



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

SAULO SANTIAGO DE ALBUQUERQUE

**ESTRATIGRAFIA, MORFODINÂMICA E EVOLUÇÃO DE UM ESPORÃO
ARENOSO EM AMBIENTE MACROMARÉ: PONTA DA AREIA, SÃO LUIS -MA.**

São Luís

2018

SAULO SANTIAGO DE ALBUQUERQUE

**ESTRATIGRAFIA, MORFODINÂMICA E EVOLUÇÃO DE UM ESPORÃO
ARENOSO EM AMBIENTE MACROMARÉ: PONTA DA AREIA, SÃO LUIS -MA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Leonardo Gonçalves de Lima.

São Luís

2018

SAULO SANTIAGO DE ALBUQUERQUE

**ESTRATIGRAFIA, MORFODINÂMICA E EVOLUÇÃO DE UM ESPORÃO
ARENOSO EM AMBIENTE MACROMARÉ: PONTA DA AREIA, SÃO LUIS -MA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia pela Banca examinadora composta pelos membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima- Orientador
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dra. Claudia Klose Parise
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dra. Helenice Vital
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Aprovada em: ___/___/ 2018

Local de Defesa:

Dedico este trabalho a minha família e amigos.

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas.” (Claude Lévi-Strauss)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre está comigo, me guiando, me protegendo e ouvindo minhas orações e agradecimentos. Aos meus familiares, especialmente, a minha mãe Eliane Santiago Raposo, meu pai Humberto Santiago de Albuquerque, minha irmã Amanda Santiago de Albuquerque, que nunca mediram esforços para contribuir com o meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

Ao PPGOceano pela oportunidade do ingresso no mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela concessão da bolsa de mestrado.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima, pela oportunidade de conhecer e estudar a oceanografia geológica, por todo o conhecimento e principalmente pela paixão com que o transmite e a todos os professores do curso de Oceanografia.

A Prof. Dra. Helenice Vital e Prof. Dra. Claudia Klose Parise que participaram da banca examinadora e que com muito entusiasmo corrigiram esta dissertação.

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica – LEOG, que tive o prazer de conhecer e conviver nesses dois anos de mestrado: Brunno Franco, Matheus Seguins, Elienai Menezes, Kassandra Borges, Iara Pedrosa, Jordan Silas, Thalita Borba, Daniel Pereira, Valléria Vieira, Gabriel Cerveira, Priscila Carvalho, Gabriel Santos, Thais Melo e Larissa Sitowski.

Aos meus amigos/amigas de vida André Melo, Felipe Policarpo, David Saad, Kacyo Alves, Gabriel Feres, Carlos Wanderson Frota, Pedro Boguea, Robson Castro, Lucas Trinta, Gabriel Vasconcelos, Bruno Shogun, Cláudia Thalissa e Yrlles Moraes que foram verdadeiros irmãos/irmãs nesta jornada e que nunca deixaram de acreditar no meu potencial, estando nos melhores e piores momentos durante minha vida acadêmica e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para esta dissertação de Mestrado, principalmente ao Curso de Pós-graduação em Oceanografia da UFMA pelo apoio recebido e oportunidade.

Obrigado!

RESUMO

A praia da Ponta da Areia localiza-se na margem leste da Baía de São Marcos, na orla oceânica do município de São Luís, sendo dominada por um regime de macromaré com variação de até 6 m. Como medida de mitigação dos processos erosivos nesta orla, foi construído um espigão costeiro transversal à linha de costa, totalizando 560 m de enrocamento. Esta construção resultou numa progradação artificial da praia/antepraia a montante do espigão. A origem e evolução holocênica deste compartimento litorâneo encontra-se vinculada à formação de uma barreira de esporão de promontório ancorada em afloramentos das falésias da Formação Alcântara. Este esporão arenoso desenvolve-se zonalmente como resultado do transporte de sedimentos pela deriva litorânea, de nordeste para sudoeste. Seu prolongamento é interrompido pelo efeito espigão hidráulico, ocasionado pelo prisma de maré na desembocadura do Rio Anil. Este trabalho objetiva estabelecer um modelo evolutivo para o sistema de barreiras costeiras holocênicas bem como o reconhecimento estratigráfico das alterações antrópicas e naturais na localidade do esporão arenoso da Ponta da Areia. Para alcançar este objetivo foram realizados monitoramentos mensais através de perfis topográficos em setores expostos a erosão e acreção, e experimentos de transporte eólico e por deriva litorânea a montante do espigão. Também foram executadas 3 sondagens geológicas (percussão e vibracore), duas no compartimento progradacional da praia e uma no compartimento retrogradacional (erosivo) da praia. O registro SP1 obteve 4,20 m de registro sedimentar interceptando em sua base uma fácies arenosa com cascalho litoclástico análoga a um *lag* transgressivo, limitada no topo por uma superfície de ravinamento por ondas (SR). Esta superfície representa os estágios erosivos deste litoral quando ainda não se fazia presente a obra de engenharia (espigão) e o sistema de barreira de esporão de promontório retrogradava em direção ao continente sobre um complexo lagunar na retrobarreira do mesmo. Acima desta fácies tem início a fase progradacional da barreira costeira, desencadeada pela construção do espigão e sobrepondo a SR com areias finas da praia/antepraia. A sondagem SP2 representa a continuidade do *transect* em direção ao oceano e a extremidade *offshore* do espigão. Seu registro sedimentar é de 4,90 m e comporta a fase progradacional mais recente deste litoral. Intercepta duas fácies sedimentares uma da antepraia inferior na posição basal do testemunho com intercalações de lentes de silte e uma fácies superior relacionada à praia/antepraia. A sondagem SV1 de 3 m de registro comporta a evolução de um sistema laguna barreira retrogradacional há 7.240 ± 30 cal. anos A.P. ocasionado pela migração da barreira de esporão de promontório da Ponta da Areia em direção do continente. Este morfotipo de barreira costeira sempre se encontrou ancorado num sistema de falésias, no entanto ele evolui retrogradando sobre um complexo lagunar de retrobarreira, a antiga laguna da Jansen. Num contexto evolutivo, a antiga paleolaguna foi colmatada pelo processo de retrogradação, originando um igarapé (Igarapé da Jansen), que nos anos 70 foi artificialmente alagado dando origem à atual Lagoa da Jansen. Os dois testemunhos na fase progradacional da Praia da Ponta da Areia registram o engordamento do sistema praiar num local que antes se caracterizava por apresentar retrogradação/erosão, enquanto a sondagem a vibracore realizada no setor mais erosivo do esporão, registra o comportamento original deste segmento litorâneo, isto é, retrogradação/erosão. A intervenção antrópica ocasionada pela construção do espigão conseguiu coibir até então a erosão costeira até o setor intermediário da praia, enquanto que os setores localizados na zona de sombra do espigão costeiro e do espigão natural ainda apresentam seus compartimentos expostos a erosão e destruição da orla litorânea.

Palavras Chave: ESPORÃO ARENOSO, AMBIENTES DEPOSICIONAIS, SISTEMA DE BARREIRAS COSTEIRAS.

ABSTRACT

The Ponta da Areia is an oceanic beach located on the eastern shore of São Marcos Bay, in the Coastal Zone of São Luís city, being dominated by a macrotidal with variation of up to 6 meters. The Ponta da Area beach like so many other beaches in Brazil and around the world is subject to coastal erosive processes. As a mitigation measure of the erosive processes in this border, a coastal barrier was built along the coast line, totaling 560 m of rockfill. This construction resulted in an artificial beach/anteprectic development. The Holocene origin and evolution of this coastal subject is linked to the formation of a headland spit barrier anchored in the cliffs of the Alcântara Formation. This sandspit develops towards WSW as a result of sediment longshore drift of sediments. Its extension is interrupted by the hydraulic barrier effect caused by the tide prism at the mouth of the Anil River. This work aims to establish an evolutionary model for the holocene coastal barrier system as well as the stratigraphic recognition of anthropic and natural changes in the sandyspits of Ponta da Areia. In order to reach its objective, monthly monitoring was carried out through topographic profiles in sectors exposed to erosion (P1, P4 and P5) and accretion (P2, P3 and P6) and wind transport and longshore currents. Three geological drills (percussion and vibrocore) were also performed, two in the progradational beach compartment and one in the retrograded beach compartment (erosive). The SP1 record obtained 4.20 m of sedimentary data intercepting at its base *sandy facies* with lithoclastic gravel analogous to a transgressive lag, bounded at the top by a wave raving surface (SR). This surface represents the erosive stages of this coast when the engineering construction (groin/coastal barrier) was not yet present and the headland spit barrier system retrograded towards the continent over a lagoon complex and its backbarrier. Above these *facies*, the progradational phase of the coastal barrier was triggered by the construction of the groin and overlapping SR within thin shore face sands (foreshore / shoreface). The SP2 drill represents the continuity of the transect towards the ocean and the offshore end of the coastal barrier. Its sedimentary data is 4.90 m and includes the most recent progradational phase of the coast. It intercepts two sedimentary facies one from the lower shoreface in the basal position with intercalations of silt lenses and upper facies related to beach/shoreface. The SV1 drill recorded 3 m of registration including the evolution of a retrogradation barrier lagoon system about $7,240 \pm 30$ cal. years A.P. caused by the migration of the headland spit barrier from Ponta da Areia towards the mainland. This coastal barrier morphotype has always been found anchored on a system of cliffs, but it evolved retrograding to a lagoon complex of backbarrier, the old Jansen lagoon. In an evolutionary context, the old paleolagoon was filled by the retrogradation process, originating a small river, called “igarapé” (Igarapé da Jansen), which in the 70s was artificially flooded giving rise to the current Jansen Lagoon. The two testimonies in the progradational phase of the Ponta da Areia beach record the moment when the beach system was in a place previously characterized by retrograde/erosion, while the SV1 drill records the original behavior of this coastal subject, which is, retrogradational/erosive. The anthropic intervention caused by the construction of the groin has prevented coastal erosion in a certain sector of the beach until then, while there are still sectors that are still exposed to erosion and destruction of the longshore.

Keywords: SANDY SPIT, DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS, COASTAL BARRIERS SYSTEM.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Geral	9
1.2.2 Específicos	9
1.3 Área de estudo	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1 Morfodinâmica Praial	13
2.2 Dinâmica dos Sedimentos.....	20
2.2.1 Transporte eólico.....	20
2.2.2 Transporte por deriva litorânea (<i>longshore currents</i>)	23
2.3 Estratigrafia.....	25
2.3.1 Sondagem: Percussão e Vibra-core.....	26
2.3.2 Granulometria dos sedimentos	28
2.3.3 Carbonato de cálcio, matéria orgânica e datação do Carbono-14.....	29
3 RESULTADOS	30
3.1 Morfodinâmica Praial	30
3.1.1 Perfil Topográfico P1	31
3.1.2 Perfil Topográfico P2	36
3.1.3 Perfil Topográfico P3	41
3.1.3.1 Parâmetros morfodinâmicos.....	45
3.1.4 Perfil Topográfico P4.....	46
3.1.5 Perfis Topográficos P5 e P6	47
3.2 Dinâmica dos sedimentos	48
3.2.1 Transporte Eólico	48
3.2.2 Transporte por deriva litorânea (<i>longshore currents</i>)	53
3.3 Estratigrafia.....	56
3.3.1 Sondagem SP1.....	56
3.3.2 Sondagem SP2.....	62
3.3.3 Sondagem SV1	67

4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Foto aérea do esporão arenoso Praia da Ponta da Areia em 1970 onde é possível observar o antigo Igarapé da Jansen e o efeito do espigão hidráulico na extremidade do esporão.	7
Figura 2- Mapa de localização da área de estudo na Praia da Ponta da Areia, município de São Luís/MA.	10
Figura 3- Foto antes e depois da construção do espigão costeiro no esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia.	12
Figura 4- Foto evidenciando os estragos causados na maré de sizígia na Praia da Ponta da Areia.	12
Figura 5- Nível topográfico CST/Berguer 32x, tripé, e régua de 5 metros.	13
Figura 6- Estação total utilizada para nivelamento dos perfis e Marco topográfico da Ponta da Areia.	14
Figura 7- Precipitação média durante todo o ano de 2016 e 2017.	15
Figura 8- Classificação e terminologia de perfil praial de uma praia arenosa.	16
Figura 9- Método para medir altura significativa (H_s) e período médio (T_m) de onda.	17
Figura 10- Quadro de relação entre o parâmetro Ω e RTR.	18
Figura 11- Rotina utilizada para o cálculo do volume mensal.	19
Figura 12- Exemplo explicativo de como o modelo é gerado pela rotina.....	19
Figura 13- Armadilhas eólicas baseadas no modelo de ROSEN (1978).	21
Figura 14- Aparelhos para medição de velocidade (anemômetro) e direção (biruta) do vento.	22
Figura 15- Ensaio geotécnico em tubo aberto de PVC (permeâmetro), onde K é a permeabilidade.....	23
Figura 16- Trapeador portátil (16x10cm).	24
Figura 17- Derivador Flutuante	24
Figura 18- Tipos de sondagens utilizadas a) Sondagem tipo percussão b) Sondagem tipo vibro- core	26
Figura 19- Talha de corrente e tripé utilizados para extração dos testemunhos.....	27
Figura 20- Descrição de cores, texturas e fáceis.	28
Figura 21- Imagem de localização dos perfis topográficos na Praia da Ponta da Areia.	30
Figura 22- Marco topográfico do início do perfil P1 (a) e localização do perfil na praia (b). .	31
Figura 23- Perfil Topográfico P1.....	31
Figura 24- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P1.....	32

Figura 25- Variação mensal de volume (m) do perfil P1 a jusante do espigão, em que os dados da	34
Figura 26- Gráfico da variação de volume em m ³ /m, de cada mês relacionado ao mês anterior no	35
Figura 27- Marco do início do perfil 2 (a) e local do perfil 2 na praia (b).	36
Figura 28- Perfil Topográfico P2.....	37
Figura 29- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P2.....	38
Figura 30- Variação mensal de volume em m do perfil P2, em que os dados da cor preta acima	39
Figura 31- Balanço sedimentar da variação de volume em m ³ /m, de cada mês relacionado ao mês anterior no perfil P2.	40
Figura 32- Marco do início do perfil 3 (a) e alinhamento do perfil 3 na praia (b).	41
Figura 33- Perfil Topográfico P3 com a foto da calha desenvolvida no local do perfil.....	42
Figura 34- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P3.....	43
Figura 35- Variação do perfil P3 (Hotel Praia Mar) mês a mês.	44
Figura 36- Balanço sedimentar da variação de volume em m ³ /m, de cada mês relacionado ao mês anterior no perfil P3.	44
Figura 37- Marco do início do perfil 4 (a) e local do perfil 4 na praia (b).	46
Figura 38- Perfil Topográfico P4.....	46
Figura 39- Perfil Topográfico P5 e P6 realizados em abril de 2017. Os pontos em	48
Figura 40- Perfil topográfico P2 com as marcações dos locais de cada armadilha foi implantada.	49
Figura 41- Gráfico com o perfil topográfico da região, valores de permeabilidade (Darcy) e umidade (%) alinhados a posição de cada armadilha.	50
Figura 42- Gráfico com o perfil topográfico da região, valores de média e seleção dos grãos coletados por cada armadilha e a posição de cada armadilha.....	52
Figura 43- Amostragem granulométricas de cada armadilha.	52
Figura 44- Gráfico com valores da média, mediana e seleção em cada armadilha na maré baixa e alta.....	55
Figura 45- Gráfico representativo do perfil topográfico da região os resultados de transporte estimados, quantidade de sedimentos em cada armadilha e altura significativa de onda (Hs) na maré alta e baixa.	56
Figura 46- Perfil topográfico posicionando a sondagem a percussão SP1 e SP2 com relação ao NR da Praia da Ponta da Areia.	57

Figura 47- Região sobre uma planície de deflação, atrás das dunas frontais onde foi executada a	58
Figura 48- Peso em gramas referente aos níveis de conchas do testemunho SP1.....	60
Figura 49- Média, Mediana e Seleção dos grãos SP1.	60
Figura 50- Seção estratigráfica da sondagem SP1.	61
Figura 51- Localização da Sondagem SP2. Observe o registro recuperado já particionado em duas partes e pronto para o transporte.	62
Figura 52- Média, Mediana e Seleção dos grãos SP2.	63
Figura 53- Percentual de carbonato de cálcio nas respectivas fácies sedimentares da Sondagem SP2.....	63
Figura 54- Percentual de matéria orgânica no SP2.....	64
Figura 55- Seção estratigráfica da sondagem SP2.	66
Figura 56- Localização da Sondagem SV1.	67
Figura 57- Perfil topográfico posicionando a sondagem a vibracore SV1 com relação ao NR da Praia da Ponta da Areia.	68
Figura 58- Média, Mediana e Seleção dos grãos SV1.....	68
Figura 59- Percentual de carbonato de cálcio no SV1.....	69
Figura 60- Percentual de matéria orgânica no SV1.....	69
Figura 61- Foto da Praia da Ponta da Areia na região mais erosiva, com presença de lama aflorante e onde foi realizado a sondagem SV1 e o perfil P4.....	70
Figura 62- Seção estratigráfica da sondagem SV1.....	72
Figura 63- Foto panorâmica da Praia da Ponta da Areia no ano de 2006 onde é possível observar a continuidade do pontal arenoso.	74
Figura 64- Imagem na maré cheia, mostrando ponto de erosão localizado a jusante do espigão costeiro, extremidade oeste da Praia da Ponta da Areia, próximo ao Memorial Bandeira Tribuzi.	74
Figura 65- Imagens do novo compartimento deposicional de sedimentos, na desembocadura do Rio Anil, na direção SO, a sotamar do espigão costeiro da Ponta da Areia.....	75
Figura 66- Mapa dividido por setores na região do esporão arenoso da Ponta da Areia.	76
Figura 67- Foto da região do transecto Espigão, representando o campo de dunas e a face praial com a presença de calha.	77
Figura 68- Foto do trator retirando areia depositada pelo transporte eólico sobre a estrutura do espigão urbanizada.	80
Figura 69- Estruturas de palhas para deposição de sedimentos.....	81

Figura 70- Composição estratigráfica do transecto do espigão composto a partir das sondagens SP1 e SP2.	82
Figura 71- Composição estratigráfica do transecto Lagoa da Jansen (SV1 e SV2).	88
Figura 72- Afloramentos na praia da Ponta d'Areia, onde foi obtido o registro sedimentar SP10 de Cerveira (2018).	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar.	35
Tabela 2- Dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar e períodos seco e chuvoso do P2.	41
Tabela 3- Dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar e períodos seco e chuvoso do P3.	45
Tabela 4- Dados coletados no experimento eólico de cada armadilha com a permeabilidade.	50
Tabela 5- Estimativa e área do transporte eólico.	51
Tabela 6- Classificação verbal dos sedimentos coletados pelas armadilhas eólicas verticais.	51
Tabela 7- Dados de corrente de deriva, altura de onda e transporte de sedimentos.	53
Tabela 8- Quantidade de sedimentos em cada coletor.	54
Tabela 9- Classificação verbal dos sedimentos coletados na maré baixa.	54
Tabela 10- Classificação verbal dos sedimentos coletados na maré alta.	55

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são regiões onde ocorrem interações de processos geológicos, biológicos, químicos, físicos, meteorológicos e oceanográficos. Estes fatores interagem conjuntamente sendo fundamentais para os processos de modelagem e evolução da zona costeira. Outro fator responsável por modificar os ambientes costeiros, é a ação humana, geralmente com construções de estruturas rígidas transversais e/ou paralelas a linha de costa, a fim de proporcionar localmente a progradação da linha de costa. Nos últimos cinquenta anos, a zona costeira brasileira foi sendo fortemente povoada de forma irregular, acarretando em grandes transformações na geomorfologia do litoral.

Sistemas de barreiras costeiras nos quais de forma ampla encontram-se inseridas as praias, representam os corpos arenosos alongados oriundos de uma praia que se encontra no limite da maré alta e paralela à costa (DAVIS, 1994). São constituídas por dunas, vegetação de duna e terrenos de pântanos que se estendem da praia até um corpo lagunar na retaguarda da barreira costeira. Aspectos relacionados à energia de onda, variações do nível do mar, transporte de sedimentos, geologia antecedente e geometria da costa são tidos como os principais responsáveis pela formação das barreiras costeiras (DAVIS E HAYES, 1984; DAVIS, 1994; DILLENBURG E HESP, 2008).

Os primeiros artigos publicados sobre as origens dos ambientes deposicionais de barreiras costeiras foram no século XIX, por Beaumont (1885), Gilbert (1885) e McGee (1890). Porém foi somente no final da década de 1960 que o debate foi para primeiro plano do discurso científico, quando se iniciou uma série de artigos sobre a formação de barreiras relacionando-os ao clássico artigo de Hoyt (1967). Segundo Pye e Bowman (1984), as barreiras costeiras são formadas por uma estrutura simples (transgressivas ou regressivas¹). As regressivas formam cordões arenosos (*foredune ridges e beach-ridges*) derivados do retrabalhamento devido a ação de ondas ou da deposição de sedimentos eólicos e as transgressivas se formam em locais de dunas vinculadas à erosão da linha de costa e da face litorânea (*shoreface*) (FISHER, 1968; HOYT, 1967-1970; OTVOS, 1970a, 1970b).

As barreiras costeiras constituem aproximadamente 15% das regiões costeiras do mundo e se desenvolvem melhor em áreas de latitudes médias a baixas. Elas possuem

1

Curray (1964), define transgressão como o avanço da linha de costa sobre o continente e regressão como o processo de avanço da linha de costa em direção ao mar.

características lineares que tendem a ser paralelas à topografia antecedente, normalmente acontecendo em grupos ou cadeias. As barreiras costeiras isoladas são comuns ao longo de costas anteriormente glaciadas (norte da Europa, Sibéria, Nova Inglaterra, Alasca, leste do Canadá, sul da Nova Zelândia) e ao longo de costas de alto relevo, como as associadas a margens de continentes geologicamente jovens e ativas (Costa do Pacífico e algumas ilhas oceânicas). As barreiras costeiras são isoladas do continente por planos de maré, baías rasas, lagoas e / ou sistemas de pântano (FITZGERALD e BUYNEVICH, 2006).

O local mais propício para o surgimento das barreiras costeiras é sobre o perímetro de margens tectônicas estáveis, com grande quantidade de sedimentos, uma extensa plataforma continental, declives suaves e, para o continente, o acréscimo de uma planície costeira que proporcionaria a migração de dunas. As barreiras costeiras apresentam morfologias diferentes, mas normalmente são hierarquizadas em três classes, dependendo de sua ligação com o continente: barreiras soldadas ou anexadas (unidas ao continente em todas as suas extremidades), barreiras de esporões (ligados ao continente em apenas um extremo e no outro em uma baía ou mar aberto) e ilhas barreiras (cercadas por água) (FITZGERALD e BUYNEVICH, 2006). As barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*), se caracterizam por ter uma topografia antecedente com gradiente íngreme onde ocorre a perda contínua de areia na costa erodida (e.g. ROY *et al*, 1994).

Segundo Hayes (1979), os sistemas de barreiras podem ser classificados pela dominância de ondas ou de marés. Em áreas dominadas por ondas, as ilhas barreiras são alongadas e estreitas. Devido à rápida migração de longo percurso da entrada de maré nesses sistemas, o canal de entrada é frequentemente extinto à medida que os sedimentos das barreiras adjacentes migram para o continente. Os processos de “*washover*” são extremamente relevantes nestes morfotipos e os deltas de maré são bem desenvolvidos. Já em sistemas dominados pela maré, as ilhas barreiras são mais escarpadas e os depósitos sedimentares são menores. À medida que a amplitude de maré aumenta, as ilhas barreiras ficam gradativamente mais curtas e os corpos de areia ficam organizados de maneira perpendicular à costa. Os sistemas mistos, ou seja, dominados por ondas e marés, são intermediários entre estes dois extremos (DAVIS e HAYES, 1984).

Além da maré e da onda, outros parâmetros influenciam na evolução do litoral. Em ordem decrescente de importância, os parâmetros são: fisiografia costeira, prisma de maré, disponibilidade de sedimentos e desembocaduras de rios. Os prismas de maré podem ser um fator importante no desenvolvimento da morfologia dos tipos de ilhas de barreira da costa. Grandes prismas de maré em áreas de baixa energia das ondas podem explicar deltas de maré

de grande porte, bem desenvolvidos (DAVIS, 1994).

A zona costeira do Brasil possui uma extensão de aproximadamente 9.200 km e apresenta uma diversidade de ambientes costeiros que evoluíram durante o Quaternário, em resposta às mudanças climáticas e do nível do mar, interagindo com diferentes suprimentos de sedimentos. A formação e evolução dos diversos sistemas de barreiras costeiras modernas ocorreram devido à elevação pós-glacial do nível do mar no Holoceno combinada com uma variedade de processos costeiros (SWIFT, 1976; SANDERS & KUMAR, 1975; STREIF, 1989; ROY *et al.*, 1994). A variação do nível do mar e o fluxo sedimentar local são os fatores principais que definiram a evolução das planícies sedimentares durante toda a costa brasileira, tais como manguezais, praias, lagoas e deltas. Esses ambientes não podem ser analisados isoladamente porque compõem um sistema integrado (WOODROFFE, 2002; ÂNGULO *et al.*, 2006).

A região costeira do Brasil apresenta basicamente (morfotipos principais) dois tipos de barreiras costeiras: as transgressivas e as regressivas (DILLENBURG *et al.*, 2000). A maneira mais eficiente para classificar e caracterizar tais sistemas é por estudos estratigráficos de sub-superfície. A estratigrafia é um ramo da geologia que estuda e explica a composição, origem, gênese e distribuição temporal e espacial dos sistemas deposicionais, buscando entender os processos e acontecimentos que as formaram. Fundamentalmente adota o princípio da sobreposição das camadas (BHATTACHARYA e WALKER, 1991).

Segundo Dillenburg e Hesp (2009), a geologia brasileira é dominada por três grandes bacias sedimentares intercontinentais do Paleozoico ao Mesozoico (as bacias Amazônia, Paraná e Parnaíba). Essas bacias, em conjunto com as bacias forrageiras do cinturão dos Andes, proporcionaram os principais sistemas de drenagem do continente sul-americano, particularmente os rios Amazonas e de La Plata, que são responsáveis por influxos maciços de sedimentos para a zona costeira. Já o resto do país é dominado por rochas metamórficas de alto grau do escudo brasileiro. Dentro deste escudo há quatro importantes áreas cratônicas² (São Francisco, São Luís, Rio da Prata e o cráton da Amazônia).

Os complexos de barreiras do Holoceno e do Pleistoceno e os complexos de dunas costeiras são maiores no Maranhão e menores no Piauí e no Ceará, mas quando comparado a muitas costas do mundo são relativamente grandes sistemas deposicionais (DILLENBURG; HESP, 2009).

² As plataformas ou crátons são os terrenos mais antigos e destruídos por muitas fases de erosão.

Dillenburg e Hesp (2009) dividem a plataforma continental em dois setores principais. O primeiro com orientação geral SE-NW e se estende desde a fronteira do estado do Rio Grande do Norte até a cidade de Acaraú no Ceará (40° W). Possui um declive mais íngreme no Maranhão, Piauí e Ceará, pois estes estados se encontram no trópico e se estendem aproximadamente de 1° a 5° S. Já o setor que se estende de Acaraú até a fronteira do Estado do Maranhão (oeste) tem uma orientação E-W um declive menor e apresenta formas estruturais e paleocanais.

O preenchimento sedimentar da bacia de São Luís é composto por um empilhamento de unidades litoestratigráficas (sistema Codó/Grajaú, formação Itapecuru, formação Pirabas e formação Barreiras). A formação barreiras aflora inicialmente no NW e no Golfão maranhense. É representada por camadas areno-argilosas com diversas cores, pouco litificadas, as vezes aparentemente mosqueado, mal selecionado com granulometria variando de areia fina a média e geralmente relacionadas à percolação de água subterrânea. A estratificação é indistinta apresentando um simples paralelismo entre os níveis de constituição faciológica desiguais. Já em níveis conglomeráticos nota-se um início de organização em estruturas paralelas e cruzadas, um aumento da granulometria próximo a base, mostrando alguns sedimentos entrelaçados. Nestas feições sedimentares é possível encontrar pontualmente a sequência Itapecuru superior (BRANNER, 1902; CAMPBELL, 1949; BIGARELLA, 1955).

Ferreira Jr. (1996), apresenta três sequências sedimentares para a evolução do Holoceno: inferior, intermediária e superior. A primeira sequência é composta por fácies de arenitos e argilitos com estruturas wavy, flaser e lense, argilitos maciços, argilitos com laminação plano-paralela e arenitos maciços. A sequência intermediária é representada por conglomerados, arenitos conglomerados, arenitos maciços e argilitos com laminação plano-paralela. E por último, a sequência superior que é representada por sedimentos inconsolidados fluviais, transicionais, costeiros e de dunas.

Zembruski *et al.* (1971) divide em três tipos principais a costa do maranhão: a costa construcional eólica que obedece ao trecho da baía de São José até o litoral norte da ilha de São Luís, é composto por campos de dunas e manguesais (*salt-marshs*); a costa construcional marinha no trecho de Tutóia até o delta do Parnaíba que é constituída por cordões litorâneos, *barrier beach*, *beach island*, *barrier spits*; e a costa mista que representa o intervalo da baía de São José – foz do rio Gurupi e são planícies costeiras e costas de erosão marinha que formam platôs, pequenos terraços e tabuleiros terciários e/ou rochas cristalinas do embasamento.

