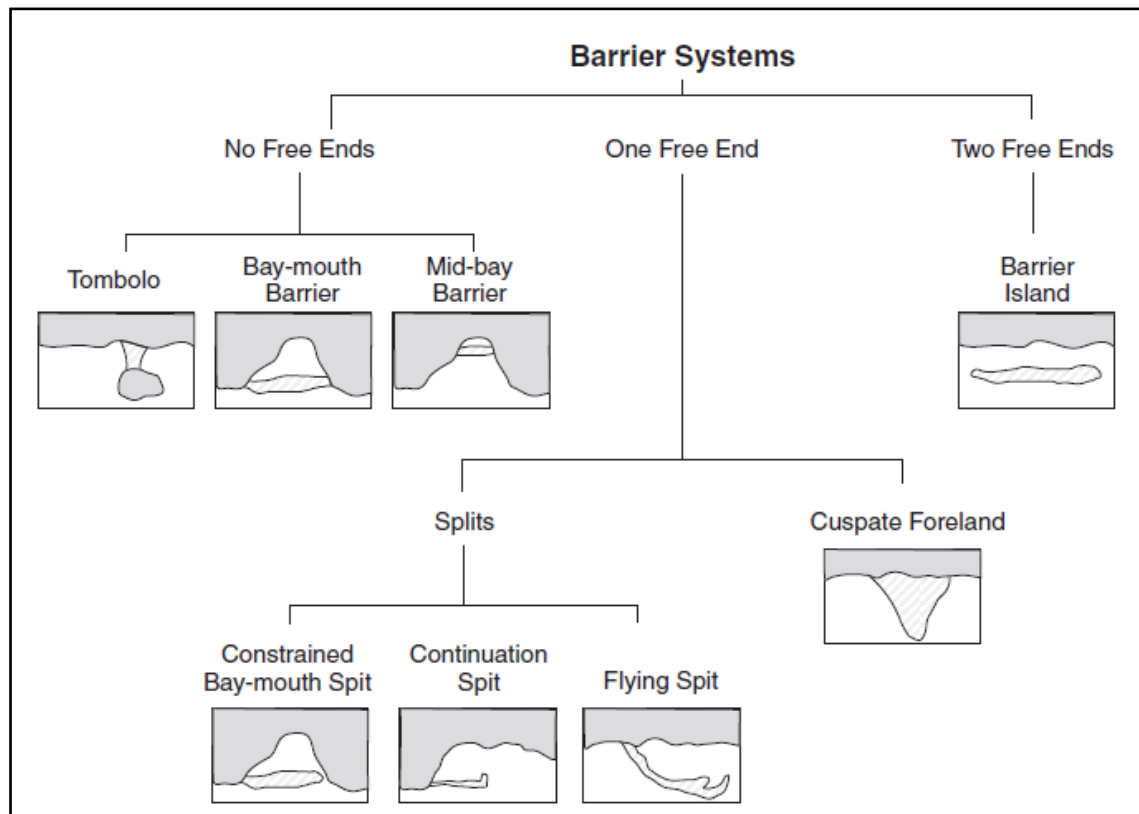
Estima-se, de acordo com Otvos, (2012), que entre 6% e 15% em comprimento do total das linhas costa do planeta sejam representadas por barreiras costeiras do tipo ilhas barreira. Já para Davidson-Arnott (2010), as barreiras costeiras representam mais de 10% das linhas de costa do mundo.

1.1.1 As principais categorias de barreiras costeiras

As barreiras costeiras, como formas deposicionais estabelecidas na linha de costa, possuem diferentes constituições, principalmente em função do tipo de material sedimentar predominantemente transportado nas regiões na qual se estabelecem. Contudo, estas barreiras variam, sobretudo em relação à sua morfologia, extensão, e processos de formação e evolução.

Davidson-Arnott (2010) elaborou um esquema representativo simplificado onde é possível observar os diferentes tipos de barreiras costeiras, baseando-se classificação proposta por Ollerhead (1993), fundamentada na morfologia e conformação geométrica das barreiras costeiras (figura 02).

Figura 02 - Classificação do sistema de barreiras costeiras baseada na morfologia e geometria



Fonte: Adaptado de Davidson-Arnott (2010).

Observa-se através deste esquema representativo que o sistema de barreiras costeiras é individualizado em função da sua morfologia e geometria em **três categorias: sem extremidades livre (*no free end*); uma extremidade livre (*one free end*); duas extremidades livres (*two free end*).**

As barreiras sem extremidade livre (*no free end*) incluem os tómbolos e barreiras construídas em torno de baías e estuários, nas quais há um fechamento, permanente ou temporário, em torno de estruturas estabilizadas, que pode ser uma formação rochosa, ilha, ou linha de costa.

No caso dos **tómbolos**, temos, conforme Marriner *et al* (2008), que seu desenvolvimento ocorre em áreas rasas, atrás das barreiras das ilhas, onde há estoques sedimentares suficientes e fornecimento de energia, juntamente com a ação de ondas e ventos.

As marés, e atuação recorrente ou episódica de *swell*, associados às correntes costeiras (em geral bidirecionais), interagem com a topografia ao redor da ilha para configurar um padrão complexo de refração e difração de ondas na ponta do obstáculo rochoso. Disto, resulta a acumulação excepcional de sedimentos, em geral arenosos, criando uma “ponte sedimentar” entre a ilha rochosa e o continente (figura 03).

Figura 03 - Tômbolo na região de Tofino, Canadá



Fonte: Global Road Trippers.

As **Bay-mouth Barriers** (barreiras de boca de baía), inicialmente denominadas segundo Otvos (2012) *bay bars* (barras de baía), *bay barriers* (barreiras de baía), e **Mid-bay Barrier** (barreira de meio de baía) ocorrem quando sistemas deposicionais cuspidados (em geral, *spits*) avançam inteiramente através de uma baía, em função do transporte litorâneo de sedimentos. Este avanço culmina com o fechamento da baía pela barreira arenosa, cujas extremidades permanecem colmatadas em ambos os lados da baía (figura 04).

Figura 04 - Bay-mouth Barrier (barreira de boca de baía)



Fonte: Thomson - Brooks/Cole (2004).

Em situações de mar mais agitado, como durante entradas de *swell*, ou em função da ação de tempestades, estas barreiras podem sofrer sobrelavagem de sedimentos marinhos e massa d'água oceânica, criando, por vezes, aberturas que estabelecem um canal de comunicação entre a lagoa, que se forma à retaguarda da barreira, no interior da baía, e o oceano.

Nos casos em que há grande estabilidade da barreira, as condições de maior calmaria da baía, não mais exposta à ação direta das ondas, marés e correntes propiciam a sua transformação em uma lagoa ou pântano raso, oferecendo condições ecológicas diferenciadas aos organismos e unidades vegetacionais que passam a se instalar nessas áreas.

As barreiras com uma extremidade livre (*one free end*) apresentam maior variedade de formas e estão mais susceptíveis à dinâmica de movimentação do que as barreiras da categoria anterior.

Dois grupos principais de barreiras se enquadram nesta categoria: os *spits*, também denominados *barrier spits*, *sandy spits*, flechas litorâneas, restingas, ou esporões arenosos, e os *cusplate foreland* (terra cuspidada).

Os *spits* (figura 05) ocorrem onde há uma deriva litorânea marcadamente unidirecional e são provavelmente as barreiras costeiras mais numerosas e comuns ao redor do globo.

Figura 05 - Flying Spit em Spurn Point, Inglaterra



Fonte: Humber Estuary Services.

Oertel (1985) os definiu como corpos emergentes, alongados e estreitos, podendo ser cascalhosos ou arenosos, progradados do continente ou de uma ilha. Além de numerosos, os *spits* são extremamente variáveis em extensão. Enquanto alguns possuem menos de 100 metros, outros podem passar de 40 km de comprimento. Um fato, porém, comum a praticamente todos eles é a curvatura que ocorre na porção distal destes corpos arenosos, resultado do processo de refração de ondas.

Para Ollerhead e Davidson-Arnott (1995), um *spit* é um tipo de barreira deposicional que se forma na extremidade de uma célula de deriva litoral, e são tipicamente ligados ao continente na zona proximal, tendo uma extremidade livre na

zona distal. Além disso, possuem uma plataforma subaquática e um ambiente subaéreo, que pode comportar diversos tipos de subambientes.

Os *cusplate forelands* (terras cuspidadas) são outro grupo de barreiras costeiras que possuem apenas uma extremidade livre. Hesp *et al.*, (2016) os definiram como formas deposicionais costeiras que se desenvolvem em zonas de acreção sedimentar e possuem em geral forma triangular, podendo ter, em alguns casos, a forma de um arco suavemente convexo (figura 06).

Figura 06 - Cusplate foreland em Cape Hatteras, EUA



Fonte: Google Imagens.

Este tipo de barreiras se forma em todo o mundo, em lagos, estuários e oceanos (Clemmensen et al., 2011, McNinch & Luetlich, 2000; McBride & Moslow, 1991). O início do seu processo de formação pode se iniciar com a atuação de duas ondas em direções opostas, quando a energia de uma delas é mais forte que a outra. Nestas situações, o processo de refração de ondas por trás de ilhas costeiras, recifes, substratos rochosos rasos, ou dispositivos artificiais acaba por acumular sedimentos e modelar os *cusplate foreland*.

A categoria das barreiras costeiras com duas extremidades livres (*two free end*) inclui somente uma variedade de formas deposicionais: as *barrier islands* (ilhas barreira).

Segundo Davidson-Arnott (2010), as ilhas barreira (figura 07) ocorrem em zonas costeiras em muitas partes do mundo e tendem a formar cadeias de ilhas, separadas por canais de maré. Elas dispõem-se paralelamente à costa continental e podem encerrar uma lagoa ou baía. Estritamente, elas devem ter as duas extremidades livres, mas pode ocorrer de algumas barreiras em cadeia serem ligadas ao continente numa das extremidades, em função, na maioria das vezes, dose episódios de transgressão marinha.

Figura 07 - Ilhas Barreira em Ship Island, EUA



Fonte: Google Imagens.

De acordo com Otvos (2012), as ilhas barreiras são o tipo de barreiras costeiras mais comuns dentre todas. Fitzgerald *et al.*, (1984) afirmaram que a morfologia dessas ilhas é influenciada por uma série de fatores Incluindo o modo de formação, a oferta de sedimentos, a elevação do nível do mar e os processos de marés. Quando o fornecimento de sedimento é suficiente para o sistema de barreiras, o controle primário de sua morfologia geral é o regime hidrodinâmico da região.

1.1.2 A dinâmica evolutiva e os principais impactos associados à movimentação das barreiras costeiras: as ilhas barreira e os *spits*

As diferentes categorias de barreiras costeiras encerram particularidades geomorfológicas, sedimentares e ambientais específicas, as quais são responsáveis por determinar a dinâmica evolutiva de cada uma das inúmeras formas deposicionais existentes.

Essa dinâmica recebe também influências externas, seja de outros processos ou elementos naturais, como os parâmetros climáticos, oceanográficos, ou geológicos, por exemplo, seja de fatores antrópicos, como as obras de engenharia costeira, ou as próprias formas de uso e ocupação verificadas nas áreas onde as barreiras costeiras ocorrem.

Assim, o modo como se processa essa dinâmica evolutiva é complexo e mutável, no espaço e no tempo. Logo, é importante o esforço no sentido de se implementar uma análise integrada, que contemple o estudo dos fluxos de matéria e energia que atuam sobre essas barreiras.

Conforme destacado por Meireles (2014), a planície costeira representa o sistema de recarga/produção de sedimentos, e serve de suporte para os ecossistemas e recursos ambientais. Portanto, como formas deposicionais estabelecidas na planície costeira, devemos analisar a dinâmica evolutiva de barreiras costeiras da maneira mais integrada possível.

Os *spits* e as ilhas barreira são os tipos de barreiras costeiras mais comuns ao redor do planeta, sendo as ilhas barreira as que possuem o maior número de estudos já realizados, destacando-se os trabalhos desenvolvidos na costa leste dos Estados Unidos, marcadamente dominada por estas feições costeiras. Somente nas baías de Chesapeake e Delaware, Lewis *et al* (2005) identificaram mais de 300 ilhas barreira das mais variadas formas e dimensões.

A predominância destes dois tipos de barreiras costeiras também é verificada na costa do Brasil, sendo que, no caso da Costa Semiárida Brasileira, os *spits* são mais numerosos que as ilhas barreira.

De acordo com Schwartz (1971), a dinâmica de barreiras costeiras vem sendo estudada desde o final do século XIX, período no qual se desenvolveram as primeiras

teorias acerca do seu processo de formação, sendo que, desde então três dessas teorias se destacaram em relação às demais.

A primeira delas é a de De Beaumont (1845), conhecida como *teoria das barras offshore*. Nesta teoria, foram descritos os mecanismos de formação das ilhas barreiras e emergência de barras offshore. Para ele as barreiras costeiras, em especial as ilhas barreira, resultariam da emersão e da migração em direção às praias, de bancos arenosos imersos formados na zona infralitorânea.

De forma resumida, esta teoria afirma que a aproximação e quebra de ondas na costa remobiliza no fundo oceânico, e que parte desses sedimentos seria então depositada sob a forma de barras offshore. Uma vez formadas, essas barras offshore seriam construídas verticalmente pelos processos eólicos, e poderiam migrar lentamente em direção à linha de costa.

Alguns críticos desta teoria, como McKee e Steward (1961), que desenvolveram estudos de modelagem em laboratório, afirmaram que essa construção de barras offshore não é possível de ocorrer em um nível mais alto que o mar, já que, a partir de determinada altura, os sedimentos do topo dessas barras seriam levados para o fundo marinho novamente, não sendo possível, portanto, haver condições de manter tais barras estáveis por muito tempo. Outra questão é a de que se esse processo dependeria apenas de condições oceanográficas normais capazes de remobilizar o fundo marinho, tal processo deveria ocorrer atualmente, porém isso não é observável.

Ainda no século XIX, surgiu outra teoria acerca do desenvolvimento de barreiras costeiras. Trata-se da teoria de Gilbert (1885), conhecida como *teoria da progradação de spits*. Este estudioso acreditava que o material sedimentar responsável pelo crescimento de barreiras costeiras não era proveniente de fontes *offshore*, mas sim do processo de transporte e remobilização sedimentar ocorrido próximo à costa. Além disso, o rompimento de *spits* seria o processo responsável pela formação de ilhas barreira. Sintetizando, as barreiras, principalmente do tipo *spit* evoluíram sobre a ação das correntes longitudinais, eventualmente produzindo ilhas barreiras a partir do seu rompimento.

No século seguinte, Hoyt (1967) desenvolveu outra teoria, conhecida como *teoria da submergência de cristas de praia*. Para tanto, ele considerou a hipótese de afogamento de linhas de praia durante os níveis marinhos mais elevados. Assim, quando o nível do mar era mais baixo as cristas de praia atuais desenvolvidas ocupavam áreas bem mais distantes plataforma continental afora. O aumento do nível do mar resultaria

em quebra da crista da praia e inundação da região por trás dele. A crista da praia tornar-se-ia, então, uma ilha barreira apoiada por uma baía ou lagoa. Em um terceiro estágio, o sistema de barreiras migraria em direção ao continente, enquanto o nível do mar continuava a subir.

Outros estudiosos, como McGee (1890) já haviam sugerido proposições semelhantes, enquanto que teorias alternativas e que consideram a sobreposição entre elementos de ambas as teorias podem ser encontradas em diversos estudos, conforme Swift (1975), e Reinson (1979).

1.1.2.1 As ilhas barreira

Stutz & Pilkey (2011) realizaram um dos estudos mais completos já efetuados acerca da distribuição das ilhas barreiras em escala mundial. Eles identificaram 2.149 ilhas barreira, que juntas totalizam 20.783 km de comprimento, representando aproximadamente 10% de todas as linhas de costa do mundo (210.000 km). A maior parte (30.9%) está localizada na América do Norte, enquanto que na América do Sul este número cai para 9.1% (figura 08).

Conforme os referidos autores, não existe ainda uma classificação global definitiva e inteiramente eficiente das ilhas de barreira, existindo muitas controvérsias e discussões girando em torno de questões conceituais e metodológicas, como encontramos em Otvos (2009) e Cooper *et al* (2007)

Deste modo, compreender a dinâmica evolutiva das ilhas barreiras, desde o início do seu processo de formação não é tarefa fácil, visto que múltiplos fatores podem estar relacionados, sendo que tais fatores não atuam isoladamente, conforme atestou Schwartz (1971).

Assim, na busca pelo entendimento dessa dinâmica não se deve considerar uma única teoria, mas sim a sobreposição e combinação entre elementos de várias teorias, considerando sempre a realidade e os antecedentes oceanográficos, geológicos, geomorfológicos, climáticos e ambientais da área onde elas ocorrem.

Figura 08 - Distribuição global das ilhas barreira

Table 1. Geopolitical distribution of barrier islands showing total number of islands, percentage of the world's total, and total length in kilometers.

Continent	Islands (n)	% Total	Length (km)
North America subtotal	663	30.9	7611
Arctic Ocean	272	12.7	1184
Atlantic Ocean	161	7.5	2287
Gulf of Mexico	116	5.4	2398
Pacific Ocean	114	5.3	1742
Asia subtotal	530	24.7	4475
Arctic Ocean	203	9.4	1441
Indian Ocean	159	7.4	1648
Pacific Ocean	130	6.0	1124
Persian Gulf	34	1.6	230
Red Sea	4	0.2	32
Africa subtotal	354	16.5	3527
Indian Ocean	259	12.1	1631
Atlantic Ocean	74	3.4	1587
Mediterranean Sea	21	1.0	309
Australia subtotal	253	11.8	1726
Indian Ocean	127	5.9	824
Pacific Ocean	75	3.5	575
Indonesia/Papua New Guinea	44	2.0	248
Southern Ocean	6	0.3	55
New Zealand	1	0.1	24
South America subtotal	196	9.1	2039
Pacific Ocean	114	5.3	982
Atlantic Ocean	72	3.4	898
Caribbean Sea	10	0.5	159
Europe subtotal	153	7.1	1405
Mediterranean Sea	71	3.3	391
Atlantic Ocean	33	1.5	292
North Sea	31	1.4	472
Black Sea	12	0.6	202
Baltic Sea	6	0.3	48
WORLD TOTAL	2149	100.0	20,783

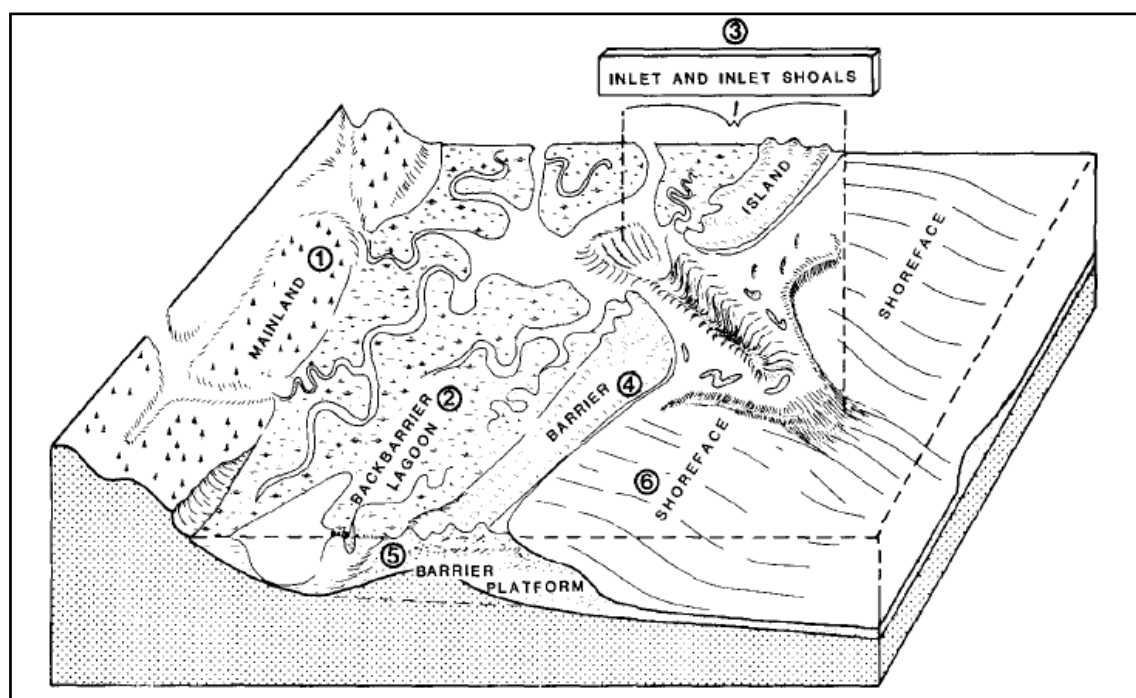
Fonte: Stutz & Pilkey (2011)

Para Bird (2008), as ilhas barreira possuem uma largura que pode variar de 500 metros a mais de 5 km, um comprimento que pode ir de 1 a 100 km, e altura variando de 1 a 100 metros (altura relativa às dunas que podem se formar em seu topo).

Oertel (1985) desenvolveu modelo esquemático que se tornou clássico na literatura especializada (figura 09) em que estão representados os principais ambientes que compõem o sistema de ilhas barreira.

Nesse modelo, válido para a maior parte dos sistemas de ilhas barreiras há seis ambientes sedimentares principais: (1) Continente (mainland) – (2) lagoa de retrobarreira (backbarrier lagoon) – (3) entrada/canal e entrada em delta (inlet and inlet delta) – (4) ilha barreira (barrier island) – (5) plataforma de barreira (barrier platform) – (6) Fácies de praia ou da costa (Shoreface).

Figura 09 - Ambientes sedimentares relacionados ao sistema de ilhas barreira



Fonte: Oertel (1985).

De acordo com este modelo, a parte continental associada às ilhas barreiras é geralmente um delta de baixa altitude ou planície costeira, caracterizada por baías e estuários pouco profundos, em geral afogados durante os períodos de transgressão marinha, geralmente apresentando praias arenosas protegidas, planícies de marés ou pântanos.

Há transferências frequentes entre fluxos de matéria e energia de todos os componentes envolvidos, de modo que a evolução da barreira resulta em mudanças na direção e intensidade dos processos que controlam a sedimentação e a erosão. Como resultado, a maioria dos sistemas de barreira são altamente dinâmicos, com escalas de tempo que variam de décadas a séculos (Davidson-Arnott, 2010).

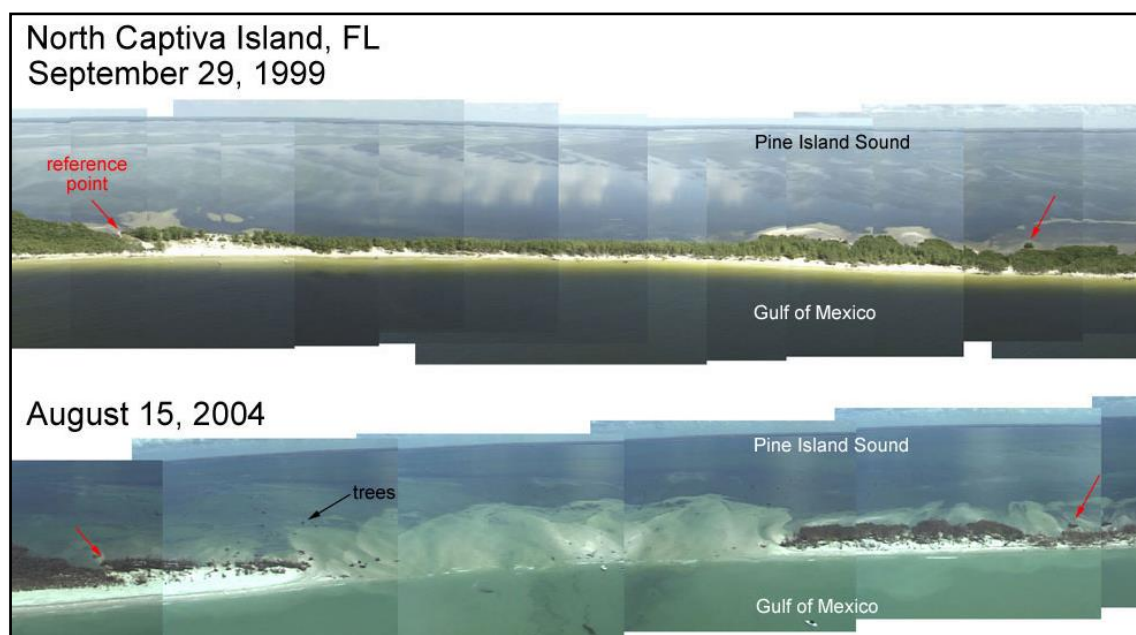
As praias se estendem ao longo da ilha barreira, contudo também são encontradas no continente, ao longo das lagoas costeiras, canais de marés ou pântanos, sendo protegidas da incidência direta das ondas pela porção emersa da ilha barreira. Há que se destacar também o desenvolvimento de dunas ao longo das ilhas barreira, evidenciando a ação de processos de remobilização eólica, que constituem significativas fontes supridoras de sedimentos.

A posição mais destacada das ilhas barreiras na costa, a sua baixa elevação, e a natureza inconsolidada dos seus materiais constituintes, são fatores que tornam essas feições muito mais vulneráveis à atuação de fenômenos como a elevação do nível do mar, aos processos erosivos, e à atuação de tempestades e eventos atmosféricos e oceanográficos com alto poder destrutivo, conforme destacado por Brenner *et al.*, (2015).

FitzGerald & Montello (1993) também alertaram para esses riscos e acrescentaram que a frequência do rompimento das barreiras costeiras durante as tempestades ajuda a compreender como ocorre o processo evolutivo e o equilíbrio dinâmico dessas barreiras costeiras. Para eles, durante e após estes eventos, ocorrem substanciais mudanças no regime hidráulico, de chegada dos trens de ondas e da entrada de marés, nas tendências erosivas e deposicionais, e na morfologia de canais e bancos de areia. Todas estas mudanças com impactos diretos ou indiretos na ilha barreira e na linha de costa a ela associada.

Vinent & Moore (2015) também afirmam que as ilhas barreira são um dos sistemas ambientais costeiros mais vulneráveis no futuro próximo, em decorrência do aumento do nível do mar e das mudanças climáticas, principalmente em função da maior incidência de furacões e tempestades (figura 10). Ainda de acordo com os autores, as ilhas barreira que apresentam vegetação e dunas mais frequentes e de maior dimensão, conseguem manter uma maior estabilidade frente a essas mudanças, já que essas condições diminuem os efeitos erosivos e bem como o aumento nas taxas de migração dessas formas deposicionais costeiras.

Figura 10 - Destruição de ilha barreira no sudoeste da Flórida, EUA, após passagem do furacão Charley



Fonte: Serviço Geológico Norte-Americano.

1.1.2.2 Os spits

Uma característica comum a praticamente todos os tipos de *spits* é o volume significativo de sedimentos transportados a partir da ação da corrente de deriva litorânea que atuam na sua construção.

De acordo com Davidson-Arnott (2010) a direção de transporte litorâneo é um reflexo da orientação local da costa em relação ao vento e clima das ondas da região, devendo haver uma fonte substancial de sedimentos no litoral e/ou proveniente de descargas hidrossedimentológicas capazes de suprir o início da sua formação e evolução contínua.

De acordo com Dinis *et al.*, (2016) os *spits* frequentemente se desenvolvem em locais onde há uma mudança brusca na orientação da linha de costa. A extremidade distal (mais distante do ponto de conexão com a costa) é onde basicamente ocorre todo o processo evolutivo de um *spit*, respondendo por duas de suas características mais marcantes: a progradação na direção predominante de transporte litorâneo de sedimentos e o padrão recurvado da sua extremidade livre.

Esse padrão recurvado é resultado da refração das ondas sobre e ao redor da plataforma do *spit* resultando na sedimentação para o interior da baía, laguna ou canal

de maré, situados entre o *spit* e o continente. Outros fatores que também influenciam na evolução dos spits são as mudanças locais resultantes do impacto de tempestades ou *overwash*, a abertura ou fechamento de canais de maré; alterações no clima das ondas, além de sobreelevações no nível do mar.

Além dos fatores naturais, os de origem antrópica também podem ser significativos para o processo de evolução dos *spits*, como a construção de molhes em regiões costeiras e portuárias, bem como a redução nas descargas hidrossedimentológicas que chegam ao oceano, em função do represamento nos cursos fluviais no interior do continente. Há ainda a impermeabilização e a compactação do solo resultantes dos processos de uso e ocupação na costa e no próprio *spit*, já que, por vezes em algumas regiões do mundo eles servem de base, inclusive, para o estabelecimento de condomínios de alto padrão, ou mesmo cidades inteiras (figura 11).

Figura 11 - Cidade de San Diego, EUA, e parte do seu núcleo urbano construído sobre um *spit*, contendo inúmeras estruturas rígidas para conter a movimentação da barreira arenosa



Fonte: Google Imagens.

Outro fato inerente à evolução dos *spits* é a de que, nas linhas de costa onde predominam os processos erosivos, ou que contam com a atuação recorrente ou episódica de processos de *overwash*, as instabilidades no balanço sedimentar geram a completa retirada dos sedimentos depositados no entorno do ponto de fixação do *spit* com o continente.

Isto pode levar à formação de uma ilha barreira. Por sua vez, persistindo os processos de sobrelavagem desta ilha barreira pela ação de ondas de tempestade, a ilha barreira pode se subdividir em duas ou mais ilhas, havendo um rebaixamento generalizado da cota topográfica antes existente, bem como um estreitamento de todo o corpo arenoso. Canais de marés ou estuarinos, lagunas, ou áreas pantanosas situadas à retaguarda dessas barreiras também podem ser entulhados com os sedimentos que foram massivamente retirados desses sistemas de barreiras costeiras.

Ao estudarem detalhadamente o assunto, FitzGerald *et al.*, (2000) afirmaram ainda que estes eventos com alto poder erosivo produzem *washovers*, que acabam se tornando zonas preferenciais de formação de canais de maré, por onde passa a entrar maior quantidade de sedimentos, afetando o balanço sedimentar normal da linha de costa.

Desta forma, assim como as ilhas barreira, os *spits* são extremamente susceptíveis à dinâmica natural de movimentação, resultado da confluência de fluxos sedimentares e forçantes oceanográficas, hidráulicas e climáticas.

Os *spits* constituem mais do que simples formas deposicionais costeiras, para Ollerhead e Davidson-Arnott (1995) eles são importantes recursos naturais, já que oferecem proteção para os portos, habitat para peixes e inúmeros organismos marinhos, e aves aquáticas, além de contribuírem para a formação e manutenção de manguezais.

É neste sentido, por exemplo, que Meireles (2014) afirma que a presença de *spits* na margem direita dos estuários possivelmente atuou como indutora das fases de ambiente lagunar e na ampliação dos setores, ocorrendo expansão do bosque de manguezal e de apicum.

Essa barreira de proteção da linha de costa contra a ação direta das ondas propicia, deste modo, ambientes de relativa calma, diminuindo a ação destrutiva que as ondas poderiam ter se incidissem diretamente sobre a costa. Logo, toda uma biota, e diversidade florística e faunística é beneficiada pela conformação geomorfológica e posição dos *spits*.

As barreiras costeiras apresentam, portanto, múltiplas funcionalidades no sistema costeiro, dentre as quais se destacam: proteção natural da linha de costa contra os efeitos abrasivos das ondas e das tempestades; fonte supridora de sedimentos para o litoral adjacente; imposição de drenagem fluvial nas áreas costeiras, além de servir como atracadouro natural para embarcações de menor porte, como barcos pesqueiros.

Há, porém, inúmeros riscos inerentes à sua dinâmica evolutiva, tais como: assoreamento de canais; fechamento/deslocamento de desembocaduras fluviais; destruição de ecossistemas costeiros, como os manguezais (em caso de exposição das áreas abrigadas), e inundações (durante eventos climáticos e oceanográficos extremos) em áreas naturais e urbanas que se encontram à retaguarda destas barreiras (Ceia *et al.*, 2010).

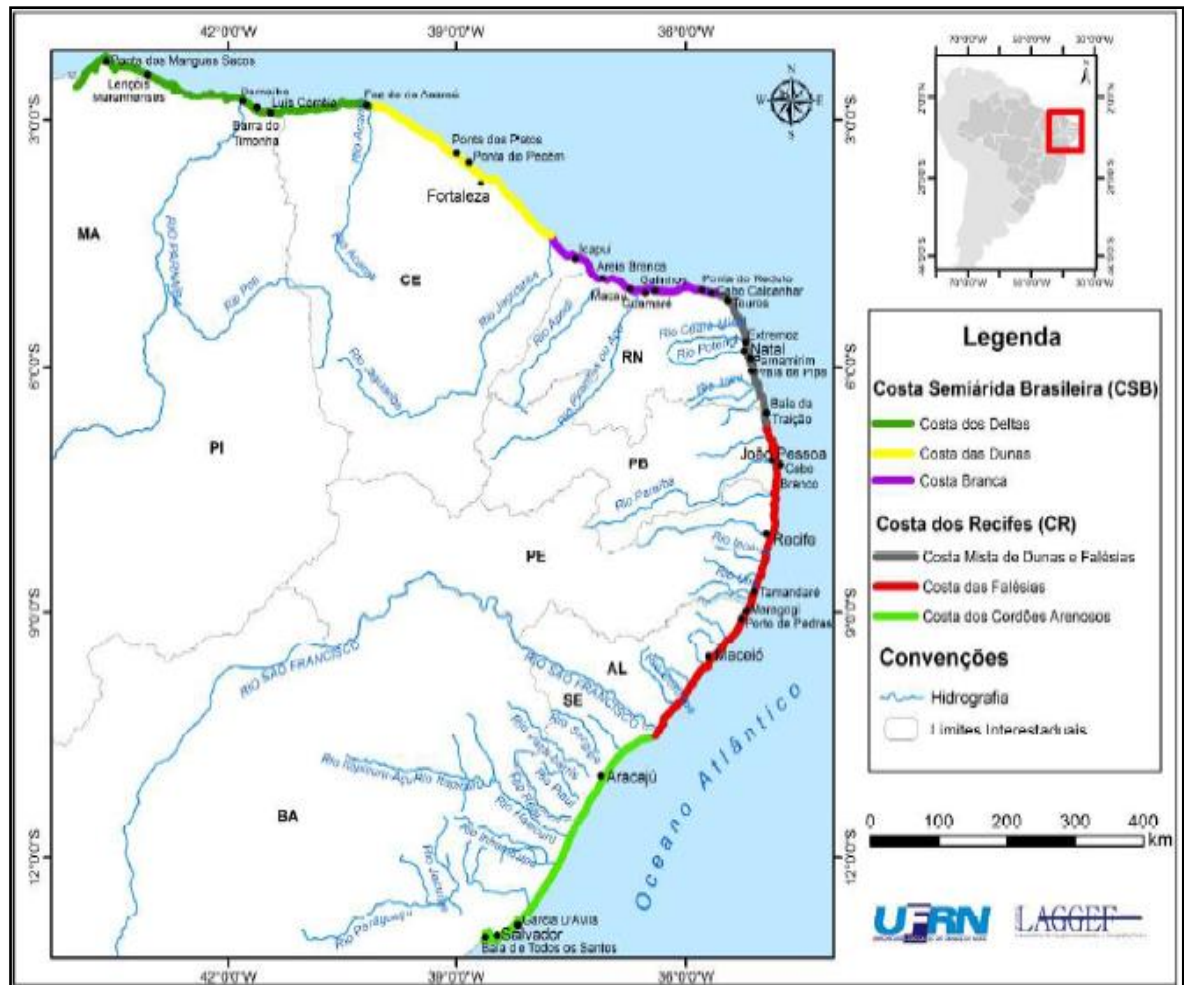
1.2 A Costa Semiárida Brasileira e a ocorrência de barreiras costeiras

A Costa Semiárida Brasileira é um macro compartimento do litoral da região Nordeste do Brasil, que foi individualizada inicialmente por Silveira (1964), e que corresponde à porção setentrional desta região (figura 12).

De acordo com Diniz e Oliveira (2016), os limites geográficos definidos na proposta original de Silveira (1964) compreendia a área entre o litoral do Piauí e o Rio Grande do Norte. Complementarmente, Muehe (1998) considerou a Ponta dos Mangues Secos ($2^{\circ}15'5''S$, $43^{\circ}36'46''W$), no Estado do Maranhão, como o início da Costa Semiárida, terminando no Cabo Calcanhar ($5^{\circ}9'24''S$, $35^{\circ}30'6''W$), no Estado do Rio Grande do Norte, logo, ela também engloba os Estados do Piauí e do Ceará.

Além disso, ele também subdividiu essa costa em dois compartimentos: Costa Semiárida Norte (da Ponta dos Mangues Secos à Ponta do Itapagé), apresentando direção predominante W-E, e Costa Semiárida Sul (da Ponta do Itapagé ao Cabo Calcanhar), com direção predominante NE-SE. Já a porção oriental do litoral nordestino foi denominada de Costa dos Recifes, possuindo características hidrodinâmicas, climáticas e sedimentológicas bastante diferenciadas da Costa Semiárida, cujos detalhes não serão discutidos nesta ocasião.

Figura 12 - Compartimentação do litoral nordestino



Fonte: Diniz e Oliveira (2016).

A Costa Semiárida Brasileira de maneira geral conta, segundo Diniz e Oliveira (2016), com um maior aporte de sedimentação terrígena do que a Costa dos Recifes, isso porque conta com rios mais extensos, que cortam o sertão semiárido nordestino e possuem grande capacidade de transporte de areias terrígenas.

Na linha de costa há, de acordo com os autores, o predomínio de formas deposicionais frente às erosivas, com presença significativa de cordões arenosos estreitos, porém extensos, sofrendo interrupções principalmente nas desembocaduras fluviais e nas áreas de falésias vivas. Além disso, apresenta o maior número de campos de dunas do litoral brasileiro, destacando-se os Lençóis Maranhenses, que é o maior do Brasil.

Trata-se do único trecho do litoral do Brasil com clima semiárido, sendo que a precipitação na maior parte da região está relacionada principalmente à zona de convergência intertropical (ZCIT). As temperaturas atingem médias superiores a 25 °C,

e os ventos predominantes são os alíseos (de SE na faixa mais leste, e de NE na faixa mais a oeste), enquanto que o regime de marés é o de mesomarés (2,01 a 4m).

De acordo com a subdivisão proposta por Diniz e Oliveira (2016), a Costa Semiárida Brasileira é dividida em três subcompartimentos: *Costa dos Deltas*, *Costa das Dunas*, *Costa Branca*.

A *Costa dos Deltas* se inicia na Ponta dos Mangues Secos (MA), e termina na desembocadura do rio Acaraú (CE), com orientação geral da linha de costa W-E e extensão de aproximadamente 445 km. Trata-se do trecho de maior entre os três subcompartimentos. Como o próprio nome sugere, os deltas estão entre as feições mais proeminentes, porém nessa área destaca-se a presença de praias e pontais arenosos, enseadas e cordões de dunas fixas e móveis, além de alinhamento de *beachrocks*. A ocorrência de *spits* (denominados de restingas) segundo os autores se dá preferencialmente nas áreas defronte aos deltas. Além disso, devido ao maior aporte de água doce que chega através de cursos fluviais de maior porte, como o rio Parnaíba e o rio Acaraú, há uma atenuação da salinidade nos estuários da região, favorecendo o estabelecimento do ecossistema manguezal.

O aparecimento de barreiras costeiras em muitos trechos desse subcompartimento é favorecido também pela configuração geométrica e pela conformação da costa. A respeito disso, os autores identificaram que nos trechos onde a costa tem conformação W-E e ENE-WSW, ocorrem feições de deposição fluvial e marinha como os deltas, pontais arenosos, ilhas-barreira, e esporões. Isso por que nessas áreas, as ondas e os ventos predominantes de E e NE atingem a costa praticamente de forma paralela, anulando o transporte longitudinal e favorecendo a deposição das barreiras costeiras.

A *Costa das Dunas*, por sua vez, abrange um trecho que vai desde o delta do rio Acaraú (CE) até a região de Ponta Grossa, em Icapuí (CE), em uma extensão de aproximadamente 370 km. A presença massiva de extensos campos de dunas motivou a denominação utilizada para subcompartimento, havendo relativa predominância de dunas móveis. Além dessas feições, destacam-se a presença de faixas de praia, terraços marinhos, lagoas costeiras e interdunares e planícies litorâneas, além de áreas de falésia, principalmente a leste de Fortaleza (CE). Os ventos predominantes são os alíseos de E-SE, que atingem a linha de costa que em sua maior parte apresenta conformação SE-NW.

Já a *Costa Branca*, é o subcompartimento situado mais a oeste, partindo de Ponta Grossa, em Icapuí (CE), e terminando no Cabo Calcanhar (RN), limite da Costa Semiárida Brasileira. Com extensão aproximada de 250 km, a denominação Costa Branca se deve de acordo com os autores à alta salinidade dos seus deltas, fato responsável pela concentração de quase toda a produção nacional de sal marinho. As principais feições deposicionais desta área são os campos dunares, os deltas de maré, os pontais arenosos, *beachrocks*, os depósitos sedimentares lagunares e de maré. O padrão de ventos é bem mais diversificado que nos demais compartimentos, ocorrendo os de SE (que têm um relativo predomínio em relação aos demais), bem como os de NE e S.

De acordo com Diniz e Oliveira (2016) nas áreas deltaicas desse subcompartimento, o transporte longitudinal é praticamente nulo em função da conformação da linha de costa (posição E-W), favorecendo com que as ondas, especialmente as do tipo *sea*, atinjam a costa de forma paralela, e praticamente anulando o transporte longitudinal. Esse é um dos principais fatores que tem contribuído para a formação mais expressiva de depósitos de barreiras costeiras, em especial os *spits* e as ilhas barreira neste trecho do litoral nordestino.

Outros estudos mais abrangentes e de cunho mais regional envolvendo não apenas esses setores da Costa Semiárida Brasileira, mas o litoral brasileiro como um todo, já haviam sido realizados, a exemplo de Muehe (1998), que juntamente com colaboradores efetuaram um trabalho sistemático e bastante detalhado acerca das características e compartimentação do litoral brasileiro.

De forma semelhante, Dillenburg e Hesp (2009), juntamente com pesquisadores e colaboradores de todas as regiões do Brasil, elaboraram um importante trabalho que caracteriza toda a costa brasileira, com enfoque na geologia e geomorfologia das barreiras costeiras holocênicas do Brasil.

Souza *et al.*, (2008), discutiram aspectos conceituais e legais relativos às barreiras costeiras no Brasil, sendo o único trabalho realizado neste sentido para a costa brasileira.

No Brasil, a maioria dos estudos envolvendo barreiras costeiras vem sendo desenvolvidos na região Sul, voltados principalmente à evolução geológica, reconstrução paleogeográfica, e estratigrafia, *e.g.* Correa, *et al.*, (2004); Dillenburg *et al.*, (2016); (2013); (2005) ; Dillenburg & Barboza (2009); Angulo *et al.*, (2009);. Também encontramos trabalhos importantes realizados na região Sudeste *e.g.* Nascimento, D.R. Jr. *et al.*,(2008); Vasconcelos *et al.*, (2016).

Na região Nordeste, os trabalhos acerca de barreiras costeiras estão concentrados principalmente no Rio Grande do Norte, *e.g* Lima (2002); (2004); Caldas, *et al.*, (2006); Rios e Amaro (2012); (2016); e, de forma menos recorrente, na Bahia, *e.g* Domingez *et al.*, (1983); Andrade & Domingez (2005), e no Ceará, *e.g* Claudino Sales & Peulvast (2003); Aguiar (2011); Aguiar *et al.*, (2012), Moura (2012).

O que se pode se pode constatar, portanto, é que os trabalhos com foco específico nas barreiras costeiras no Brasil, e principalmente no trecho que corresponde à Costa Semiárida, ainda não estão bem desenvolvidos se comparados ao volume e diversidade de publicações relacionadas aos demais ambientes da planície costeira.

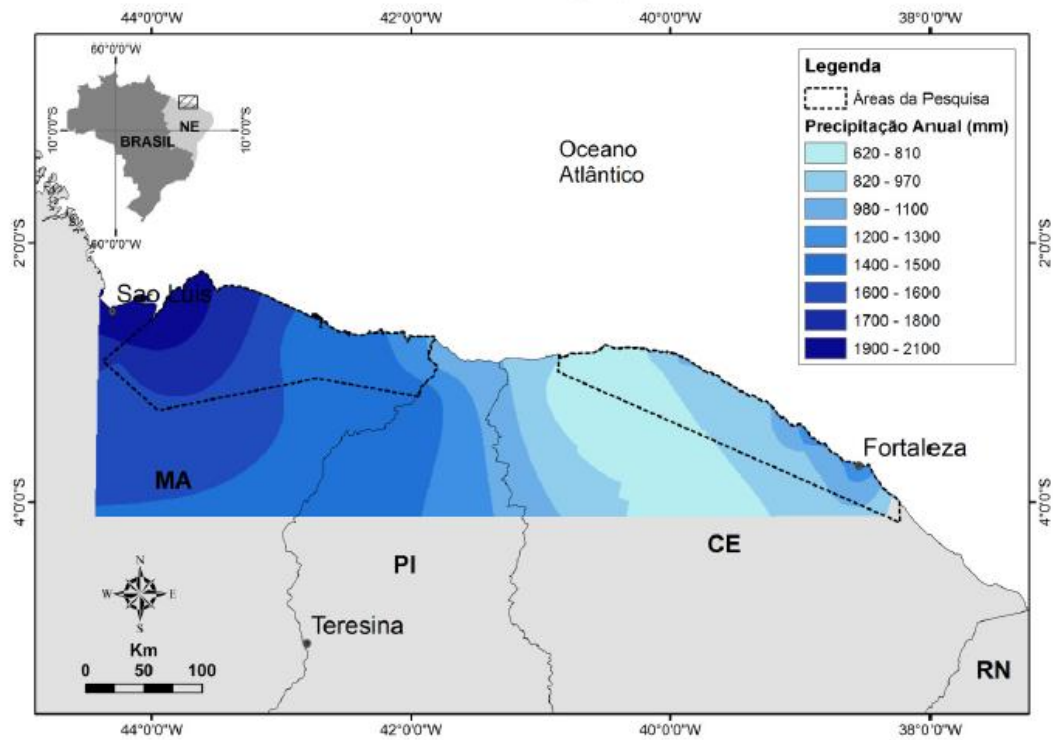
1.2.1 Caracterização geral dos aspectos ambientais a que estão submetidas as barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira

A breve caracterização dos aspectos ambientais relativos às barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira foi elaborada com base no trabalho de Gastão (2017), que ao estudar a evolução das dunas costeiras entre o Ceará e o Maranhão, realizou uma análise abrangente desse trecho do litoral nordestino.

Do ponto de vista climático há um nítido controle da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, através da qual convergem os ventos alíseos de nordeste e sudeste, e cuja aproximação durante os primeiros meses do ano está associada a uma intensificação das precipitações, resultando em maior descarga hidrossedimentológica dos rios, bem como diminuição na intensidade dos ventos. As maiores precipitações ocorrem na porção oeste da Costa Semiárida, com maior concentração em direção no estado do Maranhão (figura13).

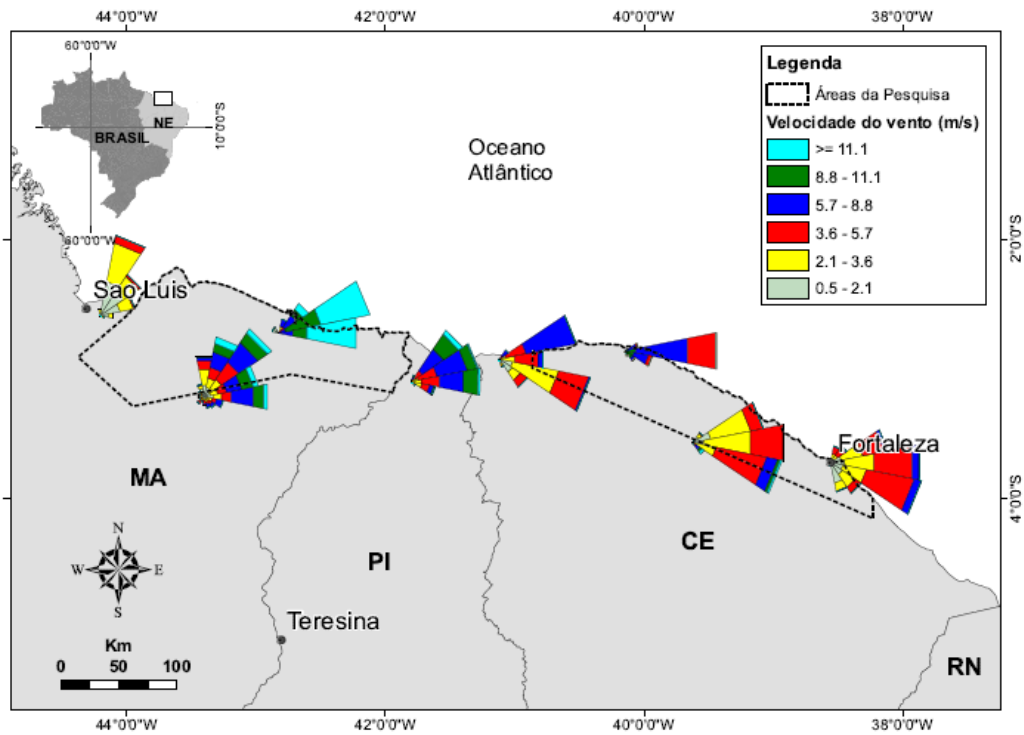
O regime de ventos, por sua vez, conforme análise realizada por Gastão (2017), a sua velocidade aumenta de leste para oeste, enquanto a direção predominante modifica-se de ENE para NE (figura14). No Ceará, as médias diárias de velocidade do vento encontradas pelo referido autor ficam na ordem de 4,7 m/s, com direção predominante de ENE, ao passo que no Maranhão (limite oeste da Costa Semiárida), essa média se eleva para 6,8 m/s, com direção predominante de NE.

Figura 13 – Variação da precipitação anual em diferentes setores da Costa Semiárida



Fonte: Gastão (2017)

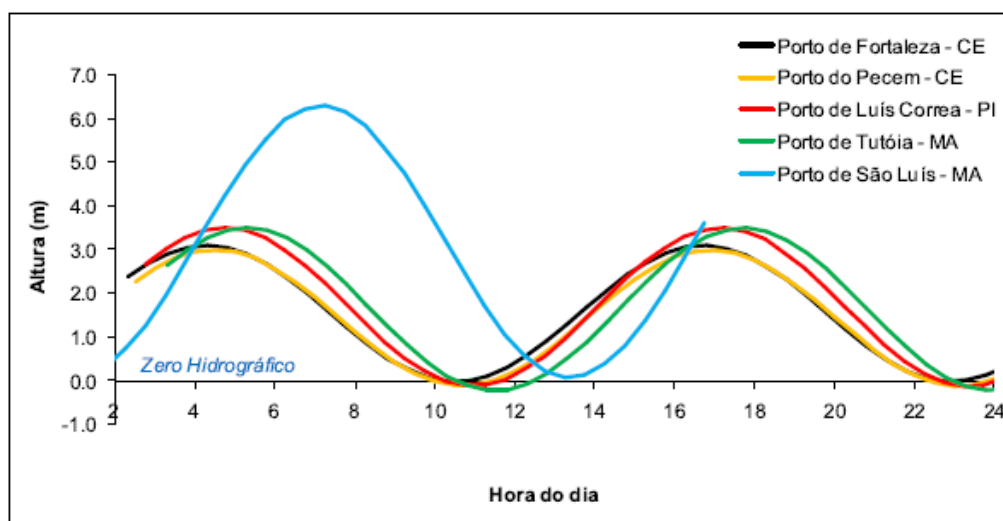
Figura 14 – Regime diário de ventos em diferentes setores da Costa Semiárida



Fonte: Gastão (2017)

Assim como as características hidroclimáticas, os parâmetros oceanográficos alteram-se significativamente de leste para oeste na Costa Semiárida Brasileira. Os dados levantados por Gastão (2017) indicam que na porção leste da Costa, especificamente no Ceará, há o predomínio do regime de mesomarés, enquanto na porção oeste, em especial no Maranhão, predominam as macromarés (figura 15). Esta diferença tem implicações nos regimes de sedimentação e retrabalhamento das morfologias costeiras, já que nos regimes de mesomarés há maior *input*, de sedimentos no sistema costeiro, o que ajudaria a explicar as maiores dimensões não apenas dos campos dunares, mas também das barreiras costeiras.

Figura 15 – Variações de maré em diferentes setores da Costa Semiárida



Fonte: Gastão (2017)

1.3 As barreiras costeiras de Acaraú e Itarema, Litoral Oeste do Ceará

Os municípios de Acaraú e Itarema, localizados no Litoral Oeste do Ceará, se caracterizam pela presença excepcional de areias na zona litorânea e plataforma continental interna adjacente. A linha de costa se caracteriza pelo surgimento de um sistema bem desenvolvido de barreiras costeiras dispostas em uma sequência quase contínua ao longo do litoral (figura 16). A existência e movimentação dessas barreiras costeiras parecem submeter todo o litoral em questão a um regime de sedimentação diferenciado.

Morais & Fonteles (2000) identificaram também a existência de sedimentos detríticos e lateríticos pleistocênicos na forma de terraços fluviais e cascalheiras, no

baixo curso do rio Aracatimirim (Itarema). Este tipo de cobertura está presente também em terraços marinhos pleistocênicos, através de sedimentos arenosos de granulação variada, e coloração marrom-escuro, tendo Fonteles (1995) classificado a cobertura sedimentar da costeira região de Itarema em cinco classes principais (figura 17)

Figura 16 - Sistema de barreiras costeiras no litoral de Itarema e Acaraú, Ceará



Fonte: Morais *et al.*, (2006).

Smith & Morais (1984) já apontavam a existência de uma forte dinâmica de transporte sedimentar na área em questão, sendo os ambientes costeiros ali existentes importantes registros das variações do nível do mar nesta porção do litoral brasileiro (Morais *et al.*, 2009). A intensa dinâmica costeira neste trecho do litoral cearense, também foi destacada por Peulvast & Sales (2004); Dillenburg & Hesp (2009).

São encontradas nesta região costeira praias predominantemente dissipativas, associadas ao macro compartimento das planícies de marés arenosas, sob o domínio de ambientes com restingas e cordões arenosos largos, como foi definido por Morais *et al.*, (2006).

Aguiar *et al.*, (2015) identificaram que nessa região as praias em formas de cordões arenosos e sistemas de barras e calhas vêm sofrendo intensas transformações geradas por correntes, marés e ondas, com um recuo da linha de costa, característicos de praias retrogradacionais, com estágios transgressivos. Ainda de acordo com os autores

as praias em Itarema são dominadas pelo clima e deriva litorânea de sentido NW, o que contribuiria para a migração da linha de costa e das barras arenosas.

Figura 17 - Caracterização sedimentar da região costeira de Itarema, Ceará



Fonte: Adaptado de Fonteles (1995) por Moura (2012).

Esta migração de barreiras costeiras, em especial de *spits*, ocorre de maneira bastante pronunciada e atípica em relação aos demais setores da costa cearense, em função dos grandes volumes de sedimentos que são remobilizados e das expressivas alterações na configuração da linha de costa. A partir de um levantamento temporal em imagens de satélite da área é possível notar o deslocamento extremamente acelerado dos *spits* da região de Itarema e Acaraú (figura 18).

A migração de *spits* foi objeto de alguns estudos realizados na área, tais como os efetuados por Moura (2012) e Aguiar *et al.*, (2012). Porém, ainda é necessário melhor integrar os dados obtidos por meio da interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas, a outros dados que forneçam melhores respostas acerca da dinâmica sedimentar da área.

Compreender como ocorrem os ciclos deposicionais e erosivos nesta área é fundamental, já que os padrões de migração não apenas afetam, mas também são afetados pelos regimes de sedimentação e parâmetros morfodinâmicos e oceanográficos que atuam nas barreiras costeiras na região de Acaraú e Itarema.

Figura 18 - Movimentação e rompimento de *spit* em Acaraú, Ceará



Fonte: Google Imagens.

Além de representarem corpos sedimentares costeiros com dimensões superiores em relação às demais áreas do Ceará, as barreiras costeiras de Acaraú e Itarema também se destacam pelo seu padrão de ocorrência, já que estão situados de maneira alongada e destacada da costa, e representam uma série de barreiras que ocorrem em cadeia, ao longo de todo o litoral. Além disso, eles estão associados a importantes ecossistemas, como os manguezais.

Esses *spits* representam uma primeira barreira de proteção contra a ação direta das ondas e das correntes marinhas, possibilitando condições de maior estabilidade para que a vegetação de mangue e toda a biota associada possam melhor se desenvolver (figura 19).

Figura 19 - Área de manguezal à retaguarda de *spits*, na região de Porto dos Barcos em Itarema, Ceará



Fonte: Gentil Barreira.

O deslocamento acelerado das barreiras costeiras nessa região pode trazer, dentre outras consequências, a maior exposição da zona costeira aos processos erosivos. Isso se reflete diretamente sobre os ambientes costeiros associados, como as áreas de mangue, podendo comprometer a manutenção do próprio ambiente e a sobrevivência das espécies que dele dependem. Além disso, diversas comunidades se utilizam das atividades ali praticadas para a subsistência ou comércio, principalmente a pesca.

As atividades de caráter antrópico também parecem interferir na dinâmica das barreiras costeiras, já que ocorre na região também a ocupação de áreas-fonte de

sedimentos, como os campos de dunas e a faixa de praia. Na localidade de Volta do Rio, em Acaraú, houve a implantação de um parque eólico, no topo de um *spit*, que já apresenta estágios erosivos avançados, por conta da impermeabilização e construção de estruturas rígidas para conter sua dinâmica natural de movimentação (figura 20).

Figura 20 - Evidências de processos erosivos em um *spit* na localidade de Volta do Rio, Acaraú



Fonte: O autor.

De acordo com Claudino Sales & Peulvast (2003), ainda que representando formas frequentes no litoral do Ceará (aproximadamente 14% da área total de linha de costa do Estado) as barreiras costeiras deste setor do litoral nordestino não tinham sido objeto de nenhum estudo específico. Portanto, há necessidade do melhor conhecimento da dinâmica evolutiva dessas barreiras costeiras para o correto entendimento do comportamento da linha de costa, o que fornecerá subsídios adequados à gestão do litoral. Deste modo, entendemos que essas barreiras costeiras devem ser estudadas também por apresentarem significativa relevância ecossistêmica, geossistêmica, e socioeconômica.

No caso da relevância ecossistêmica-geossistêmica, temos que essas barreiras costeiras possuem uma função protetiva, já que preservam a linha de costa da ação direta das ondas e marés (em especial durante os eventos de alta energia, como os galgamentos marinhos e processos de *overwash*). Elas abrigam um importante sistema de manguezal, protegendo-o também da ação da direta das forças hidrodinâmicas marinhas, e contribuindo para as funções ecológicas que lhes são próprias, como o local onde ocorre boa parte dos processos reprodutivos de espécies marinhas, além de ser local e abrigo e alimentação para tais espécies.

Em relação à relevância socioeconômica, temos que à retaguarda dessas barreiras costeiras desenvolveram-se diversificadas atividades econômica, como a carcinicultura, influenciada também pela função protetiva do *spits* em questão, além de servir como zona de entrada e abrigo para barcos pesqueiros da região. No passado, a área também comportou a atividade salineira, e atualmente tem na produção de energia eólica outro setor econômico de significativos impactos. A atividade turística também é favorecida pela conformação da costa e pela disposição das barreiras costeiras. Em função da beleza cênica diferenciada desta porção do litoral cearense, muito apreciada também para a prática de esportes aquáticos, como o *kitesurfe*, favorecida também neste caso pelo sistema abrigado que protege o canal de maré das ondas e causa dispersão no padrão de ventos. Isto alavancou a atividade turística, principalmente voltada ao público internacional, havendo o estabelecimento de pousadas, hotéis, restaurantes. Estas múltiplas relações entre processos naturais e antrópicos tornam mais intrincadas as relações de dependência entre tais atividades e o comportamento dinâmico das barreiras costeiras deste ponto do litoral.

Desta forma, as barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema foram escolhidas para a realização desta pesquisa por apresentarem um padrão de disposição incomum em relação ao restante da linha de costa do Ceará, pelas mudanças aceleradas no processo migratório de *spits*, pela complexidade verificada em alguns setores, com sistemas de *spits* se transformando em ilhas barreira, e pela influência que essas barreiras parecem exercer sobre os ambientes costeiros, a exemplo dos manguezais, e os impactos que isso traz sobre a comunidade local, como a dos pescadores.

Deste modo, para a realização do monitoramento morfosedimentar de detalhe, foi escolhido o sistema aqui denominado *spit-ilha barreira* da localidade de Ilha do Guajiru, em Itarema, o qual alterna fases de configuração morfológica entre *spit* e ilha barreira e a linha de costa por ele abrigada (mapas 01e 02).



39°55'50"W 39°55'0"W 39°54'10"W 39°53'20"W



2°52'30"S

2°52'30"S

2°53'20"S

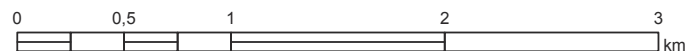
39°55'50"W 39°55'0"W 39°54'10"W 39°53'20"W



Diversidade de Paisagens da Linha de Costa

Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator
 Sistemas de Coordenadas Geográficas
 Datum Horizontal: Sirgas 2000
 Meridiano de Referência: 36° 45' W. Gr.
 Paralelo de Referência: -6°

ESCALA 1:25.000



Fonte
 GeoEye (2016) - (Esri Basedata)
 Levantamentos de Campo

1.3.1 comportamento sazonal dos agentes hidrodinâmicos e dos processos eólicos no litoral de Itarema

Os agentes hidrodinâmicos (ondas) e processos eólicos (ventos) atuantes na área do sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada foram determinados para propiciar o melhor entendimento do comportamento morfosedimentar sazonal desse setor do litoral de Itarema. Os parâmetros de altura, período e direção de ondas e velocidade e direção dos ventos obtidos referem-se ao padrão trimestral, relativos aos meses de janeiro, abril, julho e outubro. As ondas de maior período ocorrem entre janeiro e março, e as de maior altura em outubro, conforme gráfico 01.

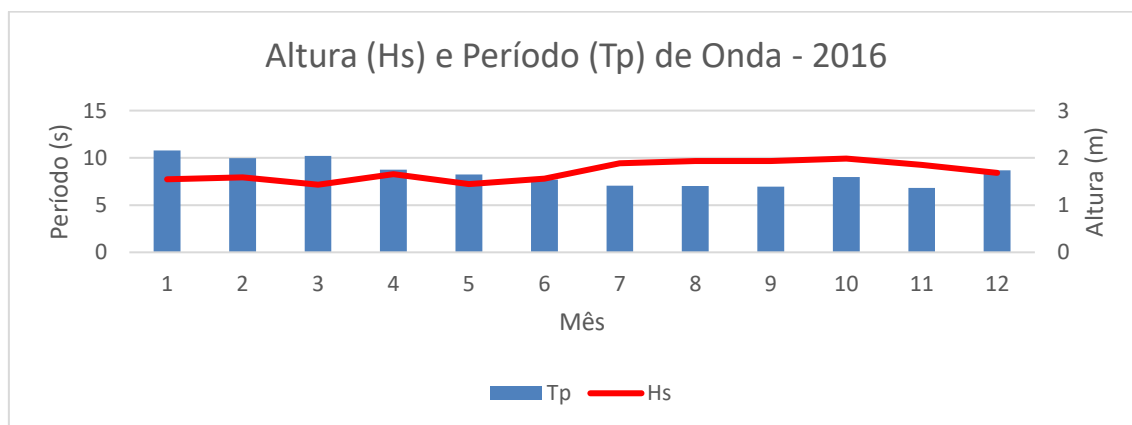
No mês de janeiro verifica-se a predominância de ondas com direção NNE e altura máxima de 2.1 m, associadas à entrada eventual de ondas de E. Os ventos, por sua vez, são provenientes de E, e com velocidade mínima de 5,5 m/s e máxima de 9,2 m/s, sendo os menos intensos provenientes do quadrante ENE, e os mais intensos provenientes de ESE. Ver gráficos 02 e 03.

No mês de abril há a predominância de ondas com direção NNE, com altura variando entre 1.4m e 1.7m. Ondas de maior altura (até 2.5m) de direção ESE também ocorrem nesse período. Já os ventos proveem em sua maioria de ESE, principalmente os de maior velocidade, atingindo 11 m/s. Ver gráficos 04 e 05.

No mês de julho predominam as ondas com direção ESE, com altura máxima de 2.5m. A maior parte, porém, situa-se entre 1.9m e 2.1m. Os ventos registrados atingem picos de 12.1 m/s, também de direção predominante ESE. Ver gráficos 06 e 07.

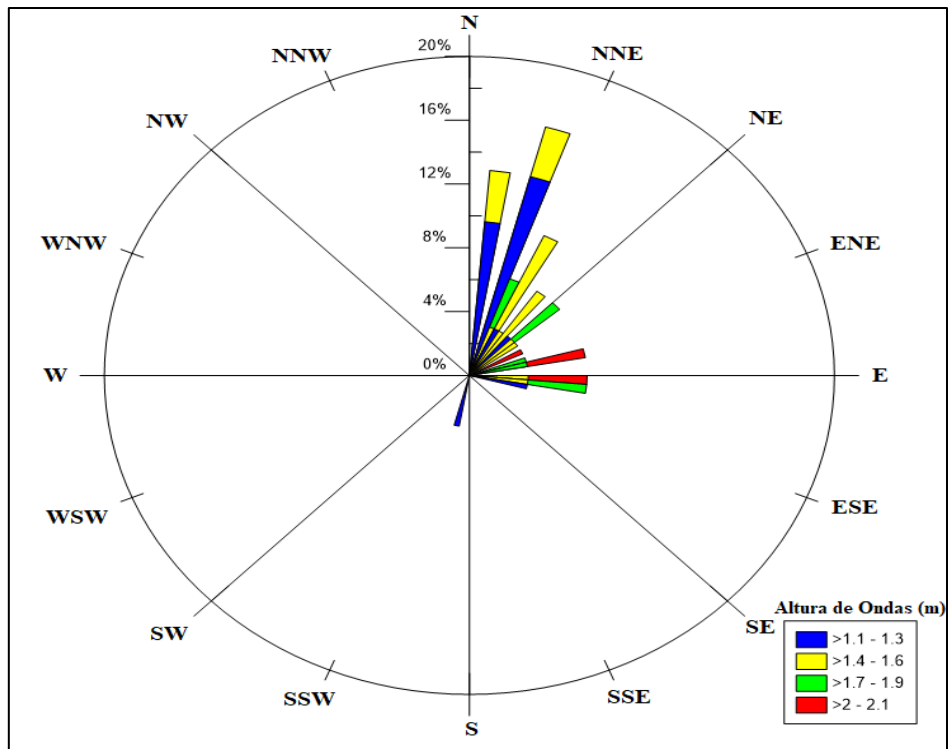
No mês de outubro as ondas predominantes possuem direção E-ESE e altura máxima de 2.6m, enquanto os ventos de E-ESE atingem picos de 11.8 m/s. Ver gráficos 08 e 09.

Gráfico 01 – Variação anual de altura e período de ondas para o litoral de Itarema



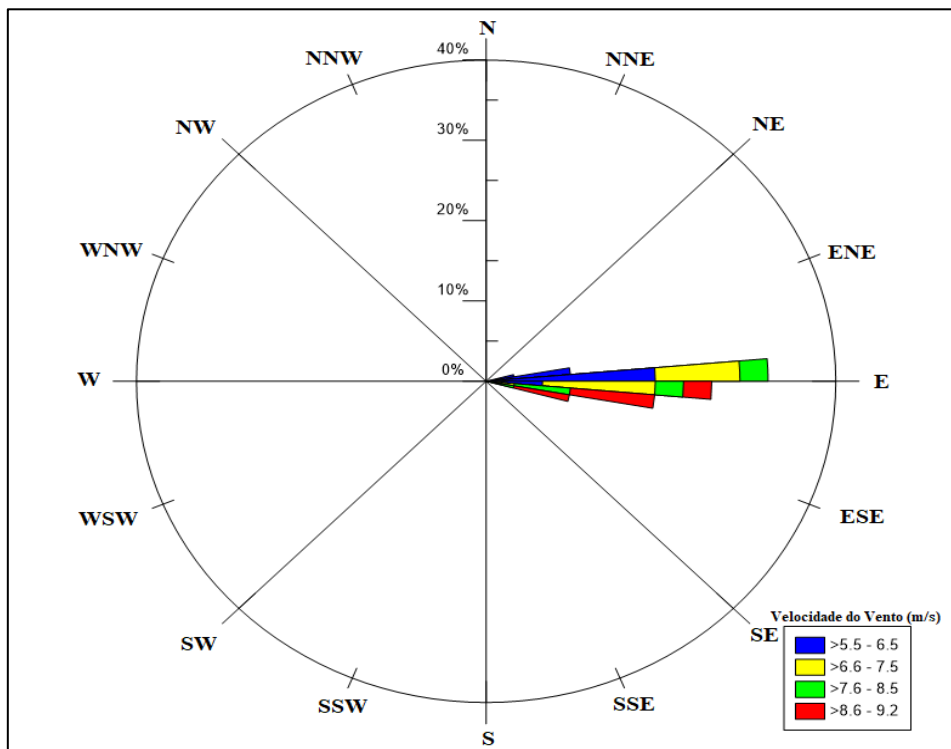
Fonte: O Autor

Gráfico 02 – Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de janeiro



Fonte: O Autor

Gráfico 03 – Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de janeiro



Fonte: O Autor

Gráfico 04 – Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de abril

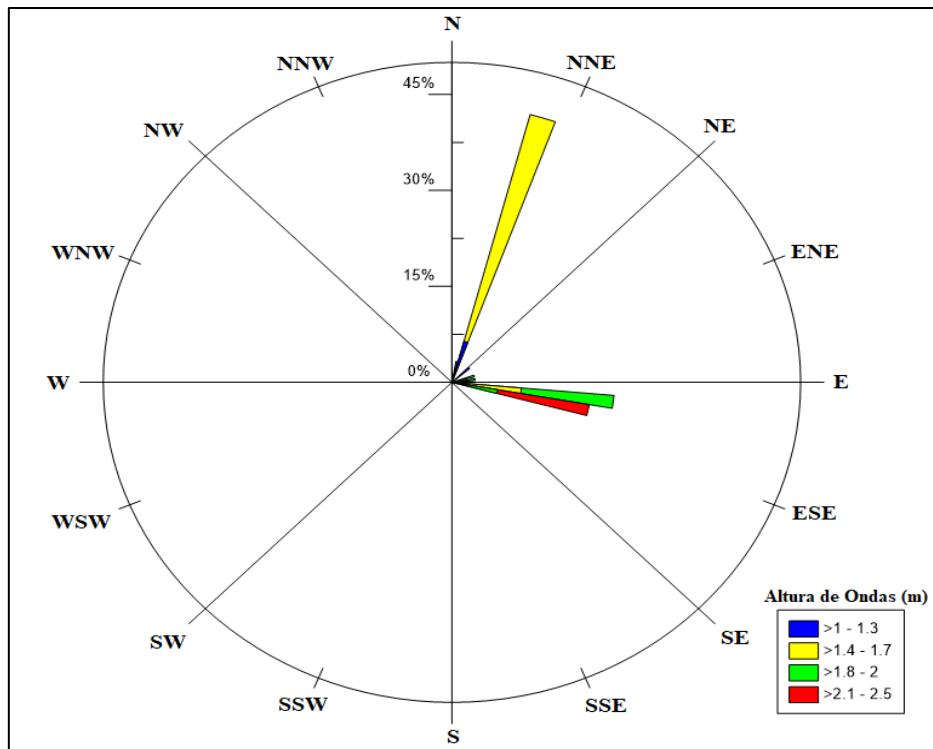


Gráfico 05 – Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de abril

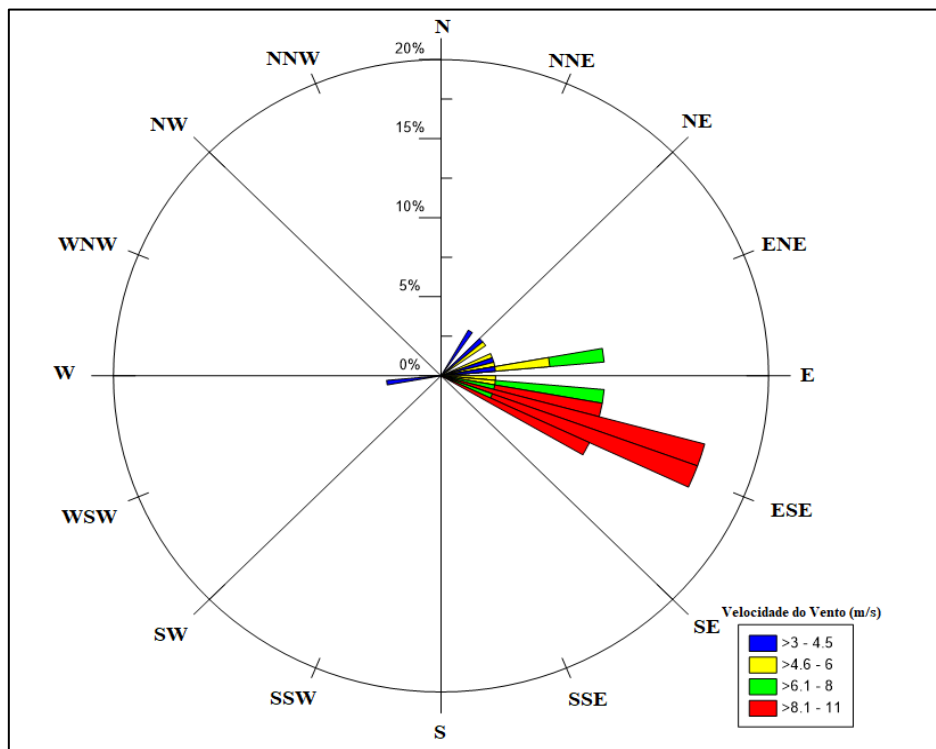
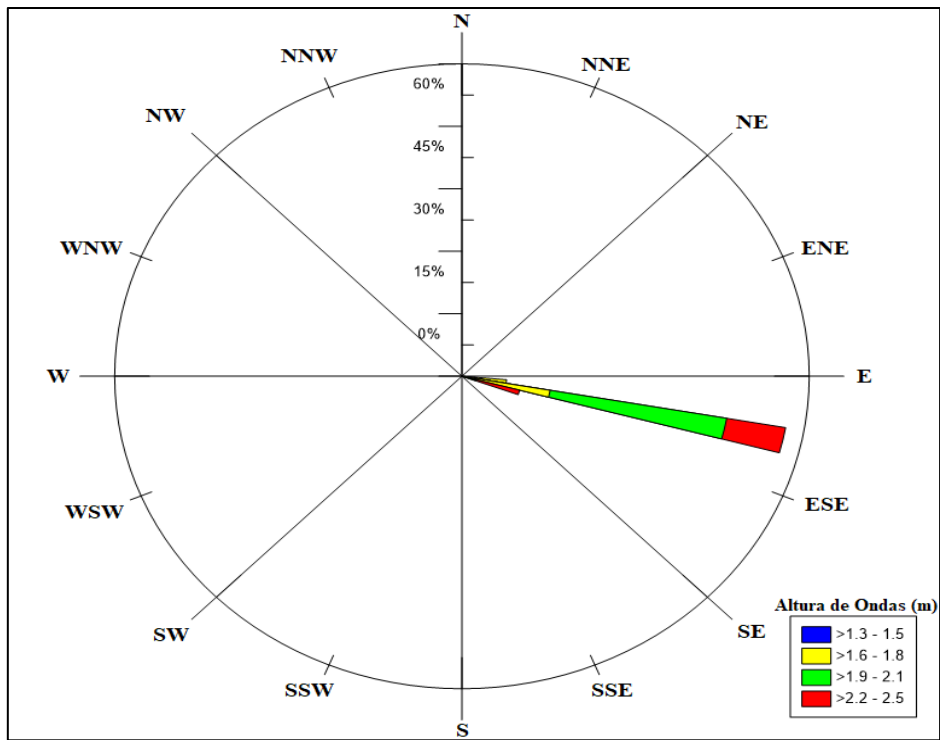
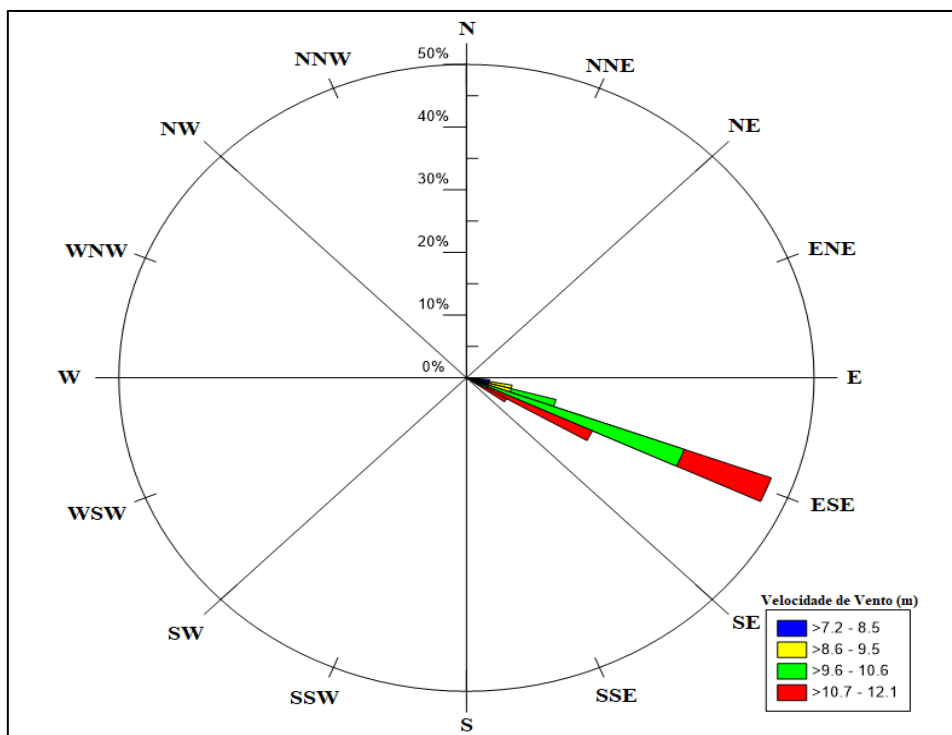


Gráfico 06 – Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de julho



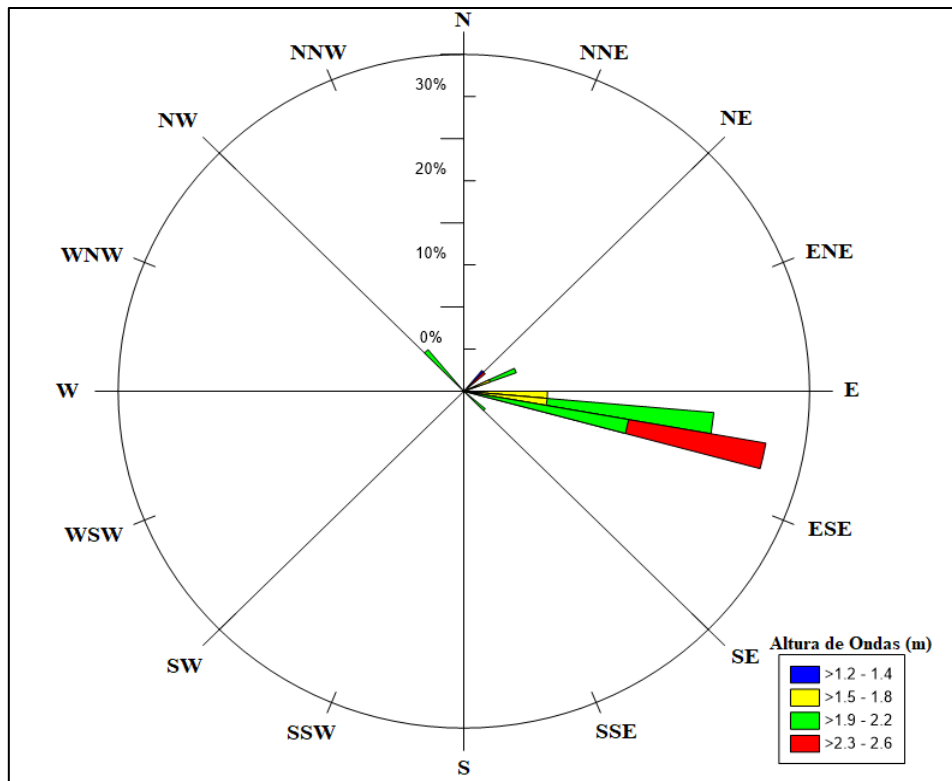
Fonte: O Autor

Gráfico 07 – Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de julho



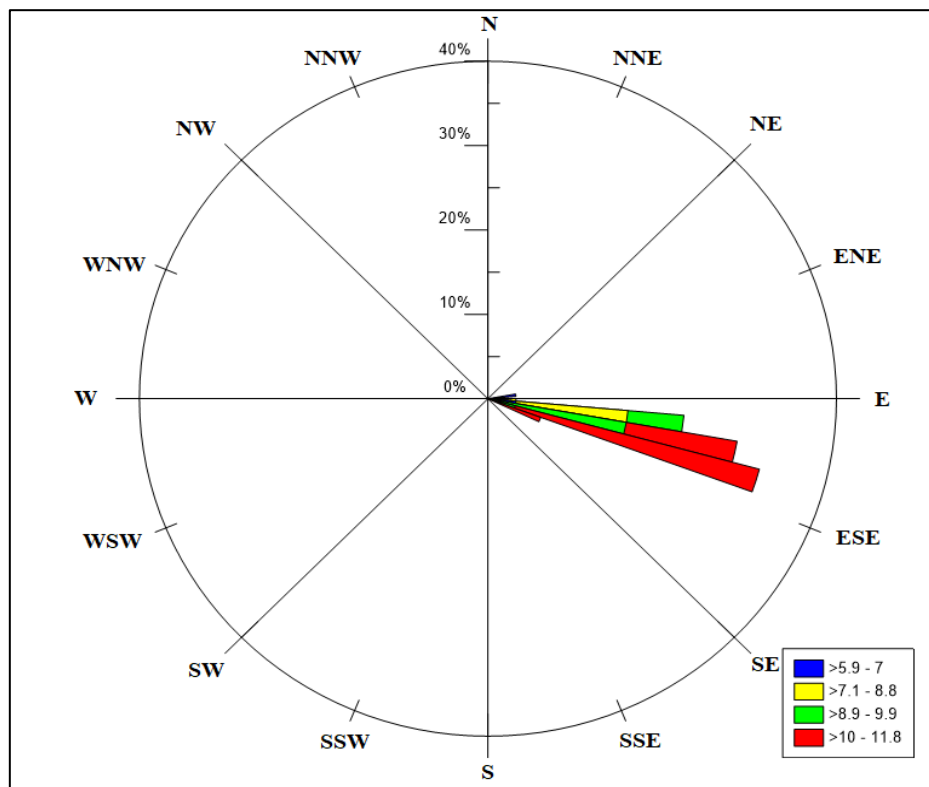
Fonte: O Autor

Gráfico 08 – Altura e direção de ondas para o litoral de Itarema no mês de outubro



Fonte: O Autor

Gráfico 09– Velocidade e direção dos ventos para o litoral de Itarema no mês de outubro



Fonte: O Autor

1.4 HIPÓTESE

As barreiras costeiras de Acaraú e Itarema têm apresentado nas últimas décadas significativas alterações morfológicas e sedimentares associadas principalmente à sua dinâmica migratória, implicando na redução generalizada de sua área e na reconfiguração morfológica, o que pode tornar o referido litoral mais exposto e, conseqüentemente, mais suscetível às múltiplas condições e eventos climato-oceanográficos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Compreender a dinâmica morfológica e sedimentar de um sistema de barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira, tomando como estudo de caso o litoral dos municípios de Acaraú e Itarema, no estado do Ceará.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar a ocorrência das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira e caracterizá-las quanto às principais formas de uso e ocupação;
- Analisar o processo migratório e as principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema em escala interdecadal;
- Avaliar o processo migratório sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema;
- Compreender o comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema;
- Determinar os ciclos de sedimentação no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema a partir de testemunhagem do substrato;

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Levantamento cartográfico das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira

Para a identificação das barreiras costeiras existentes na Costa Semiárida Brasileira foi realizado um levantamento cartográfico com base em imagens de satélite atuais disponibilizadas gratuitamente pelo *Google Earth*, tornando possível sua identificação e obtenção de diversos parâmetros, como localização georreferenciada, área, perímetro, largura (máxima, média e mínima) e comprimento.