A Ilha do Maranhão localiza-se na região costeira do Estado, com a baía de São Marcos fazendo limite à oeste, a baía de São José à leste, o Oceano Atlântico ao norte e o

Estreito dos Mosquitos ao sul. A ilha é composta por quatro municípios, sendo eles, São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

Fundamentalmente, quatro intervenções nos estuários urbanos de São Luís alteraram o equilíbrio do balanço sedimentar da área estuarina desde a década de 1960, afetando também os processos litorâneos da oceânica mais próxima à Praia da Ponta da Areia. A principal foi a implantação da Barragem do Bacanga, que reduziu significativamente o prisma de maré do estuário, e conseqüentemente as vazões e velocidades das correntes de maré.

Além da implantação da Barragem do Bacanga, deve-se levar em consideração, outras três intervenções que também contribuíram para redução do prisma de maré do Estuário de São Luís:

- O Igarapé da Jansen foi fechado em 1974 pelo aterro da Av. Maestro João Nunes, após a construção da ponte sobre o Rio Anil, formando-se a Lagoa da Jansen, recentemente urbanizada e saneada com um canal de ligação com comportas para o estuário;
- Aterro do Bacanga (1986-1989): 60 ha de área foram transformados em estacionamentos periféricos, área de terminal de integração do sistema de transportes coletivos, área de serviço para as atividades de pesca artesanal, mercado de peixes e grandes áreas de lazer para a população;
- Aporte de sedimentos pelas drenagens oriundas de áreas de urbanização com desmatamentos. Com o desmatamento oriundo da ocupação, muito material sedimentar, foi transferido para os rios e para a baía, contribuindo para o avanço do mangue em áreas como a do estuário do Rio Anil. Desde o início do Século XIX informações dão conta que no período do inverno chuvoso (4 a 5 meses) grandes quantidades de sedimentos acumulavam-se provindos dos Rios Bacanga e Anil, em consequência da derrubada de árvores de grande porte, desnudando o solo sob a cobertura vegetal. Este processo acelerou-se significativamente nos últimos 30 anos.

Considerando os valores de correntes da Carta de Correntes de Maré, obtidos da época em que o efeito de redução do prisma de maré ainda não se fazia sentir em 1970 (Figura 1), comparativamente com as medições do ano de 2006 efetuadas pela HM Engenharia, nitidamente observa-se que o efeito de “espigão hidráulico” na embocadura do canal do Estuário de São Luís desapareceu. Este efeito mantinha a Praia da Ponta da Areia mais larga a barlar da embocadura (a leste), bem como continha o avanço do banco da Ponta da Areia rumo ao Banco da Minerva. Com a drástica redução do prisma, com conseqüente desaparecimento do efeito de “espigão hidráulico”, o banco projetou-se praticamente formando um cordão arenoso único com o Banco da Minerva, às custas de uma redução da largura da

Praia da Ponta da Areia, o que vem sendo sentido por efeitos erosivos que tem atingido as construções no pós-praia.

Como forma de mitigação a esses processos erosivos, algumas estruturas paralelas e transversais à praia foram construídas para proteger o recuo da linha de costa em determinados trechos, mas as proteções construídas foram medidas paliativas para mitigar a ação das ondas e correntes existentes na região, porém não foram projetadas adequadamente para suportarem os impactos das ondas e correntes. A principal e mais eficiente estrutura construída foi o espigão costeiro transversal à linha de costa, totalizando em 560 m de enrocamentos, cujo os impactos são avaliados no presente documento.

Figura 1- Foto aérea do esporão arenoso Praia da Ponta da Areia em 1970 onde é possível observar o antigo Igarapé da Jansen e o efeito do espigão hidráulico na extremidade do esporão.



1.1 Justificativa

É cada vez mais comum a prioridade das pessoas ao escolherem as áreas costeiras para moradia, atividades sociais e econômicas. Apesar da erosão costeira ser um processo de longo termo em alguns litorais somente nas últimas décadas que as pessoas estão dando a sua devida atenção ao assunto.

Bush *et al.* (2001) afirma que a erosão costeira não é um desastre natural e sim processo normal, quando o transporte é maior que a acomodação dos sedimentos devido a um aumento de energia de onda ou um aumento do nível do mar. A erosão não é um problema para as praias, pois elas simplesmente mudam de posição com a retração ou propagação de suas linhas de costa, tornando-se problemas quando começam a interferir nas atividades humanas, nas construções civis ou nos recursos fornecidos pelo ambiente praiial.

O crescimento desordenado das cidades sobre zonas litorâneas tem causado preocupação com a qualidade de vida e a preservação da região costeira, gerando uma demanda por construções de obras de proteção costeira em áreas advertidas pela progressão natural e antrópica dos fenômenos de erosão.

Segundo Souza (2008), o desenvolvimento de um projeto de proteção costeira deve contemplar a interação entre os envolvidos, para que o resultado seja viável no aspecto técnico e econômico. Para selecionar e dimensionar uma obra de proteção costeira é importante conhecer os seguintes parâmetros: a faixa de variação do nível do mar; a altura, o período e o ângulo de incidência das ondas na zona de arrebentação; o transporte e a granulometria dos sedimentos; e a batimetria local.

O litoral ludovicense é pouco conhecido nos aspectos relacionados à geologia, geomorfologia, história evolutiva, hidrodinâmica, ondas e correntes. Neste sentido a região litorânea da Ponta da Areia foi ocupada sem levar em conta a dinâmica costeira. Os processos erosivos atuantes nesta localidade demandaram por intervenções na forma de estruturas rígidas que modificaram o balanço sedimentar da praia. Diante destas alterações tornou-se indispensável relatar as mudanças ocorridas nesta área, especialmente anexas à dinâmica costeira e às principais alterações na sua forma natural.

Esta dissertação visa obter um melhor conhecimento da evolução dos sistemas de barreiras costeiras no litoral do Maranhão e da dinâmica sedimentar da Praia da Ponta da Areia durante o Holoceno, coletando dados e gerando informações sobre sua geologia e geomorfologia que embasam nosso conhecimento sobre a dinâmica natural e as mudanças por intervenções antrópicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O presente estudo tem como objetivo estabelecer um modelo evolutivo para o sistema de barreiras costeiras holocênicas do esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia, São Luís- MA, via reconhecimento estratigráfico e suas alterações antrópicas e naturais.

1.2.2 Específicos

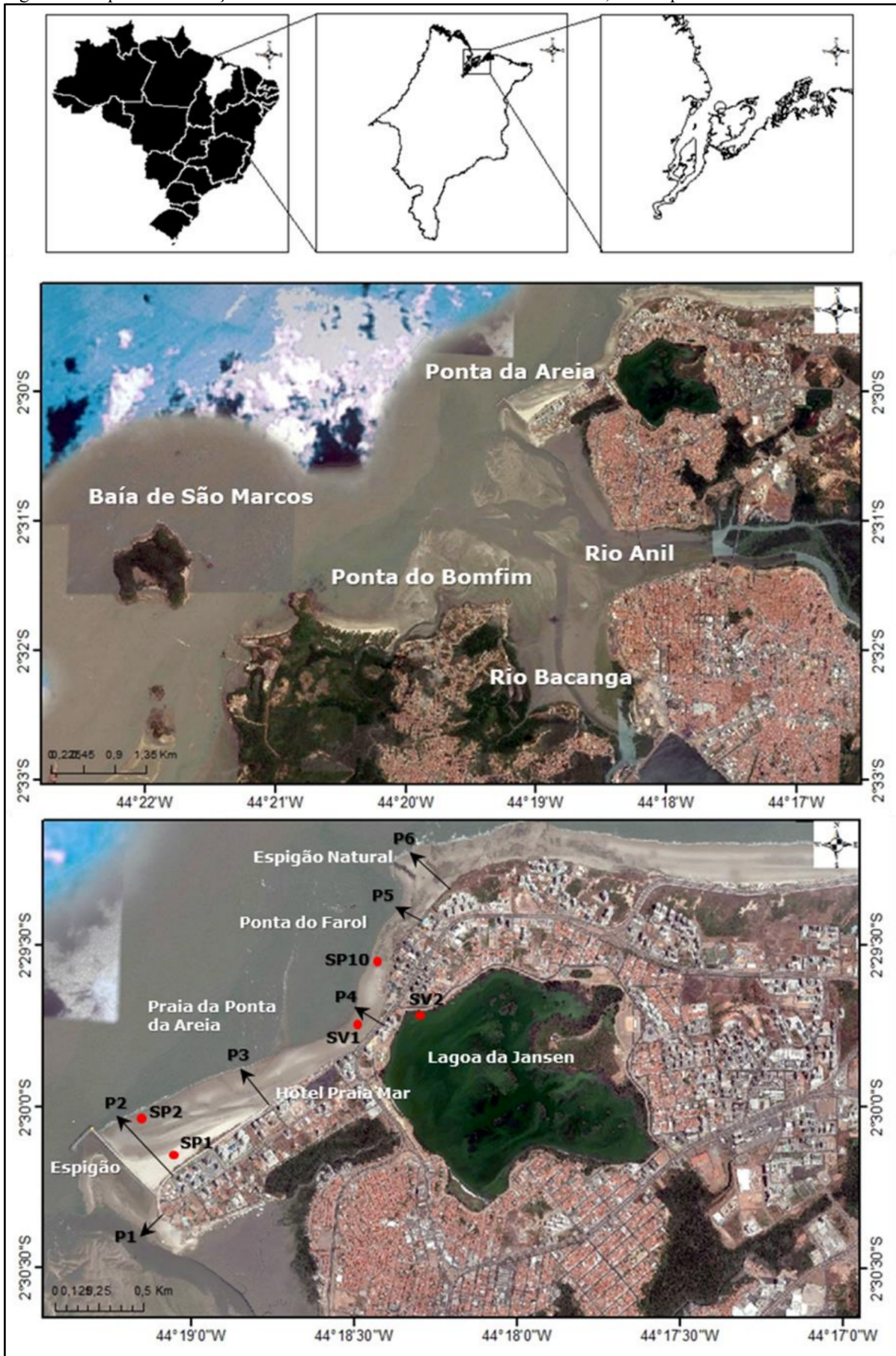
- Construir seções estratigráficas através de dados de sondagens de sub-superfície (percussão e vibracore) para entender a evolução de sequências sedimentares dos ambientes deposicionais;
- Avaliar a morfodinâmica das praias que compõe o esporão arenoso, com base em levantamentos topográficos (perfis transversais ao sistema) e experimentos de transporte sedimentar (eólico e subaquoso);
- Estabelecer um modelo evolutivo (longo termo) para o sistema de barreiras costeiras holocênicas no litoral do Maranhão, através dos dados geocronológicos encontrados nas sondagens.

1.3 Área de estudo

A região em estudo está localizada no município de São Luís, conhecida como Praia da Ponta da Areia (Figura 2), que é banhada pela margem leste da Baía de São Marcos situada dentro do Golfão Maranhense. O Golfão é uma região de macro maré, onde as correntes podem chegar a atingir uma velocidade de 7,5 m/s devido ao formato de funil da região (estuário hipsincrônico), levando à retenção de sedimentos à montante do espigão e aumentando a extensão da Praia da Ponta da areia (Silva & Claudino Sales, 2009).

A Praia da Ponta da Areia tem aproximadamente 2,5 km de extensão, iniciando-se na desembocadura do Estuário Anil avançando até a Ponta do Farol. Essa praia caracterizava-se pela presença de dunas com alturas significativas, mas vem sofrendo um processo de urbanização, nas últimas décadas, com a ocupação e/ou remoção de suas dunas.

Figura 2- Mapa de localização da área de estudo na Praia da Ponta da Areia, município de São Luís/MA.



Esta praia se classifica como arenosa, mesmo com a presença de afloramentos rochosos da Formação Itapecuru, expostos à ação de ondas e marés que retiram a areia da costa. A Praia da Ponta da Areia possui um prisma de praia com uma vasta área de estirâncio (região entre marés), banhada por uma maré de período semi-diurna que atinge até 7 m em períodos máximos de marés de sizígia, que ocorrem nos meses de março e setembro.

A influência das intervenções humanas e o aumento da especulação imobiliária ocasionou o aumento dos impactos ocorridos na região, como a emissão de efluentes domésticos que afetam a morfodinâmica, o transporte eólico e a permeabilidade do solo. Esta praia foi escolhida, justamente por exibir uma gama de ambientes deposicionais justapostos, além de impactos ambientais antrópicos (espigão costeiro) que modificaram as condições originais da praia. Este espigão costeiro foi construído no ano de 2012, com o objetivo de agir sobre o balanço do transporte sedimentar litorâneo, favorecendo a estabilização e a ampliação da linha de costa, ou seja, impedindo a erosão costeira (Figura 4). É possível observar as modificações na linha de costa do esporão arenoso da Praia Ponta da Areia na figura 3, mostrando antes e depois da construção do espigão costeiro.

Conforme Alfredini (2005), a erosão costeira é o conjunto de processos em que é retirado mais material da praia do que reposto, causando o rompimento do equilíbrio dinâmico original, fundamental para a preservação das praias em todas as suas esferas.

Os espigões construídos em praias são estruturas transversais que se estendem do pós-praia, enraizados de modo que não sejam contornados pelo espraiamento, até a primeira linha de arrebentação, agindo diretamente sobre o transporte de sedimentos litorâneos, podendo serem empregados isoladamente ou em conjunto (campo de espigões), sendo a obra costeira de defesa dos litorais mais difundidos.

Figura 3- Foto antes e depois da construção do espigão costeiro no esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia.



Figura 4- Foto evidenciando os estragos causados na maré de sizígia na Praia da Ponta da Areia.



2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Morfodinâmica Praial

Foram realizados perfis topográficos mensalmente, com o intuito de embasar a análise de parâmetros morfodinâmicos consagrados na literatura mundial (*e.g.* WRIGHT et al., 1979; WRIGHT et al, 1978; SHORT, 1979a; SHORT 1979b; SHORT e WRIGHT, 1981; SHORT, 1981; WRIGHT et al. 1982; WRIGHT e SHORT, 1983; WRIGHT e SHORT, 1984, MASSELINK & SHORT. 1993). O perfil topográfico transversal de uma praia varia em função da energética das ondas e do regime de ventos alternando eventos de ganho e perda de areia como resposta ao ciclo sazonal.

Os perfis topográficos seguiram a metodologia descrita por Birkemeier (1981). a qual utilizou um nível topográfico CST/Berger 32x, tripé, régua de 5 m (Figura 5) para a realização das leituras e uma trena para determinar a altura da visada do observador. Para realizar os nivelamentos e correlação de todos os perfis praias ao NR da Ponta da Areia, foi utilizada uma estação total TOPCOM GPT-3500 (Figura 6).

Figura 5- Nível topográfico CST/Berguer 32x, tripé, e régua de 5 metros.



Figura 6- Estação total utilizada para nivelamento dos perfis e Marco topográfico da Ponta da Areia.

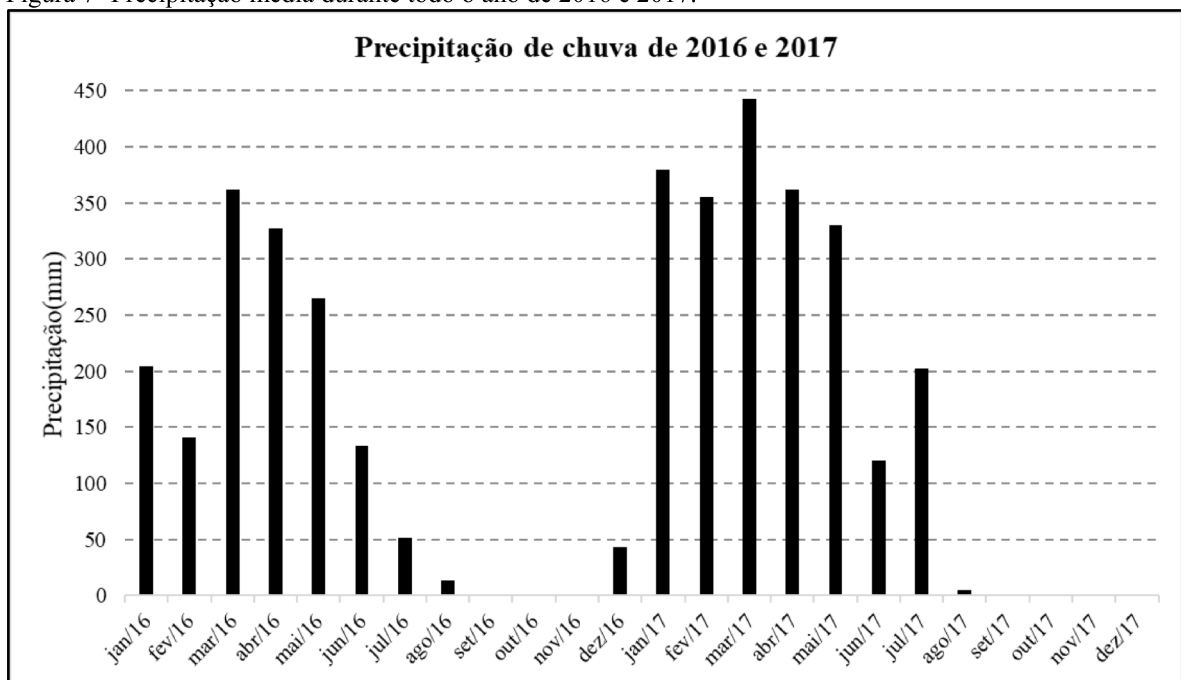


Com o intuito de entender as variações volumétricas dos sedimentos praias em todas as estações do ano, foram feitas medições mensais (iniciados em julho de 2016) dos perfis praias em transectos, iniciados na maré baixa de sizígia, distribuídos em função dos aspectos morfológicos da face praias. A escolha dos pontos dos transectos teve como base o espigão costeiro e os critérios basearam-se nas variações geomorfológicas e orientados a partir da linha de costa. Os locais dos transectos foram escolhidos para monitorar a dinâmica sedimentar no entorno do espigão costeiro. O perfil P1 foi realizado a jusante do espigão costeiro na margem do canal do Rio Anil. Os perfis P2 e P3 foram realizados a montante do espigão costeiro na posição oceânica da Praia da Ponta da Areia. O perfil P4 foi realizado no setor da praia que caracteriza o conjunto completo “laguna-barreira” cruzando a face praias e adentrando a Lagoa da Jansen. Os perfis P5 e P6 foram construídos com o intuito de avaliar a dinâmica sedimentar nas proximidades de um espigão natural de rochas lateríticas (figura 2).

Para entender a contextualização morfodinâmica da praia em relação as estações do ano, utilizou-se os dados dos últimos 2 anos de precipitação do INMET (2017). A Figura 7

mostra a divisão do período chuvoso e seco, nos anos de 2016 e 2017. O período chuvoso foi de janeiro a julho de 2016 e 2017, já o período seco foi de agosto a dezembro de 2016 e 2017. Os meses que se destacaram com maiores precipitações foram março e abril de 2016 e janeiro e março de 2017 e os meses com precipitação zero foram setembro, outubro e novembro. Mas segundo o INMET, a média histórica dos últimos 30 anos do período seco e chuvoso de São Luís é dividido em: janeiro a maio o período seco e junho a dezembro o período chuvoso.

Figura 7- Precipitação média durante todo o ano de 2016 e 2017.



Fonte: INMET (2017).

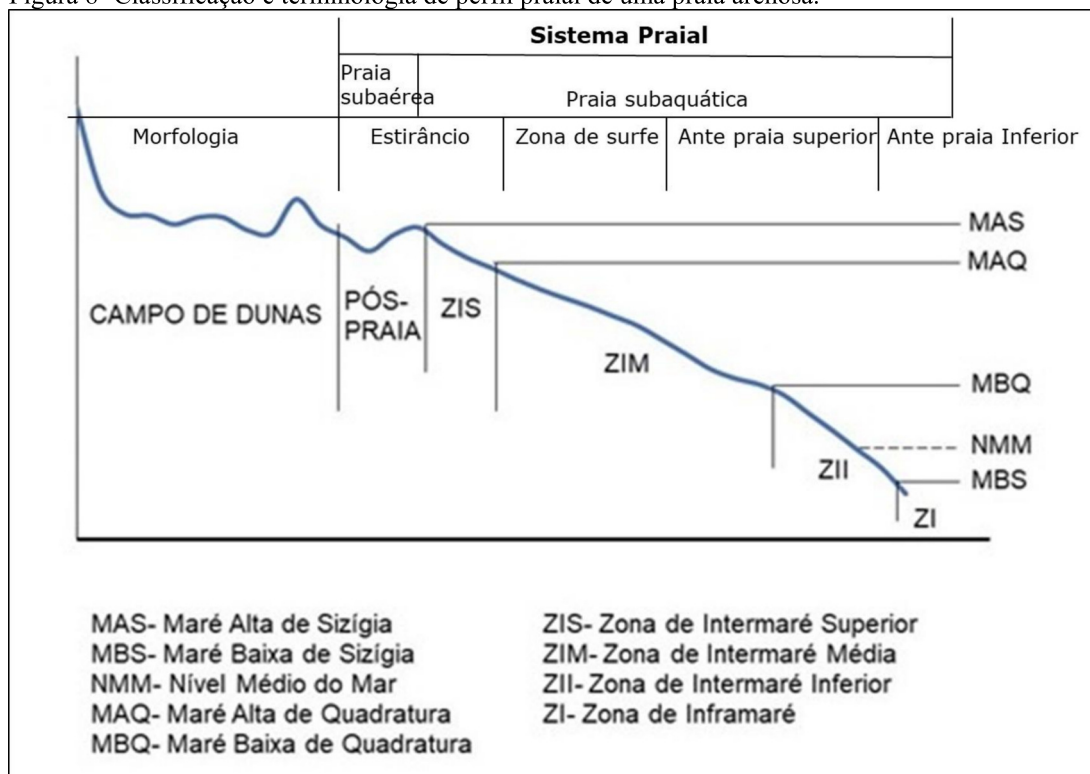
De acordo com a classificação de Souza Filho *et al* (2003) para os compartimentos da face litorânea a Praia da Ponta da Areia pode ser hierarquizada da seguinte forma: zonas de pós-praia, intermaré e inframaré. O compartimento mais interno é composto por um campo de dunas e marca o início da faixa de areia da praia, depois, no pós-praia, região ainda sem a incidência da maré, geralmente entre as dunas estabelecidas e duna embrionária na zona de deposição de lixo. Entre os níveis de maré alta de sizígia (MAS) e maré alta de quadratura (MAQ) está a zona de intermaré superior (ZIS), mais abaixo da MAQ e antes da maré baixa de quadratura (MBQ) está a zona de intermaré média (ZIM), entre a MQB e a maré baixa de sizígia (MBS) localiza-se a zona de intermaré inferior (ZII) e abaixo da maré baixa de sizígia (MBS) está a zona de inframaré (ZI) (Figura 8).

Estratigraficamente esta divisão de ambientes deposicionais não pode ser estabelecida de forma tão precisa, uma vez que foi utilizada uma divisão mais simplista e compatível com as estruturas e fácies sedimentares, onde a posição do estríncio encontra-se

correlata ao estirâncio e zona de surf (*foreshore*), seguido da antepraia superior e depois a antepraia inferior já livre da ação de ondas.

Em relação ao sistema praial, ele se divide em praia subaérea e praia subaquática. A primeira é uma região onde a maré não alcança, denominada também de pós-praia. A segunda é a região em que há influência da maré, onde se divide em estirâncio, zona de surfe e zona de arrebenção. A zona de arrebenção é a região onde a onda dissipa grande parte da sua energia de onda. Após passar pela arrebenção as ondas deslizam pela zona de surfe e dissipam o restante da sua energia na zona do estirâncio ou de espraçamento. Nessa faixa que dissipa toda energia das ondas oceânicas e ocorre uma maior remobilização de sedimentos. O perfil da praia e o tamanho do grão dos sedimentos definem a quantidade de energia liberada, a função do trem de ondas e o tipo de arrebenção, geralmente quanto maior o grão, mais íngreme é o perfil praial (VILLWOCK, 1987). Cabe ainda lembrar que em praias macro-marés o estirâncio, zona de surf e antepraia superior migram ao longo de um ciclo de maré fazendo com que seus limites ora avancem ora regridem.

Figura 8- Classificação e terminologia de perfil praial de uma praia arenosa.



Fonte: Adaptado de Souza Filho *et al* 2003.

Para obter a altura significativa de onda (H_s), foi utilizado o método originalmente desenvolvido por Munk (1944) como forma de traduzir matematicamente este importante parâmetro da onda. A altura significativa da onda (H_s) foi medida com a utilização de uma

régua topográfica, instalada no limite da antepraia com a zona de surf especificamente onde ocorre o máximo empolamento. As medidas perfazem a média da terça parte das ondas com maior altura registadas durante um tempo considerado de 15 minutos (Figura 9). As leituras foram realizadas na maré alta (preamar) e maré baixa (baixa-mar). Já o período de onda foi medido a partir da cronometragem do intervalo de tempo em que uma crista de onda e outra levam para cruzar a posição da régua.

Figura 9- Método para medir altura significativa (H_s) e período médio (T_m) de onda.



A relação entre o estado da praia e as características das ondas e dos sedimentos do esporão arenoso da Ponta da Areia permitiu classificar a praia de acordo com o trabalho de Wright & Short (1983), que se baseia no parâmetro adimensional ômega (Ω) de Dean (1973):

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s \cdot T}$$

Onde:

H_b = altura significativa da onda na arrebentação;

W_s = velocidade média de decantação dos sedimentos da face da praia;

T = período médio das ondas.

No entanto, Short (1982) ressalva que as praias dominadas por regimes de meso e macromaré sofrem deslocamentos periódicos da posição da face praial, zona de surfe e de deformação das ondas sobre o perfil. Em resposta a esse deslocamento, Masselink (1993)

ressaltou a importância de avaliar a relação entre a variação da maré e a altura da arrebentação como reforço dos processos da zona de estirâncio e da zona de surfe contra processos de deformação de ondas sobre o perfil praiial. Essa relação é definida pelo “*Relative Tide Range Parameter*” (RTR):

$$RTR = \frac{TR}{Hb}$$

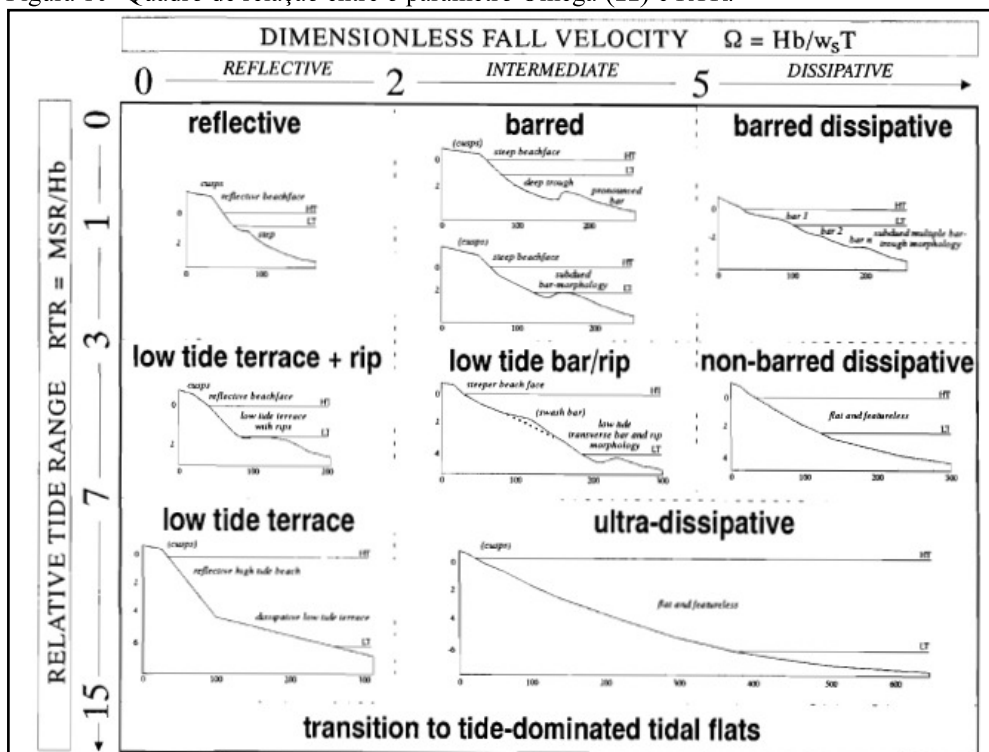
Onde:

TR= variação média da maré de sizígia;

Hb= altura significativa das ondas na arrebentação.

Devido ao esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia estar localizado dentro da Baía de São Marcos, a qual é dominada por um regime de macro maré, integrou-se o parâmetro ômega (Ω) ao parâmetro de Variação Relativa de maré (RTR), o que permitiu a classificação praiial segundo o modelo proposto por Masselink e Short (1993) que relaciona o parâmetro ômega e o RTR (Figura 10).

Figura 10- Quadro de relação entre o parâmetro Ômega (Ω) e RTR.



Fonte: Masselink e Short (1993).

Os dados dos perfis topográficos foram utilizados também para calcular o volume do balanço sedimentar mensal (entre marés de sizígia), onde uma rotina computacional foi adotada utilizando uma integral para cada coluna do perfil calculado, criando assim um vetor

que contém o valor total integrado, ou seja, a área do perfil, obtendo assim a diferença de volume entre o mês posterior e o mês anterior (Figura 11 e 12).