Inicialmente, foi realizada uma análise detalhada dos aproximadamente 1.100 km de linha de costa que compõem a Costa Semiárida Brasileira, partindo do Cabo Calcanhar (RN) até a Ponta dos Mangues Secos (MA). Considerou-se neste levantamento as imagens mais atuais disponíveis para cada estado, tornando possível a identificação e mapeamento de todas as barreiras costeiras existentes na Costa Semiárida Brasileira quanto aos dois tipos mais comuns: *spits* e ilhas barreira.

Identificados os *spits* e as ilhas barreira, procedeu-se com o georreferenciamento das imagens de satélite e a obtenção das coordenadas de cada ponto de ocorrência. Após esta etapa, houve a vetorização dos limites de cada barreira costeira, com a criação de um polígono representativo da sua posição na linha de costa, e posterior realização de cálculos e estabelecimento dos parâmetros já mencionados. Os dados foram tratados, e em seguida exportados para planilhas específicas no software excel, para a tabulação de todas as informações obtidas e a construção de uma matriz comparativa das barreiras costeiras.

Foram utilizados dois softwares de geoprocessamento, o *ArcGIS* e o *QGIS* para a elaboração dos mapas representativos das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira na escala de 1:4000.000, sobre uma imagem Landsat 8 – RGB (654), ano 2016. As imagens assim obtidas e tratadas permitiram a análise dos padrões de ocorrência e morfologia das barreiras costeiras, além das principais formas de uso e ocupação, considerando-se a partir da sua análise detalhada o entendimento das principais pressões antrópicas e limitações ambientais.

A interpretação nesta escala regional de análise não houvera sido aplicada por nenhum trabalho anterior, sendo este o primeiro estudo que trata de maneira abrangente da identificação das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira.

2.2 Análise espacial da variação da linha de costa

Para a análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema em escala interdecadal, considerou-se a variabilidade da linha de costa através do uso de imagens de satélite nas 8 barreiras costeiras (*spits*) mais expressivas deste litoral, num intervalo de 44 anos, entre 1973 e 2017.

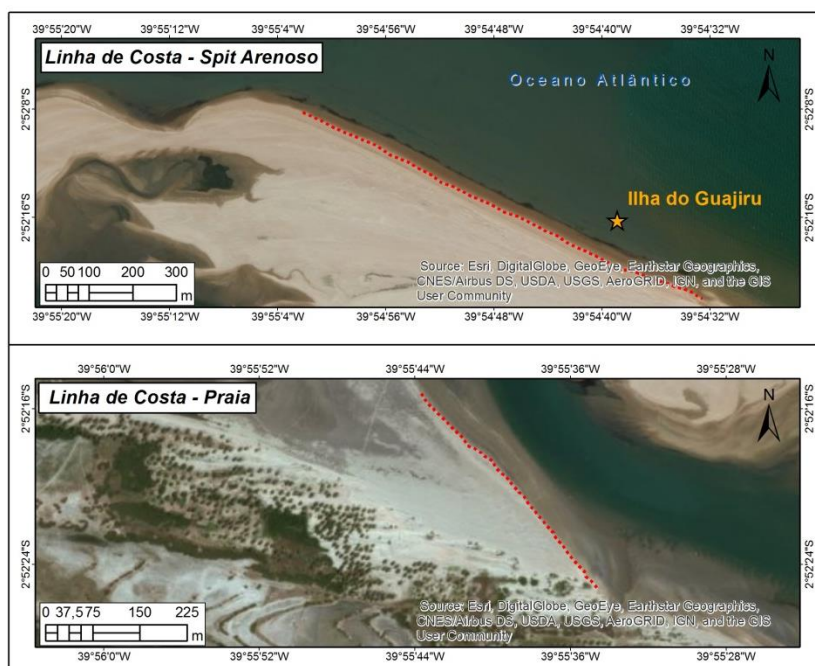
A escolha dos anos (1973/1985/1993/2007/2017) para as imagens de satélite utilizadas ocorreu em função da aplicação da metodologia dos anos-padrões de Galvani e Luchiari (2004), detalhada adiante. A adoção do conceito de linha de costa e os procedimentos operacionais através do método do polígono de mudanças foram essenciais para obtenção desta análise, sendo detalhados a seguir.

A mensuração das variações morfológicas da zona costeira é um dos principais elementos para o gerenciamento costeiro direcionado à conservação ambiental e segurança costeira das comunidades residentes nesse ambiente. Para tanto, é primordial que as pesquisas nesse tema sigam um caráter temporal e espacial, considerando, sobretudo a variação da linha de costa, que está condicionada a ação dos agentes dinâmicos oceanográficos, conforme Woodroffe (2002) e Wrigth e Short (1984).

Por linha costa entende-se como sendo a representação da interface entre a terra e a água (BOAK E TURNER, 2005, p. 688). Segundo Oertel (2005), considera-se a linha de costa como um indicador unidimensional, sem espessura e diâmetro, servindo como indicador de posição da praia ao longo do tempo. Logo a linha de costa pode ser delimitada nas imagens satelitais com base em uma série de indicadores (OERTEL, 2005).

Desse modo, autores como Pilkey e Dixon (1996), Silvester e Hsu (1997) e Oertel (2005), sugerem que a linha de costa é o limite entre as áreas secas e molhadas da praia. Crowell (1991), alerta para a consideração que a linha de costa corresponde a um perímetro flutuante, isto é, que possui um posicionamento geográfico variável na escala espaço-temporal. Para este trabalho, considerou-se o conceito de linha de costa segundo Crowell (1991), como apresentado na figura 21.

Figura 21 - Delimitação da Linha de costa (em vermelho)



Fonte: O Autor

De posse dessas premissas, duas metodologias para análise da variação da linha de costa se sobressaem em relação aos demais métodos: o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), desenvolvido por Thieler *et al.* (2005), e o *Change polygon* (Polígono de Mudança), desenvolvido por Smith e Cromley (2012).

Neste trabalho adotou-se o método de polígono de mudança, uma vez que este captura a diferença espacial total entre duas linhas de costa de datas distintas. A variação média da linha de costa é dada pela razão entre a área líquida dividida pela linha da costa comprimento. Segundo Smith e Cromley (2012), uma complicação associada ao DSAS, estaria ligada à escolha da linha de base adequada, e a subsequente geração de transectos que se cruzam entre si, em vez de cruzar apenas a linha de costa.

O polígono de mudança fora construído para evitar as dificuldades mencionadas, onde ao invés de usar uma linha de base arbitrária como base para análise comparativa, o polígono de mudança aplica duas linhas de costa distintas para construir polígonos entre estas (SMITH e CROMLEY, 2012). Dessa forma, nessa abordagem as regiões de mudança entre duas linhas de costa são mapeadas e quantificadas.

Buscando a representação desses valores em formato numérico de taxa de variação, Dias *et al.*, (1994), desenvolveram a Taxa de Variação de Linha de Costa – TVLC, segundo o autor as taxas de variação da linha de costa constituem um dos melhores marcadores dos índices de processos erosivos. O autor construiu (TVLC) a

partir do saldo obtido (SD) entre a área acrescida (AC) e erodida (AE) (Fórmula A) pela extensão da linha de costa (ELC) do ano base (Fórmula B).

$$SD = AC - AE \text{ (A)}$$

$$TVLC = SD / ELC \text{ (B)}$$

Para a construção das variáveis se fez uso de um banco de dados de imagens satelitais série Landsat 1 - Sensor MSS, Landsat 5 - Sensor TM e Landsat 8 - Sensor OLI, distúrbios temporalmente entre 1973 e 2017 (Tabela 01), os dados foram adquiridos nas plataformas do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e USGS – *United States Geological Survey*. A escolha das datas levou em consideração dois critérios, o primeiro relacionado à menor quantidade de nuvens e o segundo dados que se enquadrem no segundo semestre do ano ou no período de transição como mês de junho e julho.

Tabela 01 – Dados multiespectrais das imagens utilizadas

Data	Satélite	Sensor	Bandas	Resolução Espacial	(Comp. RGB)
28/10/1973	Landsat 1	MSS	4-7	80 m	546
25/06/1985	Landsat 5	TM	1-7	30 m	543
02/08/1993					
09/09/2007					
17/09/2017	Landsat 8	OLI	1-9 PAN	15 m	654 + Pan (8)

Fonte: O Autor

Os dados passaram por três etapas básicas buscando a consolidação e precisão das informações, (1) pré-processamento: foram corrigidas distorções dos dados multiespectrais, como erros radiométricos e erros na geometria de imageamento. Estão incluídas nessa etapa também as correções geométricas, onde fora executado o registro das imagens, com base em mosaicos controlados Geocover e subsequente reprojeção das informações do Datum de origem WGS 84 e Sistemas de Coordenadas Geográficas, para SIRGAS 2000 e Sistema de Coordenadas Geográficas.

Na segunda etapa, (2) processamento: foram realizados os testes de composições espectrais que melhor destacam-se a linha de costa, esses testes foram conduzidos com base no sistema de cores aditivas RGB, chegando-se a seguinte combinação, Landsat 1 - R (5) G (4) B (6), Landsat 5 - R (5) G (4) B (3) e Landsat 8 - R (6) G (5) B (4). Ver tabela 02.

Por fim, a terceira etapa (3) pós-processamento, inclui a construção das linhas de costa nos dados satelitais, e posterior cálculo de taxas de variação.

No que concerne à ferramenta computacional para construção dos produtos cartográficos, adotou-se o software ArcGIS® 10.0, versão trial, devidamente licenciada (ID: 3788757452), cujo software e licença foram adquiridos junto a ESRI - Environmental Systems Research Institute.

Para se chegar aos resultados apresentados se seguiu cinco etapas, como apresentado a seguir e nas Figuras 22 e 23.

Digitalização da linha de costa;

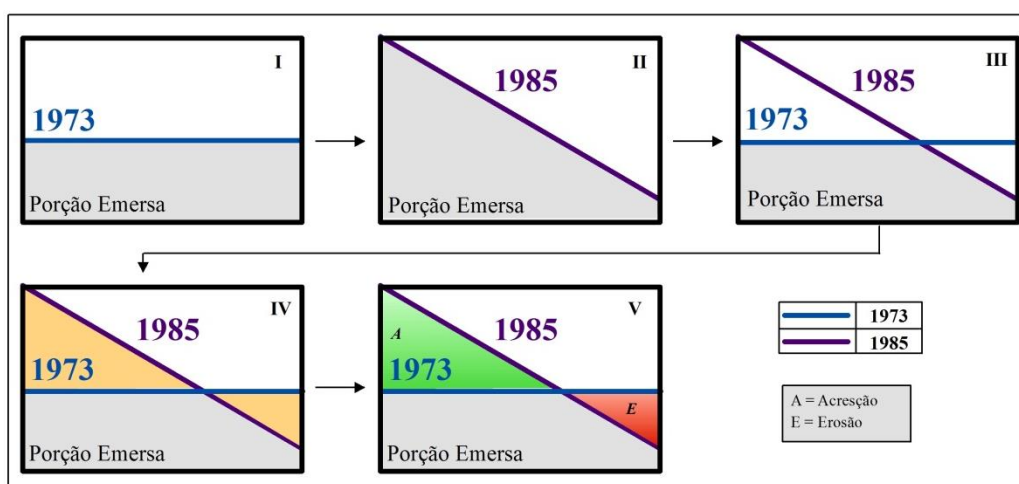
Cruzamentos das linhas de costa;

Poligonização das regiões situadas entre as linhas;

Definição dos polígonos erosivos e progradacionais; e

Aplicação da taxa de variação de linha de costa TVLC desenvolvida por Dias et al, (1994).

Figura 22- Etapas do método Change Polygon



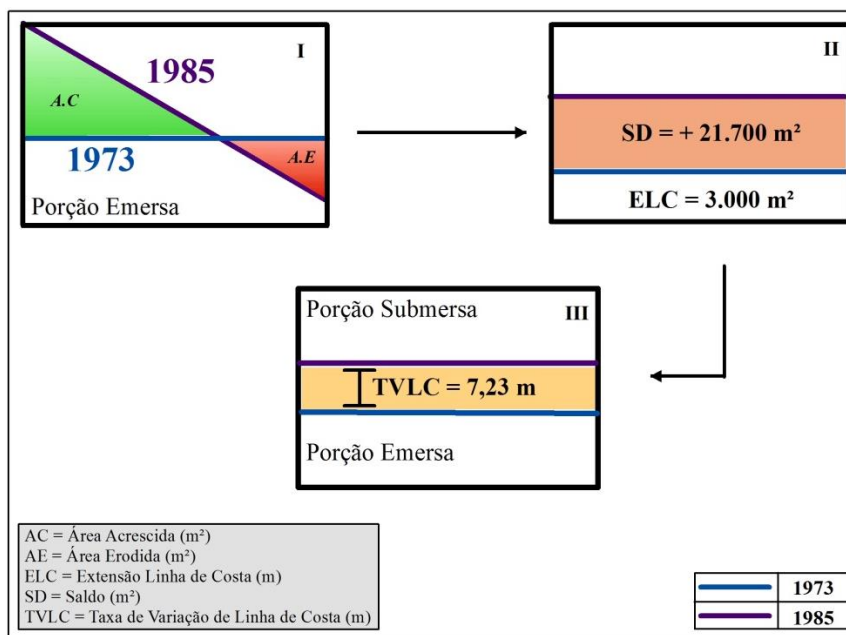
Fonte: O Autor.

Tabela 02 - Dados de entrada para teste da TVLC

Dados de Entrada (1973 - 1985)	
ELC - Extensão da Linha de Costa (m)	3.000
AC - Área Acrescida (m ²)	25.200
AE - Área Erodida (m ²)	3.500
SD - Saldo (m ²)	21.700
TVLC - Taxa de Variação de Linha de Costa (m)	7,23

Fonte: O Autor.

Figura 23 - Representação espacial da TVLC



Fonte: O Autor.

2.3 Determinação dos anos-padrões

Para a escolha das imagens a serem usadas na análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas adotou-se a metodologia dos anos padrões, que visa o agrupamento de totais anuais de precipitação com objetivo de facilitar a análise, uma vez que o horizonte de dados muitas vezes apresenta alta dispersão dos dados. Para a aplicação dessa metodologia foram utilizados os dados da estação Acaraú (Código: 240007) e coordenadas geográficas 2°53'52.45" de Latitude Sul, 40°7'9.28" de Longitude Oeste de Greenwich. Os dados foram acessados a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH –, cuja plataforma é gerida pela Agência Nacional de Águas – ANA.

A metodologia dos anos padrões foi desenvolvida por Galvani e Luchiari (2004), e toma como base a análise estatística da série de dados por meio de aplicação de quartis, que são os valores que dividem um conjunto de dados em quatro partes iguais, como aponta Langford (2006). Conforme Galvani e Luchiari (2004) apresentou-se inicialmente a delimitação da série climatológica, nesse estudo adotaram-se os dados situados no intervalo de tempo situado entre 1970 a 2017. Em seguida, definiu-se o range de 5 a 95%, ou seja, 5% dos menores valores e 5% dos maiores da série de dados serão considerados outliers. Nesse caso, foram classificados os anos de 1990 (528,30 mm) e 1983 (451,70 mm) como outliers inferiores, e 1985 (2.959 mm) e 1974 (2.904,60 mm) outliers superiores.

Em seguida aplicaram-se os referidos parâmetros para classificação, precipitações entre os 5% dos menores valores serão denominados anos supersecos, as que estiverem entre os 5% dos maiores valores serão denominados superúmidos. Já os que estiverem entre o 1º quartil e o 3º quartil serão denominados normais, já os que estiverem entre o 3º quartil e o valor máximo serão denominados anos úmidos (Tabela 03).

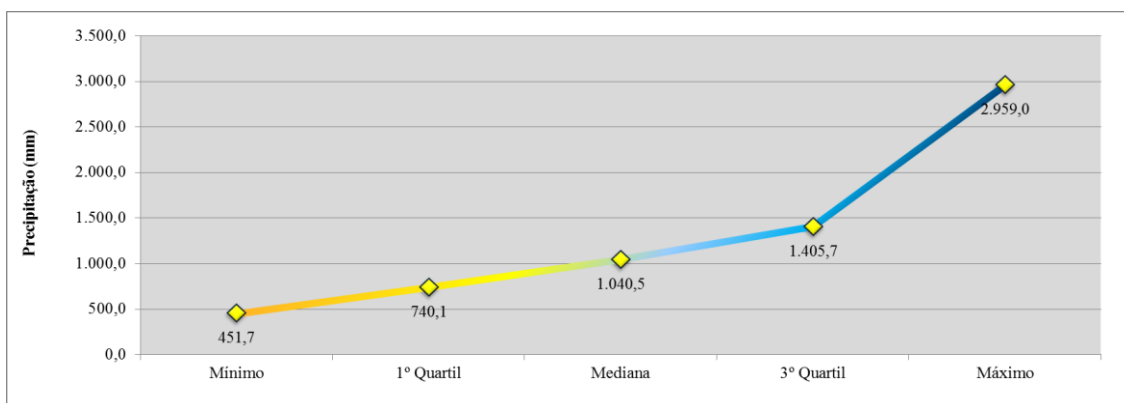
Tabela 03 - Classificação numérica dos totais precipitados

Precipitação anual (mm)	Classificação - Galvani, E. Luchiari, A. (2004)
5% menores da série	Super secos
5% maiores da série	Super úmidos
Entre V.min e 1º quartil	Secos
Entre 1º quartil e 3º quartil	Normais
Entre 3º quartil e V.max	Úmidos

Fonte: Adaptado pelo autor de Galvani, E. & Luchiari, A. (2004).

As derivações da estatística apresentaram, com o valor mínimo de precipitação de 451,7 (1983), 1º quartil representando 25% dos dados com um valor de 740,1 (2007), 2º quartil descrito pela mediana e representando 50% da série, com um valor de 1.040,5 (1987), 3º quartil representando 75% dos dados, com um valor de 1.405,7 (1995) e o valor máximo de 2.959 (2009) – (Gráfico 10).

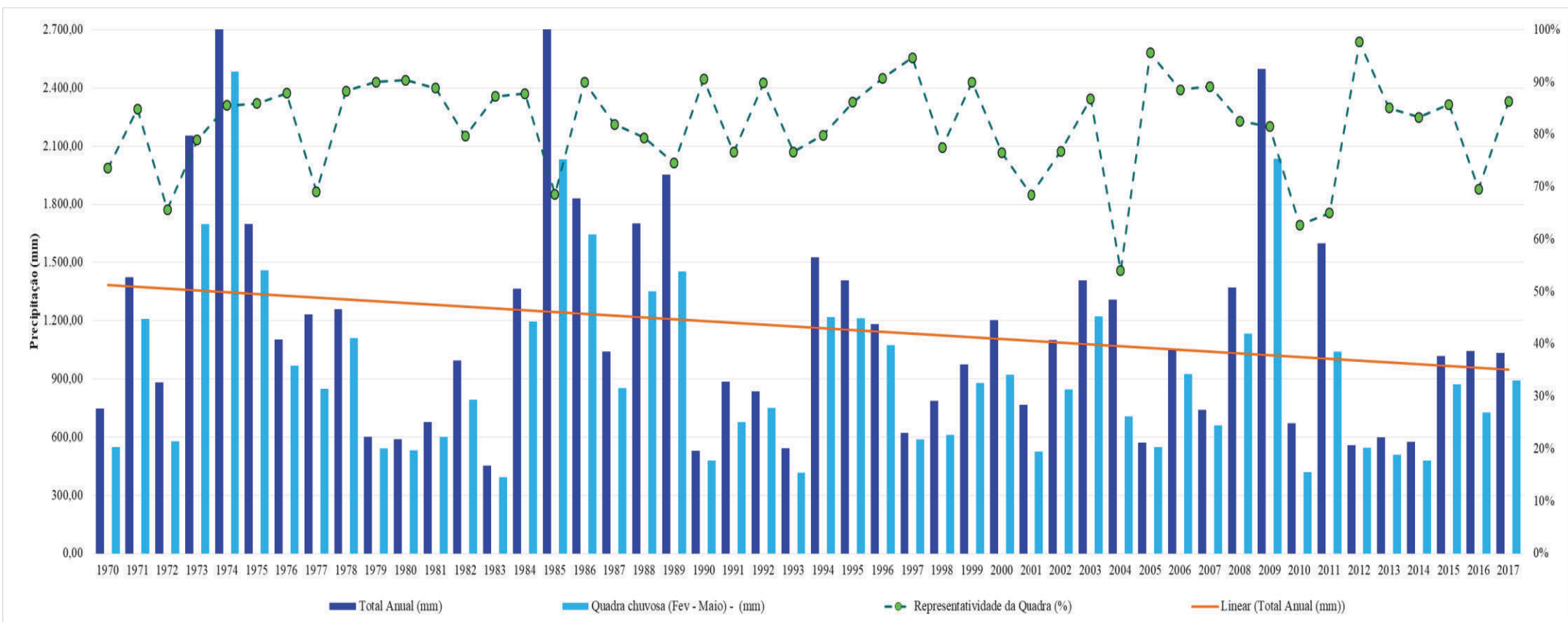
Gráfico 10 - Estatística descritiva da normal climatológica (1970 - 2017)



Fonte: O Autor

Referente à distribuição dos anos, de acordo com a classificação, houve uma predominância dos anos com precipitação normal, com total de 50% da série (gráfico 11), entre os anos secos e úmidos detectou-se equilíbrio entre os anos secos e úmidos, cada um representando 21% da série (gráfico 12). Isto permitiu além da classificação dos anos-padrões (tabela 04) também o entendimento do comportamento pluviométrico mensal e anual (gráfico 13 e tabela 05).

Gráfico 11 - Distribuição pluviométrica e representatividade percentual da quadra chuvosa - posto Acaraú - (1970 - 2017)



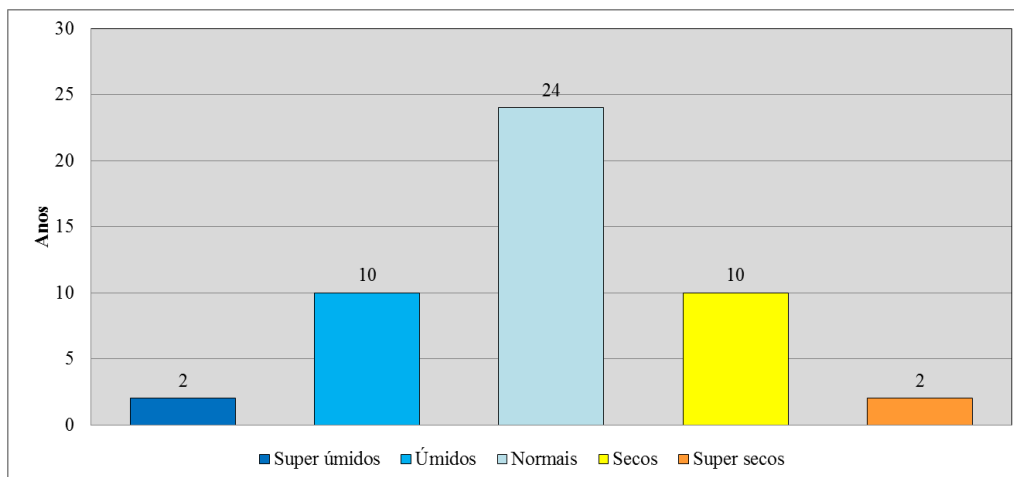
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da ANA - Agência Nacional de Águas.

Tabela 04- Anos padrões para o posto Acaraú (1970 – 2017)

Anos Padrões					
Metodologia Galvani, E. Luchiari, A. (2004)					
Ano	Precipitação (mm)	Classificação			
1974	2.904,60	<i>Upper Outliers</i>	Super úmidos		
1985	2.959,00				
2009	2.497,7	<i>V. Máximo</i>	Úmidos		
1973	2.152,30				
1989	1.951,30				
1986	1.828,60				
1988	1.700,30				
1975	1.698,70				
2011	1.598,60				
1994	1.526,40				
1971	1.423,20				
2003	1.406,50				
1995	1.405,7			<i>3° Quartil</i>	Normais
2008	1.371,30				
1984	1.363,10				
2004	1.309,70				
1978	1.259,20				
1977	1.230,80				
2000	1.203,30				
1996	1.181,70				
1976	1.102,70				
2002	1.100,30				
2006	1.046,00				
2016	1.043,00	<i>2° Quartil</i>			
<i>Mediana (1987)</i>	1.040,5				
2017	1.034,00				
2015	1.017,20				
1982	993,70				
1999	974,70				
1991	885,90				
1972	880,60				
1992	836,10				
1998	786,30				
2001	766,80				
1970	747,40				
2007	740,1		<i>1° Quartil</i>		
1981	678,10		Secos		
2010	669,90				
1997	622,10				
1979	602,00				
2013	598,30				
1980	588,60				
2014	574,40				
2005	572,40				
2012	558,50				
1993	541,0			<i>V. Mínimo</i>	
1990	528,30			<i>Lower Outliers</i>	Super Secos
1983	451,70				

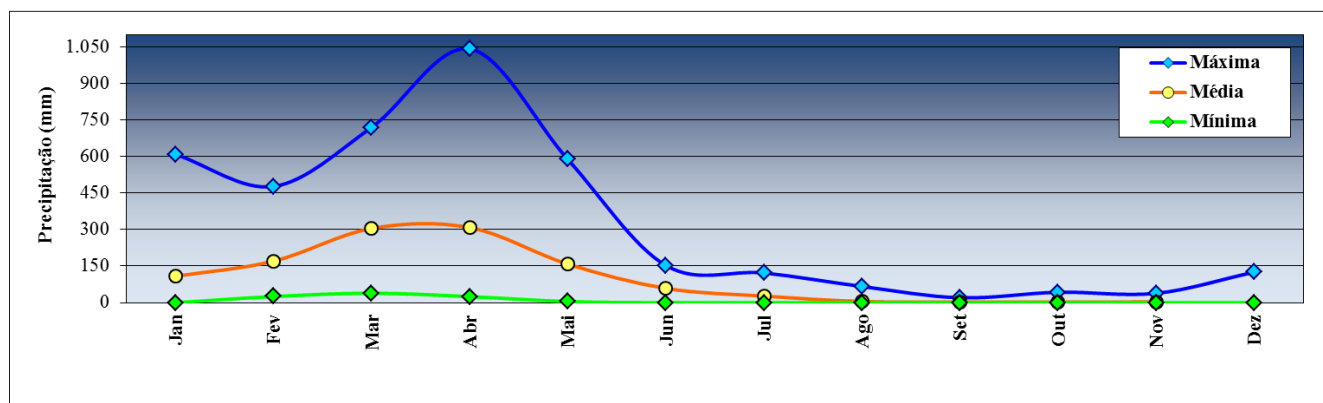
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da ANA - Agência Nacional de Águas.

Gráfico 12 - Classificação dos anos padrões (1970 - 2017)



Fonte: O Autor

Gráfico 13 - Distribuição pluviométrica mensal - posto Acaraú - (1970 - 2017)



Fonte: O Autor

Tabela 05 - Estatística das precipitações (níveis mensal e anual)

Estatística Descritiva Posto Acaraú- (1970- 2017)														
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Variável	Anual
Média	108,32	170,45	304,80	308,26	158,22	58,84	27,20	5,04	2,19	2,56	3,43	16,37	Total	1.165,68
DVP	124,24	115,09	158,94	198,71	125,15	43,07	32,48	11,20	4,87	7,38	7,58	28,87	-	-
CV	0,87	1,48	1,92	1,55	1,26	1,37	0,84	0,45	0,45	0,35	0,45	0,57	Média	0,96
Máxima	608,60	477,20	719,60	1.041,30	588,00	152,60	122,20	66,60	20,20	43,00	38,60	125,50		333,62
Mínima	0,00	25,50	38,80	25,00	4,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		7,83
Percentual	9%	15%	26%	26%	14%	5%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	-	-

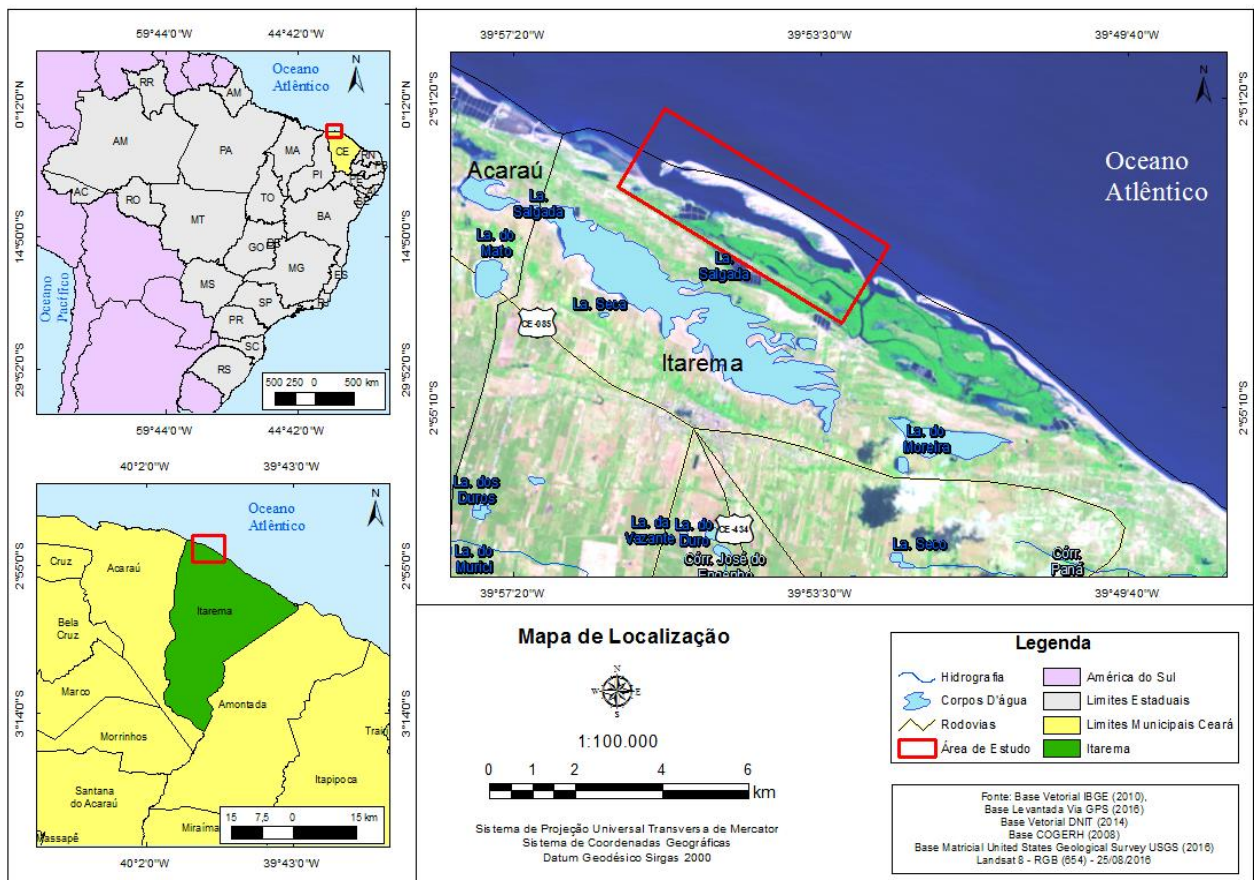
DVP: Desvio Padrão / CV: Coeficiente de Variação

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da ANA - Agência Nacional de Águas.

2.4 Monitoramento do processo migratório sazonal do sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada

Para a avaliação do processo migratório sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema foram realizadas quatro campanhas trimestrais de levantamento de campo (abril/julho/outubro de 2016 e janeiro de 2017) em um sistema *spit*-ilha barreira situado na região localmente conhecida como Ilha do Guajiru, em Itarema (mapa 03).

Mapa 03 - Localização do sistema *spit*-ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema, Ceará



Fonte: O autor.

O referido sistema configurava-se durante os levantamentos como uma ilha barreira de aproximadamente 5.7 km de comprimento lateral (entre a extremidade mais próxima ao continente e a extremidade oposta), e com largura máxima e mínima de aproximadamente 500 metros, e 23 metros, respectivamente.

Esta barreira costeira passa a ser denominada neste trabalho como sistema *spit*-ilha barreira, por apresentar fases em que ora se configura como *spit* (uma extremidade conectada ao continente e a outra livre), e ora se configura como ilha barreira (as duas

extremidades desconectadas), estando configurada durante os levantamentos de campo como ilha barreira.

Em todos os levantamentos utilizou-se um GPS geodésico, do tipo DGPS (*Differential Global Positioning System*) modelo *GTR-G²*, da *Tech-Geo*, que possui alta precisão (centimétrica), aferindo maior acurácia na obtenção dos dados de posição (coordenadas) e altura medidos em campo. Antes dos levantamentos foi efetuada a transferência de referencial de nível (RN) do IBGE para a área da linha de costa à retaguarda da barreira costeira, mais próxima aos levantamentos, de modo a melhorar a qualidade do sinal obtido e evitar a perda de sinal satélital durante o monitoramento (figura 24).

Figura 24 - Transferência de referencial de nível (RN) para a área de estudo



Fonte: O autor.

Utilizou-se como indicador da linha de costa a linha de última maré alta identificada no litoral que foram delimitadas através do uso do DGPS (figura 25). As linhas contendo as coordenadas com a posição da ilha barreira e da linha de costa referentes a cada monitoramento foram armazenadas e, posteriormente, tratadas no software *ArcGIS*, para que se efetuasse seu cruzamento e fosse realizado o cálculo da Taxa de Variação de Linha de Costa – TVLC, conforme procedimentos anteriormente mencionados aplicados à análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras em escala interdecadal.

Figura 25 – Monitoramento da linha de costa através do uso de DGPS



Fonte: O autor

O monitoramento efetuado por meio do uso de um sistema DGPS de alta precisão para a avaliação do processo migratório sazonal da linha de costa é altamente recomendável, porém pouco utilizado devido ao seu alto custo agregado do equipamento, bem como pelas dificuldades logísticas de campo. Os levantamentos realizados foram executados inteiramente a pé tanto na linha de costa abrigada quanto no sistema *spit*-ilha barreira. No caso da ilha, devido à inacessibilidade de veículos, o que demandou esforço físico e de tempo consideráveis, dadas as dimensões da barreira costeira.

A utilização de imagens de satélite para essa análise do processo migratório sazonal é inviável, já que a captura e/ou disponibilização dessas imagens para o público não ocorre de modo satisfatório, quase sempre ocorrendo fora de um padrão sazonal bem definido, não tornando possível assim, essa avaliação por outro meio que não a obtenção de dados *in situ*.

Na ocasião do monitoramento da ilha barreira e da linha de costa também foram realizados registros fotográficos para auxiliar na análise dos parâmetros obtidos em cada mês monitorado, bem como para fornecer indicativos da ocorrência de processos erosivos e/ou deposicionais no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada.

2.5 Análise do comportamento morfosedimentar sazonal do sistema spit-ilha barreira e linha de costa associada

Para a análise do comportamento morfosedimentar foram adotados em cada uma das quatro campanhas de campo procedimentos específicos de monitoramento do comportamento morfodinâmico, através da realização de perfis topográficos e do comportamento sedimentar, por meio da análise em laboratório dos sedimentos superficiais coletados em setores específicos.

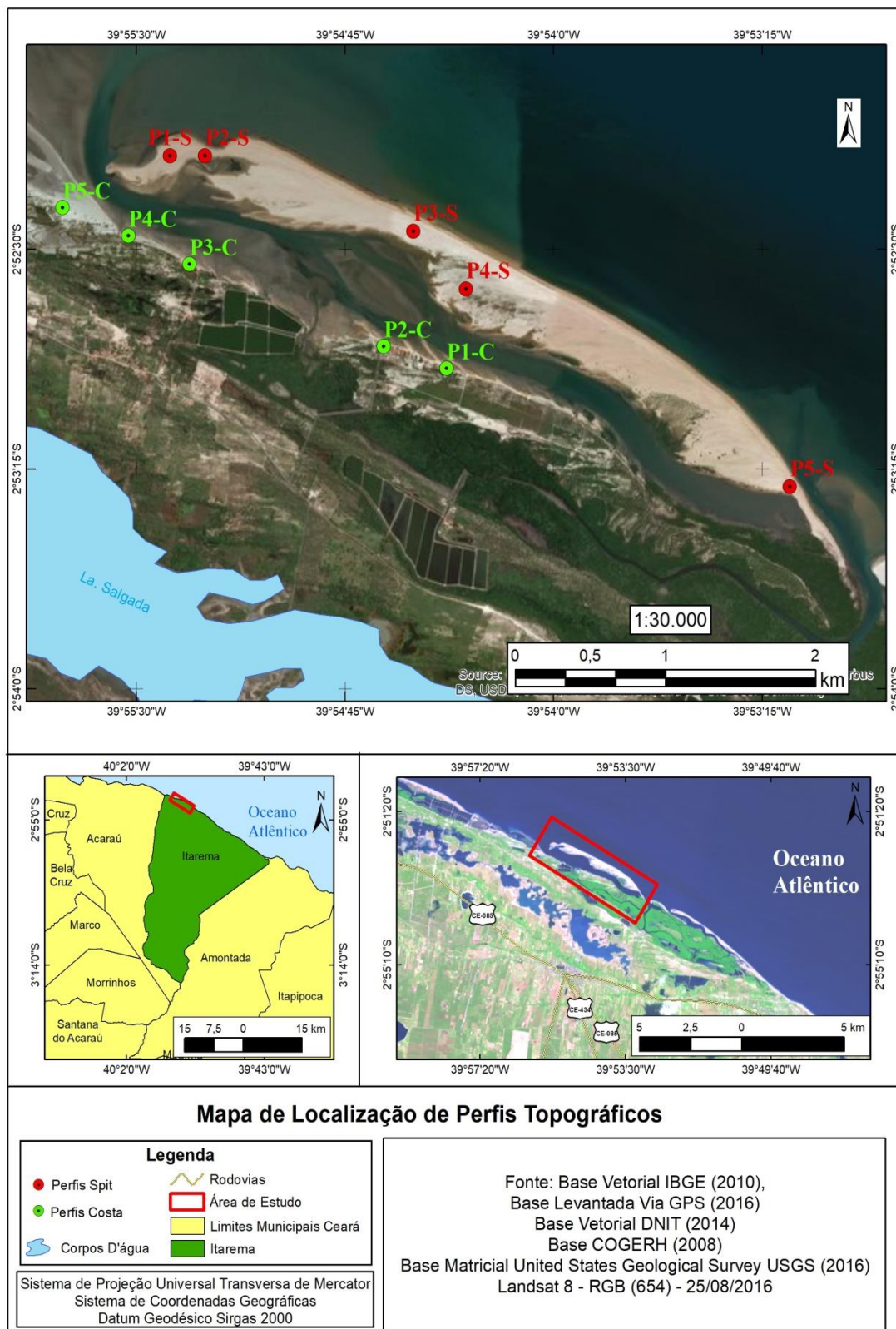
2.5.1 Realização de perfis topográficos

Foram realizados 10 perfis topográficos perpendiculares (mapa 04) em cada etapa de campo, totalizando 40 perfis ao longo do período considerado, sendo cinco perfis estabelecidos na linha de costa, denominados: P1-C; P2-C; P3-C; P4-C; P5-C, e cinco perfis estabelecidos na ilha barreira, denominados: P1-S; P2-S; P3-S; P4-S; P5-S, realizados durante maré de sizígia.

A escolha dos pontos ocorreu de modo a privilegiar os diferentes setores que compõem a barreira costeira e a linha de costa em toda a sua extensão, tendo sido efetuado o controle por meio de georreferenciamento de todos os perfis. No caso dos pontos do setor abrigado da linha de costa, em função da inacessibilidade até o setor extremo leste, os perfis foram estabelecidos entre a porção central e oeste. Porém, por se tratar de uma área bastante similar do ponto de vista da configuração, como atestado pelos resultados, este fato não impediu a análise a que nos propomos.

A realização dos perfis topográficos objetivou a determinação do comportamento morfodinâmico e sedimentológico da ilha barreira e da linha de costa associada. Na definição dos pontos de monitoramento, optou-se por manter oito, dos dez perfis, aproximadamente alinhados de modo a permitir a melhor interpretação dos resultados e o estabelecimento de possíveis correlações entre os processos deposicionais e erosivos nos diversos setores.

Mapa 04 - Localização dos perfis topográficos realizados no sistema spit-ilha barreira e linha de costa associada



Fonte: O autor.

2.5.2 Coleta dos sedimentos superficiais

Em cada campanha de levantamento de campo na área do monitoramento morfodinâmico foram realizadas coletas sedimentos superficiais inconsolidados em três setores de cada perfil: pós-praia (berma), estirâncio e canal de maré na linha de costa abrigada, totalizando 60 amostras. Na ilha barreira, por sua vez foram realizadas coletas no setor central, estirâncio (exposto ao oceano), e canal de maré (abrigado), em somente três dos cinco perfis topográficos: P1-S; P4-S; P5-S, representando as três porções da ilha barreira (extremo leste, intermediária e extremo oeste), totalizando 36 amostras. As coletas nos perfis P2-S e P3-S não foram efetuadas em função da impossibilidade da limitação em número da equipe de pesquisa durante o monitoramento, dada a grande extensão dos trabalhos efetuados sem auxílio de veículo, que implicaram na necessidade de transporte das amostras a pé durante todo o monitoramento da barreira costeira, bem como pelo fato da maior proximidade entre os referidos perfis e os demais, sendo possível inferir condições de sedimentação semelhantes em função disso.

No total, foram coletadas 96 amostras de sedimentos superficiais, sendo levadas posteriormente ao laboratório para tratamento e análise, mediante os procedimentos descritos a seguir.

2.5.3 Análise granulométrica

Após a coleta no campo, todas as amostras foram refrigeradas para manter as suas características geoquímicas preservadas, sendo retiradas somente no momento do processamento, tendo sido colocadas na estufa para secagem completamente a uma temperatura de 60° C, seguindo metodologia proposta por Suguio (1973). Depois de secas, as amostras foram retiradas da estufa, e resfriadas à temperatura ambiente, para quarteamento manual, visando à seleção do material mais representativo de cada amostra. Deste modo, cada amostra analisada foi despejada sob uma superfície lisa e dividida em quatro partes iguais, para posterior coleta de duas dessas partes, opostas entre si, até a obtenção de 100 gramas de sedimentos a serem utilizados na análise granulométrica.

Antes dessa análise, porém, as amostras foram submetidas a um cuidadoso processo de lavagem em água corrente, para retirada dos sais, cuja concentração nas amostras pode, segundo Muehe (1994) e Suguio (1973), induzir a erros quanto ao resultado final da granulometria, por proporcionar aglutinação das argilas nas amostras.

Logo em seguida, as amostras foram colocadas novamente na estufa para secarem a 60°C.

Retiradas novamente da estufa após o processo de lavagem e retirada de sais, e posterior secagem, as amostras foram novamente esfriadas à temperatura ambiente, sendo iniciado então o processo de análise granulométrica. Esse processo envolveu basicamente o procedimento de separação dos grãos por meio do agitação das peneiras contendo as amostras em um agitador de mecânico. Neste agitador foi colocado um conjunto de peneiras de bronze com aberturas variáveis (da mais grossa para a mais fina) no qual foi despejada a amostra para a devida separação, cujos pesos foram anotados em fichas construídas com base na escala de Wentworth (1922). O material mais fino (silte e argila) tiveram seus pesos obtidos pelo método da pipetagem.

Os pesos assim obtidos para todas as frações foram posteriormente processados no programa computacional SAG® – Sistema de Análise Granulométrica – desenvolvido pelos pesquisadores Gilberto T. M Dias e Clarisse B. Ferraz, da Universidade Federal Fluminense (UFF). Este programa tem a função básica de realizar os cálculos de parâmetros granulométricos de sedimentos, Além de fornecer parâmetros estatísticos baseados em diversas classificações sedimentares: Folk e Ward (1957), Folk (1954); e Larssonneur (1977) modificada por Dias (1996), fornecendo também diversos parâmetros estatísticos, como assimetria, grau de seleção e curtose.

2.5.4 Determinação dos teores de carbonato de cálcio

Para a quantificação do carbonato de cálcio presente nos sedimentos utilizou-se o método de Bernard. Desta forma, foram pesados inicialmente 0,5g e 0,5g de CaCO₃ puro (“Branco”). Em seguida o carbonato de cálcio foi colocado em um *Kitassato* conectado a um tubo de sistema de vasos comunicantes.

Logo após, acrescentou-se 2ml de ácido clorídrico (HCl), diluído a 10%, no tubo de ensaio acoplado, o qual é mantido isolado do *Kitassato* para que não haja a possibilidade de mistura antes do tempo entre os componentes.

O carbonato das amostras reage com o HCL, liberando o gás carbônico por pressão. Esta liberação causa um deslocamento na água, presente no tubo oposto. Os diferentes valores obtidos são anotados e usados para fins de comparação com o padrão de carbonatos.

2.5.5 Determinação dos parâmetros relativos aos agentes hidrodinâmicos e eólicos

Para auxiliar no entendimento do comportamento morfosedimentar foram levantadas informações acerca do comportamento sazonal dos agentes hidrodinâmicos e dos processos eólicos atuantes no litoral de Itarema, obtidos no banco de dados do site surfgru, que armazena informações relativas a vários parâmetros oceanográficos.

No caso específico deste trabalho considerou-se principalmente os dados relativos à altura, período e direção de ondas, além dos parâmetros de velocidade direção dos ventos. A série de dados obtida foi tabulada no programa excel, para determinação dos valores médios referentes a cada mês de levantamento de campo (abril, julho e outubro de 2016, e janeiro de 2017).

Foram elaboradas, portanto, quatro gráficos relativos à altura e direção de ondas, e quatro gráficos para velocidade e direção predominante dos ventos, além de um gráfico relativo à altura e período de onda.

2.6 Testemunhagem do substrato para determinação dos ciclos de sedimentação no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada

Foi realizada a coleta e análise de dez testemunhos em pontos previamente estabelecidos e georreferenciados, visando o estudo das na localidade de Ilha do Guajiru, em Itarema (mapa 05).

Os testemunhos foram alinhados aos mesmos pontos de realização dos perfis topográficos (P1-S;P4-S;P5-S), de modo a permitir a melhor análise das sequencias sedimentares ao longo de quatro ambientes associados à ilha barreira: linha de costa abrigada, canal de maré, setor central (dunas), e setor exposto da ilha barreira.

Desta forma, no setor da ilha barreira voltado para o mar, foram coletados três testemunhos, dois nas extremidades da ilha, e um no setor central, denominados: TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA); TP2-SPIT/MAR (TP2-S/MA); TP3-SPIT/MAR (TP3-S/MA).

No setor central da ilha barreira, associado ao ambiente de dunas, foram coletados dois testemunhos, denominados: TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME); TP2-SPIT/MEIO (TP2-S/ME).

No setor da ilha barreira associado ao canal de maré, entre a ilha e a linha de costa abrigada, foram coletados três testemunhos, denominados: TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C); TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C); TP3-SPIT/CANAL (TP3-S/C).

No setor da linha de costa abrigada foram coletados dois testemunhos, denominados: TP1-COSTA (TP1-C); TP2-COSTA (TP2-C).

As coletas dos testemunhos ocorreram na primeira campanha de levantamento de campo, em abril de 2016. Foram utilizados dez canos fabricados em material PVC, com aproximadamente 110 cm de comprimento, e 50mm de diâmetro, contendo tampas do tipo *cap*.

Com o auxílio de marretas de borracha, cada cano foi inserido em posição vertical no substrato até o ponto onde as camadas de sedimentos inconsolidados oferecessem resistência máxima à entrada do cano.

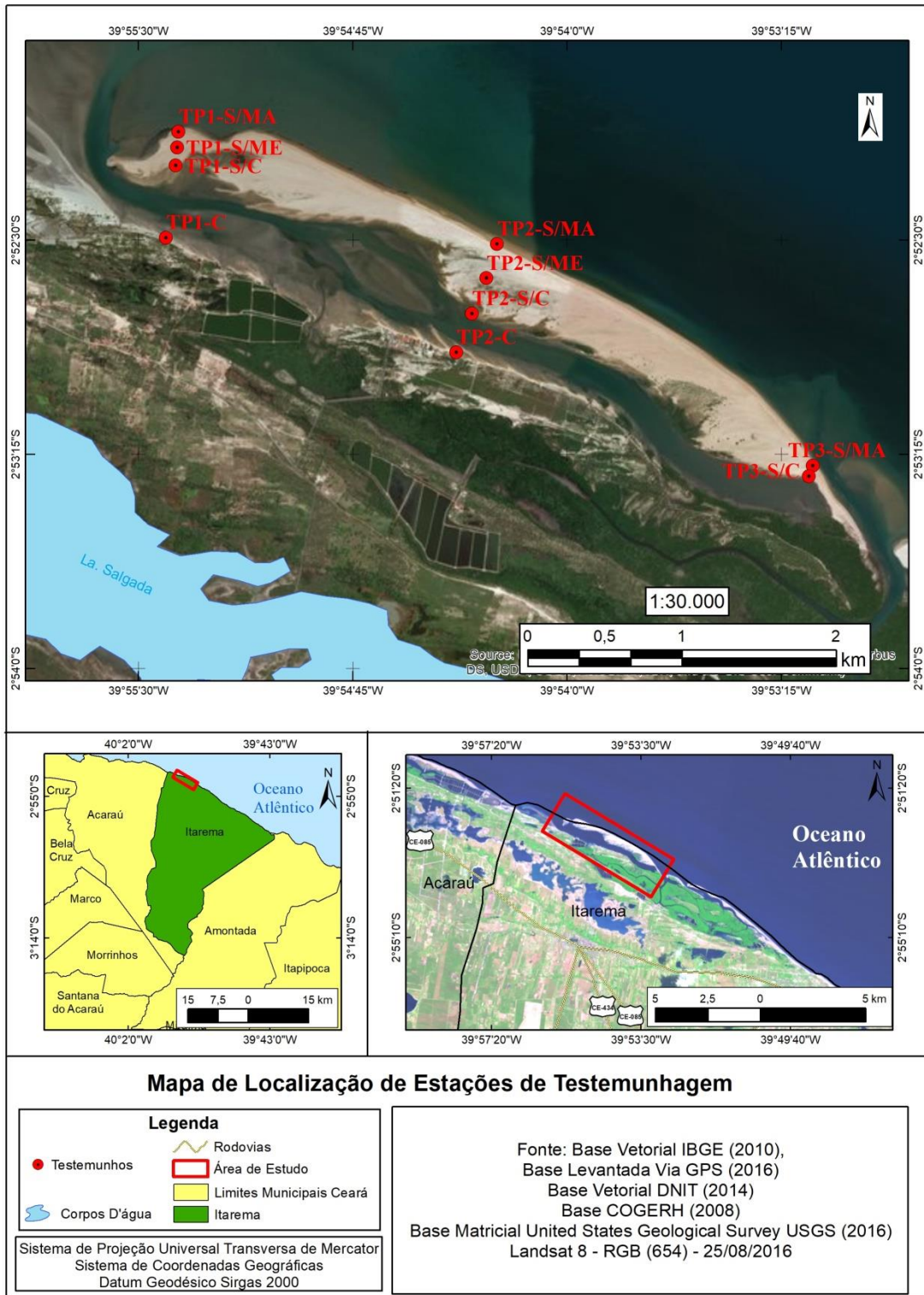
Neste momento, a porção superior de cada cano foi fechada, e ele foi novamente erguido em posição vertical até a superfície, onde houve o fechamento da sua porção inferior (figura 26). A pressão exercida entre o cano e os sedimentos, e a sua retirada em posição vertical, permitiu a preservação do material nas mesmas condições em que ocorreu sua deposição.

Figura 26 - Coleta de testemunhos no sistema *spit*-ilha barreira e na linha de costa associada



Fonte: O autor

Mapa 05 - Estações de testemunhagem no sistema spit-ilha barreira e linha de costa associada



Fonte: O autor

Os testemunhos assim coletados foram levados até o laboratório, onde foram abertos com auxílio de uma serra elétrica em duas partes iguais. Com o uso de uma linha de *nylon*, houve a separação definitiva das duas partes de cada cano, de modo a haver o tratamento menos invasivo possível nas camadas de sedimentos inconsolidados. Após esta etapa, os canos foram medidos com auxílio de uma fita métrica, fotografados, e tiveram suas camadas descritas quanto aos parâmetros texturais, composição, estruturas sedimentares, padrão de cor, etc.

Individualizadas as camadas de cada testemunho, utilizou-se um das partes do cano para coleta de sedimentos e análises sedimentológicas, e manteve-se a outra preservada. Foram aplicadas análises sedimentológicas em cada camada dos testemunhos, como análise granulométrica, análise geoquímica (carbonato de cálcio, matéria orgânica e carbono orgânico), além de terem sido aplicadas classificações sedimentares e determinados os parâmetros estatísticos das camadas, de acordo com os mesmos métodos aplicados aos sedimentos superficiais coletados na outras etapas de campo, anteriormente detalhados.

Ao todo, houve recuperação e análise de 8.38,5 metros de camada de sedimentos subsuperficiais, cujo comprimento médio dos testemunhos foi 83,85 cm, apresentando variação entre 71 cm (comprimento mínimo) e 92,5 cm (comprimento máximo).

Após a realização da medição, descrição, registros fotográficos, análises, e classificações, foram elaborados modelos representativos de todos os testemunhos, para facilitar a interpretação da disposição das camadas com as distintas fácies sedimentares, e correlacionar os ciclos de sedimentação nos ambientes associados ao sistema de barreiras costeiras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ocorrência das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira e principais formas de uso e ocupação

A análise dos aproximadamente 1.100 km de linha de costa que compõem a Costa Semiárida Brasileira, entre o Cabo Calcanhar (RN) e a Ponta dos Mangues Secos (MA), permitiu a identificação de 39 *spits* e de 9 ilhas barreira.

No caso dos *spits* observou-se que há uma maior distribuição dessas formas deposicionais costeiras ao longo de toda a região, sendo sua ocorrência verificada em todos os estados que compõem este trecho do litoral brasileiro. Já no caso das ilhas barreira, além de existirem em menor número, sua ocorrência é mais localizada, não sendo verificada sua presença em um dos estados (Piauí).

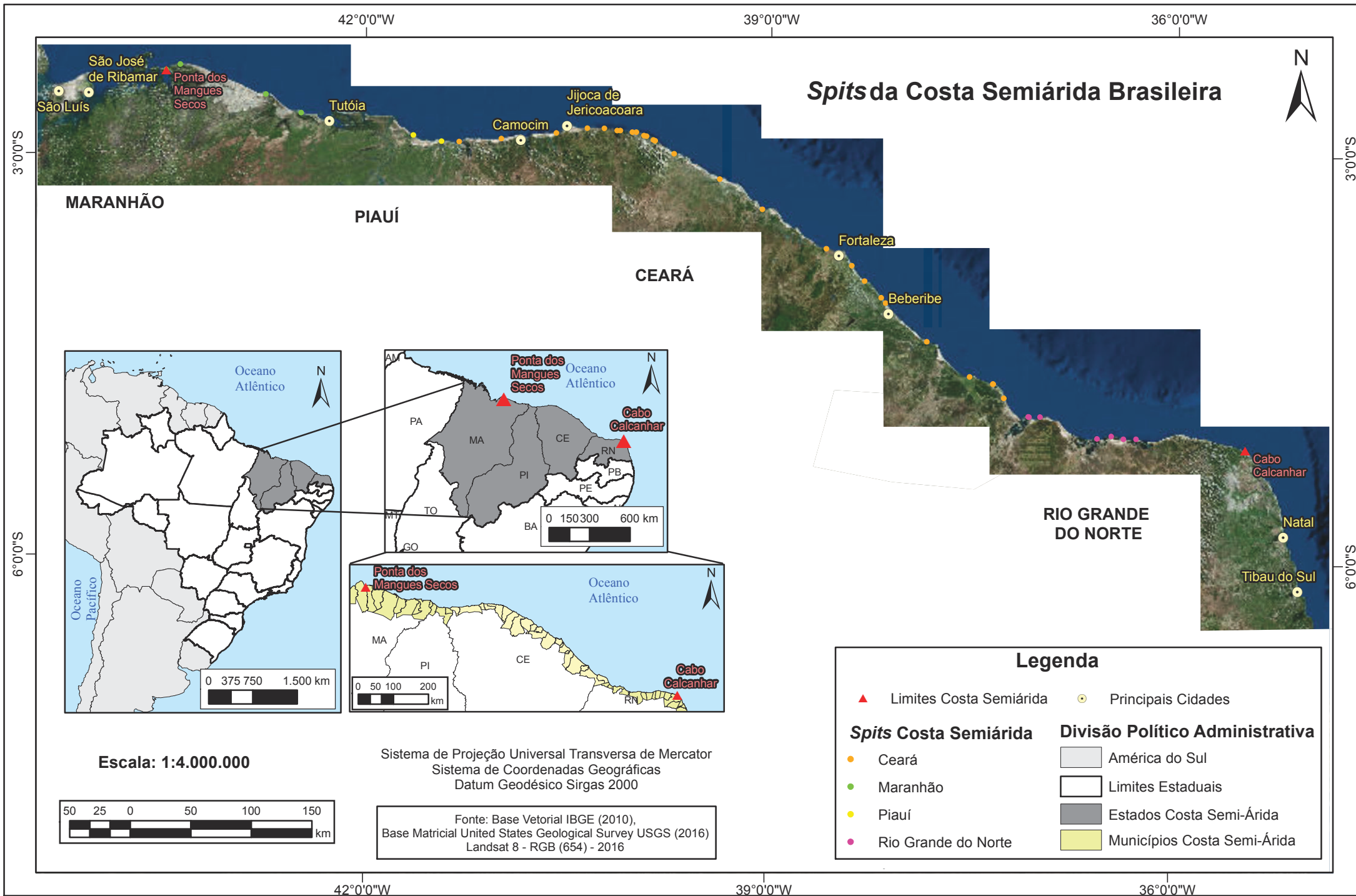
Os resultados obtidos permitiram uma análise inédita do padrão de distribuição espacial e morfologia dessas barreiras na Costa Semiárida Brasileira. Para a melhor visualização e interpretação das informações obtidas, foram elaborados mapas representativos e uma matriz comparativa sob a forma de tabela, contendo a imagem e o padrão morfológico de cada barreira costeira, bem como uma série de parâmetros morfométricos, tais como: área, perímetro, largura (mínima, média e máxima), e comprimento de cada uma dessas formas deposicionais. Além disso, é discutida brevemente a situação atual dessas barreiras costeiras em relação às pressões antrópicas e às limitações ambientais.

3.1.1 Padrões de ocorrência e morfologia

A identificação dos *spits* na Costa Semiárida Brasileira demonstrou a predominância destas formas deposicionais no Estado do Ceará (mapa 06). 26 dos 39 *spits* existentes nesse setor do litoral do Brasil estão localizados nesse Estado. Em seguida, aparece o Estado do Rio Grande do Norte, com 7 *spits*. No Estado do Maranhão e do Piauí, foram identificados apenas 4, e 2 *spits*, respectivamente.

Já a predominância das ilhas barreira é verificada no Estado do Rio Grande do Norte, onde ocorre 6 das 9 ilhas de toda a Costa Semiárida Brasileira (mapa 06). O Ceará aparece em seguida, com duas ilhas barreira, na região de Itarema, e, por fim, o Maranhão, onde ocorre apenas uma. No Piauí não foi identificada nenhuma ilha barreira.

Mapa 06 - Identificação dos spits da Costa Semiárida Brasileira



3.1.1.1 *Spits no Estado do Rio Grande do Norte*

No Rio Grande do Norte os *spits* estão concentrados na região entre o município de Galinhos, no centro-norte do Estado, distante 166 km da capital, Natal, e o município de Areia Branca, na Costa Branca, próximo à divisa com o Ceará (tabela 06).

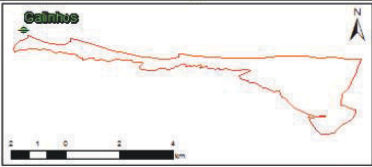

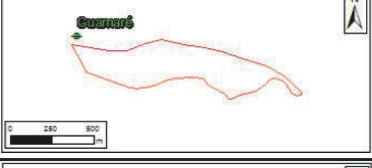

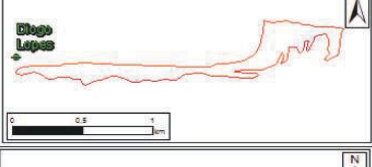
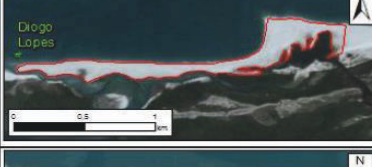
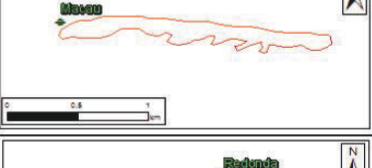





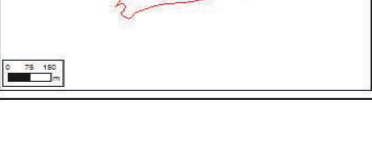

Partindo do Cabo Calcanhar/RN, o primeiro *spit* identificado, no município de Galinhos/RN, é também o maior em comprimento (12.635,60 metros) e área (1.175,4 hectares) de toda a Costa Semiárida Brasileira.

A maior parte dos *spits* nesse trecho da costa está localizada na região de Areia Branca (3 *spits*). Guamaré, Diogo Lopes, e Macau são os demais municípios que apresentam *spits* na linha de costa, cada um com uma barreira deste tipo.

A área total ocupada pelos *spits* neste trecho do litoral do Rio Grande do Norte é de 1.279,84 hectares, com comprimento mínimo (entre a extremidade conectada no continente e a extremidade livre) de 315.69 metros, na localidade de Redonda, em Areia Branca, e máximo de 12.635,60 metros, em Galinhos.

A morfologia dos *spits* na Costa Semiárida do Rio Grande do Norte é bastante variável. Aqueles de maior comprimento e área apresentam um formato mais alongado, e não muito recurvado, como costuma ocorrer com estas formas deposicionais. É o caso dos *spits* de Galinhos, Diogo Lopes e Macau. Na região de Areia Branca há ocorrência de *spits* duplos, isto é, que ocorrem em áreas contíguas, mas em sentidos opostos (tabela 01). Em Guamaré, o *spit* ocorre em sentido contrário ao da corrente de deriva litorânea, evidenciando mudanças pretéritas de orientação da linha de costa, ou de inversões no padrão de correntes costeiras nesta área. Em Redonda, no município de Areia Branca, ocorre o menor *spit*, com pouco mais de um hectare de área total, e apenas 315 metros de extensão. Sua morfologia se assemelha bastante a um sistema de barra arenosa, estando ancorado em uma região protegida por uma ponta projetada para o mar. É possível que esteja ainda no seu estágio inicial de formação.

Tabela 06 - Levantamento dos Spits do Estado do Rio Grande do Norte

Levantamento dos Spits do Estado do Rio Grande do Norte													
Spit				Referências Geospaciais				Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)
Ponto	Nome	Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
1	Galinhos			Galinhos	RN	36° 12' 53,159" W	5° 6' 9,181" S	1.175,48	34.027,63	457,60	1.361,44	3.103,46	12.635,60
2	Guamaré			Guamaré	RN	36° 22' 39,808" W	5° 5' 19,286" S	25,83	3.121,30	37,50	198,05	299,69	1.372,62
3	Diogo Lopes			Diogo Lopes	RN	36° 27' 41,954" W	5° 4' 6,115" S	29,54	6.342,79	38,15	204,87	373,59	2.430,08
4	Macau			Macau	RN	36° 34' 12,400" W	5° 5' 13,516" S	24,21	4.668,72	51,54	94,77	186,51	1.946,94
5	Redonda			Areia Branca	RN	37° 0' 1,630" W	4° 55' 55,807" S	1,33	787,19	12,43	47,27	78,29	315,69
6	Areia Branca				RN	37° 4' 47,956" W	4° 55' 56,069" S	21,07	3.673,40	72,57	158,13	360,20	1.464,05
7	Areia Branca				RN	37° 5' 2,705" W	4° 55' 56,693" S	2,38	1.026,98	11,09	51,39	115,09	412,19

Fonte: O Autor.

3.1.1.2 *Spits no Estado do Ceará*

O Ceará apresenta 26 *spits*, 66% de toda a Costa Semiárida Brasileira (tabelas 07, 08, 09, 10). Trata-se também de uma ocorrência mais descentralizada, já que estas barreiras não estão concentradas em nenhuma região específica, mas estão distribuídas nos dois principais segmentos da costa cearense (Litoral Leste e Litoral Oeste). Além disso, é o trecho da Costa Semiárida cujos *spits* apresentam maior heterogeneidade de formas e dimensões.

No Litoral Leste, partindo de Icapuí, na divisa com o Rio Grande do Norte, foram identificados 8 *spits*, sendo a maior parte localizada no próprio município de Icapuí (quatro *spits*), 1 em Beberibe, 2 em Cascavel, e 1 em Aquiraz. Merece destaque o *spit* de Beberibe, na localidade de Parajuru, com pouco mais de 3 km de extensão, e mais de 50 hectares de área, e o *spit* de Aquiraz, na localidade de Iguape, com mais de 2 km de extensão, e 55 hectares de área total.

Na região de Fortaleza foram identificados 2 *spits*, ambos localizados na desembocadura de canais fluviais. Um está na foz do rio Pacoti, e trata-se de um *spit* duplo, cujo prolongamento das extremidades do corpo arenoso se dá em ambas as margens do referido rio, e outro na foz do rio Ceará, substancialmente menor (cerca de 13 vezes inferior).

O Litoral Oeste do Ceará, por sua vez, é a região que apresenta o maior número de *spits* (16), e aqueles com maiores dimensões. Após o litoral de Fortaleza, eles voltam a ocorrer no município de Paracuru, na foz do rio Curu, com 1 *spit*; Trairi, também com 1, Amontada (1), Itarema (4), Acaraú (5), Jericoacoara (2), Camocim (1), Barroquinha (1).

A morfologia dos *spits* na costa do Ceará, especialmente os situados na região de Acaraú e Itarema, é a que mais se ajusta aos modelos teóricos encontrados na literatura. São *spits* alongados e com a porção distal recurvada, com avançado processo migratório e dispostos em sequência no sentido da corrente de deriva litorânea.

Esses *spits* da região de Acaraú e Itarema parecem estar num estado dinâmico mais avançado, já que alguns, como o da Ilha do Guajiru em Itarema, estão relacionados ao processo de surgimento de ilhas barreira.

Ainda em relação à morfologia, os *spits* dessa região assumem posição de destaque na configuração da linha de costa, atuando na criação de sistemas costeiros abrigados, dos quais o ecossistema manguezal se destaca. A migração lateral de

desembocaduras também é fator de destaque, sendo induzida pelas fases prográdantes e migratórias dos *spits*.

Os *spits* cujo crescimento e migração ocorrem na direção contrária ao da corrente de deriva litorânea não são comuns no Ceará, sendo encontrados principalmente nos setores de desembocadura fluvial, como nas regiões de Barra Nova e Águas Belas, em Cascavel; foz do rio Pacoti e foz do rio Ceará, em Fortaleza; e, Mundaú, em Trairi. Outras duas áreas de ocorrência, porém não associadas a cursos fluviais, são os *spits* da Praia do Preá, em Jericoacoara, e Amarela, em Camocim.

Spits de dimensão considerável foram identificados principalmente no Litoral Oeste, como os da Ilha do Guajiru, em Itarema (5.726,20 m de extensão), sendo o mais extenso do Ceará; Guriú, em Jericoacoara (4.948,55 m); Volta do Rio, em Acaraú (4.785,45 m); Aranaú, em Acaraú (4.450,47 m).

Tabela 07 - Levantamento dos *spits* do Estado do Ceará, entre Icapuí e Cascavel

Spits do Estado do Ceará													
Ponto	Nome	Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Referências Geoespaciais			Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)
					Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
8	Manibu			Icapuí	CE	37° 16' 1,032" W	4° 47' 58,514" S	14,51	2.073,74	78,64	182,02	254,25	869,57
9	Caiçara				CE	37° 20' 24,937" W	4° 41' 34,260" S	25,45	4.503,96	48,05	125,15	264,19	1.763,40
10	Requenguela				CE	37° 21' 14,072" W	4° 41' 28,421" S	11,52	2.802,15	30,14	81,62	399,41	1.084,48
11	Retiro Grande				CE	37° 30' 44,470" W	4° 37' 57,658" S	17,93	5.056,21	43,89	78,21	147,35	2.396,76
12	Parajuru			Beberibe	CE	37° 49' 46,437" W	4° 23' 20,179" S	50,44	7.719,95	80,38	196,52	298,08	3.328,98
13	Barra nova			Cascavel	CE	38° 9' 3,419" W	4° 5' 49,196" S	9,88	2.148,54	82,12	94,42	248,80	710,50
14	Águas Belas				CE	38° 10' 52,301" W	4° 3' 23,825" S	2,37	944,40	47,46	53,02	148,59	370,44

Tabela 08 - Levantamento dos *spits* do Estado do Ceará, entre Aquiraz e Amontada


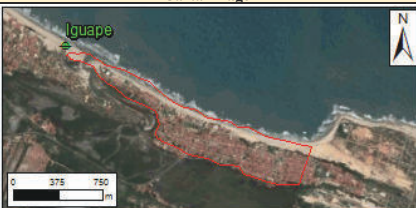




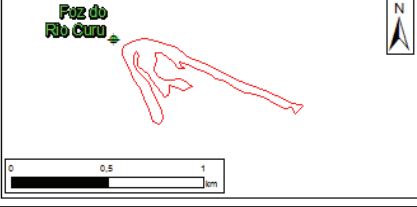

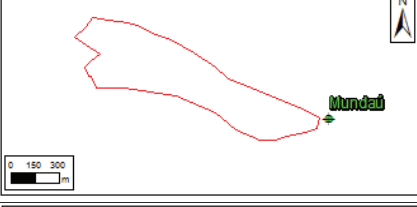

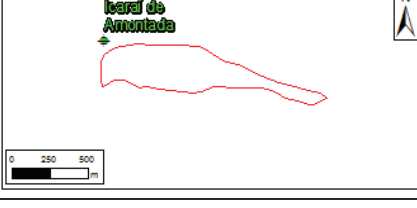

Spits do Estado do Ceará													
Ponto	Nome	Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Referências Geoespaciais			Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)
					Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
15	Iguape			Aquiraz	CE	38° 17' 39,012" W	3° 56' 30,167" S	55,56	5.014,76	73,93	151,32	360,30	2.210,49
16	Foz do Rio Pacoti			Fortaleza	CE	38° 24' 24,910" W	3° 49' 0,001" S	42,24	4.019,62	139,83	298,13	428,22	1.542,17
17	Foz do Rio Ceará				CE	38° 35' 25,075" W	3° 41' 48,041" S	3,14	1.056,99	27,89	79,40	193,50	405,62
18	Foz do Rio Curu			Paracuru	CE	39° 3' 36,357" W	3° 24' 34,440" S	8,58	3.714,38	20,58	63,39	177,13	997,39
19	Mundaú			Trairi	CE	39° 23' 14,409" W	3° 10' 55,869" S	43,52	3.720,85	118,00	279,19	449,91	1.581,89
20	Icarai de Amontada			Amontada/ Itarema	CE	39° 42' 48,980" W	2° 59' 59,807" S	25,88	3.237,43	56,22	171,03	353,48	1.473,14

Tabela 09 - Levantamento dos spits do Estado do Ceará, entre Itarema e Acaraú



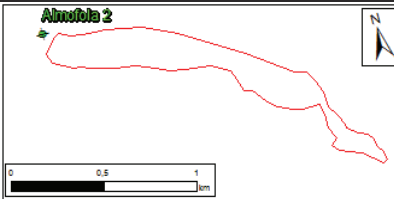

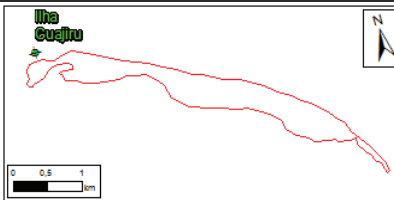

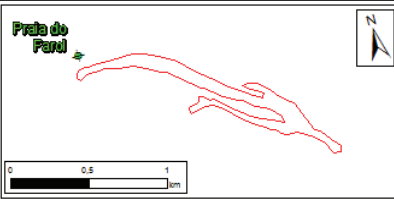



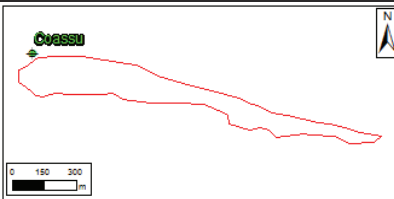

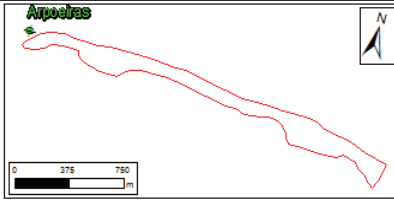

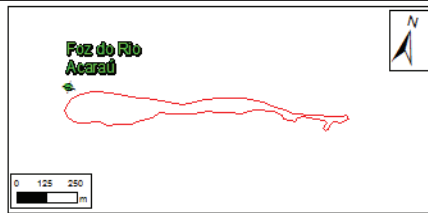

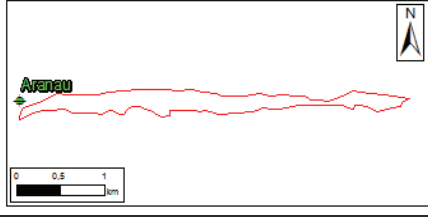

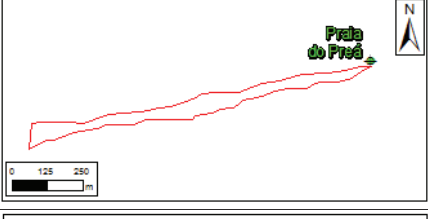

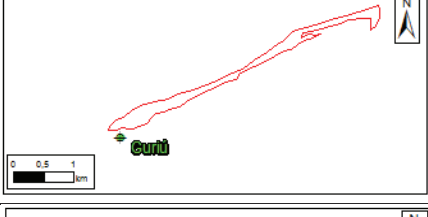
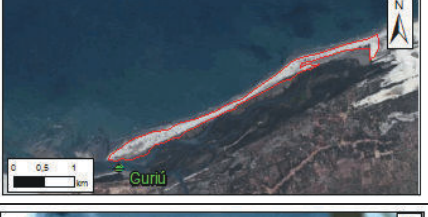
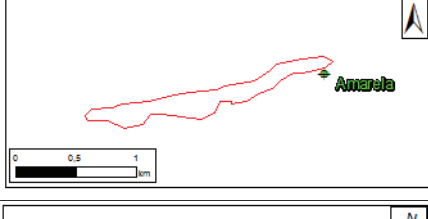

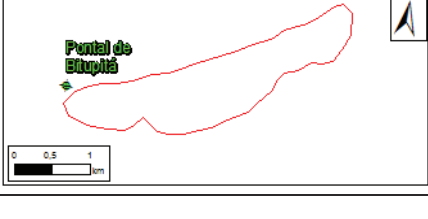

Spits do Estado do Ceará													
Ponto	Nome	Spit		Cidade	Referências Geoespaciais			Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)
		Poligonal	Carta Imagem		Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
21	Almofola 1			Itarema	CE	39° 50' 51,813" W	2° 54' 40,241" S	38,31	6.811,02	68,94	115,94	189,70	3.261,44
22	Almofola 2				CE	39° 51' 54,681" W	2° 53' 58,377" S	29,65	4.323,75	43,77	116,46	200,80	2.018,91
23	Ilha Guajiru				CE	39° 54' 8,929" W	2° 52' 42,658" S	167,72	12.479,21	23,32	159,27	494,69	5.726,20
24	Praia do Farol				CE	39° 56' 1,277" W	2° 52' 2,929" S	17,02	5.545,36	62,62	118,92	183,01	1.898,36
25	Volta do Rio			Acaraú	CE	39° 58' 40,466" W	2° 50' 51,291" S	119,57	9.984,80	39,17	359,44	571,41	4.785,45
26	Coassu				CE	40° 1' 18,659" W	2° 50' 26,492" S	18,31	3.595,30	39,61	72,53	201,48	1.689,94
27	Arpoeiras				CE	40° 6' 18,255" W	2° 49' 40,176" S	30,22	5.696,15	56,99	99,88	222,98	2.638,98

Tabela 10 - Levantamento dos *spits* do Estado do Ceará, entre Acaraú e Barroquinha

Spits do Estado do Ceará													
Ponto	Nome	Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Referências Geoespaciais			Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m) Max
					Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
28	Foz do Rio Acaraú			Acaraú	CE	40° 8' 11,079" W	2° 49' 35,781" S	7,21	2.528,98	25,34	56,76	149,67	1.189,70
29	Aranau				CE	40° 13' 2,978" W	2° 48' 43,310" S	74,70	9.291,25	58,08	159,87	292,71	4.450,47
30	Praia do Preá			Jericoacoara	CE	40° 22' 1,868" W	2° 48' 43,088" S	5,47	2.618,55	6,12	31,69	102,88	1.237,37
31	Guriú				CE	40° 34' 27,089" W	2° 50' 11,582" S	73,20	11.106,27	27,08	88,90	419,60	4.948,55
32	Amarela			Camocim	CE	41° 0' 22,452" W	2° 53' 30,640" S	29,30	4.457,45	52,38	99,73	228,46	2.096,49
33	Pontal de Bitupitá			Barroquinha	CE	41° 17' 35,307" W	2° 54' 34,800" S	251,63	9.014,91	229,39	493,84	826,06	4.042,67

3.1.1.3 *Spits nos Estados do Piauí e do Maranhão*

Os *spits* localizados nos Estados do Piauí e do Maranhão foram agrupados juntos devido ao baixo número em relação aos demais Estados (tabela 11). São apenas 6 *spits* (2 no Piauí, e 4 no Maranhão).

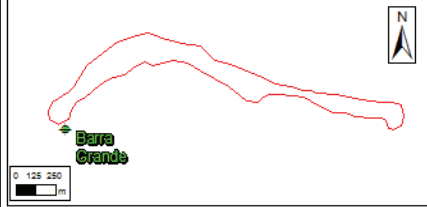

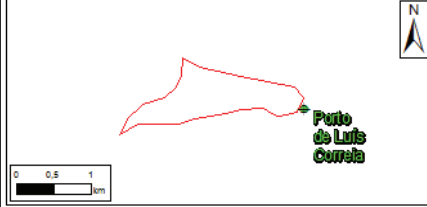

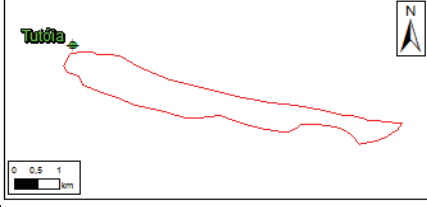

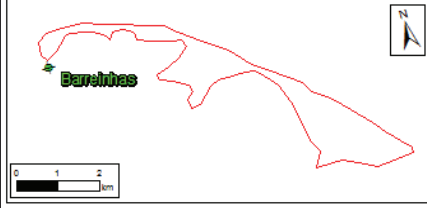

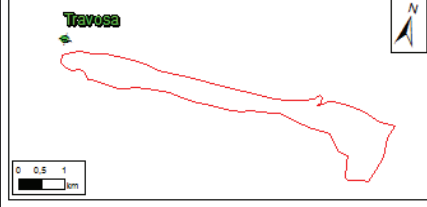



Apesar do menor número, os *spits* desses dois Estados são os que apresentam a maior extensão média (5.565, 986 m), sendo o de menor extensão o localizado em Barra Grande, entre Cajueiro da Praia e Luís Correia, no Piauí, (2.240,77 m), e o maior o de Barreirinhas, no Maranhão (10.21,81 m), que é também o segundo maior de toda a Costa Semiárida Brasileira.

Se considerarmos apenas os *spits* do Estado do Maranhão, estes valores sofrem um acréscimo significativo, com extensão média de 7.094,65 m, e extensão mínima de 3.597,90 m, em Macacoeira/MA.

A morfologia geral dos *spits* se assemelha bastante aos do Rio Grande do Norte e do Litoral Oeste do Ceará, estando bastante destacados da costa, e apresentando padrão recurvado bem avançado. À exceção do *spit* da região de Parnaíba/Luís Correia/PI, todos possuem direção de crescimento no sentido da corrente de deriva litorânea.

A grande oferta de sedimentos na zona costeira e plataforma continental adjacente, bem como os grandes volumes de areia remobilizados através do transporte eólico na região dos Lençóis Maranhenses, parece ser um dos fatores determinantes para as grandes dimensões assumidas pelos *spits* dessa região.