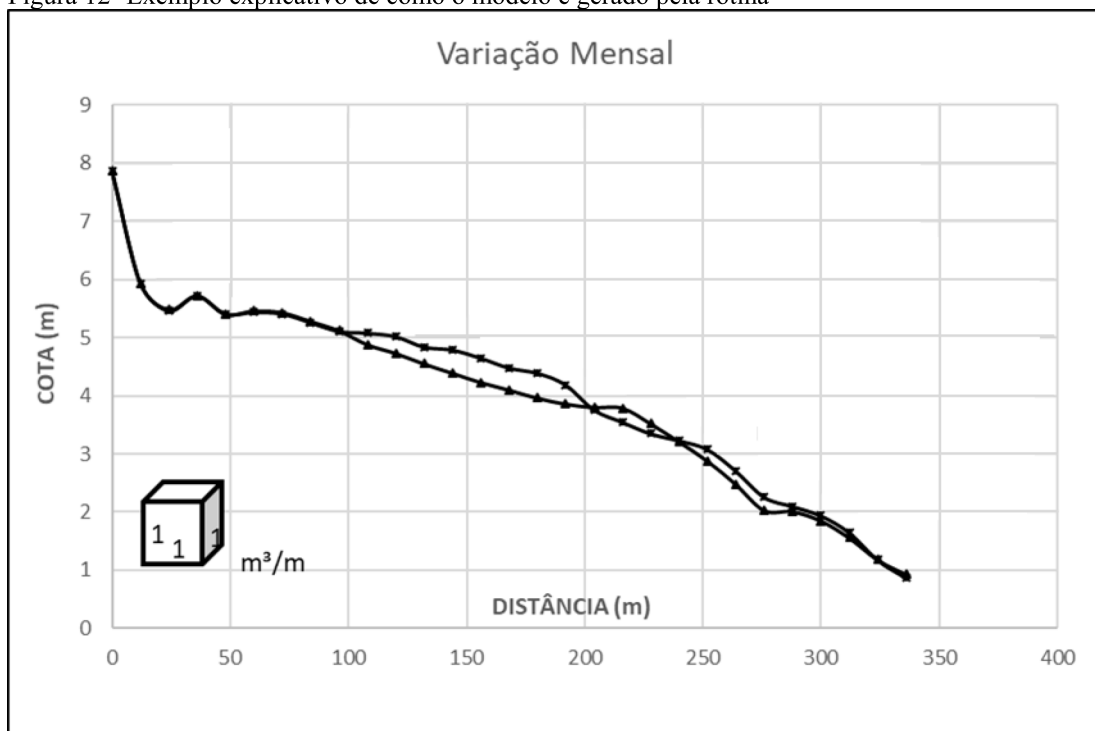
Figura 11- Rotina utilizada para o cálculo do volume mensal.

```

32
33 for k=1:coluna(2);
34     int=integral(positivos(:,k),1);
35     areap=[areap int];
36 end
37
38 for l=1:coluna(2);
39     a=length(denan(areap(:,l)));
40     dad=[dad; areap(a,l)];
41 end
42
43 for l=1:coluna(2);
44     lp=length(denan(positivos(:,l)));
45     positivos(lp,l);
46
47     if ans >= 0.2;
48         positivos(lp,l)=nan;
49     end
50     lpzeros=[lpzeros; positivos(lp,l)];
51
52     if ans >= 0.2;
53         positivos(lp,l)=nan;
54         lp=nan;
55     end
56     lpp=[lpp; lp];
57 end
58 LPTerminal=[lpp lpzeros];
59 numb=[1:num_perfis];
60 LPTerminal=[numb LPTerminal];
61
62 k=0;
63 for j=1:coluna(2);
64     if k==j;
65         continue;
66     end

```

Figura 12- Exemplo explicativo de como o modelo é gerado pela rotina



2.2 Dinâmica dos Sedimentos

2.2.1 Transporte eólico

Esta etapa do trabalho consistiu em coletas de sedimentos com armadilhas e medições de intensidade e direção dos ventos (Figura 13 e 14). As taxas de transporte eólico foram medidas com armadilhas cilíndricas baseadas no modelo de Rosen (1978), comumente utilizadas na literatura (e.g. BAUER *et al.*, 1990; SHERMAN *et al.*, 1993), construídas em cano PVC e malha de 0,063 mm (Figura 13).

Os métodos para coleta de sedimentos por transporte eólico são bem complexos e muito difíceis de serem registrados com exatidão (ROSEN, 1978). De modo que existem diferentes métodos desenvolvidos para armadilhas de sedimentos, no qual cada um possui suas vantagens e desvantagens. As armadilhas verticais, utilizadas nesse trabalho possuem como vantagem o baixo custo e a fabricação artesanal da mesma. Porém, sua desvantagem principal é a mudança das condições do fluxo do ar simplesmente por sua presença, podendo formar pequenas elevações à sua frente, o que atrapalha a coleta de sedimentos transportados por arrasto (ROSEN, 1978; LEATHERMAN, 1978; PYE E TSOAR, 1990).

Para entender a dinâmica do campo de dunas próximos ao espigão costeiro e quantificar o transporte de sedimentos eólicos por saltação e rolamento, foram instaladas cinco armadilhas verticais, com abertura para coleta do tipo “I”, no mês de setembro de 2016, devido à ausência de chuva e ação de ventos intensos nesta época do ano. Vale ressaltar que os ventos fortes aliados a baixa umidade, colaboram ainda para o episódio de erosão eólica, especialmente em áreas carentes de cobertura vegetal, promovendo a depressão de parte deste relevo.

O posicionamento das armadilhas foi baseado nos seguintes critérios: distância de obstáculos naturais ou artificiais que venham possivelmente interferir nos resultados; distribuição longitudinal do campo de dunas; abertura do coletor posicionada na direção do vento. Após definição do posicionamento, cada armadilha foi enterrada até que a abertura do coletor estivesse nivelada a superfície, direcionada para a pista de vento, com auxílio de uma biruta. A medida que se inicia o trapeamento do sedimento com as armadilhas é simultaneamente avaliada a velocidade média do vento durante o intervalo de 15 minutos, que é o tempo de aquisição do sedimento. (Figura 14). A morfologia do campo de dunas e da face praial são medidos com nível topográfico (perfil praial) para posterior correlação entre taxas de transporte e morfologia associada.

Já em laboratório, os sedimentos acumulados nas armadilhas foram retirados e pesados em balança de precisão para obter o peso úmido de cada amostra. Depois foram lavadas com água para remoção de sais e colocadas para secar em estufa a 60°C para obter o peso seco de cada amostra. Posteriormente, as amostras foram submetidas a análise granulométrica e os dados organizados em planilhas para análise de correlação com dados meteorológicos obtidos em campo, assim como a relação entre perfis longitudinais aos pontos de coleta.

A partir da área da seção do coletor e a quantidade de sedimentos acumulados no tempo de 15 minutos, em cada armadilha eólica, foi possível estimar a área em metros quadrados, que cada armadilha representou na face praial e calculou a quantidade de sedimentos transportados no período de 15 minutos, através do método matemático da regra de três.

Figura 13- Armadilhas eólicas baseadas no modelo de ROSEN (1978).

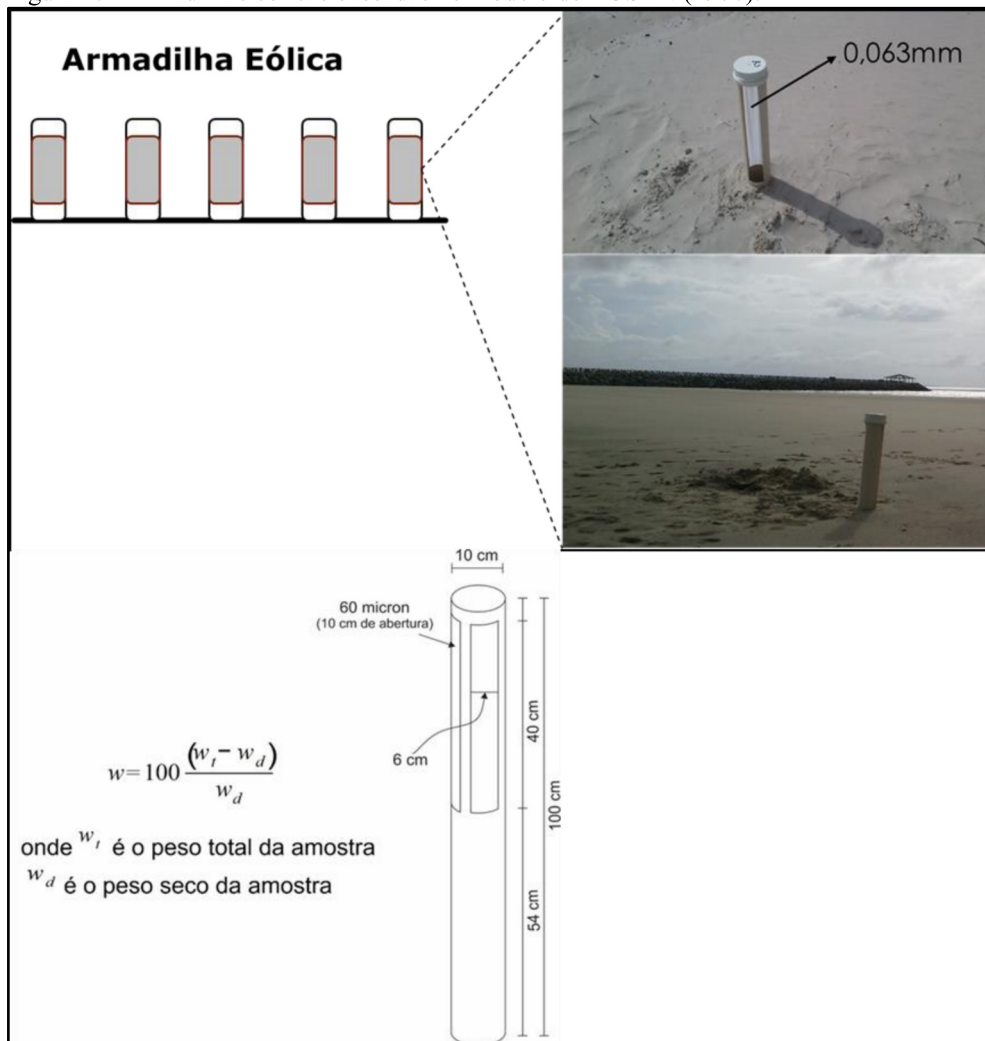
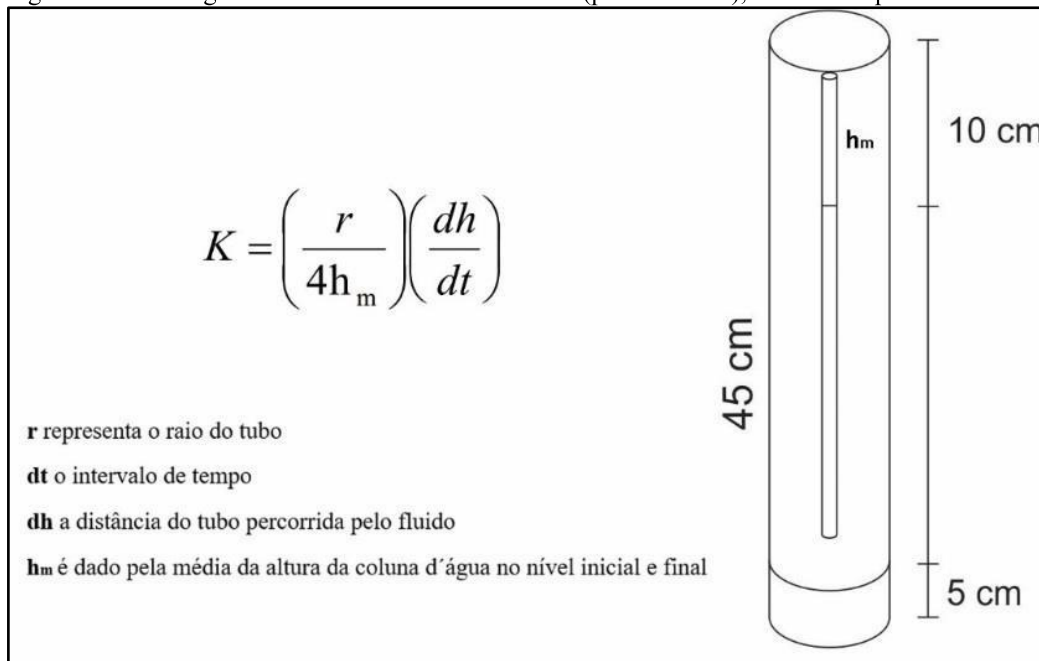


Figura 14- Aparelhos para medição de velocidade (anemômetro) e direção (biruta) do vento.



A permeabilidade hidráulica foi medida nos cinco locais que foram implantadas as armadilhas eólicas. Para determinação do coeficiente de permeabilidade da camada superficial da face praial, foram realizados ensaios geotécnicos em tubos de PVC adotando o método descrito por Caputo (1980). O tubo foi penetrado a uma profundidade de 5 cm no solo e preenchido com água do mar até o topo, como fluido de percolação, que neste caso foi a água. Depois foi cronometrado o tempo gasto que a coluna de água levou para percorrer o comprimento de 10 cm entre os níveis marcados no cano de PVC. Então calculou-se a permeabilidade através da equação de Darcy (K): onde r é o tamanho do raio do tubo de PVC; hm é a altura média da coluna d'água nos dois níveis (inicial e final); dh é a distância do tubo percorrida pelo fluido; e dt é o intervalo de tempo (Figura 15).

Figura 15- Ensaio geotécnico em tubo aberto de PVC (permeâmetro), onde K é a permeabilidade



Fonte: Adaptado de Caputo (1980).

2.2.2 Transporte por deriva litorânea (*longshore currents*)

Este experimento teve como objetivo a obtenção de dados que quantifiquem o transporte de sedimentos associados à movimentação de areia na zona de surfê. Os dados obtidos comportam a distribuição vertical da concentração do tamanho de sedimentos em suspensão e sua variação ao longo da zona de surfê (cristas e cavas topográficas). Para este experimento foi utilizado um trapeador portátil (Figura 16), segundo modelo de Kraus (1985). O trapeador consiste em uma torre vertical com oito coletores de seções retangulares medindo 16 x 10 centímetros cada, revestidos por um tecido de poliéster em forma de coador com malha de abertura de 0,062mm, possibilitando a passagem de água e retendo os sedimentos arenosos. Já para coleta dos dados relativos a corrente (deriva litorânea) utilizou-se um derivador flutuante (Figura 17).

Figura 16- Trapeador portátil (16x10cm).

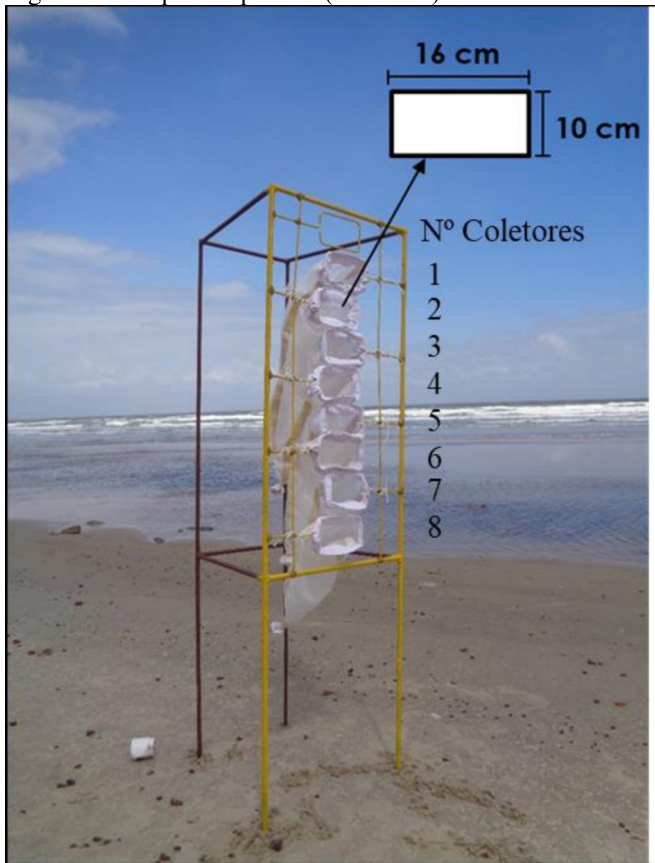


Figura 17- Derivador Flutuante



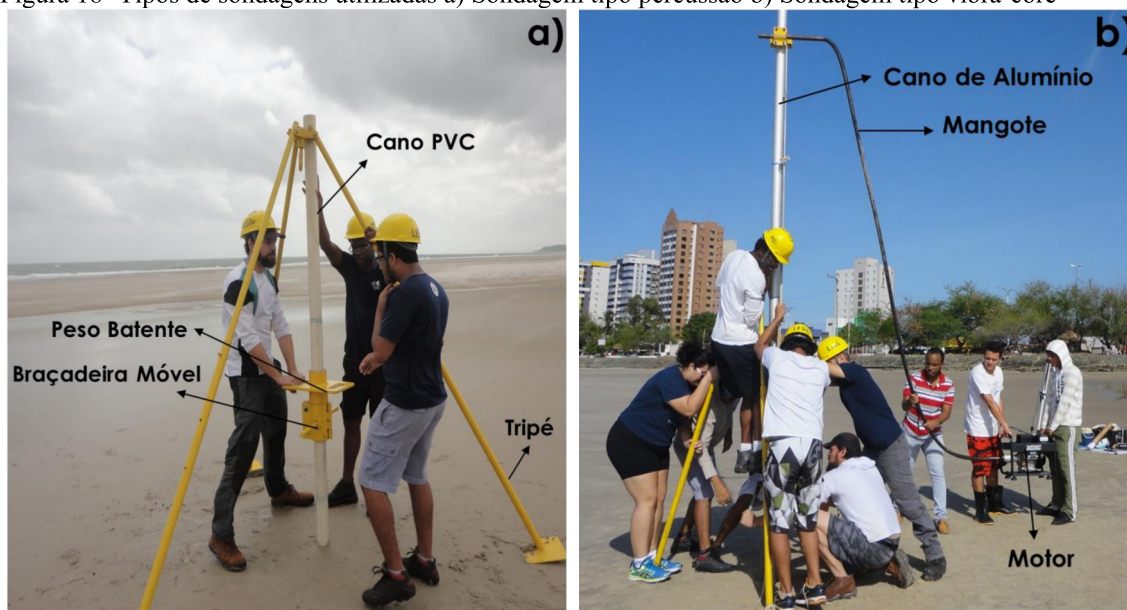
Foi realizada uma medição previa da velocidade da corrente para reconhecimento da área e definição dos locais aonde seria realizado o experimento. Então foram delimitados dois pontos, a montante do espigão distanciados 550 m um do outro, mas verificou-se que na proximidade do espigão existem correntes de refluxo transversais à linha de costa que afetariam a condução do experimento, optando-se apenas pelo transecto P3 (figura 2). Especificamente o experimento abrangeu meio ciclo de maré, pois foi executado durante as máximas amplitudes de maré vazante e enchente, em duas posições diferentes no transecto. A condução do experimento inicia-se com a fixação do trapeador na profundidade de 100 cm, na zona de surfe, com as entradas dos coletores posicionados perpendicularmente à linha de quebra das ondas e contra o sentido da corrente de deriva, de modo que fosse coletado o material transportado pela corrente, na amplitude máxima de maré alta e baixa durante um período de 15 minutos. Já em laboratório, os sedimentos acumulados em cada trapeador, foram pesados individualmente, quarteados e então submetidos a análises granulométricas.

De forma concomitante ao experimento utilizou-se um derivador (Figura 17), desenvolvido pela equipe do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (Registro: BR10-2017-0139794), que é solto na zona de surfe e cronometrado o tempo que demora para se deslocar em uma distância de 100 m, cruzando o trapeador. Esta medição é realizada três vezes ao longo do experimento, obtendo-se a média dos tempos e assim, foi possível calcular a velocidade da corrente longitudinal ou de deriva litorânea.

2.3 Estratigrafia

Para esta dissertação fez-se a opção de testemunhos de sondagens de sub-superfície a percussão (Figura 18 a) e vibra-core (Figura 18 b). A primeira é utilizada para terrenos arenosos quando a penetração do testemunho é mais complexa, já a segunda é utilizada para terrenos mais moles e de fácil penetração, geralmente constituído por sedimentos lamosos.

Figura 18- Tipos de sondagens utilizadas a) Sondagem tipo percussão b) Sondagem tipo vibra-core



2.3.1 Sondagem: Percussão e Vibra-core

Foram executadas três sondagens de sub-superfície. Duas sondagens a percussão foram realizadas transversais à linha de costa da Praia da Ponta da Areia, uma localizada próxima a base do espigão (SP1) e a outra próxima a extremidade do espigão (SP2). Já a sondagem a vibra-core (SV1) foi realizada na base do esporão arenoso (*spit*) no setor de menor distância entre a retrobarreira (Lagoa da Jansen) e a praia (figura 2).

As sondagens a percussão (Figura 18 a) foram realizadas com canos de PVC introduzidos através de uma sequência de golpes, com um peso batente de 20 kg, sobre uma braçadeira móvel fixada ao cano, obtendo a penetração completa do cano sobre a superfície da praia. Já a sondagem vibra-core (Figura 18 b) foi realizada com um cano de alumínio, submetido à vibração de baixa frequência, produzida pela ativação de um motor ligado a um mangote vibrador com amplitude de vibração de 0,85mm a 12.500 RPM, acoplado ao cano.

Ambos os canos (PVC-percussão e alumínio-viracore) possuem um diâmetro de 75mm, espessura de 2mm e comprimento de 6 m. Para extrair os testemunhos foi utilizado uma talha de corrente e um cabo preso à braçadeira através de um sistema de polias com força para puxar até 1 tonelada (Figura 19). Após a extração, cada testemunho foi identificado, vedado e transportado para o Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG), da Universidade Federal do Maranhão, Campus Bacanga.

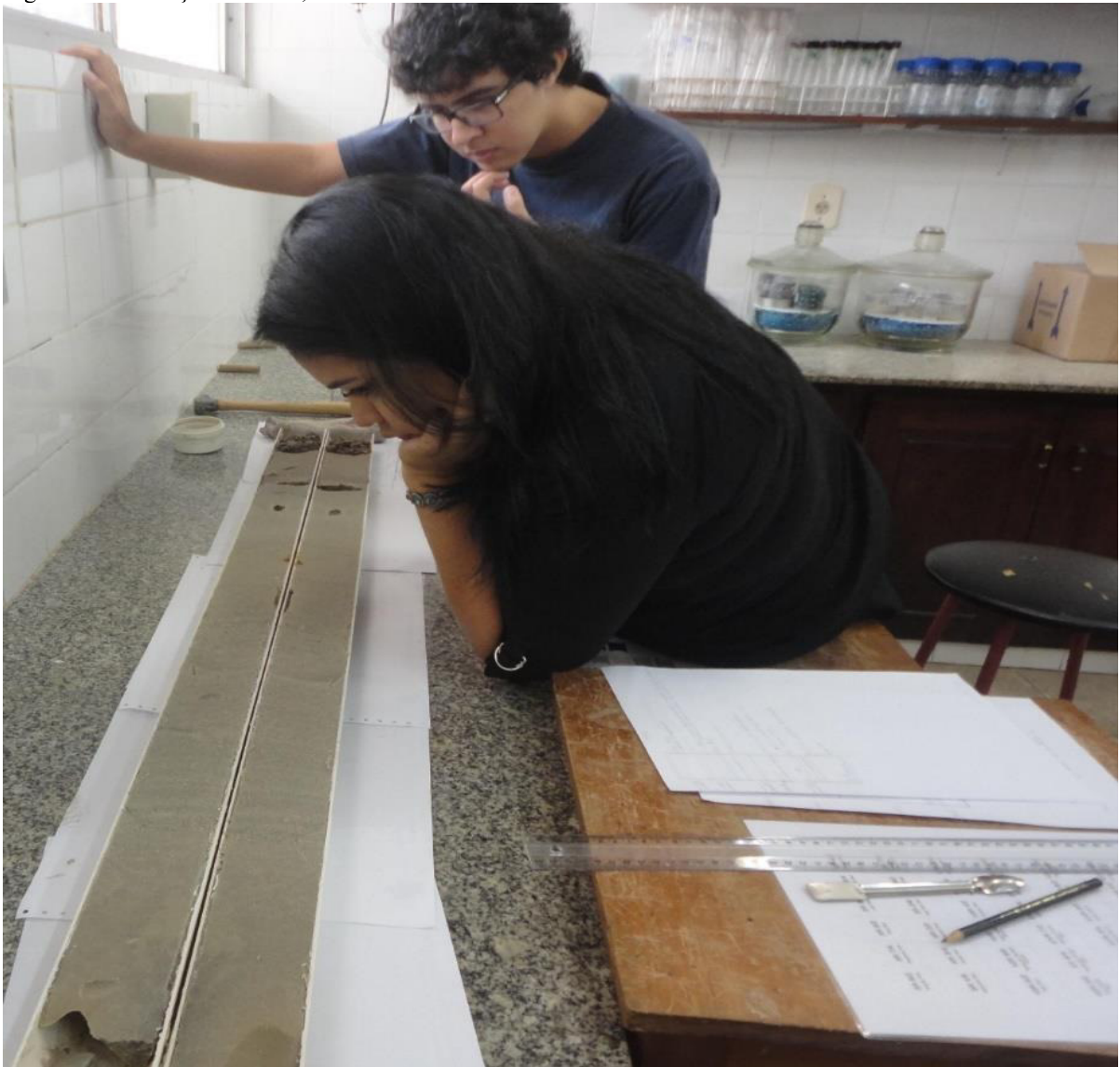
Já em laboratório, os testemunhos foram abertos e descritos quanto à sua cor (MUNSELL, 2009), compactação, textura, estruturas e fácies sedimentares (Figura 20). Após

a descrição, separou-se alíquotas de 100g, a cada 10 cm, partindo da base até o topo dos testemunhos, para serem realizadas análises granulométricas, de carbonato de cálcio e de matéria orgânica.

Figura 19- Talha de corrente e tripé utilizados para extração dos testemunhos.



Figura 20- Descrição de cores, texturas e fáceis.



2.3.2 Granulometria dos sedimentos

As diversas formas de grãos disponíveis na natureza exibem uma elevada e complexa variabilidade de dimensões, promovendo em um ambiente natural, a presença de sedimentos com vários tamanhos de partículas. Conhecer a relação entre a presença e as dimensões dessas partículas em um ambiente pode acarretar informações tais como: sua origem (área fonte- suprimento sedimentar) e transporte (eólico, hidrodinâmico, tectonismo, etc.) fomentando as características sedimentares e dinâmicas (hidrodinâmicas) de uma região. A maneira mais eficiente para compreender essas hipóteses é através de análises granulométricas.

Neste trabalho, as análises granulométricas foram baseadas em metodologias descritas por Suguio (1973). A proporção e o diâmetro dos grãos de areia foram determinados

pelo método da peneiragem, utilizando as escalas desenvolvidas por Wentworth (1922) e Krumbrein (1934) e a proporção de silte e argila foram determinados por técnicas de pipetagem baseada na lei de Stokes (1851) e classificados pelo tratamento estatístico de Folk e Ward (1957).

Para análises dos resultados utilizou-se o *software sysgran* 3.0 e gráficos gerados pelo Excel 2016.

2.3.3 Carbonato de cálcio, matéria orgânica e datação do Carbono-14

Em todas as amostras coletadas, calculou-se o percentual de matéria orgânica e de carbonato de cálcio seguindo o método apresentado por Dean (1974). Para descobrir a quantidade de carbonato de cálcio, foi separado dez gramas de cada amostra e adicionado o ácido clorídrico diluído a 10% na água (0,1 N). Depois da eliminação de todo CaCO_3 , o material foi diluído em água e colocado na estufa para secar. Após isto a amostra foi pesada e a concentração de CaCO_3 calculada por gravimetria (diferença de peso).

Já o percentual de matéria orgânica de cada amostra foi calculado da seguinte maneira: colocou-se o material em uma mufla a 450°C para queima da matéria orgânica. Depois colocado ao dissecador para atingir a temperatura ambiente, e assim, calculado a concentração de matéria orgânica por gravimetria (WETZEL, 1975).

As análises de C^{14} foram realizadas no laboratório BETA ANALYTICS RADIOCARBON DATING LABORATORY em Miami, Flórida, EUA, onde a técnica de detecção foi pelo método (AMS) *Accelerator Mass Spectrometry*. Para calibrar a amostra foi utilizada a base de dados MARINE04 (HUGHEM *et al.*, 2004) e INTCAL04 (REIMER *et al.*, 2004) interpolados através do ajuste ponderado do *spline* cúbico descrito em Talma e Vogel (1993).

3 RESULTADOS

3.1 Morfodinâmica Praial

Conforme apresentado anteriormente no mapa de localização (Figura 2), para entender a morfodinâmica, foram feitos perfis topográficos em 6 pontos do esporão arenoso da Ponta da Areia. O perfil localizado a jusante do espigão (P1), às margens do canal de navegação da região, foi medido mensalmente no intervalo de agosto de 2016 a junho de 2017. Já o perfil localizado a montante do espigão (P2) foi feito de julho de 2016 a junho de 2017. O perfil P3, segundo perfil a montante do espigão, localizado em frente ao Praia Mar Hotel, foi medido em um intervalo de agosto de 2016 a junho de 2017. E o perfil em frente à praça do sol (P4), mais distante da zona de atuação de proteção do espigão, localiza-se no setor que mais exibe erosão da Praia da Ponta da Areia, medido em dezembro de 2016 e janeiro de 2017, apenas no dia da sondagem SV1 e no mês seguinte para ter uma base de como a morfodinâmica atua nesta localidade. E os perfis P5 e P6 foram executados em abril de 2017 na Ponta do Farol numa localidade que exibe um espigão natural. (Figura 21).