Tabela 11 - Levantamento dos *spits* dos Estados do Piauí e do Maranhão

Spits dos Estados do Piauí e do Maranhão													
Ponto	Nome	Spit		Referências Geospaciais				Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)
		Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Estado	Latitude	Longitude			Min	Med	Max	
34	Barra Grande			Cajueiro da Praia/Luís Correia	PI	41° 25' 57,726" W	2° 54' 31,029" S	28,83	5.152,64	43,43	159,14	195,95	2.420,77
35	Porto de Luís Correia			Parnaíba/Luís Correia	PI	41° 39' 39,353" W	2° 51' 48,199" S	103,00	5.826,05	142,07	345,63	839,91	2.596,55
36	Tutóia			Tutóia	MA	42° 27' 23,222" W	2° 42' 41,286" S	448,93	16.212,07	159,50	302,94	760,79	7.574,07
37	Barreinhas			Barreinhas	MA	42° 42' 5,085" W	2° 34' 47,399" S	601,95	24.430,16	138,67	656,31	1.607,93	10.021,81
38	Travosa			Santo Amaro do Maranhão	MA	43° 20' 30,859" W	2° 20' 33,057" S	415,96	16.969,22	288,67	489,25	1.417,86	7.184,82
39	Macacoeira			Primeira Cruz	MA	43° 28' 39,532" W	2° 22' 6,137" S	64,59	7.517,80	58,69	141,32	299,44	3.597,90

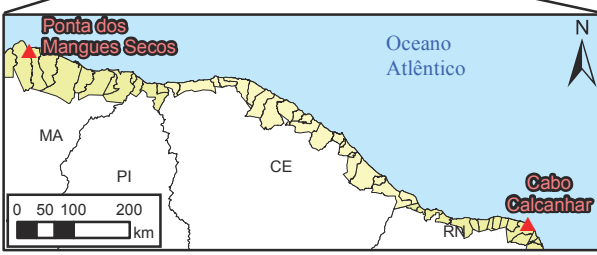
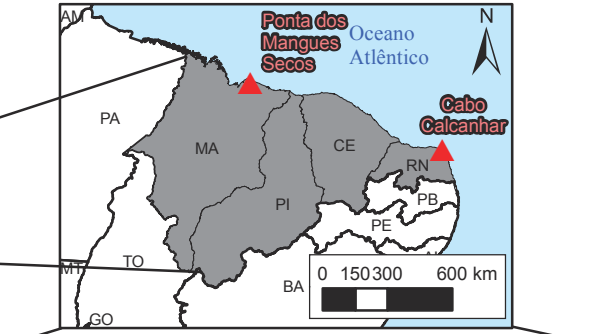
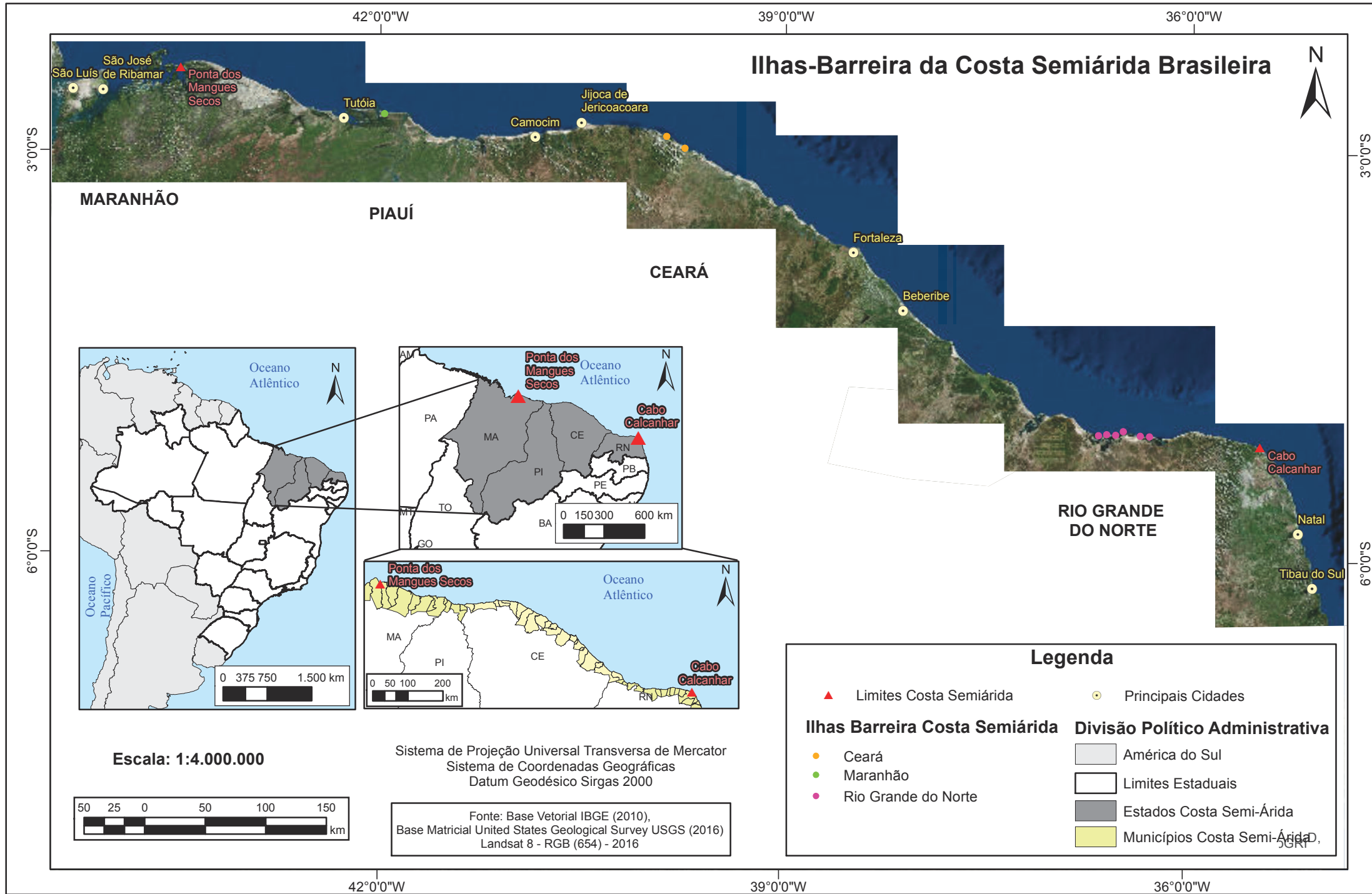
3.1.1.4 Ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira

As ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira têm uma ocorrência bem mais restrita do que os *spits*. Além de ocorrerem em quantidade mais de quatro vezes inferior (são apenas 9 ilhas barreira, contra 39 *spits*), a presença dessas ilhas é verificada em apenas 3 setores da Costa Semiárida (mapa 07). Estes setores, além de distantes, são opostos entre si, já que se situam no Rio Grande do Norte (extremidade leste da Costa Semiárida), Ceará (setor central da Costa Semiárida), e Maranhão (extremidade oeste da Costa Semiárida).

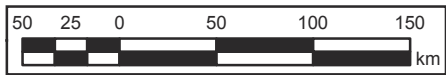
A maior ocorrência é no estado do Rio Grande do Norte, concentrando seis, de todas as nove ilhas barreira existentes. São quatro regiões principais: Galinhos, Guamaré, Diogo Lopes, e Macau. Além de serem áreas contíguas, a disposição das ilhas barreira nessas regiões parece guardar relação direta com os *spits*, já que a existência desses dois tipos principais de barreira costeira se dá de maneira praticamente intercalada. Ou seja, as ilhas barreira desta porção do litoral parecem ter evoluído a partir de *spits* que se desprenderam da costa, e estão agora sem nenhuma conexão com o continente.

As dimensões das ilhas barreira diferem bastante dos *spits* (tabela 12). Além de estarem desconectadas do continente, as ilhas barreira possuem maior extensão (comprimento médio de 5.950,184 m), comprimento mínimo de 2.206,41m, na ilha barreira de Almofala, em Itarema/CE, e máximo de 19.833,61m, na ilha barreira do Delta do Parnaíba, em Araisos/MA. Esta última possui 41.783,03 hectares, sendo uma das maiores barreiras costeiras de todo o litoral do Brasil. Em relação à morfologia, as ilhas barreira também se dispõem de forma alongada, porém as duas extremidades tendem a apresentar uma maior inflexão, estando mais recurvadas em direção ao continente. Isto provavelmente é resultado do padrão de refração de ondas que tendem a atuar de maneira mais incisiva sobre as ilhas barreiras do que sobre os *spits*. Esta inflexão e atuação mais determinante dos processos de sobrelevagem de ondas, principalmente as de tempestade, que eventualmente atingem essas ilhas, são responsáveis pela sua migração não apenas no sentido da corrente de deriva litorânea, mas também em sua maior aproximação da linha de costa. Em decorrência destes processos, algumas ilhas barreira estão quase soldadas ao continente, como é o caso das ilhas barreira de Macau /RN, Icarai de Amontada/CE, e Almofala, em Itarema/CE.

Mapa 07 - Identificação das Ilhas-Barreira da Costa Semiárida Brasileira



Escala: 1:4.000.000



Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum Geodésico Sirgas 2000



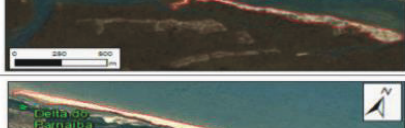

Fonte: Base Vetorial IBGE (2010),
Base Matricial United States Geological Survey USGS (2016)
Landsat 8 - RGB (654) - 2016

Legenda

- ▲ Limites Costa Semiárida
- Principais Cidades

Ilhas Barreira Costa Semiárida	Divisão Política Administrativa
● Ceará	■ América do Sul
● Maranhão	□ Limites Estaduais
● Rio Grande do Norte	■ Estados Costa Semi-Árida
	■ Municípios Costa Semi-Árida

Tabela 12 - Levantamento das ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira

Levantamento das Ilhas Barreira da Costa Semiárida Brasileira													
Ponto	Nome	Spit		Referências Geoespaciais		Área (ha)	Perímetro (m)	Largura (m)			Comprimento (m)		
		Poligonal	Carta Imagem	Cidade	Estado			Latitude	Longitude	Min		Med	Max
1	Galinhos			Galinhos		5° 5' 3,412" S	36° 20' 43,731" W	49,90	11.415,42	41,67	219,28	358,26	5.009,61
2	Guamaré			Guamaré		5° 5' 15,504" S	36° 22' 4,372" W	32,00	6.949,55	64,58	243,56	414,37	2.692,57
3	Diogo Lopes 1			Diogo Lopes	RN	5° 3' 43,807" S	36° 30' 46,398" W	138,30	11.781,91	61,25	345,60	481,78	5.107,09
4	Diogo Lopes 2			Diogo Lopes		5° 4' 57,767" S	36° 32' 56,133" W	58,56	11.394,14	49,97	198,56	327,85	5.220,85
5	Macau 1			Macau	Macau	5° 4' 49,955" S	36° 36' 56,373" W	102,83	9.563,74	55,43	336,82	822,68	3.882,33
6	Macau 2			Macau		5° 5' 15,756" S	36° 39' 44,999" W	198,63	15.664,86	84,95	582,85	1.099,51	6.109,14
7	Icarai de Amontada			Itarema	CE	2° 58' 48,231" S	39° 44' 45,547" W	54,01	8.156,05	24,38	99,07	306,16	3.490,05
8	Almojola			Itarema		2° 53' 34,124" S	39° 52' 50,881" W	16,66	5.581,17	31,76	82,73	164,17	2.206,41
9	Delta do Parnaíba			Amamoses	MA	2° 43' 48,691" S	41° 58' 15,052" W	839,65	41.783,03	171,68	328,44	794,31	19.833,61

Fonte: O Autor.

3.1.2 Pressões antrópicas e limitações ambientais das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira

As pressões antrópicas e as limitações ambientais das barreiras costeiras da Costa Semiárida Brasileira estão diretamente relacionadas às formas de uso e ocupação e às particularidades inerentes à dinâmica evolutiva de cada um desses sistemas deposicionais costeiros.

O estado atual de conservação dos *spits* e das ilhas barreira é bastante diferenciado no espaço e no tempo. Deste modo, foi realizada uma análise geral da situação de cada uma dessas barreiras costeiras.

3.1.2.1 A situação dos *spits*

De maneira geral, temos que os *spits* da Costa Semiárida Brasileira são mais afetados pelas pressões antrópicas e apresentam maiores limitações ambientais que as ilhas barreira.

Além de serem mais numerosos, apresentam maior facilidade de acesso que as ilhas barreiras, já que estão conectados ao continente. Isto contribui para a instalação de estruturas relacionadas à exploração de recursos a eles associados, e para as diversas formas de uso neles praticadas.

Os ***spits* do Estado do Rio Grande do Norte** são os mais impactados pela ação antrópica. Estes impactos referem-se não apenas à ocupação na área diretamente relacionada aos *spits*, mas também nos ambientes a eles associados. Atividades como a produção de sal marinho, carcinicultura, instalação de aerogeradores para produção de energia eólica, e instalação de infraestrutura voltada ao turismo, exercem as principais pressões.

Outro fator que chama a atenção nos *spits* do Rio Grande do Norte, é que apesar da boa disponibilidade de sedimentos, os processos erosivos são nítidos em determinados setores. Além disso, os *spits* dessa região estão associados ao maior sistema de ilhas barreiras de toda a Costa Semiárida, em um processo cíclico de rompimento e surgimento de novas ilhas. Logo, a instalação de qualquer estrutura sobre esses *spits* e o seu uso direto não são recomendados por gerar instabilidades no sistema ambiental e sedimentar, além de trazer riscos às próprias atividades, estruturas físicas construídas e à população diretamente envolvida. A seguir, é apresentada uma síntese das principais pressões antrópicas e limitações ambientais dos *spits* do Rio Grande do Norte.

- **Spit de Galinhos - Galinhos/RN – (ponto 1):**

Além de ser o maior *spit* da Costa Semiárida, é um dos mais antropizados. O núcleo urbano de Galinhos está assentado sobre o *spit*, constituindo uma cidade com pouco mais de 2.000 habitantes (figura 27). Inicialmente uma comunidade de pescadores, conta com atividade salineira, mas atualmente a economia está muito voltada ao turismo, com toda uma infraestrutura de hotéis e pousadas. A praia do Farol é o principal atrativo, e há dois modos de chegar ao *spit*, indo de carro 4x4 ou de barco, sendo que no município há um serviço de transporte de charretes para os que desembarcam de carro.

De acordo com o site da prefeitura, Galinhos conta com “*uma paisagem de cataventos gigantes do parque eólico erguido em meio às dunas móveis, sendo 71 aerogeradores em dois parques*”, ou seja, a figura dos aerogeradores construídos sobre campo de dunas móveis é repassada como um fator positivo e um atrativo ao turismo, não sendo considerados os impactos resultantes dessa ocupação irregular no sistema costeiro.

Há um grande estoque sedimentar representado pelas dunas da região, porém, o parque eólico e o núcleo urbano afetam a retroalimentação do *spit*, já que estão na área de *bypass*, e criam estruturas rígidas que dificultam o livre transporte de sedimentos. O turismo crescente, o livre acesso de veículos e o próprio transporte de charretes criam compactação do solo. É, portanto, um dos *spits* mais impactados, cujos efeitos erosivos talvez não sejam ainda tão perceptíveis em função da grande dimensão e da grande disponibilidade de sedimentos na área.

Figura 27 - Núcleo urbano do município de Galinhos/RN



Fonte: Google Imagens.

- ***Spit de Guamaré - Guamaré/RN – (ponto 2):***

Apesar de se situar numa região bastante impactada por conta da atividade petrolífera, a área do *spit* encontra-se relativamente bem preservada. Nas adjacências, porém, há a presença de um grande parque eólico, que está sendo ampliado e deve se tornar o maior do país. Isto pode afetar diretamente a área do *spit*, já que os processos sedimentares tenderão a ser ainda mais comprometidos.

- ***Spit de Diogo Lopes - Diogo Lopes /RN – (ponto 3):***

Também se encontra relativamente bem preservado. Nas proximidades, porém, há a existência de um parque eólico à retaguarda do *spit*. Este spit serve de primeira barreira contra ação das ondas, protegendo uma expressiva área de manguezal e um importante núcleo urbano (Diogo Lopes).

- ***Spit de Macau - Macau /RN – (ponto 4):***

No *spit* há um projeto piloto de geração de energia eólica da petrobras, com a 3 turbinas eólicas instaladas. Quase toda a área do *spit* voltada para o mar conta com estruturas rígidas do tipo enrocamento, como forma de conter sua movimentação e atenuar os processos erosivos, visando, portanto, a proteção da infraestrutura instalada na área.

- ***Spit de Redonda – Areia Branca/RN – (ponto 5):***

Além de ser o menor *spit* do Rio Grande do Norte, é também o mais bem preservado. Está bem próximo à linha de costa e encerra uma pequena área de manguezal. Por estar situado numa área de ponta, parece sofrer constantes mudanças na sua configuração, decorrentes dos processos de refração de ondas.

Uma área à sua retaguarda parece ter sido usada pela atividade da carcinicultura, havendo a presença de canais artificiais e tanques abandonados, que se utilizavam do canal formado entre o *spit* e a costa para o lançamento de efluentes.

- ***Spit de Areia Branca – Areia Branca/RN – (ponto 6):***

O *spit* encontra-se antropizado em praticamente toda a sua extensão, sendo a instalação de residências a principal forma de ocupação verificada.

Por ser uma das maiores regiões produtoras de sal do Brasil, a área abrigada pelo *spit*, contribuiu para que fosse instalada uma enorme infraestrutura para a produção do sal marinho. Inúmeros canais de comunicação e troca de efluentes líquidos estão situados nessa área à retaguarda do *spit*.

Há pouco, ou quase nenhum estoque sedimentar representado, antes principalmente pelas dunas, já que o núcleo urbano está assentado na área que antes devia ser ocupada pelos campos de dunas.

- ***Spit* de Areia Branca – Areia Branca/RN – (ponto 7):**

Este *spit* é situado na área contígua a do *spit* anterior (ponto 6), compondo com ele um sistema de *spits* duplos, isto é situados em áreas adjacentes, porém em posições e com direções opostas.

A área do *spit*, propriamente dita, não está muito ocupada, porém na área de retrobarreira, há um extenso núcleo urbano, de dimensões superiores ao do *spit* anterior.

À sua retaguarda, além da infraestrutura instalada para a produção do sal marinho (figura 28), está implantada uma rodovia federal, a BR 110.

Figura 28 - Núcleo urbano do município de Areia Branca/RN e infraestrutura implantada para a produção de sal marinho à retaguarda do *spit*



Fonte: Google Imagens.

Os *spits* do Estado do Ceará apesar de mais numerosos e diversificados do ponto de vista morfológico do que os do Rio Grande do Norte apresentam, de maneira geral, um melhor estado de conservação.

A ocupação na maior parte dos casos se dá na área que sofre influência direta do *spit*, normalmente na porção abrigada da linha de costa. Porém, há alguns casos de ocupação direta no corpo arenoso, como é o caso do *spit* de Iguape (Aquiraz) e de Volta do Rio (Acarauú). A carcinicultura e a atividade de geração de energia eólica representam hoje as principais formas de pressões antrópicas para os *spits* do Ceará, juntamente com o avanço da atividade turística e sua infraestrutura associada.

As limitações ambientais dizem respeito, sobretudo, à rápida movimentação que alguns *spits* apresentam, deixando expostas, neste caso, áreas importantes da linha de costa, como núcleos urbanos e o ecossistema manguezal e toda a biota associada, que se beneficia da área abrigada proporcionada pela configuração dos *spits* no litoral cearense. Suas mudanças cíclicas afetam também o modo de vida de muitas comunidades locais, que se utilizam das áreas abrigadas pelo *spit* para a pesca, e atracação de barcos/escoamento da produção. A seguir, são discutidas as principais pressões antrópicas e limitações ambientais dos *spits* do Ceará.

- ***Spit* de Manibu – Icapuí/CE – (ponto 8):**

Primeiro *spit* da costa cearense, partindo do seu limite leste, está em um bom estado de conservação, apesar da presença de algumas barracas de praia, e da visitação pública, principalmente em finais de semana e feriados.

Está localizado na desembocadura do rio Arrombado, impondo à porção final do seu curso sensível deslocamento a oeste.

- ***Spit* de Caiçara – Icapuí/CE – (ponto 9):**

Spit muito bem preservado, praticamente sem ocupação. Atualmente experimenta um importante estágio progradante. A sua porção intermediária se encontra em processo de fixação pela vegetação de mangue, o que pode ter um importante significado geomorfológico, já que há o aprisionamento de sedimentos e contenção de processos erosivos.

Além de servir de barreira de proteção ao manguezal, à retaguarda desse *spit* são desenvolvidas importantes atividades salineiras, com infraestrutura instalada na área abrigada da linha de costa.

- ***Spit* de Requenguela – Icapuí/CE – (ponto 10):**

Este *spit* conta com uma área de manguezal relativamente bem preservada à sua retaguarda, porém com ocupação bastante avançada nas áreas adjacentes, representada neste

caso por residências e restaurantes. Há também na área abrigada pelo *spit* a existência de infraestrutura voltada à atividade salineira, bastante favorecida pela configuração da linha de costa.

- ***Spit* de Retiro Grande – Icapuí/CE – (ponto 11):**

Spit muito bem preservado, praticamente sem ocupação, está localizado numa área confinada à ocorrência de falésias. Um extenso canal de maré, estreito e alongado se forma no setor entre o *spit* e à linha de costa.

Está muito próximo da linha de costa, quase conectado ao continente. Seu processo evolutivo pode significar sua completa incorporação à linha de costa, em caso de sua permanência na posição atual, e da atuação de processos deposicionais sobrepondo-se aos erosivos.

- ***Spit* de Parajuru – Beberibe/CE – (ponto 12):**

Trata-se do maior *spit* em extensão do Litoral Leste do Ceará, e não conta com nenhuma ocupação diretamente estabelecida sobre o corpo arenoso. À sua retaguarda, porém, há uma grande infraestrutura instalada para a atividade da carcinicultura, havendo o lançamento de efluentes diretamente no canal do rio Pirangi, que contorna a barreira imposta pelo *spit*, até o ponto onde deságua no oceano.

A atividade turística tem causado a compactação de alguns trechos do *spit* através do trânsito de veículos 4x4, *bugs*, e motocicletas. Alguns pontos na sua porção intermediária apresentam evidências de galgamentos marinhos, com extensas áreas de sobrelavagem por ondas. Isto pode ser uma ameaça à estabilidade dos depósitos eólicos assentados sobre este *spit*, e iniciar o processo de rompimento do *spit* do topo para a base.

- ***Spit* de Barra Nova – Cascavel/CE – (ponto 13):**

A área do *spit* está bem preservada, porém é um dos mais dinâmicos, com constante migração e mudanças de configuração da sua porção distal. Parece receber bastante influência das descargas hídrossedimentológicas do rio Choró, cuja desembocadura se dá na área de projeção do *spit*.

À sua retaguarda está assentado o distrito de Barra Nova, importante núcleo urbano e turístico do município de Cascavel, que têm na área abrigada criada pelo *spit* um dos principais atrativos. A prática de esportes aquáticos também é favorecida pela zona de calmaria formada à retaguarda do *spit*, destacando-se a prática do *kitesuf*.

- ***Spit* de Águas Belas – Cascavel/CE – (ponto 14):**

A configuração, dinâmica e formas de uso e ocupação são bastante semelhantes aos verificados no *spit* de Barra Nova, já que o *spit* não está diretamente ocupado, mas à sua retaguarda está assentado o núcleo urbano do distrito de Águas Belas, que também é favorecido pelo potencial paisagístico formado pela área no entorno do *spit*. A área do *spit* também cria uma barreira física que atua como impositor da drenagem na área da desembocadura do rio Malcozinhado.

- ***Spit* de Iguape – Aquiraz/CE – (ponto 15):**

Provavelmente o *spit* mais ocupado do Ceará, e um dos mais ocupados de toda a Costa Semiárida Brasileira. A ocupação, diferentemente do que ocorre na maior parte dos demais *spit*, se dá em função da instalação de segundas residências e casas de alto padrão ao longo de quase todo o *spit* (figura 29). O *bypass* de sedimentos, em especial dos estoques representados pelas dunas, acha-se bastante comprometido, já que o núcleo urbano está disposto longitudinalmente ao longo de todo o *spit*.

Figura 29 - *Spit* de Iguape, em Aquiraz/CE, quase totalmente ocupado por residências de alto padrão



Fonte: Google Imagens.

- ***Spit* da Foz do Rio Pacoti – Fortaleza/CE – (ponto 16):**

Apresenta certa ocupação, mas de forma menos impactante do que a verificada no Iguape, por exemplo. Trata-se de um sistema diferenciado, já que há a presença de *spits* duplos, na desembocadura do rio Pacoti.

A dinâmica de ocupação no entorno, porém, é bastante agressiva, sendo uma região com infraestrutura voltada a condomínios de luxo, resorts e parques aquáticos. Uma importante área de manguezal se forma à retaguarda desse sistema de *spits*.

- ***Spit* da Foz do Rio Ceará – Fortaleza/CE – (ponto 17):**

A configuração desse *spit* se assemelha à verificada no rio Pacoti, porém em termos de ocupação é bastante diferenciada. Conta com a presença principalmente de barracas de praia, sendo uma área periférica, e com a maior pressão no núcleo urbano representada por primeiras residências, porém não diretamente assentadas sobre o *spit*, que está situado na área de desembocadura do rio Ceará.

- ***Spit* da Foz do Rio Curu – Paracuru/CE – (ponto 18):**

Trata-se de um *spit* muito bem preservado, sem nenhum tipo de ocupação no corpo arenoso. Uma área de manguezal, também em bom estado de conservação é favorecida pela barreira formada pelo *spit*. Os extensos campos de dunas que se formam no município de Paracuru, podem fornecer uma boa fonte de sedimentos para a área do *spit*. O núcleo urbano do município, porém, situa-se entre os campos de dunas e o *spit*, dificultando assim a retroalimentação de sedimentos para a área.

- ***Spit* de Mundaú – Trairi/CE – (ponto 19):**

O *spit* de Mundaú situa-se na desembocadura do rio de mesmo nome. Está posicionado no sentido contrário ao da maioria dos *spits*, ou seja, contra a direção da corrente de deriva litorânea. Atualmente, está em bom estado de conservação e conta com expressivo estoque sedimentar, representado por campos de dunas na margem oposta do rio. Resguarda um trecho de manguezal também em bom estado de conservação.

- ***Spit* de Icarai de Amontada – Amontada/Itarema/CE – (ponto 20):**

Situado na desembocadura do rio Aracatiaçu, este *spit* não apresenta nenhuma forma de ocupação. A pequena faixa de manguezal situada à retaguarda do *spit* encontra-se de certa forma descaracterizada. Este *spit* encontra-se associado a uma ilha barreira, mas apesar disso tem mantido sua posição estável ao longo dos últimos anos.

- ***Spit* de Almofala (1) – Itarema/CE – (ponto 21):**

Não há nenhuma forma de ocupação direta sobre o *spit*. Apesar disso, os processos erosivos na sua extremidade livre são visíveis, resultando em um padrão incomum e

extremamente acelerado de migração, rompimento e soldagem das barreiras ao continente nesse trecho do litoral cearense.

Este *spit* resguarda uma das mais importantes áreas de manguezais do litoral oeste do Ceará, e seu padrão de migração, eventualmente deixando essas áreas expostas à ação direta das ondas pode resultar num processo de destruição do ecossistema manguezal.

- ***Spit* de Almofala (2) – Itarema/CE – (ponto 22):**

Este *spit* evoluiu a partir do rompimento do *spit* de Almofala 1, que está à montante, encontra-se também bem preservado, devendo ser destacado, contudo, o padrão incomum de migração e erodibilidade em alguns setores, estando sujeito a um novo rompimento e transformação em ilha barreira. À sua retaguarda há presença de significativa área de manguezal, que na verdade é a continuação do mesmo ecossistema também protegido pelo *spit* anterior.

- ***Spit* da Ilha do Guajiru – Itarema/CE – (ponto 23):**

Trata-se de um *spit* que alterna ciclos com diferentes configurações entre *spit* e ilha barreira. Em 2016/2017 encontrava-se configurado como ilha barreira. De maneira geral, não há grande ocupação na sua área. Apresenta, no entanto, formas de uso bastante incomuns para este tipo de barreira costeira na Costa Semiárida Brasileira.

Ao longo de todo o sistema *spit*-ilha barreira há poucas construções, representadas por casebres e cabanas, onde uma pequena comunidade local de pescadores e criadores de gado bovino habita durante determinados períodos do ano (figura 30). Apesar de não haver propriedades privadas oficializadas, essa comunidade faz uso de cercas como forma de demarcar lotes onde constroem suas casas e quintais, e onde criam os animais. Há que se destacar que o lençol freático aflora na área do *spit*, sendo que a pequena comunidade local é a própria responsável pela abertura de poços para consumo doméstico de água doce.

Figura 30 - Casebres e a criação de gado bovino no *Spit*-ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema/CE



Fonte: O Autor

À retaguarda do *spit*-ilha barreira, no canal de maré que se forma no encontro com a costa, há a prática amadora e profissional de *kitesurf*. Em geral, são estrangeiros, na sua maior parte europeus, que se instalam na comunidade da Ilha do Guajiru durante determinados períodos do ano para praticar este esporte. Para atender a essa demanda e turistas, a região passou a contar com uma série de equipamentos como hotéis e pousadas de alto padrão, bem como restaurantes.

Há forte especulação imobiliária na região de linha de costa associada à barreira costeira, com compra e venda de lotes de terrenos principalmente para estrangeiros, cuja venda se dá em moeda estrangeira (euros), havendo construção de pousadas e hotéis de alto padrão (figura 31). A propriedade de boa parte dos terrenos é questionada por moradores locais, que alegam haver um apropriação indevido do espaço na região.

Figura 31 - Especulação imobiliária para construção de hotéis de alto padrão na linha de costa associada à Ilha do Guajiru, em Itarema/CE



Fonte: O Autor

Este *spit*-ilha barreira atua como barreira protetiva contra a ação direta de ondas e marés para essa comunidade e para uma área de manguezal. As constantes aberturas e fechamentos ao qual está sujeito o *spit*-ilha barreira afetam também a comunidade de pescadores, que usam o canal de maré não apenas para atracar os barcos, como é comum nessas áreas, mas também dá acesso à localidade de Porto dos Barcos, por onde é escoada parte da produção pesqueira do município de Itarema.

- ***Spit* da Praia do Farol – Itarema/CE – (ponto 24):**

Não apresenta nenhuma ocupação direta no seu entorno. Sua origem provavelmente está ligada à remobilização de sedimentos transportados ao longo do canal de maré e do *spit*-ilha barreira de Guajiru, que ocorre na porção de terra anterior.

Por ser bastante rebaixado, durante determinados períodos do ano há intensa sobrelavagem de ondas e retirada de sedimentos da sua porção subáerea, cujo principal efeito é a alteração brusca da sua configuração.

- ***Spit* de Volta do Rio – Acaraú/CE – (ponto 25):**

É um dos *spits* mais impactados do litoral cearense e o mais desconfigurado da região de Acaraú/Itarema (figura 32), tendo sido construído um parque eólico em toda a sua extensão, dificultando o seu processo de movimentação natural. Estruturas rígidas foram instaladas no intuito de conter sua movimentação, mas apenas agravaram o processo erosivo, que é bastante nítido, afetando inclusive a base dos aerogeradores ali instalados. Além das estruturas de contenção, houve severa compactação de toda a área para a construção de aterro e vias de acesso, afetando totalmente o by-pass de sedimentos.

À retaguarda desse *spit* já havia grandes alterações da linha de costa, através da construção de tanques de carcinicultura que se utilizaram da barreira física natural

representada pelo *spit*. Atualmente muitos dos tanques de carcinicultura estão abandonados, mas a infraestrutura não foi retirada, dificultando também os fluxos de matéria e energia que antes se processavam através do canal de maré ali existente.

Figura 32 - *Spit* localizado em volta do Rio, Acaraú/CE, bastante desconfigurado pela construção de um parque eólico



Fonte: *Google Earth*.

Outro impacto gerado nessa área é a dificuldade de acesso dos moradores da região, que acabam sendo obrigados a se deslocar por trajetos mais longos para chegarem até à praia e praticarem a pesca, ou mesmo ter acesso para o lazer, já que o espaço, apesar de não privatizado, cria empecilhos em relação ao livre trânsito dos moradores.

Os riscos de acidentes decorrentes da queda de peças dos aerogeradores, que estão, atualmente, em um estado de conservação ruim, já tendo sido registrados, de acordo com os moradores, até mesmo incêndios localizados diretamente relacionados ao parque eólico.

- ***Spit* de Coassu – Acaraú/CE – (ponto 26):**

Encontra-se posicionando defronte a um expressivo ecossistema manguezal, que se beneficia da barreira protetiva representada pelo *spit*. Alguns tanques de carcinicultura instalados na linha de costa foram também beneficiados pela barreira protetiva por ele criada. Têm sofrido uma redução substancial de sua área total, cuja reconfiguração pode significar a destruição parcial ou total de importantes sistemas ambientais à retaguarda.

- ***Spit* de Arpoeiras – Acaraú/CE – (ponto 27):**

Este *Spit* apesar de apresentar poucas formas de ocupação, representadas principalmente na área do entorno por algumas residências, tem sofrido com intensos processos erosivos. Possui um amplo canal de maré, que possibilitou o estabelecimento de expressiva área de manguezal.

Associado a este manguezal, porém, foram instalados tanques de carcinicultura, ocupando uma área significativa da linha de costa.

- ***Spit* da Foz do Rio Acaraú – Acaraú/CE – (ponto 28):**

Esse *spit* não apresenta nenhuma forma de ocupação direta sobre o corpo arenoso, estando muito bem conservado do ponto de vista do uso e ocupação.

Apresenta dinâmica de remobilização e possui grande instabilidade sedimentar devido deve à sua proximidade com a desembocadura do Rio Acaraú, apesar da boa oferta de sedimentos, derivada das descargas hidrossedimentológicas do rio Acaraú. Os processos erosivos têm se intensificado nas últimas décadas.

- ***Spit* de Aranaú – Acaraú/CE – (ponto 29):**

Spit muito bem conservado, que não conta com nenhuma ocupação direta sobre sua área. Há estabelecimento de manguezal se forma à sua retaguarda, na área do canal de maré.

É um dos *spits* mais estáveis da região de Acaraú e Itarema e tem apresentado um processo de crescimento contínuo no sentido da corrente de deriva litorânea, com pouca incidência de processos erosivos na linha de costa adjacente.

- ***Spit* da Praia do Preá – Jericoacoara/CE – (ponto 30):**

Além de apresentar bom estado geral de conservação, este *spit* diferencia-se por estar configurado na direção contrária à da corrente de deriva litorânea. Uma área pouco expressiva contendo vegetação de mangue se formou no estreito canal existente entre o *spit* e à linha de costa.

- ***Spit* de Guriú – Jericoacoara/CE – (ponto 31):**

Situado logo após o extenso campo de dunas da região da Vila de Jericoacoara, este *spit* encontra-se em boas condições. Apesar do grande número de frequentadores, representado principalmente por turistas de diversas partes do mundo, não há nenhuma construção estabelecida diretamente sobre o *spit*.

O canal do rio Guriú tem sua desembocadura estabelecida na extremidade livre do *spit*, havendo a formação de uma área de manguezal na porção por ele abrigada.

- ***Spit de Amarela – Camocim/CE – (ponto 32):***

Este *spit* possui face de crescimento contrária à da corrente de deriva litorânea, mas imagens de satélite pretéritas indicam que houve uma inversão da sua posição.

Assim, a extremidade hoje livre, era a que no passado estava conectada ao continente. Isto indica condições bastante adversas no padrão hidrodinâmico local, indicando alterações no sentido do fluxo sedimentar, ou até mesmo interrupção de um dos fluxos, ou inserção de mais uma fonte de sedimentos, que acabou por modificar substancialmente o padrão morfológico desse *spit*. Este *spit* não apresenta nenhuma construção ou indícios de ocupação em seu topo, apresentando-se muito bem conservado.

- ***Spit do Pontal de Bitupitá – Barroquinha/CE – (ponto 33):***

Trata-se de um *spit* que aparenta estar num estágio de maturidade bastante avançado. Há na sua face interna uma vegetação de mangue bastante expressiva, ancorada diretamente sobre este corpo arenoso, que, em alguns trechos, ocupou toda a faixa de areia antes existente na sua porção superior. Isto imprime uma fisiografia própria, e bastante incomum entre este tipo de barreira costeira.

Não há ocupação direta sobre o *spit*, porém na área a montante, há o núcleo urbano de Bitupitá, município de Barroquinha, que está localizada na área de *bypass* do campo de dunas situado logo atrás. Porém, devido ao seu estágio de maturidade e à vegetação, que oferece um importante suporte de fixação, este *spit* parece não estar tão vulnerável aos processos de deslocamento que a maioria está sujeita.

Os ***spits dos Estados do Piauí e do Maranhão***, por sua vez, são os mais bem conservados de toda a Costa Semiárida Brasileira. São também os que possuem maior extensão média (5.565,98m), contra 2.939,59m dos *spits* do Rio Grande do Norte, e 2.258,43m dos *spits* do Ceará.

A maior dimensão, associada à maior disponibilidade de sedimentos, representada principalmente pelos extensos campos de dunas na região do Delta do rio Parnaíba e dos Lençóis Maranhenses, contribui para a minimização dos efeitos de eventuais processos erosivos na área dos *spits*. Outra diferença importante, é que este setor da Costa Semiárida Brasileira praticamente não apresenta ocupação direta sobre os *spits*, à exceção do molhe construído na área do *spit* do Porto de Luís Correia, no Piauí, para conter a mudança de posição da desembocadura do rio Igarçu e a movimentação do *spit* sobre essa área, e do *spit* de Barreirinhas/MA, onde há infraestrutura de pousadas e restaurantes.

Há também poucos núcleos urbanos na área da linha de costa abrigada pelo *spit*, e, quando existem, mantém certa distância. Importantes áreas de ecossistema manguezal têm seu desenvolvimento favorecido pela posição dos *spits* na linha de costa.

Na região de Barra Grande, entre Cajueiro da Praia e Luís Correia, no Piauí, há infraestrutura instalada pela atividade da carcinicultura na porção da linha de costa abrigada pelo *spit*, sendo, porém, o único exemplo desse tipo de atividade desenvolvida nos *spits* desse setor da Costa Semiárida Brasileira. A seguir, é apresentada uma síntese das principais pressões antrópicas e limitações ambientais dos *spits* do Piauí e do Maranhão.

- ***Spit* de Barra Grande – Cajueiro da Praia/Luís Correia/PI – (ponto 34):**

Spit muito bem conservado, sem nenhuma forma de ocupação direta, tem mantido sua posição praticamente estável ao longo dos últimos anos. Possui um dos padrões de encurvamento mais impressionantes de toda a Costa Semiárida, além de estar bastante projetado em relação ao mar. Encerra a área de desembocadura do rio Camurupim, mas parece não ser muito afetado pelas descargas hidrossedimentológicas dele decorrentes.

Ilhas e barras fluviais também ocorrem porção protegida pelo *spit*, onde uma vegetação de mangue bastante desenvolvida se estabeleceu. Parte do ecossistema manguezal foi descaracterizada em função da construção de tanques de carcinicultura.

- ***Spit* do Porto de Luís Correia – Parnaíba/Luís Correia/PI – (ponto 35):**

É um dos *spits* do litoral do Piauí e do Maranhão que sofreu maiores alterações em relação ao *bypass* de sedimentos. A construção de um molhe para conter a migração da linha de costa afeta diretamente a área do *spit* (figura 33), alterando o transporte litorâneo de sedimentos, responsável pelo seu deslocamento natural, e o padrão de refração e difração de ondas que determinam seu padrão morfológico.

À exceção disso, não há ocupação direta da área do *spit*, que conta na sua retaguarda com uma importante área de manguezal. Na margem oposta, está assentado o núcleo urbano da cidade de Luís Correia/PI.

Figura 33- Molhe construído no Porto de Luís Correia/PI, alterando a dinâmica sedimentar da área do *spit* e da desembocadura do rio Igaracaçu



Fonte: *Google Earth*.

- ***Spit* de Tutóia – Tutóia/MA – (ponto 36):**

Spit praticamente inalterado pela ação antrópica, apresentando importantes estoques de dunas, que contribuem no suprimento sedimentar do *spit*. Uma expressiva área de manguezal se forma à retaguarda do *spit*, entrecortada por inúmeros canais fluviais.

- ***Spit* de Barreirinhas – Barreirinhas/MA – (ponto 37):**

Trata-se do segundo maior *spit* em extensão de toda a Costa Semiárida, sendo bastante visitado, por estar localizado na região turística de Caburé, nos Lençóis Maranhenses. Na sua porção inicial está bastante ocupado por pousadas e restaurantes, na região meandrante do rio Preguiças. Já sua porção final, próxima à extremidade livre do *spit* está relativamente bem preservada. Uma significativa área de manguezal se forma ao longo do baixo curso do rio Preguiças, limitado pelo *spit*, que apesar de bastante visitado parece se manter sem maiores alterações.

- ***Spit* de Travosa – Santo Amaro do Maranhão/MA – (ponto 38):**

Spit muito bem conservado e suprido por sedimentos oriundos de expressivos campos de dunas, sendo um dos maiores estabelecidos à retaguarda de *spits* na Costa Semiárida Brasileira (figura 34).

Sua posição na linha de costa favoreceu o estabelecimento e crescimento de uma importante área de manguezal, bastante entrecortada por cursos fluviais e canais de maré.

Figura 34- *Spit* de Travosa, em Santo Amaro do Maranhão/MA, e expressivo campo de dunas associado



Fonte: Google Earth.

- ***Spit* de Macacoeira – Primeira Cruz/MA – (ponto 39):**

Este é o último *spit* da Costa Semiárida Brasileira, tomando como ponto de partida o Cabo Calcanhar/RN. Trata-se também de um *spit* com um padrão incomum, já que é bastante recurvado não apenas na sua extremidade livre, mas em praticamente toda a sua extensão.

Por estar situado próximo a uma grande área de baía (Baía do Arraial) e estar mais exposto à atuação de marés de maior amplitude, há maior fluxo hidrossedimentológico nesta área, além de uma extensa área de manguezal, e canais fluviais de padrões múltiplos. Não há ocupação direta da área do *spit*, em virtude, provavelmente, da dificuldade de acesso ao local.

3.1.2.2 A situação das ilhas barreira

Como já foi dito anteriormente, a pressão antrópica sobre as ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira é menor do que a verificada nos *spits*. A dificuldade de acesso pelo fato de não haver conexão direta com o continente é provavelmente o principal motivo em função do qual não é observada a ocupação direta sobre a maioria dessas ilhas, como ocorre em muitos *spits*.

Além disso, muitas dessas ilhas é resultado de recentes processos de rompimento de *spits*, tornando a acentuada dinâmica sedimentar e os riscos inerentes à sua ocupação, própria desses ambientes, mais nítidas à população, gerando incertezas e receio quanto à sua ocupação.

A maior parte das ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira (seis, das nove existentes) estão no Rio Grande do Norte, na mesma região de ocorrência dos *spits*. Logo, há

inúmeras pressões antrópicas relacionadas aos núcleos urbanos e às atividades econômicas praticadas na região dessas barreiras costeiras, porém, tais pressões estão concentradas principalmente nos *spits* e na linha de costa, com poucas formas de uso e ocupação assentadas diretamente sobre as ilhas barreira.

Apesar da menor pressão antrópica, há maiores limitações ambientais do ponto de vista da ocupação e dos usos nas ilhas barreiras, do que nos *spits* da Costa Semiárida. Isso porque, em geral essas ilhas estão mais destacadas da costa, e sofrem maiores danos decorrentes da atuação erosiva de ondas (normais e de tempestade), marés e correntes marinhas.

São, portanto, barreiras costeiras que estão mais expostas e sujeitas à remobilização de sedimentos e propensas aos processos de deslocamento. Em função dessas mudanças de posição e configuração, as áreas de linha de costa que estão abrigadas por estas ilhas barreira também se tornam mais susceptíveis aos processos erosivos repentinos e severos, e em caso de destruição, rebaixamento do nível topográfico ou deslocamento de tais ilhas.

Logo, o processo de uso e ocupação dessas ilhas e nas áreas no entorno devem ser reguladas de forma ainda mais rígida, de modo a evitar danos irreversíveis à população e suas atividades, às possíveis infraestruturas ali estabelecidas, e aos sistemas ambientais associados a essas barreiras costeiras.

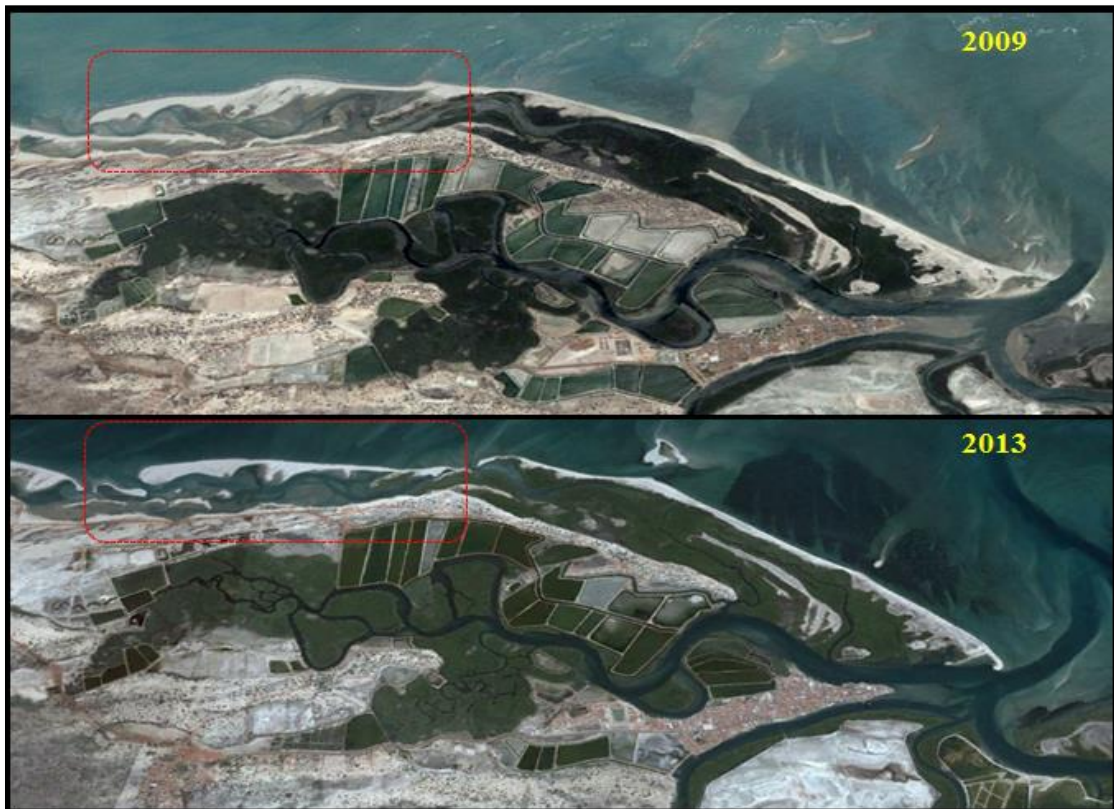
A seguir, é apresentada uma síntese das principais pressões antrópicas e limitações ambientais verificadas nas ilhas barreiras da Costa Semiárida Brasileira.

- **Ilha-barreira de Galinhos – Galinhos/RN – (ponto 1):**

Apesar de não ser muito impactada, não sendo verificadas construções diretamente sobre a ilha barreira, seus processos erosivos e migratórios são extremamente acelerados. Parte desta ilha foi rompida na década passada, originando outra ilha barreira (Guamaré - ponto 2), conforme pode ser observado na figura 35.

Na área à retaguarda da ilha barreira de Galinhos, formou-se uma expressiva área de manguezal, que resiste à ação das ondas e marés em função da barreira protetiva por ela exercida. Tanques de carcinicultura e aerogeradores estão instalados entre a área de manguezal, protegida pela ilha barreira, e o continente. O núcleo urbano contendo a sede do município de Guamaré está totalmente confinado na área à retaguarda da ilha barreira, dela dependendo para atenuação dos processos erosivos e enchentes que eventualmente a atingiriam de forma mais impactante em caso de exposição.

Figura 35 - Surgimento da ilha-barreira de Guamaré/RN a partir do rompimento da ilha barreira de Galinhos/RN



Fonte: *Google Earth*.

- **Ilha-barreira de Guamaré – Guamaré/RN – (ponto 2):**

Situada imediatamente após a ilha barreira de Galinhos, trata-se de uma ilha barreira bastante recente, originada a partir do rompimento e migração desta outra. Também não há ocupação assentada diretamente sobre a ilha, e, diferentemente da anterior, nesta ilha barreira não há um manguezal estabelecido, em função, provavelmente da sua recente formação.

Está mais exposta do que a ilha barreira de Galinhos, e possui um padrão de recurvamento ainda incipiente que reflete a sua jovialidade, denotando sua maior fragilidade e susceptibilidade aos processos migratórios e erosivos.

À retaguarda há uma linha de costa bastante desconfigurada e impactada pela instalação de um parque eólico e de toda a infraestrutura associada, como vias de acesso e construções diversas. Esta área é totalmente dependente da função protetiva exercida pela posição atual da ilha barreira.

- **Ilha-barreira de Diogo Lopes (1) – Diogo Lopes/RN – (ponto 3):**

Diferentemente do que ocorreu com a ilha barreira de Guamaré, a Ilha de Diogo Lopes (1) não foi formada a partir do rompimento de outra ilha barreira, mas sim de um *spit*,

localizado também em Diogo Lopes. Não há ocupação estabelecida diretamente sobre a ilha, nem a formação de um amplo sistema de manguezal na sua porção interna, a não ser um pequeno núcleo de vegetação de mangue ancorada à ilha na sua margem direita.

Apesar de não existir ocupação, esta ilha barreira apresenta marcas visíveis de processos de sobrelavagem por ondas de tempestade, cujo resultado mais evidente é o rebaixamento da cota topográfica da ilha, através da destruição de dunas frontais, e do adelgaçamento da faixa de areia da sua porção subaérea.

Estes processos, em caso de ação continuada, podem gerar novos rompimentos em diversos trechos da ilha, deconfigurando-a rapidamente, e deixando a linha de costa à sua retaguarda exposta aos processos erosivos.

- **Ilha-barreira de Diogo Lopes (2) – Diogo Lopes/RN – (ponto 4):**

Ilha barreira em área contígua à anterior apresenta um estado de maturidade elevado, com menores deslocamentos ao longo dos últimos anos. Apesar disso, é uma das ilhas barreiras mais estreitas de toda a Costa Semiárida Brasileira, com largura média de 198 metros, e largura mínima de aproximadamente 50 metros, sendo bastante vulnerável, por exemplo, aos processos de ondas de tempestade e consequente sobrelavagem dos seus sedimentos (figura 36).

Apresenta um padrão de encurvamento bastante semelhante ao da ilha barreira de Galinhos, com suas duas extremidades inflexionadas em direção à costa. Barras arenosas submersas são verificadas na área entre a ilha barreira e o continente, provavelmente decorrentes dos sedimentos retirados da ilha barreira e depositados imediatamente após, na área do canal de maré. Instalações da Petrobrás e antigos tanques de carcinicultura estão instalados na linha de costa na área abrigada pela ilha barreira. Enrocamentos de pedra na área da linha de costa evidenciam a atuação de processos erosivos avançados no trecho da costa associado à ilha barreira

Figura 36 - A estreita ilha- barreira de Diogo Lopes (2), em Diogo Lopes/RN, e a área da linha de costa por ela abrigada



Fonte: *Google Earth*.

- **Ilha-barreira de Macau (1) – Macau/RN – (ponto 5):**

Ilha barreira recente, formada na última década a partir do rompimento de um *spit* (figura 37), encontra-se bastante preservada, sem nenhuma forma de ocupação visível. À sua retaguarda há um complexo sistema de barras entrecortadas por canais de maré e canais fluviais, que contam em alguns trechos com vegetação de mangue bastante desenvolvida.

Figura 37 - Ilha barreira de Macau (1), em Macau/RN, formada a partir do rompimento de um *spit*



Fonte: *Google Earth*.

- **Ilha-barreira de Macau (2) – Macau/RN – (ponto 6):**

Ilha barreira madura, que se encontra praticamente soldada ao continente, está intimamente ligada ao ecossistema manguezal, que, em alguns trechos, avançou sobre esta formação arenosa. Um dos aspectos fisiográficos mais marcantes são os corredores de deflação eólica, de dimensões significativas e hoje colonizados por uma vegetação que parece avançar por praticamente toda a área da ilha barreira.

No setor central da ilha há uma infraestrutura instalada voltada à atividade turística, com ruas calçadas, restaurantes e quiosques. Apesar de ser uma ocupação que ocorre num setor bastante restrito da ilha, observa-se a atuação de efeitos erosivos, através da perda de areia, e construção de enrocamentos e espigões na tentativa de estabilizar a movimentação sedimentar nesta área.

É uma das ilhas barreira que cuja função protetiva é das mais importantes de toda a Costa Semiárida Brasileira, já que no setor da linha de costa por ela abrigada está estabelecida a sede do município de Macau, e uma grande área de produção de sal marinho (figura 38). Trata-se de uma região bastante antropizada, cuja ocupação implica em severas alterações nos fluxos sedimentares, além de impactos relacionados à poluição e descaracterização agressiva dos sistemas ambientais costeiros.

Figura 38 – Ilha-barreira de Macau (2), em Macau/RN, e a área de produção de sal e a sede do município



Fonte: *Google Earth*.

- **Ilha-barreira de Icaraí de Amontada – Amontada/Itarema/CE – (ponto 7):**

Ilha barreira bastante preservada, sem nenhuma ocupação direta, está quase soldada ao continente, e possui constantes mudanças em sua configuração decorrentes da desembocadura do rio Aracatiaçu, e de um *spit* que ocorre na área contígua. Encerra uma pequena área de manguezal e um vasto setor de campo de dunas.

É a ilha barreira que apresenta menor largura mínima (aproximadamente 25 metros em determinados setores), sendo bastante vulnerável aos processos de rompimento e sobrelavagem gerados por ondas de tempestade.

- **Ilha-barreira de Almofala – Itarema/CE – (ponto 8):**

Ilha barreira recente, formada na última década, é a menor de toda a Costa Semiárida Brasileira, em área, comprimento, e largura média. Está associada a um complexo sistema de barreiras costeiras representadas por *spits* e ilhas barreiras na região de Itarema e Acaraú. Tem a função protetiva para uma expressiva área de manguezal, e está livre de ocupações, apesar de ser bastante vulnerável à ação erosiva e aos processos de deslocamento.

Sua formação teve um significado importante para a comunidade local, tradicionalmente ligada à pesca. Isso por que, ao se desconectar do continente, a abertura formada pela ilha facilitou o acesso dos barcos até a região portuária local de Porto dos Barcos, encurtando o trajeto, antes feito pela ilha do Guajiru, em cerca de 5 km, e diminuindo os riscos de encalhamento e tombamento de barcos devido à grande presença de barras submersas na região.

- **Ilha-barreira do Delta do Parnaíba – Araiões/MA – (ponto 9):**

Maior ilha barreira da Costa Semiárida, com quase 20 km de extensão e mais de 800 hectares de área, é provavelmente uma das maiores de todo o Brasil. Apresenta uma expressiva área de dunas assentadas diretamente sobre a ilha, atuando como fonte supridora de sedimentos na sua porção subárea (figura 39). Situa-se na porção final do delta do rio Parnaíba, protegendo uma expressiva área de manguezal.

Figura 39 - Ilha barreira do Delta do Parnaíba, em Araióses/MA, associados a extensos campos de dunas



Fonte: *Google Earth*.

Pela configuração geral da linha de costa, esta ilha-barreira deveria ter maior extensão e as descargas hidrossedimentológicas do rio Parnaíba, bem como a mudança de posicionamento dos seus canais fluviais, deve ter favorecido o processo de rompimento e diminuição da porção emersa da ilha, bem como contribuiu para a formação de barras arenosas nessa porção do litoral.

Não há ocupação direta na área da ilha barreira, porém há visitação turística intensa, a partir do transporte de visitantes através de barcos o que, contudo parece não afetar de maneira intensa a dinâmica sedimentar extremamente acentuada da ilha, que permanece em um bom estado de conservação e praticamente estável.

3.2 Processo migratório e as principais mudanças morfológicas das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema em escala Interdecadal

O litoral de Acaraú e Itarema apresenta um dos conjuntos de barreiras costeiras mais proeminentes da Costa Semiárida Brasileira. A ocorrência quase contínua, principalmente de *spits*, torna este setor do litoral do Ceará menos exposto à ação direta de inúmeros fenômenos oceanográficos, como ondas e marés, especialmente durante eventos de alta energia, diminuindo assim os potenciais efeitos mais destrutivos deles decorrentes sobre a linha de costa.

Considerada esta ocorrência incomum, a importância dessas barreiras na estabilização da linha de costa e dos ambientes associados, como áreas de manguezais, a proteção proporcionada aos núcleos urbanos e à infraestrutura instalada, bem como sua alta dinamicidade no que diz respeito à movimentação, foi analisado o processo migratório e as principais mudanças morfológicas ocorridas em oito *spits* identificados no litoral de Acaraú e Itarema em escala interdecadal (mapa 08).

Portanto, foi considerado nesta análise o processo migratório desses *spits* em um intervalo de 44 anos (1973 a 2017), examinando-se as principais mudanças morfológicas e a evolução em termos de área acrescida/erodida a partir do uso de imagens multitemporais de satélite da série Landsat.

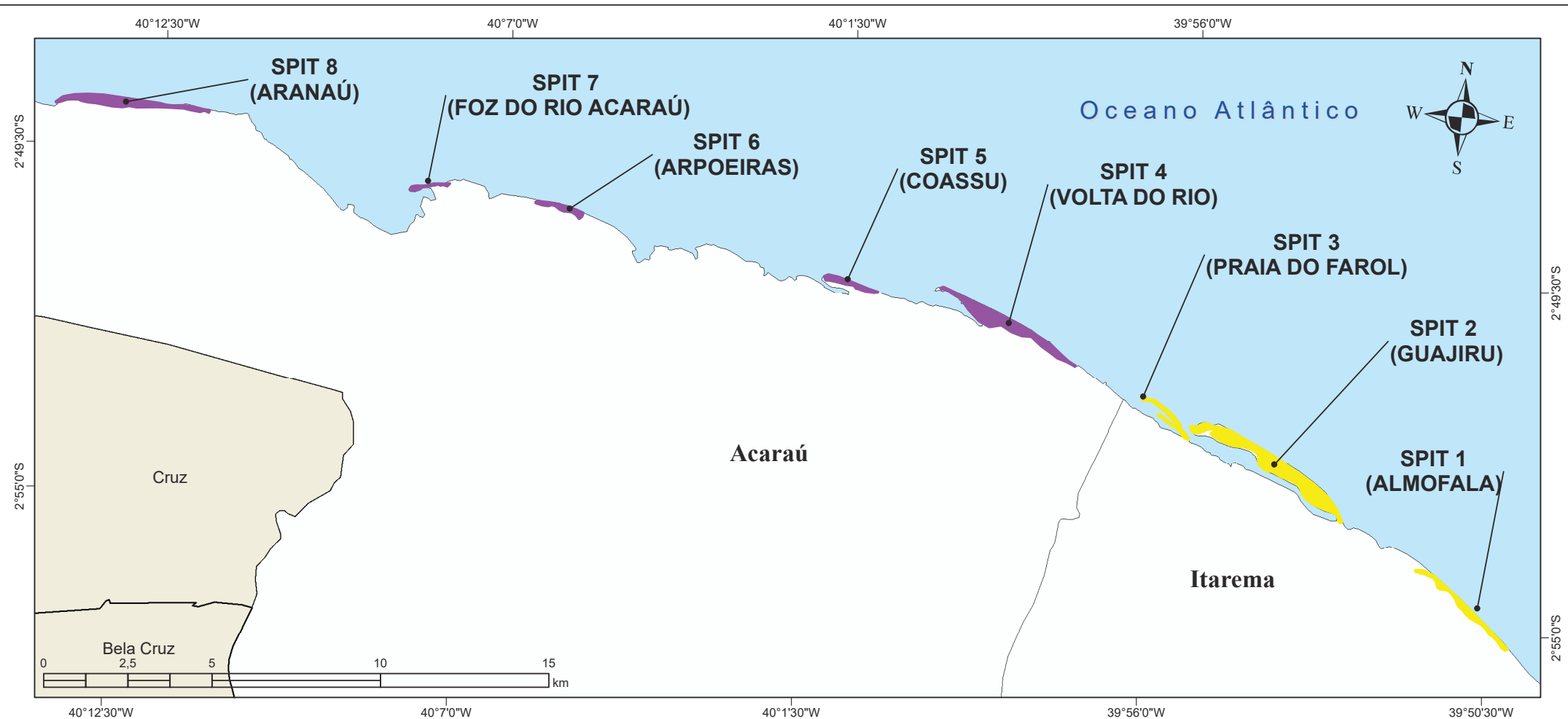
A reconfiguração morfológica interdecadal identificada nas referidas barreiras costeiras demonstrou-se bastante heterogênea, refletindo a acentuada dinâmica sedimentar nessa porção do litoral do Ceará, bem como as diferenças climatológicas identificadas a partir dos índices de pluviometria dos anos previamente definidos para esta análise (tabela 13), conforme definição de anos-padrões elaborada por Galvani e Luchiari (2004).

Deste modo, os resultados foram organizados e apresentados de maneira setorizada, para cada um dos oito *spits*, possibilitando a melhor compreensão do processo migratório e das mudanças morfológicas em escala interdecadal.

Tabela13 – Índices pluviométricos e respectiva classificação dos anos selecionados para Acaraú e Itarema

Anos Padrões para Acaraú e Itarema		
Ano	Precipitação (mm)	Classificação
1973	2.152,30	Úmido
1985	2.959,00	Super úmido
1993	541,0	Seco
2007	740,1	Normal
2017	1.034,00	Normal

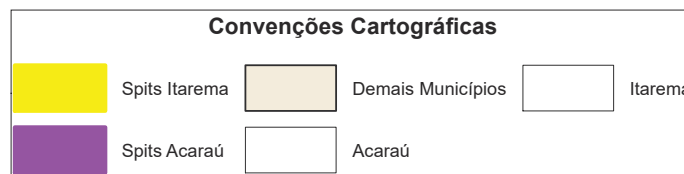
Fonte: O Autor, com base em dados fornecidos pela ANA – Agência Nacional de Águas.



Mapa de Localização dos Spits Analisados entre 1973 e 2017 em Acaraú e Itarema - Ceará - Brasil

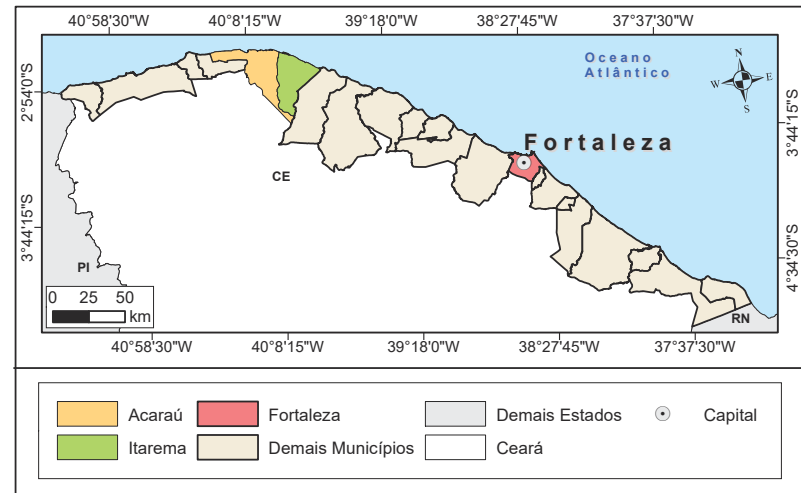
ESCALA 1:115.000

Sistema de Projeção Universal Transversal de Mercator
 Sistemas de Coordenadas Geográficas
 Datum Horizontal: Sirgas 2000
 Meridiano de Referência: 36° 45' W. Gr.
 Paralelo de Referência: -6°



Fonte

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) - 1:250.000

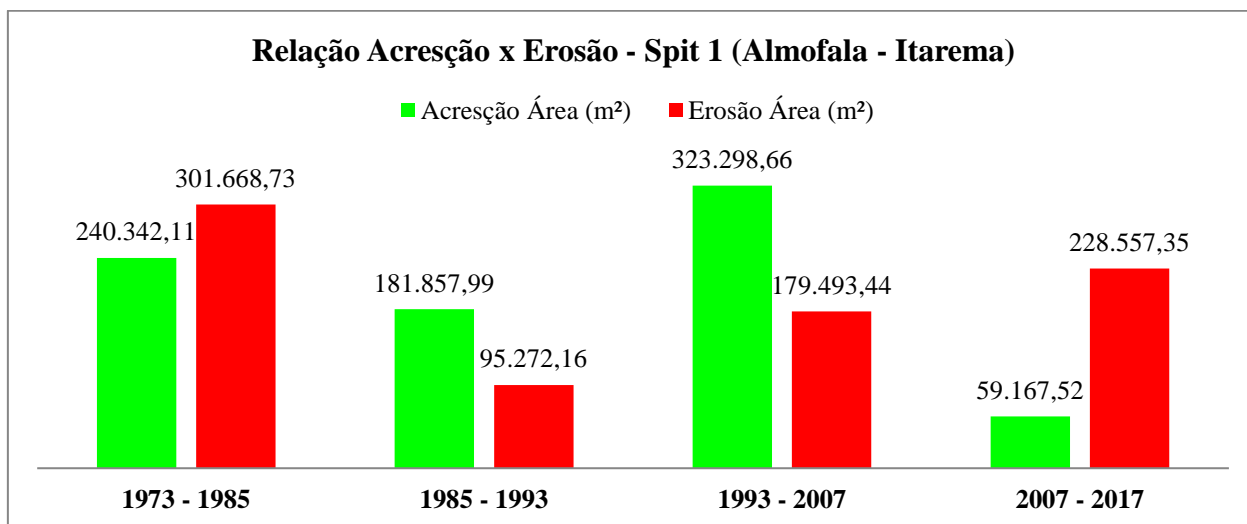


3.2.1 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do *spit* 1 (Almofala/Itarema – Ceará)

O *spit* de Almofala é a primeira (na direção geral E-W) barreira costeira do litoral de Itarema. Situa-se imediatamente após uma desembocadura fluvial, do rio Aracatimirim, e apresenta comprimento médio (extensão lateral entre as duas extremidades) de aproximadamente 3.500 m, perfazendo uma área total em 2017 de 333.842 m².

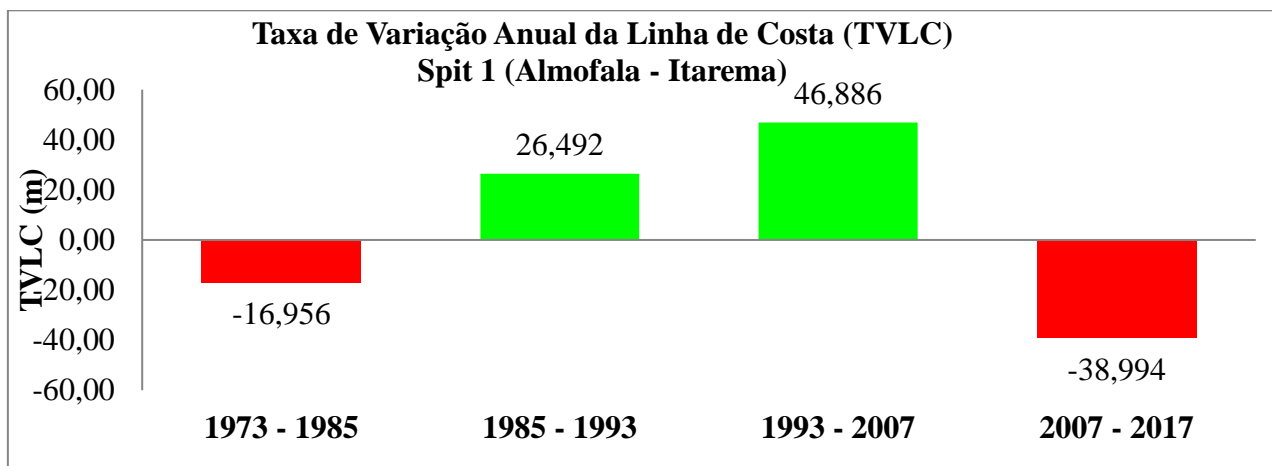
Dentre os oito *spits* analisados no litoral de Acaraú e Itarema, este foi o que apresentou maior equilíbrio em termos de processo migratório e mudanças morfológicas, tendo experimentando um insignificante aumento de área (+ 0,095%) na comparação entre os anos de 1973 e 2017, como pode ser mais bem analisado nos gráficos comparativos construídos para toda a área, apresentados adiante. Apesar disso, já na primeira década considerada (1973-1985) o *spit* sofreu uma sensível redução, com mais de 300.000 m² de área erodida (gráfico 14 e gráfico 15).

Gráfico 14 – Evolução interdecadal da área do *spit* 1 – Almofala/Itarema



Fonte: O Autor

Gráfico 15 – Taxa de variação da linha de costa do *spit* 1 – Almofala/Itarema



Fonte: O Autor

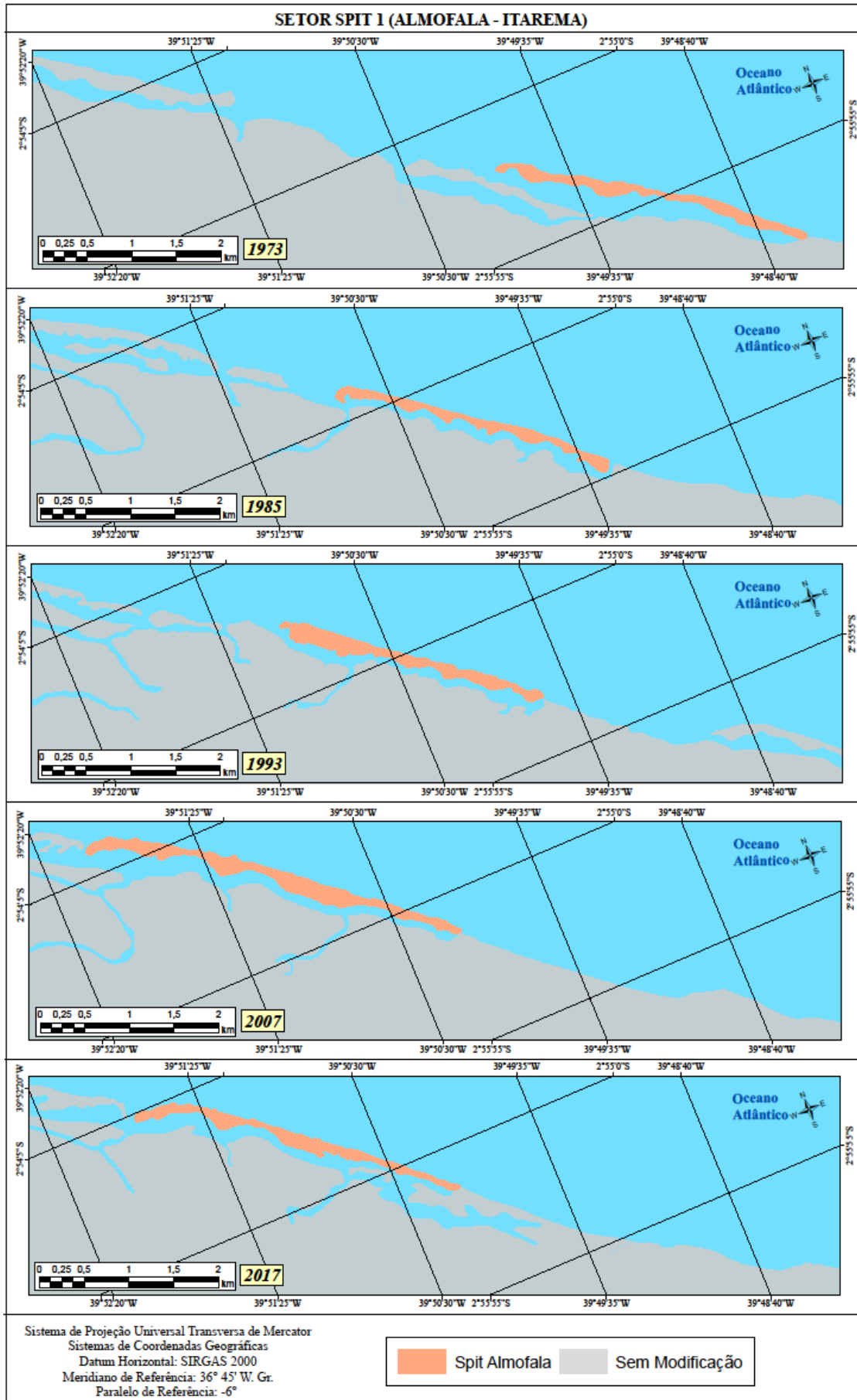
Os dois anos tomados como base para esse período apresentaram os mais elevados índices pluviométricos, com totais acima de 2.000 milímetros em ambos os casos, atingindo quase os 3.000 milímetros no ano de 1985, conforme já apresentado. Foram, portanto, anos de período úmido e super úmido. Por se tratar de um *spit* situado próximo a uma desembocadura, o efeito prolongado e potencializado de espigão hidráulico, quando há uma elevada descarga hídrica de origem continental no sistema marinho criando uma barreira, pode ter retido maior quantidade de sedimentos à barlar, ocasionando um elevado déficit sedimentar na área do *spit*.

Na década seguinte (1985-1993) o *spit* experimentou uma fase de ilha barreira, com as duas extremidades livres (figura 40 e figura 41). Em geral, essa transformação envolve maior perda de sedimentos por conta da desconexão gerada com o continente. Porém, no caso do *spit* de Almofala houve um acréscimo considerável de área, em virtude da sua reconfiguração morfológica, com maior extensão no sentido E-W. Além disso, o ano de 1993 caracterizou-se por ser anormalmente seco (541 mm), o que provavelmente favoreceu a atuação mais intensa dos agentes marinhos no retrabalhamento sedimentar e morfológico do *spit*.

Para a década de 1993 a 2007 foi identificado o período de maior crescimento do *spit*, numa taxa de 1,7 vezes superior ao da década anterior, com taxa positiva de variação da linha de costa de 46.886 m/ano. O ano de 2007 caracterizou-se como normal em relação às médias pluviométricas, além de ter sido o ano em que o *spit* atingiu seu maior comprimento total (4.344 m). Isto tornou mais efetiva sua atuação protetiva sobre o litoral, já que passou abrigar uma área considerável da linha de costa, anteriormente exposta.

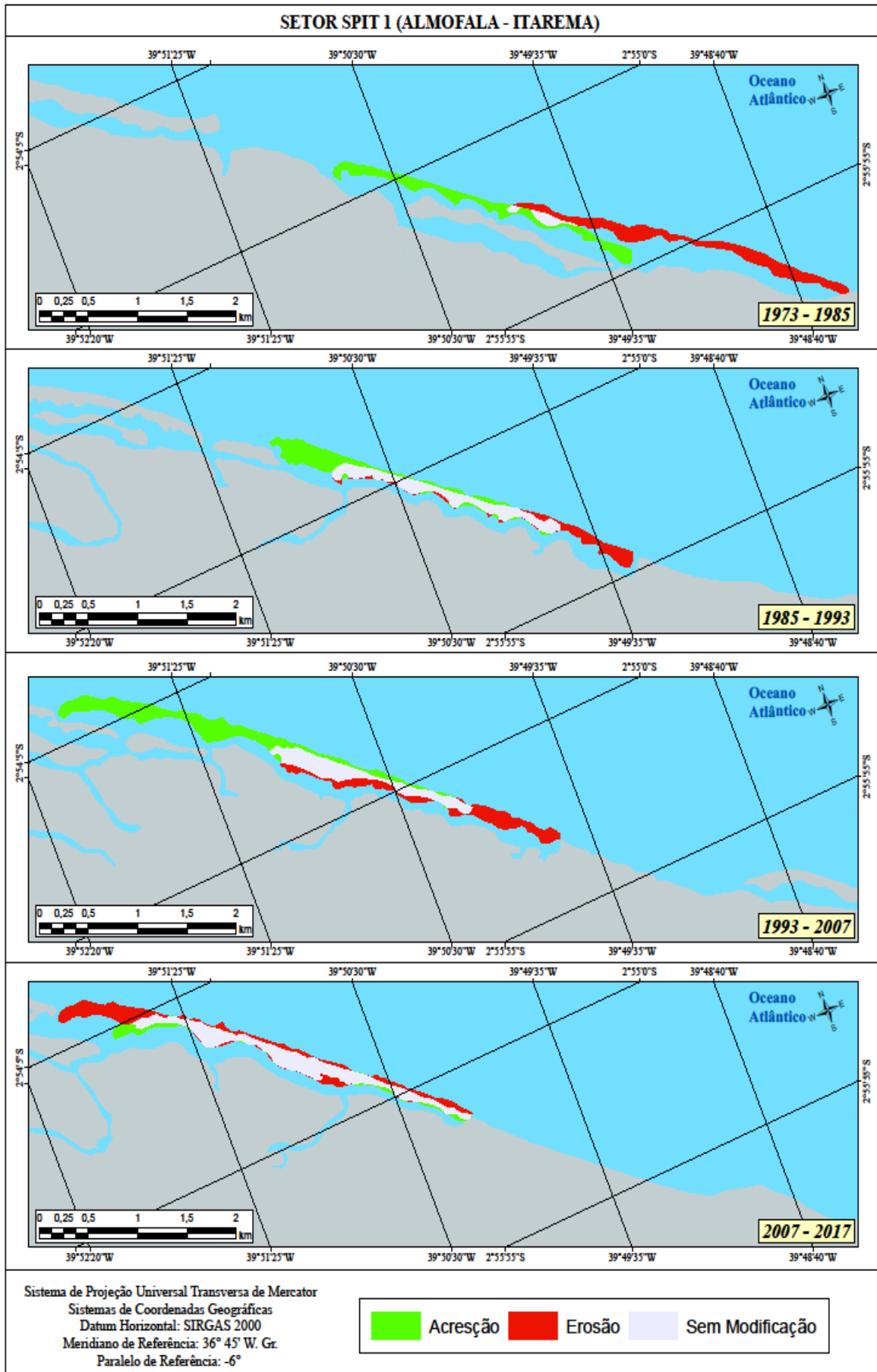
Na década mais recente (2007-2017), houve uma inversão da situação registrada anteriormente, com os processos erosivos novamente sobressaindo-se sobre os deposicionais. A taxa de variação da linha de costa passou a variar negativamente, com o valor de -38,994 m/ano, sendo esses os mais altos valores erosivos registrados para as quatro décadas analisadas. No seu processo migratório no sentido geral E-W, o *spit* se aproximou de uma área de reentrâncias e pequenos tributários fluviais e canais de marés, próximo à região de Porto dos Barcos, em Itarema. A elevação nos índices pluviométricos no ano de 2017, com maior descarga hídrica e potencial de erodibilidade devem ter sido um dos fatores que contribuíram para a intensificação dos processos erosivos nesse período. De maneira geral, o processo migratório desse *spit* ocorreu de maneira não tão intensa em relação aos demais, apresentando-se em relativo estado de equilíbrio, com pequeno crescimento em relação ao ano de 1973. Morfológicamente, também não apresentou alterações sensíveis, possuindo atualmente um padrão alongado e recurvado em direção à costa, na sua porção terminal.

Figura 40 – Configuração morfológica interdecadal do spit 1 (Almofala-Itarema)



Fonte: O Autor

Figura 41 – Processo migratório interdecadal do *spit* 1 (Almofala-Itarema)



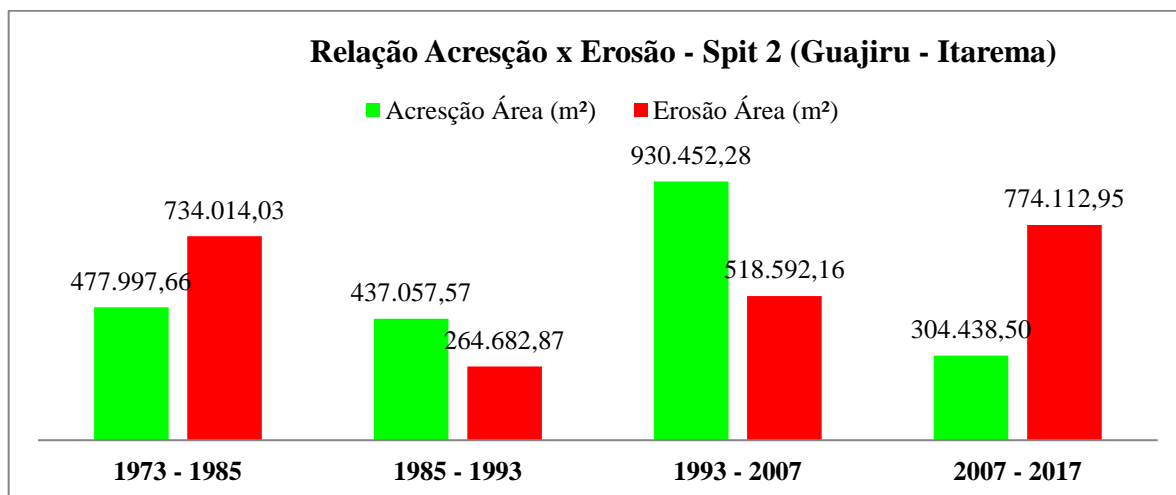
Fonte: O Autor

3.2.2 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do *spit* 2 (Guajiru/Itarema – Ceará)

O *spit* de Guajiru localiza-se imediatamente após o *spit* de Almofala, em Itarema. Trata-se de uma das barreiras costeiras com processo migratório e mudanças morfológicas mais dinâmicas, alternando fases de *spit* e ilha barreira. Localmente, ele é referido como ilha do Guajiru, porém o enquadraremos nessa análise como *spit*.

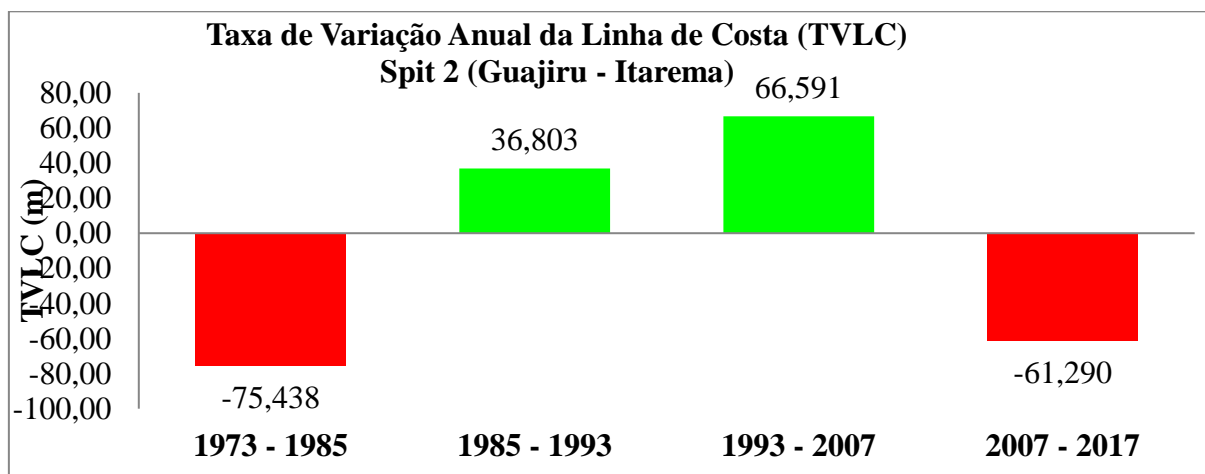
Este *spit* é a maior barreira costeira localizada no Ceará, e uma das maiores de toda a Costa Semiárida Brasileira, com comprimento médio aproximado de 5.500m, perfazendo uma área total em 2017 de 1.106,590 m². De forma contrária ao verificado no *spit* de Almofala, houve uma redução superior a 10% na área total do *spit*, na comparação entre a área inicial (1973) e final (2017) do levantamento. Os ciclos interdecadais de acreção e erosão, porém, seguiram o mesmo padrão observado no anterior, com um ciclo inicial erosivo, seguido por dois de acreção, e o último novamente erosivo, conforme gráfico 16 e gráfico 17.