Figura 21- Imagem de localização dos perfis topográficos na Praia da Ponta da Areia.



Fonte: (Google Earth, 2018).

3.1.1 Perfil Topográfico P1

O perfil topográfico P1 (Figura 21 e 22), localizado a jusante do espigão, na margem do canal de navegação do Rio Anil e longitudinal ao esporão, compreende na menor faixa de areia da Praia da Ponta da areia apresentando um comprimento máximo de 160 m (Figura 23).

Figura 22- Marco topográfico do início do perfil P1 (a) e localização do perfil na praia (b).

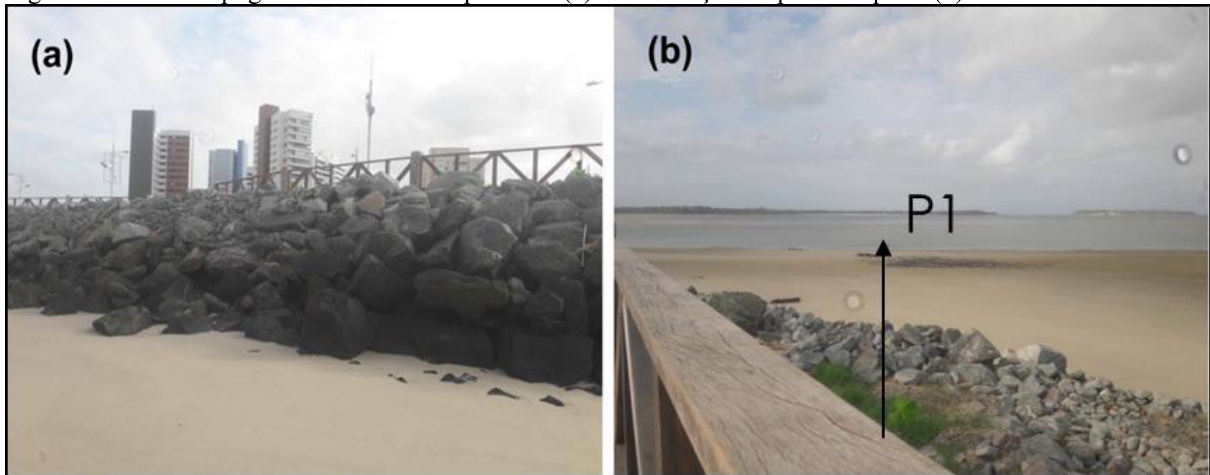
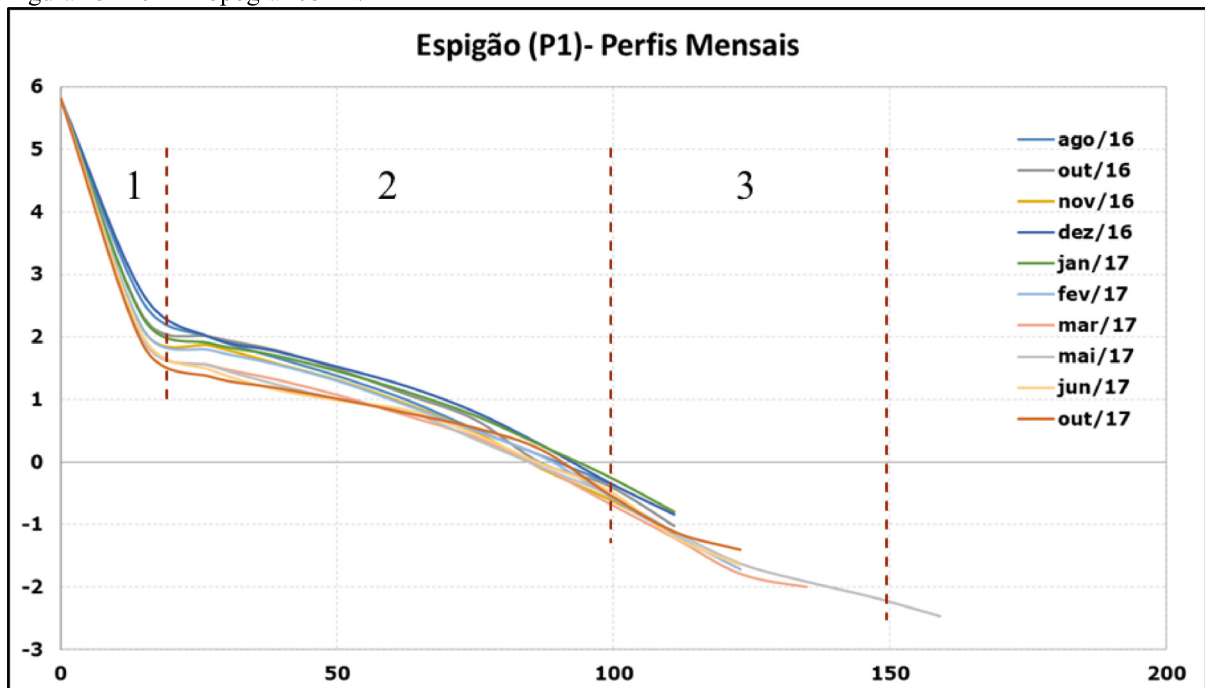


Figura 23- Perfil Topográfico P1.

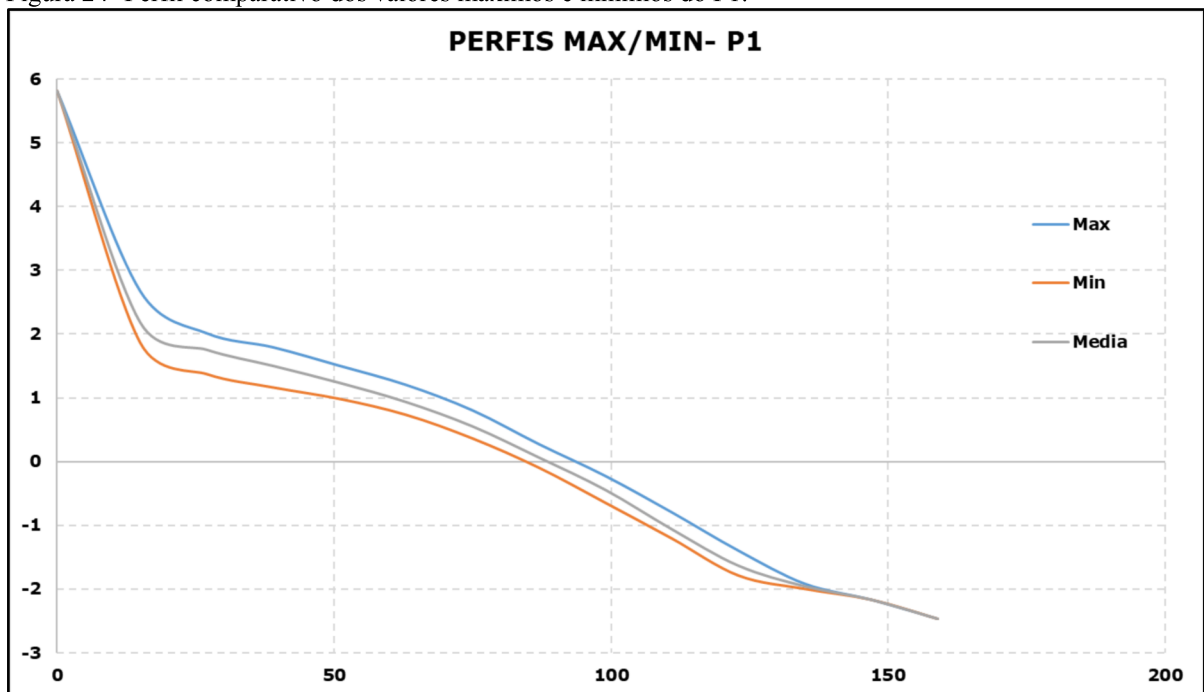


O perfil se inicia na cota 5,81 m sobre um enrocamento de contenção de erosão, posição esta escolhida para evitar a perda de referência topográfica em caso de desmoronamento do enrocamento ou mesmo erosão. O início da faixa de areia encontra-se

posicionado na cota de 2,5 m. Este perfil pode ser dividido em três setores (1, 2 e 3) o primeiro bastante inclinado que vai do início do perfil (calçada) até 15 m de comprimento, formado pelo enrocamento. O segundo continua dos 15 m até os 100 m de distância, que representa a faixa de areia da praia ancorada ao enrocamento. Este segundo compartimento representa a zona intermarés. Já o último setor está no intervalo de 100 a 150 m, na borda do canal e exposto somente em marés de sizígia (Figura 23).

A figura 24 mostra a variação de volume interna do perfil P1, onde foram considerados os valores médios, máximos e mínimos de todos os perfis executados mensalmente (2016/2017).

Figura 24- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P1.

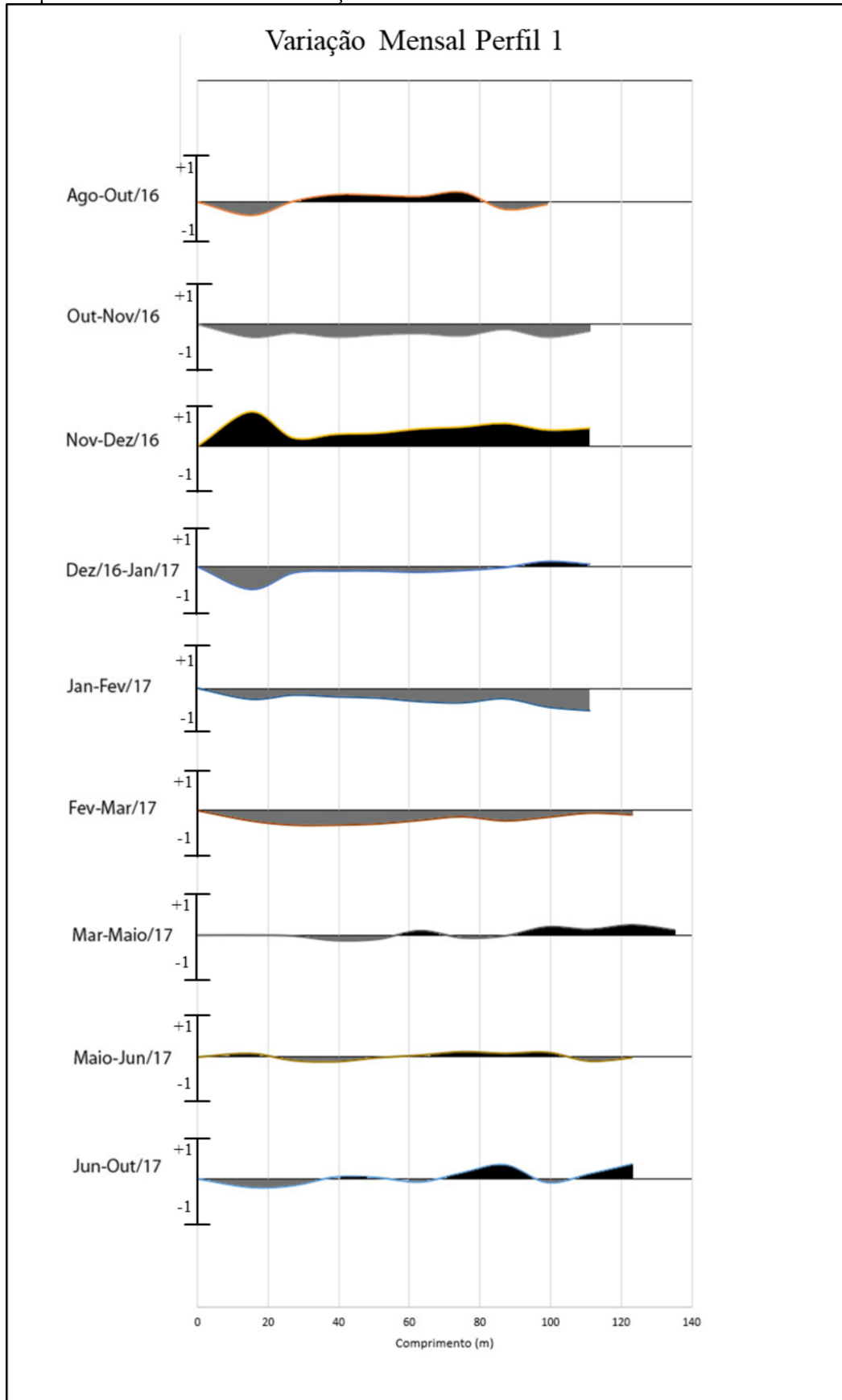


A figura 25 apresenta os dados de variação mensal que permite avaliar a forma em que o perfil alterou entre as fases acrescivas (preto) e erosivas (cinza) de um mês para outro ao longo do período monitorado. Cada linha se inicia no zero e varia de -1 a 1 metro. As elevações acima de zero demonstram a acreção na praia em direção ao oceano, ou seja, a deposição de sedimentos em cada mês em relação ao mês anterior. Já as alterações abaixo de zero demonstram a erosão da praia em direção ao continente, ou seja, uma perda de sedimentos maior que a deposição.

É possível observar que os meses de maior erosão se encontram relacionados ao período chuvoso (janeiro/julho) e a fase mais acresciva, ocorre somente de novembro a

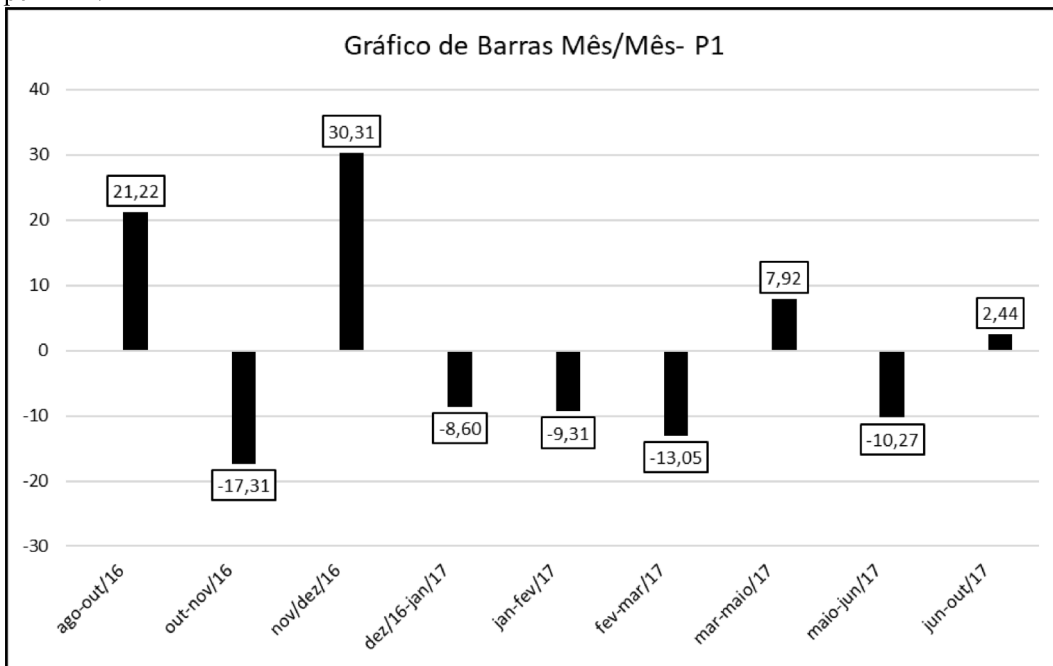
dezembro. No período seco (julho/dezembro), se observa pouca variação de volume ao longo do perfil, possibilitando assim, afirmar que o perfil 1 é mais erosivo do que acrescivo e que no início do perfil ocorre maiores mobilidades e no extremo do perfil menores mobilidades.

Figura 25- Variação mensal de volume (m) do perfil P1 a jusante do espigão, em que os dados da cor preta acima da linha indicam acresção e os dados da cor cinza abaixo da linha indicam erosão.



A figura 26 apresenta a variação mensal em m^3/m , onde, no período seco a praia apresentou um máximo acrescivo de $30,31 m^3/m$ entre novembro e dezembro e um máximo erosivo de $-17,31 m^3/m$ entre outubro e novembro. Considerando apenas o período chuvoso (Dez a Jul) o máximo acrescivo foi de $7,92 m^3/m$ em março/maio e um máximo erosivo de $-13,05 m^3/m$ em fevereiro/março de 2017.

Figura 26- Gráfico da variação de volume em m^3/m , de cada mês relacionado ao mês anterior no perfil P1.



A partir do cálculo de volume (m^3/m), ou seja, o balanço sedimentar do perfil P1, o estoque sedimentar líquido foi de $3,35 m^3/m$. O perfil se mostrou quase estável, com uma média de $0,3 m^3/m$ e um desvio padrão de $16,48 m^3/m$. No período seco teve um volume líquido de $-3,93 m^3/m$ e no período chuvoso de $7,27 m^3/m$ (Tabela 1).

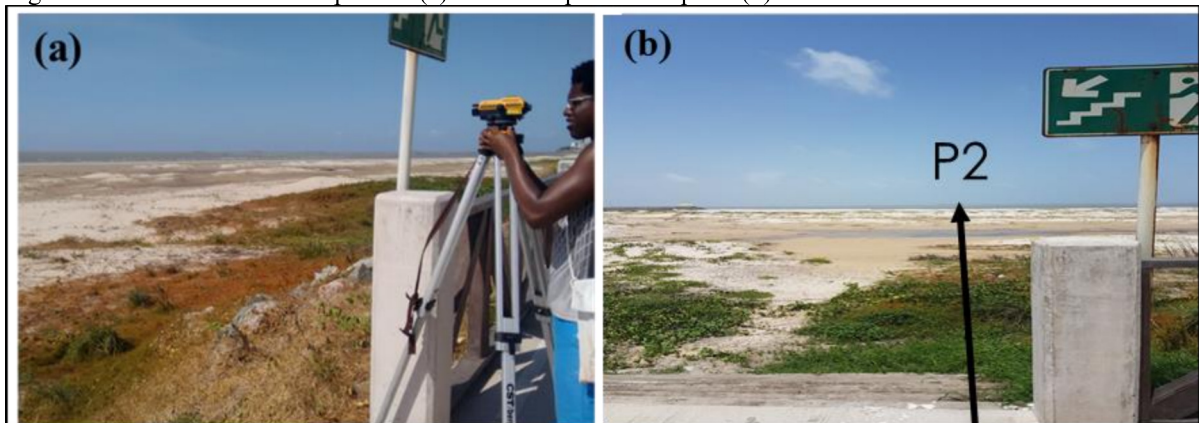
Tabela 1- Tabela de dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar.

Desvio Padrão	16,48	m^3/m
Média	0,37	m^3/m
Volume máximo Acrescivo	61,89	m^3/m
Volume máximo Erosivo	-58,54	m^3/m
Balanço Sedimentar	3,35	m^3/m
Volume máximo Período Seco	-3,93	m^3/m
Volume máximo Período Chuvoso	7,27	m^3/m

3.1.2 Perfil Topográfico P2

O Perfil P2 (Figura 27) é um perfil localizado à montante do espigão costeiro, paralelo ao mesmo e perpendicular à linha de costa (Figura 21). Localizado a montante do espigão, o P2 é o perfil mais longo com um comprimento máximo de 490 m. Ele está em uma área de constante deposição (retenção) de sedimentos por conta do espigão costeiro, resultante do transporte eólico e por deriva litorânea dos sedimentos (Figura 28).

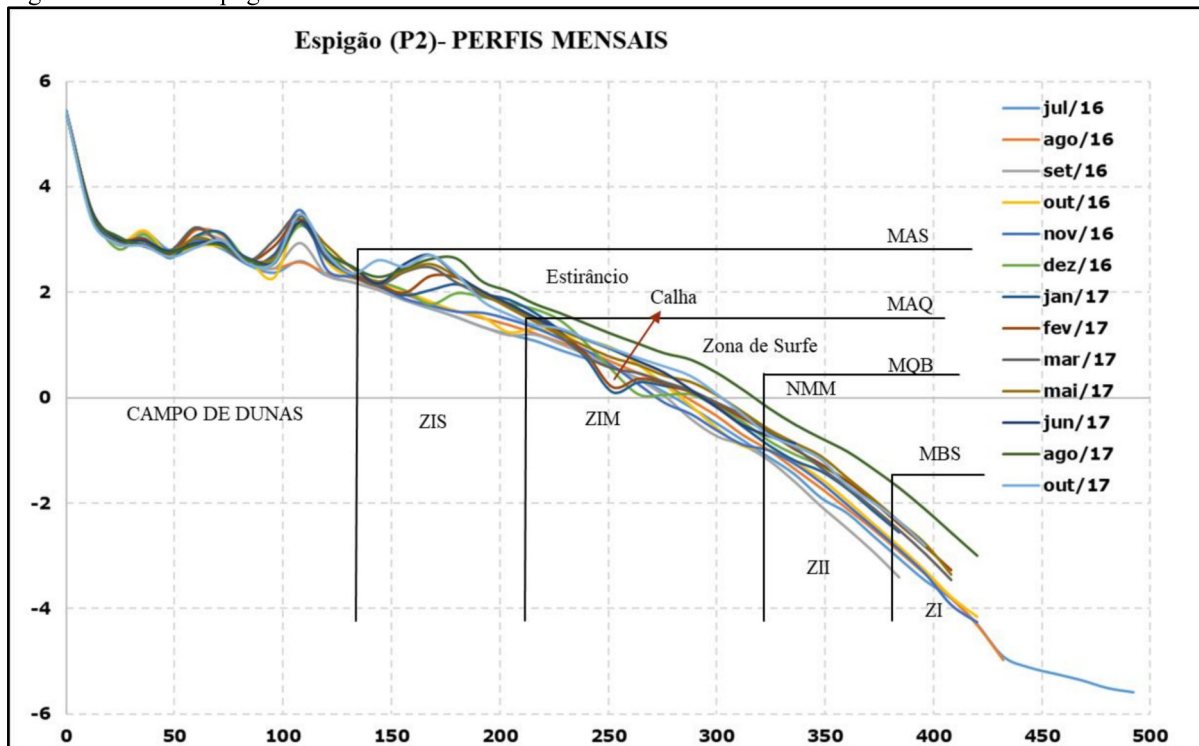
Figura 27- Marco do início do perfil 2 (a) e local do perfil 2 na praia (b).



O perfil P2 foi dividido por zonas limitantes dos ambientes deposicionais praias, o primeiro compartimento está localizado na extensão da calçada, onde ficou o ponto de fixação (NR), com uma distância de 12 m. O segundo demarca o campo de dunas frontais e embrionárias, do fim da calçada até 140 m de distância. De 140 até 210 m demarca a zona do estirâncio e ZIS, no intervalo entre 210 até 320 m está a ZIM e a zona surfe, no intervalo de 320 a 380 m, está a ZII onde a zona de surfe/arrebentação ainda se faz presente na maré baixa. E por fim está a ZI, abaixo do nível de maré baixa de sizígia (Figura 28).

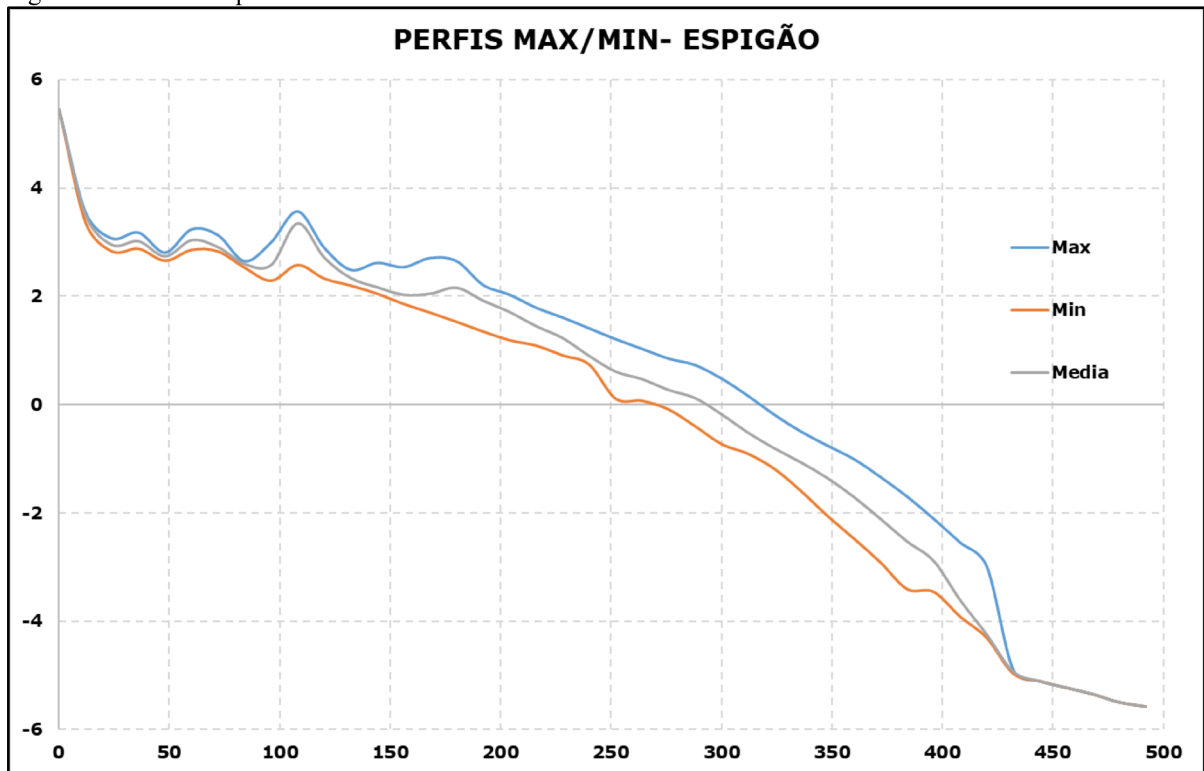
Observou-se que as maiores dunas obtiveram um tamanho aproximado de 1,5 m de altura há uma distância de 100 m do início do perfil. Na ZIM é possível observar a presença de calha móvel, com uma profundidade aproximada de 50 cm e uma largura de 10 m, a 250 m do RN (Figura 28).

Figura 28- Perfil Topográfico P2.



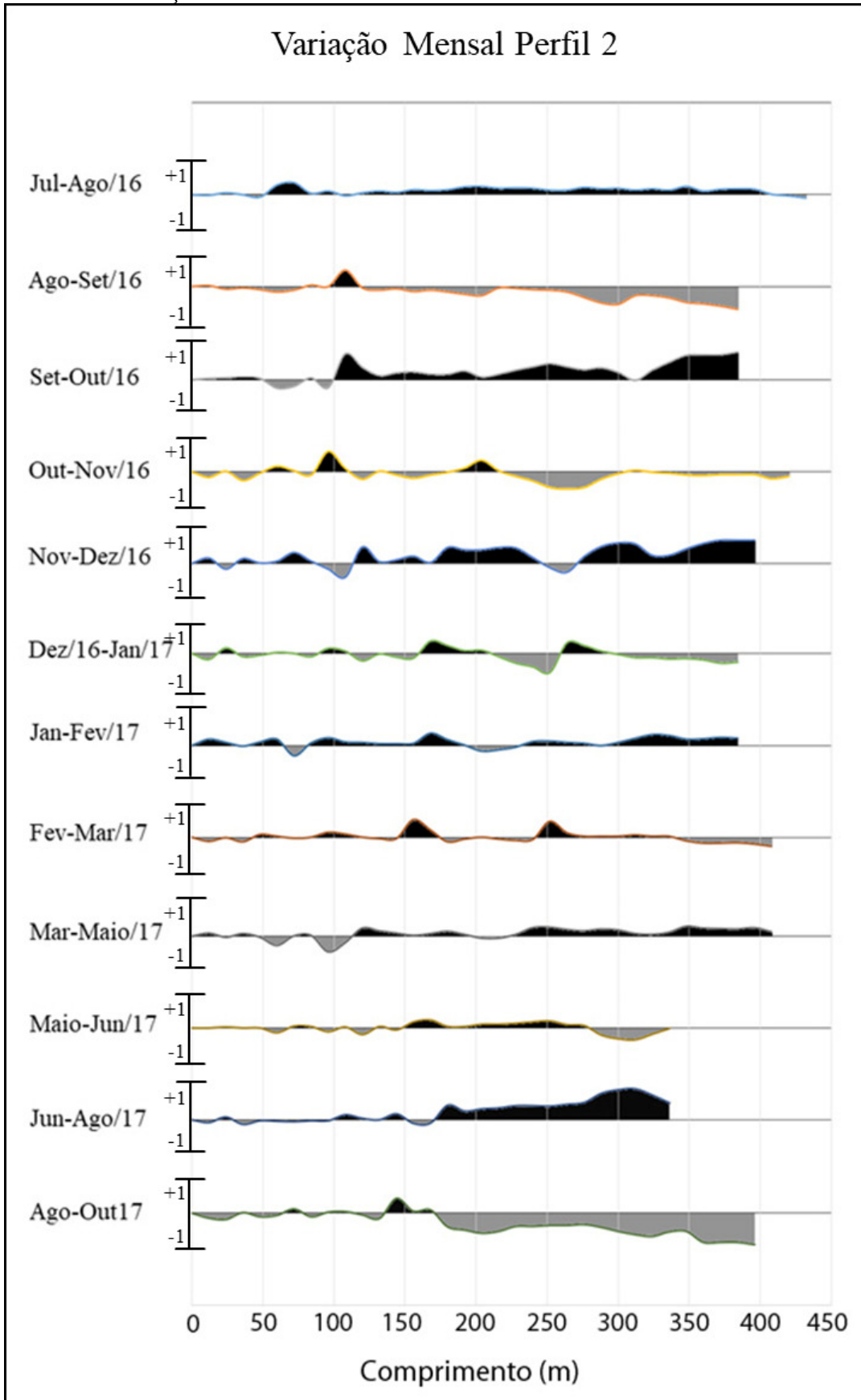
A figura 29 mostra a variação de volume interna do perfil P2, onde foram considerados os valores máximos e mínimos de todos os perfis mensais. Então esse gráfico apresenta a variação do perfil ao longo de todos os meses monitorados do ano de 2016/2017, onde é possível observar um pacote de variação maior na face da praia do que nas dunas e uma alteração maior na base do perfil e menor na face da praia.

Figura 29- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P2.



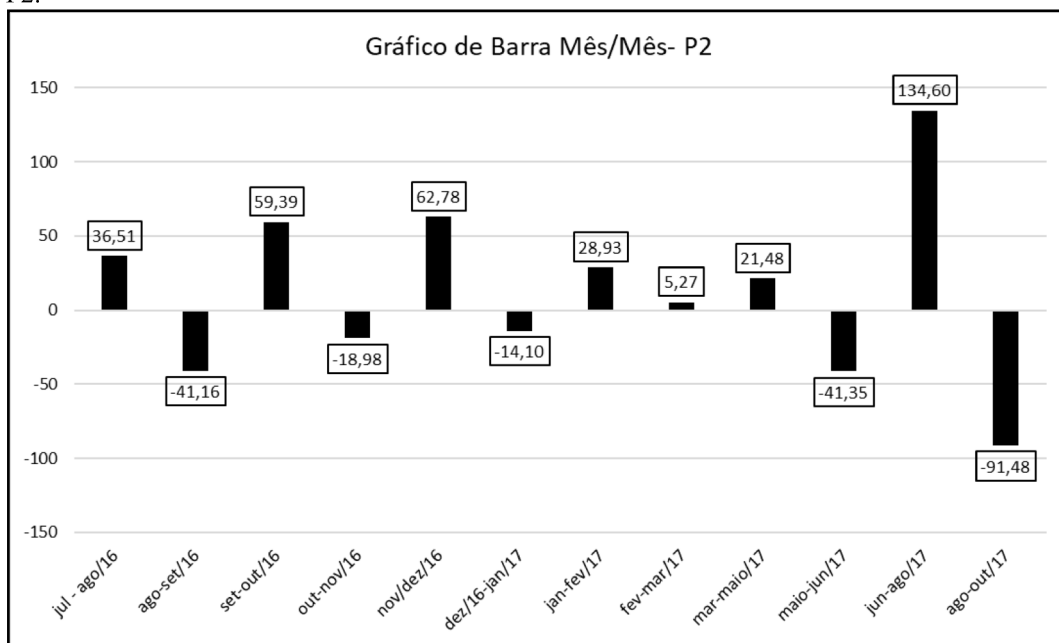
A variação dos perfis monitorados no intervalo dos anos de 2016 a 2017 é observado na Figura 30. O setor do campo de dunas se mostrou com pouca variação, já na face praial houve bastante acresção, com exceção dos meses de agosto/setembro de 2016 e agosto/outubro de 2017 que foram erosivos devido ao período de ventos mais fortes facilitando o transporte eólico.

Figura 30- Variação mensal de volume em m do perfil P2, em que os dados da cor preta acima da linha indicam acreção e os dados da cor cinza abaixo da linha indicam erosão.



Foi observado no perfil de volumes (Figura 31) que o ano de 2016 até fevereiro de 2017 houve uma alternância entre condição deposicional erosiva deste perfil. No período seco quando os ventos são mais fortes, foi possível observar nos meses de junho e agosto de 2017, a acreção máxima com $134,60 \text{ m}^3/\text{m}$ e nos meses de agosto e outubro de 2017, a erosão máxima com $-91,48 \text{ m}^3/\text{m}$, na zona do estirâncio. Já no período de chuva, com menor ação dos ventos, o volume máximo de sedimentos aprisionados e transportados foi menor, com $28,93 \text{ m}^3/\text{m}$ de acreção nos meses de janeiro e maio de 2017 e não houve volume erosivo (Figura 31).

Figura 31- Balanço sedimentar da variação de volume em m^3/m , de cada mês relacionado ao mês anterior no perfil P2.



Os dados volumétricos do perfil P2 resultaram em uma média de volume de $11,82 \text{ m}^3/\text{m}$ e um desvio padrão de $59,47 \text{ m}^3/\text{m}$. O volume máximo acrecivo foi de $348,96 \text{ m}^3/\text{m}$ e o máximo erosivo de $-207,08 \text{ m}^3/\text{m}$ resultando em um balanço sedimentar total líquido dos anos de 2016 e 2017 do perfil P2, de $141,87 \text{ m}^3/\text{m}$, ou seja, foi positiva. Já o volume máximo do período seco foi de $37,52 \text{ m}^3/\text{m}$ e o máximo do período chuvoso resultou em $104,36$ (Tabela 2).

Tabela 2- Dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar e períodos seco e chuvoso do P2.

Desvio Padrão	59,47 m ³ /m
Média	11,82 m ³ /m
Volume máximo Acrescivo	348,96 m ³ /m
Volume máximo Erosivo	-207,08 m ³ /m
Balanço Sedimentar	141,87 m ³ /m
Volume máximo Período Seco	37,52 m ³ /m
Volume máximo Período Chuvoso	104,358 m ³ /m

3.1.3 Perfil Topográfico P3

O perfil topográfico P3 é o segundo perfil localizado à montante do espigão e transversal à linha de costa, que se inicia em cima do enrocamento de proteção do hotel Praia Mar (Figura 21 e 32) e apresentou uma extensão máxima de 280 m durante o período de monitoramento.

Figura 32- Marco do início do perfil 3 (a) e alinhamento do perfil 3 na praia (b).

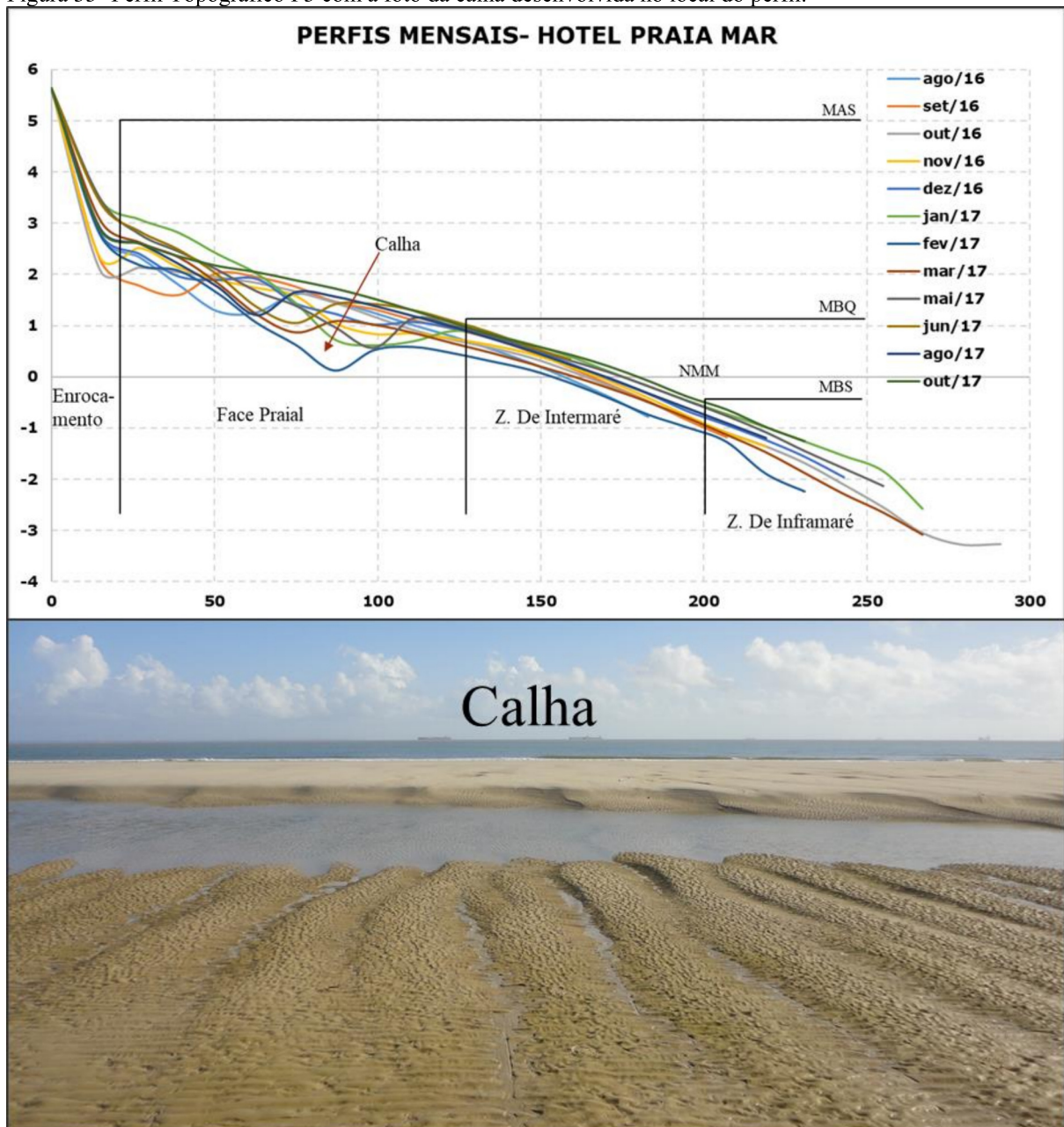


No intervalo de 0 até 15 m, encontra-se uma área de enrocamento, este construído devido a severas erosões ocasionadas na região após a construção do espigão. Após isto, aproximadamente entre o intervalo de 15 a 130 m, é notável uma grande variabilidade do perfil ao longo de um mês, devido a morfodinâmica de um sistema de crista e calha móveis, que chegam até 70 cm de profundidade e 10 m de largura, responsáveis por acresção e erosão localizada. Esta variação de volume na face praial do perfil 3, é pertinente ao muro de contenção (*seawall*) que aumenta a formação de calhas de maré nesta região (Figura 33).

Ao longo dos meses monitorados, por mais que fossem pequenas, todos os meses apresentaram calhas de maré e no mês de fevereiro/2017 é possível visualizar um perfil bastante erosivo com

a presença de uma calha próxima aos 80 m de distância do início do perfil. Após os 130 m o perfil, na zona de intermaré, se torna mais estável expondo pequena variabilidade de sua posição e no mês de janeiro/2017 também foi marcante a deposição no estirâncio da praia com um grande volume depositado no extremo do perfil. Já depois dos 200 m de distância está a zona de inframaré, constantemente úmida por ficar abaixo do nível da maré, praticamente o tempo todo (Figura 33).

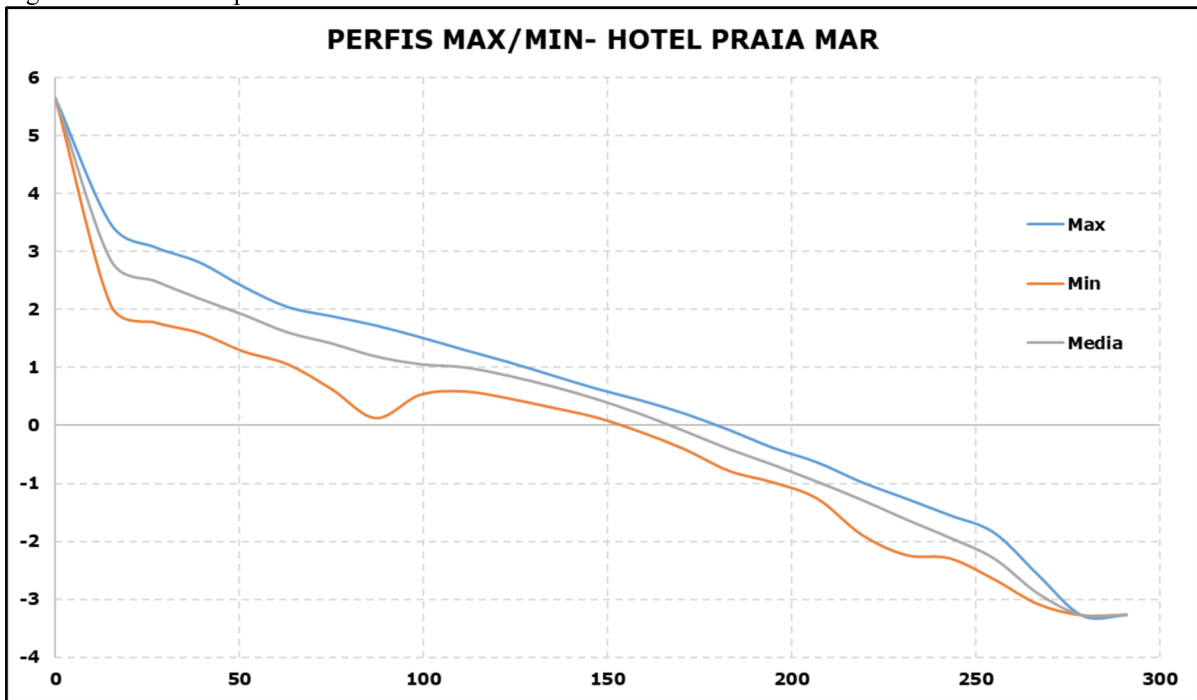
Figura 33- Perfil Topográfico P3 com a foto da calha desenvolvida no local do perfil.



A figura 34 apresenta a variação de volume interna do perfil P3, onde são considerados os valores máximos e mínimos de todos os perfis executados mensalmente neste

local. Contudo esse gráfico apresenta a variação ao longo de todos os meses monitorados do ano de 2016/2017. A variabilidade entre os máximos e mínimos de volume no perfil 3 apresentam uma grande diferença desta região quando comparada as demais regiões do estudo, devido à morfodinâmica do sistema banco e calha desenvolvido no Perfil 3.

Figura 34- Perfil comparativo dos valores máximos e mínimos do P3.



A figura 35 mostra que no início do perfil houve uma grande variação entre erosão e deposição devido à presença da calha móvel na região, com exceção dos meses de janeiro/fevereiro de 2017 que houve somente erosão e nos meses fevereiro/março e agosto/outubro de 2017 que houve apenas acresção. No entanto as zonas intermarés permaneceram aproximadamente estáveis, com pequenas variações, geralmente acrescivas ao longo do ano monitorado com exceção jan/fev 2017 onde pontualmente ocorreu um evento erosivo.

O volume de sedimentos calculado no ano de 2016 e 2017, pode ser observado na figura 36. Foi possível observar nos meses de junho/agosto de 2017, a acresção máxima, referente a todos os meses monitorados, de 101,16 m³/m e nos meses janeiro/fevereiro de 2017, obteve-se a erosão máxima de -157,65 m³/m, na zona do estirâncio (Figura 36).

Figura 35- Variação do perfil P3 (Hotel Praia Mar) mês a mês.

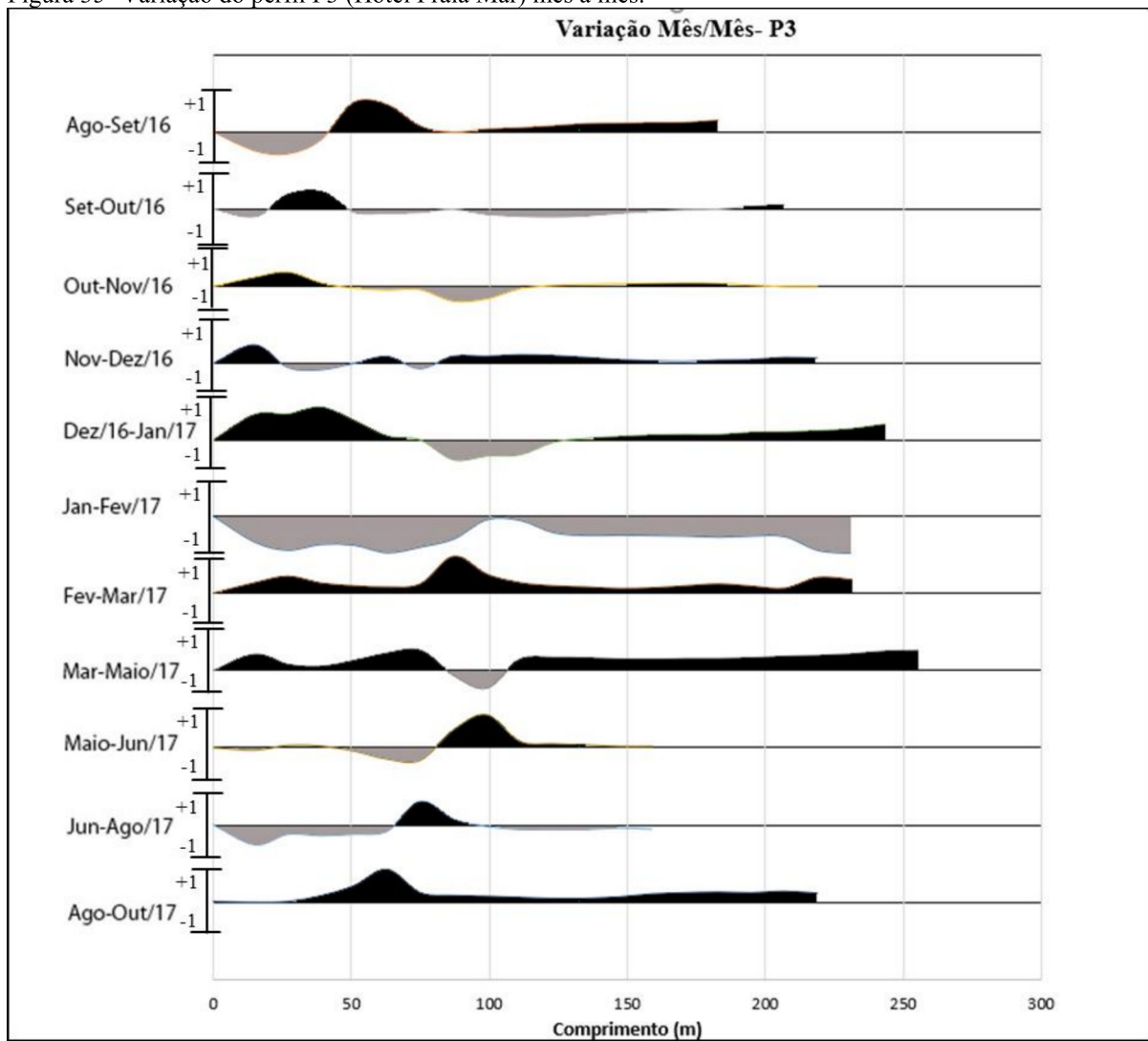
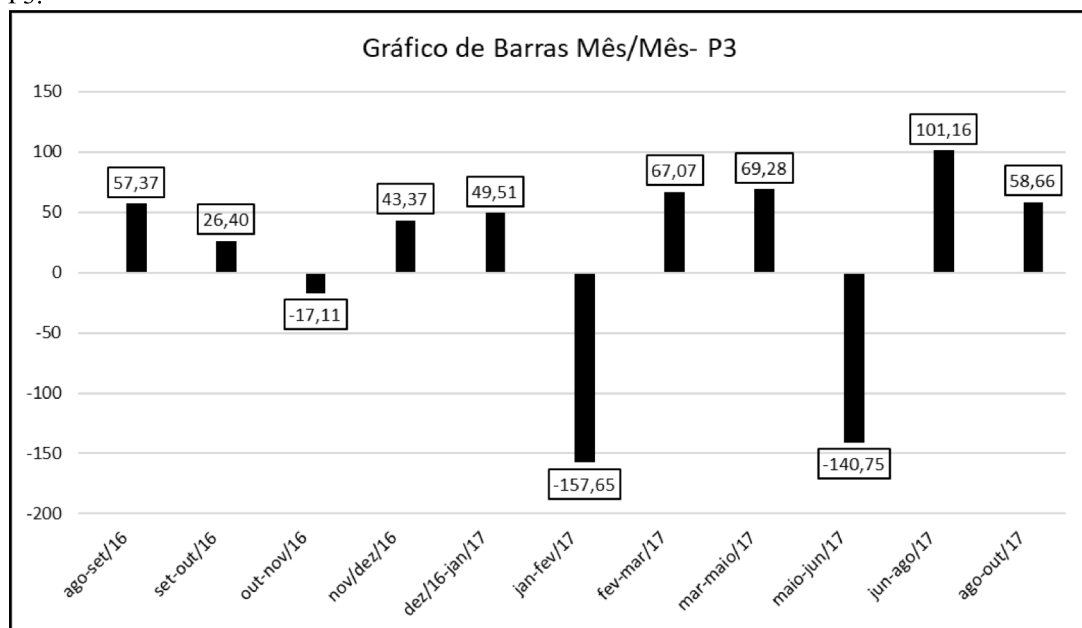


Figura 36- Balanço sedimentar da variação de volume em m³/m, de cada mês relacionado ao mês anterior no perfil P3.



O volume máximo acrescivo foi de 472,81 m³/m e o máximo erosivo de -315,52 m³/m, resultando em um balanço sedimentar total líquido dos anos de 2016 e 2017 do perfil P3, de 157,29 m³/m, ou seja, foi positiva com uma média de 14,30 m³/m e um desvio padrão de 86,02 m³/m. O volume máximo do período seco foi de 243,59 m³/m e o máximo do período chuvoso de -69,18 m³/m, então é possível afirmar que na média de todo o perfil P3, nos períodos secos teve acreção e no chuvoso houve erosão (Tabela 3).

Tabela 3- Dados de desvio padrão, média, saldo de balanço sedimentar e períodos seco e chuvoso do P3.

Desvio Padrão	86,02 m ³ /m
Média	14,30 m ³ /m
Volume máximo Acrescivo	472,81 m ³ /m
Volume máximo Erosivo	-315,52 m ³ /m
Balanço Sedimentar	157,29 m ³ /m
Volume máximo Período Seco	243,59 m ³ /m
Volume máximo Período Chuvoso	-69,18 m ³ /m

3.1.3.1 Parâmetros morfodinâmicos

Para calcular os parâmetros morfodinâmicos foram utilizados apenas dados da região onde foi executado o perfil topográfico P3. O Parâmetro adimensional ômega (Ω) de Dean (1973) resultou nos seguintes resultados para a Praia da Ponta da Areia:

Hs maré alta= 1,1 m; Hs maré baixa= 0,4 m;

Ws= 3 cm/s – 0,03 m/s;

T= 6 segundos.

Substituindo na formula Ω :

Ω maré alta = 6,11 | Ω maré baixa = 2,22

Como o esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia é dominado por um regime de macro maré, calculou-se o Parâmetro de Variação Relativa de maré (RTR):

Dados Praia da Ponta da Areia:

TR= 5,8 m;

Hs maré alta = 1,1 m; Hs maré baixa= 0,4 m;

Substituindo na formula RTR:

RTR maré alta = 5,27 | RTR maré baixa = 14,5

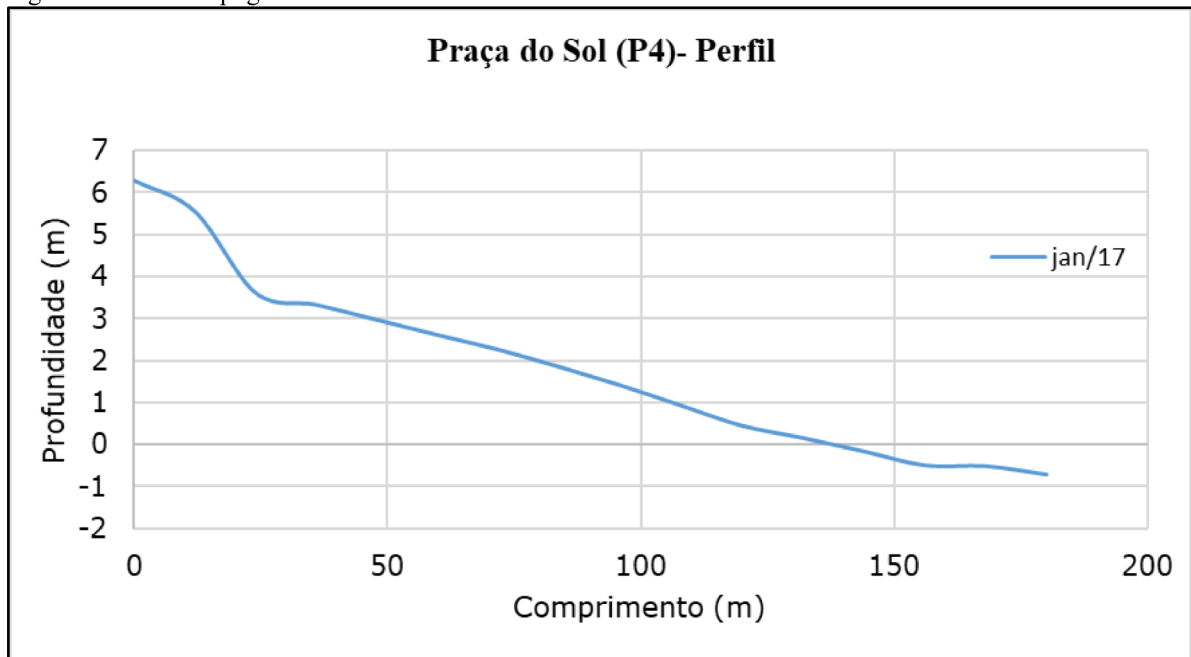
3.1.4 Perfil Topográfico P4

O perfil topográfico P4 é um perfil a montante do espigão (Figura 21), onde se inicia em cima da calçada e segue transversal a linha de costa, na região com menor faixa de areia, a parte mais erosiva do esporão da Ponta da Areia. Foi avaliado apenas no mês de janeiro de 2017, para correlação topográfica da região aonde foi executada o furo SV1 e teve uma extensão de 180 m (Figura 37 e 38).

Figura 37- Marco do início do perfil 4 (a) e local do perfil 4 na praia (b).



Figura 38- Perfil Topográfico P4.

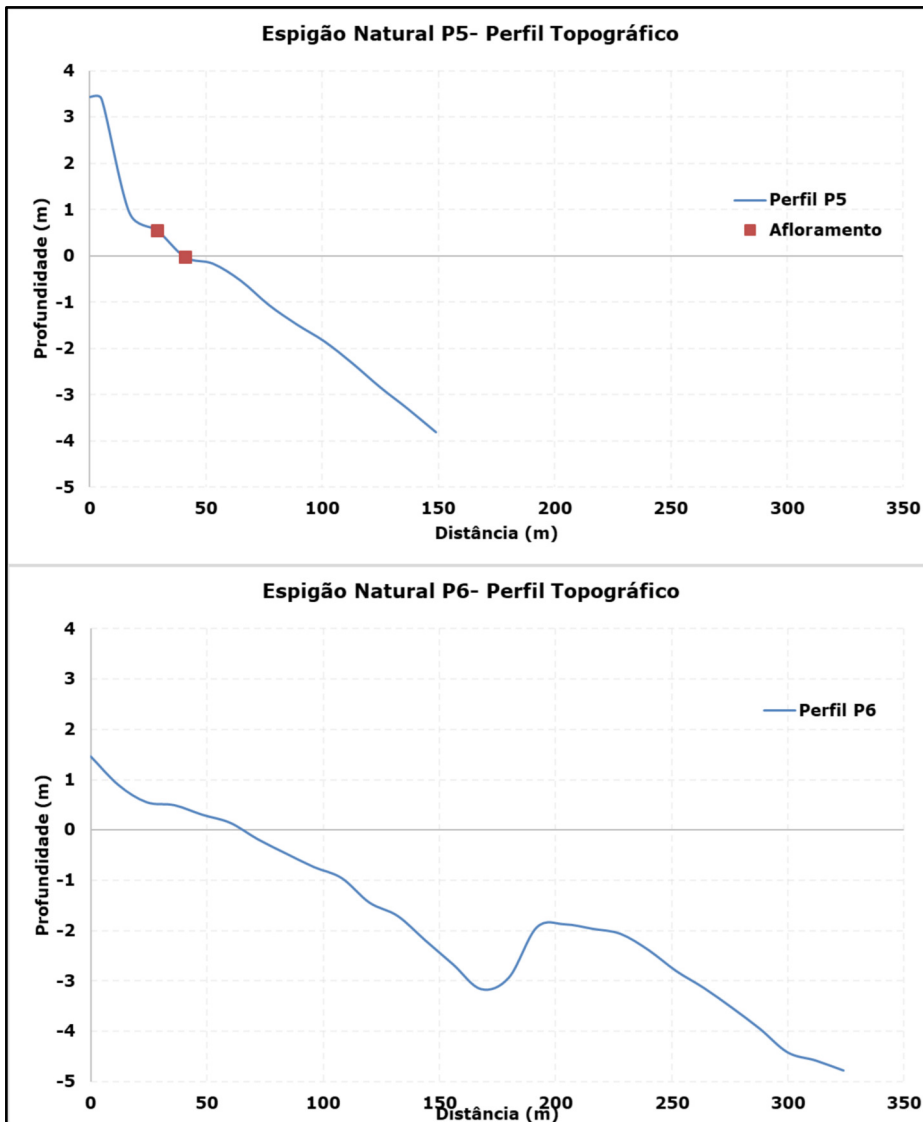


3.1.5 Perfis Topográficos P5 e P6

Os perfis topográficos P5 e P6 foram feitos próximos ao espigão natural (afloramento de rochas) (Figura 21), em abril de 2017, com o intuito de investigar se este afloramento desempenha uma função similar à de um espigão, ou seja, erosão na zona de sombra do espigão e acreção na região contrária ao transporte de sedimentos. O perfil 5 foi realizado na zona de sombra do espigão natural, ao lado esquerdo, no setor com menor faixa de areia, medindo 149 m. O perfil é íngreme até o comprimento de 15 m devido ao enrocamento presente no local, depois no intervalo de 20 até 60 m foi observado a presença de afloramentos, com maior predominância nas distâncias de 29 e 41 m. Já o restante do perfil mostrou um leve declínio até 149 m (Figura 39).