Gráfico 16 – Evolução interdecadal da área do *spit* 2 – Guajiru/Itarema



Fonte: O Autor

Gráfico 17 – Taxa de variação da linha de costa do *spit* 2 – Guajiru/Itarema



Fonte: O Autor

Em 1973 o *spit* de Guajiru apresentava um padrão morfológico que o caracterizava como ilha barreira, apresentando as duas extremidades livres (figura 42). Na primeira década analisada (1973-1985) houve uma redução considerável da sua área total, tendo ocorrido a maior taxa de variação anual negativa da linha de costa (aproximadamente 75 m/a). Aliado a essa predominância dos processos erosivos, o padrão migratório do *spit* para a mesma década indicou um nítido crescimento na direção E-W, tendo havido também uma grande inflexão das suas duas extremidades em direção ao continente.

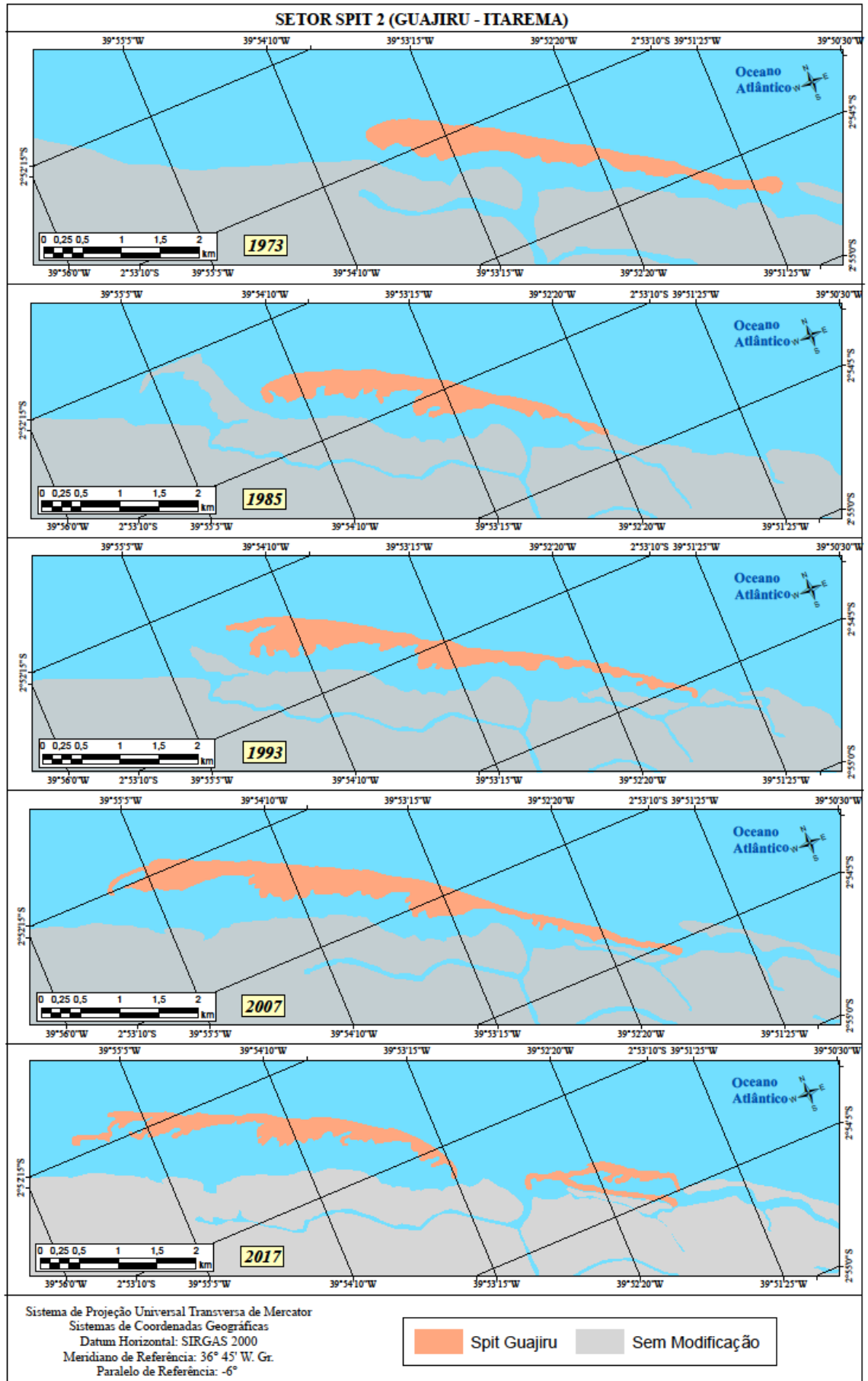
Em 1985, a ilha barreira passou à fase de *spit* (figura 43), sendo um reflexo do processo de inflexão e migração em direção à costa. Esta conexão gerada com o continente permitiu uma maior estabilidade morfosedimentar, tendo havido a predominância dos processos deposicionais na década 1985-1993 a uma taxa de variação anual positiva da linha de costa de aproximadamente 36 m/a.

Em 1993 o *spit* apresentou sensíveis alterações morfológicas, passando à fase de ilha barreira. A década 1993-2007 representou seu período de maior crescimento, com taxa de variação anual positiva da linha de costa de aproximadamente 66m/a, quase o dobro do registrado para a década anterior. O crescimento ocorreu principalmente nas duas extremidades e na porção mais externa (voltada ao oceano), com um significativo processo migratório no sentido E-W.

Em 2007, como reflexo desse processo migratório substancial e permanecendo na fase de ilha, esta barreira atinge sua maior dimensão, com comprimento médio aproximado de 7.600 m e área total de 1.561.249 m². Em função disso, a maior parte da linha de costa, antes exposta, passa a ser abrigada pela atual ilha barreira, gerando maior estabilidade frente aos processos erosivos.

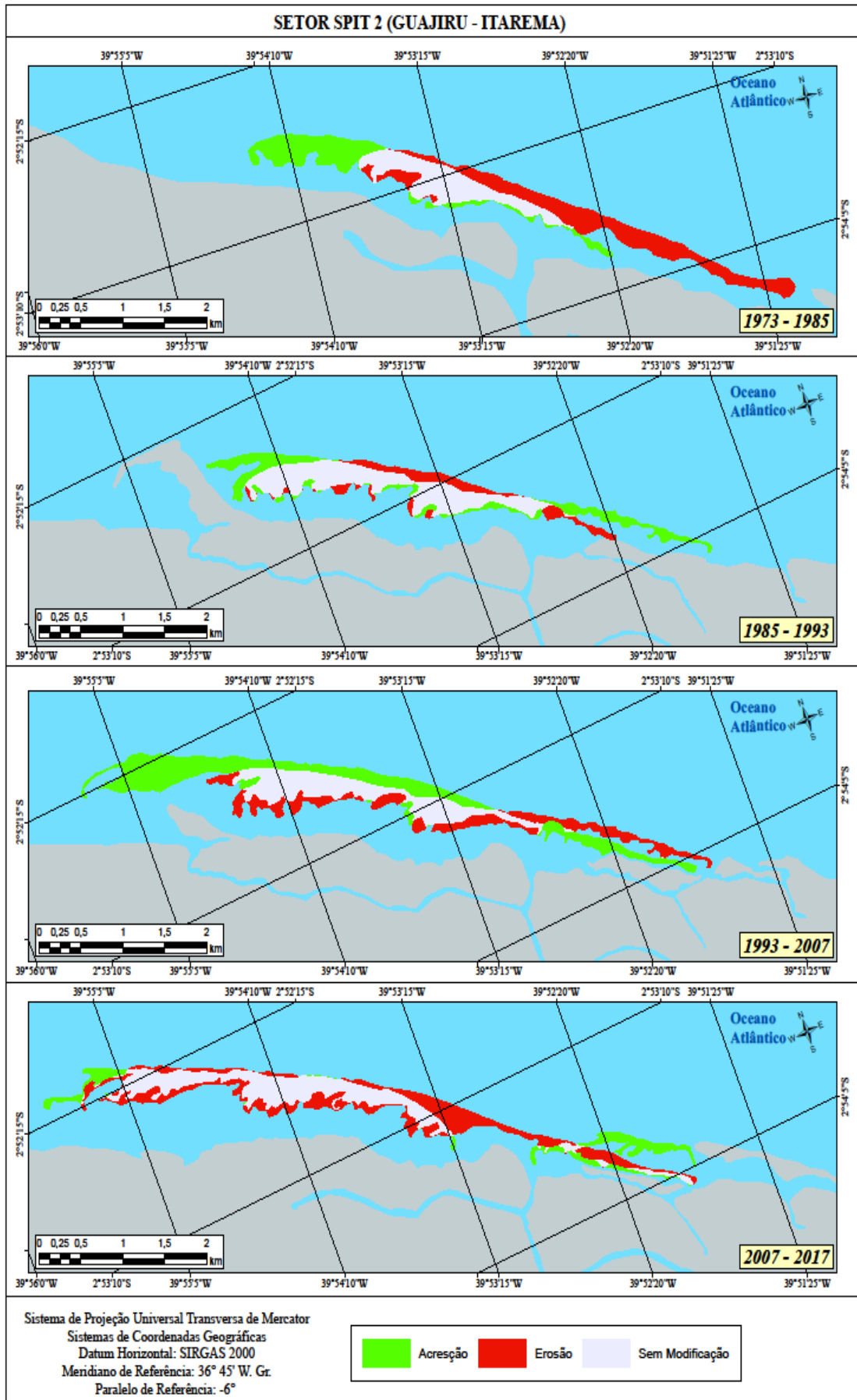
Em 2017, o padrão morfológico da ilha barreira é substancialmente diferenciado em relação à década anterior, tendo havido a erosão de aproximadamente 770.000 m². A taxa de variação anual da linha de costa passa a ser negativa, a uma razão de -61.290 m/a. Verificou-se na década 2007-2017 um rompimento na extremidade leste da ilha barreira, que passou a ser segmentada. O processo migratório também foi afetado por essa erosão generalizada, sendo a inflexão e crescimento em direção à costa das duas extremidades as alterações morfológicas mais significativas. Além disso, os processos erosivos mais intensos deste período tornaram o *spit*, ora configurado como ilha, o condicionaram a uma redução sensível na sua largura total, bem como na formação de inúmeras reentrâncias, associadas à dinâmica de barras submersas, que tendem a um comportamento mais caótico de desprendimento e colmatagem junto à barreira costeira e linha de costa associada.

Figura 42 – Configuração morfológica interdecadal do spit 2 (Guajiru-Itarema)



Fonte: O Autor

Figura 43– Processo migratório interdecadal do spit 2 (Guaçu-Itarema)



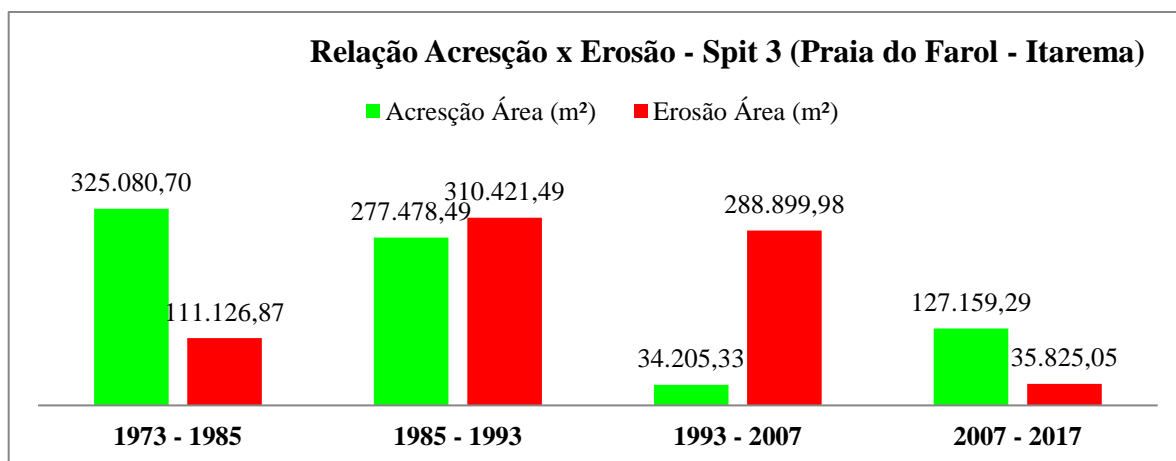
Fonte: O Autor

3.2.3 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do *spit* 3 (Praia do Farol/Itarema – Ceará)

O *spit* da Praia do Farol apresenta um processo migratório extremamente acelerado, tendo apresentado duas fases de ilha barreira durante seu processo evolutivo interdecadal. Localiza-se imediatamente após o *spit* do Guajiru e, diferentemente deste, apresenta-se como um dos menores *spits* da Costa Semiárida Brasileira, com comprimento médio de aproximadamente 1.500m, perfazendo uma área total em 2017 de 129.606m².

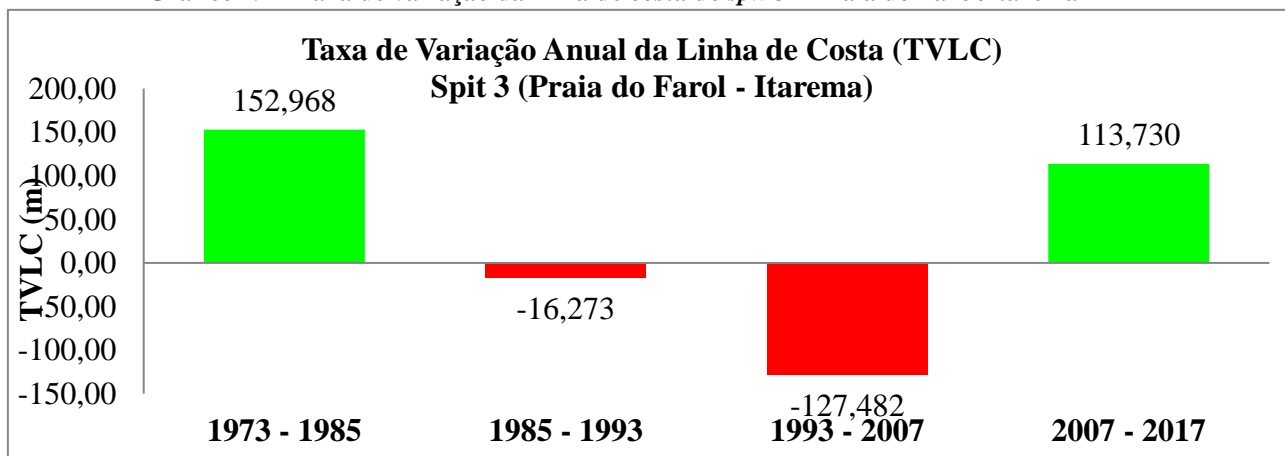
Assim como o *spit* de Almofala, ele apresentou um acréscimo de área analisando-se comparativamente os anos de 1973 e 2017, indicando, portanto, uma prevalência dos processos progracionais. Dentre os 8 *spits* analisados no litoral de Acaraú e Itarema, ele foi o que apresentou a maior taxa positiva de área acrescida para esse intervalo de tempo (aproximadamente 16%). Em relação aos ciclos interdecadais de acreção e erosão, o padrão também foi totalmente invertido, apresentando um ciclo inicial de acreção, seguida por dois ciclos erosivos, e um ciclo final de acreção sedimentar (gráfico 18 e gráfico 19).

Gráfico 18 – Evolução interdecadal da área do *spit* 3 – Praia do Farol/Itarema



Fonte: O Autor

Gráfico 19 – Taxa de variação da linha de costa do *spit* 3 – Praia do Farol/Itarema



Fonte: O Autor

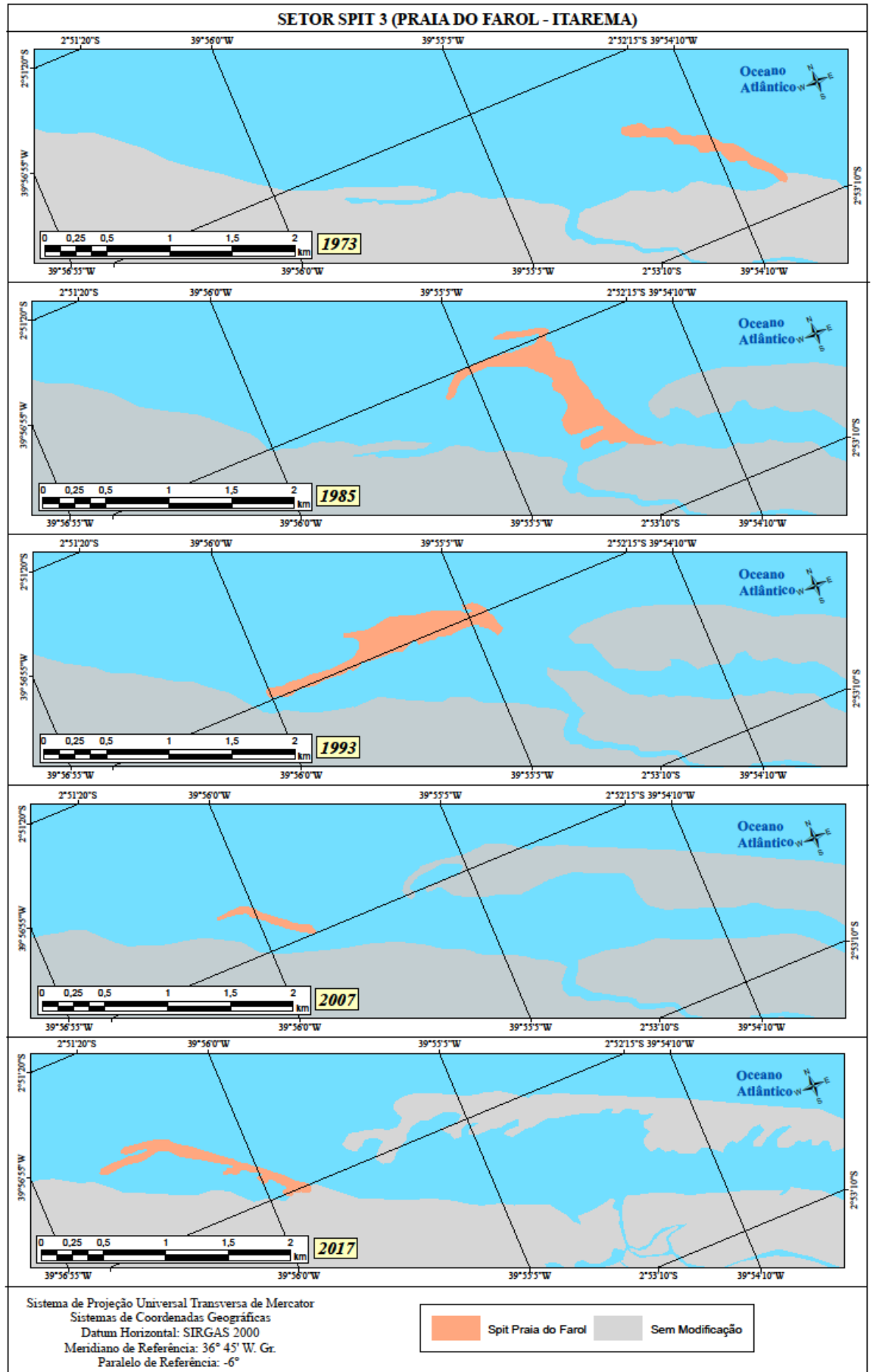
Em 1973 o *spit* da Praia do Farol encontrava-se colmatado à costa em uma posição de aproximadamente 4 km a leste da sua posição atual. Nesse período ele se apresentava bastante projetado da costa, praticamente sem inflexão das suas extremidades em direção ao continente, como usualmente costuma ocorrer (figura 44). Esse relativo isolamento refletiu-se na sua instabilidade do ponto de vista da fixação em um ponto específico da costa, deixando-o mais vulnerável aos processos migratórios e alterações morfológicas decorrentes. Deste modo, durante a década 1973-1985 o *spit* passou por um significativo processo migratório em direção a oeste, e profunda reconfiguração morfológica, apresentando suas extremidades flexionadas em direção à costa. Nessa década o seu crescimento foi notório, com mais de 325.000 m² de área acrescida. Observa-se também a aproximação do *spit* de Guajiru na direção do *spit* da Praia do Farol, fato não perceptível em 1973, e que provavelmente influenciou no seu processo migratório que perduraria nas décadas seguintes.

Entre 1985 e 1993 houve uma das alterações morfológicas mais significativas e impressionantes dentre as barreiras costeiras analisadas, através da inversão de posicionamento e migração do *spit* em direção à margem oposta (figura 45). Durante esse ciclo, caracterizado pela intensificação dos processos erosivos, o *spit* passou à fase de ilha barreira, permanecendo bastante destacado da costa e vulnerável aos processos de remobilização sedimentar.

Entre 1993 e 2007 houve uma intensificação dos processos erosivos, tendo ocorrido uma perda de aproximadamente 290.000 m². Em 2007 a fase de ilha barreira permaneceu, apresentando comprimento de apenas 800m. A maior exposição aos agentes marinhos e a total reconfiguração morfológica iniciada na década anterior quase levaram ao desaparecimento da ilha barreira.

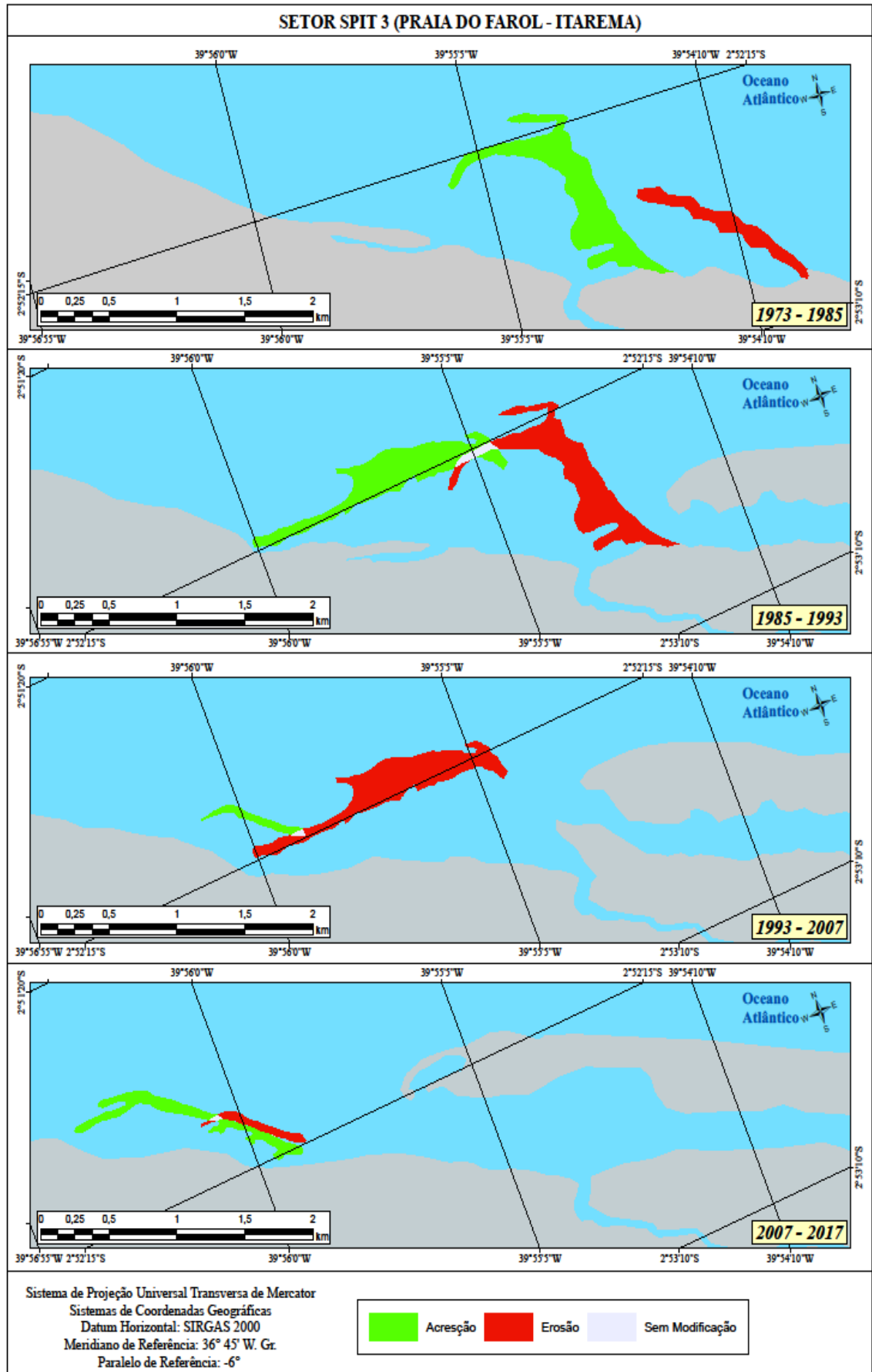
Entre 2007 e 2017 os processos progradacionais voltaram a prevalecer. A ilha barreira iniciou o processo migratório em direção à costa, passando novamente à fase de *spit*. Nesse período a taxa de variação anual da linha de costa passou a ser positiva, a uma razão de aproximadamente 113 m/ano. Além de estar colmatada novamente à linha de costa, do ponto de vista morfológico, o *spit* apresentou-se mais estável, com prolongamento no sentido E-W e inflexão da sua porção mais distal em direção à costa. O *input* sedimentar originado dos processos erosivos no *spit* de Guajiru durante o mesmo período provavelmente é um dos fatores que favoreceram o processo migratório e variação positiva de área experimentada na última década pelo *spit* de Guajiru.

Figura 44 – Configuração morfológica interdecadal do spit 3 (Praia do Farol - Itarema)



Fonte: O Autor

Figura 45 – Processo migratório interdecadal do spit 3 (Praia do Farol - Itarema)



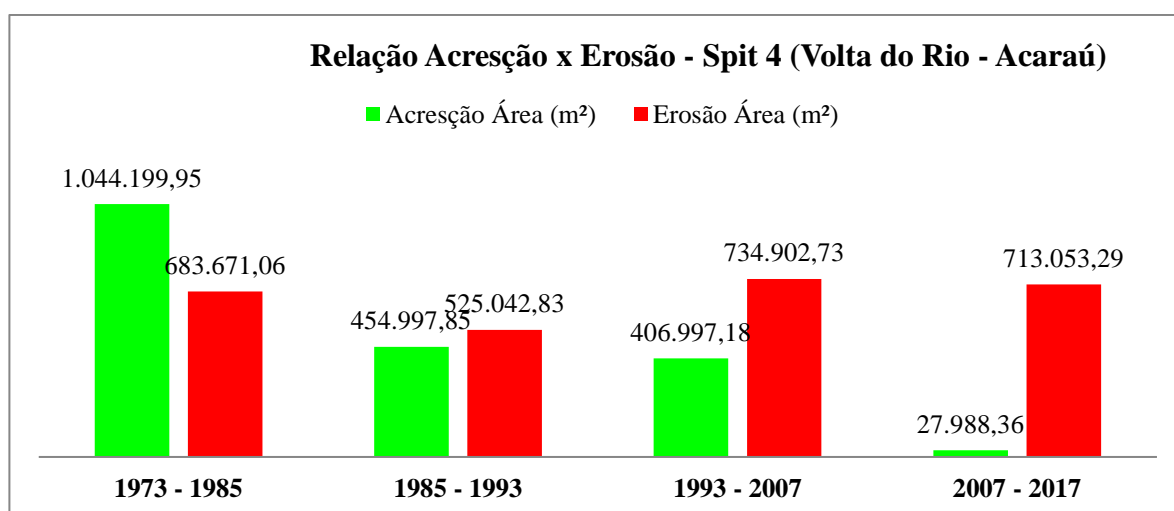
Fonte: O Autor

3.2.4 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do spit 4 (Volta do Rio/Acaraú– Ceará)

O spit de Volta do Rio é a primeira barreira costeira no sentido E-W do município de Acaraú e se caracteriza por apresentar um dos processos erosivos mais graves do litoral de Acaraú e Itarema, e de toda a Costa Semiárida Brasileira. Entre 1973 e 2017 ele sofreu uma redução superior a 70% em sua área, o que representou uma perda de aproximadamente 717.000 m², o que representa a maior redução em área dentre os oito spits analisados.

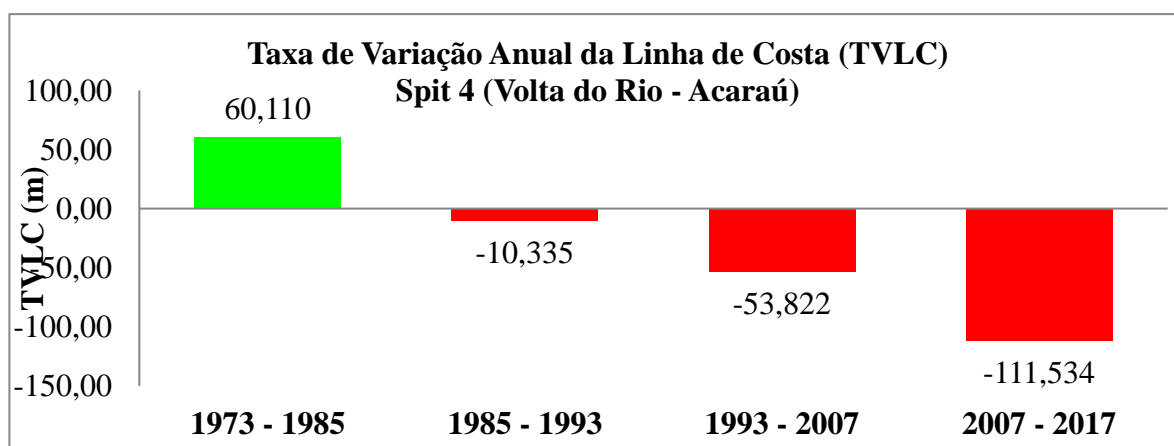
Ele apresenta um comprimento médio aproximado de 6.200m, perfazendo uma área total em 2017 de apenas 283.919m², refletindo os substanciais processos erosivos experimentados ao longo das últimas quatro décadas. Os ciclos interdecadais de acreção e erosão indicaram a nítida preponderância dos processos erosivos (gráfico 20 e gráfico 21), com somente um ciclo progradacional, ocorrido na primeira década (1973-1985), seguido de três ciclos erosivos, com crescimento constante das taxas relativas às áreas perdidas, indicando a intensificação desse processo ao longo das últimas décadas.

Gráfico 20 – Evolução interdecadal da área do spit 4– Volta do Rio/Acaraú



Fonte: O Autor

Gráfico 21 – Taxa de variação da linha de costa do spit 4 – Volta do Rio/Acaraú



Fonte: O Autor

Em 1973 o *spit* de Volta do Rio possuía uma área total de aproximadamente 1.000.000, valor 3,5 maior do que sua área total exibida em 2017. Sua conformação morfológica, entretanto, não variou substancialmente para o que é verificado atualmente no que diz respeito ao seu posicionamento, tendo permanecido colmatado à costa praticamente no mesmo local, e exibindo um padrão recurvado ao longo dos anos. Durante a década 1973-1985 o *spit* experimentou um maior prolongamento na sua extensão lateral, migrando em direção a oeste. Esse foi o período em que houve maior ganho sedimentar, com taxa positiva de variação anual da linha de costa de aproximadamente 60 m/ano. A erosão ocorreu na porção exposta do *spit*, com acresção na sua porção distal, evidenciando o processo migratório (figura 46 e figura 47).

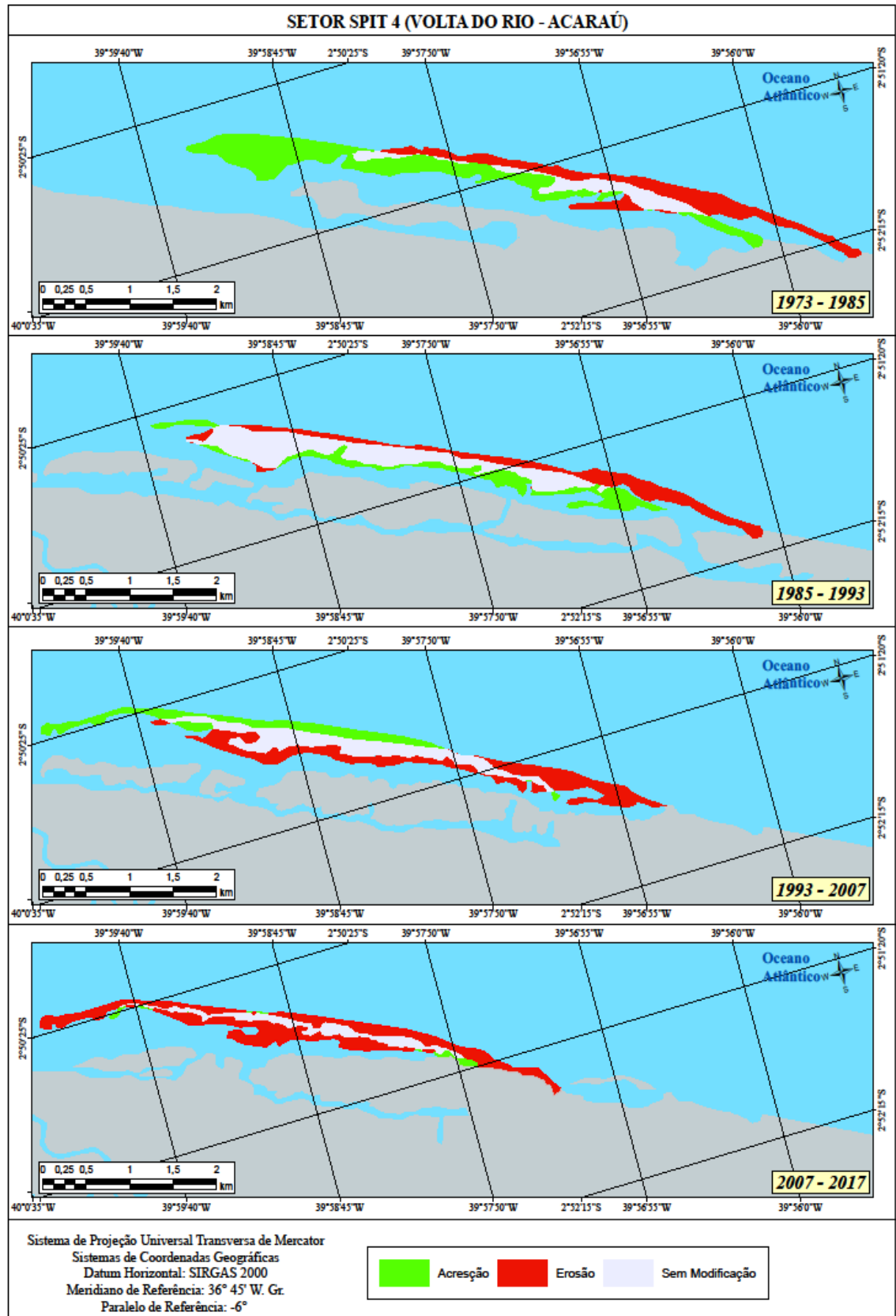
A partir da década 1985-1993 instalou-se a situação de predomínio dos processos erosivos, que perduraria nas décadas seguintes. Houve erosão de aproximadamente 500.000 m² de área, relativa principalmente à porção exposta do *spit*, cujo balanço sedimentar foi contrabalanceado em função do acréscimo de aproximadamente 450.000 m² de área, porém relativo quase que exclusivamente à porção interna do *spit*.

Na década seguinte (1993-2007) os processos erosivos intensificaram-se, com perdas substanciais dos setores acrescidos na década anterior, e um prolongamento da porção distal do *spit*, com nítido crescimento para oeste e flexionamento em direção à costa, porém com uma redução considerável da sua largura, tornado este trecho mais instável e suscetível aos processos erosivos.

Tais processos erosivos atingiram seu ápice na década seguinte (2007-2017), com a maior taxa de variação anual da linha de costa negativa (aproximadamente 110 m/ano). O *spit* sofreu erosão em todos os setores, sem exceção. O processo migratório foi contido e a reconfiguração morfológica caracterizou-se pelo adelgaçamento de todo o *spit*, tendo havido redução em área, comprimento e largura.

Esta profunda alteração tornou esse trecho do litoral de Acaraú bastante vulnerável aos processos erosivos. A função protetiva do *spit* foi totalmente comprometida, e o litoral passou a ficar exposto à atuação dos agentes oceanográficos, especialmente durante eventos de alta energia, com maior poder destrutivo. Vale ressaltar que durante a última década houve a instalação de um parque de geração de energia eólica, o que pode ter desregulado ainda mais o processo migratório e acelerado o déficit sedimentar, já que há a fixação de estruturas rígidas no *spit* para dar estabilidade ao referido empreendimento. Isto provavelmente contribuiu para o agravamento dos processos erosivos na área de entorno do *spit*.

Figura 47 – Processo migratório interdecadal do spit 4 (Volta do Rio - Acaraú)



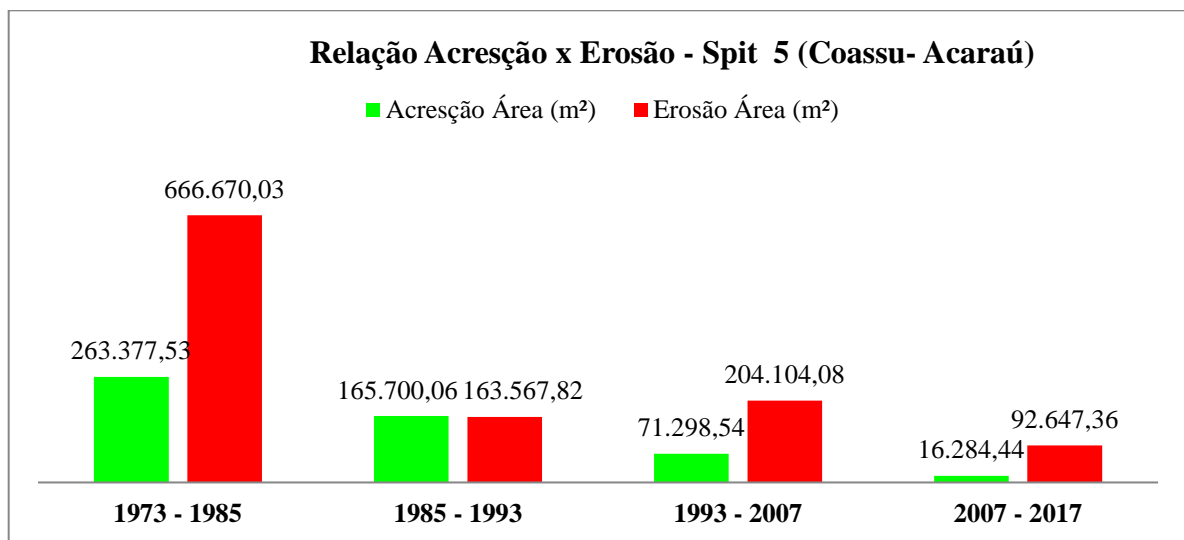
Fonte: O Autor

3.2.5 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do spit 5 (Coassu/Acaraú– Ceará)

O spit de Coassu foi o que registrou o processo erosivo mais severo dentre as oito barreiras analisadas na costa de Acaraú e Itarema. Entre 1973 e 2017 ele apresentou uma redução de 86% na sua área total, passando de 707.371 m² para 96.011 m², caracterizando-se como a maior redução em termos percentuais desse trecho do litoral.

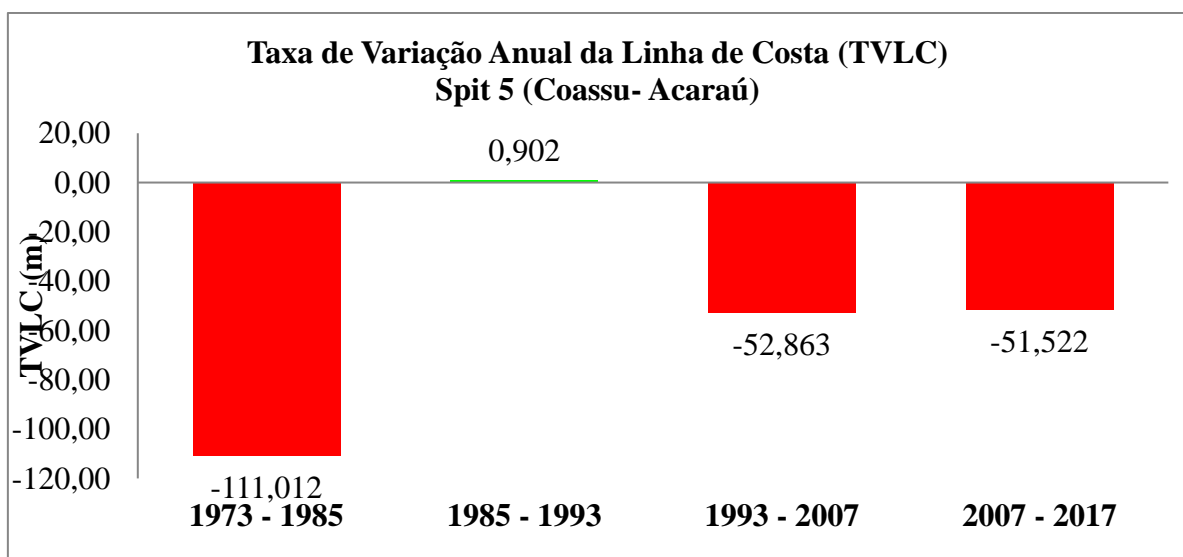
Seu comprimento médio é de 2.500 m e apresentou ao longo das quatro décadas consideradas um ciclo inicial erosivo, um ciclo posterior com predomínio dos processos de acreção sedimentar, cujos ganhos foram quase nulos, considerando-se a área erodida no mesmo período, e em seguida dois ciclos erosivos (gráfico 22 e gráfico 23).

Gráfico 22 – Evolução interdecadal da área do spit 5– Coassu/Acaraú



Fonte: O Autor

Gráfico 23 – Taxa de variação da linha de costa do spit 5 – Coassu/Acaraú



Fonte: O Autor

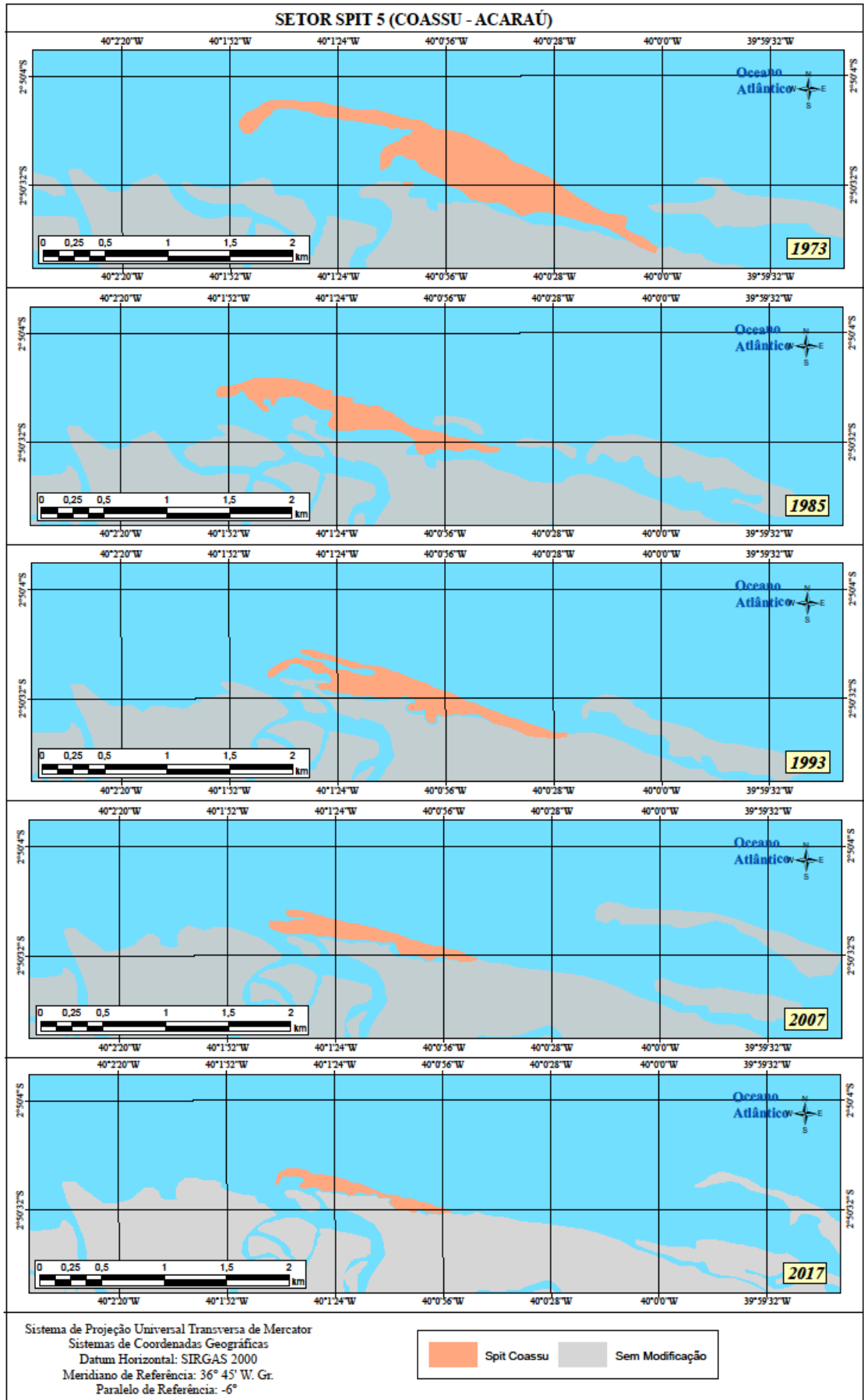
Em 1973 a área do *spit* de Coassu era de 707.371 m², aproximadamente sete vezes superior ao verificado atualmente, estando configurado como *spit* e possuindo dois segmentos bem proeminentes, com duas extremidades bastante recurvadas em direção à costa (figura 48). Esse padrão morfológico incomum, já que os *spits* apresentam em geral apenas uma extremidade mais recurvada em sua porção distal, refletia uma atuação mais intensa do processo migratório da barreira costeira no período. Nesta primeira década (1973-1985) ocorreram os processos erosivos mais substanciais, com taxa de variação anual da linha de costa negativa de aproximadamente 110 m/ano. Houve uma redução generalizada de toda a sua área, com processo migratório caracterizando-se pela aproximação significativa da barreira costeira em direção ao continente (figura 49).

Na década de 1985-1993 houve um relativo equilíbrio entre áreas acrescidas e erodidas, com uma insignificante predominância dos processos deposicionais em relação aos erosivos. A perda de área ocorreu principalmente na porção mais externa do *spit*, enquanto as áreas onde predominaram acréscimo corresponderam à sua porção interna. Do ponto de vista morfológico, houve um adelgaçamento da extremidade distal do *spit*, que novamente segmentou-se em dois setores, porém agora com uma reentrância alongada entre ambas, que certamente favoreceu a instabilidade e redução significativa do *spit* nas décadas seguintes.

Entre 1993 e 2007 os dois setores segmentados na porção distal do *spit*, anteriormente mencionados, foram quase completamente erodidos. Neste período os processos erosivos voltaram a predominar, porém desta vez atuando não apenas na porção externa, mas ao longo de toda a extensão do *spit*, levando a uma erosão de aproximadamente 200.000 m² de área.

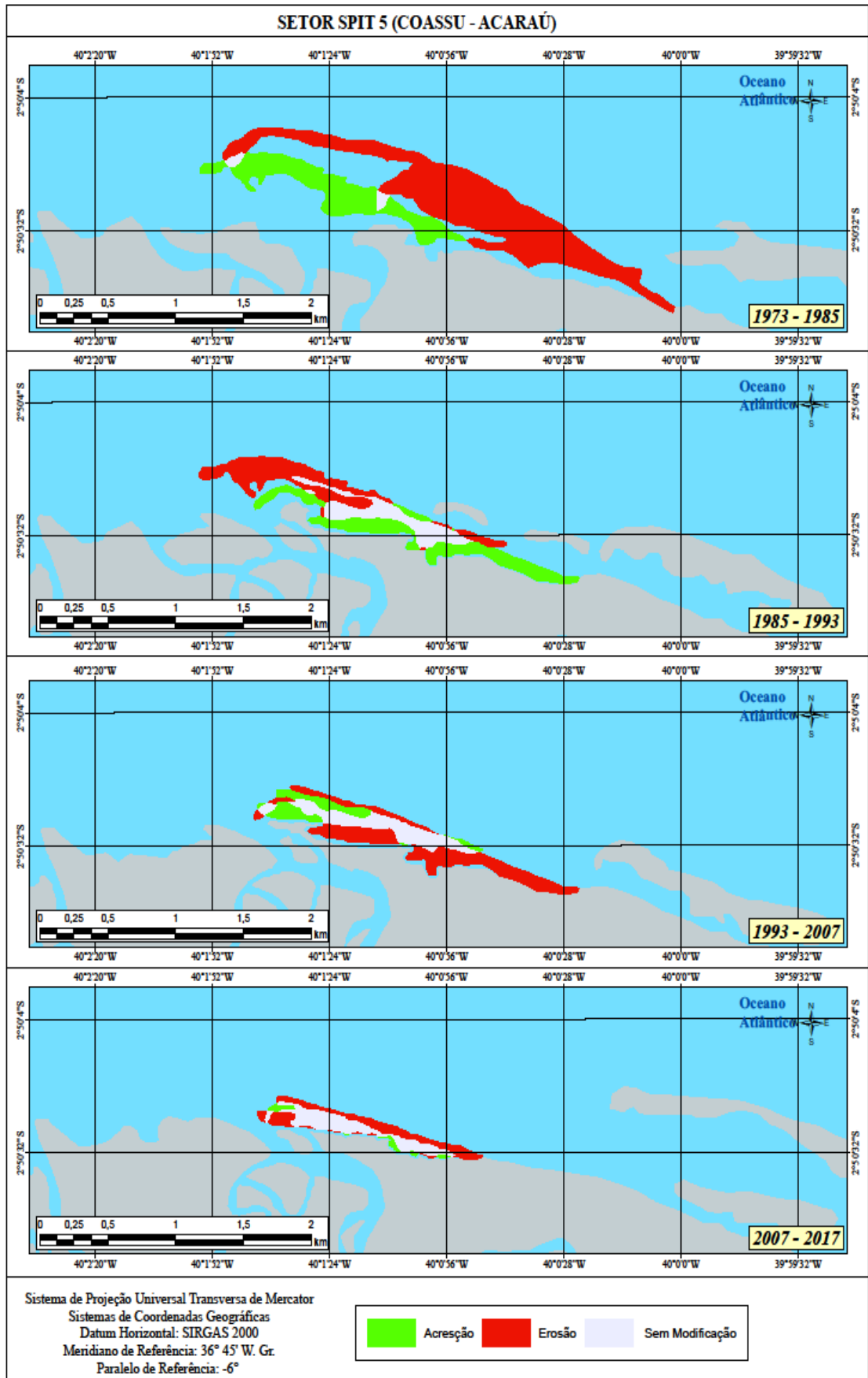
Estes processos perduraram na década seguinte (2007-2017), com erosão de um trecho considerável da porção mais externa do *spit*, o que quase levou ao seu rompimento na porção intermediária. A área total do *spit* passou a ser de pouco mais de 96.000 m². Deste modo, as profundas alterações morfológicas a que esteve submetido nas últimas décadas indicam que todo o sistema morfológico está comprometido, havendo probabilidade de um iminente rompimento e mutação para ilha barreira ou colmatagem de todo o *spit* na linha de costa, resultando no desaparecimento total do *spit*. Os efeitos sobre a linha de costa devem ser ainda mais severos, considerando a perda da funcionalidade protetiva que esse tipo de barreira costeira exerce sobre os demais ambientes costeiros.

Figura 48 – Configuração morfológica interdecadal do spit 5 (Coassu - Acaraú)



Fonte: O Autor

Figura 49 – Processo migratório interdecadal do spit 5 (Coassu - Acaraú)



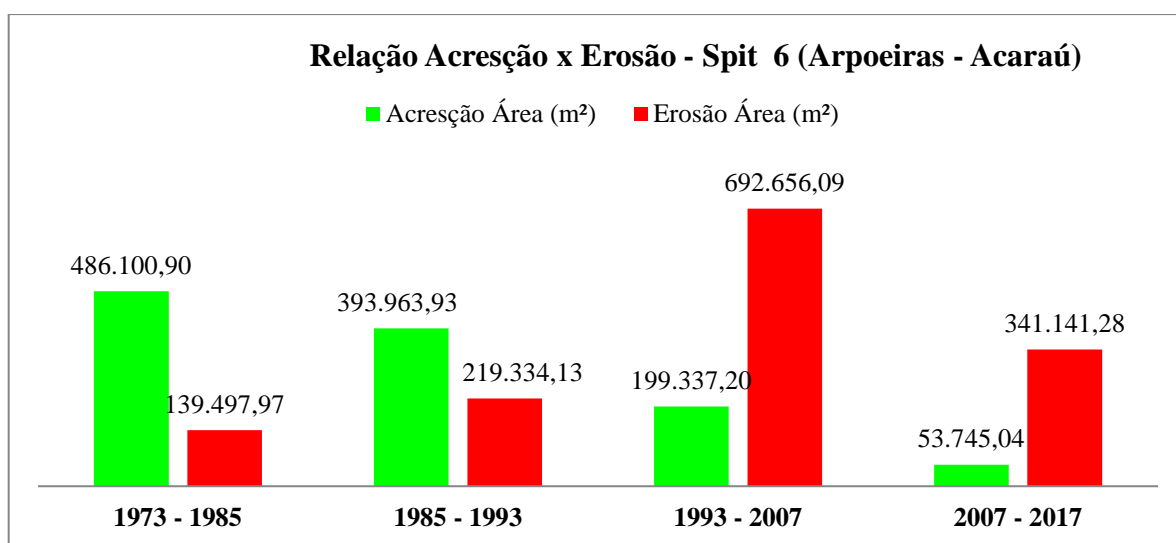
Fonte: O Autor

3.2.6 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do *spit* 6 (Arpoeiras/Acaraú– Ceará)

A análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas indicou a predominância dos processos erosivos no *spit* de Arpoeiras, como observado nas demais barreiras costeiras já analisadas no litoral de Acaraú.

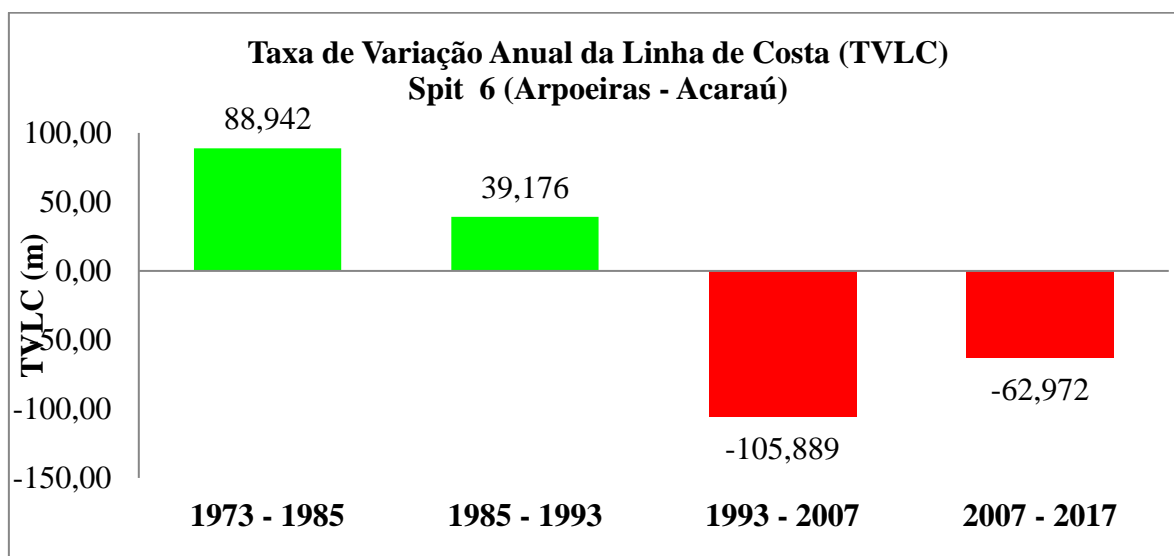
Com comprimento médio de aproximadamente 4.300m, entre 1973 e 2017 a redução registrada na sua área total foi de 52%. A intensificação desses processos erosivos tem ocorrido de maneira constante nas duas últimas décadas, tendo havido dois ciclos iniciais onde predominaram os processos deposicionais (gráfico 24 e gráfico 25).

Gráfico 24 – Evolução interdecadal da área do *spit* 6 – Arpoeiras/Acaraú



Fonte: O Autor

Gráfico 25 – Taxa de variação da linha de costa do *spit* 6 – Arpoeiras/Acaraú



Fonte: O Autor

Em 1973 a área do *spit* de Arpoeirás era de aproximadamente 432.000 m², apresentando uma área segmentada na sua porção distal, provavelmente decorrente de episódios erosivos ocorridos anteriormente. Durante essa primeira década (1973-1985) iniciou-se um processo prográdacional significativo, que resultou nos maiores ganhos sedimentares registrados para as quatro décadas analisadas, a uma taxa de variação anual positiva da linha de costa de 88 m/ano. Foi nessa década que ocorreu a aglutinação da área anteriormente erodida (figura 50 e figura 51), havendo uma reconfiguração morfológica e desenvolvimento de um processo migratório no sentido E-W. A porção mais interna do *spit* foi a que apresentou maior crescimento durante esse período, enquanto que a porção mais externa apresentou a maior diminuição em área.

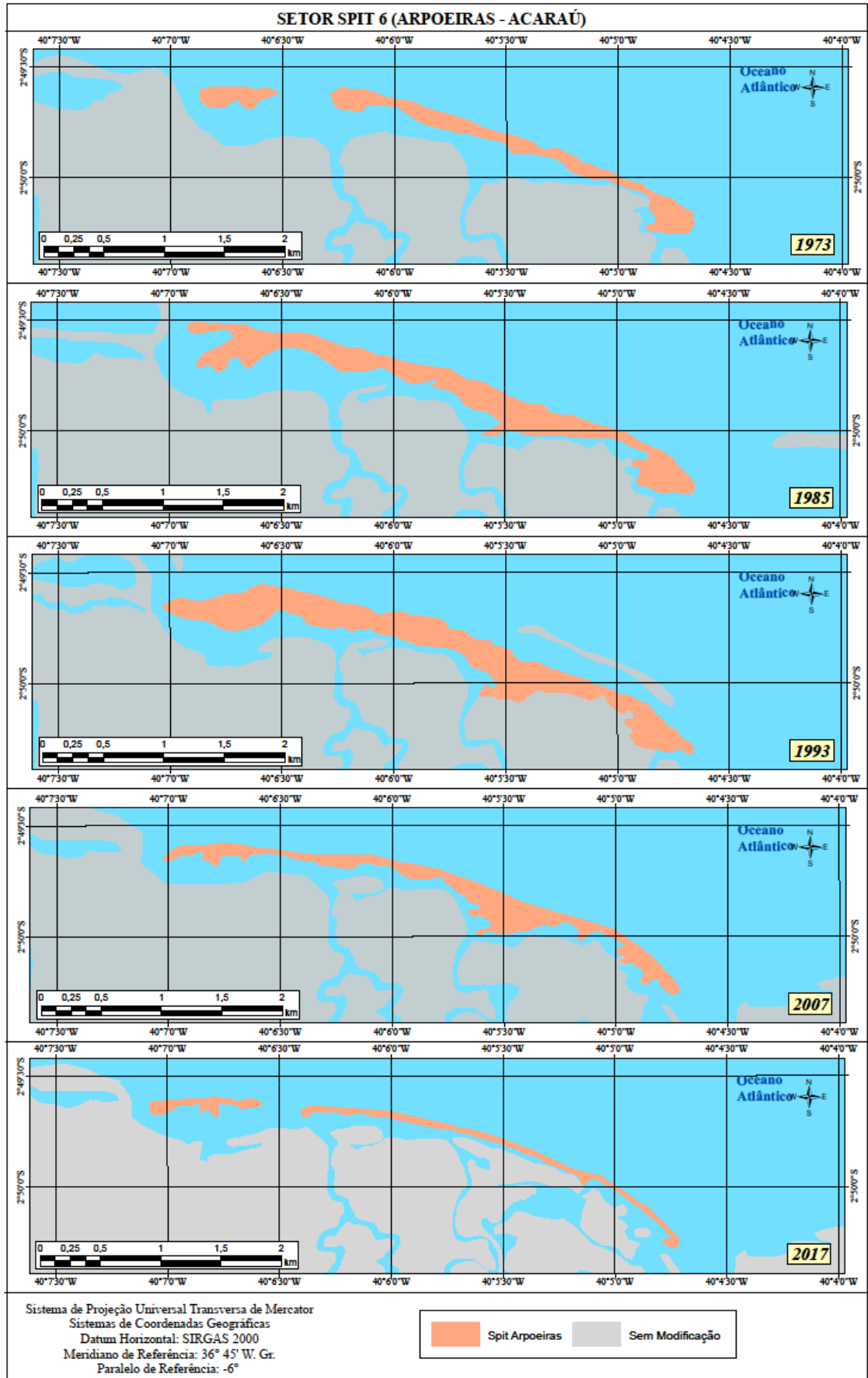
Na década 1985-1993, os processos prográdacionais continuaram a prevalecer, porém a uma taxa bem mais reduzida se comparado ao que fora verificado para a década anterior. Nesse período o processo migratório não foi tão significativo, com o *spit* permanecendo praticamente estabilizado no ponto específico da linha de costa. Novamente as áreas de maior acreção concentraram-se na sua porção interna, aumentando a sua proximidade com a costa. Tal configuração morfológica foi, portanto, favorável para essa maior estabilização.

Entre 1993 e 2007 os processos erosivos não apenas preponderaram sobre os deposicionais, como também representaram o período de atuação mais intensa sobre o *spit* de Arpoeirás. A porção interna do *spit*, antes as áreas que apresentaram o maior crescimento, dessa vez foram as mais erodidas. Isto tornou o *spit* cada vez mais delgado, configuração morfológica que se intensificaria na década seguinte. Apesar disso, no que diz respeito ao processo migratório, esse foi pouco significativo para esse período.

Entre 2007 e 2017 os processos erosivos continuaram a prevalecer, e, apesar de ocorrerem em taxas bem inferiores, do ponto de vista morfológico é nítido o estreitamento extremamente elevado que o *spit* sofreu nesse período. A inflexão das duas extremidades foi também intensificada. O efeito potencializado dessa inflexão sobre um *spit* cada vez mais estreito, culminou com nova segmentação da porção distal, deixando uma área significativa da costa exposta à ação direta dos agentes marinhos.

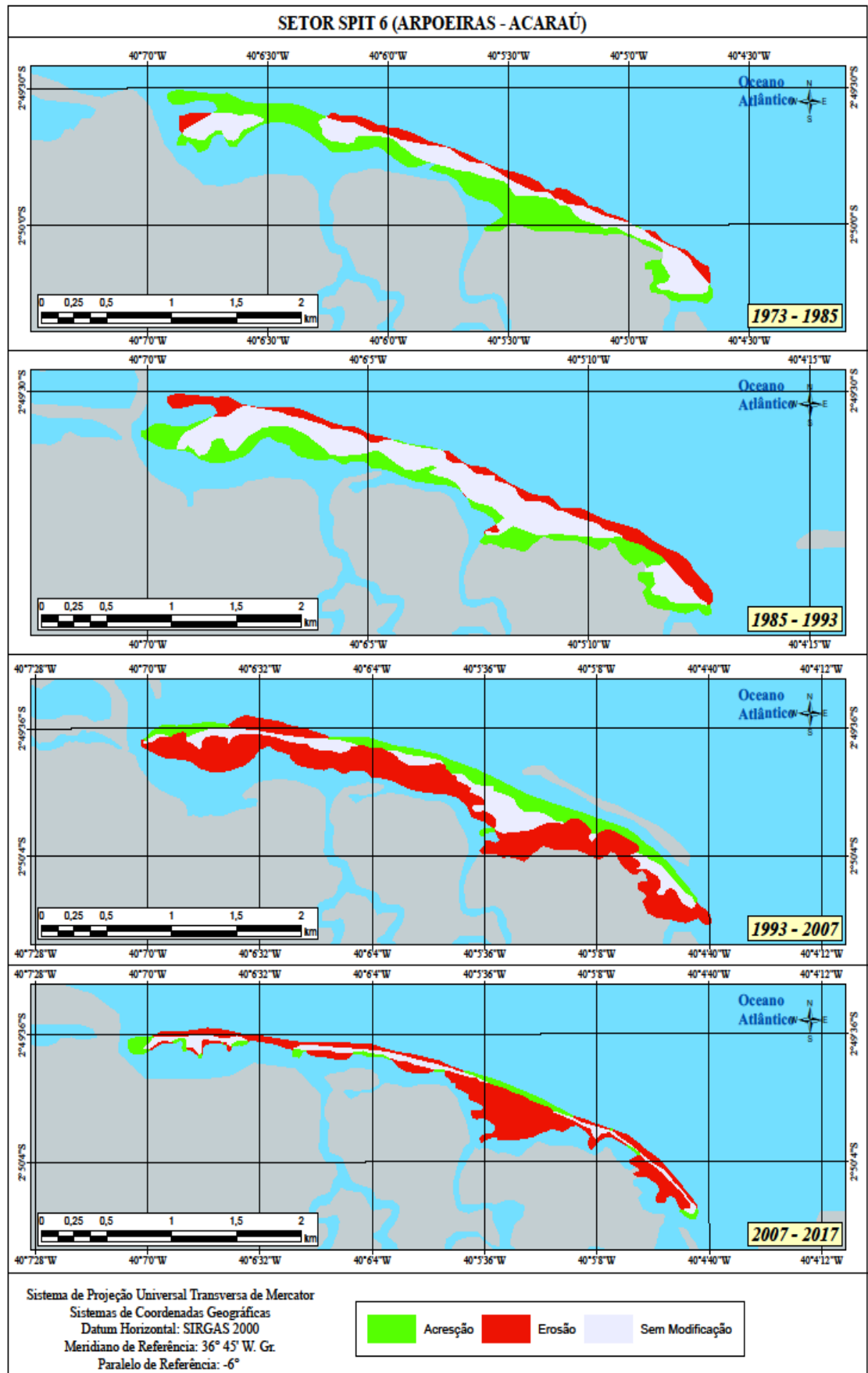
Caso perdure, esse processo provavelmente levará ao colapso parcial ou total do *spit*, e, culminando no seu desaparecimento, deixando aproximadamente 5 quilômetros de linha de costa exposta, suscetível aos processos erosivos cada vez mais intensos.

Figura 50– Configuração morfológica interdecadal do spit 6 (Arpoeiras - Acaraú)



Fonte: O Autor

Figura 51 – Processo migratório interdecadal do spit 6 (Arpoeiras - Acaraú)

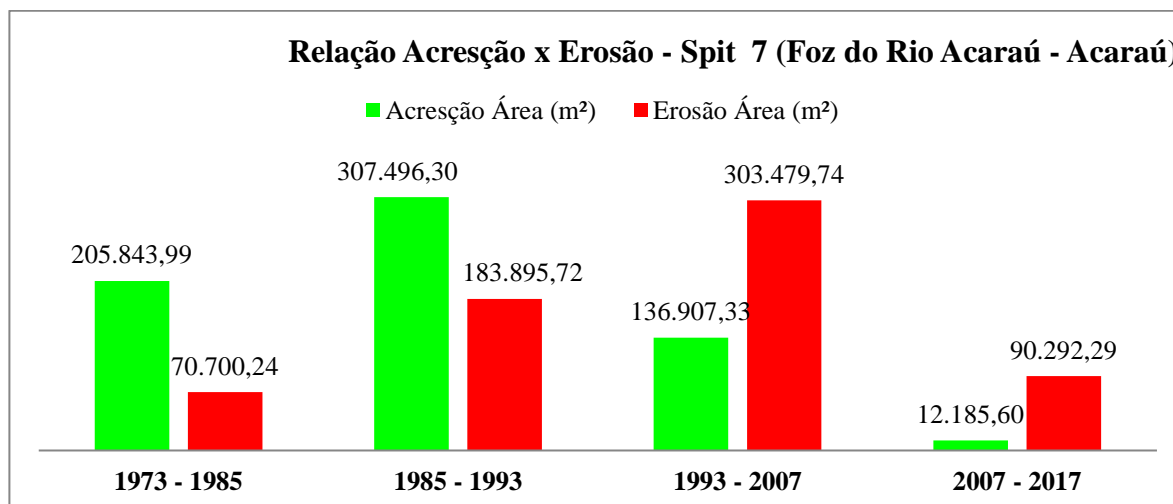


Fonte: O Autor

3.2.7 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do *spit* 7 (Foz do Rio Acaraú/Acaraú– Ceará)

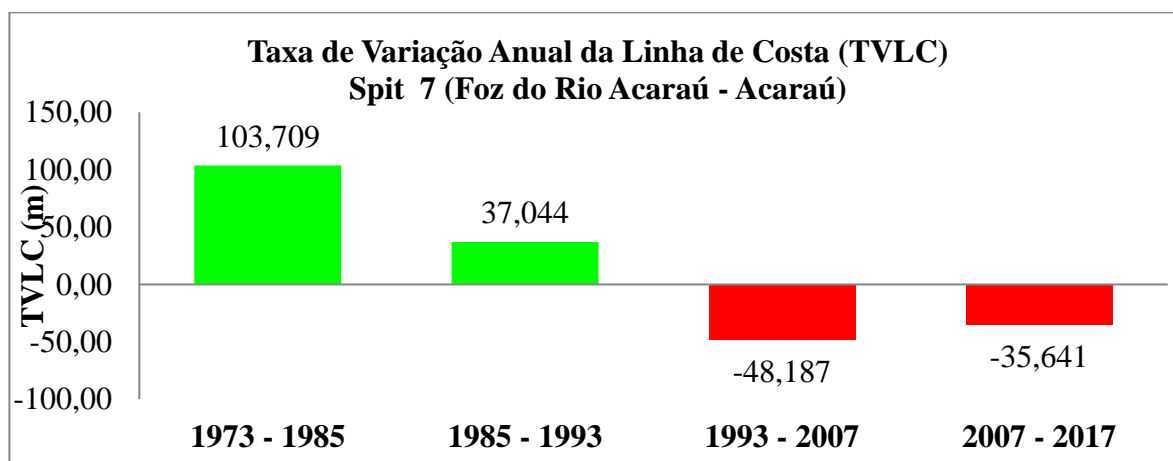
O *spit* 7 aqui denominado Foz do rio Acaraú, está localizado à montante da foz do rio homônimo, que representa o segundo maior curso fluvial do estado do Ceará. Com comprimento aproximado de 2.500m, nesse *spit* também houve predomínio dos processos erosivos, já que sua área foi reduzida de 111.328 m² em 1973 para pouco mais de 78.000 m² em 2017 (erosão de aproximadamente 30%). Portanto, este *spit* foi o que apresentou os menores índices erosivos dentre os quatro que indicaram essa tendência para o litoral de Acaraú. Assim como no *spit* de Arpoejas, nas duas décadas iniciais houve predomínio dos processos deposicionais, enquanto nas décadas posteriores prevaleceram os processos erosivos (gráfico 26 e gráfico 27). Apesar disso, do ponto de vista de mudanças morfológicas ele apresentou o padrão mais incomum dentre todos os *spits* analisados no litoral de Acaraú e Itarema, num padrão provavelmente único na Costa Semiárida Brasileira.

Gráfico 26 – Evolução interdecadal da área do *spit* 7 – Foz do Rio Acaraú/Acaraú



Fonte: O Autor

Gráfico 27 – Taxa de variação da linha de costa do *spit* 7 – Foz do Rio Acaraú/Acaraú



Fonte: O Autor

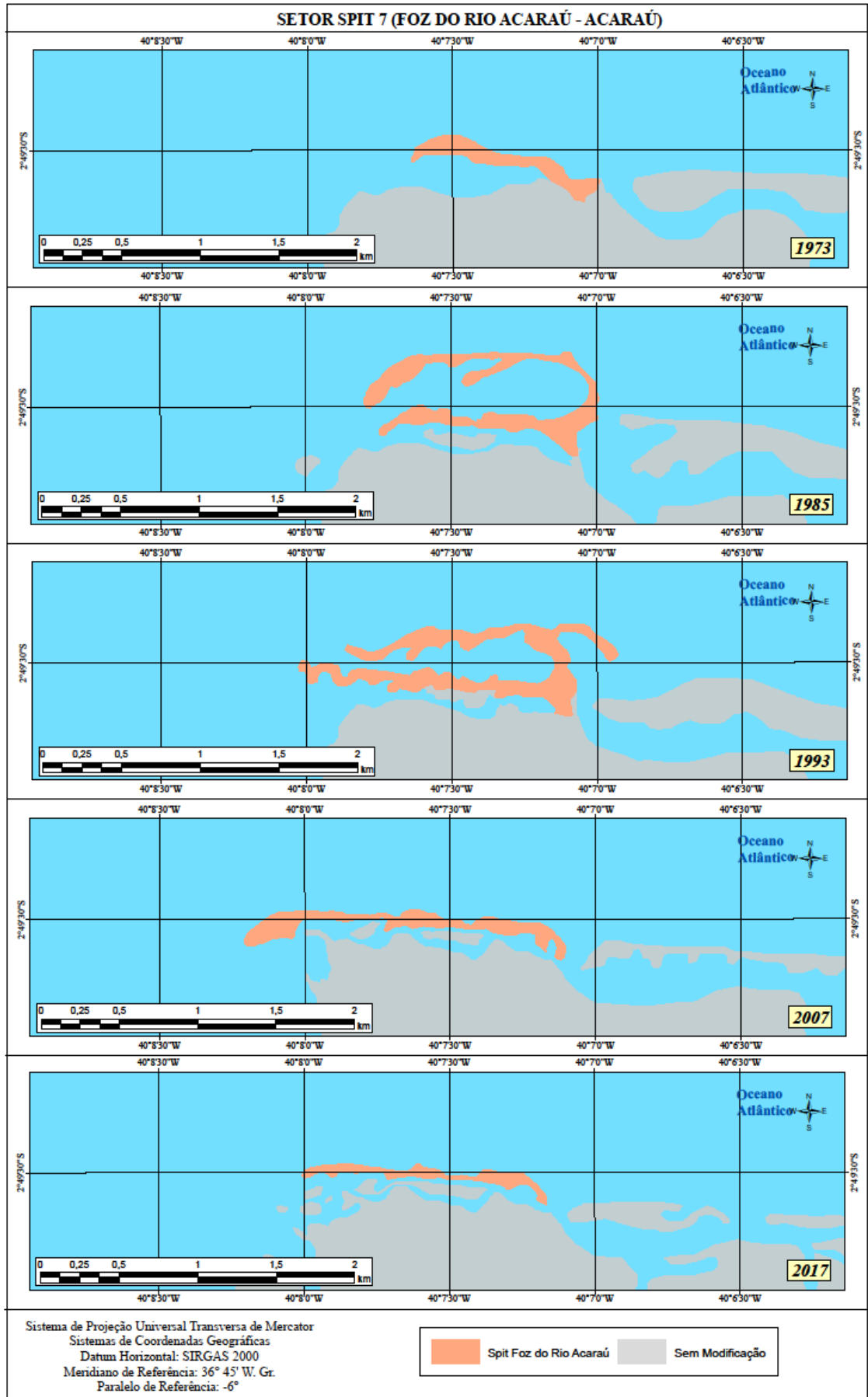
No ano de 1973 o *spit* da Foz do Rio Acaraú apresentava um padrão morfológico clássico, com uma extremidade conectada à costa e outra livre e flexionada em direção ao continente. Porém, ao longo da década 1973-1985 provavelmente a partir da aproximação e colmatagem ao corpo do *spit* de uma ilha barreira, sua configuração morfológica mudou drasticamente (figura 52 e figura 53). O *spit* passou a apresentar-se totalmente recurvado, conectado ao continente, porém não apenas com uma, mas sim duas extremidades livres, num padrão morfológico extremamente raro e provavelmente único na Costa Semiárida Brasileira. Entre as duas extremidades formou-se uma área embaiada, no interior da qual se desenvolveu uma terceira extremidade livre, resultante do processo de crescimento de uma barra perpendicular direcionada ao continente. Esta década foi anormal do ponto de vista hidroclimático, com precipitações atingindo quase os 3.000mm em 1985. Por se tratar de um *spit* localizado às margens de um curso fluvial de grande porte, a maior descarga hidrossedimentológica causou um *input* sedimentar extremamente significativo. Além disso, com o efeito de espigão hidráulico potencializado, o processo migratório normal de barras submersas, ilhas e *spits* foi afetado, com aprisionamento desse material sedimentar à montante, o que explicaria essa dinâmica mais acentuada para esse *spit*.

Na década 1985-1993 os processos deposicionais prevaleceram sobre os erosivos, porém a uma taxa bastante inferior ao registrado para a década anterior. O padrão recurvado com duas extremidades livres ao invés de uma manteve-se, porém observou-se uma erosão substancial da porção mais externa do *spit*, indicando uma maior suscetibilidade à migração e reconfiguração morfológica. O processo migratório de barras é notório nesse período, sendo observado a colmatagem de uma barra flexionada em direção contrária no ano de 1993.

Entre 1993 e 2007 ocorreram os processos erosivos mais significativos, tendo ocorrido a perda de aproximadamente 300.000 m² de área. Os intensos processos de remobilização modificaram profundamente a configuração morfológica do *spit*, com destruição do setor anexado à área original, e voltando a exibir um padrão clássico, alongado, estreito, e ligeiramente flexionado em direção à costa.

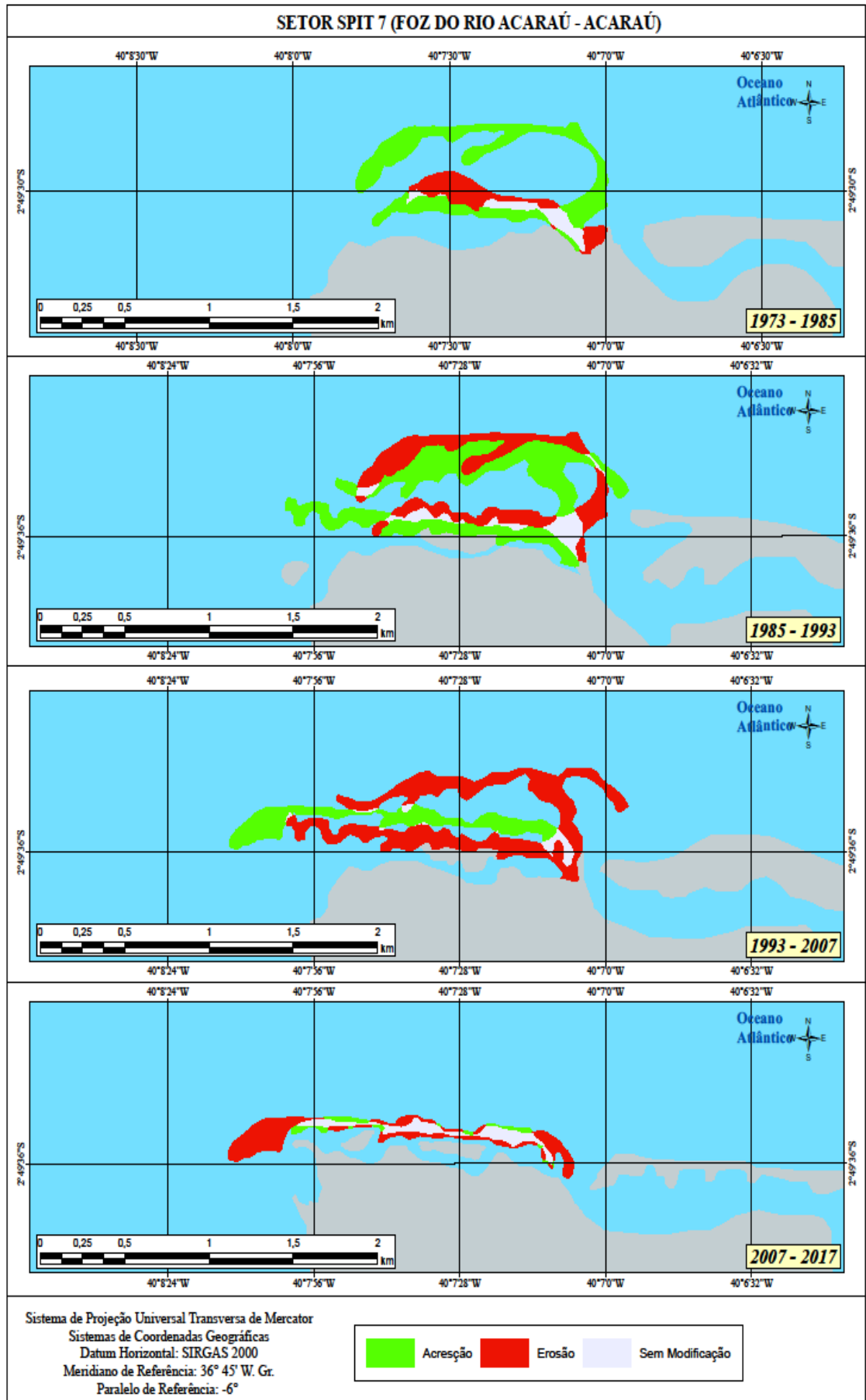
Entre 2007 e 2017 houve uma redução em relação à área total erodida, porém ainda com prevalência dos processos erosivos, concentrando-se nas suas extremidades. A continuidade desse processo tenderá a promover a sua destruição ou migração, já que está se processando um estreitamento em sua porção central, que pode levar ao seu rompimento brusco durante evento de alta energia ou déficit sedimentar resultante da ampliação dos processos erosivos. Além disso, trata-se do *spit* com menor área total dentre todos os analisados no litoral de Acaraú e Itarema, com apenas 78.000 m².

Figura 52 – Configuração morfológica interdecadal do spit 7 (Foz do Rio Acaraú - Acaraú)



Fonte: O Autor

Figura 53 – Processo migratório interdecadal do spit 7 (Foz do Rio Acaraú - Acaraú)



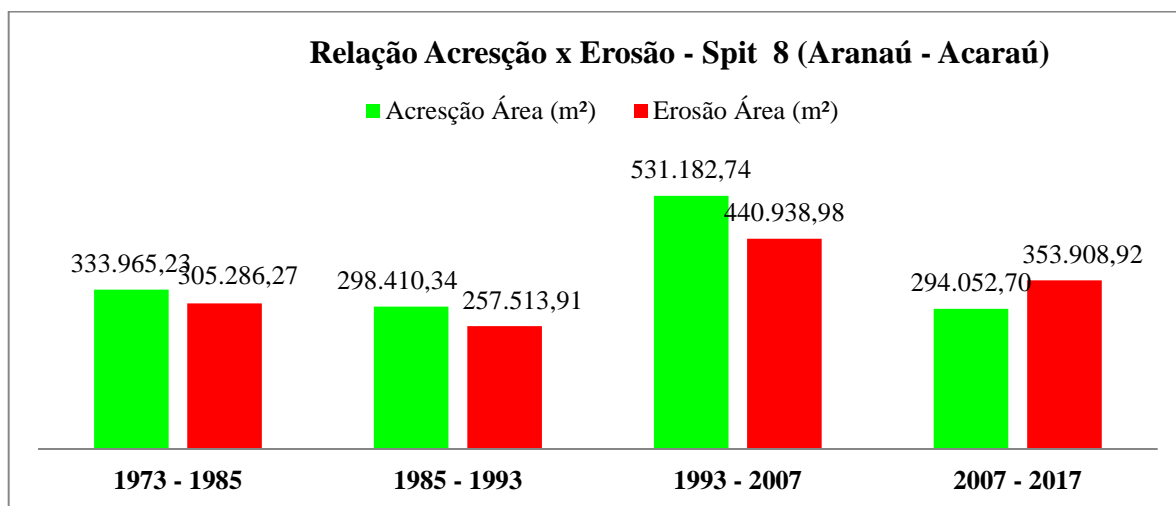
Fonte: O Autor

3.2.8 Processo migratório e principais mudanças morfológicas entre 1973 e 2017 do spit 8 (Aranaú/Acaraú– Ceará)

O spit 8 situado na localidade de Aranaú é o último do litoral de Acaraú. Seu processo migratório e mudanças morfológicas apresentaram-se bastante acentuados nas últimas décadas, tendo sido o único spit do referido litoral onde se verificou a predominância dos processos deposicionais nas últimas quatro décadas, com acréscimo de aproximadamente 15% em sua área total em 2017 na comparação com 1973, primeiro ano do levantamento.