Já o perfil P6 está localizado ao lado direito do espigão natural, no setor com maior faixa de areia desta região (onde ocorre a deposição de sedimentos), medindo 324 m. Ao longo deste perfil não se observou a presença de afloramentos rochosos, porém o perfil também iniciou em declínio constante até a distância de 180 m, que a partir deste ponto houve uma elevação brusca de aproximadamente 1 metro de altura e depois continuou em declínio no intervalo de 200 até 324 m (Figura 39).

Figura 39- Perfil Topográfico P5 e P6 realizados em abril de 2017. Os pontos em vermelho indicam afloramentos

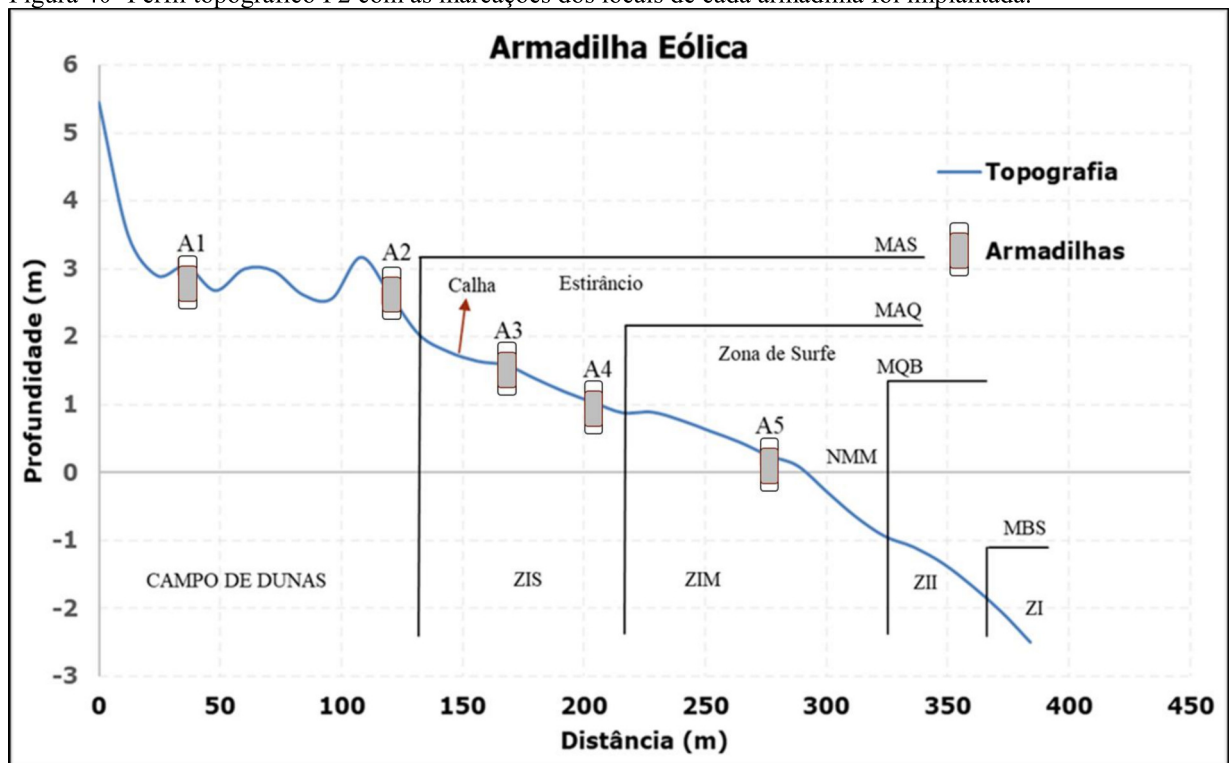


3.2 Dinâmica dos sedimentos

3.2.1 Transporte Eólico

O experimento eólico foi realizado em outubro de 2016, com expedições de campo para reconhecimento da área de estudo, onde se definiu cinco pontos lineares (alinhados), paralelos ao espigão e perpendiculares à linha de costa, para implantar as armadilhas de sedimentos, a montante do espigão onde a praia e o campo de dunas são mais largos, pois é exatamente a região em que os sedimentos são transportados pelo vento formando dunas que ultrapassam (*by-pass*) o espigão (Figura 40).

Figura 40- Perfil topográfico P2 com as marcações dos locais de cada armadilha foi implantada.



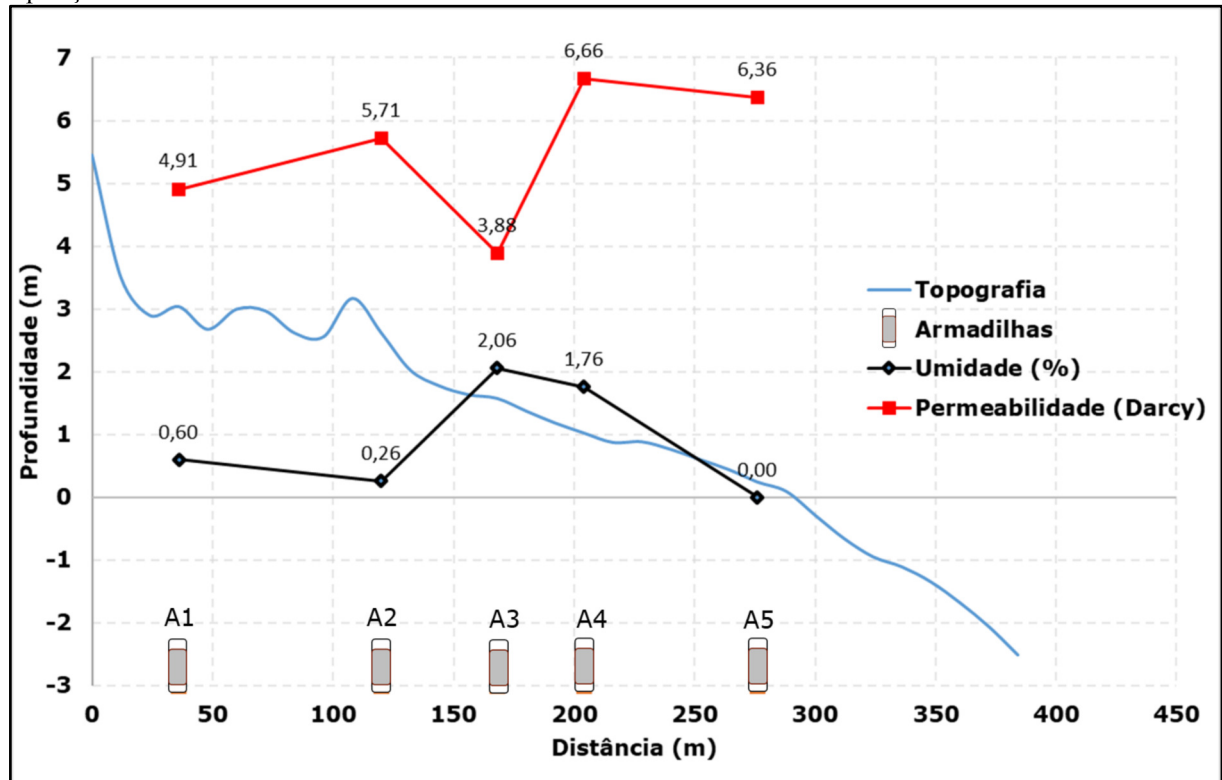
Os pontos escolhidos para as armadilhas 1, 2, 3, 4 e 5 ficaram distantes 84, 41, 36 e 72 m entre si, respectivamente. As armadilhas 1 e 2 foram instaladas na zona do campo de dunas, a A1 ficou localizada sobre dunas parabólicas/transgressivas que um dia foram antigas dunas frontais, aproximadamente a 36 m do início do perfil, já a armadilha A2 coletou sedimentos na base da duna frontal, a 120 m do início do perfil. A armadilha A3 e A4 foram posicionadas na região do estirâncio, em aproximadamente 168 m. Já as armadilha A5 foi implantada em regiões mais úmidas, na zona de intermaré superior e média (entre o estirâncio e a zona de surfe), em aproximadamente 204 e 276 m, respectivamente (Figura 40). Junto do experimento de transporte foi medida a velocidade média do vento (durante o tempo do experimento) e a direção obtendo os valores de 14,4 km/h e 10°, respectivamente.

A tabela 4 e a Figura 41 apresentam os resultados do experimento de transporte eólico, obtendo a quantidade de sedimentos acumulados em cada armadilha (Peso Úmido) em um período de 15 minutos. Depois levado à laboratório e colocado na estufa a 50° C, para obter o valor do peso seco e da umidade (%). Na mesma tabela, também apresenta os resultados da permeabilidade (Darcy) que foram medidos com o permeômetro na posição de cada armadilha eólica implantada.

Tabela 4- Dados coletados no experimento eólico de cada armadilha com a permeabilidade.

Experimento Eólico (28/10/2016)				
Armadilha	Peso Umido (g)	Peso Seco (g)	Umidade (%)	Permeabilidade (Darcy)
1	31,254	31,065	0,60	4,91
2	113,091	112,793	0,26	5,71
3	178,285	174,612	2,06	3,88
4	308,36	302,923	1,76	6,66
5	0	0	0,00	6,36

Figura 41- Gráfico com o perfil topográfico da região, valores de permeabilidade (Darcy) e umidade (%) alinhados a posição de cada armadilha.



Os dados de umidade encontrados são proporcionais aos ambientes deposicionais onde, sobre as dunas a umidade se reduz elevando o transporte (Figura 41). A permeabilidade (Figura 41) exibe uma correlação com o parâmetro de seleção (Tabela 6). Isto resulta do empacotamento dos grãos no momento de sua deposição. No entanto os valores máximos de permeabilidade foram relacionados à face praial onde os sedimentos são de granulometria maior. Apesar disto não se descarta a possibilidade destes dados estarem relacionados a saturação d'água nas areias do estirâncio.

A Tabela 5 apresenta os resultados de transporte eólico estimados para cada setor do campo de dunas. O peso dos sedimentos retidos nos coletores por um período de 15 minutos fora multiplicado pela a área de intervalo entre as armadilhas, resultando numa área linear em metros quadrados, indicando um total de 7 kg/metro/hora.

Tabela 5- Estimativa e área do transporte eólico.

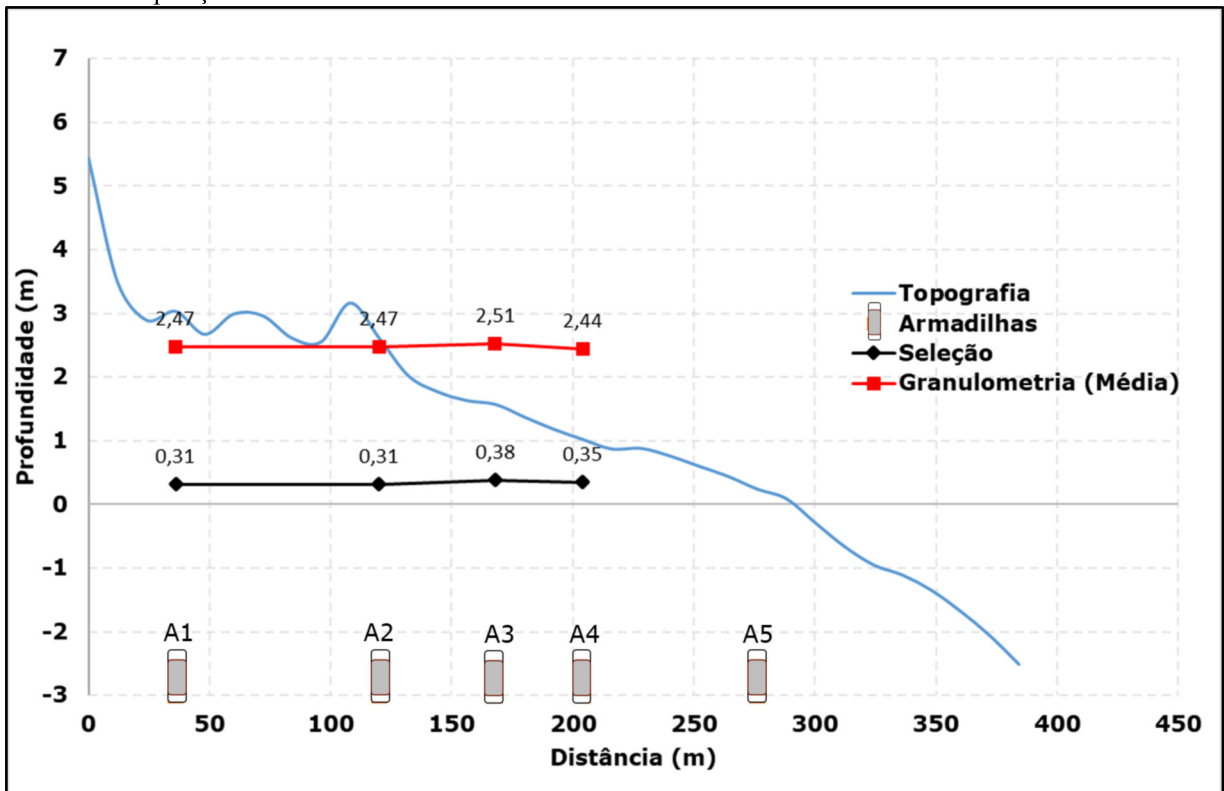
Estimativa de transporte eólico			
Armadilha	Dimensão (metros)	Dimensão (m ²)	Peso seco (Kg/15minutos)
1	84	39,06	43,491
2	62,5	29,0625	117,4927
3	38,5	17,9025	112,0427
4	54	25,11	272,6307
5	72	33,48	0

A tabela 6 e a Figura 42 representam a classificação verbal das análises granulométricas realizadas nos sedimentos retidos nas armadilhas A1, A2, A3 e A4 com a média e mediana, já a classificação dos grãos predominou a areia fina em todas as quatro armadilhas, a seleção das armadilhas A1, A2 e A4 são muito bem selecionadas e armadilha 3 é bem selecionada, a assimetria de A2, A3 e A4 é positiva e a de A1 é aproximadamente simétrica e a curtose é platicúrtica em todas as armadilhas. Já a armadilha A5 não houve transporte e consequentemente também não teve amostra para análise.

Tabela 6- Classificação verbal dos sedimentos coletados pelas armadilhas eólicas verticais.

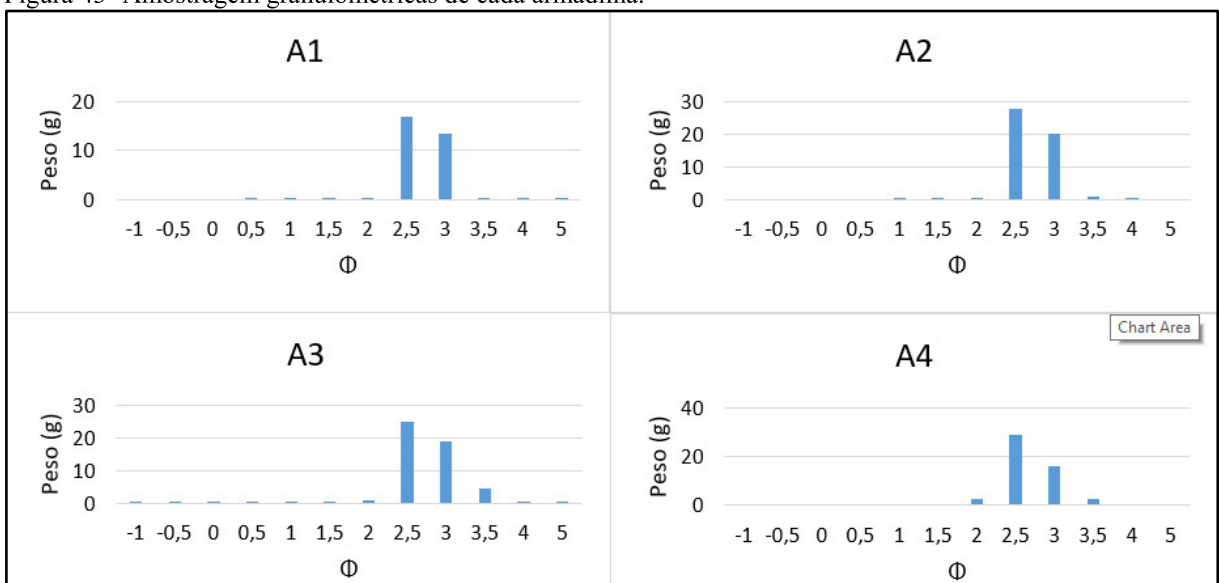
Armadilha	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose
A1	2,471	Areia fina	2,449	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Platicúrtica
A2	2,467	Areia fina	2,437	Muito bem selecionado	Positiva	Platicúrtica
A3	2,514	Areia fina	2,481	Bem selecionado	Positiva	Platicúrtica
A4	2,436	Areia fina	2,386	Muito bem selecionado	Positiva	Platicúrtica

Figura 42- Gráfico com o perfil topográfico da região, valores de média e seleção dos grãos coletados por cada armadilha e a posição de cada armadilha.



A figura 43 expõe os histogramas das amostragens granulométricas das armadilhas A1, A2, A3 e A4, que apresentou a predominância do tamanho dos grãos na escala Φ entre 2 e 3,5.

Figura 43- Amostragem granulométricas de cada armadilha.



3.2.2 Transporte por deriva litorânea (*longshore currents*)

O levantamento de campo realizado na Praia da Ponta da Areia em abril de 2017, teve o propósito de entender como as diversas condições hidrodinâmicas afetam o transporte de sedimentos pela deriva litorânea. Foram realizados experimentos em duas etapas de coleta que representaram condições de maré alta e baixa, que serão relatados a seguir. Esses dados referentes às condições hidrodinâmicas, serão apresentados em tempo de permanência da armadilha na zona de surfe; velocidade de corrente longitudinal e estimativa de transporte de sedimentos. É importante ressaltar que neste mesmo dia de experimentos foram coletados os dados para cálculo dos parâmetros morfodinâmicos (altura e período de onda).

O experimento de deriva litorânea foi executado na maré alta e baixa de sizígia, os dados destas duas coletas foram obtidos em condições de maré alta (das 8h às 10h) e em condições de maré baixa (das 15h às 17h). Na maré alta as condições do mar estavam bastante agitadas, com ondas de até 1,10 m de altura e uma velocidade de corrente de 1,93 m/s, resultando em um transporte de sedimentos estimado em 266,6 kg/m² em um dia. Já na maré baixa as condições estavam calmas, com ondas de 40 cm e uma velocidade de corrente irrisória, resultando em um transporte de sedimentos de aproximadamente 25,8 kg/m² em um dia (Tabela 7).

Tabela 7- Dados de corrente de deriva, altura de onda e transporte de sedimentos.

DERIVA LITORÂNEA			
Dados	Maré Alta	Maré Baixa	Und
Velocidade de Corrente	1,93	0	m/s
Altura Significativa de onda (Hs)	1,1	0,4	m
Transporte de sedimentos	266,6	25,8	kg/m ² .dia

A tabela 8 apresenta a quantidade de sedimentos coletados em cada coletor do trapeador portátil, em um período de 15 minutos. Na maré baixa obteve-se um peso total de 69,66 gramas e na maré alta um total de 711,47 gramas. Os coletores 7 e 8 foram os que coletaram mais sedimentos, no experimento com maré baixa, obteve 20,93 e 33,88 gramas e na maré alta 121,39 e 149,09 gramas, respectivamente.

Os sedimentos coletados na maré baixa são constituídos de areia muito fina, bem selecionadas, com uma média de grãos entre 3,2 a 3,5 e uma mediana de 3,26 a 3,56. É possível observar que tanto a média quanto a mediana diminui diretamente proporcional com a

proximidade do fundo. A assimetria nos coletores 1, 2 e 3 foram negativa e o restante dos coletores foram aproximadamente simétricas (Tabela 9 e Figura 44).

Tabela 8- Quantidade de sedimentos em cada coletor.

Quantidade de sedimentos coletados por deriva		
Armadilhas	Peso (gramas)	
	Maré Baixa	Maré Alta
1	2,32	58,05
2	1,99	75,95
3	1,16	65,02
4	1,55	61,64
5	2,01	77,58
6	5,81	102,75
7	20,93	121,39
8	33,88	149,09
TOTAL	69,66	711,47

Tabela 9- Classificação verbal dos sedimentos coletados na maré baixa.

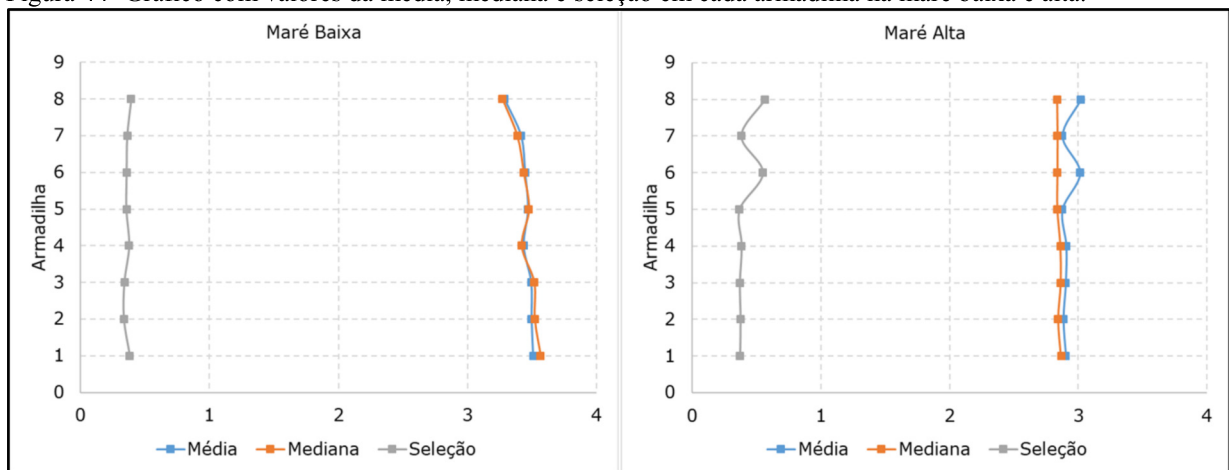
MARÉ BAIXA							
Armadilha	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose	
1	3,508	Areia muito fina	3,565	Bem selecionado	Muito negativa	Mesocúrtica	
2	3,496	Areia muito fina	3,519	Muito bem selecionado	Negativa	Platicúrtica	
3	3,493	Areia muito fina	3,515	Muito bem selecionado	Negativa	Platicúrtica	
4	3,434	Areia muito fina	3,418	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
5	3,468	Areia muito fina	3,474	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Platicúrtica	
6	3,445	Areia muito fina	3,433	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Platicúrtica	
7	3,414	Areia muito fina	3,384	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
8	3,285	Areia muito fina	3,269	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito leptocúrtica	

Já os sedimentos coletados na maré alta, são constituídos de areia fina a muito fina e bem selecionadas a moderadamente selecionadas, ou seja menos seletiva que na maré baixa, com uma média de grãos entre 2,87 a 3,01 e uma mediana com pouca variação, de 2,83 a 2,84. Os sedimentos são praticamente aproximadamente simétricos com resultados muito positivo nos coletores 6 e 8 (Tabela 10 e Figura 44).

Tabela 10- Classificação verbal dos sedimentos coletados na maré alta

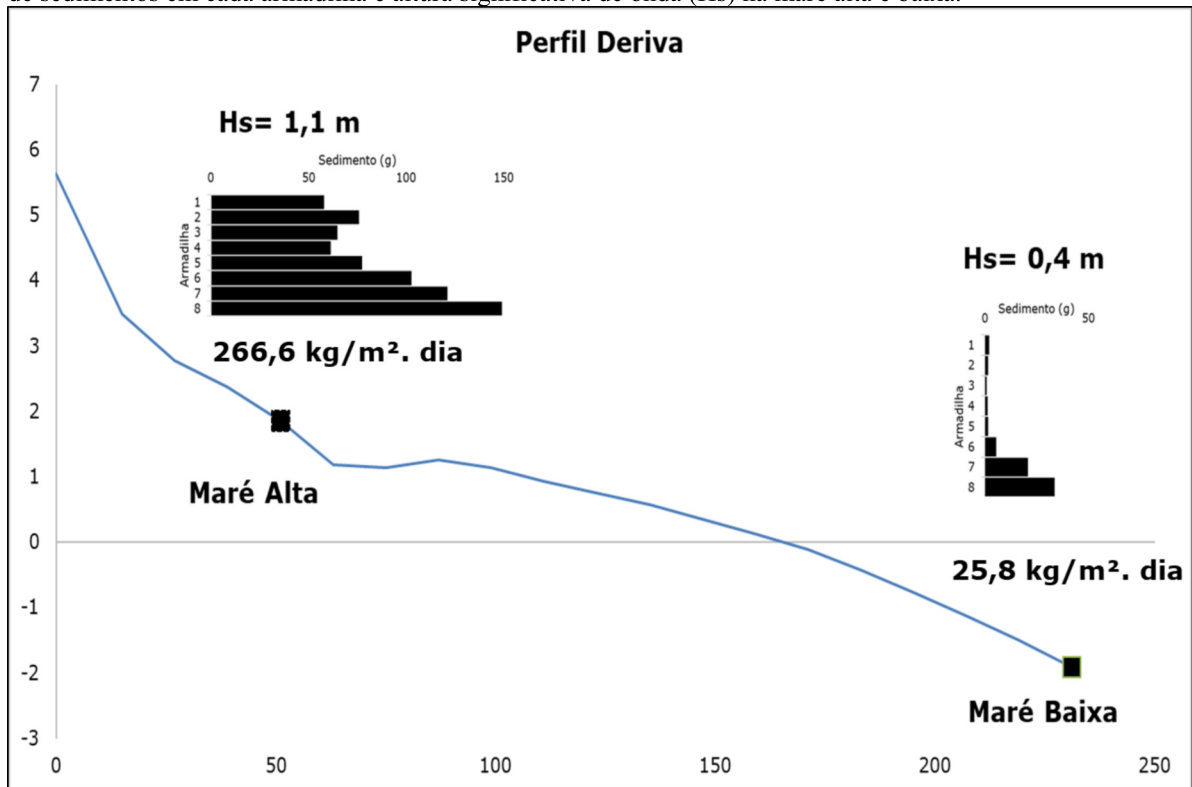
MARÉ ALTA							
Armadilha	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose	
1	2,902	Areia fina	2,866	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
2	2,883	Areia fina	2,843	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
3	2,901	Areia fina	2,865	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
4	2,905	Areia fina	2,862	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
5	2,876	Areia fina	2,836	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
6	3,011	Areia muito fina	2,837	Moderadamente selecionado	Muito positiva	Platicúrtica	
7	2,876	Areia fina	2,838	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica	
8	3,019	Areia muito fina	2,834	Moderadamente selecionado	Muito positiva	Platicúrtica	

Figura 44- Gráfico com valores da média, mediana e seleção em cada armadilha na maré baixa e alta.



A figura 45 apresenta o perfil topográfico da praia com dois pontos pretos demarcando o local em que foi realizado o experimento na maré alta e baixa. O gráfico de barras representa a quantidade de sedimentos em cada coletor, na ordem crescente de 1 a 8 respectivamente, já em cima do gráfico tem a altura significativa de onda e em baixo a quantidade de sedimentos transportados por dia. É possível observar que o transporte é maior no fundo, pois de acordo com o gráfico de barras, as maiores quantidades de sedimentos foram nos coletores de baixo, tanto na maré alta quanto na baixa.

Figura 45- Gráfico representativo do perfil topográfico da região os resultados de transporte estimados, quantidade de sedimentos em cada armadilha e altura significativa de onda (Hs) na maré alta e baixa.