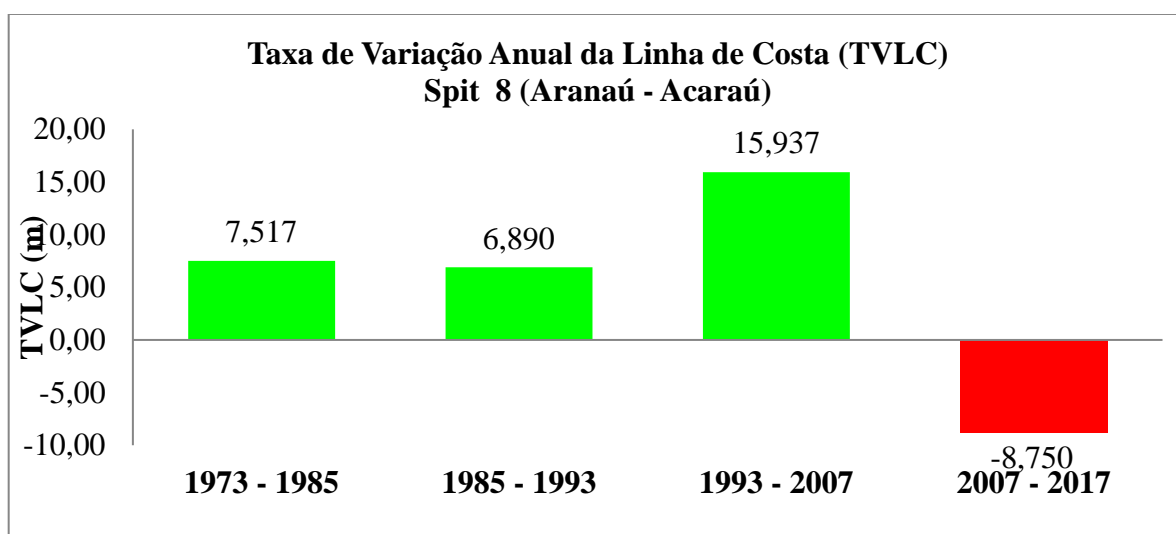
Conforme pode ser observado nos gráficos 28 e 29 durante as três primeiras décadas analisadas houve o predomínio dos processos progradacionais. Isso se deve principalmente ao acelerado processo migratório e reconfiguração morfológica pelos quais passou esse spit, tornando-o o spit que apresentou a segunda maior taxa de crescimento (aproximadamente 14%)

Gráfico 28 – Evolução interdecadal da área do spit 8 – Aranaú/Acaraú



Fonte: O Autor

Gráfico 29 – Taxa de variação da linha de costa do spit 8 – Aranaú/Acaraú



Fonte: O Autor

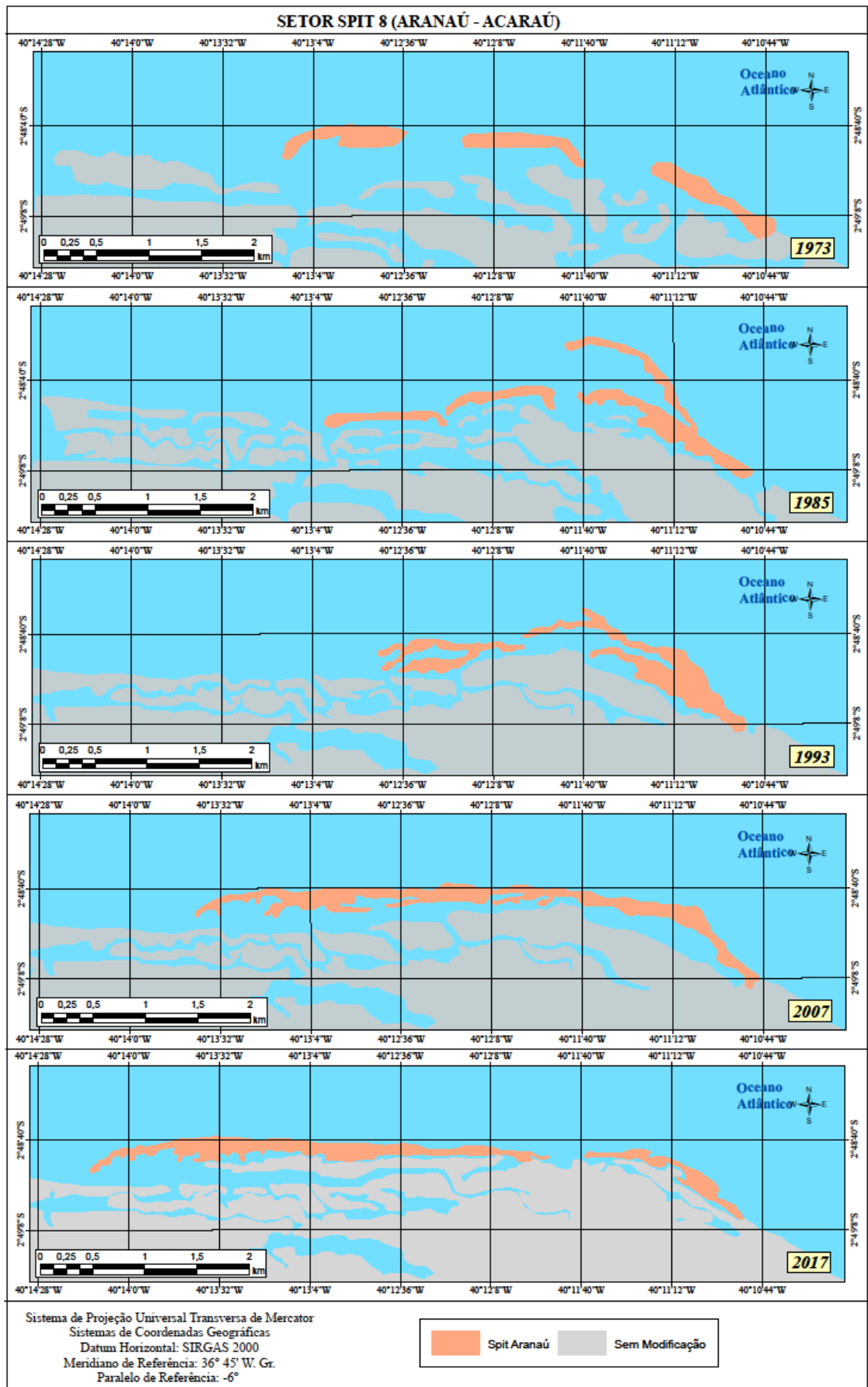
Em 1973 o *spit* de Aranaú apresentava-se segmentado, com um setor colmatado à costa e outros dois livres, com ambas as extremidades dispostas de forma recurvada em direção ao continente. A década 1973-1985 caracterizou-se pelo crescimento lateral do *spit* no sentido da deriva litorânea e pela migração dos três segmentos em direção à costa (figura 54 e figura 55). A aproximação de uma ilha barreira em direção ao *spit* contribuiu para ganho significativo de área, criando uma zona de baixa energia que favoreceu a deposição sedimentar no seu entorno e permitiria nas décadas seguintes a conexão entre os três segmentos.

Na década 1985-1993 há uma nítida aproximação de uma ilha barreira em direção ao *spit*, possibilitando crescimento lateral expressivo, com comprimento evoluindo de aproximadamente 3.800m para 5.900m. Observou-se que a zona de proteção criada pelo *spit* oferece maior estabilidade à linha de costa adjacente. As múltiplas barras arenosas existentes à retrobarreira tendem a reorganizarem-se morfológicamente a partir da zona de baixa energia criada, apresentando uma tendência de aglutinarem-se.

Entre 1993 e 2007 ocorreram os processos deposicionais mais significativos, com a linha de costa variando positivamente a uma taxa anual de aproximadamente 16 m/ano, valor mais de duas vezes superior ao verificado na década anterior. Morfológicamente, o *spit* deixou de apresentar-se de forma segmentada, tornando-se mais alongado e tendo desenvolvido um processo migratório mais efetivo. Nesse período ele atingiu seu maior comprimento (6.841m), aproximadamente 1,7 vezes superior ao seu comprimento inicial registrado em 1973. Vale ressaltar que esta foi a década com as menores precipitações para toda a série histórica considerada, o que provavelmente contribuiu para maior atuação dos agentes marinhos, como a corrente de deriva litorânea atuando no retrabalhamento dessas formas.

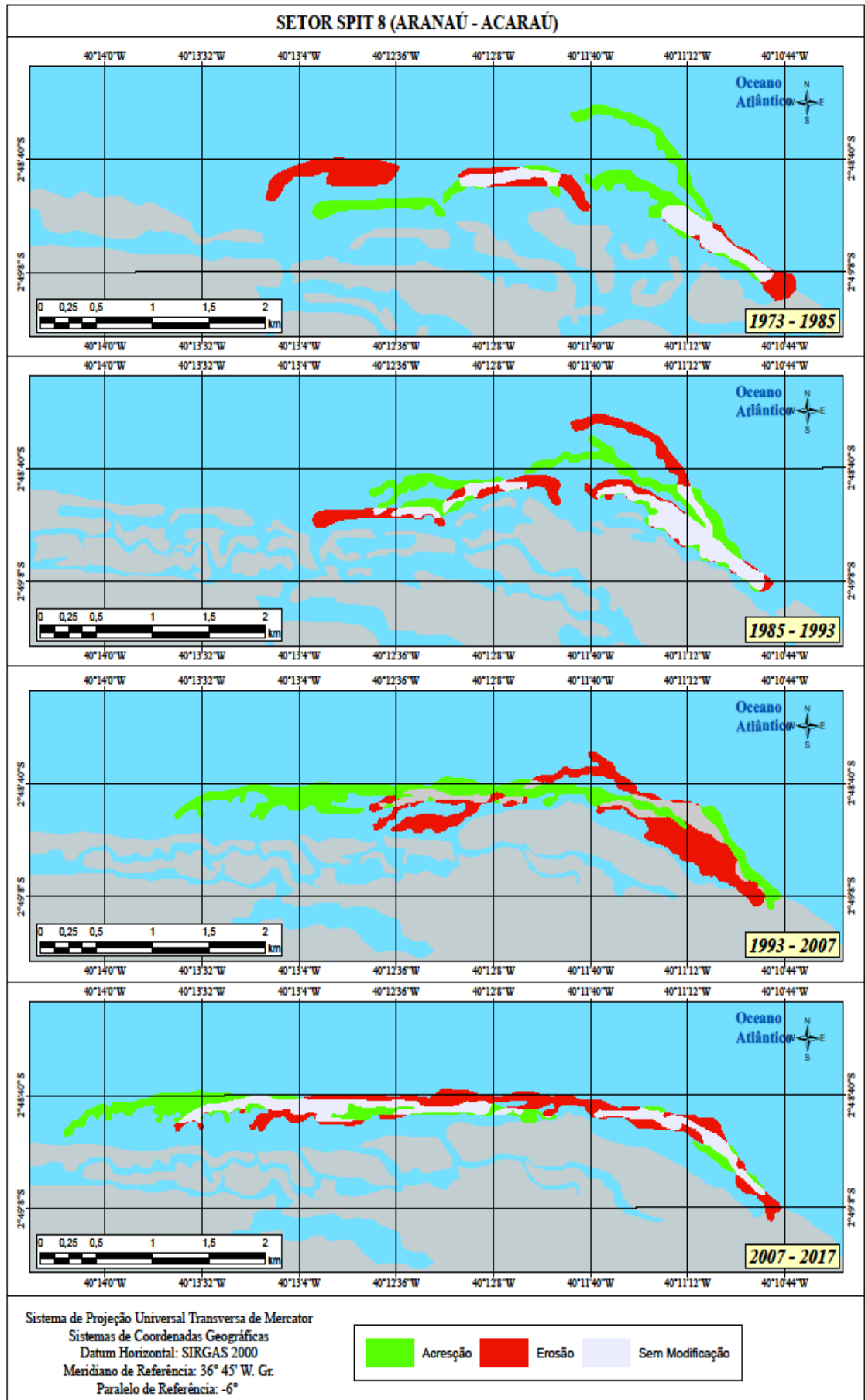
A década 2017-2017 foi a única dentre as quatro consideradas na análise em que houve a predominância dos processos erosivos. O acelerado processo migratório verificado na década anterior provocou, além do alongamento, um estreitamento do *spit*. Isto o tornou mais vulnerável à atuação dos agentes marinhos, culminando no seu rompimento e nova segmentação. Na sua porção mais distal o processo migratório perdurou, tendo sido registrado um crescimento superior a 1 km no sentido E-W. A nova configuração morfológica pelo *spit*, com seu maior estreitamento e nova segmentação, associada à intensificação dos processos erosivos na área alertam para a maior mobilidade a que está submetido, cuja movimentação poderá acarretar menor proteção da linha de costa, ficando, portanto, mais suscetível aos processos erosivos, de forma similar ao que verificado no *spit* 6, de Arpoeiras, confirmando assim a maior tendência erosiva apresentada pelo litoral de Acaraú.

Figura 54 – Configuração morfológica interdecadal do spit 8 (Aranaú - Acaraú)



Fonte: O Autor

Figura 55 – Processo migratório interdecadal do spit 8 (Aranaú - Acaraú)



Fonte: O Autor

3.2.9 Situação geral do processo migratório e mudanças morfológicas interdecadais das barreiras costeiras do litoral de Acaraú e Itarema - Ceará

A análise do processo migratório e mudanças morfológicas interdecadais referentes às barreiras costeiras de Acaraú e Itarema indicou a intensificação da dinâmica de movimentação e alteração no padrão morfológico dessas barreiras nas últimas quatro décadas.

A movimentação no sentido da direção da corrente de deriva litorânea, que provoca a remobilização de sedimentos e o remodelamento das formas é característica dos *spits*. Porém, o que se verificou foi um desequilíbrio generalizado em função da atuação de processos erosivos, que têm ocasionado perdas substanciais de área e reconfiguração morfológica em praticamente todas as barreiras costeiras. Cinco, dos oito *spits* investigados tiveram redução substancial de área, atingindo perdas que atingiram em um único *spit*, 86% na comparação entre 1973 e 2017 (tabela 14 e gráfico 30).

Tabela 14 – Análise comparativa entre a área inicial (1973) e final (2017) dos *spits* de Acaraú e Itarema

Spit	Área (m ²)		Diferença	
	1973	2017	(m ²)	(%)
Spit 1 (Almofala-Itarema)	333.526	333.842	+ 316,032	+ 0,095
Spit 2 (Guajiru-Itarema)	1.239.516	1.106.590	- 132,925	- 10,724
Spit 3 (Praia do Farol-Itarema)	111.127	129.606	+ 18,479	+ 16,629
Spit 4 (Volta do Rio-Acaraú)	1.000.891	283.919	- 716,972	- 71,633
Spit 5 (Coassu-Acaraú)	707.371	96.011	- 611,360	- 86,427
Spit 6 (Arpoeiras-Acaraú)	432.575	203.911	- 228,664	- 52,861
Spit 7 (Foz do Rio-Acaraú)	111.328	78.015	- 33,313	- 29,923
Spit 8 (Aranaú-Acaraú)	499.875	573.641	+ 73,766	+ 14,757
Total	4.436.208,37	2.805.535,04	-1.630.673,33	-36,758

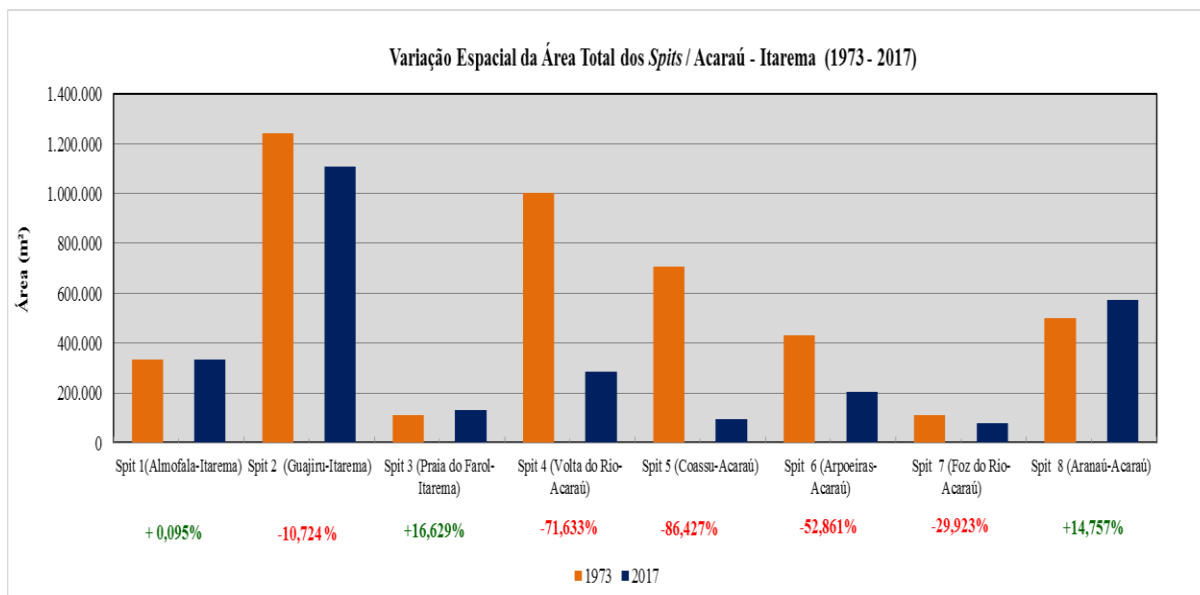
Fonte: O Autor

Em 44 anos, mais de 1,5 milhões de m² foram perdidos, o que representou valor superior a 36% de redução da área total inicial dos *spits* (1973), conforme gráfico 31. O litoral de Acaraú é o que apresenta situação mais grave, com quatro dos cinco *spits* analisados com erosão severa. Em todos eles, inclusive no *spit* de Aranaú, que foi o único em que houve o predomínio dos processos deposicionais, a erosão está instalada desde a última década. No caso do *spit* de Volta do Rio os processos erosivos têm sido predominantes e ocorrido em taxas crescentes desde 1985.

Esta situação inspira bastante atenção, já que o processo migratório não tem sido acompanhado de um reequilíbrio sedimentar. Mesmo nos *spits* que apresentaram crescimento ao invés de redução, a profunda e muitas vezes acelerada reconfiguração morfológica, através principalmente da inversão de posicionamento, segmentação, anexação de ilhas barreira,

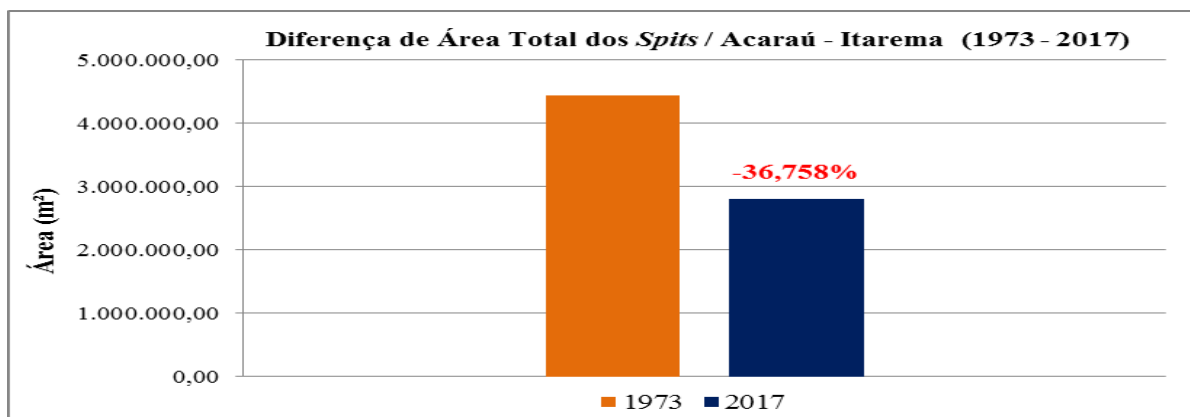
alongamento e estreitamento do corpo arenoso, indica alta suscetibilidade de mudanças bruscas e por vezes irreversíveis, podendo levar a seu total desaparecimento.

Gráfico 30 – Variação espacial (área) individual dos *spits* de Acaraú e Itarema



Fonte: O Autor

Gráfico 31 – Variação espacial (área) total dos *spits* de Acaraú e Itarema



Fonte: O Autor

Desta forma, este litoral que apresenta linha de costa parcial ou totalmente abrigada, está experimentando a intensificação da erosão costeira em inúmeros setores, em consequência da maior exposição à atuação dos agentes marinhos e dos eventos de alta energia. A alta mobilidade a que estão submetidos esses *spits* pode significar, portanto, não apenas o seu desaparecimento, mas também de muitos setores da linha de costa à retrobarreira. Diversos sistemas ambientais como os manguezais, complexos de dunas e lagunas, além da própria infraestrutura urbana e/ou equipamentos urbanos e propriedades privadas podem estar condenados à destruição.

3.3 Processo migratório sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema

O uso do sistema *DGPS* para monitoramento do processo migratório e a identificação das principais mudanças morfológicas de curto período (anual) para o sistema *spit*-ilha barreira da Ilha do Guajiru, permitiu a identificação dos setores mais propensos aos processos progradacionais e retrogradacionais.

Desta forma, foram individualizados três períodos correspondentes às etapas de levantamento de campo: abril a julho/2016; julho a outubro/2016; outubro/2016 a janeiro/2017. Também foi considerado o período de agosto de 2013 (quando a atual ilha barreira estava conectada ao continente e configurada como *spit*) a janeiro de 2017.

Foram calculadas as áreas de acreção e erosão e gerados produtos cartográficos representativos da dinâmica de movimentação da ilha barreira para cada período considerado. Os resultados foram organizados individualmente de acordo com cada período, como forma de melhor discutir a dinâmica de movimentação do sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa.

3.3.1 Dinâmica do sistema *spit*-ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016

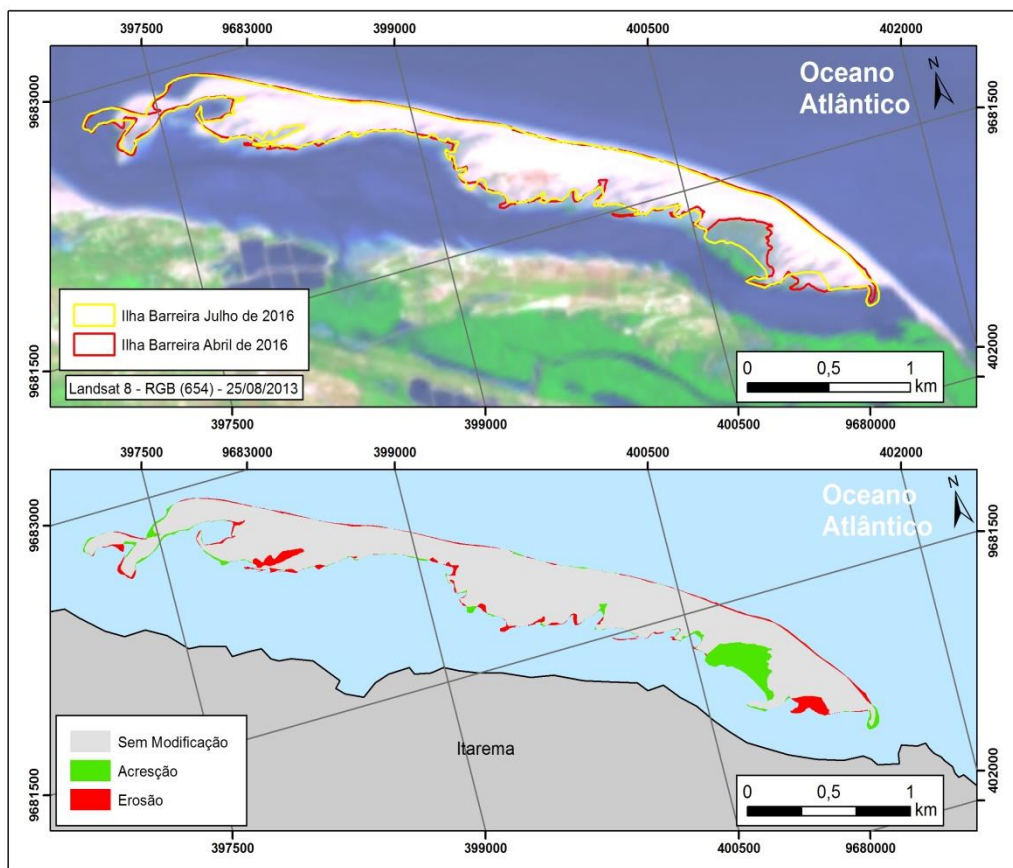
Neste período a ilha barreira sofreu alterações em praticamente todos os setores. A porção da ilha voltada para o mar apresentou processos erosivos em quase toda a sua extensão (mapa 09).

Setores da porção interna da ilha barreira também apresentaram processos erosivos pronunciados, principalmente nas áreas relacionadas às duas extremidades. As áreas de acreção se apresentaram de forma mais descontínuas no espaço, e também estão concentradas na porção interna da ilha barreira.

Este foi o período em que a ilha barreira teve o maior ganho sedimentar em área (9,70 hectares), porém, esse ganho foi praticamente equivalente à área total erodida (7,91), como pode ser observado no gráfico 32.

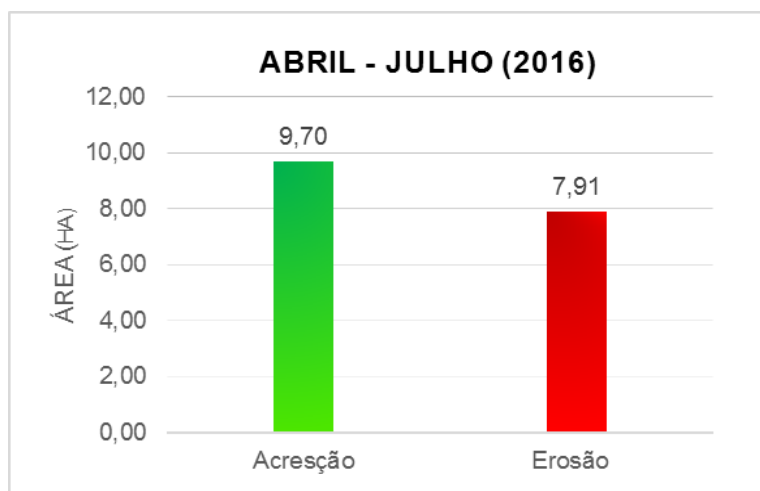
Houve, portanto, um relativo equilíbrio dinâmico em relação ao total de áreas remobilizadas. Os setores mais críticos identificados para este período correspondem à área exposta da ilha barreira, mais propensa à retirada de sedimentos por conta da ação direta de ondas e atuação de eventos de alta energia, como entrada de ondas de tempestade. A extremidade oeste da ilha barreira apresentou áreas mais expressivas de acreção, porém na porção interior da ilha, na extremidade leste.

Mapa 09 - Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016



Fonte: O Autor

Gráfico 32 - Taxas de variação do sistema spit-ilha barreira para o período de abril/2016 a julho/2016



Abril - Julho (2016)		
Tipo	Área (ha)	Perímetro (m)
Acréscão	9,70	11.549,30
Erosão	7,91	17.545,94
Sem Modificação	115,49	15.052,07

Fonte: O Autor

Esta área de maior acumulação na porção interna da ilha barreira corresponde a um setor onde está assentada uma vegetação de mangue, contendo espécies de diferentes portes. A grande acumulação sedimentar neste período condicionou a existência de um ambiente de maior estabilidade, que contribuiu para a expansão rápida dessa vegetação na área (figura 56).

Figura 56 - Expansão da vegetação de mangue na área de maior acresção sedimentar da ilha-barreira



Fonte: O Autor

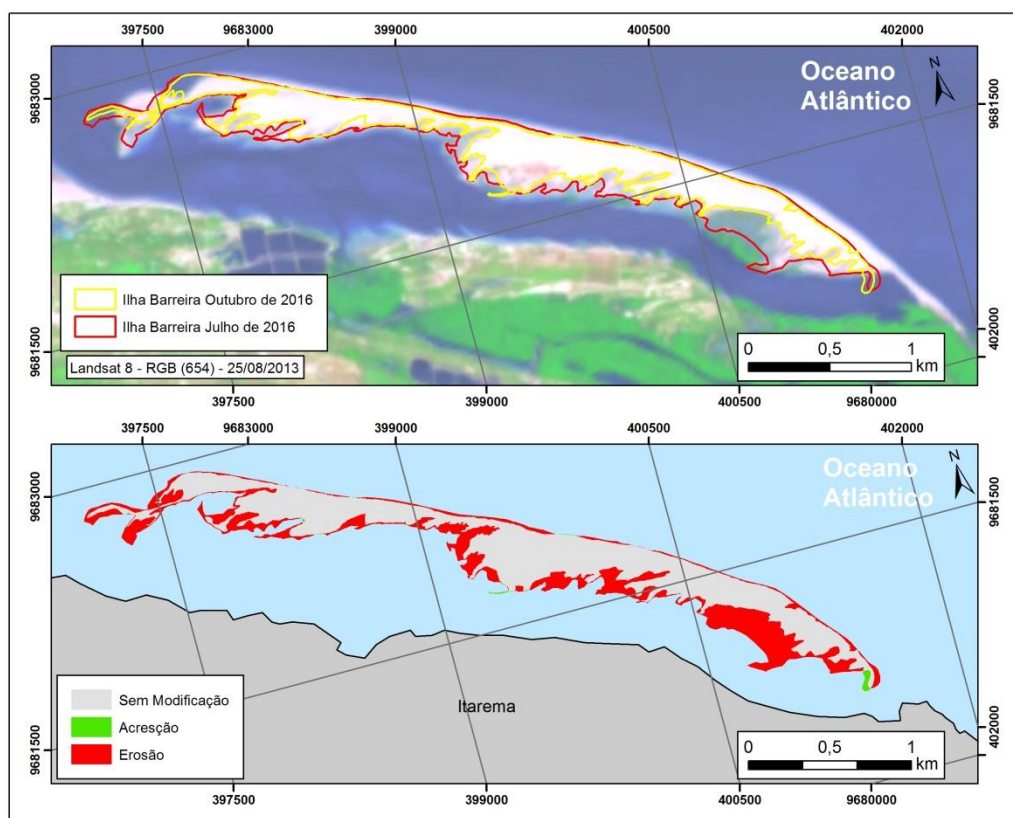
3.3.2 Dinâmica do sistema *spit*-ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016

Este foi o período do ano em que a ilha-barreira apresentou os processos erosivos mais intensos, com perdas sedimentares em todos os setores (mapa 10).

A área total erodida correspondeu a 41,27 hectares, ou seja, um montante mais de cinco vezes superior ao que foi perdido no período anterior (abril a julho). As áreas que sofreram acresção, por sua vez, somaram apenas 0,61 hectares, um total de cerca 16 vezes menor do que o que foi acrescido no período anterior (gráfico 33).

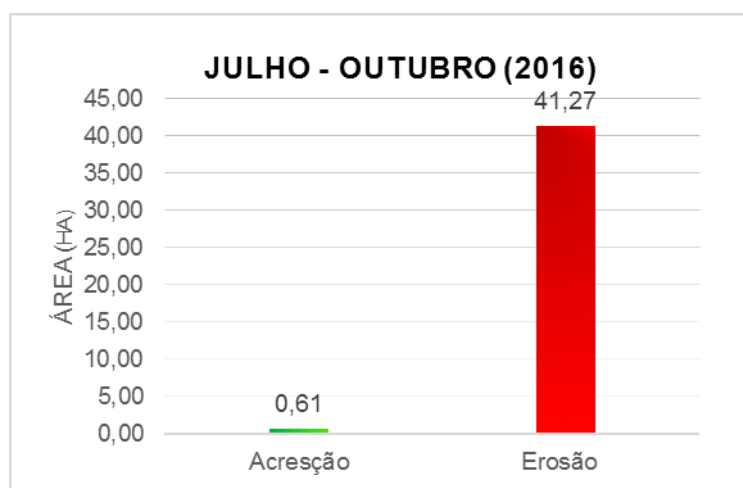
Esta menor estabilidade provavelmente está relacionada à atuação eventual e destrutiva de eventos de alta energia de ondas e à sobrelavagem na ilha barreira. Estes eventos são capazes de provocar a retirada massiva de sedimentos e causar solapamento e desaparecimento de feições sedimentares e desaparecimento de grandes áreas em ilhas barreiras devido à sua maior exposição, como é o caso da área de estudo.

Mapa 10 - Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016



Fonte: O Autor

Gráfico 33 - Taxas de variação do sistema *spit*-ilha barreira para o período de julho/2016 a outubro/2016



Julho - Outubro (2016)		
Tipo	Área (ha)	Perímetro (m)
Acréscimo	0,61	1.260,23
Erosão	41,27	31.709,86
Sem Modificação	83,86	18.092,73

O processo de sobrelavagem da ilha barreira foi observado durante a etapa de levantamento de campo (figura 57). Este processo causa inicialmente um rebaixamento da cota topográfica, por meio da destruição de dunas frontais. Em seguida, com a retirada cada vez mais intensa de sedimentos, há um estreitamento da ilha, e o posterior desaparecimento ou migração.

Figura 57 - Processo de sobrelavagem da ilha-barreira causando retirada massiva de sedimentos



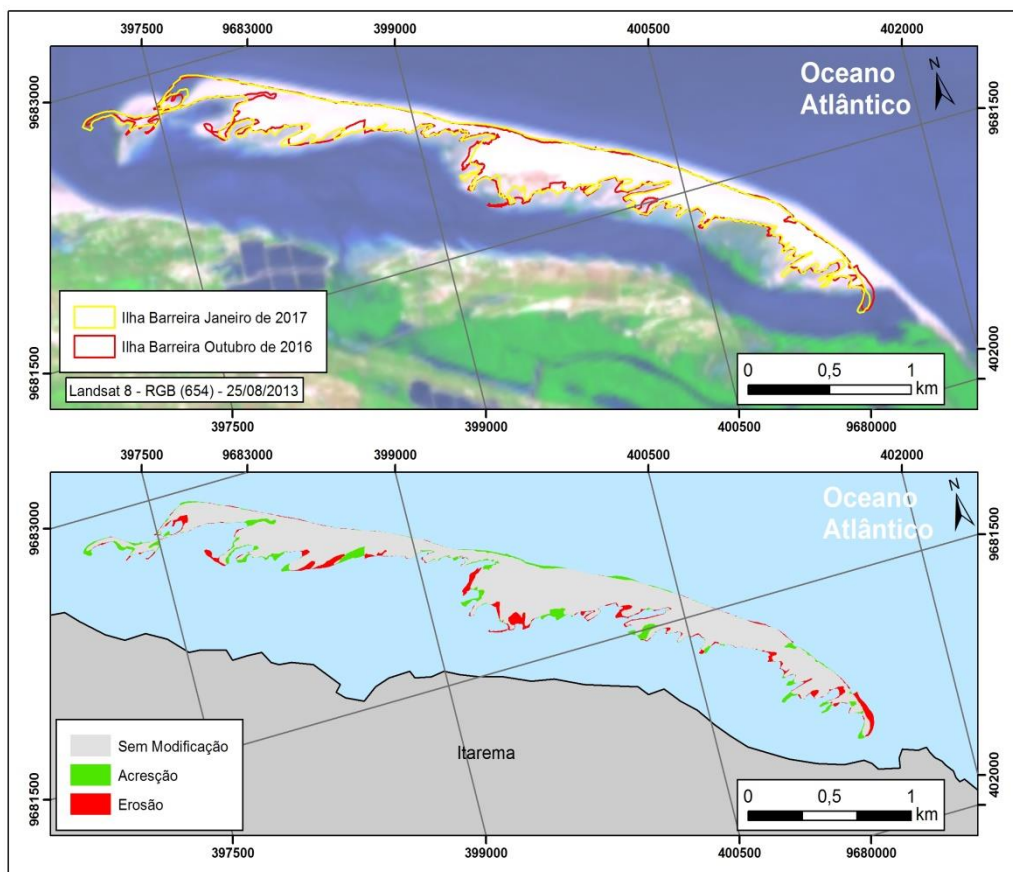
Fonte: O Autor

3.3.3 Dinâmica do sistema *spit*-ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017

Assim como o primeiro trimestre analisado (abril a julho/2016), este período apresentou relativo equilíbrio dinâmico entre áreas erodidas e acrescidas. O total de área acrescida (7,19 hectares) foi praticamente o mesmo do total de área erodida (6,53), conforme pode ser observado no gráfico 34.

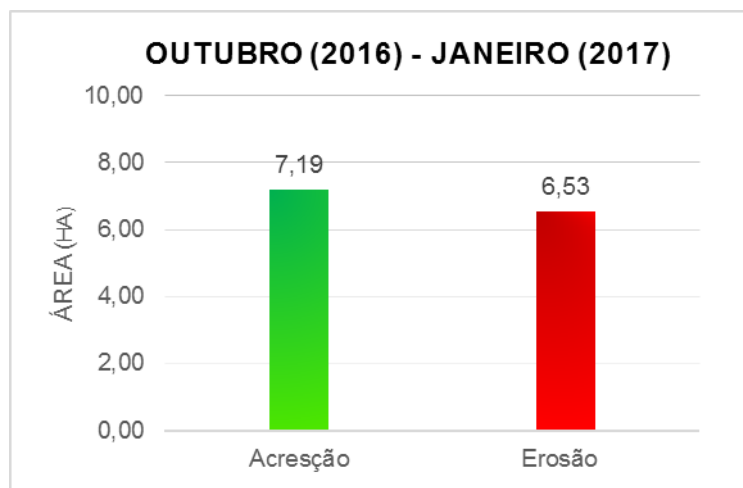
O fato mais notável em termos de movimentação e mudanças morfológicas é que a área mais exposta da ilha barreira, isto é, a sua parte voltada para o mar, apresentou grandes trechos onde predominou a acreção sedimentar, havendo ganho considerável de área nesses locais (mapa 11).

Mapa 11 - Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017



Fonte: O Autor

Gráfico 34 - Taxas de variação do sistema spit-ilha barreira para o período de outubro/2016 a janeiro/2017



Outubro (2016) - Janeiro (2017)		
Tipo	Área (ha)	Perímetro (m)
Acréscimo	7,19	71.899,68
Erosão	6,53	65.349,11
Sem Modificação	77,97	779.701,41

Fonte: O Autor

As áreas de acreção sedimentar também são descontínuas e se distribuem ao longo de toda a porção interna da ilha barreira. A localização das áreas onde predominaram os processos erosivos demonstra que há uma aparente intercalação entre os setores erodidos e acrescidos, indicando uma remobilização dos sedimentos das áreas mais próximas às pontas e sua deposição nas reentrâncias da ilha barreira. Provavelmente a atuação mais dinâmica das correntes de maré vazante e/ou enchente devem ser as responsáveis por este processo. Estas correntes devem ser as principais responsáveis pela entrada de sedimentos mais grossos na área abrigada pela ilha barreira (figura 58), fato favorecido pela abertura criada a partir do rompimento do *spit*, que cedeu lugar à esta ilha barreira.

Figura 58 - Deposição de seixos, rodólitos e conchas na área abrigada da ilha barreira



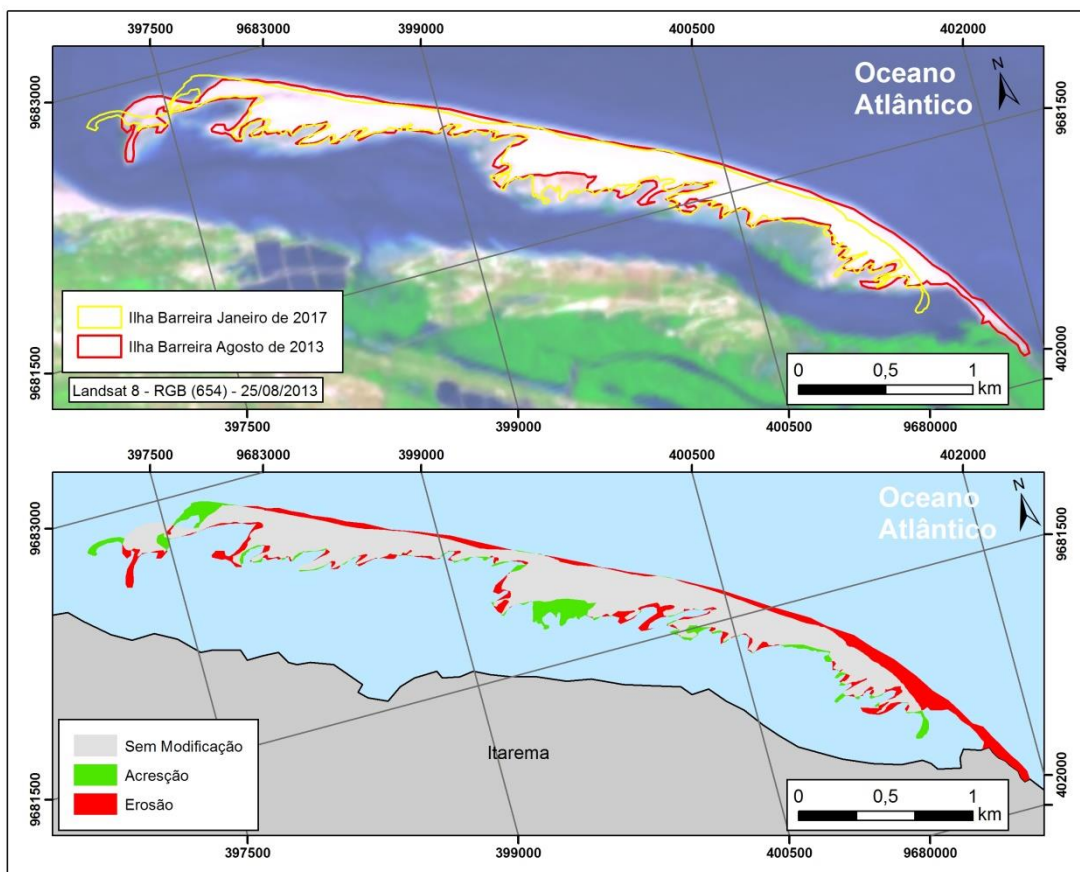
Fonte: O Autor

3.3.4 Dinâmica do sistema *spit*-ilha barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017

Além da dinâmica intra-anual de variação da ilha barreira analisada a partir do monitoramento com *DGPS*, foi realizada uma análise dos padrões de erosão e acreção para o período compreendido entre agosto de 2013 e janeiro de 2017. Esta escala foi escolhida porque permite o acompanhamento do processo de mutação do *spit* para ilha barreira, até sua fase mais atual.

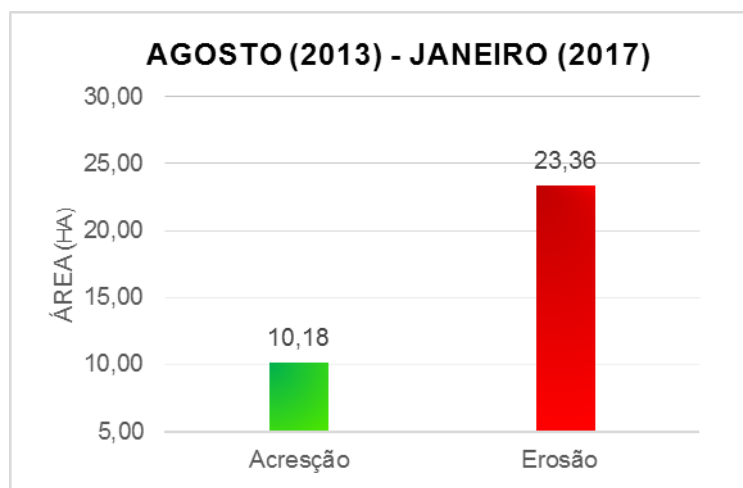
No ano de 2013, ainda havia uma conexão da atual ilha barreira com o continente, a partir da sua extremidade leste. Logo, sua configuração ainda era a de *spit*. A continuação do processo erosivo acabou por destruir esta conexão e isolar este corpo arenoso do continente, transformando-o em ilha barreira (mapa 12). Desde então, os processos erosivos têm predominado sobre os processos deposicionais (gráfico 35).

Mapa 12 - Variação espaço-temporal da ilha barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017



Fonte: O Autor

Gráfico 35 - Taxas de variação do sistema *spit*-ilha-barreira para o período de agosto/2013 a janeiro/2017



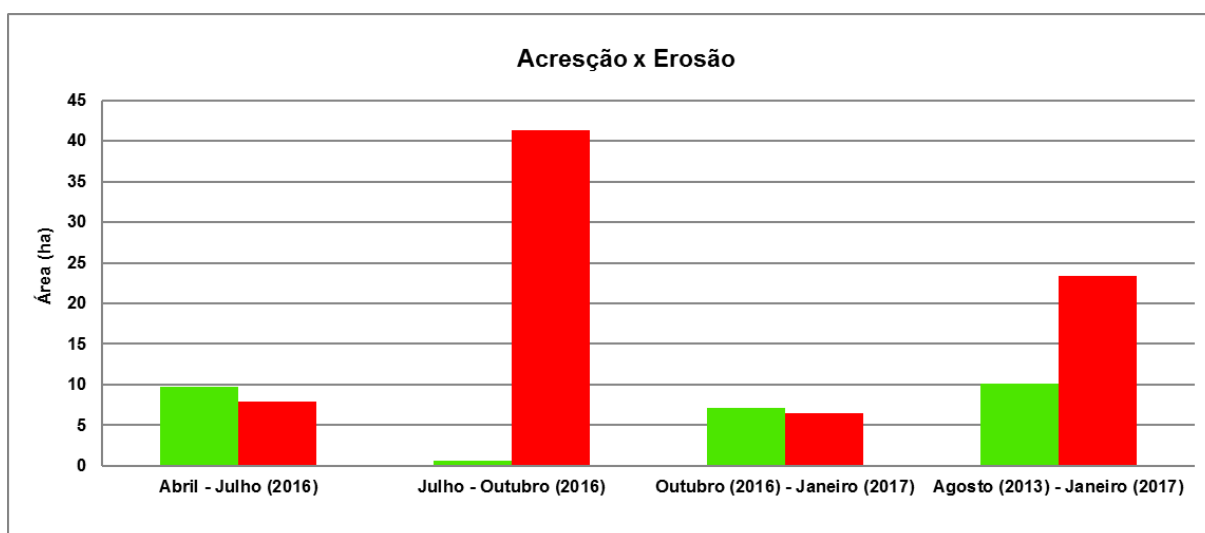
Agosto (2013) - Janeiro (2017)		
Tipo	Área (ha)	Perímetro (m)
Acresção	10,18	11.226,37
Erosão	23,36	23.051,61
Sem Modificação	77,54	16.021,24

Os resultados do monitoramento apontaram que as áreas mais erodidas correspondem ao setor leste da ilha barreira, que recentemente ainda mantinha uma conexão como

continente. Toda a área da ilha que está voltada para o mar também sofreu processo erosivo generalizado desde então e grandes extensas áreas foram perdidas. O setor que corresponde à porção distal da ilha, na sua extremidade oposta (oeste), apresentou ganho de área e isto diz respeito aos processos naturais de sua movimentação no sentido da corrente de deriva litorânea. Esse processo prográdacional, no entanto, foi acompanhado por um processo de estreitamento desta porção da ilha barreira. A continuidade desse processo pode acarretar no futuro próximo o desprendimento dessa extremidade da ilha e/ou seu completo desaparecimento.

Os resultados indicaram também que a dinâmica sedimentar intra-anual (curto período) da ilha barreira pode ser mais intensa e apresentar alterações significativas no equilíbrio dinâmico do que o verificado em médio período (interanual). Ver gráfico 36.

Gráfico 36 - Correlação entre as taxas de variação do sistema spit-ilha-barreira em escala intra-anual e interanual



Período	Acresção		Erosão (ha)		Sem Modificação	
	Área (ha)	Perímetro (m)	Área (ha)	Perímetro (m)	Área (ha)	Perímetro (m)
Abril - Julho (2016)	9,70	11.549,30	7,91	17.545,94	115,49	15.052,07
Julho - Outubro (2016)	0,61	1.260,23	41,27	31.709,86	83,86	18.092,73
Outubro (2016) - Janeiro (2017)	7,19	71.899,68	6,53	65.349,11	77,97	779.701,41
Agosto (2013) - Janeiro (2017)	10,18	11.226,37	23,36	23.051,61	77,54	16.021,24

Fonte: O Autor

O sistema spit-ilha-barreira de Guajiru apresenta, portanto, maior tendência aos processos erosivos em escala de curto período. No último ano, houve uma perda total de 55,71 hectares, contra apenas 17,5 hectares de área total acrescida. A atuação provável de eventos extremos, de curta duração e/ou recorrentes, como ondas de tempestade, deve ser uma das principais causas, como pode ser analisado no total perdido em apenas três meses, entre julho e outubro de 2016.

Já na escala de médio período, houve uma perda total de 23 hectares de área, contra 10,18 hectares de área total acrescida, havendo uma tendência de maior equilíbrio, porém pouco significativa. Esta área perdida entre 2013 e 2017 se refere em grande parte à antiga conexão que a atual ilha-barreira mantinha com o continente, tendo sido completamente destruída (figura 59).

Figura 59 - Canal de comunicação estabelecido entre a ilha barreira e a linha de costa a partir do rompimento do antigo *spit*



Fonte: O Autor

Os processos erosivos verificados na ilha barreira parecem ter efeito também sobre a linha de costa, que apesar de ser uma área abrigada começa a apresentar erosão em alguns setores (figura 60). Deste modo, a instabilidade da ilha barreira pode trazer consequências negativas à sustentação do equilíbrio dinâmico dos ambientes a ela associados.

Figura 60 - Processos erosivos na área abrigada da linha de costa associada à ilha-barreira



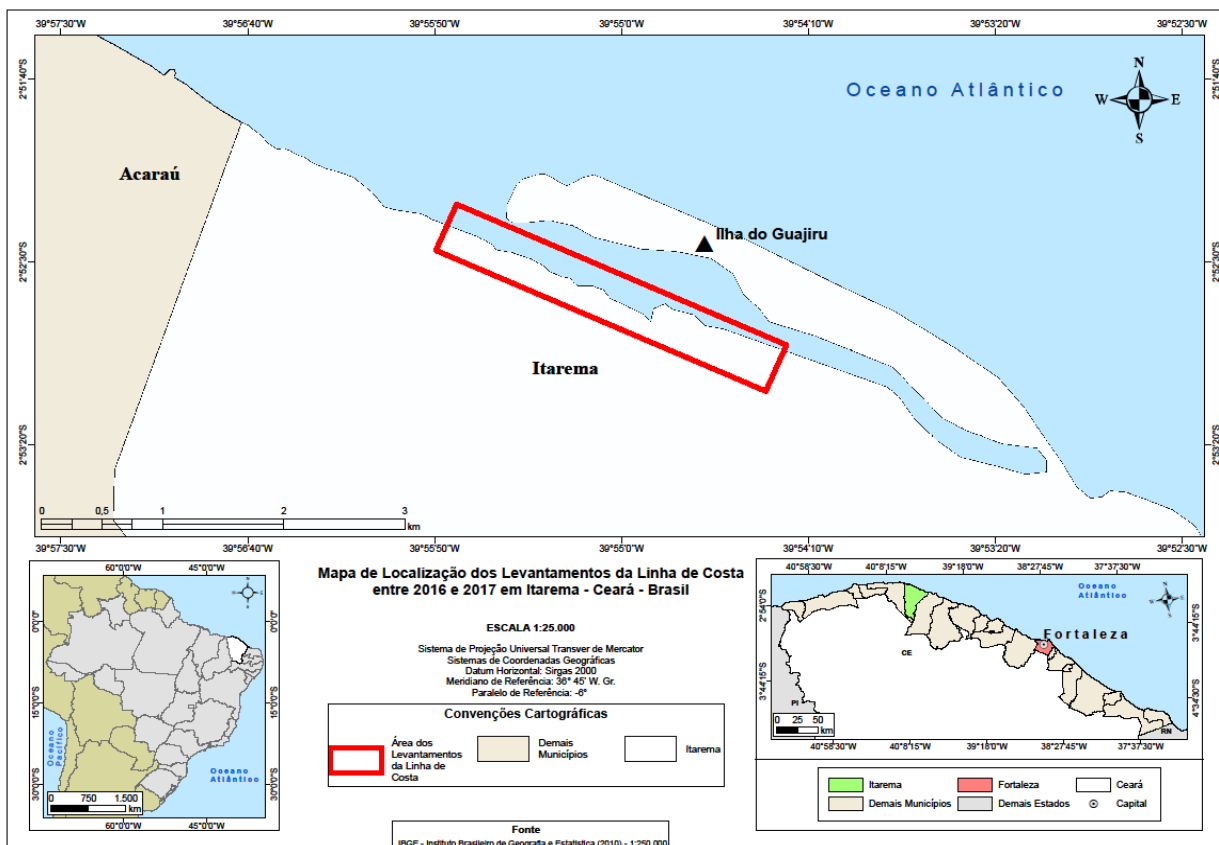
Fonte: O Autor

A maior parte da linha de costa (aproximadamente 4.3 km) considerada na análise do processo de migração sazonal refere-se ao setor abrigado pelo sistema *spit*-ilha barreira (mapa 13). Deste modo, a maior estabilização em virtude da função protetiva exercida pelo sistema

spit-ilha barreira e a menor mobilidade sazonal deveriam ser preponderantes neste setor da linha de costa.

Porém, a referida linha de costa apresentou trechos com processos de remobilização sedimentar intensos, através da deposição/remoção de barras arenosas paralelas e perpendiculares, bem como trechos com processos erosivos avançados, como detalhado adiante na discussão dos três períodos considerados na referida análise: abril a julho/2016; julho a outubro/2016; outubro/2016 a janeiro/2017.

Mapa 13 – Área da linha de costa abrigada analisada

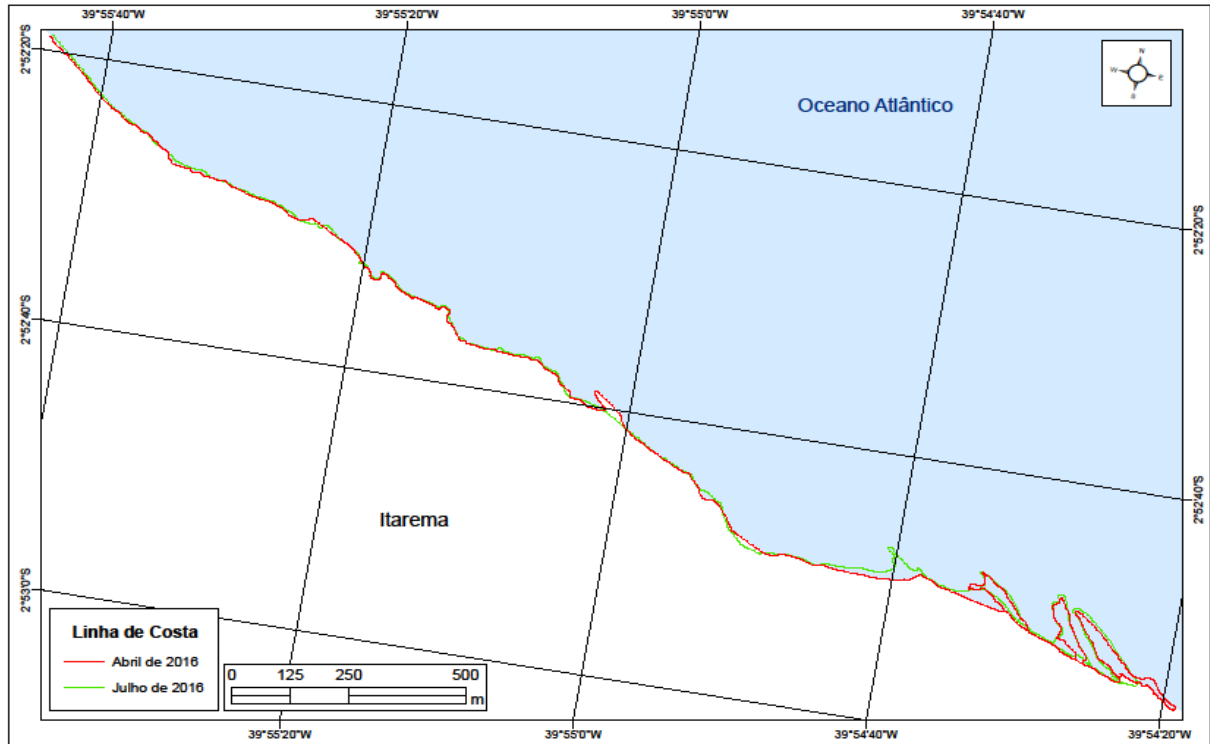


Fonte: O Autor

3.3.5 Dinâmica da linha de costa para o período de abril/2016 a julho/2016

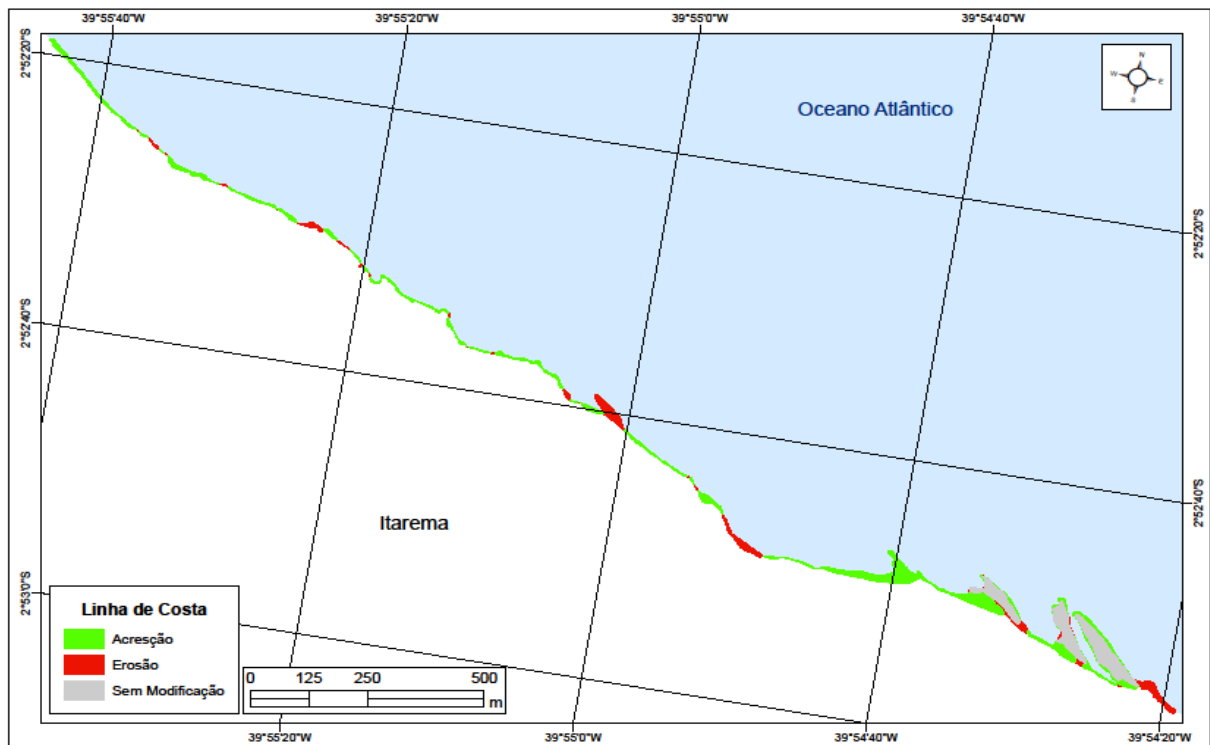
Neste período a linha de costa apresentou uma acentuada dinâmica sedimentar, com variação positiva (ganho) em praticamente todos os setores, inclusive na porção não abrigada (mapas 14 e 15).

Mapa 14 – Variação da linha de costa para o período abril/2016 a julho/2016



Fonte: O Autor

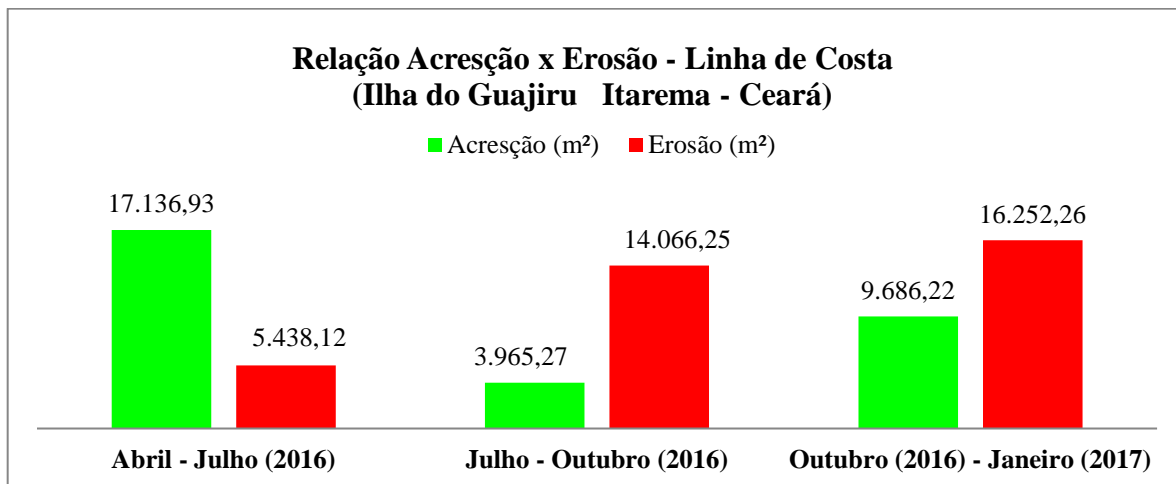
Mapa 15 – Relação acresção x erosão para o período abril/2016 a julho/2016



Fonte: O Autor

Assim como verificado no sistema *spit*-ilha barreira, esse foi o período que representou maior ganho sedimentar da linha de costa. A área total acrescida foi de aproximadamente 17.000 m², número três vezes superior ao que foi erodido para o mesmo período (5.438 m²), conforme gráfico 37.

Gráfico 37 – Relação acreção x erosão sazonal para a linha de costa abrigada



Fonte: O Autor

Parte considerável das áreas acrescidas nesse período relaciona-se à formação de barras arenosas paralelas e perpendiculares (figura 61), submersas durante a preamar. Deste modo, os processos deposicionais são preponderantes durante o processo de formação e estabilização dessas barras arenosas.

Figura 61 – Formação de barras arenosas na área abrigada da linha de costa



Fonte: O Autor

3.3.6 Dinâmica da linha de costa para o período de julho/2016 a outubro/2016

De maneira contrária ao verificado no trimestre anterior, durante este período constatou-se a predominância dos processos erosivos frente aos deposicionais. As áreas erodidas representaram um total quase três vezes superior ao que fora perdido entre abril e julho de 2016.

Estes processos intensos de remobilização devem relacionar-se diretamente com o que ocorrera no mesmo período no sistema *spit*-ilha barreira, quando foram registrados eventos de sobrelavagem provavelmente associados a eventos de alta energia. Esses eventos causam, além da retirada de sedimentos de maneira rápida e massiva, um rebaixamento da topografia em determinados pontos do sistema *spit*-ilha barreira.

Por ser esse sistema a primeira barreira protetiva da linha de costa contra o efeito direto da ação de ondas, marés e correntes, a atuação desses eventos passa a ocorrer de modo a atingir setores anteriormente abrigados, potencializando os processos erosivos em vários setores da linha de costa. Os principais trechos da linha de costa em que foram identificados os processos erosivos referem-se ao setor situado mais a oeste, onde existem inúmeras estruturas rígidas construídas com o intuito de conter o avanço do mar sobre a linha de costa (figura 62).

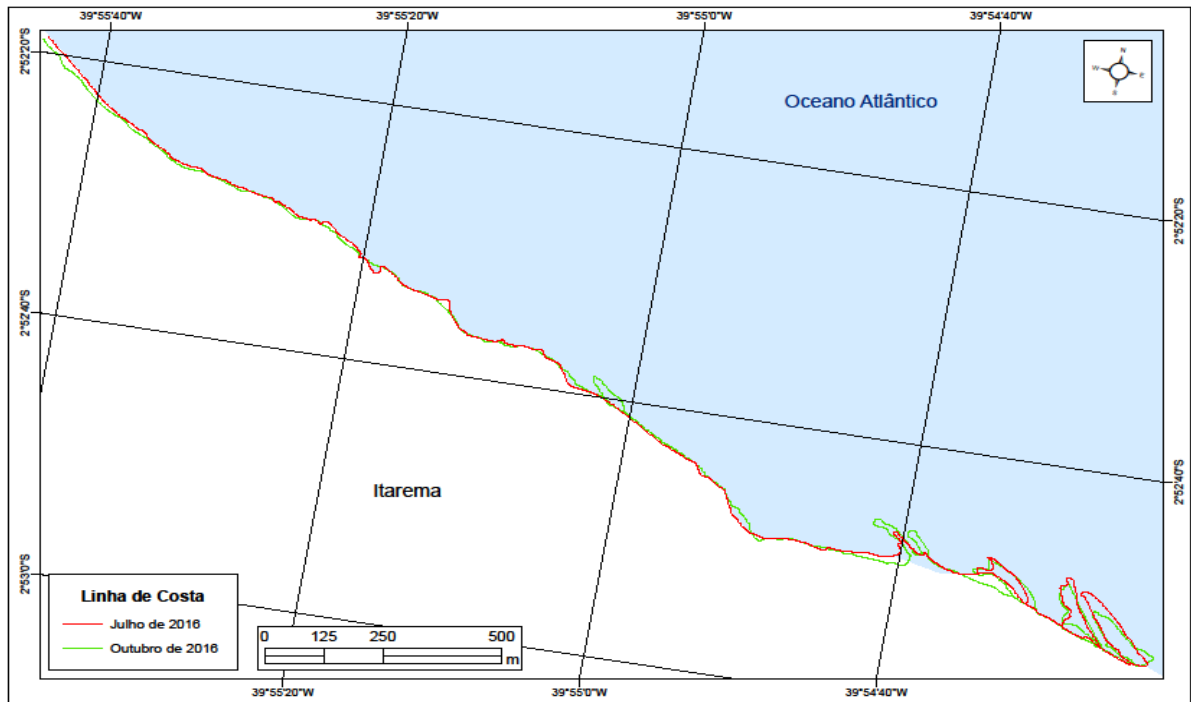
Figura 62– Estruturas rígidas para contenção da erosão na área abrigada da linha de costa



Fonte: O Autor

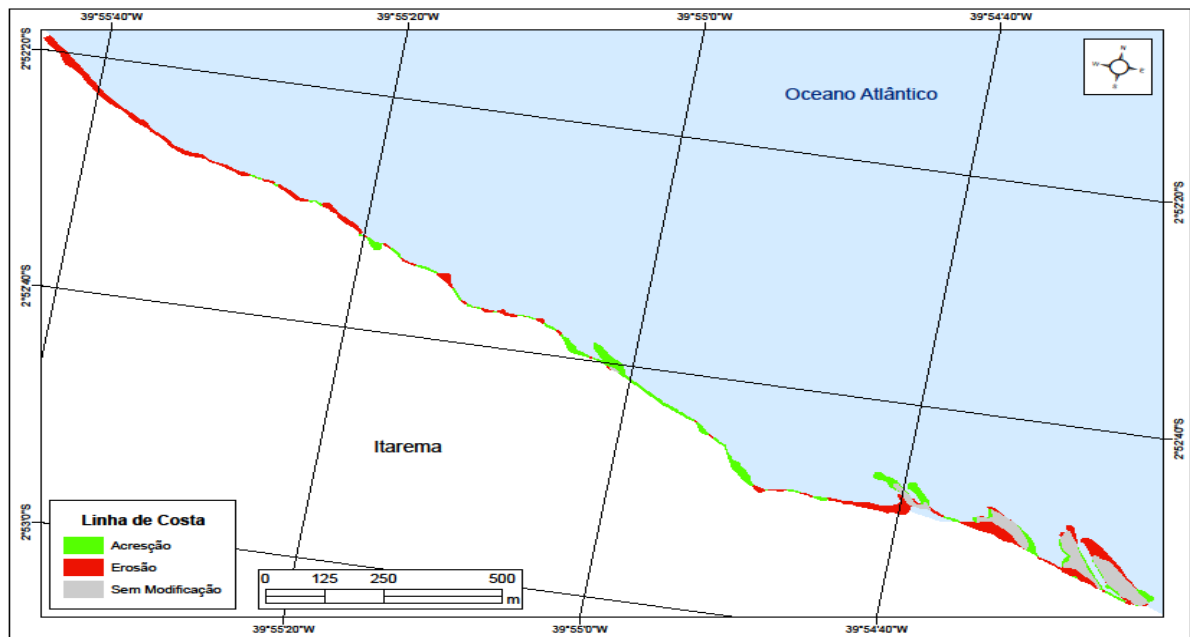
Este foi o período em que houve o menor índice de áreas acrescidas durante todo o monitoramento, com um índice aproximadamente quatro vezes inferior ao verificado para o período abril-julho. Os poucos trechos em que se verificou acréscimo deposicional referem-se principalmente à formação de barras arenosas paralelas e perpendiculares (mapas 16 e 17).

Mapa 16 – Variação da linha de costa para o período julho/2016 a outubro/2016



Fonte: O Autor

Mapa 17– Relação acresção x erosão para o período julho/2016 a outubro/2016



Fonte: O Autor

3.3.7 Dinâmica da linha de costa para o período de outubro/2016 a janeiro/2017

De maneira análoga ao ocorrido no período julho-outubro de 2016, neste período houve a predominância dos processos erosivos. Aproximadamente 16 mil m² de área foram erodidas, o que representou o maior índice referente observado em todo o monitoramento. O que diferenciou os processos sedimentares desse período é o fato de ter havido crescimento substancial (de quase três vezes) das áreas acrescidas em relação ao total do registrado no trimestre anterior. A recomposição morfosedimentar ocorrida em diversos setores do sistema *spit*-ilha barreira para o mesmo período atesta uma atenuação dos processos erosivos com reflexos sobre alguns trechos da linha de costa abrigada, o que explicaria esse considerável ganho sedimentar.

Por sua vez, os processos erosivos foram mais nítidos especialmente no setor mais a leste da linha de costa abrigada, na área de maior ocorrência das barras arenosas, cuja remobilização corresponde à parte considerável das taxas erosivas. A outra área em que se verificou a predominância dos processos erosivos foi o setor central (abrigado) da linha de costa, além de alguns trechos do setor extremo oeste (exposto), ocasionando a exposição de material lamoso e fragmentos de troncos/raízes de provável vegetação de mangue, anteriormente soterrados figura 63.

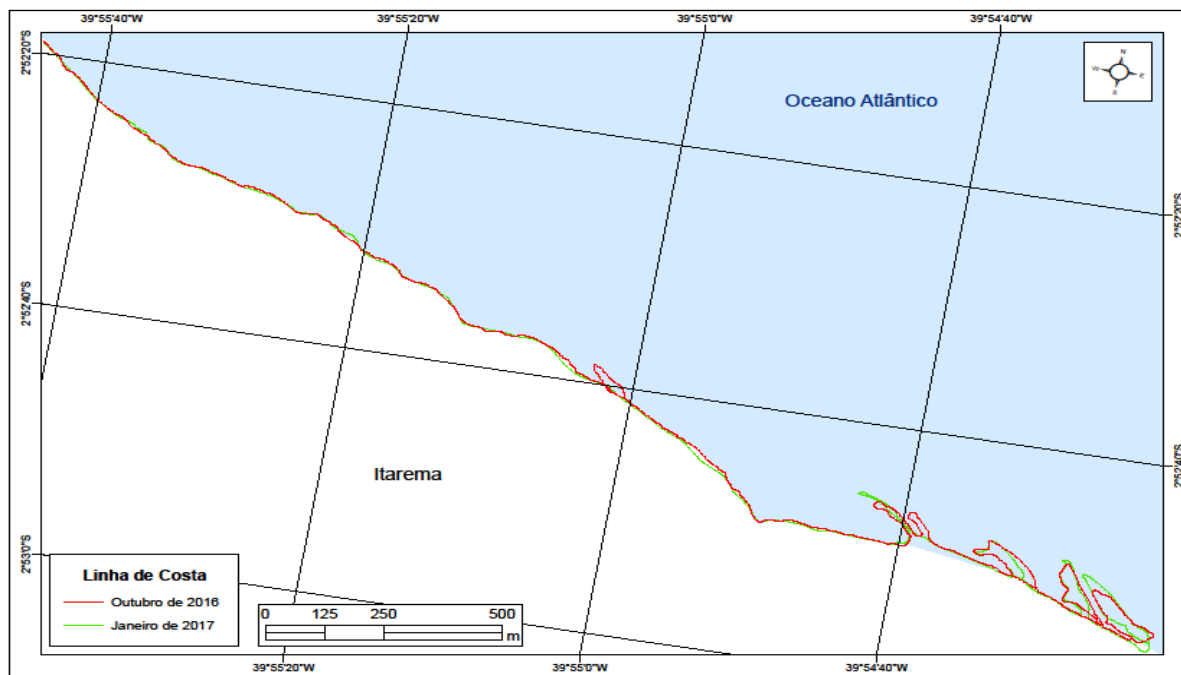
Figura 63 – Exposição de material sedimentar reliquiar na linha de costa abrigada



Fonte: O Autor

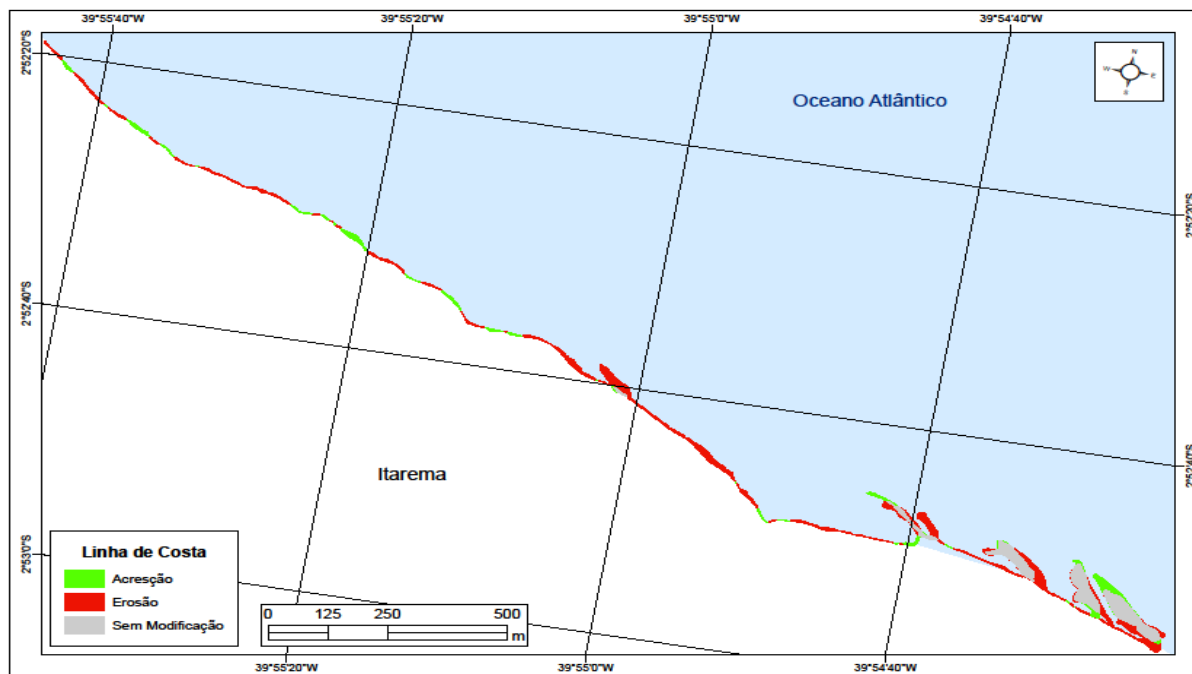
Vale ressaltar que apesar da acentuação dos processos erosivos durante esse período, as barras arenosas não foram totalmente destruídas, havendo ocorrido inclusive a reconstrução/crescimento da extremidade de algumas delas (mapas 18 e 19).

Mapa 18 – Variação da linha de costa para o período outubro/2016 a janeiro/2017



Fonte: O Autor

Mapa 19 – Relação acresção x erosão para o período outubro/2016 a janeiro/2017



Fonte: O Autor

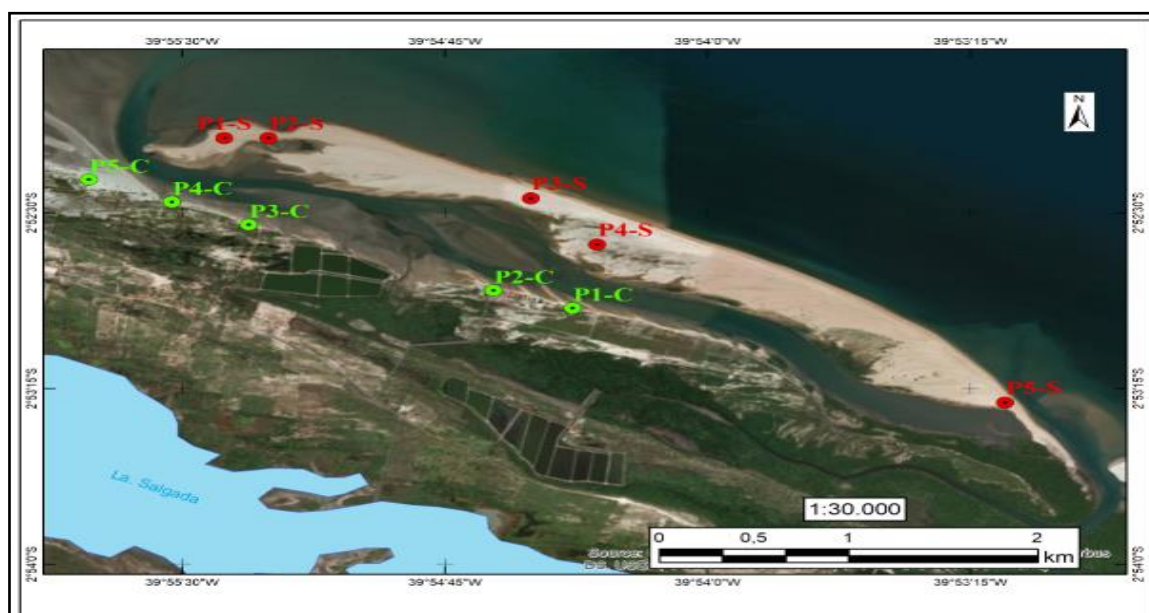
3.4 Comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema

Além do entendimento do processo migratório sazonal do sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada, as quatro campanhas de levantamento de dados com intervalo trimestral (abril/julho/outubro/janeiro) realizadas no litoral de Itarema permitiram também a compreensão do seu comportamento morfosedimentar.

A realização do monitoramento dos 10 perfis topográficos (cinco no sistema *spit*-ilha barreira e cinco na linha de costa) efetuados a partir do uso de sistema de alta precisão DGPS, associada à determinação do balanço sedimentar e à determinação das características sedimentares permitiu analisar o comportamento morfosedimentar anual do sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa abrigada, e como eles estão relacionados entre si.

Essa análise se mostrou fundamental também porque os processos morfosedimentares que atuam sobre as barreiras costeiras e ambientes associados em geral são estudados somente em escala decadal, do ponto de vista da sua variabilidade espaço-temporal. A maior parte dos estudos não considera sua variabilidade dentro de uma escala anual, não tendo sido encontrados registros de trabalhos anteriores a este neste setor da costa brasileira que tenham realizado monitoramento morfodinâmico a partir de perfis topográficos efetuados na própria barreira costeira levando em consideração seu comportamento sazonal, associando ainda às características sedimentares. Do mesmo modo, procedemos ao entendimento deste mesmo comportamento para a linha de costa associada, em sua maior parte abrigada. Ver Figura 64.

Figura 64 – Localização dos perfis de monitoramento para estudo do comportamento morfosedimentar



Fonte: O Autor

3.4.1 Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema *spit*-ilha barreira – Perfil 1 *Spit*

O perfil 1 referente ao sistema *spit*-ilha barreira (P1-S) está localizado na porção mais distal, próximo à extremidade mais recurvada. Apresenta, juntamente com o perfil 5, a menor extensão média (aprox. 250 m) entre o setor abrigado, à retrobarreira (canal), e o setor exposto (oceano), conforme figura 65.

Este perfil está situado numa das porções mais instáveis do *spit*-ilha barreira no que diz respeito aos processos migratórios e de reconfiguração morfológica. Durante o monitoramento apresentou uma área central mais estabilizada, capeada por dunas frontais de pequena dimensão (altura aproximada de meio metro). O setor à retrobarreira apresentou um canal raso, de aproximadamente 0,5 metros de profundidade, enquanto o setor exposto foi o que apresentou as alterações mais significativas (figura 66).