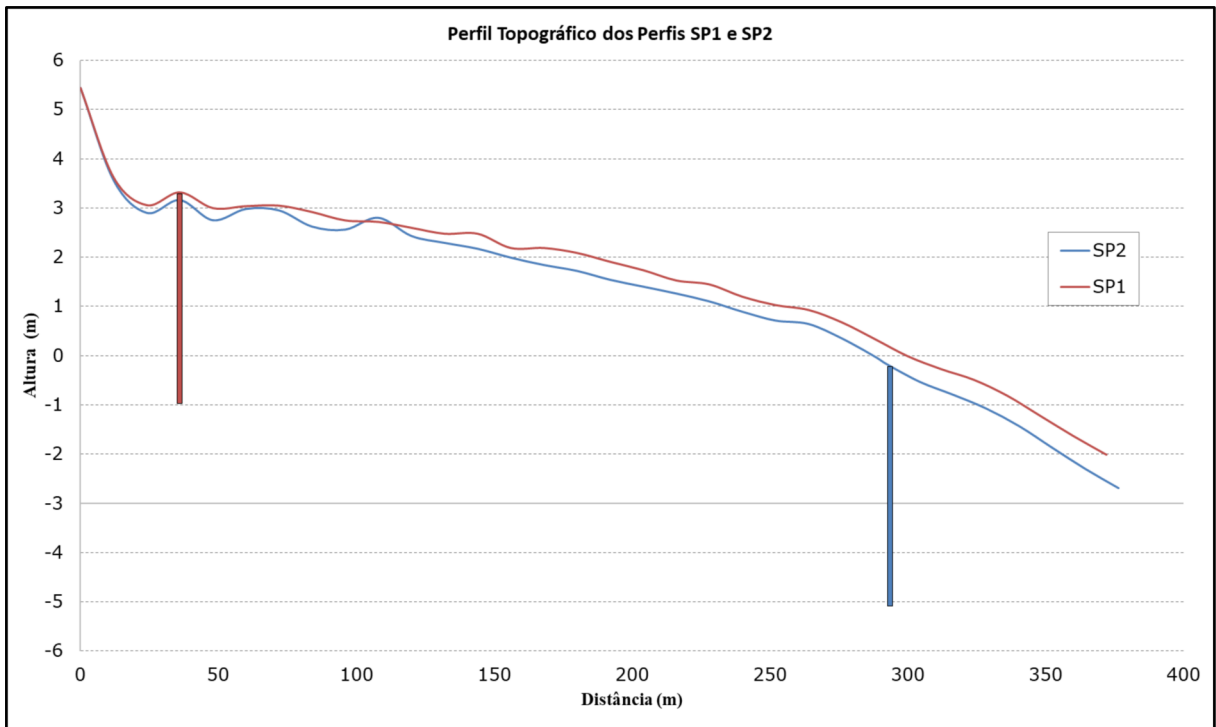
3.3 Estratigrafia

A execução das sondagens foi realizada buscando-se uma melhor caracterização da geomorfologia do sistema de barreiras costeiras ao longo do esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia.

3.3.1 Sondagem SP1

A sondagem SP1 foi executada segundo a técnica de percussão. Esta sondagem foi realizada na base do espigão da Ponta da Areia, sobre o sistema eólico especificamente sobre dunas frontais (Figura 47), há 39 m do início do perfil topográfico P2 (Figura 2) e com sua base na cota -0,87 m em relação ao NRM (Nível Relativo do Mar), obtendo um registro sedimentar de 4,20 m. Quanto à amostragem granulométrica, foram analisadas quarenta e oito amostras. O perfil topográfico sobre este setor costeiro e a localização da sondagem SP1 pode ser visto nas figuras 46 e 47.

Figura 46- Perfil topográfico posicionando a sondagem a percussão SP1 e SP2 com relação ao NR da Praia da Ponta da Areia.



Em relação a análise granulométrica, verificou-se a predominância de areia fina com algumas exceções nas profundidades de 2,62 e 2,72 m, onde ocorreu areia muito fina e na profundidade de 0,50 m, apresentando areia média. Os valores médios dos grãos estiveram entre o intervalo de $1,97 \Phi$ e $3,11 \Phi$ (Apêndice 1) que está representado na figura 49.

Em toda seção estratigráfica os sedimentos apresentaram uma classificação variada entre moderadamente selecionado e bem selecionado, com algumas exceções apresentando uma classificação pobremente selecionada. Os valores de assimetria, variaram de -0,44 a 0,49, com 35,41% das amostras aproximadamente simétricas. Já em relação aos valores de curtose, 33,33% das amostras apresentam sedimentos platicúrticos (Apêndice 1).

Figura 47- Região sobre uma planície de deflação, atrás das dunas frontais onde foi executada a sondagem SP1.



Na base do registro sedimentar desta sondagem encontra-se a fácies PASR (Praia/Antepraia Superior Retrogradacional) com espessura de 92 cm, que apresentou uma composição de areia fina e cor bege (10YR 6/2) de moderadamente a bem selecionado. Na profundidade 0,92 m apresentou uma cor bege (10Y 6/2) e na profundidade 0,82 m apresentou uma cor bege (5GY 5/2). A base desta fácies apresentou deposições do sistema praiar retrogradacional com grandes quantidades de minerais pesados, resultados do retrabalhamento das fácies basais e refletindo os processos erosivos que ocorriam antes da construção do espigão. Ainda na base do testemunho, é possível observar fragmentos de rochas ígneas ou resíduos de construção civil. Este horizonte limita a fácies PASR e a PASP indicando a presença de uma superfície de ravinamento (SR) (Figura 50).

As análises conchiliológicas foram realizadas em 23 níveis da sondagem SP-1. Na fácies PASR foram amostrados os níveis nas profundidades de 1,62 a 1,72 m, (Apêndice 1), onde ocorrem fragmentos de conchas não identificáveis, com peso total de 1,49 g. Os demais

níveis apresentam dominância das famílias *Arcidae* sp. e *Columbellidae* sp. Seguindo das famílias *Fascioliidae* sp., *Vitrinellidae* sp., *Skeneidae* sp., *Escarphopia* sp., *Olividae* sp., *Veneridae* sp. *Litorinidae* sp., *Terebridae* sp., sub-Família *Ermarginulinae*. e gênero *Neoteredo* sp. A amostra a 1,82 m foi a que apresentou maior famílias identificadas num total de 5 sendo elas *Escarphopia* sp., *Olividae* sp., *Veneridae* sp. *Litorinidae* sp. e *columbellidae* sp. No nível 1,02 a 1,52 m, se diferenciam dos níveis anteriores pela presença de 4 novas famílias: *Gaimmariidae* sp. (1,42 m), *Ostreidae* sp. (1,12 – 1,22 m), *Epiitoniidae* sp. (1,06 – 1,12 m), *Rissoidae* sp. (1,02 – 1,06 m). Nestes níveis as famílias com maior predominância foram a *Arcidae* sp. e *Veneridae* sp. estando passíveis de identificação em 4 níveis. As demais famílias encontradas nestes níveis foram: *Litorinidae* sp., *Olividae* sp., *Terebridae* sp., *Columbellidae* sp. *Fascioliidae* sp. e o gênero *Neoteredo* sp. A amostra de 1,12 - 1,22 m apresentou o maior número de famílias identificadas e juntamente com o nível 1,06 – 1,12 m foram as amostras com maior peso de sedimentos bioclásticos (Figura 48).

Próximo ao limite da SR mas ainda na fácies PASR entre 0,02 – 0,12 m, ocorrem três níveis com grande peso de material bioclástico no entanto sua maioria não é passível de identificação devido ao material encontrar-se amplamente fragmentado e bioturbado. Nestes níveis as únicas conchas identificadas foram uma repetição das famílias encontradas anteriormente sendo o gênero *neoteredo* sp. e a família *Veneridae* os de maior predominância. Nestes níveis foram também identificadas as famílias *Arcidae* sp., e *Rissoidae* sp.

Logo acima da SR encontra-se a fácies PASP (Praia/Antepraia Superior Progradacional) com uma espessura de 2,90 m, onde observa-se a deposição do sistema praiial progradacional, com sedimentos bem compactados. Variando de areia fina a areia muito fina ($2,3 \Phi$ a $3,1 \Phi$) e de bem selecionado a pobremente selecionado (0,4 a 0,65) com a predominância da cor bege (10YR 6/2), laminações de conchas e minerais pesados, fragmentos vegetais, raízes e sedimentos lateríticos (Figura 49, 50 e Apêndice 1).

Na maior parte desta fácies não foi possível realizar a taxonomia do material bioclástico de nenhuma família, principalmente pelo alto grau de fragmentação das conchas. No entanto as amostras referentes a profundidade de 0,5 – 0,6 m e o nível 1,22 m apresentaram estruturas passíveis de identificação. Tendo no primeiro as famílias *Arcidae* sp. e *Gaimmariidae* sp. e no nível de 1,22 m foi identificado a família *Crassostrea* sp. O peso de conchas com intervalo granulométrico superior a 0,063 mm pode ser observado na figura 48.

Figura 48- Peso em gramas referente aos níveis de conchas do testemunho SP1.

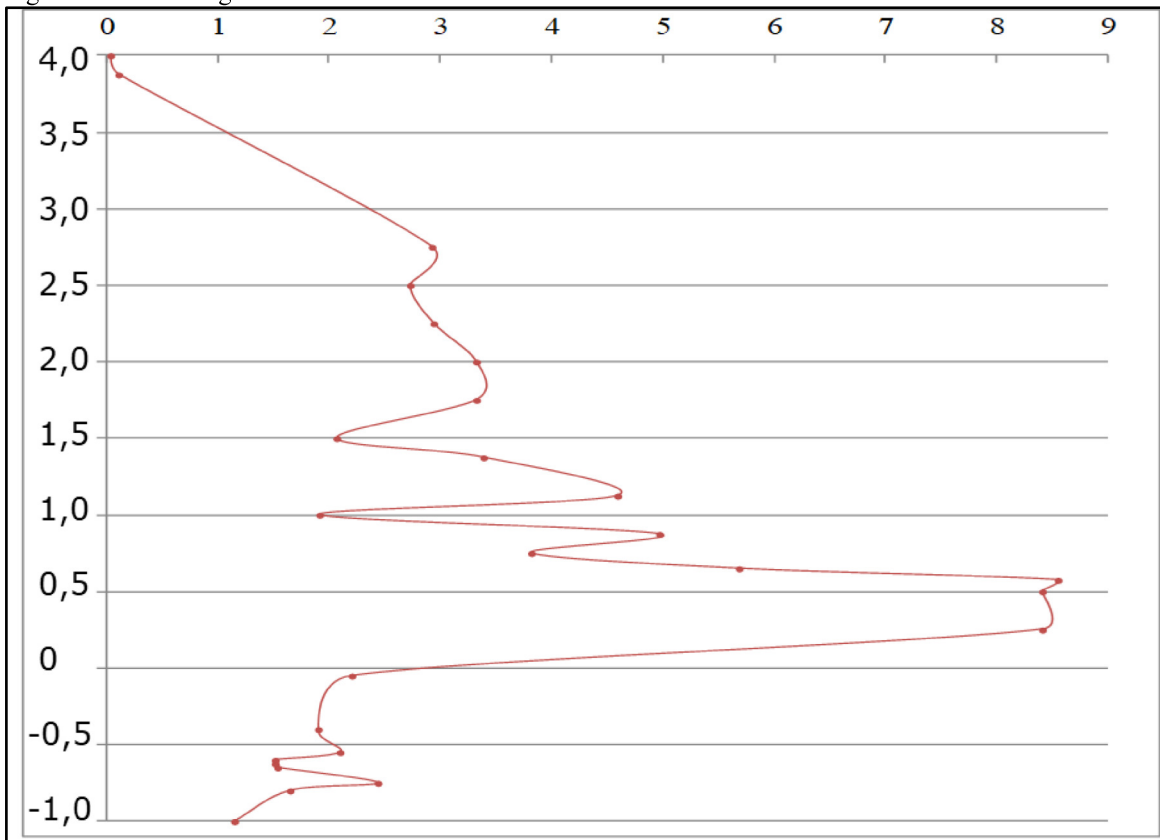
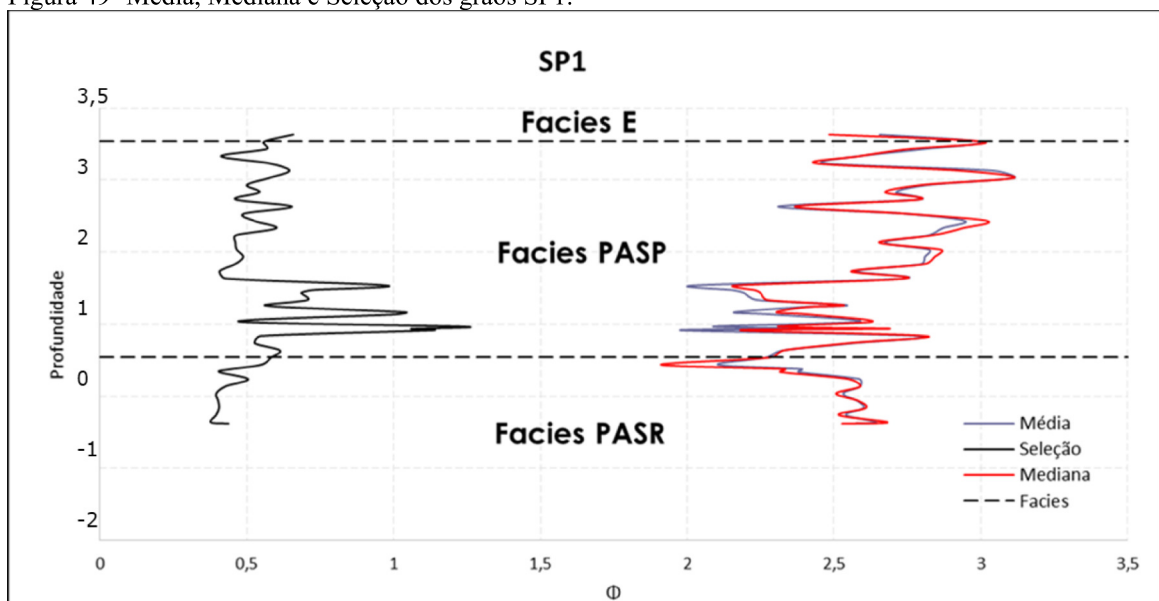


Figura 49- Média, Mediana e Seleção dos grãos SP1.



No topo da sondagem, encontra-se a fácies E (eólica) com 30 centímetros de espessura, seu contato é abrupto com a fácies PASP onde é possível observar uma deposição sedimentar inicial pouco compacta (Figura 50). Apresentou uma composição de areia fina (2,65 Φ e 2,81 Φ), com grãos moderadamente selecionados, com valores entre 0,65 e 0,56, sem

3.3.2 Sondagem SP2

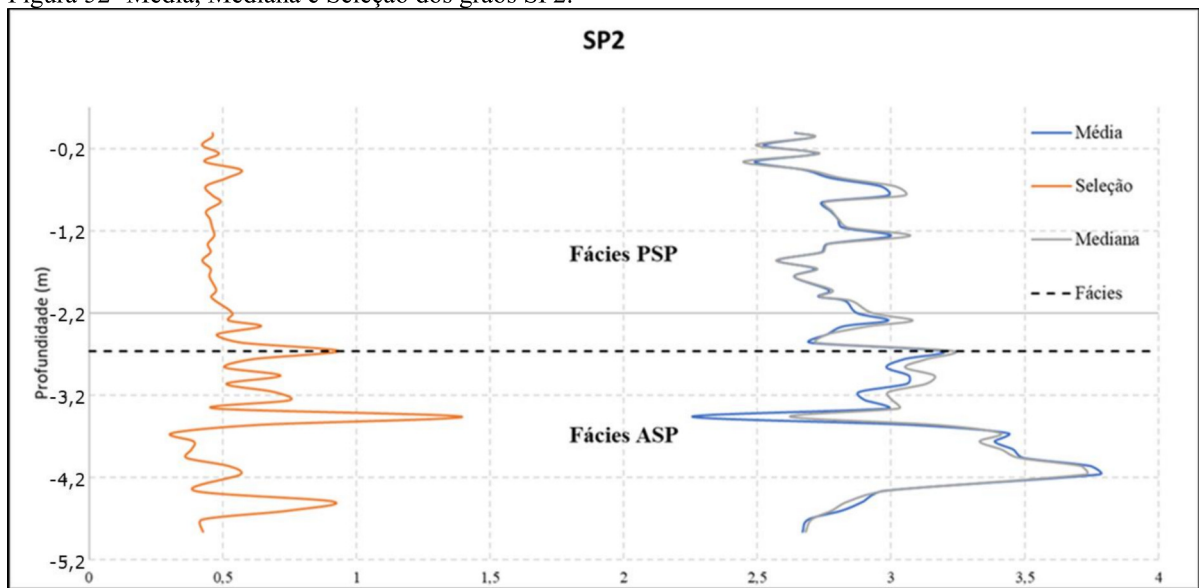
A sondagem SP2 foi realizada próximo a extremidade do espigão da Ponta da Areia, sobre o sistema praial progradacional, há 292 m do início da antiga posição da linha de costa (antes da construção do espigão). O posicionamento na face praial da sondagem SP2 está representada no perfil topográfico P2 (Figura 2 e Figura 51). A sondagem SP2 obteve um registro sedimentar de 4,90 m em sua totalidade e com a base da sondagem há -5,07 m do NRM (IBGE). Foram amostrados 48 pontos ao longo desta sondagem para análise granulométrica.

Figura 51- Localização da Sondagem SP2. Observe o registro recuperado já particionado em duas partes e pronto para o transporte.



A sondagem SP2 assim como a SP1, apresentou a predominância de areia fina de bem selecionada a moderadamente selecionada e em algumas profundidades mais próximas da base do registro sedimentar apresentou areia muito fina. Os valores médios dos grãos estiveram entre o intervalo de $2,25 \Phi$ e $3,78 \Phi$ representados no Apêndice 2 e figura 52.

Figura 52- Média, Mediana e Seleção dos grãos SP2.



Os valores de assimetria, variaram de -0,45 a 0,42, com 37,5% das amostras aproximadamente simétricas. Com relação aos valores de curtose, 54,16% das amostras apresentam sedimentos mesocúrticos (Apêndice 2). Os teores de carbonato e matéria orgânica apresentaram uma variação de 0,98 a 16,2%, e de 0,58 a 23,32% respectivamente (Figuras 53 e 54).

Figura 53- Percentual de carbonato de cálcio nas respectivas fácies sedimentares da Sondagem SP2.

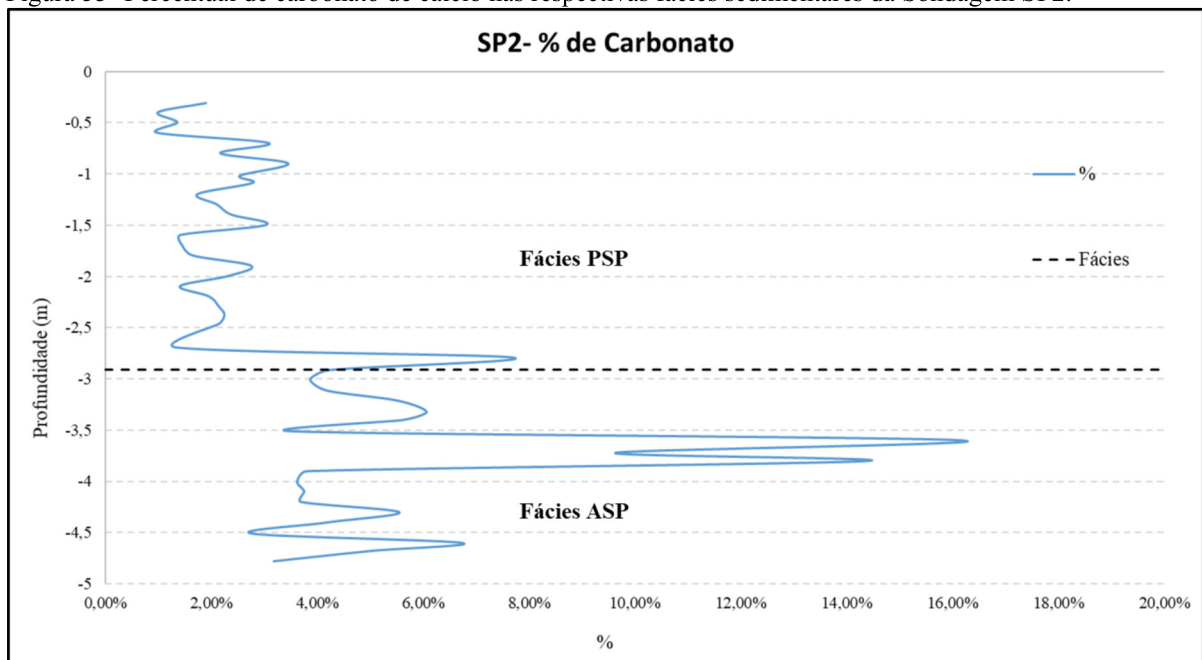
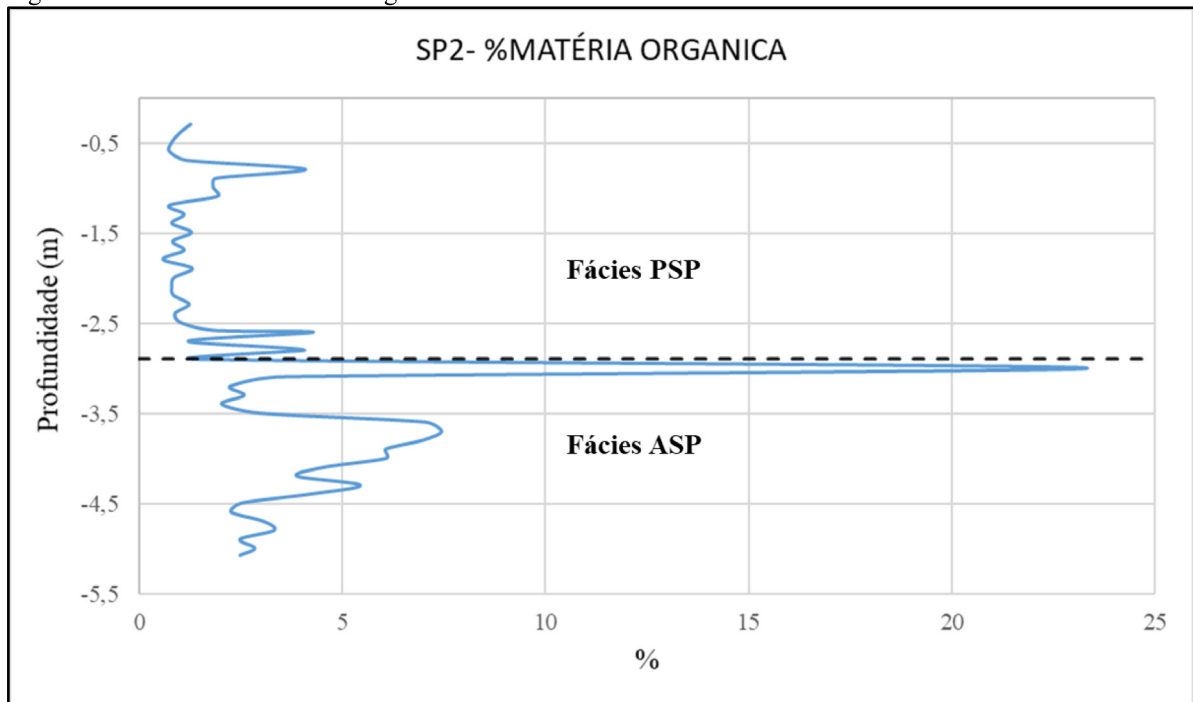


Figura 54- Percentual de matéria orgânica no SP2.



As fácies deposicionais encontradas na sondagem SP2 são basicamente da antepraia superior progradacional (ASP) com 2,2 m de espessura e fácies praias (*foreshore*) progradacional (PSP) com 2,7 m de espessura. As fácies ASP foram identificadas na base do registro sedimentar até a cota -2,87 m em relação ao NRM. No restante do registro sedimentar da sondagem SP2 foi encontrada a fácies PSP, que resulta da progradação de ambientes do *foreshore* e pós-praia devido ao empilhamento dos sedimentos pela deriva litorânea mediante a retenção pelo espigão costeiro (Figura 55).

Perfazendo as profundidades entre -5,74 a -2,87 m identificou-se a fácies ASP, com uma classificação de areia fina a muito fina (2,62 a 3,72 phi) pobremente selecionada a bem selecionada (0,31 a 1,39) e muito compacta. Esta fácies, contém lentes de argilas de 1 a 2mm de espessura que são características de locais com baixa energia de onda ou mesmo locais abaixo da profundidade de fechamento (*sensu* HALLERMEIER, 1981). Estas lentes indicam o término da zona de intermaré inferior ou mesmo o início da zona de inframaré. Esta nomenclatura é correspondente ao limite superior da antepraia inferior com a zona de surfe.

Apesar disto, foi encontrado pontualmente nos intervalos de -4,40 a -4,57 m e -3,87 a -3,77 m, lentes de conchas fragmentadas juntamente com rochas lateríticas de até 0,5 cm de diâmetro (Figura 55).

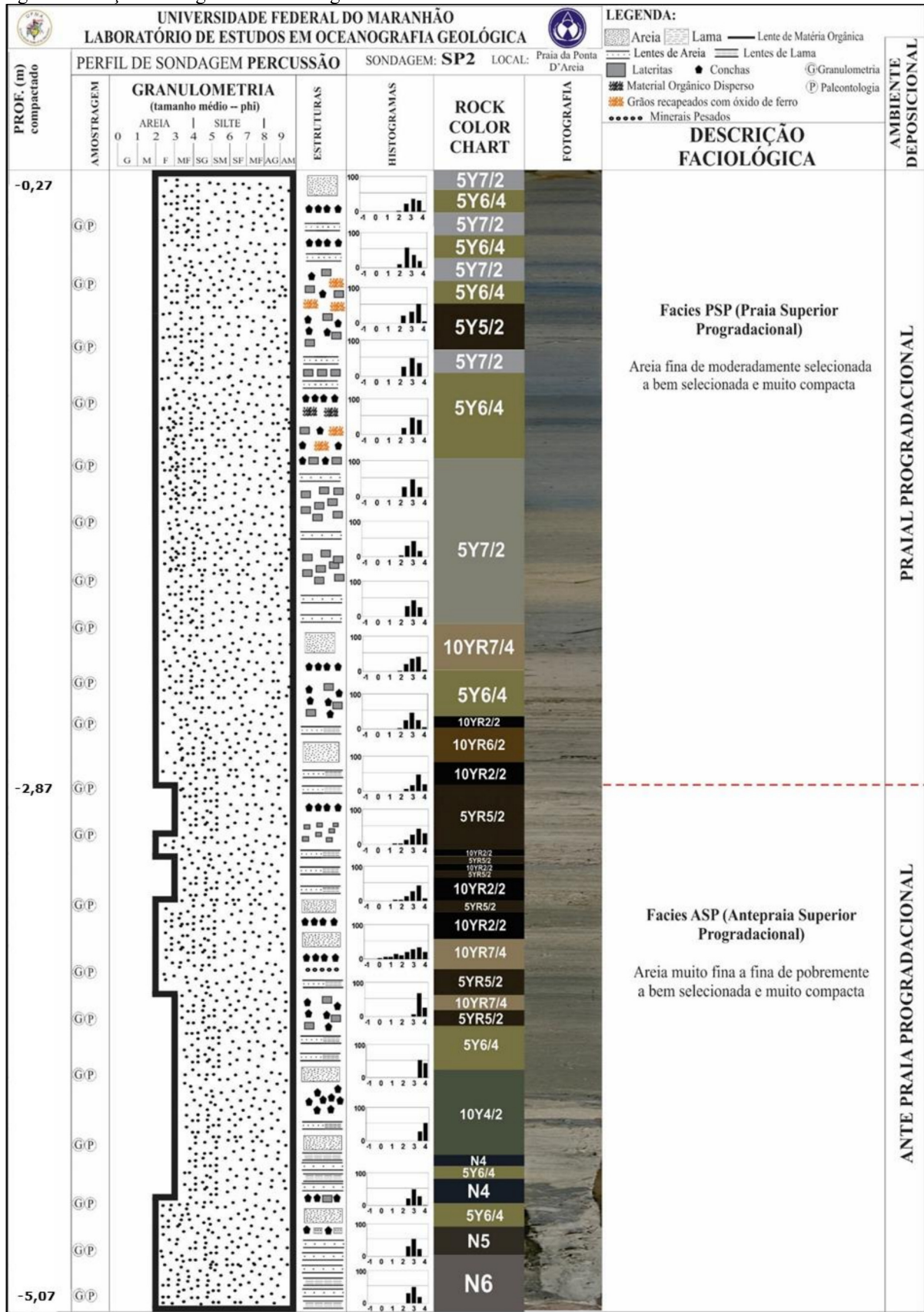
No intervalo de -4,70 a -4,37 m foi encontrada camada arenosa com pontos dispersos de concha e argila, padrão mosqueado. Em -4,57 a -4,37 m apresentou camada

arenosa com concha em -4,47 m e ponto laterítico em -4,37 m, padrão mosqueado. De -4,37 a -3,87 m encontrou-se laminações milimétricas de material areno-argiloso e arenoso com poucas conchas dispersas. De -3,87 a -3,67 m, foi encontrado camada areno-lamosa com laminações arenosas com conchas entre -3,67 a -3,70 m e entre -3,77 e -3,80 m, ambos com material laterítico de 0,5 c e conchas dispersas até o final desta camada. De -3,67 a -3,57 m apresenta areia mais grossa, conchas e minerais pesados; de -3,17 a -3,07 m apresenta lente areno-lamosa; -2,90 a -2,97 m apresenta uma lente circular de material lamoso e pontos milimétricos dispersos de fragmentos de rochas lateríticas.