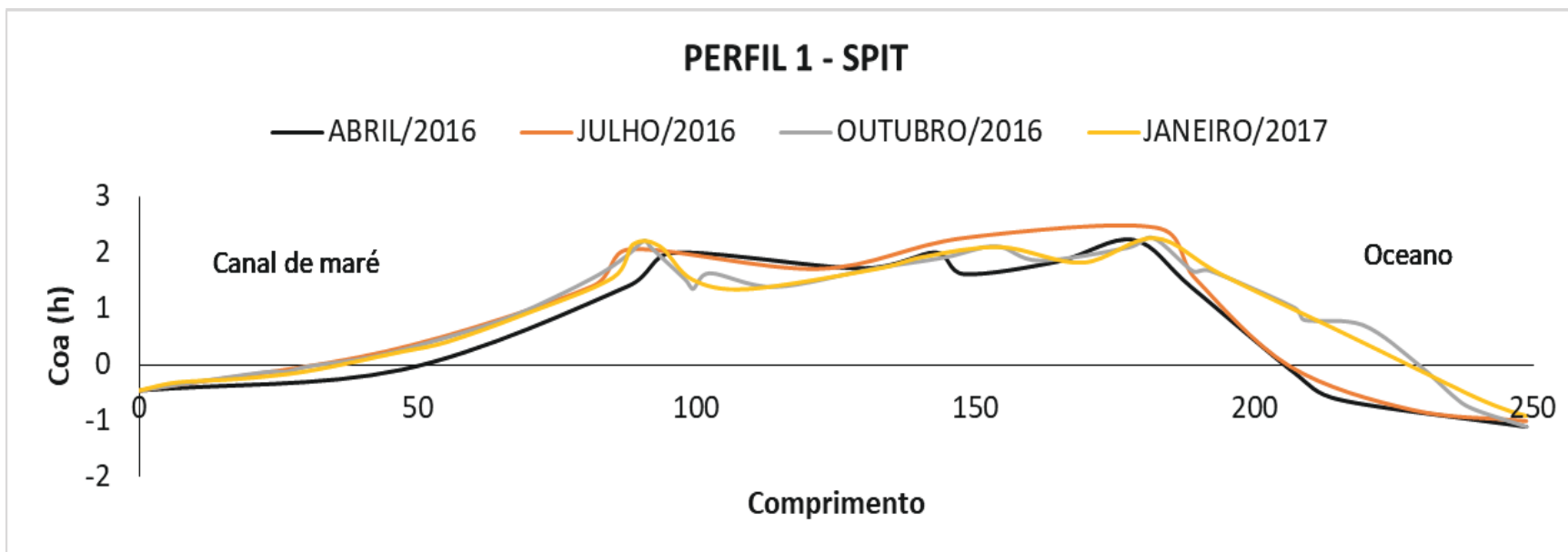
O comportamento morfodinâmico do perfil 1 indicou que o setor exposto (voltado ao oceano) sofreu grande remobilização sedimentar positiva entre os meses de julho e outubro, que apresentaram predominância de ondas de direção predominante E-SE e ventos de direção predominante E-SE, com picos de velocidade de 12.1 m/s, conforme levantamento efetuado para a área, já apresentado.

O volume e o balanço sedimentar deste setor indicaram o engordamento crescente do perfil entre abril e outubro, tendo ocorrido uma nítida diminuição no mês de janeiro, indicando o início da atuação de eventos de alta energia que ocorrem no início do ano, com predominância de ondas de direção NNE atuando nesse período.

As áreas que sofreram as perdas mais significativas nesse período correspondem ao setor central, indicando a provável sobrelavagem efetuada durante eventos de alta energia, promovendo a remoção de grandes volumes sedimentares, que passam a ser remobilizados para a área à retrobarreira (figura 67).

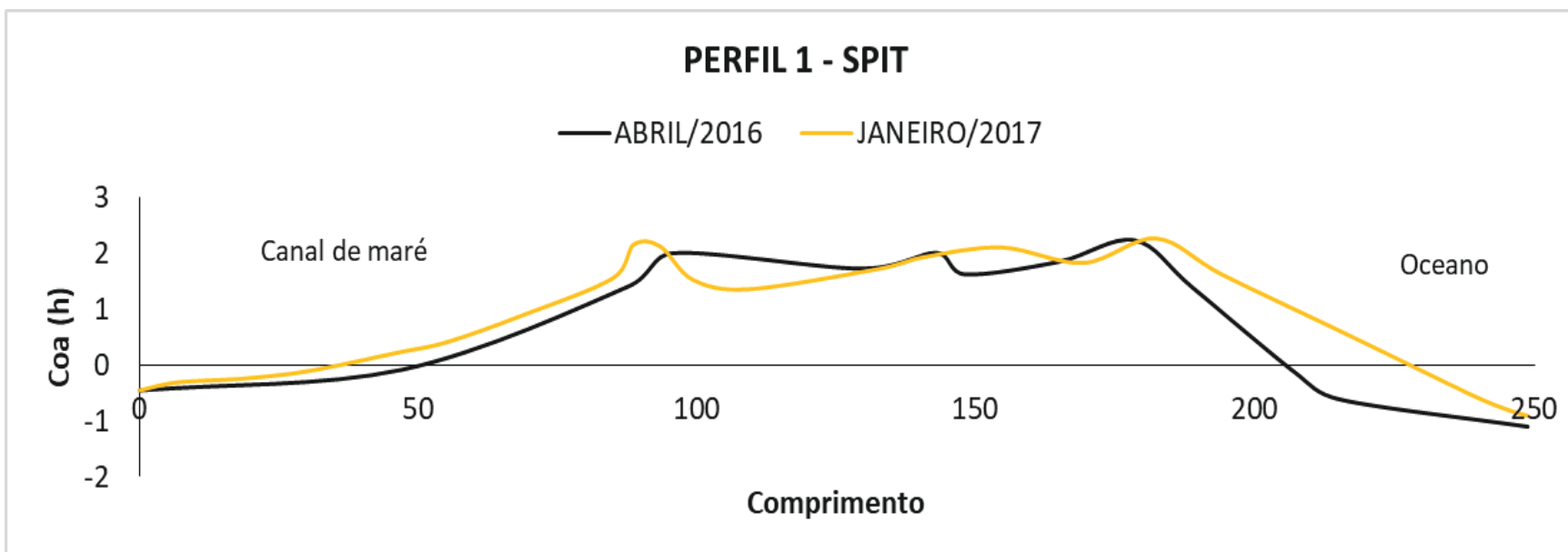
A efetividade desses eventos explica também o relativo engordamento do setor mais exposto, em função da migração em direção à costa de barras submersas no setor de antepraia. Apesar da situação positiva do ponto de vista do balanço sedimentar, a área do perfil 1 requer grande atenção por estar em um dos trechos mais instáveis do sistema *spit*-ilha barreira, bastante suscetível à migração e alterações bruscas (gráfico 38 e gráfico 39).

Figura 65– Variação anual do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)



Fonte: O Autor

Figura 66 – Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 1 - SPIT - (P1-S)



Fonte: O Autor

Figura 67 – Principais setores do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)

Setor abrigado (canal de maré)



Setor central

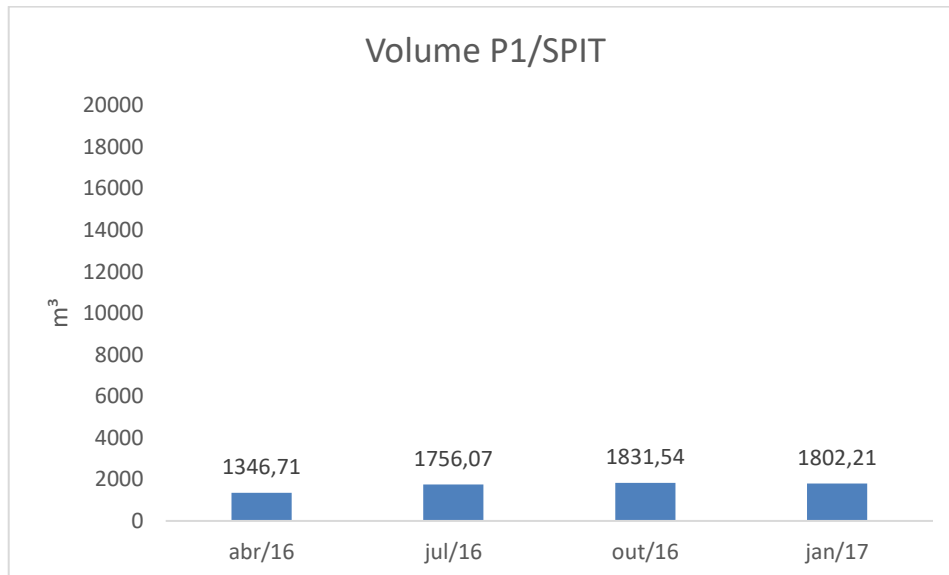


Setor exposto (oceano)



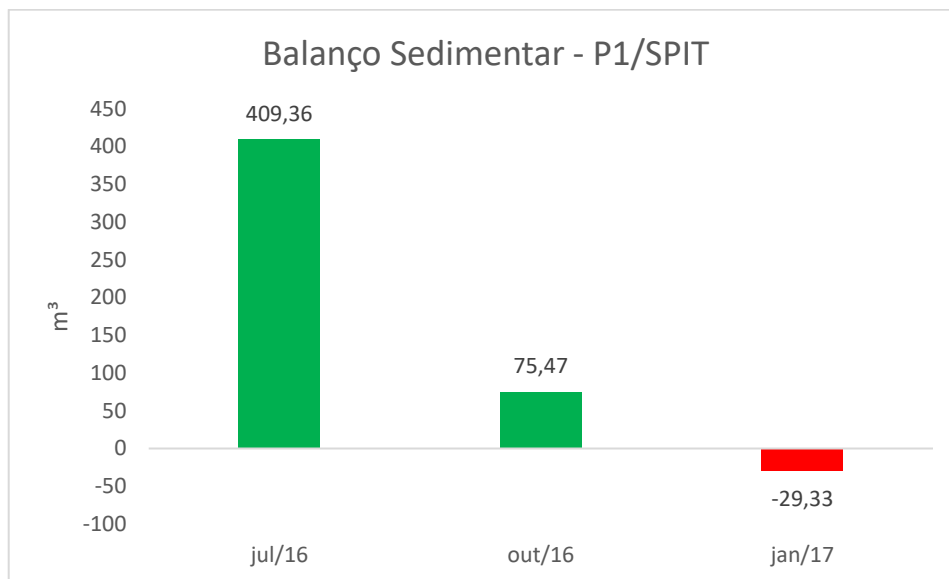
Fonte: O Autor

Gráfico 38 – Volume do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)



Fonte: O Autor

Gráfico 39 – Balanço sedimentar do Perfil 1 - SPIT - (P1-S)



Fonte: O Autor

3.4.2 Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema *spit*-ilha barreira – Perfil 2 *Spit*

O perfil 2 (P2-S) está localizado em uma área próxima ao perfil 1, a leste, e apresenta extensão média de 550 metros. Apesar da proximidade e da maior extensão, experimentou déficit sedimentar significativo, bem superior ao registrado para o perfil 1 (gráfico 40 e gráfico 41).

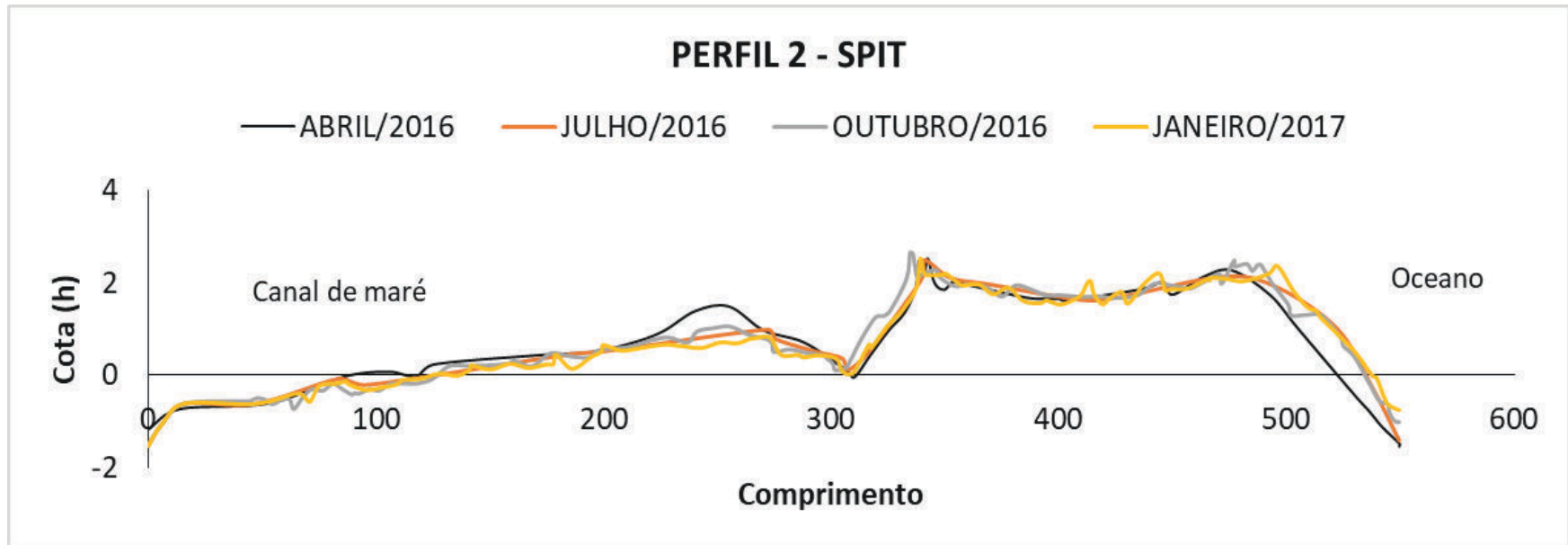
As alterações morfodinâmicas mais significativas concentraram-se em dois setores, no mais exposto e no setor de transição entre a área central e a abrigada do *spit*-ilha barreira (figura 68 e figura 69). Assim como no perfil 1, a área central apresenta dunas frontais de pequena dimensão porém mais espaçadas, cuja grande variabilidade foi responsável pela configuração morfológica do perfil com inúmeros picos representando justamente o topo dessas dunas (figura 70).

O setor abrigado apresentou canal de maré com profundidade bem mais significativa que o perfil 1, tendo atingindo 1,5 metros, bem como tendo sido registrado o seu aprofundamento na comparação entre abril de 2016 e janeiro de 2017. Esse aprofundamento foi acompanhado de um rebaixamento geral da topografia entre o setor abrigado e a área central.

Os valores referentes ao volume sedimentar indicaram que, assim como no perfil 1, entre abril e outubro de 2016 os processos deposicionais foram preponderantes sobre os erosivos. Porém, a partir do balanço sedimentar gerado foi possível observar que ocorreram a uma taxa sensivelmente inferior. Enquanto entre abril e julho o perfil 1 experimentou um acréscimo de 409,36m³, no mesmo período o acréscimo no perfil 2 foi de apenas 112,49m³, ou seja a uma taxa três vezes mais baixa. Entre outubro e janeiro, por sua vez, período em que também foi registrado déficit sedimentar, aproximadamente 390m³ de sedimentos foram erodidos, principalmente entre o setor central e o setor abrigado, onde uma área expressiva apresenta fortes indícios de um rompimento iminente. O declive brusco da porção exposta, voltado para o oceano, se deve à própria configuração da barreira, que assim como o perfil 1 apresentou ganho sedimentar no mês de janeiro de 2017, devido provavelmente à remobilização de sedimentos no setor de antepraia e/ou à aproximação de barras submersas, conforme pode ser visualizado na imagem referente ao setor exposto (figura 70).

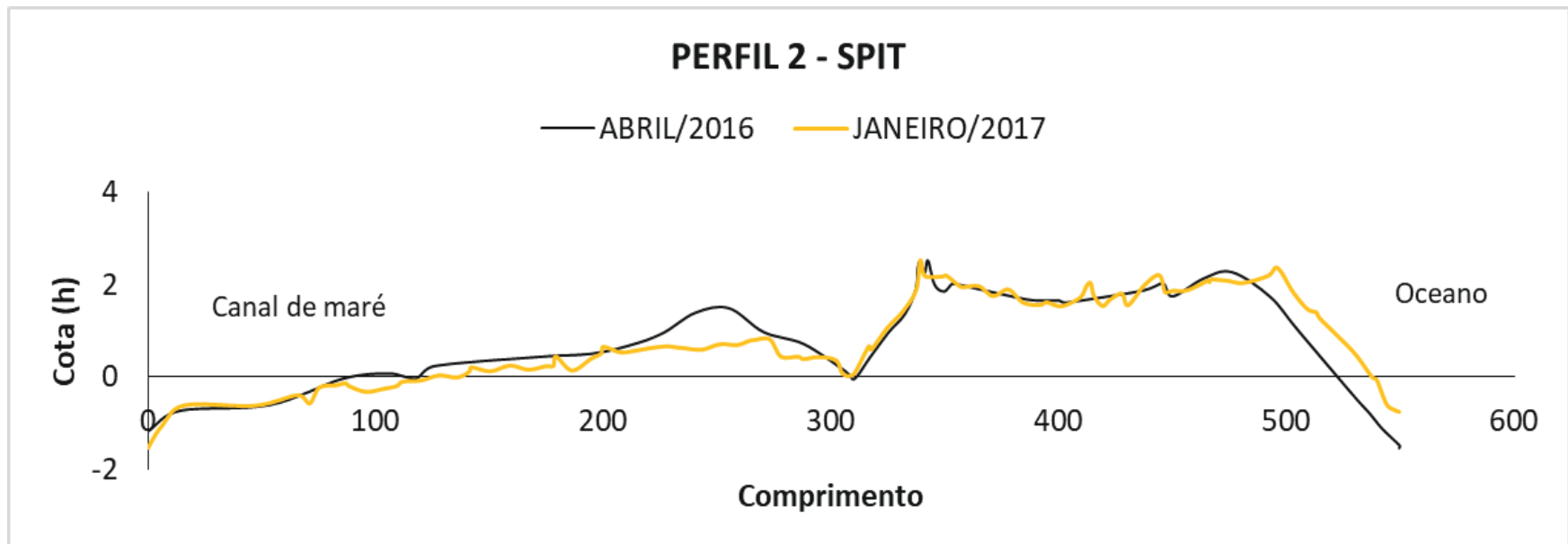
O perfil 2 também requer maior atenção em virtude do balanço sedimentar acentuadamente elevado registrado em um curto período de tempo, bem como por apresentar uma área bastante suscetível a um futuro processo de rompimento, que no caso das barreiras costeiras pode ocorrer de maneira brusca e irreversível devido seu maior grau de exposição aos agentes marinhos.

Figura 68– Variação anual do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)



Fonte: O Autor

Figura 69– Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 2 - SPIT - (P2-S)



Fonte: O Autor

Figura 70 – Principais setores do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)

Setor abrigado (canal de maré)



Setor central

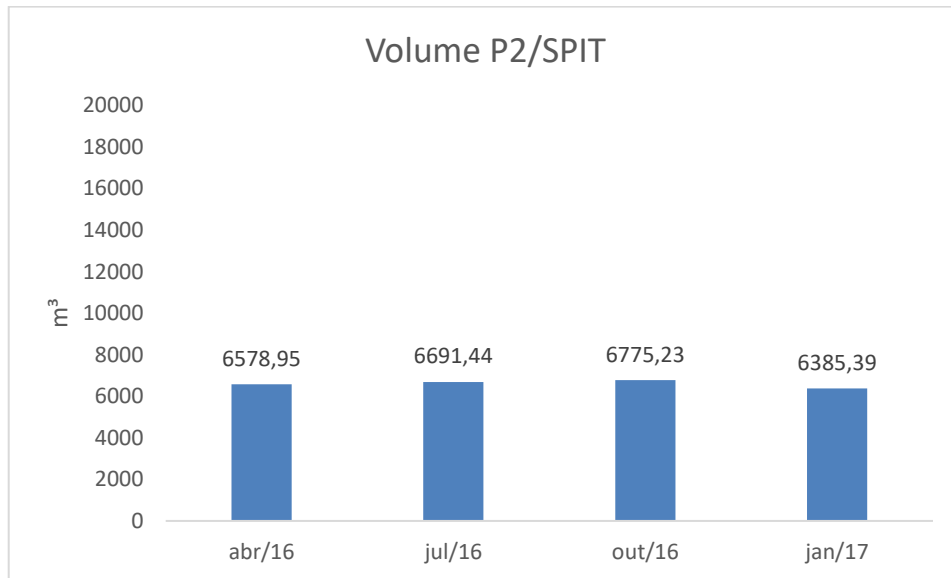


Setor exposto (oceano)



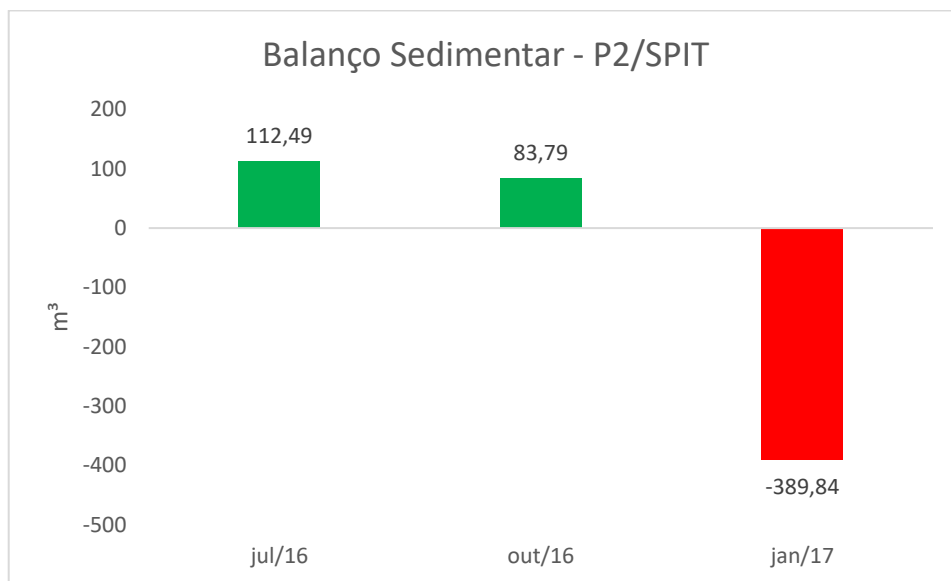
Fonte: O Autor

Gráfico 40 – Volume do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)



Fonte: O Autor

Gráfico 41 – Balanço sedimentar do Perfil 2 - SPIT - (P2-S)



Fonte: O Autor

3.4.3 Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema *spit*-ilha barreira – Perfil 3 *Spit*

O perfil 3 (P3-S) está localizado mais distante perfil 2, a leste, próximo à área central do sistema *spit*-ilha barreira, tendo apresentado extensão média de 350 metros. Foi o perfil que registrou o maior déficit sedimentar dentre os cinco efetuados na barreira, com volume negativo de 1.164,74 m³ entre os meses de outubro de 2016 e janeiro de 2017 (gráfico 42 e gráfico 43).

As principais alterações morfodinâmicas concentraram-se nos setores abrigado e exposto. Nos meses de abril a outubro de 2016 a configuração morfológica permaneceu relativamente estável. A partir de janeiro de 2017 verificou-se perda substancial do volume sedimentar no setor exposto (figura 71 e figura 72) em função provavelmente da atuação mais intensa das ondas de NNE que passaram predominar na área, associando-se à ocorrência de eventos de alta energia que começam a atuar nesse período do ano.

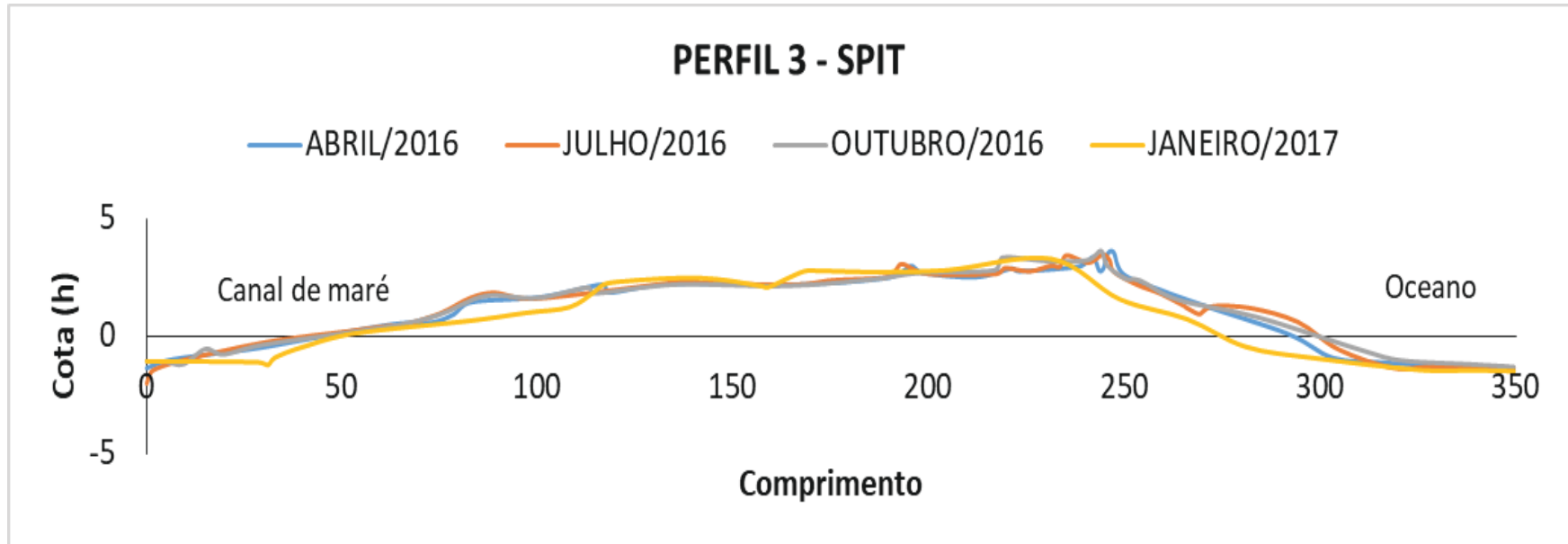
Esse processo atuou de maneira diferenciada do que ocorreu nos perfis 1 e 2, onde o setor mais exposto sofreu variação sedimentar positiva em função da aproximação de barras submersas nesse mesmo período. No perfil 3 a atuação mais intensa dos eventos de alta energia e a mudança no posicionamento de ondas promoveu o recuo do setor mais exposto.

O setor abrigado apresentou canal de maré com maior profundidade, de até 2 metros, permitindo inclusive a aproximação de embarcações pesqueiras de pequeno porte, como a que transportou nossa equipe de pesquisa até o ponto de monitoramento (figura 73). O aprofundamento do canal acompanhou o processo geral de remobilização sedimentar neste setor à retrobarreira, com sensíveis perdas no mês de janeiro, acompanhando a mesma tendência verificada no setor exposto.

O setor central permaneceu apresentou-se mais plano e estável ao longo da maior parte do ano (figura 71), tendo inclusive apresentado ganho sedimentar no mês de janeiro, principalmente na área mais próxima ao setor exposto, muito provavelmente em função do empilhamento do pacote sedimentar durante os eventos de alta energia.

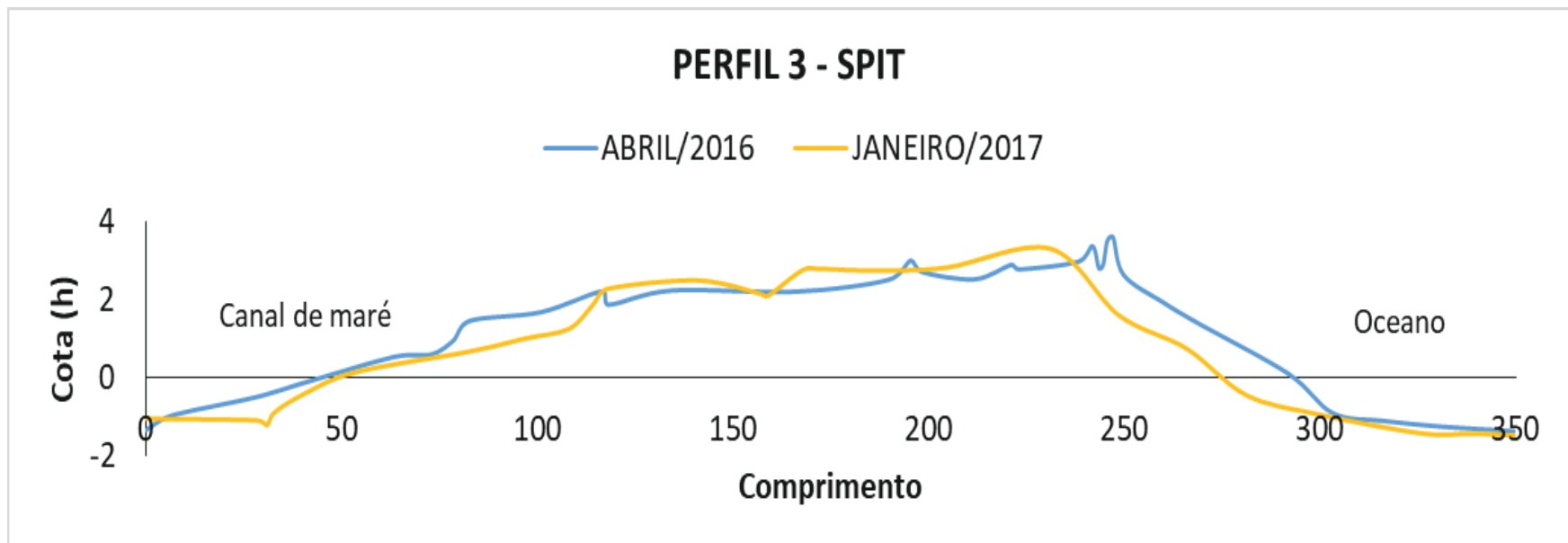
O comportamento morfosedimentar do perfil 3 nos alerta para o fato de que mesmo a porção mais central das barreiras costeiras podem apresentar alterações sensíveis, levando a perdas sedimentares consideráveis e causando neste caso um estreitamento geral, que é pode ser o início do processo de rompimento da barreira costeira.

Figura 71 – Variação anual do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)



Fonte: O Autor

Figura 72 – Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 3 - SPIT - (P3-S)



Fonte: O Autor

Figura 73 – Principais setores do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)

Setor abrigado (canal de maré)



Setor central

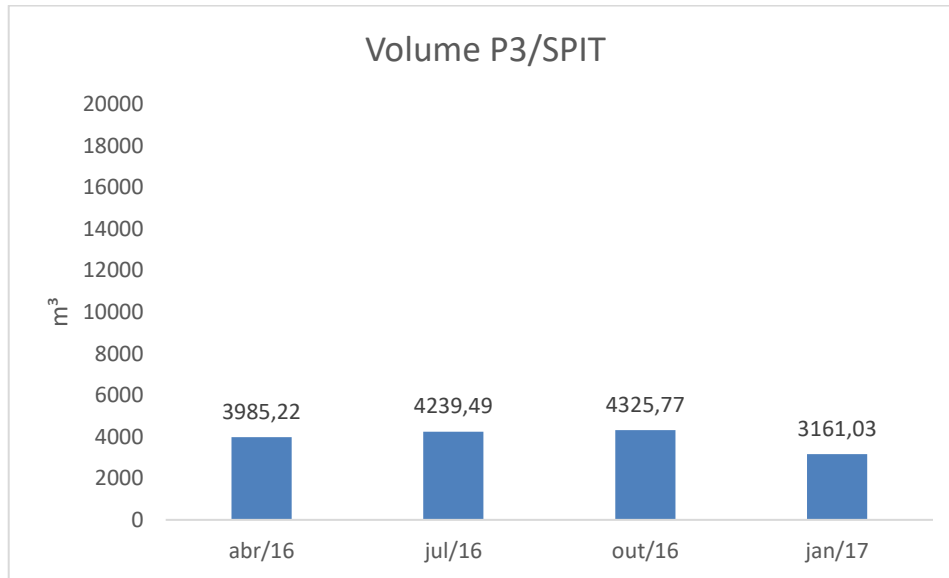


Setor exposto (oceano)



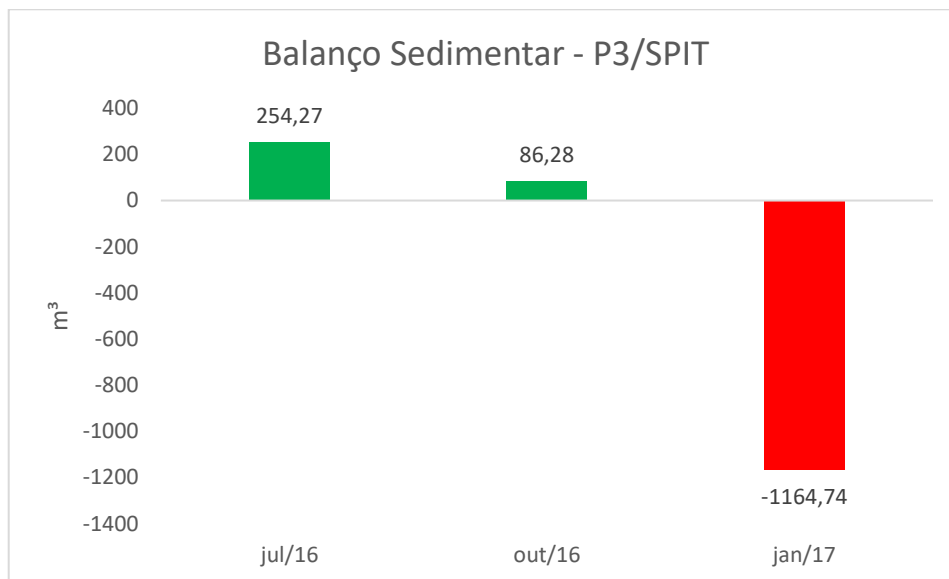
Fonte: O Autor

Gráfico 42 – Volume do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)



Fonte: O Autor

Gráfico 43 – Balanço sedimentar do Perfil 3 - SPIT - (P3-S)



Fonte: O Autor

3.4.4 Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema *spit*-ilha barreira – Perfil 4 *Spit*

O perfil 4 (P4-S) está localizado na área central do sistema *spit*-ilha barreira, sendo o mais extenso dentre os cinco, com extensão média de 650 metros e apresentando o maior volume sedimentar, superior a 17.000 m³. Por estar situado na porção mais estável da barreira costeira apresentou também o comportamento morfodinâmico mais equilibrado, permanecendo praticamente inalterado do ponto de vista da configuração morfológica, conforme figuras 74 e 75.

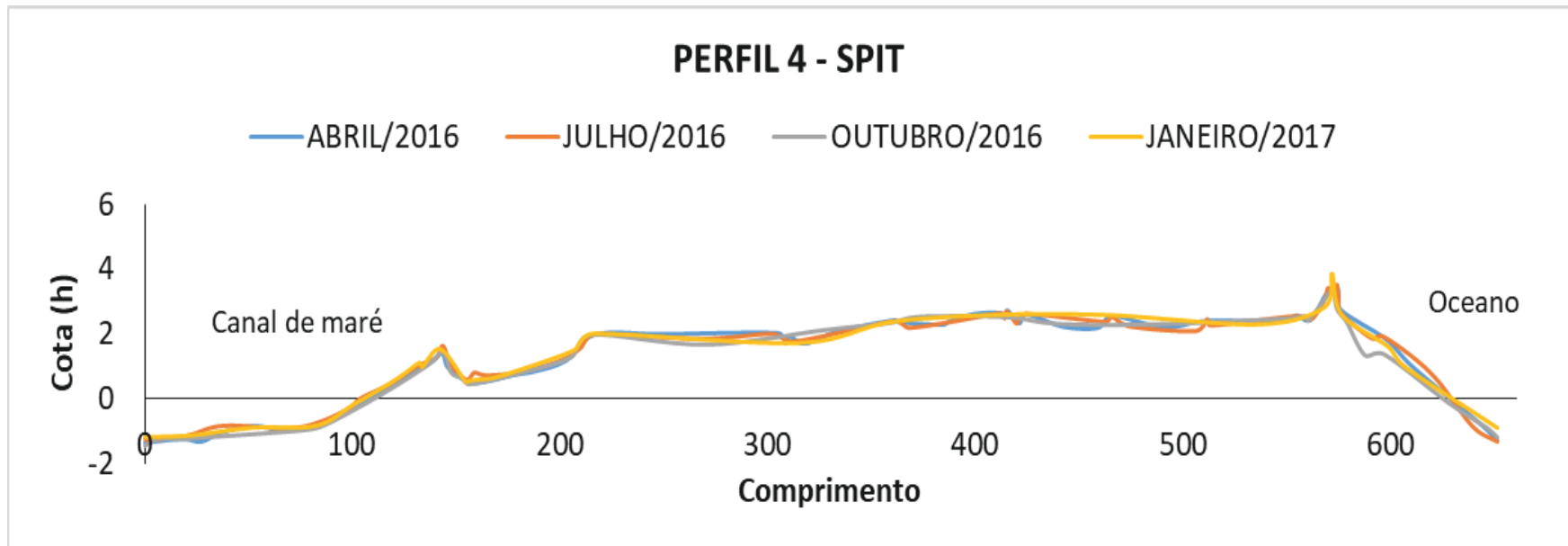
O setor central do perfil 4 apresenta-se como a área mais plana de toda a barreira costeira, onde verifica-se a formação espaçada de dunas de pequena porte (figura 76). Estas dunas também ocorrem no setor exposto, contribuindo para a formação de uma zona de berma bem desenvolvida, e oferecendo maior resistência aos processos erosivos, o que impede a maior mobilidade sedimentar como a verificada em outras áreas da barreira costeira. Em função disso, entre os meses de julho e outubro de 2016 foi registrado o único período de déficit sedimentar, conforme o balanço elaborado (gráficos 44 e 45). A atuação mais intensa dos processos eólicos nesse período, com as maiores velocidades de vento atingindo médias de 12.1 m/s e direção ESE, indicam a remobilização sedimentar em alguns trechos desse setor, evidenciando a atuação desses processos também como agente erosivo, e não apenas como agente deposicional.

O setor exposto, voltado ao oceano, apresentou alterações morfodinâmicas pouco significativas, merecendo destaque os processos erosivos ocorridos entre julho e outubro de 2016, que contribuiriam para o maior volume de sedimentos perdidos na área mais exposta do perfil, em função da ação eventual e mais destrutiva de algum evento de alta energia. A barreira protetiva criada pelo sistema de dunas frontais na porção mais elevada deste setor atuou no sentido de evitar maiores danos nos setores mais internos da barreira costeira.

Já o setor abrigado, próximo ao canal de maré, permaneceu praticamente inalterado do ponto de vista da configuração morfológica. A maior estabilidade morfodinâmica desse trecho da barreira costeira criou um ambiente de baixa energia, com concentração de sedimentos mais finos e lamosos, oferecendo melhores condições de matéria orgânica. Isto possibilitou a formação de uma vegetação de mangue já bem desenvolvida, ofertando assim mais equilíbrio ainda a partir da estabilidade exercida por suas raízes, gerando maior retenção de sedimentos e maior resistência à mobilidade sazonal.

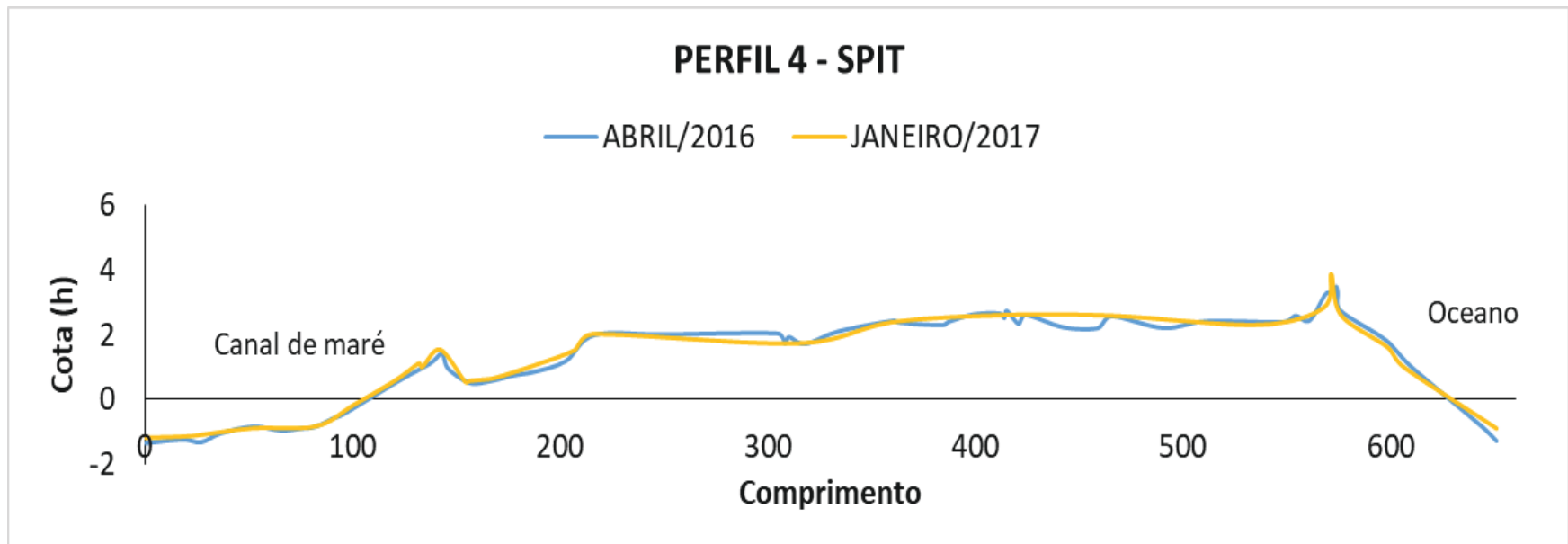
Este perfil indica, portanto a área do sistema *spit*-ilha barreira menos suscetível aos processos migratórios, sendo extremamente importante para a estabilidade da linha de costa abrigada em função da sua função protetiva, que permanece inalterada a maior parte do ano.

Figura 74 – Variação anual do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)



Fonte: O Autor

Figura 75 – Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 4- SPIT - (P4-S)



Fonte: O Autor

Figura 76 – Principais setores do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)

Setor abrigado (canal de maré)



Setor central

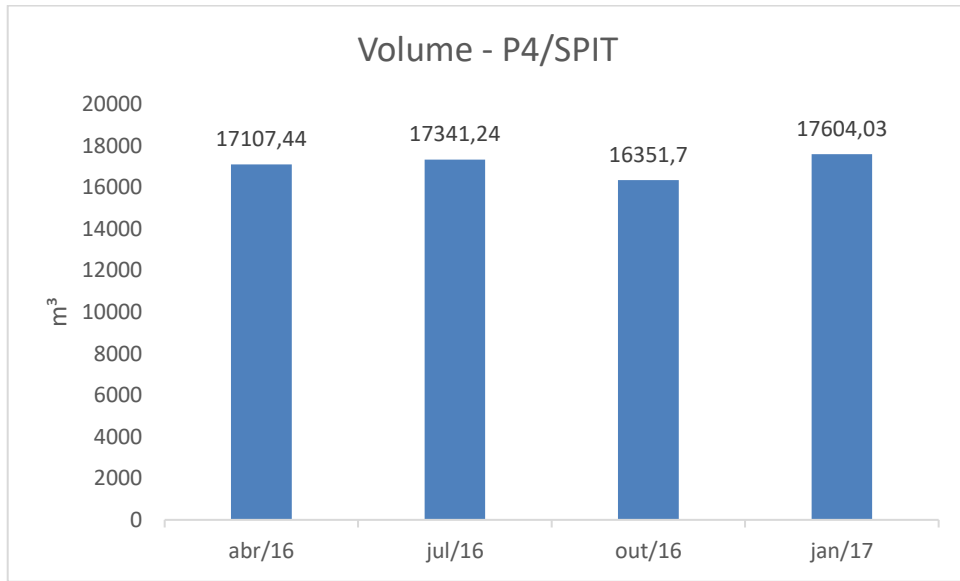


Setor exposto (oceano)



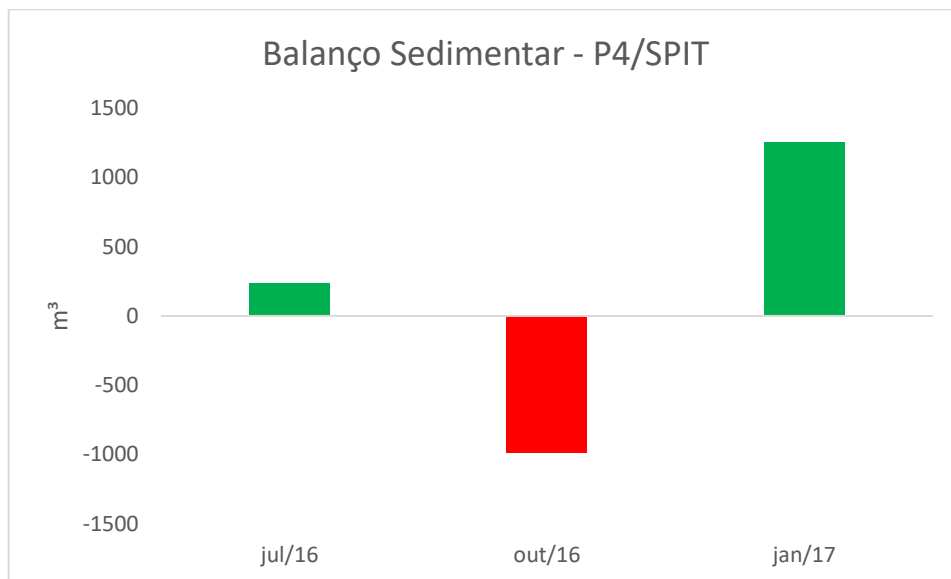
Fonte: O Autor

Gráfico 44 – Volume do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)



Fonte: O Autor

Gráfico 45 – Balanço sedimentar do Perfil 4 - SPIT - (P4-S)



Fonte: O Autor

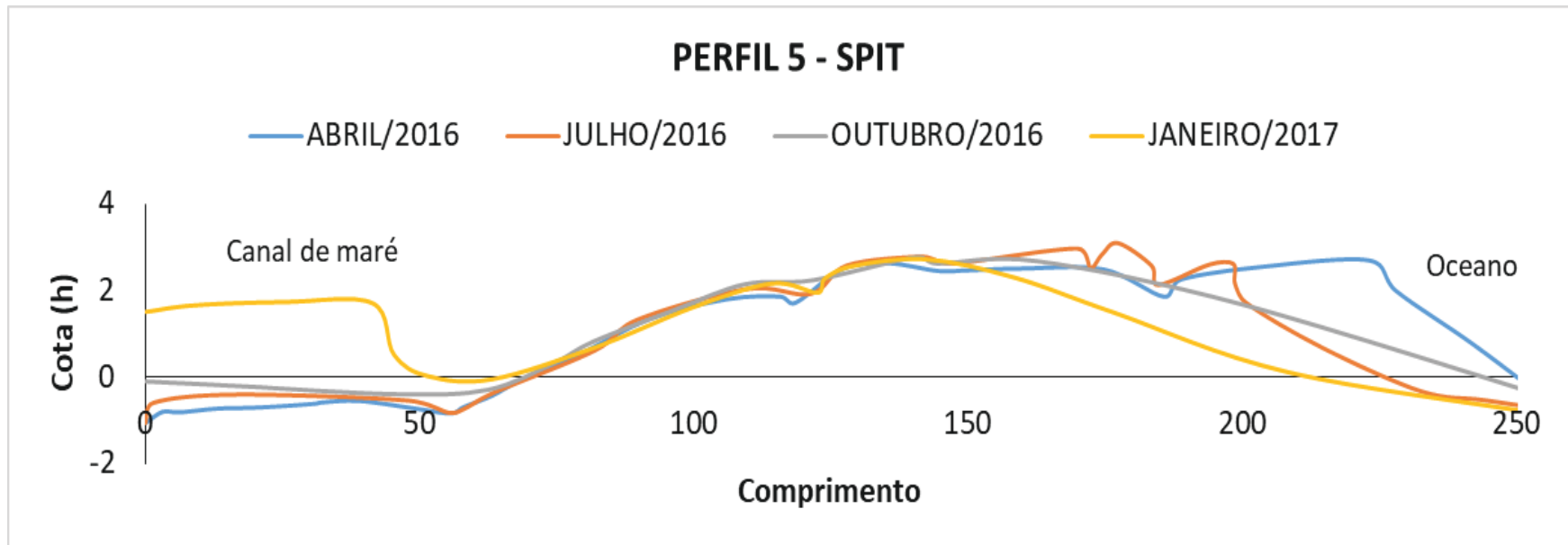
3.4.5 Comportamento morfodinâmico sazonal do sistema *spit*-ilha barreira – Perfil 5 *Spit*

O perfil 5 (P5-S) está localizado na porção extrema oposta ao perfil 1, na área onde ocorre a conexão/desconexão da barreira costeira, ora conectada ao continente por essa extremidade, configurada neste caso como *spit*, ora desconectada, configurando-se assim como ilha-barreira. Em função disso, foi o perfil que apresentou comportamento morfodinâmico mais variado, atestando a intensa dinâmica sedimentar existente ao longo do ano. Apresentou a segunda menor extensão ao lado do perfil 1, com extensão de 256 metros. Esse maior estreitamento é típico deste ponto da barreira costeira em virtude das constantes remobilizações sedimentares, que tornam essa área bastante instável do ponto de vista morfodinâmico, alternando fases de perdas e ganhos sedimentares de maneira muito rápida.

O setor exposto da barreira costeira foi um dos que apresentou as mudanças mais significativas, tendo ocorrido um nítido recuo (figura 77 e figura 78) em direção ao continente, e formação de sulcos na porção superior da barreira, em função provavelmente de sobrelavagem por ondas e marés, na comparação entre os meses de abril e julho de 2016. O déficit nesse período foi de 398,29m³ de sedimentos (gráfico 46 e 47), o único em que foi registrada uma variação negativa. Por ser um setor mais rebaixado topograficamente em relação aos demais perfis, além de ser mais estreito, acabou ficando bastante exposto à ação direta das ondas e marés.

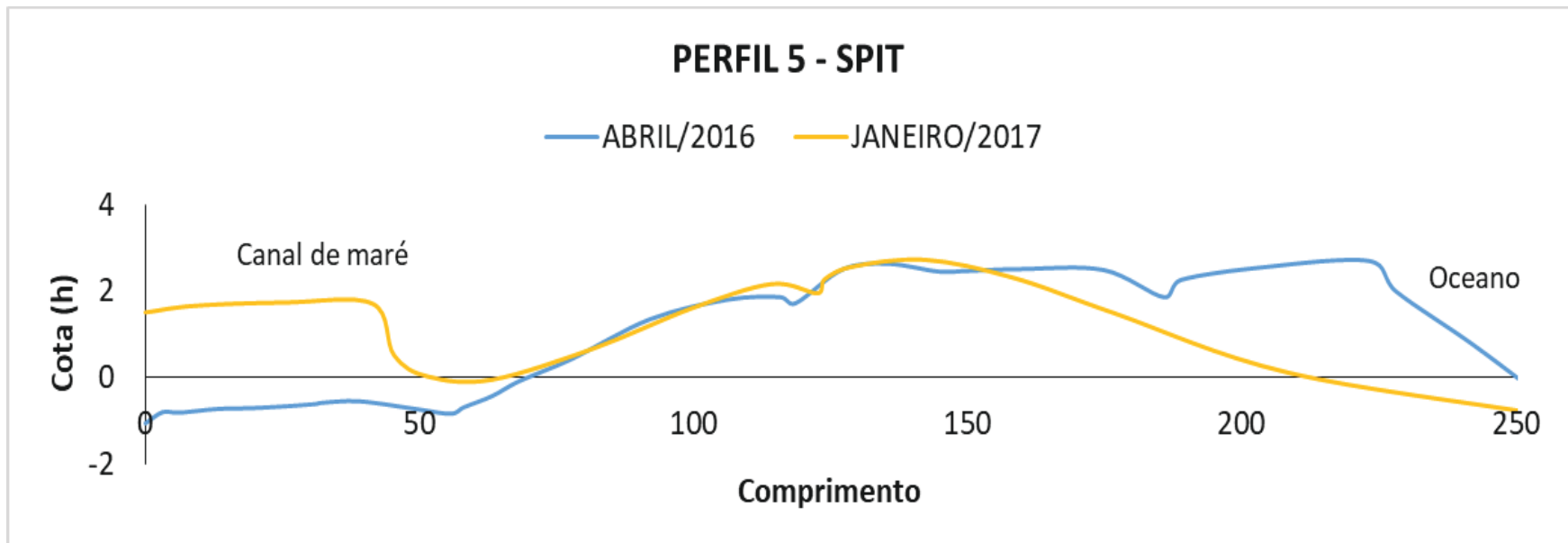
O setor central apresentou maior estabilidade, apresentando dunas embrionárias na porção mais posterior, e com ocorrência de vegetação costeira atuando no sentido de conter a retirada de sedimentos. Já o setor abrigado, assim como o setor exposto, apresentou profundas alterações morfodinâmicas, sendo a mais significativa delas a formação de um banco arenoso no interior do canal de maré, indicando o início do processo de reconexão entre a barreira costeira, no momento configurado como ilha barreira, e o continente. Ou seja, sua reconfiguração como *spit*. Entre os meses de abril e julho de 2016 o canal de maré apresentou-se mais estável, com profundidade em torno de 1,061. No mês de outubro registrou-se uma diminuição sensível de profundidade, passando a apenas 0,102. Em janeiro de 2017, passou a apresentar uma cota positiva de 1,507 metros, indicando a formação de um banco arenoso de dimensões significativas à retrobarreira (figura 79). O surgimento desse banco arenoso ocorreu justamente no período de maior recorrência de eventos de alta energia, capazes de remobilizarem grande volume de sedimentos aprisionados nos setores submersos próximos à barreira. Trata-se, portanto, de uma área altamente instável, com acelerados processos de acreção e remoção do pacote sedimentar, causando ampla reconfiguração morfológica, com efeitos sobre a própria barreira costeira e sobre a linha de costa associada.

Figura 77 – Variação anual do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)



Fonte: O Autor

Figura 78 – Comparação entre o mês inicial e final de monitoramento Perfil 5- SPIT - (P5-S)



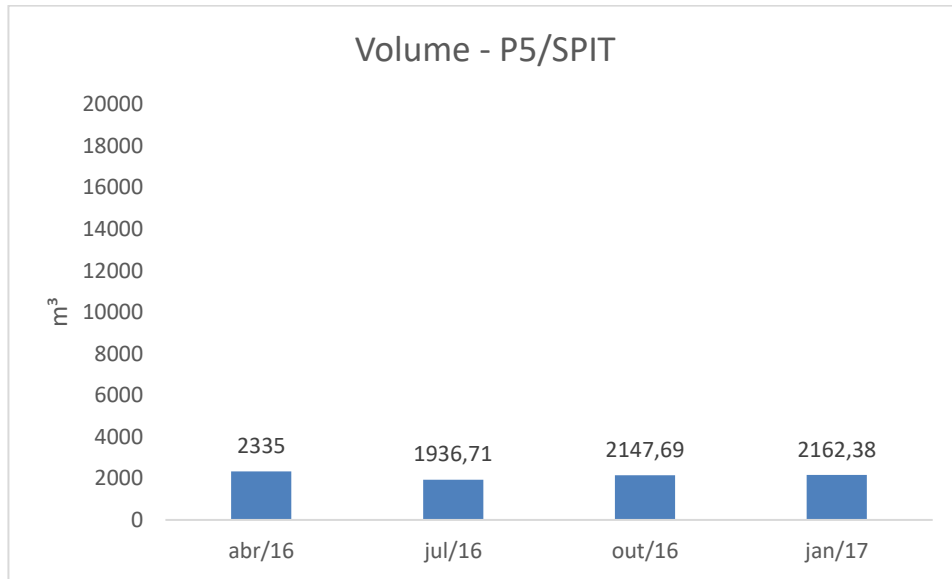
Fonte: O Autor

Figura 79 – Principais setores do Perfil 5- SPIT - (P5-S)



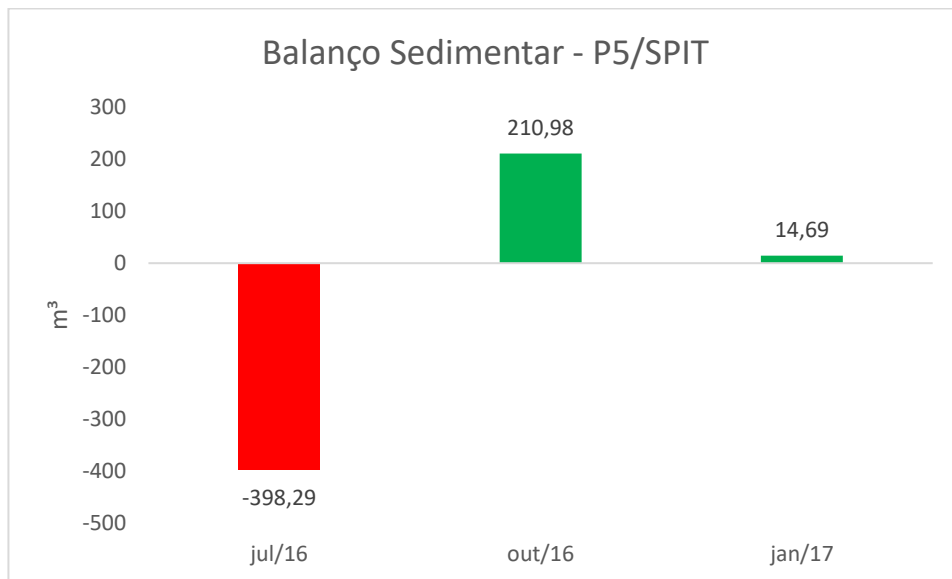
Fonte: O Autor

Gráfico 46 – Volume do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)



Fonte: O Autor

Gráfico 47 – Balanço sedimentar do Perfil 5 - SPIT - (P5-S)



Fonte: O Autor

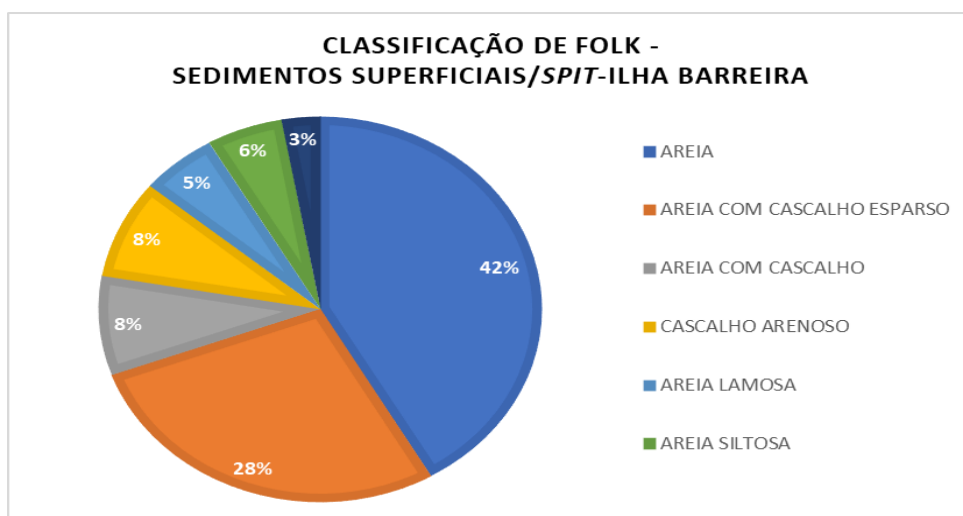
3.4.6 Comportamento sedimentar sazonal do sistema *spit*-ilha barreira

O comportamento sedimentar sazonal do sistema *spit*-ilha barreira foi compreendido a partir das coletas de sedimentos superficiais nos três setores (exposto: área do estirâncio; central: dunas; abrigado: canal de maré). É importante destacar que as coletas foram efetuadas durante as quatro campanhas de levantamento (abril, julho e outubro de 2016, e janeiro de 2017), porém em somente três, dos cinco perfis (P1-S; P4-S; P5-S). Isso permitiu a compreensão da dinâmica sedimentar nos setores antagônicos da barreira costeira, respectivamente extremidade oeste, porção central e extremidade leste.

As coletas nos perfis P2-S e P3-S não foram efetuadas em função das condições logísticas de campo, já que o caminhamento da barreira costeira para realização de monitoramento da linha de costa, realização de perfis e coletas foi efetuado inteiramente a pé, sem o auxílio de veículo, inviabilizando esta tarefa. Deste modo, dada a maior proximidade entre esses perfis e os demais, foi possível inferir padrões de sedimentação semelhantes a partir dos resultados obtidos nas coletas dos demais perfis, optando-se por não coletar as amostras superficiais nos referidos perfis.

A partir da aplicação classificação de Folk para as 36 amostras coletadas, os sedimentos superficiais que compõem a barreira costeira foram classificados em sua maioria como areia e areia com cascalho esparsos, compondo 70% do recobrimento sedimentar (gráfico 48), ressaltando o caráter eminentemente arenoso da barreira costeira. Uma pequena fração (8%) relaciona-se à presença de cascalho arenoso, em função das frações mais grossas depositadas por agentes de maior energia no setor exposto ou central, enquanto que 11% da área do sistema *spit*-ilha barreira é recoberta por areia lamosa e areia siltosa, referentes, sobretudo ao setor abrigado (retrobarreira), em função do ambiente de baixa energia.

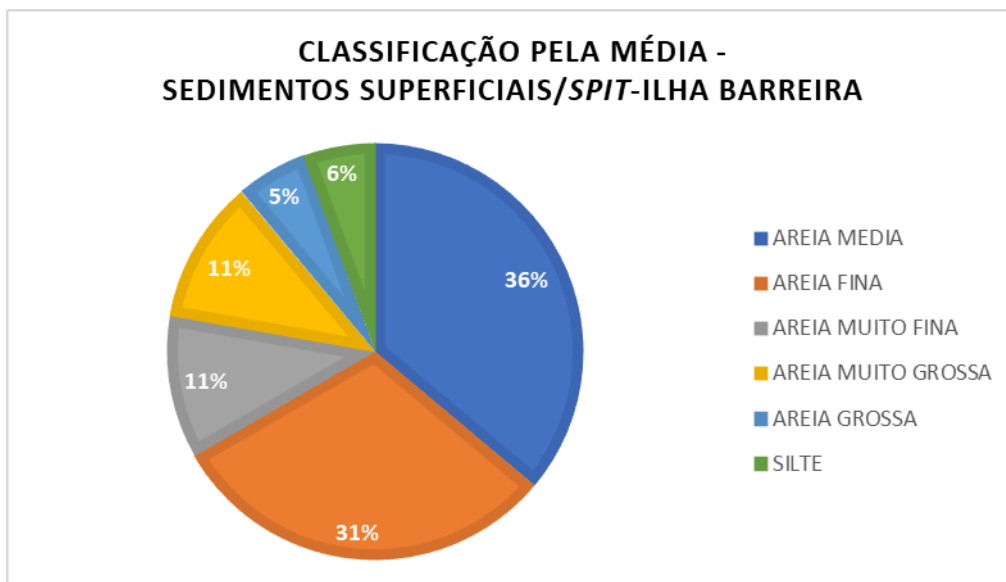
Gráfico 48 – Classificação de Folk aplicada aos sedimentos superficiais do sistema *spit*-ilha barreira



Fonte: O Autor

A partir da classificação pela média observou-se um relativo equilíbrio entre sedimentos finos e grossos (gráfico 49). 48% das amostras da barreira costeira correspondem ao material sedimentar mais fino (areia fina, muito fina e silte), ocorrendo principalmente no setor à retrobarreira e, eventualmente no setor central. As demais amostras corresponderam às frações granulométricas maiores, com areia média representando a maior parte (36%) e areia grossa e muito grossa correspondendo a 16%.

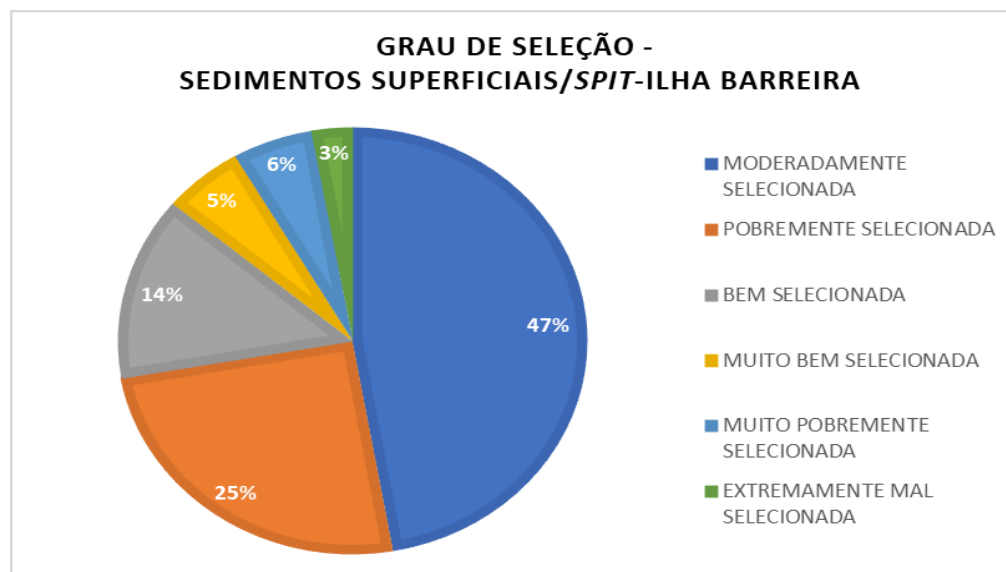
Gráfico 49 – Classificação pela média aplicada aos sedimentos superficiais do sistema *spit-ilha* barreira



Fonte: O Autor

Em relação ao grau de seleção (gráfico 50), verificou-se que o sistema *spit-ilha* barreira é recoberto principalmente por sedimentos moderadamente selecionados (47%) e pobremente selecionados (25%). As demais classes não refletem um padrão bem definido, em função da ação mais dinâmica e diversificada no espaço dos diversos agentes de transporte e deposição, sendo discutida mais detalhadamente adiante.

Gráfico 50 – Grau de seleção dos sedimentos superficiais do sistema *spit-ilha* barreira



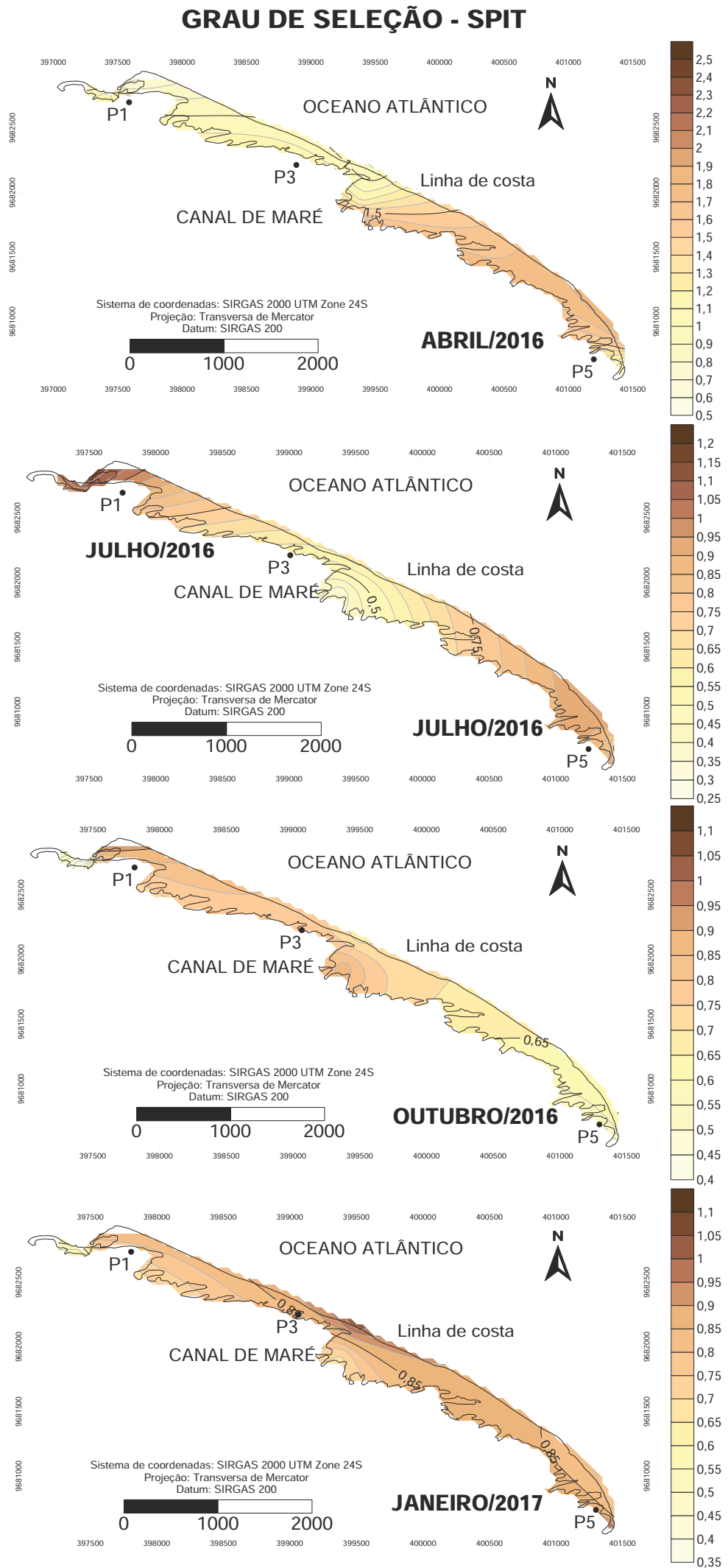
Fonte: O Autor

O fato de 47% das amostras superficiais de sedimentos no sistema *spit*-ilha barreira terem se apresentado como moderadamente selecionadas e 25% como pobremente selecionadas pode estar diretamente associado à miscelânea de agentes (hidrodinâmicos e subaéreos), bem como à elevada morfogênese a que está submetida a barreira costeira, apresentando uma tendência de estreitamento na sua largura e acresção lateral no sentido de retrabalhamento da corrente de deriva litorânea. Essa dinâmica condiciona a existência de depósitos sedimentares característicos de vários subambientes como paludiais, dunares, praias, entre outros.

Em Abril de 2016 os sedimentos dos perfis P1-S e P4-S apresentaram um selecionamento pobre à extremamente mal selecionado no setor central e abrigado, do canal de maré, enquanto no estirâncio do setor exposto, caracterizou-se como moderadamente selecionado. Já no P5-S, este padrão inverteu-se, com o estirâncio apresentando-se como pobremente selecionado, enquanto o canal de maré e o setor central apresentaram sedimentos moderadamente selecionados. No mês de Julho de 2016 houve maior selecionamento das amostras, principalmente no canal de maré e no setor central. Em Outubro de 2016 e Janeiro de 2017 foi observado um incremento das amostras com selecionamento moderado.

A grande variação do selecionamento nos diferentes setores indica a grande interação morfosedimentar entre perfil submerso e emerso associado à barreira costeira, permitindo que, assim como a barreira apresente grande variabilidade espaço-temporal, o padrão granulométrico apresente também sensíveis alterações sazonais, resultantes do maior retrabalhamento dos sedimentos na barreira, que se apresenta mais exposta e vulnerável às mudanças nos padrões morfodinâmicos e hidrodinâmicos, como evidenciado na figura 80.

Figura 80– Variação sazonal no grau de seleção dos sedimentos superficiais do sistema spit-ilha barreira



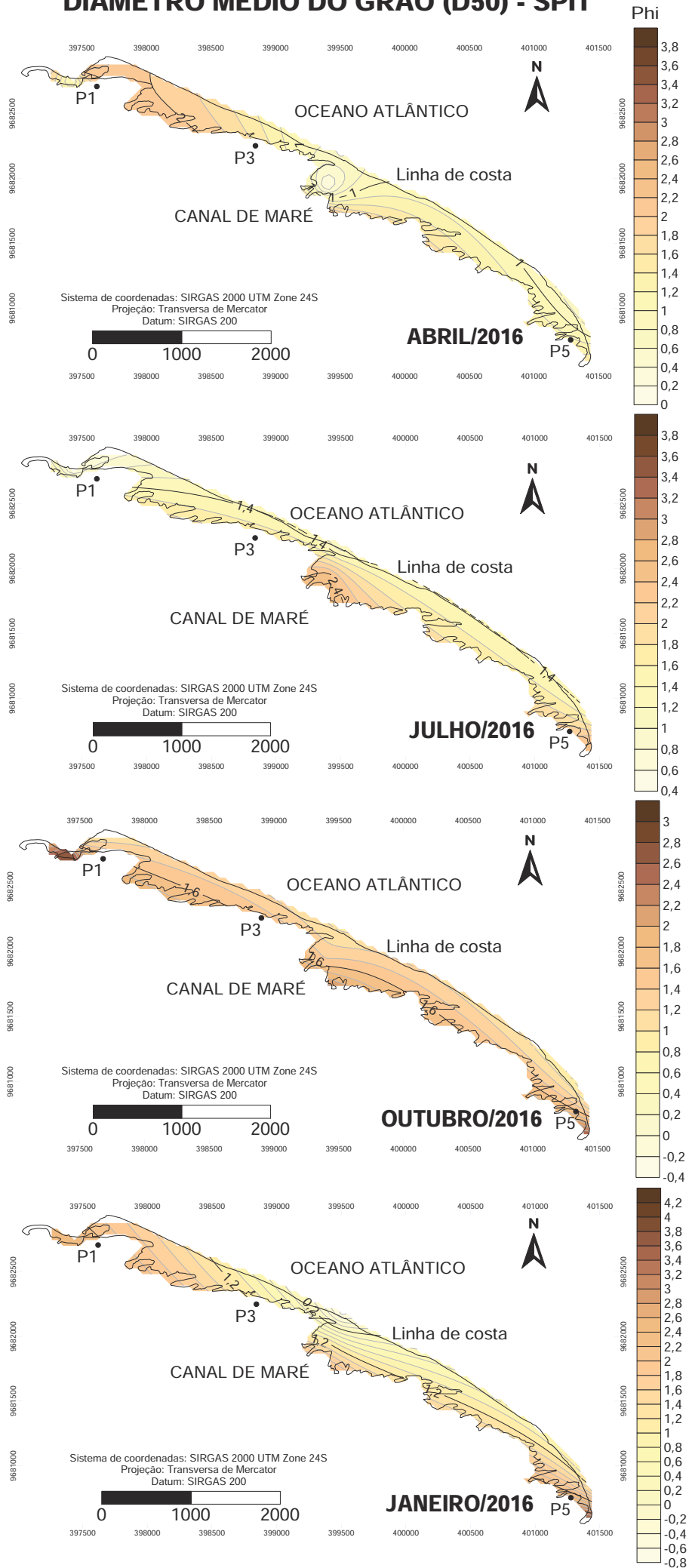
A partir da análise do D50, foi possível uma análise mais detalhada dos parâmetros granulométricos e sua espacialização no sistema *spit-ilha* barreira (figura 81). No setor central verificou-se que o P1-S apresentou uma significativa mudança granulométrica, passando de areia grossa (0,8 a 0,4 phi) em abril e julho de 2016, para areia fina (2,7 a 2,5 phi) em outubro de 2016 e janeiro de 2017. No P4-S houve o predomínio de areia média a grossa (1,3 a 0,1 phi), com exceção de julho de 2016 em que se verificou maior presença de areia fina (2,5 phi). O P5-S registrou principalmente areia média (1,9 a 1,4 phi), com exceção de julho de 2016, quando predominou areia fina (2,5 phi). Esta granodecrescência no mês de julho no P4-S e P5-S está relacionada provavelmente à predominância dos processos eólicos, que durante o segundo semestre se tornam mais ativos, atuando como principal modelador do setor central (dunas).

O estirâncio, localizado no setor exposto (voltado ao oceano) apresentou as maiores alterações granulométricas associadas aos meses de abril de 2016 e janeiro de 2017, com predominância de areia fina (2,6 a 2,2 phi) nos meses de janeiro e abril no P1-S e de areia grossa (0,7 a 0,6 phi) em julho de 2016 e outubro de 2016. Neste setor do P1-S verifica-se que esta granodecrescência no início do ano não se associa diretamente com a diminuição os agentes hidrodinâmicos ou com aumento dos processos eólicos. O P4-S indicou predominância de areia grossa (0,96 a 0,83 phi) nos meses de abril a outubro, porém com granocrescência para cascalho e areia muito grossa (-0,7 phi) no mês de janeiro. No P5-S em abril, outubro e janeiro houve predomínio de cascalho a areia grossa (0,07 a -0,29 phi), porém no mês de Julho foi verificado uma diminuição da fração cascalho e aumento da fração areia grossa (0,71 phi). Desta forma, verificou-se que os pontos P5-S e P4-S apresentam predomínio de sedimentos grossos, principalmente o P5-S. Isto se deve à constante migração de bancos submersos e retrabalhamento de sedimentos, indicando atuação maior energia dos agentes remodeladores.

No canal de maré foi verificado que os meses de abril e janeiro apresentaram as maiores variações granulométricas. No P1S registrou-se o predomínio de areia fina (2,84 a 2,66 phi) em abril, outubro e janeiro, e de areia muito fina (3,74 phi) em julho. No P4-S, os meses de julho, outubro e janeiro apresentaram o predomínio de areia fina (2,93 a 2,58 phi), ao passo que o mês de abril apresentou areia muito fina (3,6 phi). Por sua vez, o P5-S apresentou uma decrescência granulométrica com o transcorrer dos meses, sendo abril com areia grossa (1,4 phi), julho e outubro com areia fina (2,79 a 2,49 phi) e janeiro com lama (4,11 phi). Desta forma, fica evidenciado que o canal de maré é o setor que tende a concentrar a maior parte de sedimentos finos, em função da zona relativamente abrigada na qual se desenvolve.

Figura 81 – Variação sazonal no diâmetro médio dos grãos dos sedimentos superficiais do sistema spit-ilha barreira

DIÂMETRO MÉDIO DO GRÃO (D50) - SPIT



Fonte: O Autor

A análise do carbonato de cálcio (CaCO₃) também foi efetuada nas 36 amostras coletadas, permitindo melhor compreender as características de composição e de deposição a que estão submetidos os sedimentos superficiais que compõem a barreira (figura 82).

Os meses de abril e julho apresentaram os maiores teores de CaCO₃, 71,6% e 64,3% respectivamente, com os menores teores ocorrendo em outubro (46,7%). Em relação às áreas de ocorrência, o setor central apresentou os maiores teores (64,5%), enquanto o setor exposto voltado para o oceano (estirâncio) e o setor abrigado (canal de maré) apresentaram os teores mais reduzidos (ambos com 58%).

A análise por perfis indicou que no canal de maré os perfis P1-S e P5-S apresentaram os maiores valores (respectivamente, 71,5% e 60,5%). O setor central apresentou os perfis P1-S e P5-S também como os de maiores valores (63,7% e 70,5%, respectivamente), ao passo que o estirâncio apresentou os pontos P1-S e P4-S com a maior concentração de CaCO₃ (respectivamente, 69,5% e 62,5%). Em relação ao perfil P1-S, observou-se que o setor central e o estirâncio apresentaram as maiores variações anuais de CaCO₃. No perfil P4-S, essa maior concentração se deu no estirâncio e no canal de maré, enquanto no perfil P5-S, o setor central e o canal de maré apresentaram as maiores variações.

A maior variabilidade de CaCO₃ na área do perfil P1-S, com concentração no setor central e estirâncio está relacionada à própria localização, que confere uma configuração morfodinâmica mais acelerada, devido às constantes remobilizações morfosedimentares e à atuação de eventos de alta energia promovendo a sobrelavagem eventual do setor central, devido à baixa cota topográfica e maior estreitamento.

A variabilidade CaCO₃ na área do perfil P4-S no estirâncio e canal de maré se deve à ação direta das ondas no setor exposto e à ação das correntes de maré no setor abrigado. A área do perfil P5-S apresenta maior variabilidade na concentração de CaCO₃ no setor central e o canal de maré em função de localizar-se numa região de grandes alterações morfosedimentar, onde o sistema *spit*-ilha barreira alterna suas fases de conexão e desconexão com o continente. Durante a fase em que se encontra conectado (*spit*) a corrente de maré apresenta uma importante ação na remobilização de organismos ricos em CaCO₃, influenciando na composição dos sedimentos no interior do canal de maré, e durante a fase em que se encontra desconectado (ilha-barreira) a ação das ondas passa a ser mais efetiva, atuando no retrabalhamento de material sedimentar rico em CaCO₃ proveniente diretamente do oceano, adentrando ao sistema de maneira mais rápida.

3.4.7 Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 1 Costa

O perfil 1 da costa (P1-C) está localizado na porção mais abrigada da linha de costa, praticamente alinhado ao perfil mais central da barreira costeira (P4-S). Apresentou extensão média aproximada de 90 metros, entre o setor de berma e o canal de maré. Assim como o P4-S, foi o perfil da linha de costa que apresentou maior equilíbrio morfodinâmico com volume médio de 45 m³, variando entre o mínimo de 39,2 m³ em abril e máximo de 49,3 m³ em julho, conforme gráfico 51.

A maior estabilidade exercida por esse setor do sistema *spit*-ilha barreira possibilitou a manutenção do padrão morfológico e topográfico do perfil P1-C (figuras 83 e 84), mesmo com as alterações nos padrões de sedimentação e no regime hidrodinâmico a que está submetida sazonalmente a linha de costa. Apesar disso, o registro do balanço sedimentar indicou a existência de dois períodos onde predominaram os processos erosivos (gráfico 52). Estes processos mostraram-se pouco expressivos, destacando-se o ocorrido entre outubro de 2016 e janeiro de 2017, ocasião em que foram remobilizados negativamente 5m³ de sedimentos.

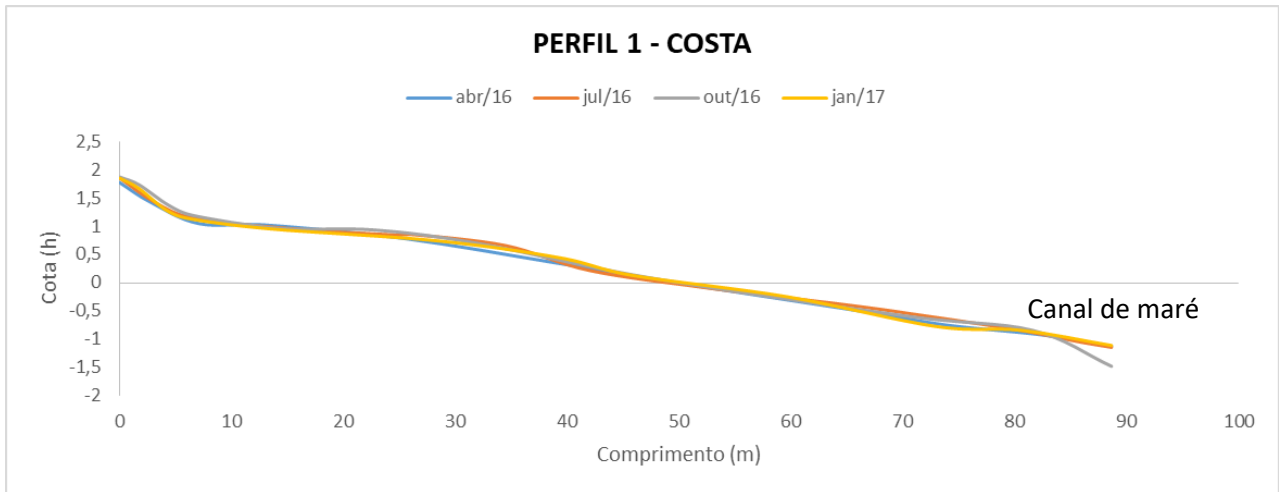
A análise do perfil indica que esses processos concentraram-se na área superior do canal de maré, cujo material sedimentar foi remobilizado para a área mais profunda do canal. A atuação mais intensa das correntes de maré vazante, em função do canal de comunicação estabelecido a leste, já que nesse período o sistema estava configurado como ilha barreira, provavelmente potencializou seu efeito de erodibilidade. Entre abril e julho de 2016 houve um ganho sedimentar considerável, de aproximadamente 10 metros cúbicos, concentrado na área de estirâncio, mas com ocorrência também na área de pós-praia.

A maior estabilidade existente em função da sua localização alinhada com a porção de menor mobilidade da barreira costeira, bem como o ambiente de baixa energia criado, possibilitou a acumulação de sedimentos siltosos na área do canal de maré, que apresenta certa variabilidade em função da acumulação ou remoção de barras arenosas submersas, principalmente durante o efeito mais incisivo dos agentes hidrodinâmicos.

Os processos eólicos são menos atuantes nesse setor da linha de costa, em função da menor extensão do perfil e do seu rápido recobrimento em decorrência da oscilação diária de marés, não permitindo a remobilização mais intensa dos grãos de areia molhados, bem como pela existência de material lamoso.

Apesar da maior estabilidade, a pequena extensão do perfil e seu maior confinamento em função da mobilidade sedimentar do canal de maré indicam que essa é uma área mais vulnerável a alterações bruscas, merecendo maior atenção.

Figura 83 – Variação anual do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)



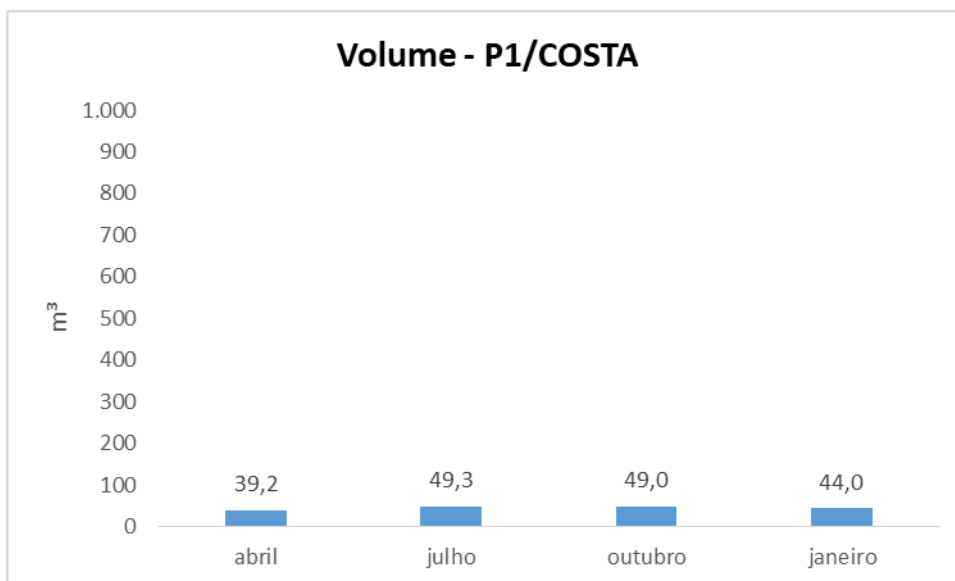
Fonte: O Autor

Figura 84– Visão geral do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)



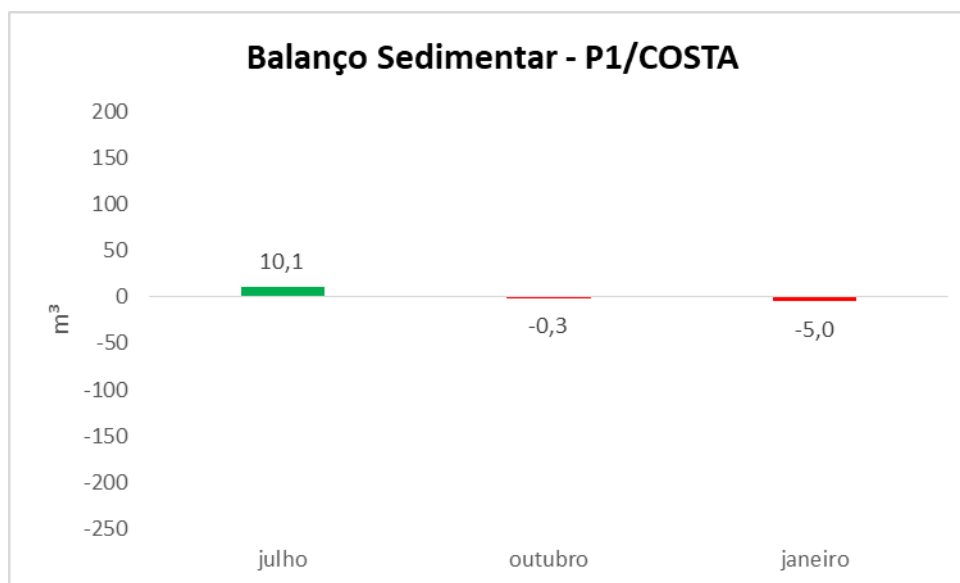
Fonte: O Autor

Gráfico 51 – Volume do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)



Fonte: O Autor

Gráfico 52 – Balanço sedimentar do Perfil 1 - COSTA - (P1-C)



Fonte: O Autor

3.4.8 Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 2 Costa

O perfil 2 da costa (P2-C) situa-se a oeste do perfil 1, encontrando-se aproximadamente alinhado ao perfil 3 (P3-S) da barreira costeira. Sua extensão média é a maior dentre todos os perfis efetuados na linha de costa, atingindo aproximadamente 230 metros. Diferentemente do perfil anterior, este apresentou comportamento morfodinâmico mais ativo (figura 85), com mudanças mais rápidas em alguns setores. Devido à maior extensão e volume, o balanço sedimentar indicou uma maior remobilização de sedimentos (gráficos 53 e 54).

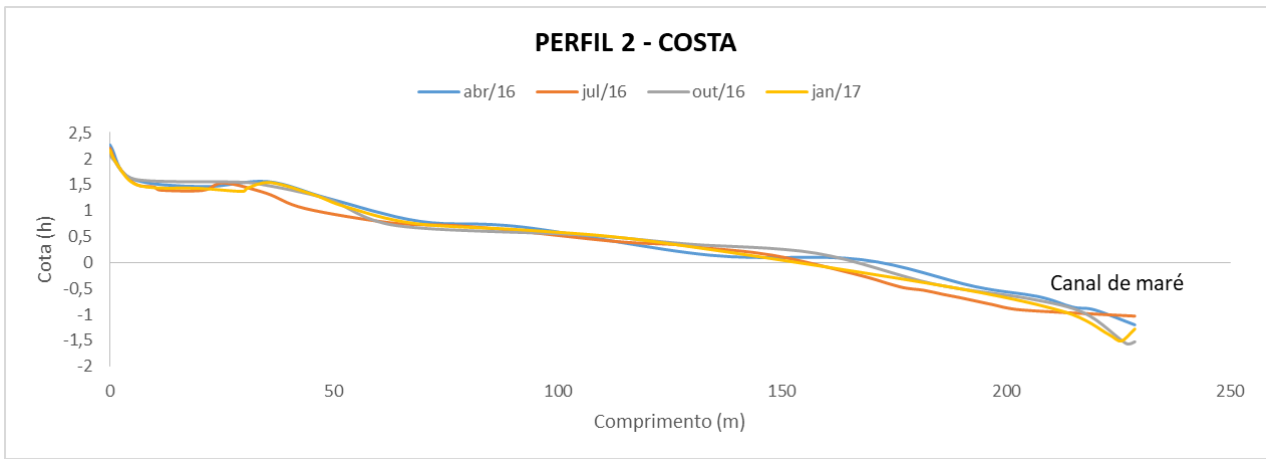
Entre abril e julho foi registrado o maior déficit sedimentar, em função da remoção de aproximadamente 185 m³ de sedimentos. Esta expressiva perda concentrou-se em dois setores: na porção superior, próximo ao pós-praia, e inferior, no interior do canal de maré. A análise do perfil construído demonstra que a remoção de sedimentos na porção superior da linha de costa serviu para reconstruir a porção inferior do perfil, que em alguns trechos, como no canal de maré, experimentou ganho sedimentar. A atuação mais forte de agentes hidrodinâmicos como a corrente de deriva litorânea deve ser uma das responsáveis por esse rápido remodelamento do perfil, atingindo os setores mais elevados da linha de costa, redepositando os sedimentos próximo ao canal de maré, que passa a se tornar menos profundo.

Entre julho e outubro houve um incremento significativo no volume sedimentar do perfil 2, com a entrada de aproximadamente 136 m³ de sedimentos, porém ainda insuficiente para reconstituir os 690m³ de volume sedimentar que o perfil apresentava no início do monitoramento, em abril. Essa recomposição ocorreu em praticamente todos os setores do perfil, concentrando, porém na porção inferior e superior do perfil, justamente as que haviam sofrido as maiores perdas no trimestre anterior. A remobilização dos sedimentos aprisionados no interior do canal de maré ou localizados em áreas próximas, provenientes da migração de bancos submersos em direção à costa podem explicar essa rápida recomposição.

Entre outubro e janeiro, ocorreu novo balanço sedimentar negativo, porém com menor volume perdido de sedimentos (80,19m³). Isto se deve principalmente ao aprofundamento do canal de maré, que acaba sendo mais erodido pela atuação de correntes de maré vazante.

O que se pode concluir desse perfil 2 é que apesar de mais extenso, está bastante condicionado à mobilidade do canal de maré (figura 86), com grande remobilização de sedimentos no sentido de erodir o topo e depositar na porção inferior ou o através do processo contrário. Por estar bastante rebaixado topograficamente, essa dinâmica pode causar alterações ainda mais significativas, como através da intensificação dos processos erosivos.

Figura 85 – Variação anual do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)



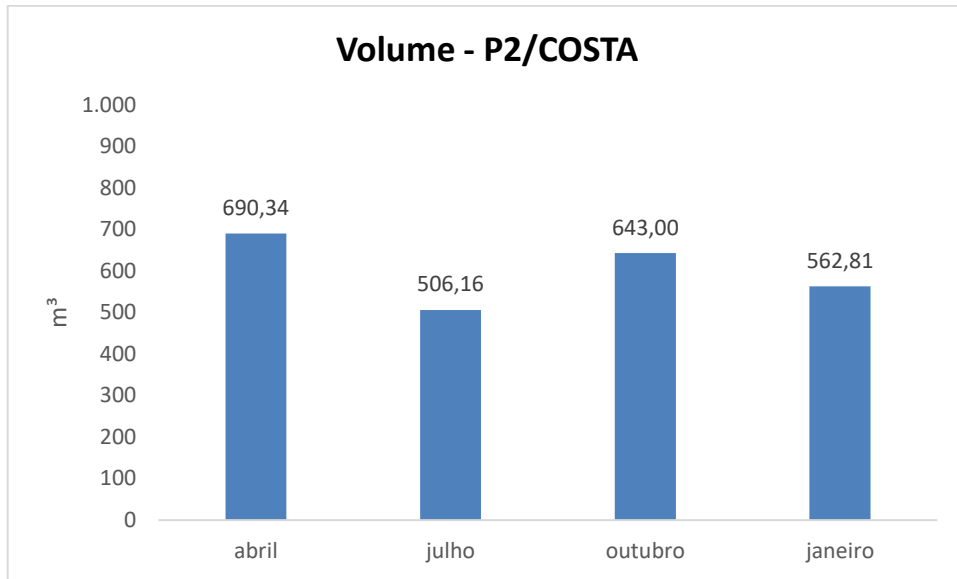
Fonte: O Autor

Figura 86 – Visão geral do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)



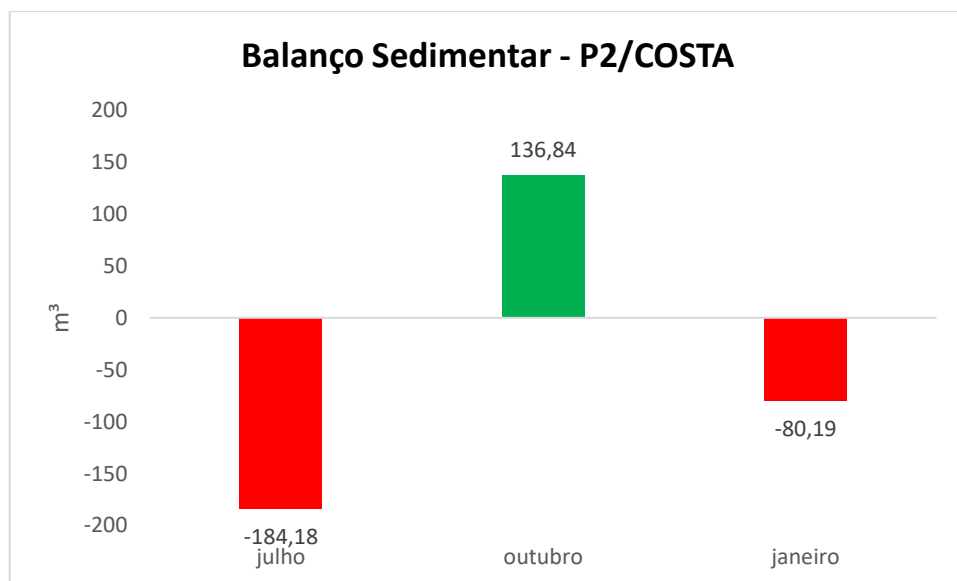
Fonte: O Autor

Gráfico 53 – Volume do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)



Fonte: O Autor

Gráfico 54 – Balanço sedimentar do Perfil 2 - COSTA - (P2-C)



Fonte: O Autor

3.4.9 Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 3 Costa

O perfil 3 da costa (P3-C) está localizado a oeste do perfil 2, estando aproximadamente alinhado ao perfil 2 (P2-S) da barreira costeira. A extensão média do perfil foi de aproximadamente 180 metros, e apresentou-se como um dos perfis mais planos (figura 87 e 88) e rebaixados dentre os demais realizados na linha de costa abrigada, com volume médio de 90m³, variando entre um volume máximo de 120,82m³ em outubro de 2016 ao volume mínimo de 52,32m³ em janeiro de 2017, em função do balanço sedimentar negativo ocorrido nesse período (gráfico 55 e gráfico 56).

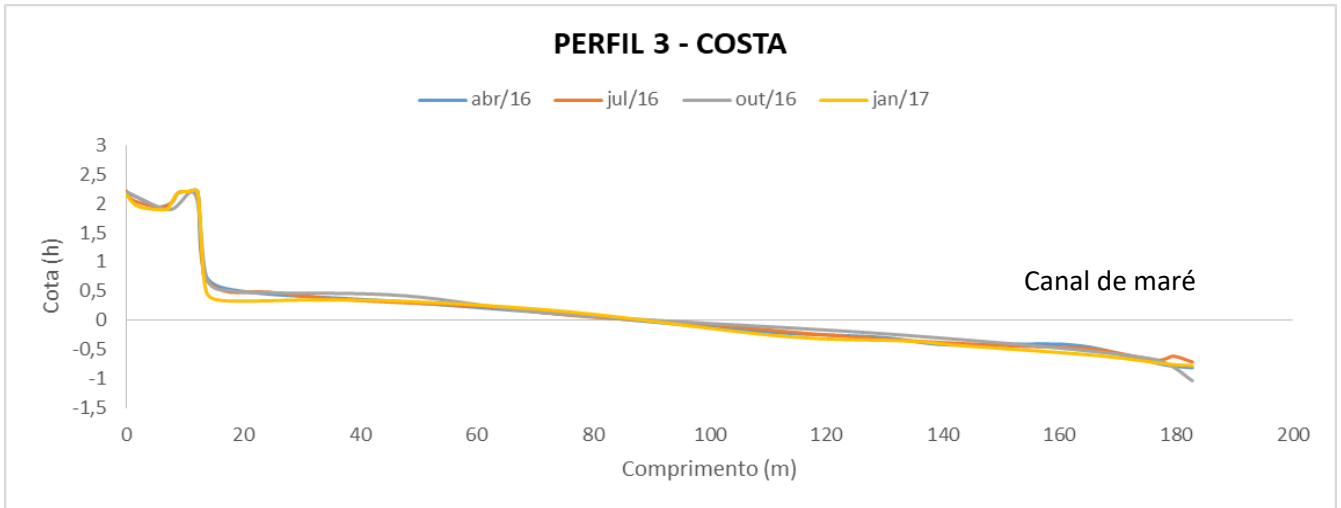
Diferentemente do perfil 2 (P2-C) de abril a julho de 2016 houve predomínio dos processos deposicionais, com pequeno incremento de aproximadamente 5 m³ no perfil, principalmente do setor submerso, no interior do canal de maré, tendo sido o período que apresentou-se menos profundo.

Os processos deposicionais continuaram a predominar no trimestre seguinte (julho-outubro), período em que foi verificado maior um significativo aumento no volume do perfil, aproximadamente 5 vezes superior ao registrado para o trimestre anterior. A análise dos setores responsáveis por esse incremento no volume sedimentar indica a concentração nas porções inferior e superior do perfil, indicando a migração de bancos submersos atuando no seu engordamento geral, assim como verificado no perfil P2-C.

Entre outubro de 2016 e janeiro de 2017 ocorreu balanço sedimentar negativo, o único registrado para o perfil durante todo o monitoramento. Aproximadamente 70 m³ de sedimentos foram perdidos, sendo menos perceptível na observação do perfil em função dele apresentar o maior volume médio em outubro, por conta do engordamento ocorrido no trimestre anterior, conforme já mencionado. As porções inferior e superior do perfil que haviam registrado acréscimo de sedimentos foram novamente erodidas, em especial a porção superior, que foi responsável pelas maiores perdas. O padrão morfológico plano e rebaixado desse perfil explica a potencialização dos processos erosivos na costa através da atuação agentes hidrodinâmicos, em geral mais intensos no início do ano.

A localização do perfil defronte aonde a barreira costeira sofre um expressivo estreitamento indica que durante processos de sobrelavagem ocorridos em eventos de alta energia pode haver o transpasse de grande volume de massa d'água oceânica, inundando toda a área do perfil, que por ser mais rebaixado e plano acaba sofrendo maior déficit sedimentar. Outro fato que evidencia isso é que nesse ponto da linha de costa, apesar de ser abrigada, há inúmeras estruturas de contenção da ação erosiva, por meio enrocamentos protegendo residências e estabelecimentos comerciais, o que indica que esses processos são recorrentes.

Figura 87 – Variação anual do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)



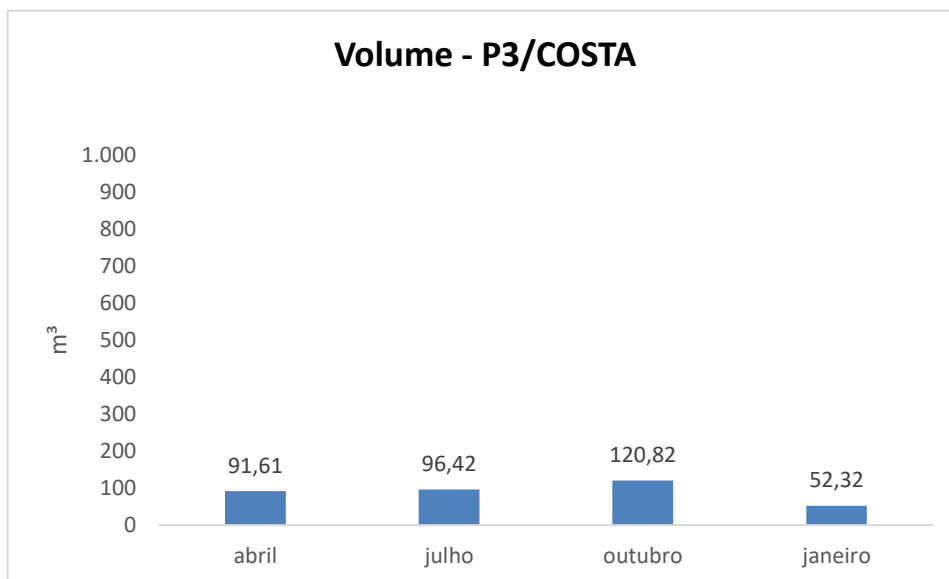
Fonte: O Autor

Figura 88 – Visão geral do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)



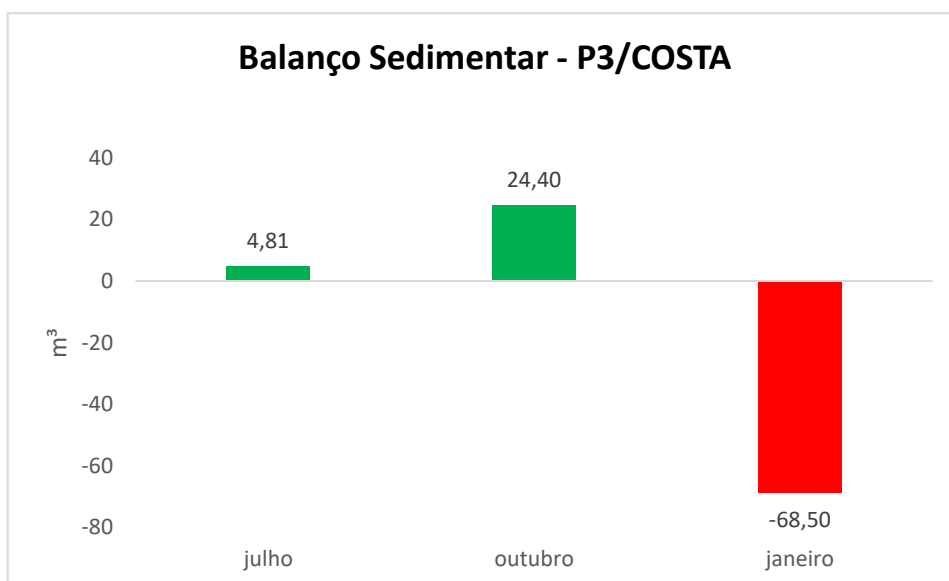
Fonte: O Autor

Gráfico 55 – Volume do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)



Fonte: O Autor

Gráfico 56 – Balanço sedimentar do Perfil 3 - COSTA - (P3-C)



Fonte: O Autor

3.4.10 Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 4 Costa

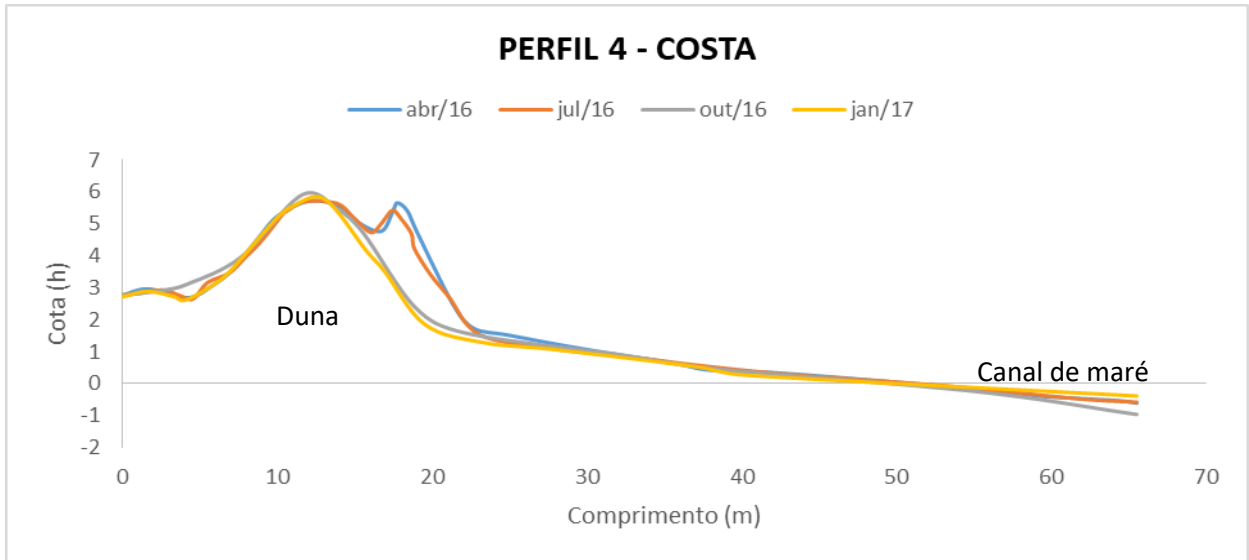
O perfil 4 da costa (P4-C) está localizado a oeste do perfil 3, estando alinhado ao perfil 1 (P1-S) da barreira costeira. É o perfil que apresentou menor extensão, com apenas 65 metros, sendo limitado em sua porção mais interior por uma duna de aproximadamente 6 metros de altura (figura 89). Além disso, é o último ponto abrigado da linha de costa, partindo do perfil P1-C, estando bem próximo da extremidade livre do sistema *spit*-ilha barreira (figura 90). Esta configuração incomum em relação aos perfis 1 a 4 da linha de costa evidencia também o comportamento morfodinâmico mais ativo, tendo sido o único perfil que apresentou redução constante do seu volume do início ao fim do monitoramento, caracterizando por apresentar balanço sedimentar negativo em todo o período (gráfico 57 e gráfico 58). Em função da existência de uma duna na parte superior, este perfil mesmo sendo o menor em extensão é o terceiro maior em volume sedimentar, com uma média de aproximadamente 200 m³.

Entre abril e julho de 2016, registrou-se um balanço sedimentar negativo da ordem de aproximadamente 4 m³. A remoção de sedimentos da escarpa da duna, promovendo um recuo ainda pouco significativo foi o processo erosivo mais evidente, denotando a ocorrência de processos eólicos atuando na remobilização inicial desses sedimentos.

Entre julho e outubro de 2016, período em que passa a haver uma intensificação dos ventos na Costa Semiárida Brasileira, os processos erosivos foram ainda mais expressivos. Um volume aproximadamente 4 vezes superior foi erodido do perfil, promovendo o recuo acelerado de toda a escarpa da duna. A atuação do vento como agente erosivo, aliada a processos hidrodinâmicos de solapamento da base da duna podem explicar esse rápido recuo. A maior proximidade com a extremidade da barreira costeira e o fato de ser um setor mais rebaixado e estreito indica que esses agentes hidrodinâmicos tendem a eventualmente potencializar sua ação erosiva neste setor da linha de costa abrigada, tendo ocorrido inclusive um aprofundamento do canal de maré nesse mesmo período. Outro indício importante de sobrelavagem na duna foi o engordamento verificado na sua porção interior nesse período.

Entre outubro de 2016 e janeiro de 2017 os processos erosivos permaneceram, só que de maneira menos intensa. O processo erosivo na escarpa da duna permaneceu, tendo havido um pequeno aplainamento do seu topo. O material sedimentar remobilizado foi depositado no setor do canal de maré, tendo havido um relativo assoreamento em função desse processo. O comportamento morfodinâmico desse perfil indicou que esse é um dos pontos da linha de costa abrigada mais vulnerável aos processos erosivos, que tendem a serem menos perceptíveis por ser uma área sem ocupação e com ocorrência expressiva de campo de dunas.

Figura 89 – Variação anual do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)



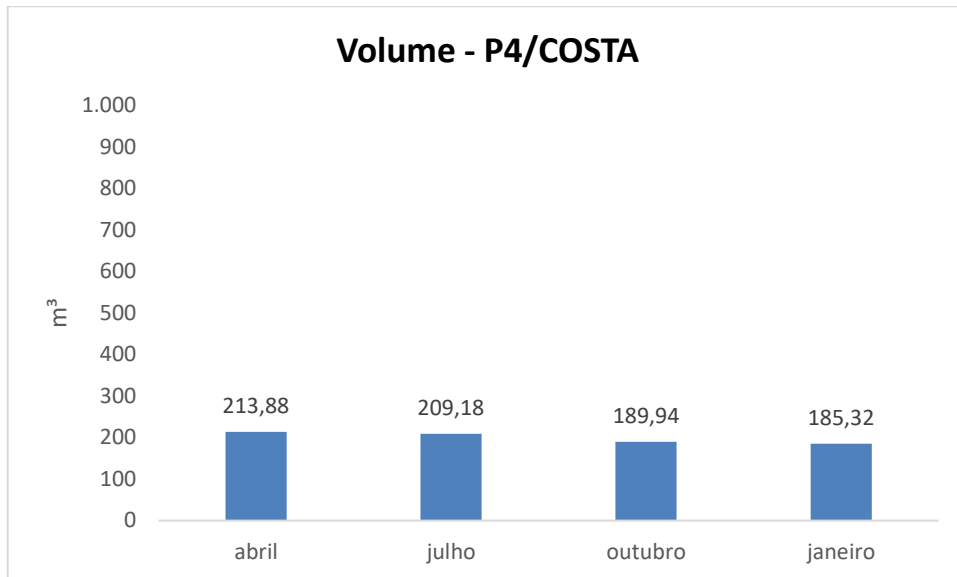
Fonte: O Autor

Figura 90– Visão geral do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)



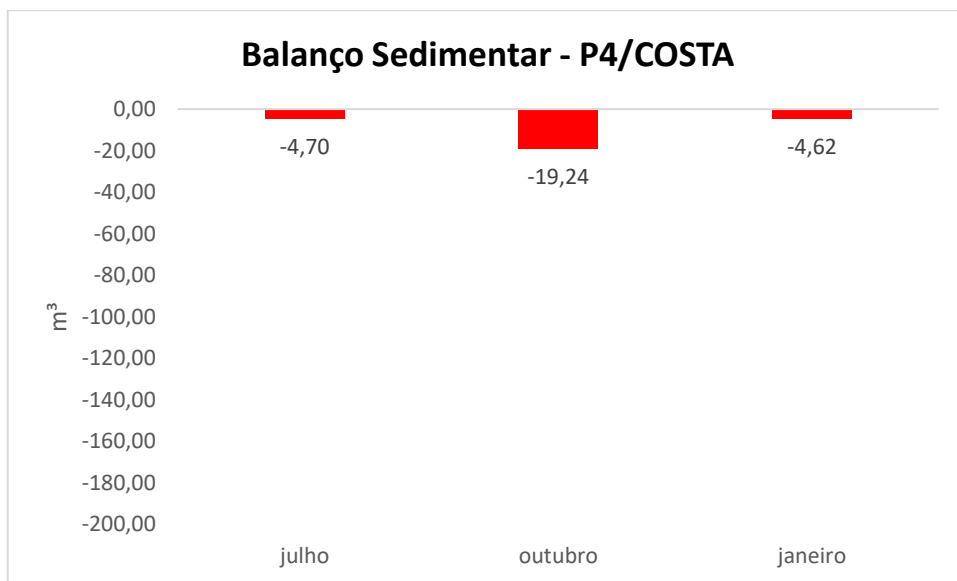
Fonte: O Autor

Gráfico 57 – Volume do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)



Fonte: O Autor

Gráfico 58 – Balanço sedimentar do Perfil 4 - COSTA - (P4-C)



Fonte: O Autor

3.4.11 Comportamento morfodinâmico sazonal da linha de costa – Perfil 5 Costa

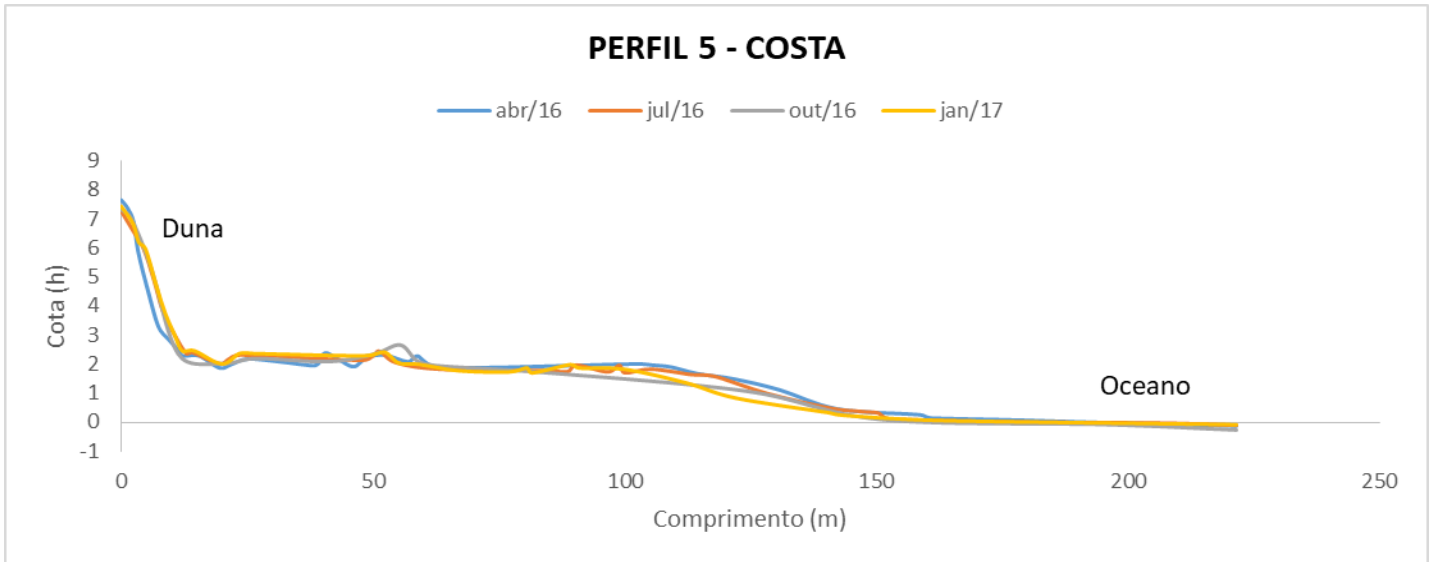
O perfil 5 da costa (P5-C) é o perfil mais a oeste, sendo o único que não está localizado na porção abrigada da linha de costa (figura 91). Assim como o perfil 4, apresenta a ocorrência de uma duna no setor superior, porém mais elevada (aproximadamente 8 metros), além de uma série de dunas frontais de pequeno porte que o tornam mais rugoso que os demais. Além desse aspecto morfológico diferenciado, trata-se do perfil com maior volume médio (gráfico 59 e 60), tendo atingido mais de 2.000 m³ no mês de abril de 2016 (valor três vezes superior ao perfil com segundo maior volume) e do segundo maior perfil em extensão, com aproximadamente 221 metros (figura 92). O comportamento morfodinâmico apresentou-se mais dinâmico, em função principalmente da remobilização de sedimentos na área de ocorrência de dunas frontais, que sofrem sobrelevagem eventual durante eventos de alta energia, provocando sua reconfiguração morfológica. A maior exposição deste setor da linha de costa determina a atuação mais intensa dos processos morfosedimentares e hidrodinâmicos nessa porção do litoral.

Entre abril e julho de 2016 foi registrado um déficit sedimentar de aproximadamente 35 m³, relativos ao rebaixamento do setor intermediário do perfil. A formação de alguns sulcos erosivos na área de ocorrência das dunas frontais indica o início da intensificação dos processos erosivos que, assim como no perfil 4, se potencializaram no trimestre seguinte. A porção mais elevada do perfil, na área da duna, sofreu engordamento, denotando o potencial de deposição dos processos eólicos nesse trecho da linha de costa, atestado pela maior dimensão do complexo de dunas existente em toda área.

Entre os meses de julho e outubro de 2016 o balanço sedimentar negativo foi de aproximadamente 130 m³, demonstrando que houve uma intensificação dos processos erosivos. Essa maior retirada de sedimentos não se apresentou de maneira localizada, já que houve um rebaixamento geral do perfil durante o período. Houve um aplainamento dos setores intermediário e inferior, caracterizando a destruição da maior parte das dunas frontais. A atuação recorrente ou episódica de eventos de alta energia, gerando sobrelevagem da maior parte do perfil explicaria esse comportamento morfodinâmico.

Entre outubro de 2016 e janeiro de 2017 o padrão de sedimentação inverteu-se, tendo havido balanço sedimentar positivo da ordem de aproximadamente 70 m³. O setor intermediário do perfil que houvera sofrido um rebaixamento generalizado foi em boa parte recomposto. A configuração morfológica mais suave e crescente em direção ao continente, sem a formação de cristas e cavas típicas das dunas frontais, antes preponderantes, indica que houve a remobilização de barra arenosa submersa atuando nessa recomposição.

Figura 91– Variação anual do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)



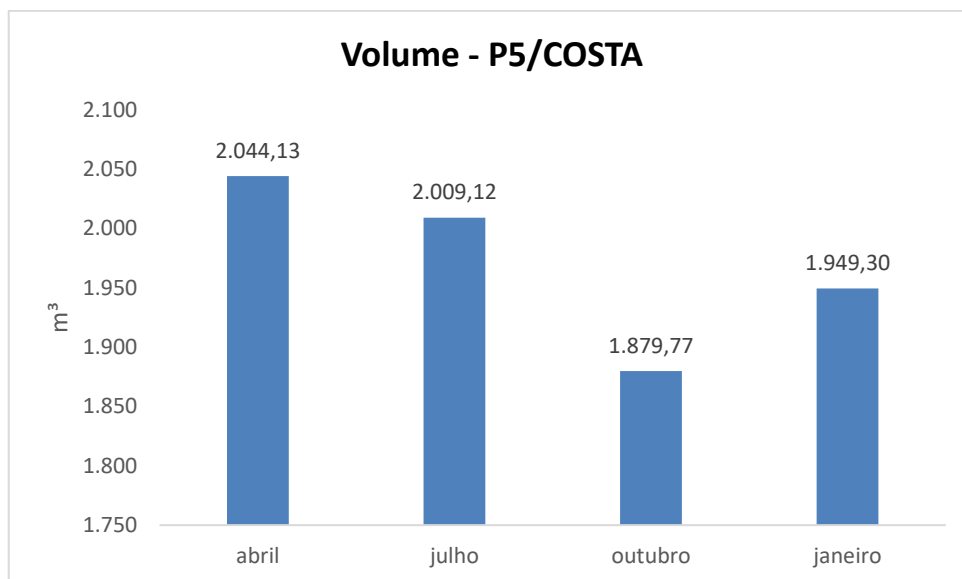
Fonte: O Autor

Figura 92 – Visão geral do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)



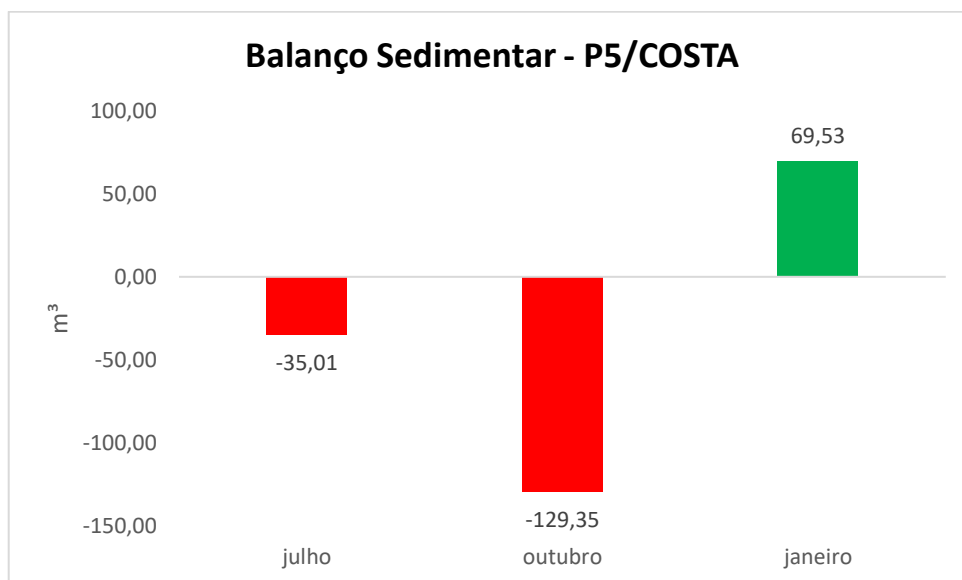
Fonte: O Autor

Gráfico 59 – Volume do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)



Fonte: O Autor

Gráfico 60 – Balanço sedimentar do Perfil 5 - COSTA - (P5-C)



Fonte: O Autor

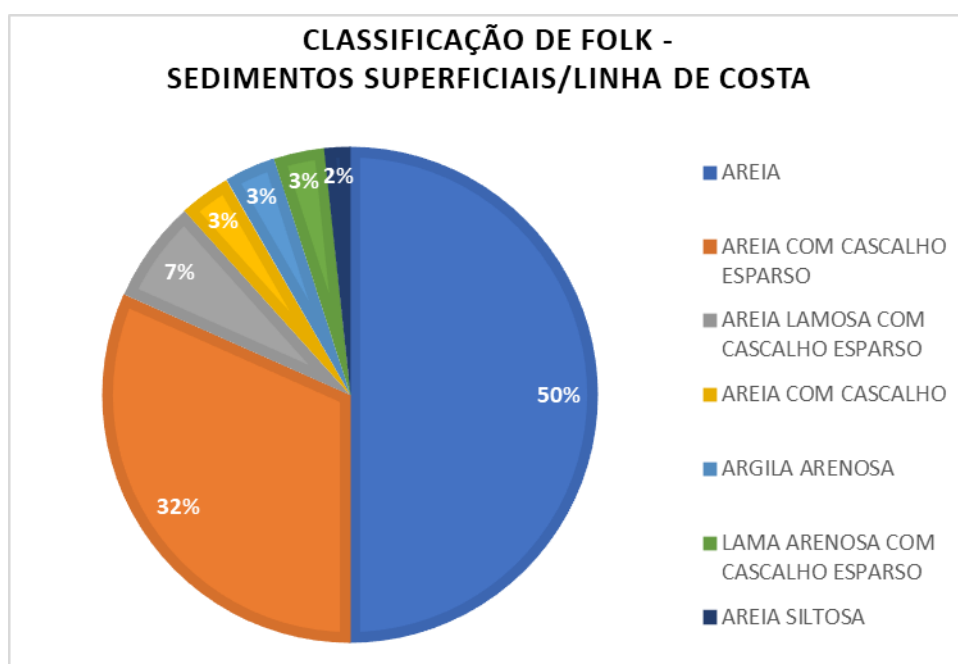
3.4.12 Comportamento sedimentar sazonal da linha de costa abrigada

O comportamento morfosedimentar sazonal da linha de costa abrigada foi compreendido a partir das coletas de sedimentos superficiais em três setores pós-praia (berma), estirâncio e canal de maré dos 5 perfis, totalizando 60 amostras ao longo das quatro campanhas de levantamento (abril, julho, outubro de 2016 e janeiro de 2017).

A aplicação da classificação de Folk nas amostras coletadas indicou que os sedimentos superficiais que compõem a linha de costa constituem-se areia e areia com cascalho esparso, representando 82%. Apenas 3% referem-se a material sedimentar mais grosso, sendo classificado como areia com cascalho.

Conforme o gráfico 61, as demais classes de sedimentos (15%) referem-se a uma grande mistura de material mais fino e lamoso, depositado no interior do canal de maré: areia lamosa com cascalho esparso, argila arenosa, lama arenosa com cascalho esparso, areia siltosa. Essa maior variabilidade em relação ao mesmo ambiente do canal de maré da barreira costeira demonstra um retrabalhamento mais expressivo do material sedimentar mais fino no setor do canal voltado à linha de costa, em função do comportamento morfodinâmico, conforme já discutido.

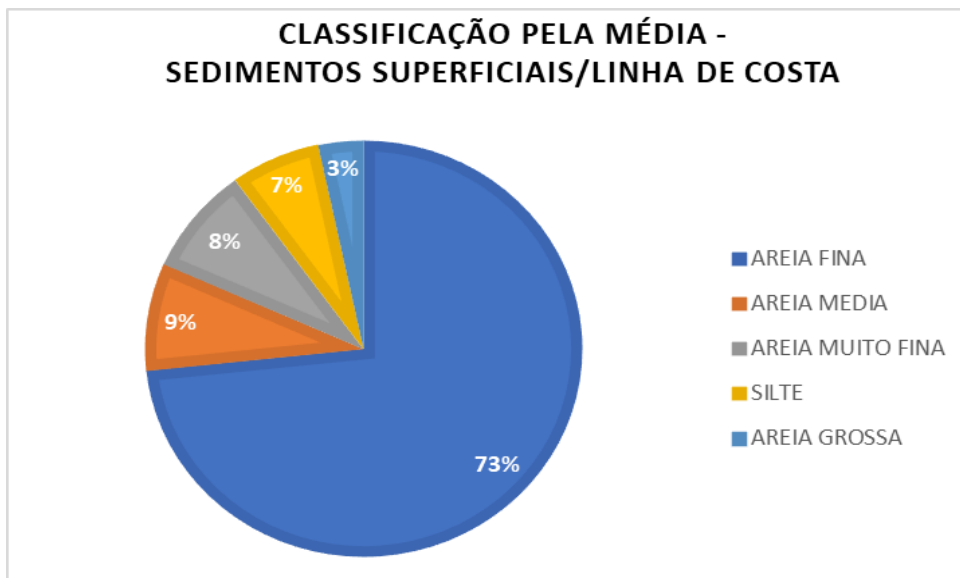
Gráfico 61 – Classificação de Folk aplicada aos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada



Fonte: O Autor

A partir da classificação pela média (gráfico 62) identificou-se o predomínio dos sedimentos mais finos em relação aos do sistema *spit*-ilha barreira, com 88% das amostras englobando areia fina, areia muito fina ou silte. Os 12% restantes dividiram-se em areia média (9%) e areia grossa (3%). Isso confirmou que por se tratar de um ambiente de baixa energia, na linha de costa abrigada há a tendência de deposição de sedimentos finos.

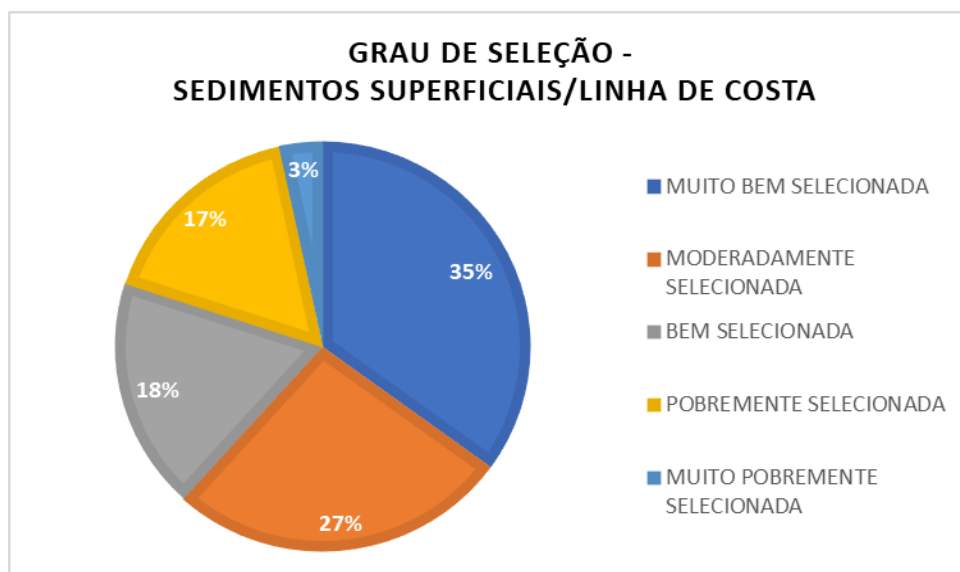
Gráfico 62 – Classificação pela média aplicada aos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada



Fonte: O Autor

O grau de seleção identificado (gráfico 63) demonstrou que a maior parte dos sedimentos superficiais varia de moderadamente a muito bem selecionados (80%) em função das condições energéticas similares para a maior parte da linha de costa. Os 20% restantes são sedimentos pobremente ou muito pobremente selecionados, indicando material pouco retrabalhado, eventualmente depositado durante eventos de maior energia, e provenientes de fontes externas ao sistema deposicional abrigado da linha de costa.

Gráfico 63 – Grau de seleção dos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada



Fonte: O Autor

Verificou-se que 53% das amostras classificaram-se como bem ou muito bem selecionadas, o que demonstra que os sedimentos depositados na área abrigada da linha de costa são bem retrabalhados pelos processos hidrodinâmicos atuantes. Por se tratar de um ambiente parcialmente fechado, por conta das diferentes fases da barreira costeira, alterando configurações enquanto *spit* e ilhas barreira, além da própria proteção direta da ação de ondas criada pela barreira, as correntes de marés destacam-se como os principais agentes hidrodinâmicos responsáveis por esse retrabalhamento.

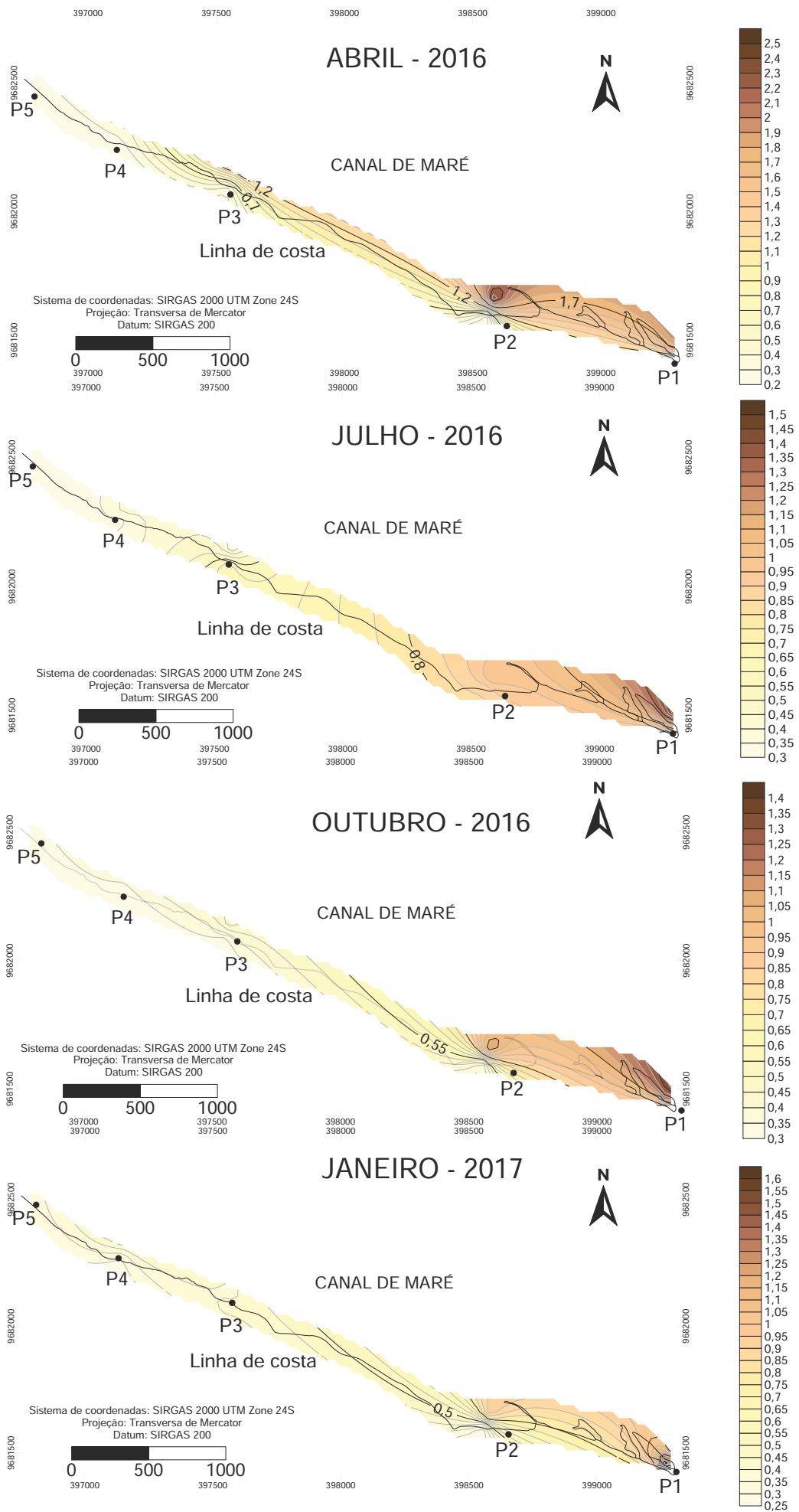
A entrada episódica de material sedimentar de maior granulometria e com mal selecionamento pode ocorrer durante processos de sobrelavagem da barreira costeira, e principalmente durante a fase de ilha barreira, quando a linha de costa passa a ter dois canais de comunicação com o oceano, eventualmente com maior entrada de sedimentos mal selecionados, que passam a se depositar diretamente na costa ou ficam aprisionados no canal de maré para posterior retrabalhamento.

No mês de abril a maior parte dos perfis apresentou o pós-praia com bom selecionamento dos sedimentos, enquanto o canal e estirâncio apresentaram sedimentos com selecionamento pobre. O perfil P5-C foi o único que apresentou padrão diferenciado, com bom selecionamento no pós-praia e antepraia e selecionamento moderado no estirâncio, o que é explicado pela maior atividade hidrodinâmica existente nesse ponto da linha de costa, por ser exposta nesse trecho (figura 93).

Em Julho, os perfis P3-C, P4-C, P5-C apresentaram sedimentos com bom selecionamento, enquanto nos perfis P1-C e P2-C os sedimentos apresentaram-se moderadamente a pobremente selecionados, evidenciando que nesses setores, mais distantes da extremidade de comunicação do canal de maré com o oceano, os processos hidrodinâmicos ocorreram de maneira diferenciada em função provavelmente da localização mais distanciada. Em Outubro de 2016 e Janeiro de 2017 observou-se o mesmo padrão no grau de selecionamento dos sedimentos.

Figura 93 – Variação sazonal no grau de seleção dos sedimentos superficiais da linha de costa

GRAU DE SELEÇÃO - COSTA



Fonte: O Autor

A análise do D50 referente aos sedimentos superficiais da linha de costa abrigada indicou que dentre os três setores (pós-praia, estirâncio e canal de maré) o pós-praia foi o que apresentou a menor variabilidade no padrão granulométrico, caracterizando-se nos perfis P2-C e P5-C como areia fina (2,95 a 2,66 phi), que são justamente os perfis mais extensos. No caso do perfil P2-C isso se deve à ação limitada dos agentes hidrodinâmicos por estar mais centralizado e apresentar-se mais plano. Já no perfil P5-C a ação mais efetiva dos processos eólicos, evidenciado pela ocorrência de sistemas dunares bastante expressivos nesse setor.

O estirâncio, por sua vez, apresentou maior variabilidade granulométrica no mês de abril, com areia grossa (0,59 phi) no P1-C, areia fina no P3-C, P4-C e P5-C (2,87 a 2,69 phi). O perfil P2-C apresentou concentração de lama (8 phi), conforme figura 94. O perfil P1-C foi o setor cujos sedimentos apresentaram maior granulometria durante todo o período de monitoramento (0,83 a 0,59 phi), enquanto o perfil P2-C foi o que apresentou os sedimentos mais finos (8 a 2,65 phi).

No canal de maré, assim como no estirâncio, o mês de abril foi o que apresentou as maiores variabilidades no tamanho do grão (7,2 a 2,5 phi). Em relação às áreas de ocorrência, verificou-se que o P1-C e o P3-C apresentaram as principais alterações durante o ano. O P1-C apresentou lama em abril e janeiro (5 a 4,2 phi), areia grossa em julho (0,9 phi) e areia fina em outubro (2,85 phi). Já o perfil P3-C apresentou lama em abril (7,21 phi) e areia fina nos demais meses (2,97 a 2,78 phi).

Os demais perfis apresentaram concentração de areia fina (3,5 a 2,5 phi). A maior ocorrência de lama nos perfis P1-C e P3-C3 do canal deve estar associada à exumação sazonal de antigos depósitos de mangue, posteriormente recobertos pela migração de bancos arenosos submersos.

A análise comparativa entre os valores estabelecidos para o D50 do sistema *spit*-ilha e linha de costa indica que na barreira costeira as modificações granulométricas sazonais foram mais intensas nos três setores, principalmente devido à ação de agentes morfosedimentares mais efetivos, como a ação das ondas, marés, corrente de deriva litorânea, por ser uma área exposta. Na linha de costa abrigada a principal modificação está associada à exposição sazonal de depósitos paludiais que ocorrem principalmente no interior do canal de maré, bem como em função da migração de barras arenosas submersas em direção à costa.

Em relação aos teores de carbonato de cálcio dos sedimentos superficiais da linha de costa (CaCO_3) os meses de janeiro e abril apresentaram os teores mais elevados (69%), seguidos por julho (54%) e outubro (53%), conforme figura 95. As maiores concentrações no início do ano podem estar associadas à maior ocorrência de eventos de alta energia, que possuem maior capacidade de remobilização em virtude da alta energia associada, efetuando um intercâmbio mais efetivo entre os sedimentos marinhos depositados na porção submersa e sua realocação para a porção emersa.

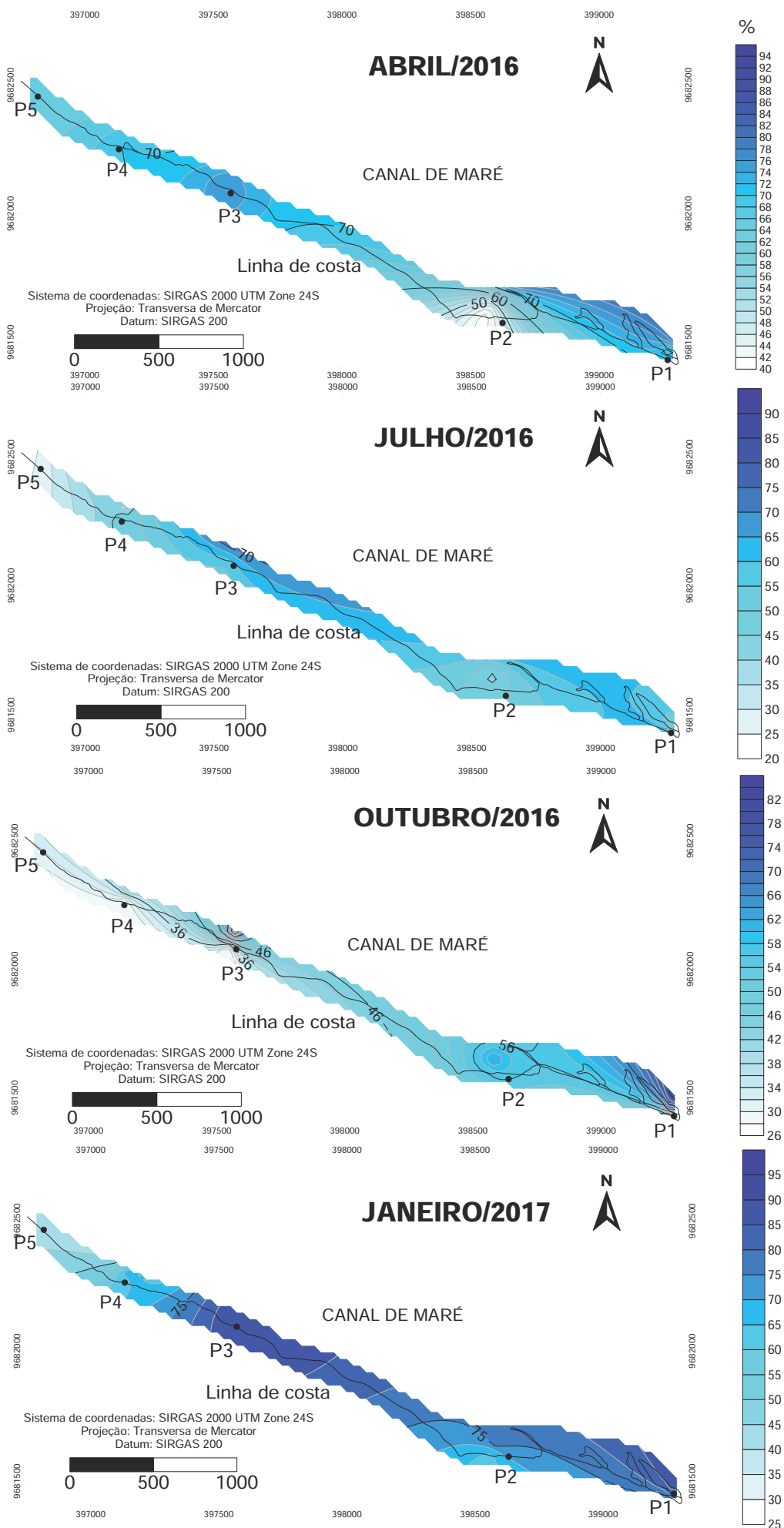
Em relação aos setores de ocorrência das diferentes concentrações ao longo do perfil, verificaram-se valores decrescentes partindo do canal de maré em direção ao pós-praia: 67,1% (canal); 63,1% (estirâncio); 53,9% (berma). Esta graduação nos teores de CaCO_3 deve estar associada aos processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos atuando de maneira diferenciada, de modo que o canal e o estirâncio apresentam grande influência das correntes de maré, enquanto no pós-praia predominam os processos eólicos.

A exceção a esse padrão deposicional é o setor do perfil P5-C, localização fora da área abrigada pela barreira costeira, cuja exposição direta acrescenta a ação das ondas como influência complementar no enriquecimento dos sedimentos com carbonato de cálcio.

Os três pontos mais abrigados (P1-C; P2-C; P3-C) são os que apresentaram os maiores teores de CaCO_3 , provavelmente associado ao retrabalhamento de materiais carbonáticos já depositados no interior do canal de maré. A maior alteração nos teores de CaCO_3 coincide com o setor exposto (P5-C), em virtude da variação na atuação dos agentes, acrescentando-se os processos eólicos e ação direta das ondas atuando mais intensamente sobre a área do perfil.

Figura 95 – Variação sazonal nos teores de carbonato de cálcio dos sedimentos superficiais da linha de costa

CARBONATO DE CÁLCIO - COSTA



Fonte: O Autor

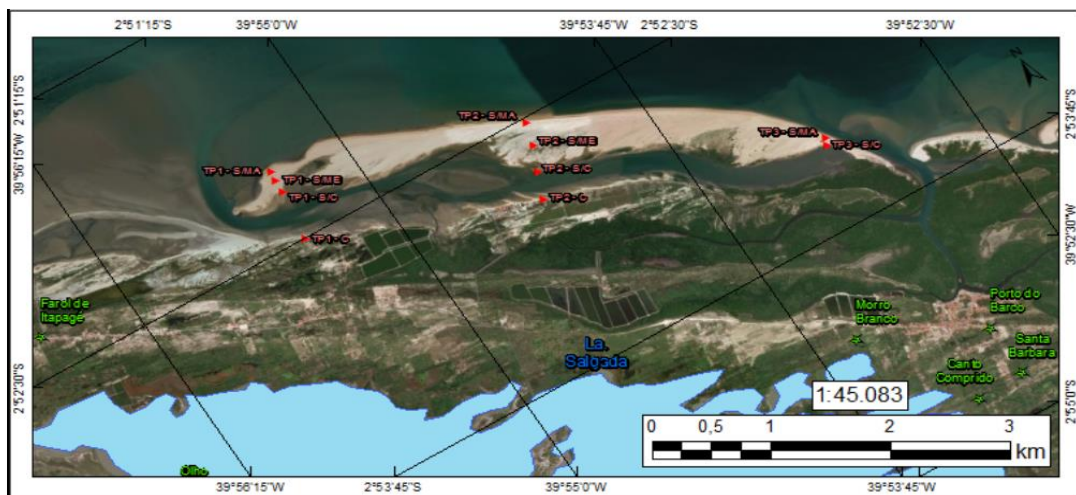
3.5 Os ciclos de sedimentação no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema a partir de testemunhagem do substrato

A análise dos dez testemunhos coletados ao longo do sistema *spit*-ilha barreira da Ilha do Guajiru, em Itarema/CE, permitiu o entendimento dos ciclos de sedimentação que ocorrem nos ambientes associados a esta barreira costeira. A identificação das fácies sedimentares e a interpretação do modo de ocorrência e sucessão das diferentes camadas, no grau de detalhamento adotado neste estudo, constitui dado inédito para este ponto do litoral brasileiro.

No total, foram recuperados e analisados 8.38,5 metros de camada sedimentar, com comprimento médio dos testemunhos sendo de 83,85 cm, apresentando variação entre 71 cm (comprimento mínimo) e 92,5 cm (comprimento máximo). A interpretação que se faz das diversas camadas de sedimentos e do seu conteúdo e modo de disposição, permitiu determinar a predominância e a alternância dos processos de deposição e remobilização sedimentar em diferentes momentos e setores dos ambientes associados à ilha barreira.

Deste modo, os dados referentes aos dez testemunhos foram organizados de acordo com os quatro ambientes associados à ilha barreira nos quais foram coletados, de forma a permitir a melhor correlação das informações obtidas (figura 96). Estes ambientes foram denominados: **barreira** (corresponde à porção da ilha barreira voltada para o mar, diretamente exposta aos processos de agitação marinha); **dunas** (corresponde à porção central da ilha barreira, mais exposta aos processos de remobilização eólica de sedimentos); **canal de maré** (corresponde à porção interna da ilha barreira, no canal de maré estabelecido entre a ilha e a linha de costa, mais abrigada e relacionada diretamente aos fluxos de maré enchente e vazante); **linha de costa** (corresponde à porção do continente, abrigada da ação direta das ondas e correntes marinha, também mais relacionada aos fluxos de maré enchente e vazante).

Figura 96 - Testemunhos coletados em diferentes ambientes associados ao sistema *spit*-ilha barreira da Ilha do Guajiru



Fonte: O Autor

3.5.1 Barreira

Neste setor da ilha-barreira foram coletados três testemunhos: um na extremidade oeste, denominado TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA); um no setor central, denominado TP2-SPIT/MAR (TP2-S/MA), e outro na extremidade leste, denominado TP3-SPIT/MAR (TP3-S/MA).

Nos três testemunhos desta parte da ilha barreira foram individualizados 17 estratos (camadas) e identificadas 4 classes texturais de sedimentos, variando da classe areia fina, até a classe areia muito grossa. A maior parte dos estratos é composto por areia média (10 camadas), seguida de areia fina (4 camadas), areia grossa (duas camadas), e areia muito grossa (uma camada).

A maior presença de areia média na maioria das camadas denota a predominância de transporte de sedimentos praias. Por ser a parte da ilha barreira mais exposta aos processos hidrodinâmicos marinhos, os processos de maior energia de ondas, provavelmente durante eventos de tempestade, tendem a acumular sedimentos mais grossos, que neste caso estão concentrados na extremidade leste e no setor central da ilha.

Um fato que chamou a atenção foi a presença de sedimentos da classe areia fina, encontrada nos três testemunhos. Em geral, a deposição desses sedimentos reflete ambiente de menor energia de onda, como em setores abrigados. Porém, esta classe de sedimentos finos está presente justamente no setor que apresenta a maior energia de ondas, na área exposta da barreira. A explicação para este fenômeno é a provável formação de barras submersas na frente da ilha barreira, que antecipa a quebra das ondas e cria uma zona de relativa calmaria, diminuindo a chegada potencial de sedimentos mais grossos, e favorecendo a deposição de grãos de menor dimensão.

O ciclo representativo desse processo é mais evidente na extremidade oeste da ilha barreira, onde a classe areia fina aparece intercalada com a areia média, e representa aproximadamente 65% de todas as fácies sedimentares encontradas no testemunho (TP1-SPIT/MAR).

Nos demais testemunhos, porém, as camadas de sedimentos mais finos são bastante delgadas, o que aponta para o estágio efêmero dessas barras submersas nesses setores, e/ou a menor duração dos períodos de menor energia de ondas associados a essa deposição.

A análise dos perfis representativos de cada testemunho, apresentados a seguir, oferece uma visão mais detalhada dos ciclos de sedimentação em cada um dos três setores escolhidos.

TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA)

Apresentou comprimento total de 85 cm, distribuídos em 5 estratos, e contendo duas classes texturais: areia fina (2 estratos) e areia média (3 estratos). Ver figura 97.

Partindo do topo até a profundidade de 8 cm há a predominância de areia fina, cor cinza claro, e sem presença de material grosseiro como conchas, rodólitos e seixos.

De 8 aos 12 cm a classe predominante de sedimentos passa a ser areia média, de cor cinza claro, contendo fragmentos de material bioclástico em todo o estrato.

De 12 cm de profundidade aos 48 cm de profundidade continua a predominar areia média, porém com a menor presença de fragmentos de bioclastos que no estrato anterior. É o estrato de maior espessura (36 cm) do testemunho.

De 48 cm aos 81 cm volta a predominar areia fina, não havendo a presença de conchas ou seixos, sendo verificada apenas a presença de um rodólito de aproximadamente 2 cm de espessura, disposto verticalmente no estrato, aos 53 cm de profundidade.

Dos 81 cm até a base (85 cm) predomina areia média, com fragmentos de bioclastos bastante desgastados e dispersos ao longo de todo o estrato, implicando nas maiores concentrações de carbonato de cálcio (CaCO₃), 53%, e matéria orgânica (4,025%) dentre todos os estratos do testemunho.

O que se pode concluir a respeito dos ciclos de sedimentação registrados no testemunho para este trecho da ilha barreira é que há estágios bem definidos de períodos de baixa, e de média a alta energia de ondas, relacionados, respectivamente à classe areia fina e areia média.

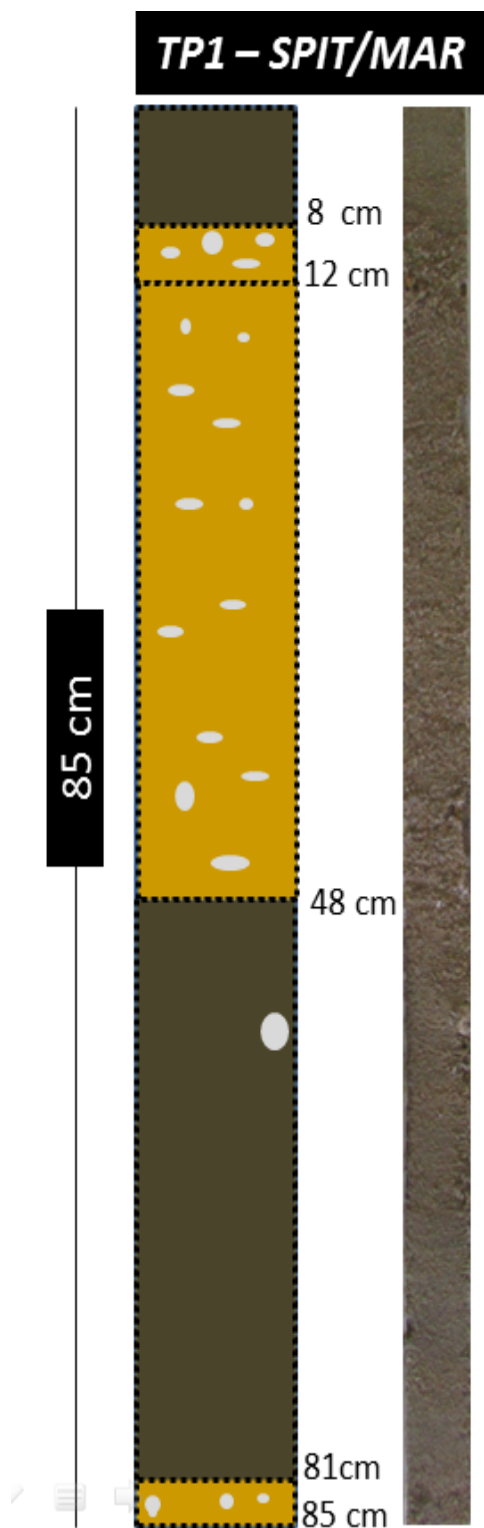
Atualmente parece experimentar um período de deposição de sedimentos mais finos em função da presença de barras submersas e/ou da menor incidência de ondas de alta energia.

A pequena presença de material de origem bioclástica e de seixos ou grânulos, diferentemente do que ocorrem nos demais trechos da face exposta da ilha barreira do Guajiru são indícios que corroboram com esta tese.

A espessura das camadas de areia média e fina são praticamente proporcionais, indicando que os processos hidrodinâmicos e/ou a configuração das barras submersas têm experimentado períodos de relativa estabilidade.

Por estar situado na porção distal do sistema *spit* - ilha barreira, porém, é uma área bastante vulnerável aos processos de deslocamento e remobilização de sedimentos, sendo necessário acompanhar de forma mais detalhada o comportamento sedimentar deste trecho da ilha.

Figura 97 - Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA)



Classificação pela média	Larsonneur (1977), Dias (1996)	% CaCO ₃	% M.O
AREIA FINA	Areia litobioclástica fina a muito fina	33	2,588
AREIA MEDIA	Areia litobioclástica grossa a muito grossa	46	-
AREIA MEDIA	Areia litobioclástica grossa a muito grossa	39	2,300
AREIA FINA	Areia litobioclástica fina a muito fina	46	2,300
AREIA MEDIA	Areia biolitoclástica fina a muito fina	53	4,025

Fonte: O Autor

TP2-SPIT/MAR (TP2-S/MA)

Apresentou comprimento total de 71 cm, distribuídos em 4 estratos, e contendo duas classes texturais: areia fina (1 estrato), areia média (2 estratos), e areia grossa (1 estrato). Ver figura 98.

Partindo do topo até a profundidade de 18 cm há a predominância areia grossa, com grãos de quartzo de cor mais clara, e presença de uma concha de aproximadamente 2cm de espessura, aos 4 cm de profundidade. São encontrados fragmentos de material bioclástico bastante fragmentados ao longo de todo o estrato, predominando algas calcárias do gênero *lithothamium*.

De 18 até 28 cm de profundidade, a classe textural muda bruscamente para areia fina, sem presença de conchas, seixos ou rodólitos.

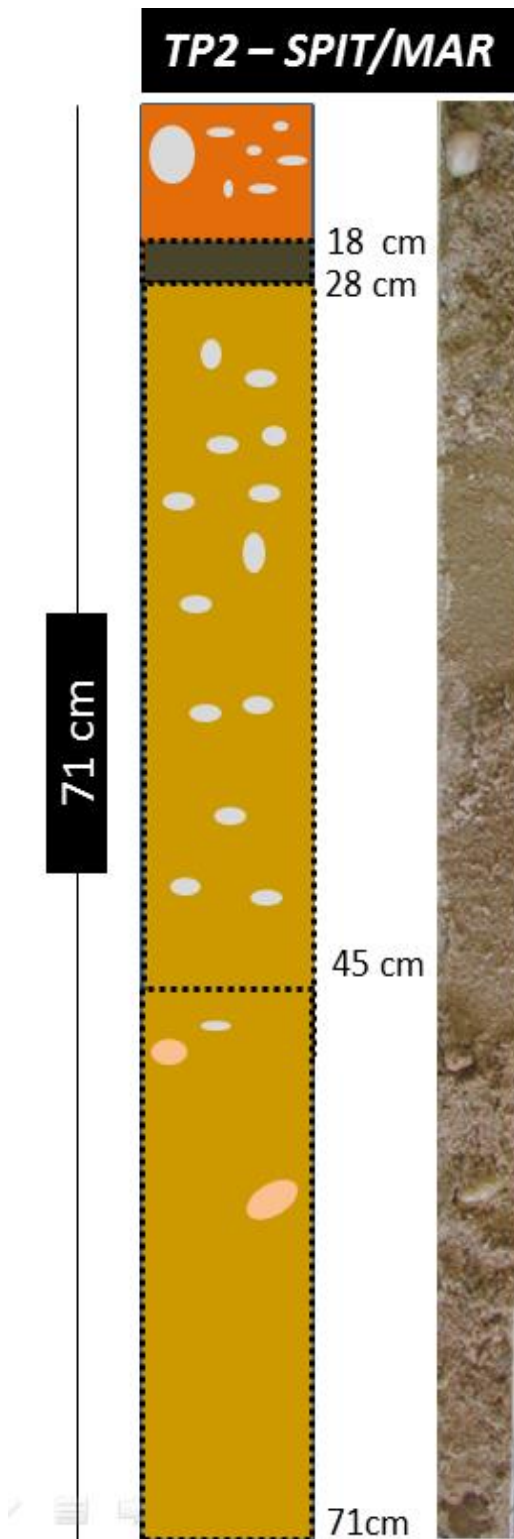
De 28 a 45 cm de profundidade, nova mudança de classe textural, desta vez para areia média, contendo fragmentos de material bioclástico ao longo de todo o estrato, o que explica os níveis mais elevados de CaCO₃ (73%). Aos 45 cm, marcando o fim do estrato, ocorre um rodólitos de aproximadamente 2 cm, e uma concha bem preservada de aproximadamente 1 cm.

De 45 cm de profundidade até a base (71 cm) continua a predominar areia média, porém com grãos de quartzo de aspecto diferenciado, mais claros. Aproximadamente no meio do estrato ocorre um seixo arredondado de aproximadamente 3 cm de espessura, disposto transversalmente. Os níveis de CaCO₃ também são elevados (73%), com os maiores níveis de matéria orgânica de todo o testemunho (2,588 %).

Os ciclos de sedimentação registrados neste testemunho apontam para a atuação de eventos de maior agitação marinha, com deposição predominante de sedimentos de textura média. Porém, acima dos estratos contendo areia média, há a sobreposição da classe areia grossa sobre a classe areia fina, em estratos pouco espessos. Isto indica uma mudança brusca no padrão de sedimentação, refletindo alterações no regime hidrodinâmico local. A presença de areia fina pode ser resultado de um regime de ondas ou transporte litorâneo de sedimentos mais baixo, enquanto que a presença de areia grossa sobre essa camada pode refletir processos mais recentes de ondas de tempestade, ou destruição de alguma estrutura de barras submersas que serviam de barreira à chegada das ondas de maior intensidade.

Contudo, este é o setor da ilha barreira que apresenta menor alternância de estratos sedimentares, indicando ser a área de maior estabilidade dentre os setores dos três testemunhos realizados no ambiente da ilha voltado para o mar.

Figura 98 - Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/MAR (TP2-S/MA)



Classificação pela média	Larsonneur (1977), Dias (1996)	% CaCO ₃	% M.O
AREIA GROSSA	Areia litobioclástica grossa a muito grossa	39	1,725
AREIA FINA	Areia biolitoclástica fina a muito fina	59	-
AREIA MEDIA	Areia bioclástica fina a muito fina	73	1,725
AREIA MEDIA	Areia bioclástica grossa a muito grossa	73	2,588

Fonte: O Autor

TP3-SPIT/MAR (TP3-S/MA)

Apresentou comprimento total de 92,5 cm, distribuídos em 8 estratos, e contendo quatro classes texturais: areia fina (1 estrato), areia média (5 estratos), areia grossa (1 estrato), e areia muito grossa (1 estrato). Ver figura 99.

Partindo do topo até a profundidade de 8 cm há a predominância areia fina, sem presença de conchas ou rodólitos.

De 8 até 14,5 cm de profundidade há uma mudança brusca de classe textural, passando a predominar areia grossa, e apresentando quantidade significativa de material bioclástico, composto principalmente por rodólitos.

De 14,5 até 25 cm de profundidade há nova mudança de classe textural, passando a areia média, também com presença de rodólitos, porém mais fragmentados. Aos 25 cm, foi encontrado um rodólito de aproximadamente 1,5 cm, de cor escura, diferindo dos demais rodólitos encontrados no estrato.

De 25 até a profundidade de 37,5 cm ocorre nova mudança brusca de textura, desta vez para areia muito grossa, sendo o único estrato do testemunho a apresentar esta classe textural. Os grãos de quartzo também são bastante diferenciados, apresentando-se ora mais claros, quase transparentes, ora bem escurecidos, como numa espécie de revestimento. Aos 30 cm ocorre um seixo arredondado de aproximadamente 2 cm, e aos 37 cm ocorre uma concha, com um lado bem preservado.

De 37,5 até a profundidade de 44 cm volta a predominar areia média, com poucos fragmentos de material bioclástico, e com um seixo subarredondado de aproximadamente 2 cm ocorrendo na profundidade de 41 cm.

De 44 até a profundidade de 62,5 cm a classe predominante continua a ser areia média, porém apresentando-se menos homogênea que a anterior, contendo duas conchas bem preservadas, aos 49 e 56 cm, respectivamente, e um rodólito de aproximadamente 2 cm aos 59 cm de profundidade. A maior presença de material bioclástico é atestada pelos teores de CaCO₃ encontrados nesse estrato (66%), o maior entre todos os estratos do testemunho.

De 62,5 até 87 cm de profundidade novamente predomina a classe areia média, com um rodólito de 1,8 cm e um seixo de 2,5 cm sobrepostos aos 66 cm, um rodólito aos 77 cm, e uma concha com um lado bem preservado aos 84 cm.

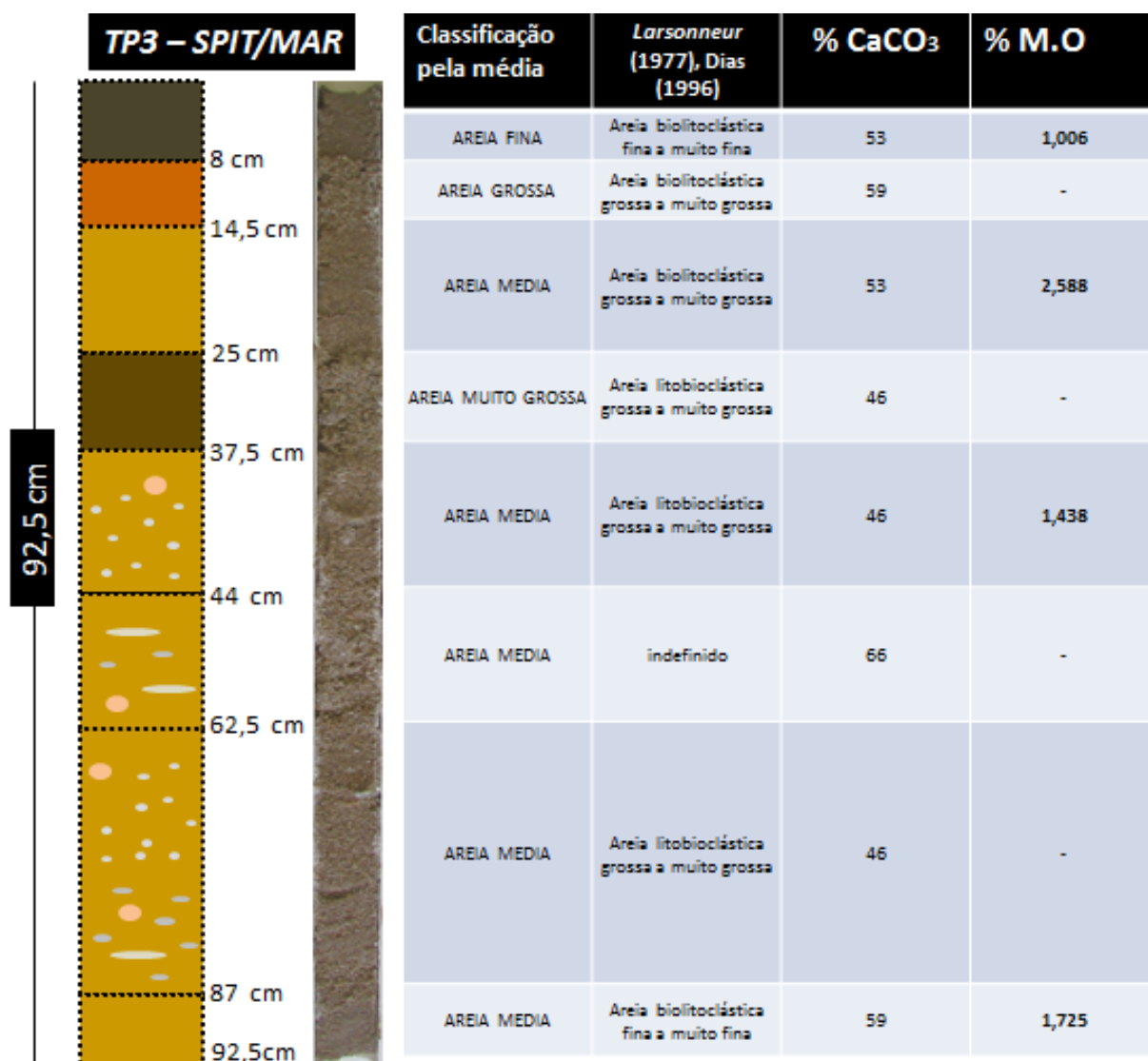
De 87 até a base (92,5 cm), ocorre areia média, porém mais compactada, praticamente sem presença de conchas ou rodólitos.

A maior heterogeneidade entre os estratos, em termos de classes texturais e de composição, aponta que este é setor da ilha barreira que sofre maiores alterações do ponto de vista do regime hidrodinâmico e dos padrões de deposição. Este é também o setor onde a ilha barreira perdeu sua conexão com o continente, passando de *spit* à ilha barreira. A presença de frações mais grossas, contendo seixos e material bioclástico abundante atestam que as forças hidrodinâmicas são mais atuantes, e que este é o setor mais propenso aos processos erosivos. O estrato superior deste testemunho apresenta areia fina com a mesma espessura (8

cm) do estrato superior do testemunho situado na outra extremidade, TP1-SPIT/MAR (TP1-S/MA).

Isto pode indicar que na fase mais recente, há presença de barras submersas também neste setor e/ou que o regime hidrodinâmico durante este período se caracterizou por ondas de menor energia. A grande sucessão de estratos indica que os ciclos de sedimentação são mais curtos e que não há um padrão sedimentar bem definido, como nos dois testemunhos anteriores da barreira.

Figura 99 - Perfil representativo do testemunho TP3-SPIT/MAR (TP3-S/MA)



Fonte: O Autor

3.5.2 Dunas

No setor da ilha barreira associado ao ambiente de dunas foram coletados dois testemunhos, denominados: TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME), localizado na extremidade oeste;

TP2-SPIT/MEIO (TP2-S/ME), localizado no setor central da ilha barreira. Os testemunhos apresentaram espessura de 90 cm cada um.

Este ambiente foi denominado dunas, por representar o setor mais centralizado da ilha barreira, onde o principal agente de transporte de sedimentos deve ser representado pelo componente eólico, já que estaria menos propenso à deposição por ondas, marés e correntes, por estar situado acima da linha média da preamar.

Nos dois testemunhos coletados neste ambiente foram individualizados 11 estratos (camadas) e identificadas 3 classes texturais de sedimentos, variando de areia fina até areia grossa. A maior parte dos estratos é composto por areia média (6 camadas), seguida por areia grossa (3 camadas), e areia fina (2 camadas).

Apesar de aparecer em mais camadas que a classe areia fina, a classe textural areia grossa representa espessura de apenas 21 cm nos dois testemunhos, contra 54 cm da classe areia fina. A classe textural areia média é predominante, com 105 cm de sedimentos.

A presença de areia grossa nos dois testemunhos deste ambiente de dunas indica que além da deposição pelo transporte eólico há a atuação de agentes hidrodinâmicos, provavelmente ondas de tempestade, que causam a sobrelavagem desta área. Esta presença é importante porque registra ciclos em que esta parte da ilha barreira esteve mais susceptível aos processos erosivos representados por eventos de alta energia. A chegada destes eventos até essa porção mais estável da ilha barreira indica também que nenhum setor está totalmente livre da atuação de eventos mais severos de remobilização sedimentar, que diminuem a cota topográfica e os estoques de sedimentos da ilha, e podem acelerar eventuais processos de rompimento e deslocamentos que nela ocorram.

Os ciclos sedimentares predominantes, porém, correspondem à deposição sedimentar realizada pelo transporte eólico, como é confirmado pela predominância das classes areia fina e média (quase 90% em espessura de todos os estratos).

A análise comparativa dos dois testemunhos indica que a extremidade oeste da ilha barreira tem apresentado recentemente uma maior estabilidade que o setor central, que normalmente é mais estável e que apresenta maior largura.

A seguir, são detalhados os estratos individualizados para os dois testemunhos coletados no ambiente de dunas.

TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME)

Apresentou comprimento total de 90 cm, distribuídos em 3 estratos, e contendo 3 classes texturais: areia fina (1 estrato), areia média (1 estrato), e areia grossa (1 estrato). Ver figura 100.

Partindo do topo até a profundidade de 18 cm predomina a classe textural areia grossa, com grãos de quartzo de cor mais clara que nos demais estratos, misturados a fragmentos de material bioclástico. Aos 18 cm, marcando o fim do estrato, ocorrem dois seixos de aproximadamente 1 cm cada um.

De 18 até 42 cm de profundidade a classe predominante é areia média, contendo fragmentos de material bioclástico bastante fragmentado e misturado a todo o estrato. Na profundidade de 30 cm ocorre uma fina lente, de aproximadamente 0,5 cm, de sedimentos mais grossos dispostos horizontalmente no estrato, de aspecto bem semelhante ao do estrato superior do testemunho.

De 42 até a base (90 cm) ocorre nova mudança de classe textural, com predominância de areia fina, bastante homogênea e compactada ao longo de todo o estrato, e sem presença de material bioclástico ou seixos.

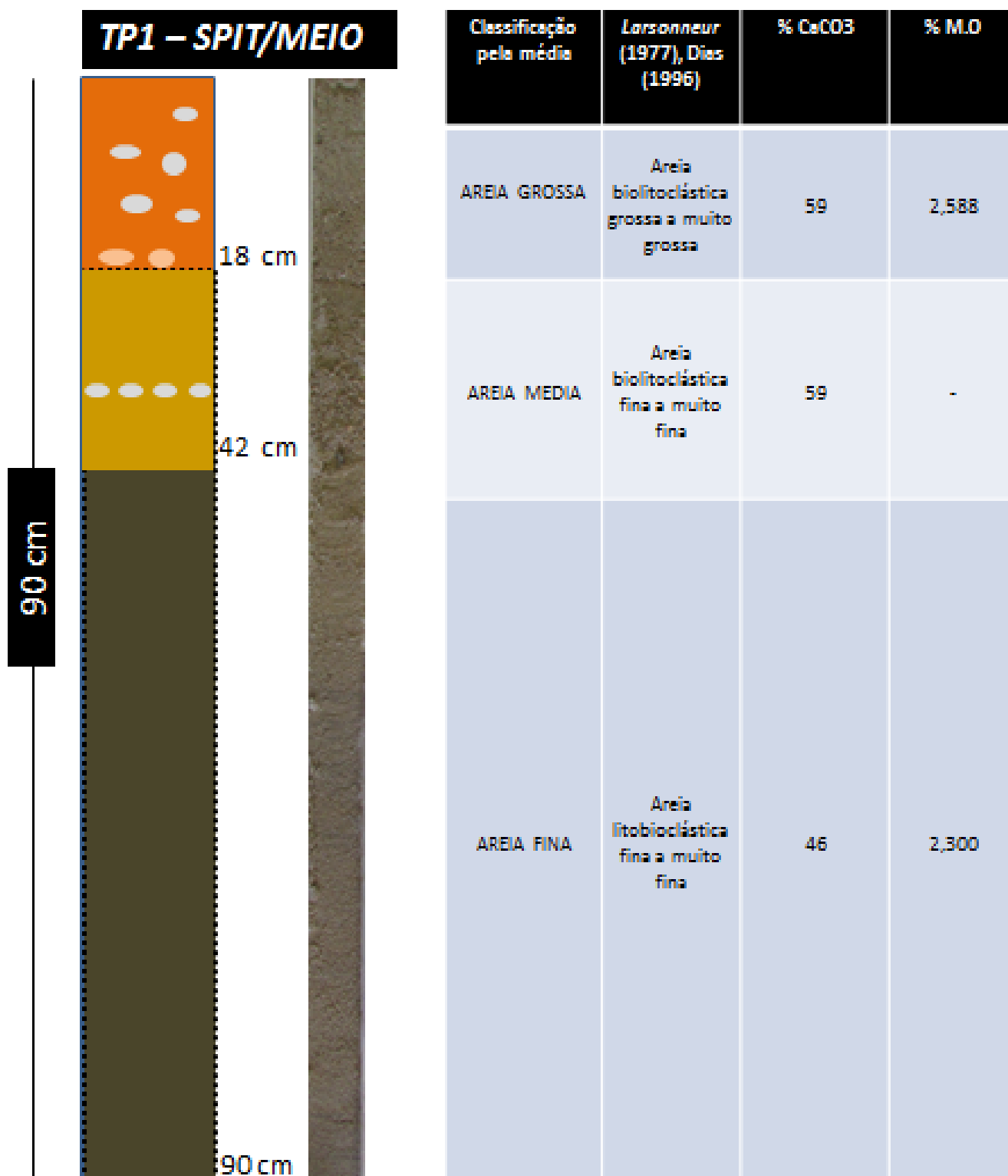
Os estratos identificados nesse testemunho mostram que há uma diminuição gradual e progressiva das classes texturais, partindo do topo em direção à base. As frações contendo grãos de sedimentos de menor dimensão além de estarem soterradas pelas frações contendo grãos de maior dimensão são também mais espessas.

Isto demonstra que, via de regra, o transporte eólico de sedimentos é preponderante sobre o transporte hidrodinâmico neste setor da ilha barreira. Porém, a presença de areia grossa, contendo seixos e fragmentos que não são capazes de ser transportados pelo vento indica que esta área sofre com processos recentes de sobrelavagem de sedimentos, gerados por ondas de alta energia.

A ocorrência de uma fina lente de areia grossa de apenas meio centímetro de espessura aos 30 cm de profundidade, intercalada no interior do estrato onde predomina areia média indica que, há a chegada eventual e episódica dessas ondas de maior energia mesmo durante os períodos de maior estabilidade da ilha barreira.

A grande quantidade de sedimentos finos (mais de 50% em espessura do testemunho) desde a porção intermediária até a base do testemunho é um indício de que estes períodos de maior estabilidade representados pela deposição eólica de sedimentos são, portanto, preponderantes na área, apesar dos eventos de maior energia que têm atingido a região no período mais recente.

Figura 100 - Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME)



Fonte: O Autor

TP2-SPIT/MEIO (TP2-S/ME)

Apresentou comprimento total de 90 cm, distribuídos em 8 estratos, e contendo 3 classes texturais: areia fina (1 estrato), areia média (5 estratos), e areia grossa (2 estratos). Ver figura 101.

Partindo do topo até a profundidade de 10 cm predomina a classe textural areia média, com grãos de quartzo bem claros, quase transparentes, misturados a alguns fragmentos bem desgastados de material bioclástico. Os teores de CaCO_3 são elevados (73%), sendo resultado desse enriquecimento gerado pelos fragmentos de origem biológica.

De 10 até 36 cm de profundidade também predomina areia média, mas apresentando fragmentos de material bioclástico de maiores dimensões.

De 36 até 57 cm de profundidade a predominância ainda é de areia média, porém apresentando em sua composição fragmentos de rodólitos e restos de conchas ao longo de todo o estrato.

De 57 até 79 cm de profundidade a ocorrência de areia média ainda é preponderante, devendo ser destacado uma fina lente de material mais escuro, possivelmente indicando uma acumulação bastante restrita de minerais pesados, que ocorre aos 68 cm de profundidade.

De 79 até 81 cm de profundidade a classe predominante é areia grossa, composta quase exclusivamente por grãos de quartzo.

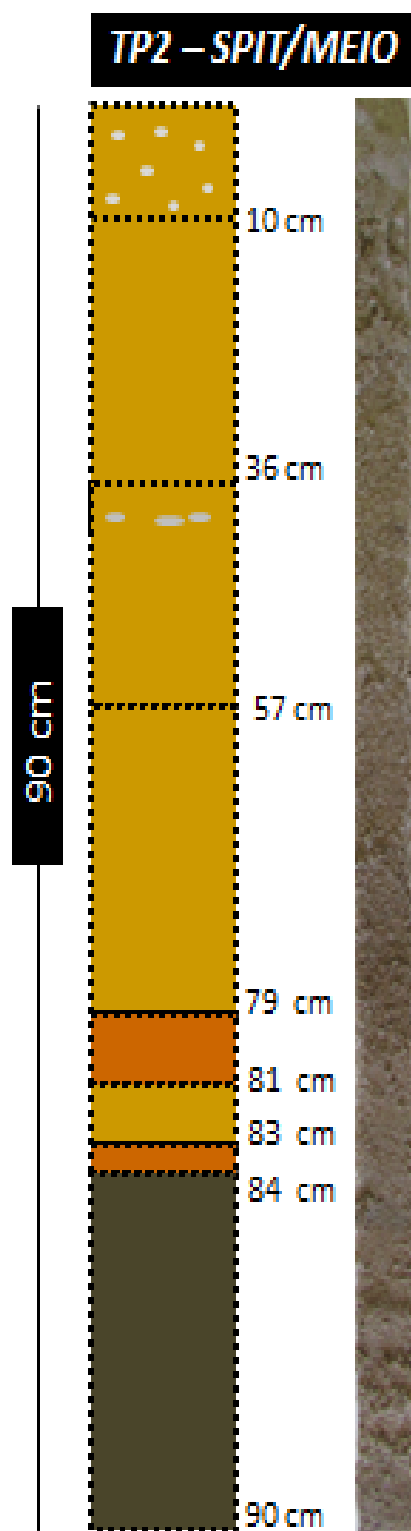
De 81 até 83 cm de profundidade volta a predominar areia média, com boa presença de material quartzoso e material bioclástico bastante desgastado e misturado em todo o estrato.

De 83 até 84 cm de profundidade novamente a classe areia grossa predomina, contendo alguns fragmentos de material bioclástico agregados aos grãos de quartzo.

De 84 até a base (90 cm) é encontrada a única ocorrência de areia fina de todo o testemunho, contendo material bioclástico bastante desgastado, elevando os teores de carbonatos dos sedimentos desse estrato para 59%.

A maior quantidade de estratos em relação ao testemunho TP1-SPIT/MEIO (TP1-S/ME) demonstra que esta é uma região mais dinâmica do ponto de vista deposicional. A classe textural areia média, apesar de ocorrer na maior parte dos estratos, apresenta significativas diferenças de composição, indicando a ocorrência de processos de deposição marinha associada com a deposição por processos eólicos, que, de maneira geral, parecem predominar em todo o setor. As frações de areia grossa intercaladas às de areia média e fina reforçam esta tese. A fração de areia fina na base do testemunho aponta para um curto período de maior estabilidade dos processos deposicionais, onde o componente eólico preponderou.

Figura 101 - Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/MEIO (TP2-S/ME)



Classificação pela média	Larsonneur (1977), Dias (1996)	% CaCO ₃	% M.O
AREIA MEDIA	Areia bioclástica fina e muito fina	73	2,300
AREIA MEDIA	Areia biolitoclástica grossa e muito grossa	59	-
AREIA MEDIA	Areia litobioclástica grossa e muito grossa	33	1,725
AREIA MEDIA	Areia bioclástica fina e muito fina	73	-
AREIA GROSSA	Areia litobioclástica grossa e muito grossa	46	-
AREIA MEDIA	Areia bioclástica fina e muito fina	73	-
AREIA GROSSA	Areia biolitoclástica grossa e muito grossa	59	-
AREIA FINA	Areia biolitoclástica fina e muito fina	59	1,725

Fonte: O Autor

3.5.3 Canal de Maré

Neste setor da ilha barreira foram coletados três testemunhos: um na extremidade oeste, denominado TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C); um no setor central, denominado TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C); e outro na extremidade leste, denominado TP3-SPIT/CANAL (TP3-S/C).

Nos três testemunhos deste setor da ilha barreira foram individualizados 18 estratos (camadas) e identificadas 5 classes texturais de sedimentos, variando da classe silte, até a classe areia grossa. A maior parte dos estratos é composta por areia fina (8 camadas), seguida por areia média (5 camadas), areia muito fina (2 camadas), silte (2 camadas), areia grossa (1 camada).

A predominância de areia fina na maior parte dos estratos (camadas) indica que os processos deposicionais predominantes estão ligados a um ambiente de baixa energia, o que é próprio de setores abrigados, como é o caso do canal de maré, que está protegido pela ilha barreira. No entanto, a análise dos testemunhos indicou que em alguns estratos dos testemunhos há a presença de material mais grosso, demonstrando que eventos de maior energia ocorrem de forma episódica em determinados setores do canal de maré, principalmente na oeste da ilha barreira.

Há que se destacar também a presença de silte em dois testemunhos, sendo o único ambiente a apresentar estas frações entre todos os ambientes associados à ilha barreira. O tempo de deposição do silte é bastante superior ao requerido pelas frações mais grossas, o que implica necessariamente na existência de um ambiente de sedimentação mais tranquilo, pouco atingido por forçantes hidrodinâmicas mais fortes.

Este fato atesta ser o canal de maré o ambiente mais propício a esse tipo de deposição. Em alguns setores do canal de maré esta estabelecida uma vegetação de mangue, que em alguns trechos parece estar em expansão, e em outros apresenta indícios de destruição. A destruição dessa vegetação indica a atuação eventual de eventos de maior energia, o que pode ser atestado pelas frações de areia mais grossa e pelo conteúdo de alguns estratos, contendo seixos de dimensão significativa, e restos de raízes aprisionados nos sedimentos. Isto aponta para o fato de que apesar de serem ambientes mais estáveis, os canais de maré também estão sujeitos a alterações no seu regime deposicional, podendo experimentar fases de erosão pronunciada, provavelmente relacionada aos processos de abertura da ilha barreira. A análise individual dos testemunhos coletados no canal de maré é apresentada a seguir, e possibilita uma interpretação mais detalhada dos ciclos sedimentares existentes nesse ambiente.

TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C)

Apresentou comprimento total de 82 cm, distribuídos em 5 estratos, e contendo 5 classes texturais: silte (1 estrato), areia muito fina (1 estrato), areia fina (1 estrato), areia média (1 estrato), e areia grossa (1 estrato). Ver figura 102.

Partindo do topo até a profundidade de 11 cm predomina a classe textural silte, definida como marga arenosa na classificação de Larssonneur (1997), Dias (1996). Trata-se de um material sedimentar incomum em relação ao identificado para a maior parte dos testemunhos, apresentando cor que do marrom escuro ao cinza. Pequenas lentes horizontais contendo material mais escurecido são encontradas no estrato, indicando possíveis ocorrências de oxidação.

De 11 até 49 cm de profundidade predomina areia muito fina, contendo pequenos fragmentos de concha, já bem desgastadas e misturadas aos sedimentos. Até os 24 cm de profundidade o material que compõe o estrato apresenta-se mais escuro. De 24 cm aos 33 cm de profundidade a tonalidade fica mais clara, e deste ponto até os 49 cm volta a ficar mais escura. Aos 48 cm de profundidade ocorre um rodólito de aproximadamente 2,5 cm, disposto transversalmente, marcando o fim do estrato.

De 49 até 58 cm de profundidade, passa a predominar areia fina, que apresenta cor cinza claro. Pequenos fragmentos de concha e rodólitos, bastante desgastados são encontrados dispersos ao longo do estrato.

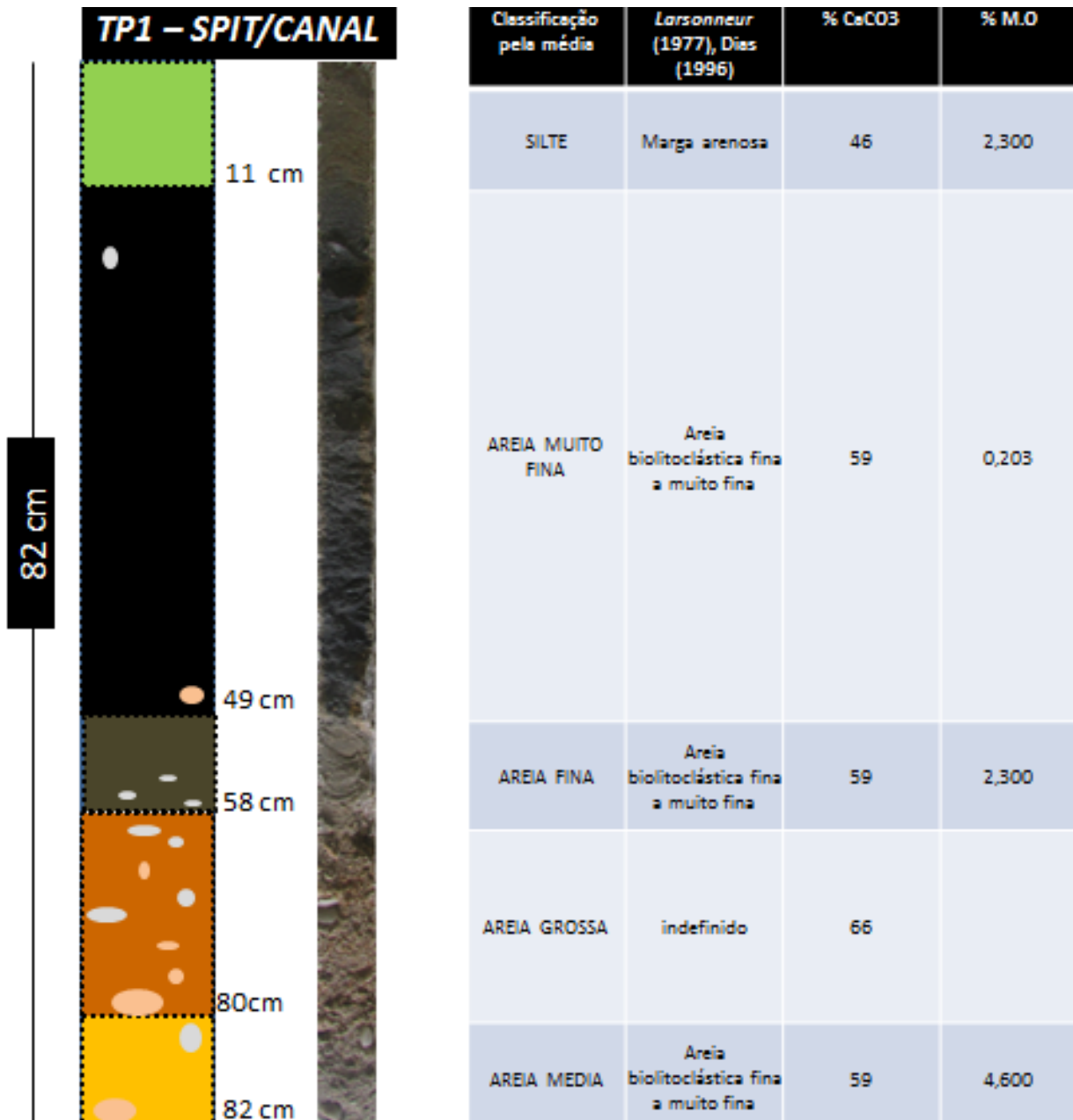
De 58 até 80 cm de profundidade a classe textural muda bruscamente para areia grossa. Aos 65 cm, 69 cm e 74 cm de profundidade ocorre a presença de três seixos, sendo o primeiro arredondado e os demais subarredondado. Fragmentos de conchas e rodólitos variando de 0,5 cm a 2 cm de comprimento ocorrem de forma dispersa ao longo de toda esta camada de sedimentos. Marcando o fim do estrato, aos 80 cm de profundidade ocorre um seixo subarredondado de aproximadamente 2 cm.

De 80 até a base (82 cm) predomina areia média, apresentado cor cinza claro. Pequenos fragmentos de concha e de material bioclástico são encontrados em todo o estrato. Uma concha com um lado bem preservado esta disposta transversalmente aos 82 cm de profundidade.

A disposição dos estratos demonstra que há um aumento gradual das classes texturais, partindo do topo em direção à base. Isto indica que esta área é um ambiente de baixa energia, que favorece a deposição de sedimentos mais finos. Os ciclos sedimentares mais atuais, representados pelos estratos superiores atestam este fato, com a composição de silte e areia muito fina e areia fina representando mais de 70% em espessura de todo o testemunho.

As frações dos dois estratos inferiores representam os sedimentos mais grossos encontrados no testemunho. A presença de seixos e rodólitos de forma mais abundante atestam para a existência desses processos, que corresponderam a ciclos mais rápidos, em função da menor espessura dos estratos. Outro forte indício deste processo é a existência de conchas bem preservadas nesses dois estratos, indicando ter havido um processo deposicional bastante acelerado, possivelmente de sobrelavagem de ondas, que remobilizou expressivos estoques de sedimentos e materiais bioclásticos existentes nas proximidades, sem tempo suficiente de fragmentar estes materiais.

Figura 102 - Perfil representativo do testemunho TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C)



Fonte: O Autor

TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C)

Apresentou comprimento total de 84 cm, distribuídos em 5 estratos, e contendo 4 classes texturais: silte (1 estrato), areia muito fina (1 estrato), areia fina (1 estrato), areia média (2 estratos). Ver figura 103.

Partindo do topo até a profundidade de 29 cm predomina a classe textural areia média, com presença de fragmentos de conchas e rodólitos ao longo de todo o estrato. Ocorrem 2 seixos de aproximadamente 1cm de comprimento, aos 11 cm e aos 22 cm de profundidade, subarredondado e arredondado, respectivamente.

De 29 até 44,5 cm de profundidade continua a predominar areia média, com maior presença de material bioclástico ao longo de todo o estrato. Aos 41 cm de profundidade ocorre uma concha de aproximadamente 3 cm de comprimento, bem preservada.

De 44,5 até 59 cm de profundidade, ocorre uma mudança mais brusca para areia muito fina. Há pouca presença de material bioclástico, porém aos 44 cm de profundidade ocorre uma raiz de aproximadamente 5 cm de comprimento, provavelmente originada de alguma espécie de vegetação de mangue, que ocorre nas proximidades da área. A ocorrência desta raiz demarca o fim do estrato.

De 59 até 65 cm de profundidade predomina areia fina, sem presença visível de material bioclástico, que, porém, deve estar bastante fragmentado e integrado aos grãos de quartzo, já que neste estrato foi encontrado o nível mais elevado de CaCO_3 (79%).

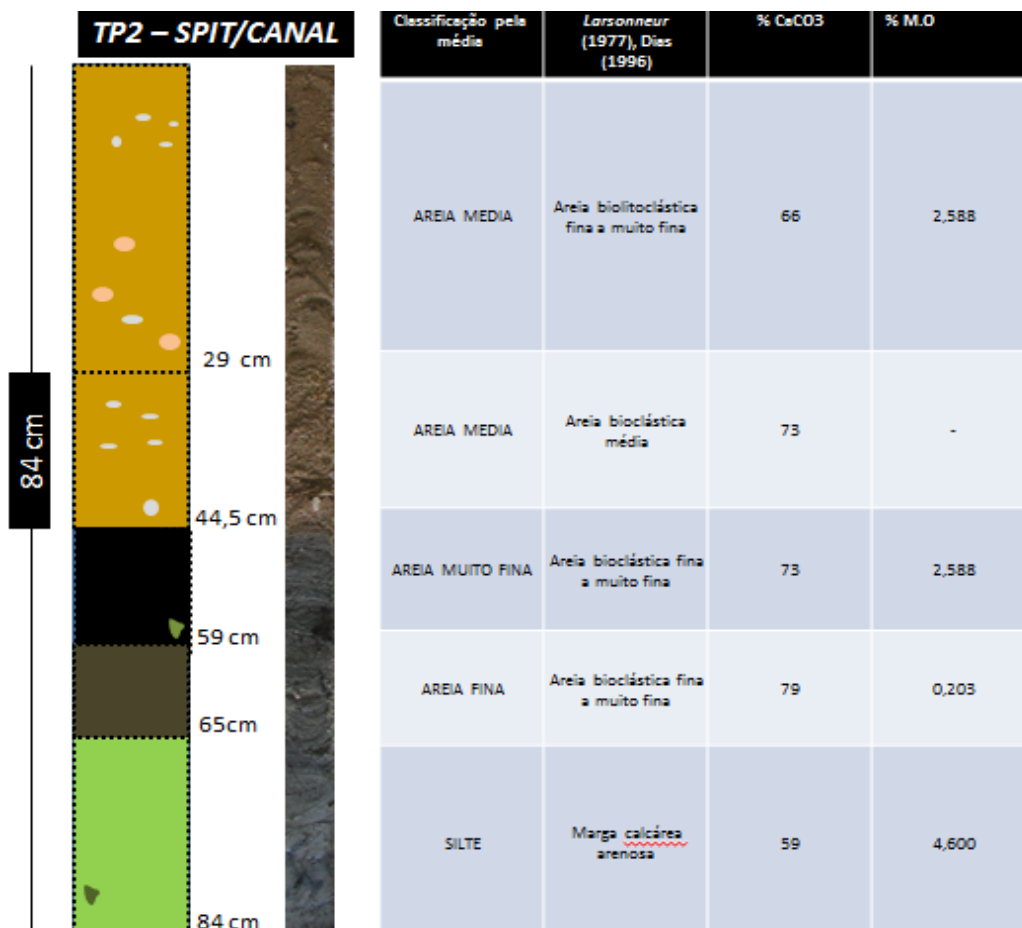
De 65 até a base (84 cm) há predominância de silte, definida como marga calcária arenosa na classificação de Larssonneur (1997), Dias (1996). Trata-se de um material bastante homogêneo e compactado, ocorrendo um pequeno fragmento de raiz aos 80 cm de profundidade, provavelmente oriundo de alguma espécie de vegetação de mangue.

Diferente do que ocorre na extremidade oeste do canal de maré, conforme identificado no testemunho TP1-SPIT/CANAL (TP1-S/C), a disposição dos estratos no testemunho TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C) indica que há uma diminuição das classes texturais partindo do topo em direção à base.

Isto demonstra que, apesar deste setor central do canal de maré apresentar-se como um ambiente de calmaria, que favorece a deposição de sedimentos finos, tem experimentado nos ciclos sedimentares mais recentes a atuação de eventos de maior energia. Estes eventos podem ser representados pela ação de processos eólicos mais incisivos, com os ventos transportando partículas de maior diâmetro, já que esse setor mais central do canal de maré apresenta maior proximidade com depósitos de dunas no topo da ilha barreira, que podem ser a área fonte para esses sedimentos mais grossos.

A presença de seixos nos estratos superiores do testemunho pode significar o efeito mais forte da corrente de maré vazante depositando esse material, que em geral é encontrado nas extremidades da ilha barreira. Os processos de abertura e rompimento da ilha, além de permitir a entrada desses sedimentos mais grossos no sistema, criam outro canal de comunicação direta com o mar, fazendo com que a velocidade e a quantidade de fluxo hidrossedimentológico representado pelas correntes de maré enchente e vazão sejam sensivelmente aumentadas. Os estratos inferiores, contendo areia fina areia muito fina e silte, representariam deste modo ciclos de sedimentação em que a ilha barreira estaria conectada ao continente, configurando-se como *spit*. Isto diminuiria a entrada de sedimentos mais grossos no sistema, bem como reduziria o efeito de transporte potencial das correntes de maré que adentrariam no canal por apenas uma abertura, no caso o da extremidade leste. Outra explicação seria a formação de bancos submersos ao longo do canal de maré que criariam uma área abrigada em torno desse trecho, e favoreceriam, portanto, a deposição de sedimentos mais finos.

Figura 103 - Perfil representativo do testemunho TP2-SPIT/CANAL (TP2-S/C)



Fonte: O Autor

TP3-SPIT/CANAL (TP3-S/C)

Apresentou comprimento total de 79 cm, distribuídos em 8 estratos, e contendo 2 classes texturais: areia fina (6 estratos), e areia média (2 estratos). Ver figura 104.

Partindo do topo até a profundidade de 36 cm predomina a classe textural areia fina, sem presença de conchas, rodólitos ou seixos.

De 36 até 54 cm de profundidade passa a predominar areia média. Entre 39 e 53 cm é verificada a presença abundante de rodólitos e conchas, de tamanhos variados e bastante misturados ao longo do estrato. Os rodólitos apresentam variação média entre 0,5 cm e 2 cm, e as conchas possuem tamanho médio de 2 cm. Também são encontrados seixos neste estrato, porém de forma mais dispersa.

De 54 até 57 cm de profundidade volta a predominar areia fina, sem presença de conchas, rodólitos ou seixos.

De 57 até 58 cm de profundidade a predominância continua sendo de areia fina, mas com um aspecto mais escurecido. Os teores de CaCO_3 e matéria orgânica são sensivelmente superiores aos do estrato anterior, indicando que durante a deposição havia presença de fragmentos de material bioclásticos aderidos aos sedimentos finos.

De 58 até 67 cm de profundidade novamente predomina areia média, com maior presença de material quartzoso e contendo também fragmentos de rodólitos dispersos no estrato.

De 67 até 71 cm de profundidade há predominância de areia fina, apresentando cor mais escura que nos demais estratos onde esta classe textural predomina.

De 71 até 77 cm de profundidade a predominância continua a ser de areia fina, porém contendo a presença de fragmentos de rodólitos bastante fragmentados misturados aos sedimentos finos.

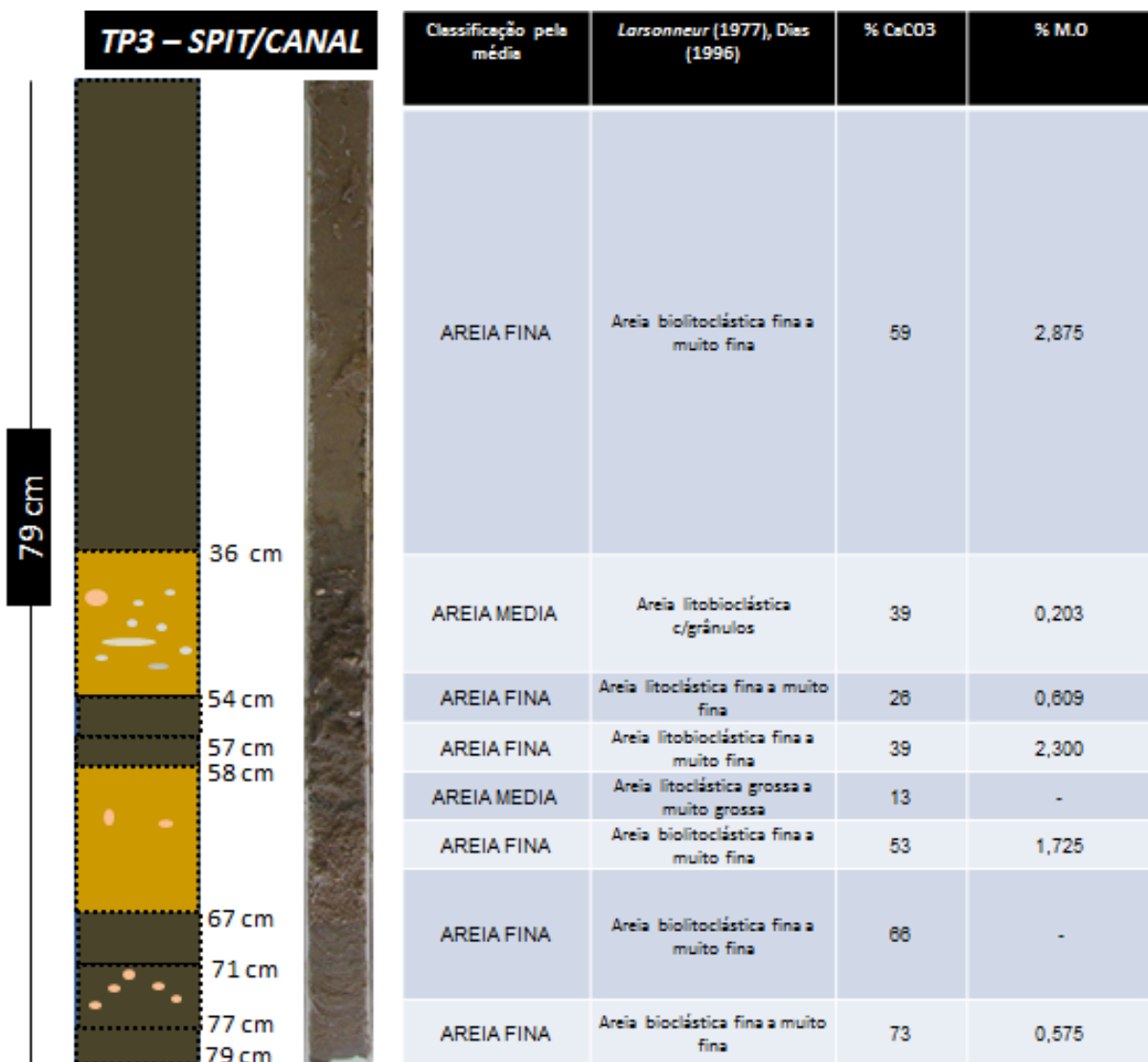
De 77 até a base (79 cm) predomina areia fina mais compactada e escurecida do que a do estrato anterior. O teor de CaCO_3 é o mais elevado entre todos os estratos (73%), porém com o teor de matéria orgânica é o mais baixo entre os sedimentos finos (0,575%).

Aproximadamente 65% dos sedimentos em espessura registrados nesse testemunho são compostos de areia fina e predominam do topo até a base, sendo intercalados por camadas de areia média apenas na porção intermediária do testemunho. Este dado é bastante interessante, porque essa é a extremidade leste do canal de maré da ilha barreira que sofreu rompimento recente da sua conexão com o continente. Logo, deveria haver maior presença de classes texturais mais grossas, já que atualmente este setor está mais exposto à ação das ondas e do próprio fluxo da corrente de maré.

A explicação mais provável para isso é a presença do ecossistema manguezal neste setor da ilha barreira, cujas raízes das árvores que ali estiveram presentes antes do rompimento, devem ter produzido um efeito de fixação dos sedimentos mais finos no substrato. Os estratos inferiores, provavelmente foram depositados ainda durante o período em que o *spit* ainda não havia rompido e se configurado como ilha barreira. Os estratos contendo areia média, por sua vez, devem corresponder a períodos em que houve sobrelavagem da ilha barreira por ondas de tempestade, ou em que as correntes de maré enchente e vazante possuíram maior competência de transportar sedimentos mais grossos.

A atual configuração da ilha barreira, provavelmente tenderá a tornar este ponto mais propício à deposição de sedimentos mais grossos, por conta da abertura ali formada. E o ecossistema manguezal apresenta mais vulnerabilidade em face da entrada de fluxos de maior energia através das correntes de maré que adentram ao canal.

Figura 104- Perfil representativo do testemunho TP3-SPIT/CANAL (TP3-S/C)



Fonte: O Autor

3.5.4 Linha de costa abrigada

No setor da linha de costa abrigada foram coletados dois testemunhos: um na extremidade oeste, denominado TP1-COSTA (TP1-C); e outro no setor central, denominado TP2-COSTA (TP2-C).

Nestes dois testemunhos foram individualizados 8 estratos (camadas) e identificadas 3 classes texturais de sedimentos, variando da classe areia fina, até a classe areia muito grossa. A maior parte dos estratos é composta por areia média (7 camadas), seguida de areia fina (3 e areia muito grossa (uma camada). Em termos de espessura, porém, a predominância é de areia fina, representado aproximadamente 70% dos sedimentos depositados nos dois testemunhos. Isto se deve ao testemunho TP1-COSTA (TP1-C), que foi o único entre todos os testemunhos coletados na área que apresentou uma única classe textural, do topo à base, neste caso, areia fina. O testemunho TP2-COSTA (TP2-C), coletado no setor central da linha de costa abrigada pela ilha barreira, apresenta, por sua vez, 50% dos sedimentos constituídos de areia média, enquanto que a areia fina, corresponde a aproximadamente 38% do testemunho, e os 12% restantes correspondem à areia muito grossa.

O que se pode interpretar é que, de maneira geral, os ciclos de sedimentação que ocorrem na linha de costa são mais estáveis dos que em todos os demais ambientes associados à ilha barreira. A maior estabilidade dos processos de sedimentação é explicada pelo fato de ser esta uma linha de costa totalmente abrigada pela ilha barreira, não estando exposta diretamente aos processos de transporte litorâneo de sedimentos, nem à ação direta das ondas. O transporte eólico neste trecho também é limitado, já que entre as dunas que estão estabelecidas sobre a ilha barreira e à linha de costa, ocorre o canal de maré, que devido à sua posição tende a aprisionar parte desses sedimentos, quando carregados em direção ao continente. Além disso, trata-se de uma linha de costa com dimensões bastante restritas, não existindo áreas expressivas de pós-praia e berma em grande parte do seu trecho. A infraestrutura de pousadas, estabelecimentos comerciais e residências criam barreiras ao livre transporte de sedimentos. Deste modo, a deposição sedimentar deve-se principalmente aos fluxos hidrossedimentológicos efetuados pelas correntes de maré enchente e vazante, que geram um *input* de sedimentos oriundos de outros ambientes associados à barreira costeira, e são responsáveis pela formação de barras e bancos arenosos, submersos ou parcialmente submersos. A abertura formada a partir do rompimento do *spit*, no setor leste da ilha barreira, porém, parece ameaçar esta relativa estabilidade da linha de costa, já que têm sido verificada a entrada de sedimentos mais grossos, como atestado pelo testemunho TP2-COSTA (TP2-C), e indícios de processos erosivos são nítidos ao longo de grandes setores da linha de costa.

TP1-COSTA (TP1-C)

Apresentou comprimento total de 89 cm, distribuídos em 1 estrato, e contendo 1 classe textural: areia fina. Ver figura 105.

Partindo do topo até a base (89 cm) predomina uma única classe textural, representada por areia fina. De textura praticamente homogênea, não há presença de seixos ou rodólitos ao longo do testemunho, apenas algumas conchas e fragmentos de conchas situadas próximas à base do testemunho. O teor de CaCO_3 encontrado foi de apenas 33%, demonstrando haver pouco material de origem bioclástica no conteúdo sedimentar deste trecho da linha de costa. O teor de matéria orgânica apresentou um valor intermediário em relação aos demais testemunhos (2,013%).

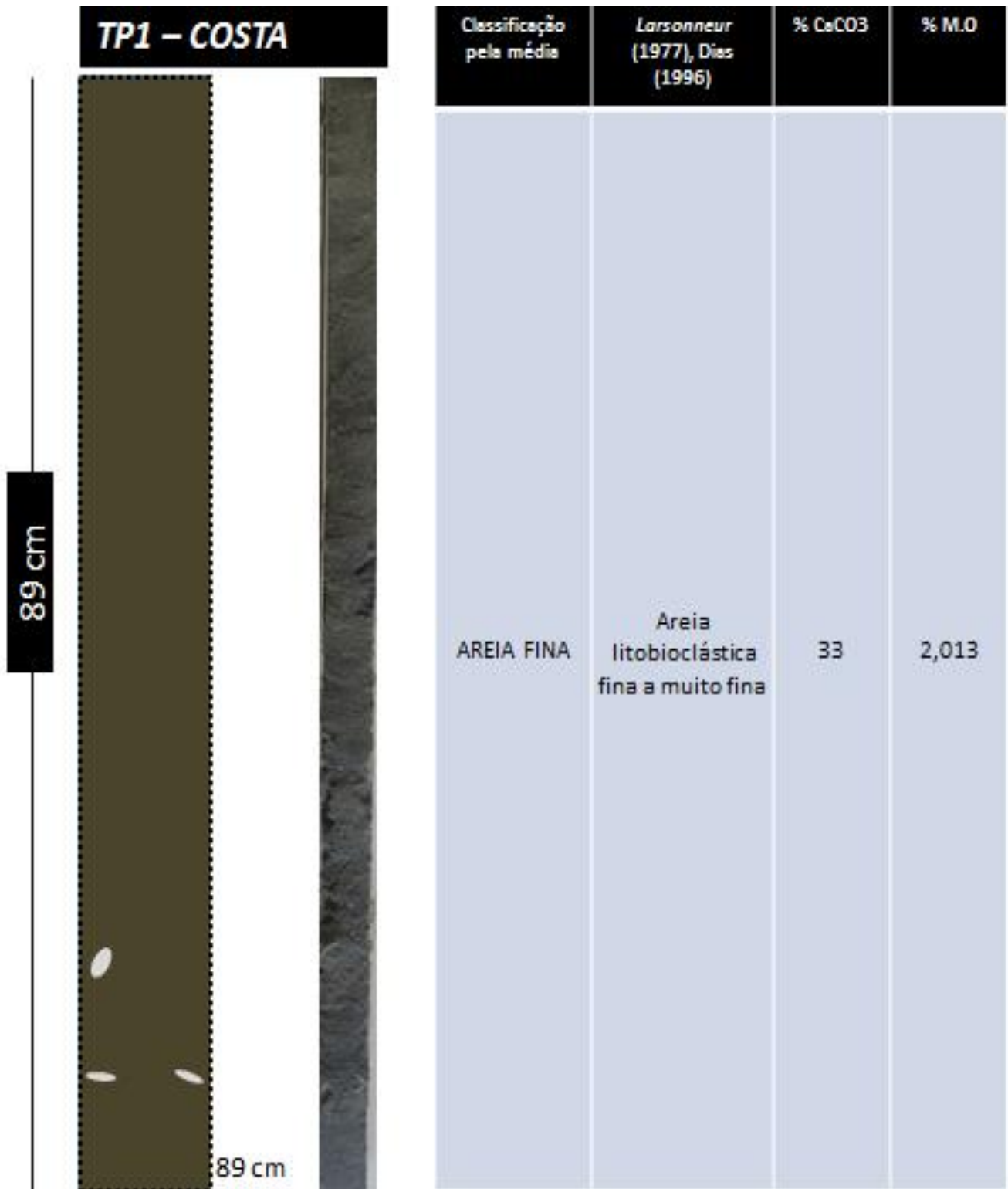
Este foi o único testemunho que apresentou apenas um ciclo de sedimentação. A quantidade de areia fina depositada e sua homogeneidade indicam que este trecho da linha de costa tem experimentado um estágio relativamente estável de sedimentação, sofrendo pouca, ou nenhuma perturbação de fatores externos.

Este trecho da linha de costa apresenta dunas de porte relativamente elevado, que podem estar contribuindo para a deposição de sedimentos finos. Há também neste trecho a formação de expressivas barras arenosas no interior do canal de maré, que podem atuar como inibidoras da chegada de sedimentos mais grossos à linha de costa.

Contudo, é possível notar, durante os períodos de baixa-mar, raízes expostas de espécies do ecossistema manguezal, indicando a ação de processos erosivos que atuaram sobre a linha de costa em períodos mais recentes, quando a ilha barreira ainda não abrigava este setor. A base de muitas dessas dunas estabelecidas na linha de costa, tem apresentado também diminuição de cota topográfica em função da subida do nível da água e solapamento por ondas. Provavelmente o maior fluxo criado pelas correntes de maré enchente e vazante têm influência sobre estes eventos erosivos.

Por ser um setor que está muito próximo à extremidade oeste da ilha barreira, a relativa estabilidade em relação aos processos erosivos pode ser efêmera ou duradoura, dependendo dos processos de deslocamento da ilha. Em caso de crescimento contínuo, a linha de costa tenderá a permanecer cada vez mais protegida, se caracterizando como um ambiente de baixa energia, com maior deposição de sedimentos finos. Porém, em caso de erosão ou rebaixamento significativo desta extremidade da ilha barreira, esta área da linha de costa estará exposta à ação direta das ondas, com maior entrada de sedimentos grossos e aceleração de processos erosivos.

Figura 105 - Perfil representativo do testemunho TP1-COSTA (TP1-C)



Fonte: O Autor

TP2-COSTA (TP2-C)

Apresentou comprimento total de 76 cm, distribuídos em 7 estratos, e contendo 3 classes texturais: areia fina (2 estratos), areia média (4 estratos), e areia muito grossa (1 estrato). Ver figura 106.

Partindo do topo até a profundidade de 9,5 cm predomina a classe textural areia média, contendo poucos fragmentos de material bioclástico, e um rodólito de aproximadamente 2 cm, na profundidade 4,5 cm.

De 9,5 até a 23 cm de profundidade o predomínio ainda é de areia média, porém com uma alteração significativa da coloração dos sedimentos que compõem o estrato em relação ao anterior, sendo mais claros e contendo menos material bioclástico.

De 23 até 40 cm de profundidade o estrato é composto por areia fina, de cor cinza escura. Aos 39 cm de profundidade ocorre um rodólito de 1 cm.

De 40 até 49 cm de profundidade, há o predomínio de areia média, contendo alguns fragmentos de material bioclástico em desgastados, porém em pequena quantidade.

De 49 até 55 cm de profundidade continua a predominar areia média, porém com a presença de material bioclástico mais abundante que no estrato anterior. Aos 55 cm de profundidade, demarcando a transição para o próximo estrato ocorrem um rodólito de 2,5 cm, e um seixo subarredondado de 2 cm.

De 55 até 64 cm de profundidade há o predomínio de areia muito grossa, de cor bem clara, contendo um seixo bem arredondado de 2,5 aos 61 cm de profundidade, além de seixos menores, com aproximadamente 1 cm, misturados a fragmentos de rodólitos, e dispersos ao longo de todo o estrato.

De 64 até 76 cm de profundidade há uma mudança brusca de classe textural, passando a predominar areia fina. Não há presença de conchas, seixos ou rodólitos nesse estrato, porém este material deve estar presente e bem agregado ao sedimento, já que os maiores teores de CaCO_3 (79%) e matéria orgânica (2,875%) de todo o testemunho foram identificados nesse estrato.

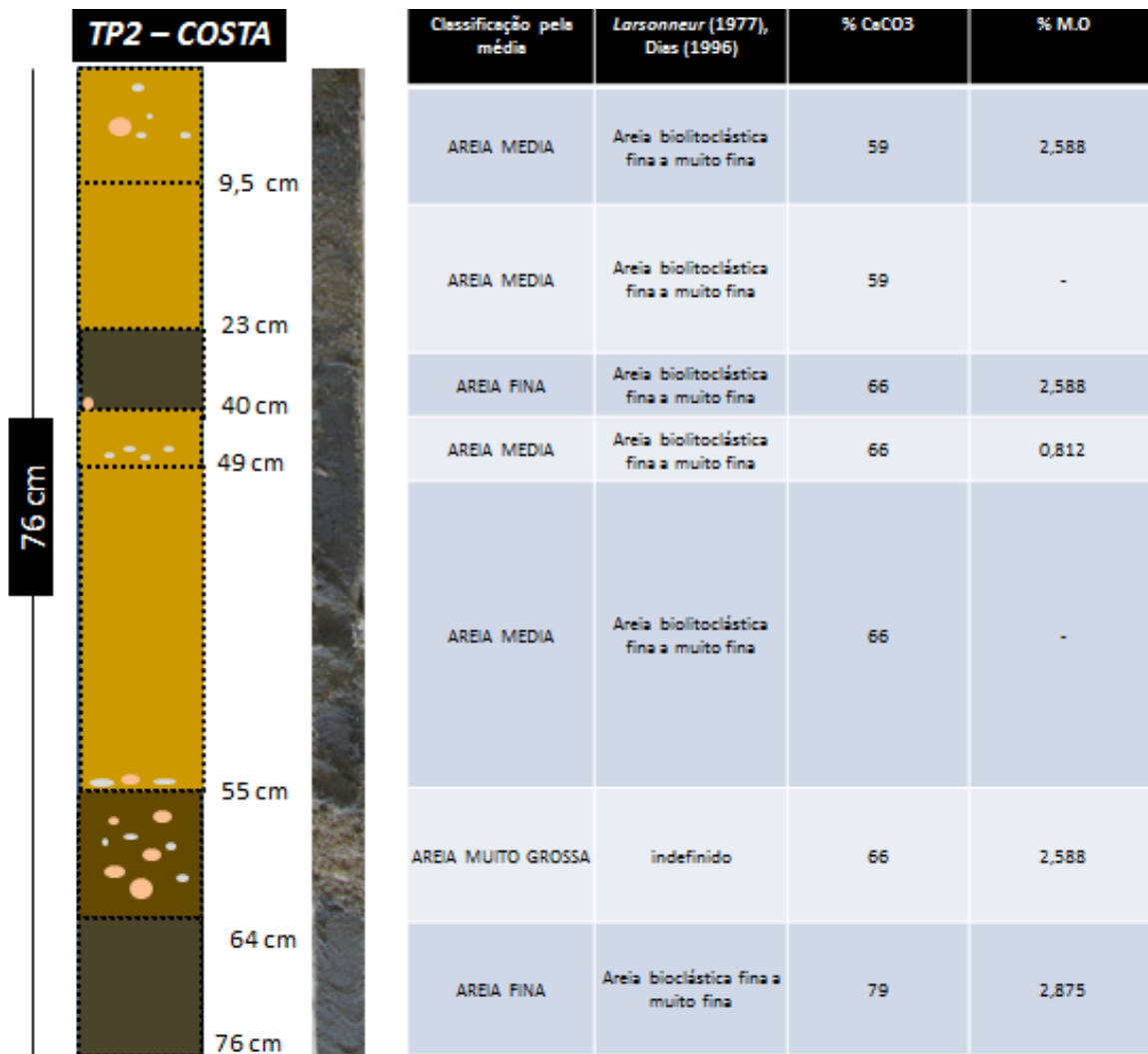
A interpretação do testemunho demonstrou que os ciclos de sedimentação nesse setor da linha de costa são mais acelerados do que no outro setor analisado através do testemunho TP1-COSTA (TP1-C). Há certa proporção entre os sedimentos finos e os mais grossos, porém com uma tendência de maior acumulação dos grossos.

Este trecho da linha de costa, apesar de estar mais abrigado do que o trecho anterior, se localiza mais próximo da abertura localizada na extremidade leste da ilha, no local de rompimento do antigo *spit*. Neste setor, há maior entrada de sedimentos grossos, e o fluxo de maré vazante deve contribuir de forma mais determinante na deposição deste material neste

trecho da linha de costa. Há indícios de processos erosivos atingindo também este setor da linha de costa, que conta em alguns pontos com estruturas de contenção edificadas pelos próprios moradores.

A explicação mais provável para a existência desses ciclos típicos de ambiente de maior energia deve ser, portanto, a atuação das correntes de maré enchente e vazante, que tiveram seu efeito potencializado a partir da abertura criada pelo rompimento do *spit*. A ampliação dos bancos e barras arenosas no interior do canal de maré também pode atuar neste processo, já que causam a elevação da cota topográfica do canal e potencializam o efeito erosivo na medida em que durante o enchimento do canal, o nível da água se eleva mais que o normal, atingindo setores normalmente por ela não alcançados. O resultado é a maior retirada de sedimentos, o solapamento das estruturas estabelecidas na linha de costa (naturais ou artificiais), e até mesmo a sobrelavagem destas áreas.

Figura 106 - Perfil representativo do testemunho TP2-COSTA (TP2-C)



Fonte: O Autor

4. CONCLUSÕES

Este trabalho atendeu ao objetivo principal de compreender a dinâmica morfológica e sedimentar de um sistema de barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira, tomando como estudo de caso o litoral dos municípios de Acaraú e Itarema, no estado do Ceará.

A Identificação da ocorrência das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira e caracterização quanto às principais formas de uso e ocupação considerando a escala de abordagem regional apresentou-se como pioneira, auxiliando futuros estudos que venham a ser desenvolvidos no litoral setentrional do Brasil.

Constatou-se que os principais tipos de barreiras costeiras que ocorrem nessa região são do tipo *spits*, tendo sido identificados 39, ao passo que foram identificadas apenas 9 ilhas-barreiras. Quanto à localização, os *spits*, além de ocorrerem em maior número, possuem uma melhor distribuição espacial, ocorrendo nos quatro estados que compõem a Costa Semiárida (Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão). O Ceará é o estado que apresenta a maior concentração de *spits* (66%), além de apresentar padrão distributivo mais descentralizado e padrão morfológico mais variável que os *spits* dos demais estados. O Litoral Oeste do Ceará é a área que concentra a maior parte (16) do total de 26 *spits* estado. As ilhas barreira da Costa Semiárida Brasileira, por sua vez, têm uma ocorrência bem mais restrita do que os *spits*, além de ocorrerem em quantidade mais de quatro vezes inferior (9), não se distribuem de maneira descentralizada, concentrando-se Rio Grande do Norte (6).

Os *spits* da Costa Semiárida Brasileira são mais afetados pelas pressões antrópicas e apresentam maiores limitações ambientais que as ilhas barreira. Além de serem mais numerosos, apresentam maior facilidade de acesso por estarem conectados ao continente. Dentre as principais formas de uso e ocupação destacam-se aquelas instaladas diretamente sobre as barreiras ou à retaguarda, como aerogeradores, carcinicultura, atividade salineira, e infraestrutura para o turismo, sendo o Rio Grande do Norte o estado onde os processos de uso e ocupação encontram-se mais avançados. A especulação imobiliária e o adensamento dos núcleos urbanos em função do potencial paisagístico oferecem também risco à estabilidade dos *spits*. As ilhas barreiras, por estarem mais destacadas da costa e apresentarem dificuldade de acesso apresentam formas de uso e ocupação menos recorrentes, porém são áreas que oferecem mais riscos à ocupação em função das alterações bruscas a que estão sujeitas, devendo haver maior atenção quanto à manutenção do seu estado de conservação.

A análise do processo migratório e mudanças morfológicas interdecadais referentes às barreiras costeiras de Acaraú e Itarema indicou a intensificação da dinâmica de movimentação e alteração no padrão morfológico dessas barreiras nas últimas quatro décadas. Em 44 anos, mais de 1,5 milhões de m² foram perdidos, o que representou valor superior a 36% de redução

da área total inicial dos *spits* (1973), com situação mais grave no litoral de Acaraú, que registrou predomínio dos processos erosivos em quatro dos cinco *spits* analisados. A consequência mais direta é o fato do litoral à retaguarda dessas barreiras costeiras, em função da crescente exposição, estar apresentando a intensificação dos processos erosivos. A alta mobilidade a que estão submetidos esses *spits* pode significar, portanto, não apenas o seu desaparecimento, mas também de muitos setores da linha de costa à retrobarreira. Diversos sistemas ambientais como os manguezais, complexos de dunas e lagunas, além da própria infraestrutura urbana e/ou equipamentos urbanos e propriedades privadas podem estar condenados à destruição.

A avaliação do processo migratório sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema indicou o papel protetivo significativo exercido pela barreira costeira e que os processos erosivos ocorridos em escala interdecadal tendem a se intensificar também sazonalmente, em escala anual, cujos reflexos são experimentados também pela linha de costa, que apesar de abrigada, começa a apresentar setores com tendências erosivas.

Em relação ao comportamento sazonal da barreira costeira, o período entre julho e outubro de 2016 foi o que registrou os processos erosivos mais intensos, com a maior erosão correspondendo ao setor leste da ilha barreira, justamente no setor onde mantinha a conexão com o continente. A área exposta da ilha, voltada para o oceano, também sofreu processo erosivo generalizado. O setor que corresponde à porção distal da ilha, na sua extremidade oposta (oeste), apresentou ganho de área em função da sua movimentação no sentido da corrente de deriva litorânea. Esse processo progradacional, no entanto, foi acompanhado por um processo de estreitamento desta porção da ilha barreira, cuja continuidade do processo pode acarretar o desprendimento dessa extremidade da ilha e/ou seu completo desaparecimento.

Em relação ao comportamento sazonal da linha de costa associada ao sistema *spit*-ilha barreira, apesar de abrigada, apresentou trechos com processos de remobilização sedimentar intensos, principalmente através da deposição/remoção de barras arenosas paralelas e perpendiculares, bem como por apresentar trechos com processos erosivos avançados. O período entre julho e outubro de 2016 foi o que ocorreu o maior déficit sedimentar, assim como registrado no mesmo período para a barreira costeira. A exposição de material lamoso e exumação de fragmentos de troncos/raízes de vegetação de mangue, bem como a construção de estruturas rígidas para conter os processos erosivos são claros indícios da intensificação dos processos erosivos.

A compreensão do comportamento morfosedimentar sazonal de um sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema foi de extrema importância, pois em geral os estudos sobre barreiras costeiras consideram apenas a variabilidade espaço-temporal em escala decadal, não tendo sido encontrados registros de trabalhos anteriores a este neste setor da costa brasileira que tenham realizado monitoramento morfodinâmico a partir de perfis topográficos efetuados na própria barreira costeira levando em consideração seu comportamento sazonal, associando ainda às características sedimentares.

Esta análise permitiu concluir que a barreira costeira apresenta maior variabilidade morfodinâmica, cujas extremidades são altamente vulneráveis aos processos migratórios e erosivos, fato atestado pelas sucessivas fases entre *spit* e ilha barreira as quais experimenta. Mesmo o setor central da barreira apresenta-se suscetível aos processos erosivos por conta da sobrelavagem da linha de costa durante eventos de alta energia, ocasionando déficit sedimentar e rebaixamento geral da topografia. O surgimento de uma barra arenosa na área abrigada próxima à extremidade leste indica que a ilha barreira está próxima de se reconfigurar como *spit*. A composição sedimentar predominante é de areia e areia com cascalho esparsos, contendo grãos sem um padrão definido de selecionamento em função da elevada morfogênese e diferentes agentes hidrodinâmicos e morfodinâmicos atuantes.

A linha de costa apresentou comportamento morfodinâmico mais estável, com perfis planos, porém menos extensos por se encontrar confinada. O predomínio dos sedimentos mais finos em relação aos do sistema *spit*-ilha barreira, com 88% das amostras englobando areia fina, areia muito fina ou silte, revelou o comportamento sedimentar diferenciado por se tratar de uma linha de costa abrigada, porém em muitos setores foram registrados processos erosivos mais intensos, aliados aos processos que ocorrem na barreira costeira e à provável ação de correntes de marés mais intensas.

A análise ciclos de sedimentação no sistema *spit*-ilha barreira e linha de costa associada no litoral de Itarema, determinados a partir de testemunhagem do substrato, mostrou-se fundamental porque permitiu a identificação das fácies sedimentares e a interpretação do modo de ocorrência e sucessão das diferentes camadas. A interpretação de mais de 8 metros de camada sedimentar, aliada à espacialização dos testemunhos, que considerou os principais subambientes associados (barreira, dunas, canal de maré e linha de costa abrigada), consistiu em um bom nível de detalhamento, por permitir a correlação entre os processos deposicionais e dinâmicos a que estão submetidos. Também consistiram em dados inéditos para esse tipo de análise de barreiras costeiras, já que não foram registrados estudos anteriores que tenham adotado escala de análise similar na costa setentrional do Brasil.

No caso do subambiente barreira (exposta à ação direta do mar) os processos de maior energia de ondas, provavelmente durante eventos de tempestade, tendem a acumular sedimentos mais grossos, que neste caso estão concentrados na extremidade leste e no setor central da ilha.

O subambiente denominado duna (setor central da ilha) os ciclos sedimentares predominantes correspondem à deposição sedimentar realizada pelo transporte eólico, como é confirmado pela predominância das classes areia fina e média (quase 90% em espessura de todos os estratos). Porém, a presença de areia grossa nos dois testemunhos deste ambiente de dunas indica que além da deposição pelo transporte eólico há a atuação de agentes hidrodinâmicos, provavelmente ondas de tempestade, que causam a sobrelavagem desta área.

No subambiente canal de maré a predominância de areia fina na maior parte dos estratos (camadas) indica que os processos deposicionais predominantes estão ligados a um ambiente de baixa energia, o que é próprio de setores abrigados, como é o caso do canal de maré, que está protegido pela ilha barreira. Em alguns setores do canal de maré esta estabelecida uma vegetação de mangue, que em alguns trechos parece estar em expansão, e em outros apresenta indícios de destruição. A destruição dessa vegetação indica a atuação eventual de eventos de maior energia, o que pode ser atestado pelas frações de areia mais grossa e pelo conteúdo de alguns estratos, contendo seixos de dimensão significativa, e restos de raízes aprisionados nos sedimentos. Isto aponta para o fato de que apesar de serem ambientes mais estáveis, os canais de maré também estão sujeitos à intensificação dos processos erosivos.

No subambiente referente à linha de costa são mais estáveis dos que em todos os demais subambientes associados ao sistema *spit*-ilha barreira. A maior estabilidade dos processos de sedimentação é explicada pelo fato de ser esta uma linha de costa totalmente abrigada pela ilha barreira, não estando exposta diretamente aos processos de transporte litorâneo de sedimentos, nem à ação direta das ondas. A deposição sedimentar ocorre principalmente através dos fluxos hidrossedimentológicos efetuados pelas correntes de maré enchente e vazante, que geram um *input* de sedimentos oriundos de outros ambientes associados à barreira costeira, e são responsáveis pela formação de barras e bancos arenosos, submersos ou parcialmente submersos. A abertura formada a partir do rompimento do *spit*, no setor leste da ilha barreira, porém, parece ameaçar esta relativa estabilidade da linha de costa, através da entrada de sedimentos mais grossos, transportados somente em condições de maior energia, como confirmado pela análise dos testemunhos.

Desta forma, a partir dos resultados obtidos, da sua interpretação e correlação, confirmamos a tese de que as barreiras costeiras de Acaraú e Itarema têm apresentado nas

últimas décadas significativas alterações morfológicas e sedimentares associadas principalmente à sua dinâmica migratória, implicando na redução generalizada de sua área e na reconfiguração morfológica, e de que isto pode tornar o referido litoral mais exposto e, conseqüentemente, mais suscetível às múltiplas condições e eventos climato-oceanográficos.

Acreditamos que foi possível preencher uma lacuna importante no que diz respeito à compreensão da dinâmica morfológica e sedimentar de um sistema de barreiras costeiras no litoral brasileiro, dada à abrangência das escalas e análises adotadas neste estudo.

Este trabalho não esgotou as investigações acerca das barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira, tendo servido de estímulo aos estudos vindouros e oferecendo informações valiosas que deem suporte às pesquisas que vierem a ser desenvolvidas nesta temática.

Entendemos que novas análises podem ser implementadas para permitir uma compreensão mais profunda do processo evolutivo dessas barreiras costeiras, principalmente através do uso de GPR para estudo da arquitetura deposicional interna das barreiras e da geocronologia dos depósitos.

A preservação das barreiras costeiras apresenta-se como fundamental para o futuro dos ambientes costeiros a elas associados e somente a partir do seu melhor entendimento é possível alertar para a necessidade da sua preservação. Isto evidencia a necessidade de ampliação dos estudos, que ainda são pouco numerosos considerando-se as características peculiares da Costa Semiárida Brasileira no que diz respeito à ocorrência das barreiras costeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, P. F. **Morfologia e dinâmica de médio (1958-2010) e curto (2007) períodos da planície costeira de Almofala, município de Itarema, Ceará.** Tese de doutorado (2011). UFPA. 179 p.

AGUIAR, P. F.; EL ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; ALVES, M. P. **Análise da degradação ambiental como subsídeo à sustentabilidade socioambiental no município de Itarema, Ceará (Brasil).** *In:* Rodrigo Guimarães de Carvalho e Melissa Rafaela Costa Pimenta. (Org.). *Gestão da Zona Costeira: estudos de caso no Nordeste do Brasil.* 15 ed. Mossoró: Edições UERN, 2015, v., p. 104-126.

AGUIAR, P. F.; EL ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; Carvalho, R. G. **Análise multitemporal da linha de costa da praia de Torrões (Itarema, Ceará, Brasil) em médio período (1958-2004) utilizando imagens Quickbird e fotografias aéreas.** *Revista GeoNorte*, v. 1, p. 1279-1290, 2012.

ALLARD, J. et al., (2008). **Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France.** *Marine Geology* 253 107–131.

ANDRADE, Ana Cláudia da Silva; DOMINGUEZ, J. M. L. **Holocene Barrier Island / Lagoon System at Caravelas Strandplain - Bahia - Brazil.** *Journal of Coastal Research*, Estados Unidos da América, v. SI42, p. 164-173, (2005).

ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. MULLER, M. E. **Previsão e consequências da abertura de uma nova barra no Mar do Ararapira, Paraná-São Paulo, Brasil.** *Quaternary and Environmental Geosciences* (2009). 01(2):67-75

BIRD, E.C.F. **Coastal Geomorphology: an introduction.** (2008). Second Edition.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L. **Shoreline Definition and Detection: A Review.** *Journal of coastal research*, Flórida, v.21, n.4, p.688 – 703, 2005.

BRENNER, O. T; MOORE, L. J. ; MURRAY, A.B. **The complex influences of back-barrier deposition, substrate slope and underlying stratigraphy in barrier island**

response to sea-level rise: Insights from the Virginia Barrier Islands, Mid-Atlantic Bight, U.S.A. *Geomorphology* 246 (2015) 334–350

CALDAS, L. H. O.; OLIVEIRA JUNIOR, J. G.; MEDEIROS, W. E. ; STATTEGGER, K.; VITAL, H. **Geometry and evolution of holocene transgressive and regressive barriers on the Semi-Arid Coast of NE Brazil.** *Geo-Marine Letters*, v. In pre, p. in pr-in, 2006.

CARRASCO, A. R. et al., (2012). **Natural and human-induced coastal dynamics at a back-barrier beach.** *Geomorphology* 159-160/30–36

CEIA, F. R. **Vulnerabilidade das Ilhas-Barreira e Dinâmica da Ria Formosa na Óptica da Gestão.** *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9(1):57-77 (2009)

CEIA, F. R.; DIAS, J. A.; et al., (2010). **Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system.** *Ocean & Coastal Management* – 53/ 478 – 486.

CLAUDINO SALES, V; PEULVAST, J. P. (2003). **Barreiras e Flechas Litorâneas no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil.** II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.

CLEMMENSEN, L.B., BENDIXEN, M., NIELSEN, L., JENSEN, S., SCHRØDER, L., 2011. **Coastal evolution of a cusped foreland (Flakket, Anholt, Denmark) between 2006 and 2010.** *Bull. Geol. Soc. Den.* 59, 37–44.

COOPER, J.A.G., AND LEWIS, PILKEY, O.H. 2007. **Fetch-limited barrier islands: Overlooked coastal landforms.** *GSA Today*: v. 17, no. 3,

CORREA, I. C. S.; ALIOTTA, S.; WESCHENFELDER, J. **Estrutura e evolução dos cordões arenosos pleistocênicos no canal de acesso à Laguna dos Patos-Brasil.** *Pesquisas em Geociências (UFRGS), Instituto de Geociências-UFRGS*, v. 31, n.2, p. 69-78, (2004).

CROWELL, M., S.P. LEATHERMAN, M.K. BUCKLEY. 1991. **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy.** *Journal of Coastal Research, Flórida*, v. 7, n. 3, p. 839-852.

- DAVIDSON-ARNOTT, R. (2010). **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge. 458p
- DAVIS Jr, R.A. (1994). **Barrier Island systems – A geologic overview**. In: Davis Jr, R. (Ed.). *Geology of Holocene Barrier Island Systems*. Springer-Verlag, chap 1, p. 46.
- DE BEAUMONT, E. (1845). **Lecons de geologie pratique**. In: P. Bertrand (Editor), Paris, pp.223-252.
- DIAS, G.T.M. **Classificação de sedimentos marinhos inconsolidados - proposta de representação em cartas sedimentológicas**. (1996). *In: Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia - Salvador*.
- DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L. R. ; BARBOZA, E.. **Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul**. *Gravel (Porto Alegre), Porto Alegre*, v. 3, p. 09-14, (2005).
- DILLENBURG, S. R. (Org.); HESP, Patrick Alan (Org.). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. 1. ed. Heidelberg: Springer, (2009). v.107. 380 p.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. **Long and short term progradation of a regressive barrier in southern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, v. SI 56, p. 599-601, 2009.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J. ; ROSA, M.L.C.C. ; MACIEL, G. S. **Aeolian Deposition and Barrier Stratigraphy of the Transition Region between a Regressive and a Transgressive Barrier: an example from Southern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, v. 65, p. 464-469, (2013).
- DILLENBURG, S. R ; HESP, P.; CECILIO, R.; MIOT DA SILVA, G. **Wave Energy as a Control on Dune Development on two Regressive Barriers in Southern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, v. SI 75, p. 273-277, (2016).
- DINIS, PEDRO A; HUVI, J; CASCALHO, J; GARZANTI, E; VERMEESCH, P; CALLAPEZ, P. **Sand-spits systems from Benguela region (SW Angola). An analysis of**

sediment sources and dispersal from textural and compositional data. Journal of African Earth Sciences. 117 (2016) 171-182p.

DIAS, J. M. A.; FERREIRA, O. M. F. C.; PEREIRA, A. P. R. R. **Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. Portugal.** Edições Algarve, 1994.

DINIZ, M.T.M.; OLIVEIRA, G.P. **Proposta de Compartimentação em Mesoescala para o Litoral do Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Geomorfologia.v.17, nº3 (2016).

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. **O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ).** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 13, n.4, p. 98-105, (1983).

DYER, KEITH, R.; HUNTLEY, DAVID, A.(1999). **The origin, classification and modelling of sand banks and ridges.** *Continental Shelf Research* (19) 1285 – 1330.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo:** Métodos Usados na Embrapa Solos, 1998.

FITZGERALD, D.M; PENLAND, S. NUMMEDAL, D. **Control of Barrier Island Shape By Inlet Sediment Bypassing: East Frisian Island, West Germany.** Marine Geology, 60 (1984) 355-376.

FITZGERALD, D.M; MONTELLO, T. M. **Backbarrier and Inlet sediment Response to the Breaching of Nauset Spit and Formation of New Inlet, Cape Code, Massachusetts.** (1993) Coastal and Estuarine Studies, Volume 44, Pages 158-185.

FITZGERALD, D. M.; KRAUS, N. C.; HANDS, E. B. **Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets.** (2000). ERDC/CHL CHETN-IV-30. US Army Corps of Engineers.

FOLK, R. L. **The Distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature.** (1954). Journal of Geology, 62 (4): 344-359.

- FOLK, R. L.; WARD, W. C. **Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters.** (1957). *Journal of Sed. Petrol.*, 27: 3-27.
- FONTELES, M. L.- 1995 – **Evolução Geológica Sedimentar da Região Costeira de Itarema.** Relatório de Graduação. Depto. Geologia. UFC, figs.180, 198p.
- GALVANI E.; LUCHIARI A. **Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido.** Aracajú, VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2004, p. 20-29.
- GASTÃO, F.G.C. **Dunas eólicas costeiras como indicadoras de alterações no clima desde o Pleistoceno Superior – O caso de dunas dos Estados do Ceará e Maranhão, Brasil.** Tese de Doutorado (2017). UFC. 171 p.
- GILBERT, G.K., (1885). **Lake Bonneville.** U.S. Geol. Surv., Monogr., 1 : 438 pp.
- GRACIA, V.; GARCÍA, M.; GRIFOLL, M.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A. **Breaching of a barrier under extreme events. The role of morphodynamic simulations.** *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, (2013).
- HESP. P. A.; RUZ, Marie-Hélène.; HEQUETTE, A.; MARIN, D.; Miot d a Silva, G. **Geomorphology and dynamics of a traveling cusped foreland, Authie estuary, France.** *Geomorphology* 254 (2016) 104–120
- HOYT, J. H. (1967). **Barrier Island Formation.** *Geol. Soc. America Bull*, v. 78. P. 1125-1136.
- LANGFORD, E. **Quartiles in elementary statistics.** *Journal of Statistics Education*. Texas, 2006.
- LARSONNEUR, C. **La cartographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée em Manche.** (1977). *Journal Rech. oceanog.* 2:34-39.
- LEWIS, D. A. COOPER, J. A. G. PILKEY, O. H. **Fetch Limited Barrier Islands of Chesapeake Bay and Delaware Bay.** *Southeastern Geology*. V. 44, No 1, October 2005, p 1-17.

LIMA, Z. M. C.; ALVES, A. L.; AMARO, V. E. ; VITAL, Helenice. **Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos-RN usando fotografias aéreas e imagem Landsat**. Pesquisas em Geociências, v. 28, n.2, p. 25-33, (2002).

LIMA, Z.M.C. **Caracterização da Dinâmica Ambiental da Região Costeira do Município de Galinhos, Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado (2004). UFRN. 157 p.

MARRINER, N; Goiran, J. P; Morhange, C. **Alexander the Great's tombolos at Tyre and Alexandria, eastern Mediterranean**. *Geomorphology* 100 (2008) 377–400

MCBRIDE, R.A; MOSLOW, T. F. **Origin, evolution, and distribution of shoreface sand ridges, Atlantic inner shelf, U.S.A**. *Marine Geology*, 97 (1991) 57-85.

MCGEE, W.D. (1890). **Encroachments of the sea**, *Forum*, 9: 437--449.

MCNINCH, J.E., LUETTICH, R.A., 2000. **Physical processes around a cusped foreland headland: implications to the evolution and long-term maintenance of a cape-associated shoal**. *Cont. Shelf Res.* 20, 2367–2389

MEIRELES, A.J.A. **Geomorfologia Costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 489p

MORAIS, J.O. ; FONTELES, M. L. **Fluxos Interativos na Elaboração da Planície Costeira de Itarema - Ceará**. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Fortaleza - Ce, v. 1, n. 2, p. 63-68, (2000).

MORAIS, J. O. FREIRE, G.S., PINHEIRO, L.S., SOUZA, M. J. N. de, CARVALHO, A. M., PESSOA, P.R.S. & OLIVEIRA, S. H. M. (2006) – **CEARÁ**. *In: MUEHE, D. (ORG.), Erosão e Progradação do litoral Brasileiro*, 1: 132- 154, MMA (Ministério do Meio Ambiente), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MORAIS, J. O., IRION, G. F., PINHEIRO, L. S. and KASBOHM, J., (2009). **Preliminary Studies on Holocene sea level changes in Ceará coast, Brazil**. *Journal of Coastal Research*, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium, 646 – 649. Lisbon, Portugal, ISSN 0749 – 0258.

- MOURA, F.J.M. **Contribuição ao estudo dos esporões arenosos: uma análise da zona costeira de Itarema, Ceará, Brasil.** Monografia de conclusão de curso. Curso de Geografia-Bacharelado. Universidade Estadual do Ceará. (2012). 48p.
- MUEHE, D. **Geomorfologia costeira.** In: GUERRA; CUNHA. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.**1994. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p. 253- 308.
- MUEHE, D. (1998). **O litoral brasileiro e suas compartimentação.** In: Geomorfologia do Brasil. Cunha S.B. & Guerra, A.J.T. Organizadores, Capítulo 7. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.273-349.
- NASCIMENTO, D.R. Jr.; GIANNINI, P. C. F. ; TANAKA, A. P. ; GUEDES, C. C. F. **Mudanças morfológicas da extremidade NE da Ilha Comprida (SP) nos últimos dois séculos.** Geologia USP. Série Científica, v. 8, p. 25-39, (2008).
- OERTEL, G.F., 1985. **The barrier island system.** In: G.F. Oertel and S.P. Leatherman (Editors), Barrier Islands. Mar. Geol., 63: 1-18.
- OERTEL, G.F. 2005. **Coasts, coastlines, shores, and shorelines.** In: SCHWARTZ, M.L. Encyclopedia of Coastal Science. Dordrecht: Springer, p. 323-327.
- OLLERHEAD, J. (1993). **The evolution of Buctouche Spit, New Brunswick, Canada.** Ph.D. Thesis, University of Guelph, 156 pp.
- OLLERHEAD, J.; DAVIDSON-ARNOTT, R.. (1995). **The evolution of Buctouche Spit, New Brunswick, Canada.** *Marine Geology* 124 ;215-236
- OOST, A. P, et al., (2012). **Barrier island management: Lessons from the past and directions for the future.** *Ocean & Coastal Management* (68) 18 – 38.
- ORFORD, JULIAN, D; ANTHONY, EDWARD, J. (2011). **Extreme events and the morphodynamics of gravel-dominated coastal barriers: Strengthening uncertain ground.** *Marine Geology* (290) 41–45.
- OTVOS, E. G. **Definition of Barrier Islands: Discussion of: Pilkey, O.H.; Cooper, J.A.G., and Lewis, D.A., 2009. Global Distribution and Geomorphology of Fetch-Limited Barrier Islands.** *Journal of Coastal Research*, 25(4), 819–837.

- OTVOS, E. G. **Coastal barriers — Nomenclature, processes, and classification issues.** *Geomorphology* 139-140 (2012) 39–52.
- PILKEY, O. H.; NEAL, W.J. (1980). **Barrier island hazard mapping.** *Oceanus*, v. 23, p. 3846.
- PILKEY, O.H., JR., PILKEY. O.H., SR., AND TURNER, R., (1975), **How to live with na island.** Raleigh, North Carolina, Science and Technology Section, North Carolina Department of Natural and Economic Resources, 150 p.
- PILKEY, O.H.; DIXON, K.L. **The corps and the shore.** Washington: Island Press, 1996. p. 272.
- REINSON, G.E.(1979). **Facies models 6. Barrier Island Systems.** *Geosci. Can.*, 6 : 57-74.
- RIOS, V. P. L.; AMARO, V. E. **Caracterização dos depósitos sedimentares Holocênicos no sistema de ilhas barreiras do estuário Diogo Lopes, litoral setentrional do Rio Grande do Norte.** *Revista de Geologia (Fortaleza)*, v. 25, p. 55-69, 2012.
- RIOS, V. P. L; AMARO, V. E.; VIEIRA, MARQUES, M; MATOS, ALVES, M .F; PRUDÊNCIO, M. C; CAMARA, M. R.. **Influência neotectônica na morfologia do sistema de ilhas barreiras, Nordeste do brasil.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, p. 399-416, 2016.
- SCHWARTZ, M. L. **The Multiple Causality of Barrier Islands.** *The Journal of Geology*, v. 79, number 1, (1971), p. 91-94.
- SILVEIRA, J. D. **Morfologia do litoral.** *In: AZEVEDO, A. (Org.). Brasil, a terra e o Homem.* São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964. p. 253-305.
- SILVESTER, R.; HSU, J.R.C. 1997. **Coastal stabilization.** **Australia:** Word Scientific. 578p.
- SOUZA, C. R. G.; HIRUMA, S. T.; SALLUN, A. E. M.; RIBEIRO, R. R. ; AZEVEDO S., J. M. **"Restinga": Conceitos e Empregos do termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental.** São Paulo (SP): Instituto Geológico - SMA, (2008). 104p.

SMITH, A. J. & MORAIS, J.O. **Estudos preliminares sobre a geologia ambiental e costeira do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil.** *Arq. Ciênc. Mar, Fortaleza*, 1984 - 23: 85 – 96, 10 figs.

SMITH, M. J.; CROMLEY, R. G. 2012. **Measuring historical coastal change using gis and the change polygon approach.** Florida, Transactions in Gis, p.3-15.

STUTZ, M. L. & PILKEY, O. H. 2011. **The relative influence of humans on barrier islands: Humans versus geomorphology.** in Ehlen, I., Haneberg, W.C., Ana Larson, R.A., eds., *Humans as Geologic Agents: Boulder, Colorado*, Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, v. XVI, p. 137-147.

STUTZ, M. L. & PILKEY, O. H. **Open-ocean barrier islands: Global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings.** *Journal of Coastal Research* 27 - 2, p. 207-222 (2011).

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** (1973). Edgard Blucher Ed. da Universidade São Paulo, 317p.

SWIFT, D.J.P. (1975). **Barrier-island genesis: Evidence from the central Atlantic shelf, eastern U.S.A.** *Sediment. Geol.*, 14 : 1-43.

THIELLER, E. R.; MARTIN, D.; ERGUL, A. **The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0.** USGS Open-File. 2005.

VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B. ; PEREIRA, T. G. ; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. **Gênese e Morfodinâmica das Barreiras Arenosas no Flanco Norte do Delta do Rio Paraíba do Sul (RJ).** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, p. 291-308, (2016).

VINENT, O.D; MOORE, L. J. **Barrier island bistability induced by biophysical interactions.** (2015).*Nature Climate Change*. Vol. 5

WENTWORTH, C.K. **A escale of grade and class terms for clastic sediments.** (1922). *Journal of Geology. USA*, v. 30.

WOODROFFE, C.D. **Coasts: form, process and evolution.** Cambridge University Press, Cambridge. 2002.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. **Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis.** Marine Geology, Amsterdam, v. 56, 1984.