Da profundidade -2,87 m até o topo do testemunho, ou seja, um pacote sedimentar de 2,60 m foi definida a fácies PSP com laminações plano/paralelas de areia fina (2,1 a 3,1 phi) moderadamente a bem selecionada, coloração acinzentada amarelada (10YR 2\2 até 5Y 5/2) e muito compacta. Disperso nesse intervalo, foi encontrado grandes quantidades de materiais bioclásticos (fragmentos de conchas), rochas lateríticas que indicam um ambiente de alta energia exposto a ação de ondas, além de fragmentos vegetais e grãos oxidados (Apêndice 2 e figura 55).

Na profundidade -2,84 a -2,77 m se encontrou lentes de fragmentos de concha; de -2,77 a -2,57 m foi encontrado areia mais grossa com bolotas de material fino; de -2,57 a -2,50 m apresentou laminações areno-argilosas bem compactadas; de -2,57 a -2,40 m apresentou areia mais escura com fragmentos de conchas, laminações de fragmentos de rochas lateríticas e fragmentos ígneos dispersos; de -2,40 a -2,20 m areia bege clara com conchas inteiras desarticuladas, fragmentos de rochas ígneas e laminações de fragmento de conchas; de -2,20 a -1,47 m apresentou laminações plano-paralelas inferiores a 1cm com fragmentos de rochas lateríticas de até 3mm, dispersos; de -1,47 a -1,35 m laminação escura, com fragmentos de conchas e rochas lateríticas; de -1,35 a -1,27 m laminações plano-paralelas inferiores a 1 cm com fragmentos de conchas e fragmentos de rochas lateríticas dispersas; de -1,35 a -1,06 m camada arenosa com concha e pontos de oxidação; de -1,06 a -0,98 m laminas de 1 cm com concha e rochas lateríticas dispersas, pontos de oxidação e fragmentos vegetais; de -0,87 a -0,67 m laminações de 1 a 4 mm com fragmentos de rochas lateríticas e conchas dispersas e pontos de oxidação, além de camada com material mais escuro na profundidade -0,67; de -0,67 a -0,57 m laminações plano paralelas inferiores a 1 cm; de -0,57 a -0,22 m laminações plano-paralelas inferiores a 1 cm e laminações de conchas (Figura 55).

Figura 55- Seção estratigráfica da sondagem SP2.



3.3.3 Sondagem SV1

A sondagem SV1 foi realizada segundo técnica vibracore, próxima a base do *spit* arenoso da Ponta da Areia, sobre o sistema praial, há 96 m da linha de preamar máxima (perfil topográfico P3) sobre este setor costeiro, obtendo um registro sedimentar de 3,00 m e com sua base há -1,59 m do NRM (Figura 57). Quanto à amostragem granulométrica foram analisadas 14 amostras comportando duas fácies sedimentares. A composição estratigráfica deste testemunho pode ser observada na figura 62 e o perfil topográfico sobre o qual insere-se a sondagem SV1 pode ser visto nas figuras 56 e 57.

Figura 56- Localização da Sondagem SV1.



A sondagem SV1, apresentou distintas texturas sedimentares entre elas: areia fina, silte grosso, silte médio e silte fino compondo uma sequência de duas fácies sedimentares. Os valores médios dos grãos estiveram entre o intervalo de 2,72 Φ e 6,92 Φ e a mediana entre 2,72 Φ e 7,21 Φ , representados no Apêndice 3 e figura 58.

A sequência estratigráfica da sondagem SV1 (Figura 62) apresentou valores de assimetria que variaram num intervalo de -0,48 a 0,56, com 100 % das amostras arenosas aproximadamente simétricas e as amostras lamosas (silte) com variações de muito negativas a muito positivas. Em relação aos valores de curtose, 42,85% das amostras apresentam sedimentos platicúrticos (Apêndice 3). Os teores de carbonato e matéria orgânica obtiveram uma variação de 0,77 a 7,21% e de 0,37 a 11,33% respectivamente (Figuras 59 e 60).

Figura 57- Perfil topográfico posicionando a sondagem a vibracore SV1 com relação ao NR da Praia da Ponta da Areia.

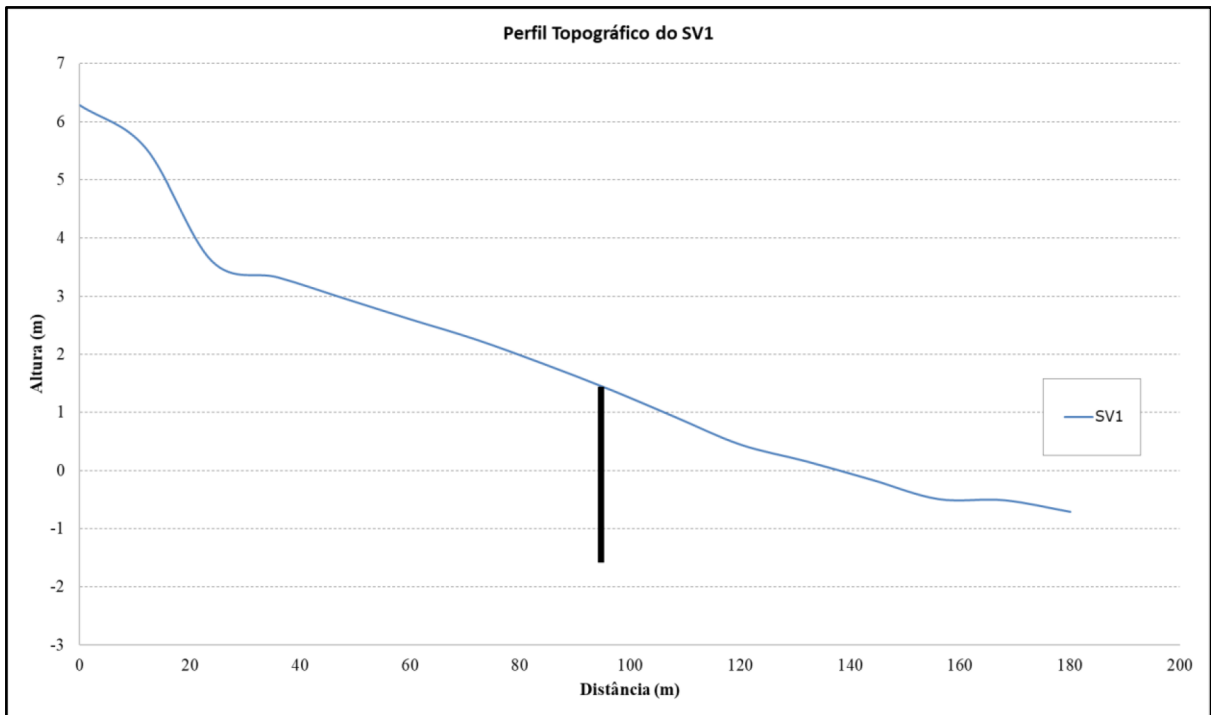


Figura 58- Média, Mediana e Seleção dos grãos SV1.

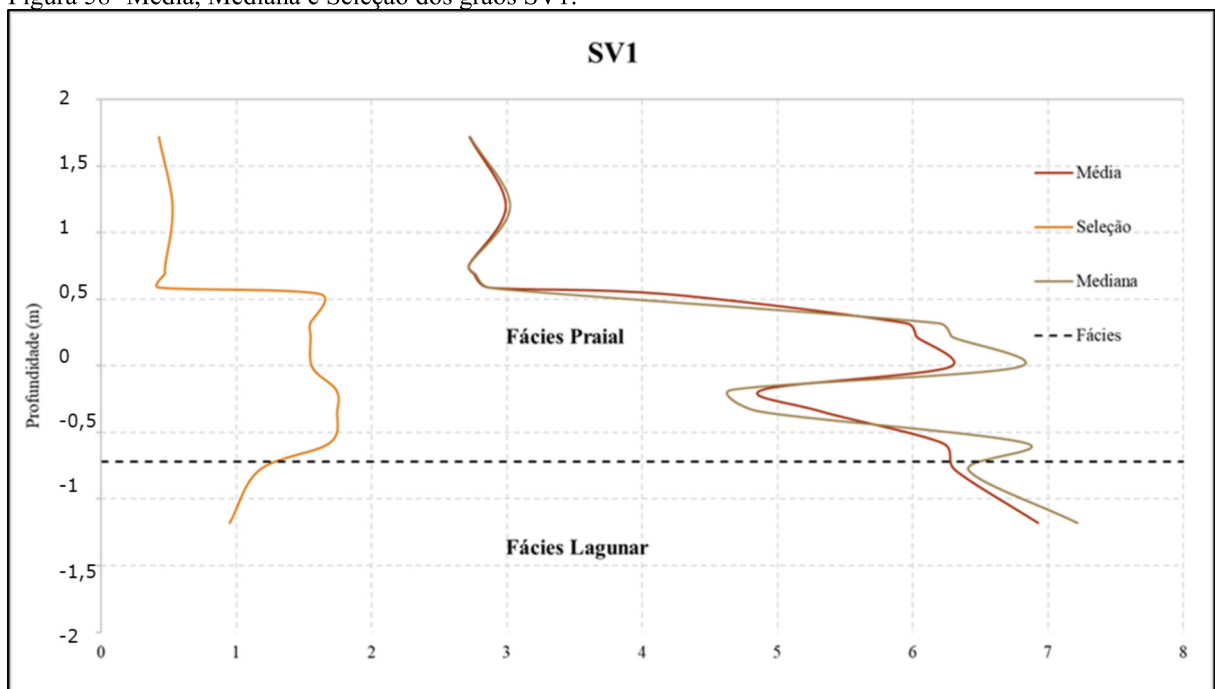


Figura 59- Percentual de carbonato de cálcio no SV1.

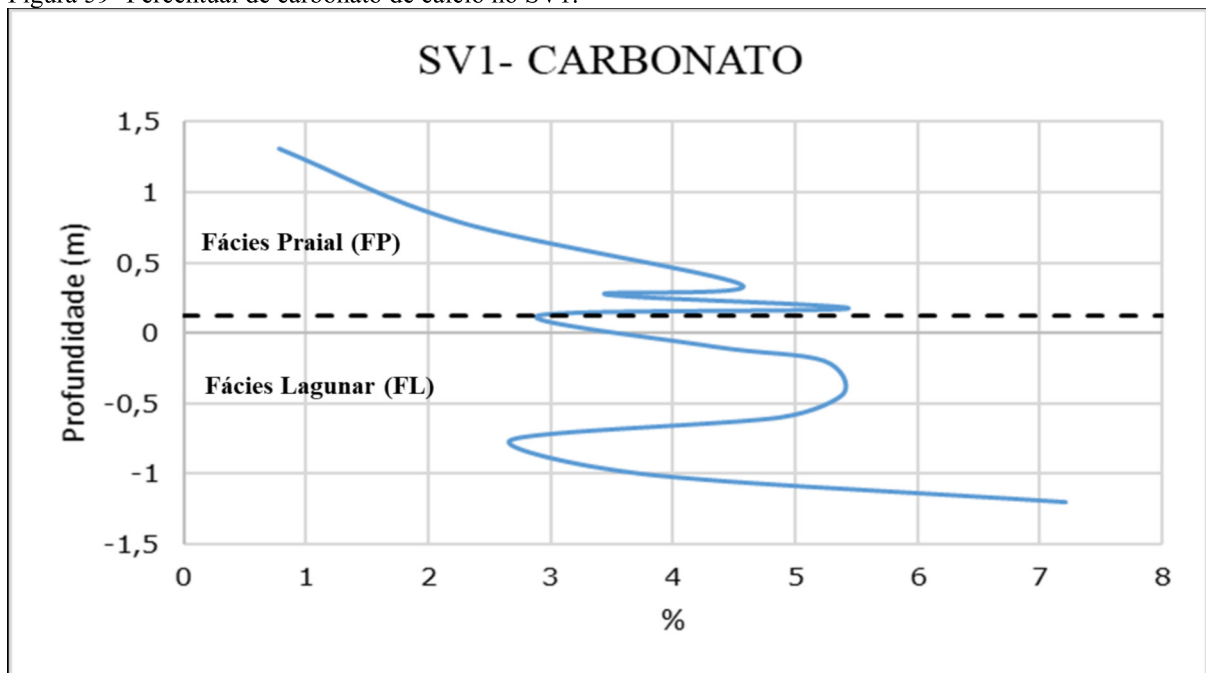
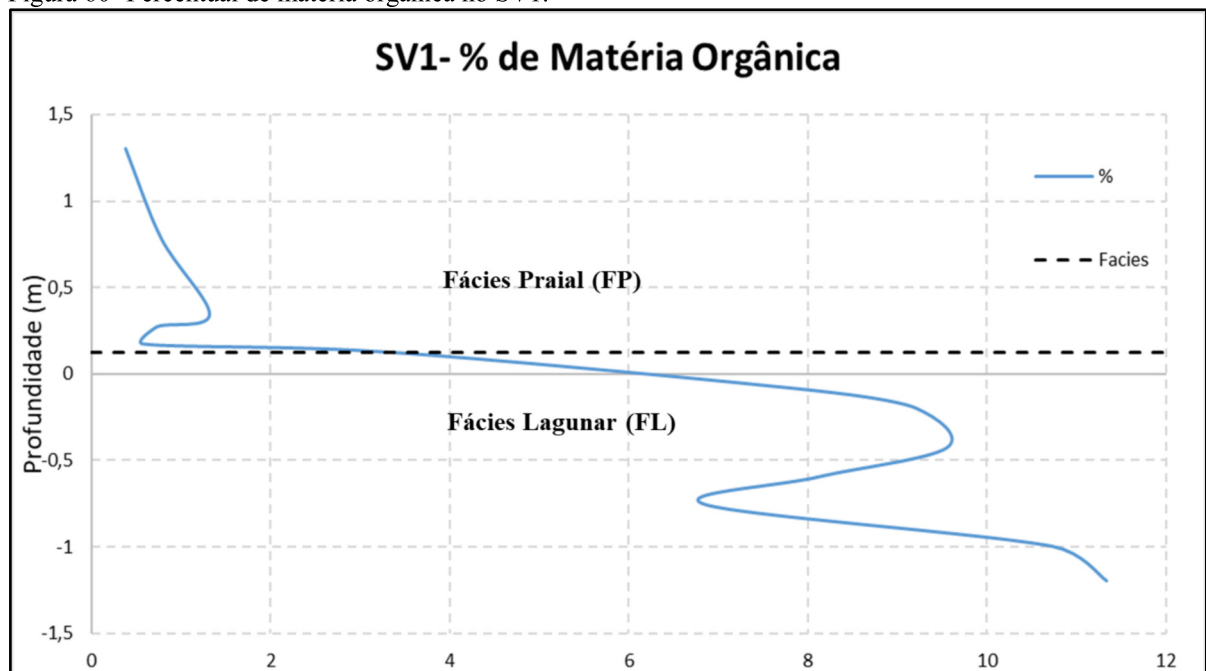


Figura 60- Percentual de matéria orgânica no SV1.



Os ambientes deposicionais se dividem em fácies praial (FP) (*foreshore*) com 1,3 m de espessura e a fácies lagunar (FL) com espessura de 1,7 m. O intervalo entre topo do registro sedimentar até a profundidade de 0,125 m foi definido a fácies FP. Esta fácies foi classificada como areia fina (2,72 Φ e 2,99 Φ) de moderadamente a bem selecionadas, com coloração acinzentada variando de tons mais claros 10YR 8/2 a tons mais escuros 10YR 2/2, muito compacta e representados na figura 62.

A interface entre a fácies FP e a fácies inferior (fácies FL) é manifestada pela presença de uma superfície de ravinamento (SR) na profundidade de 0,12 m do NRM. Esta superfície de ravinamento trunca o topo da fácies FL, ou seja, a deposição da fácies FP sobrepõem-se a SR de maneira a criar uma discordância erosiva, onde alguns metros do topo original da fácies FL podem ter sido perdidos. Eventualmente esta superfície pode ser observada nas marés mais baixas de sizígia nos equinócios de março e setembro (figura 61).

Figura 61- Foto da Praia da Ponta da Areia na região mais erosiva, com presença de lama aflorante e onde foi realizado a sondagem SV1 e o perfil P4.



Já da profundidade 0,125 m até a base do testemunho foi descrita a fácies FL com 1,72 m de espessura, com textura silte fino a silte grosso, cinza escuro (de coloração N1 a N5) de pobremente a moderadamente selecionada, pouco compacta e com valores médios dos grãos entre $4,17 \Phi$ a $6,92 \Phi$, representados (Apêndice 3 e figura 62).

Nas fácies lagunares (FL) é possível encontrar muitos fragmentos vegetais e marcas de raízes de 1,5cm de espessura, grandes quantidades de matéria orgânica dispersa que em alguns pontos alcançado até 11% de M.O. do peso total de sedimento. Junto ao topo da fácies existe uma granodecrescência ascendente passando de silte fino a silte grosso, que pode ser

indicativa de um limite menos abrupto da migração dos ambientes distais (*foreshore*) sobre os proximais (lagunares ou retobarreira). Abaixo disto a sedimentação permanece como silte fino com muito fragmento vegetal indicando uma bacia deposicional ampla onde conflui uma bacia de drenagem.

De -0,99 a -0,59 m novamente ocorre uma granocrescência ascendente, onde ocorre de forma bem definida uma lente de areia com 2 mm de espessura na profundidade de 1,66 cm. Neste horizonte granocrescente são frequentes estratificações plano- paralelas bioclásticas que se mesclam as lentes de areia.

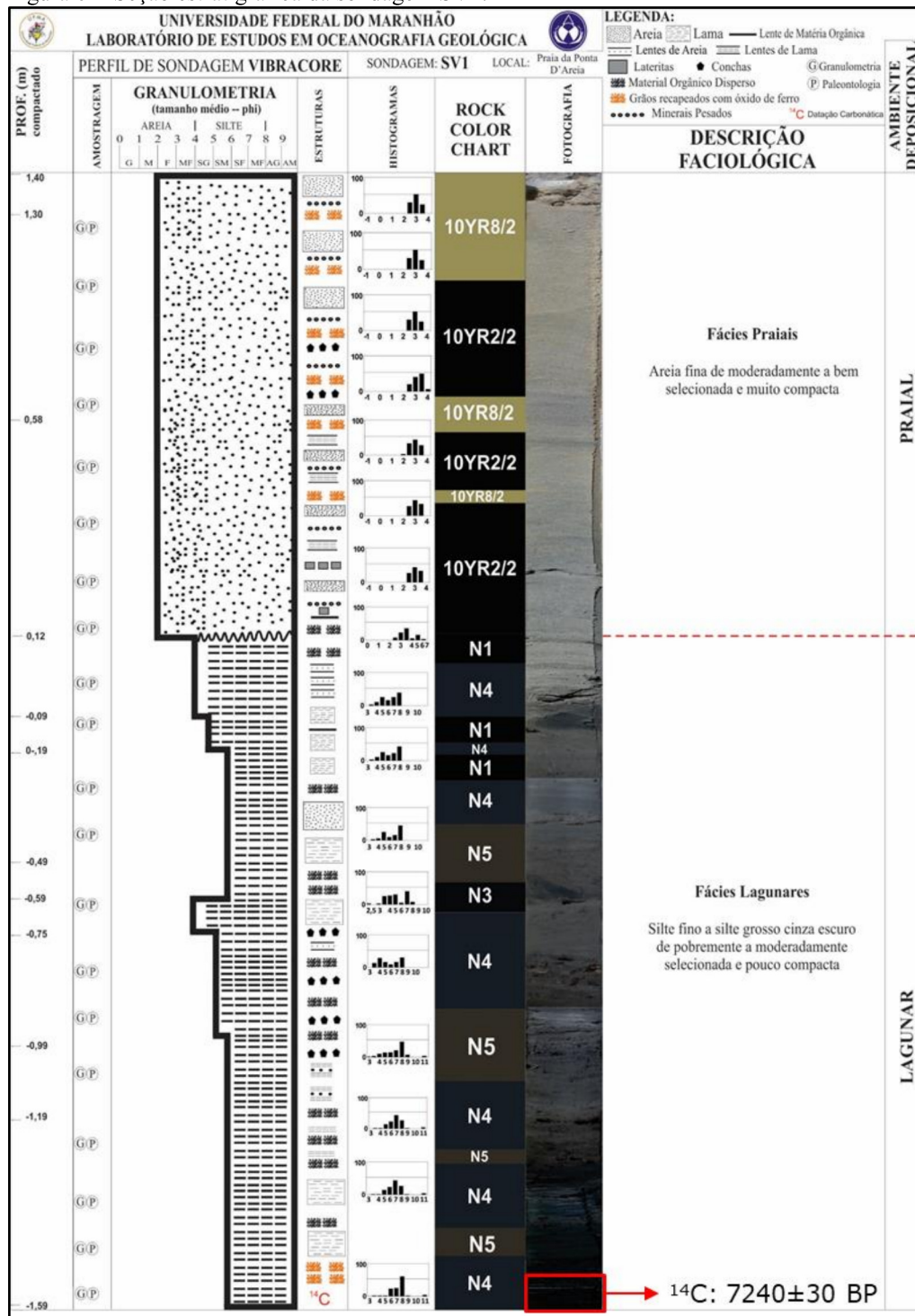
A base do registro apresenta novamente silte fino com pontos de areia dispersos, fragmentos vegetais de até 1 cm e fragmentos de conchas (Apêndice 3 e figura 62). Próximo a base da fácies são presentes pontos de oxidação e um recapamento dos maiores grãos sedimentares.

Na profundidade situada entre -1,59 a -1,49 m (Figura 62) uma amostra da parcela orgânica sedimentar (sedimento orgânico) foi separada e submetida à datação ^{14}C (AMS) *Accelerator Mass Spectrometry* obtendo-se a idade calibrada de 7240 ± 30 BP.

No intervalo de -0,92 a -0,75 m encontrou-se grandes quantidades de fragmentos vegetais dispersos e fragmentos de conchas, ainda neste mesmo intervalo, na profundidade - 0,81 m apresentou uma concha articulada com valva virada para cima e na base da profundidade -0,92 m encontrou-se lama com pontos de areia, fragmentos vegetais de até 1 cm; no intervalo de -0,75 a -0,58 m foi encontrado argila com fragmentos vegetais intactos (madeira com areia no entorno e uma craca (cirripédio) acoplada), fragmentos de conchas dispersas não identificadas e laminações plano-paralelas de areia; de -0,42 a -0,30 m apresentou argila com fragmentos vegetais e pontos de madeira orgânica dispersa; de -0,30 a -0,19 m aparece argila com padrão mosqueado, pontos dispersos de matéria orgânica, pontos de areia e fragmentos vegetais; de -0,19 a -0,09 m lama bege claro, fragmento vegetais horizontalizados; de -0,09 a 0,12 m lentes de lama cinza escuro e lentes de areia de 2mm de espessura; de 0,12 a 0,17 m apresenta uma coloração cinza-escuro com fragmento vegetal de até 1,5 cm, matéria orgânica dispersa e lentes de areia de 2mm de espessura; de 0,17 a 0,27 m apresenta areia com laminações plano-paralelas de minerais pesados e matéria orgânica, válvulas desarticuladas de *Ostrea sp.*, pontos de matéria orgânica dispersos e próximo a base deste intervalo há uma laterita de 4 cm em cima de uma discordância (transição areia-argila); de 0,27 a 0,34 m encontra-se areia com minerais pesados, bolotas de lamas dispersas de até 3 mm, fragmentos de laterita de até 4mm, válvula desarticulada de *Ostrea sp.*; de 0,34 a 0,54 m há camadas de oxidadas plano-paralelas,

areia com minerais pesados e lama dispersa; de 0,54 a 0,64 m há areia sem estruturas com minerais pesados e intervalos de oxidações de 2 a 3 cm e bolotas de lama de 2 mm; de 0,64 a 0,78 m há areia com materiais pesados, laminações com maior concentração de minerais pesados milimétricas plano-paralelos, recapeados com óxido de ferro e fragmentos de conchas; de 0,78 a 1,40 m há areia sem estruturas com fragmentos de conchas, minerais pesados e grãos recapeados com óxido de ferro (Figura 62).

Figura 62- Seção estratigráfica da sondagem SV1.



4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo faz uso da estratigrafia para contextualizar os aspectos de longo e curto termo que regem a evolução do sistema de barreiras costeiras na ilha do Maranhão. Este estudo envolveu 3 sondagens geológicas e uma datação radiocarbônica. Na Praia da Ponta da Areia, estes dados foram integrados em seções estratigráficas para a interpretação de um modelo evolutivo que comporta desde os estágios naturais de desenvolvimento deste litoral, como os estágios antrópicos pós construção de um espigão costeiro. Como forma de integração de diferentes escalas optou-se pela realização de experimentos que contextualizassem as menores escalas relacionadas com o transporte sedimentar atual. Para isto foi quantificado o transporte de sedimentos aportados para o espigão costeiro via deriva litorânea e sistema eólico de sedimentos e segundo os quais mantem uma progradação artificial da linha de costa.

O monitoramento morfodinâmico da Praia da Ponta da Areia buscou avaliar as mudanças anuais que envolveram o balanço sedimentar neste período. Para tal 3 perfis praias e um perfil na margem de um canal foram mensalmente adquiridos.

O perfil 1 (Figura 21) encontra-se na extremidade do espigão costeiro, é um setor dominado pela dinâmica do canal do Rio Anil e o delta de maré vazante Minerva. Esta região encontra-se submetida a um rápido assoreamento devido à redução do prisma de maré ocasionada por algumas modificações antrópicas na morfologia da linha de costa. São elas a barragem do Bacanga, aterros e construção de muros de contenção na orla da cidade velha de São Luís, e represamento do Igarapé da Jansen. Segundo James (2012), se nenhuma dessas modificações fossem feitas na região, a erosão costeira acabaria por comprometer uma área de aproximadamente 11.027,8 m², atingindo parte de construções próximas a linha de costa na Praia da Ponta da Areia.

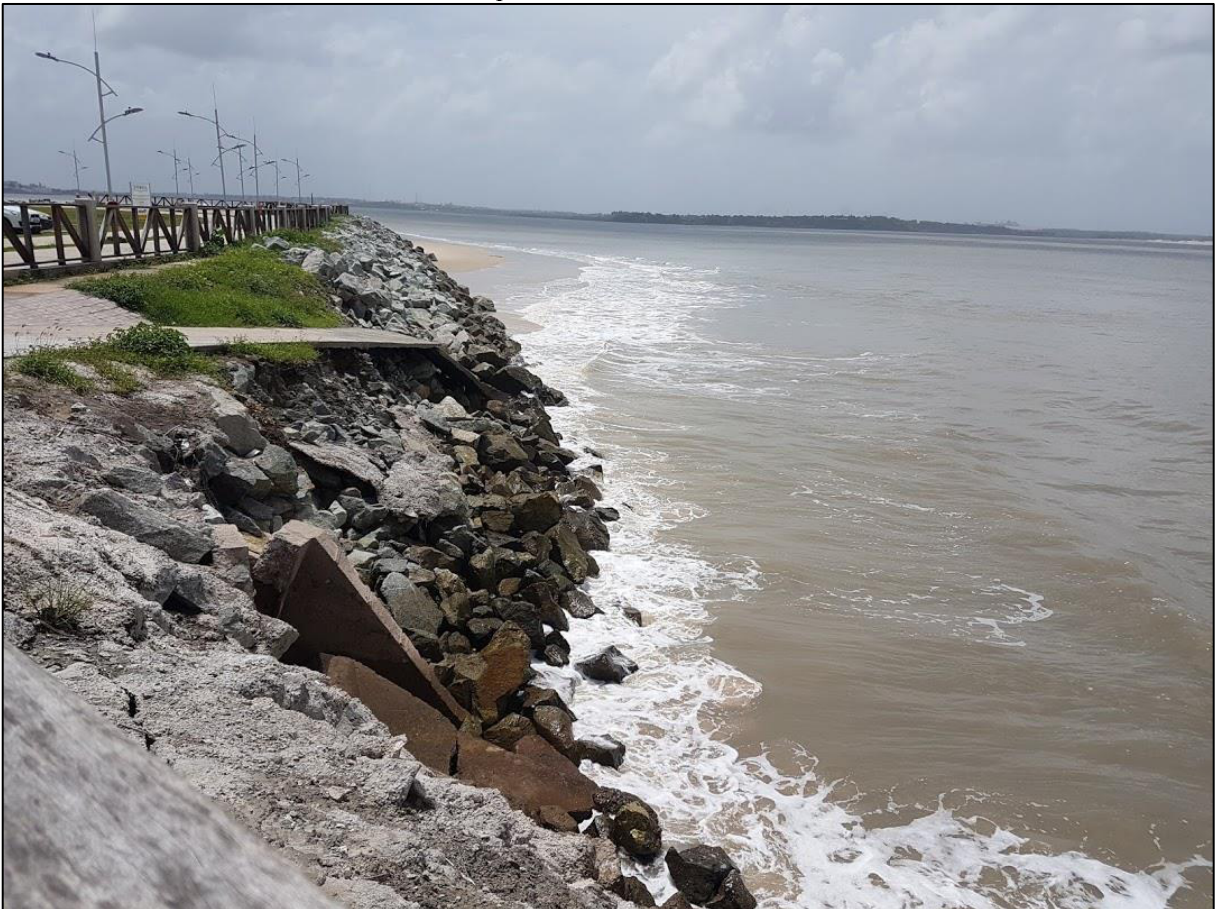
Este autor também acrescenta que a erosão observada (Figura 64) é oriunda do processo de assoreamento em curso na foz dos rios Bacanga e Anil, e não à elevação do nível do mar ou a processos de aquecimento global. Por outro lado, os enrocamentos e muros de contenção (*seawalls*) construídos ao longo da orla da Praia da Ponta da Areia terminaram por restringir o balanço sedimentar acabando com as áreas de recuo natural da linha de costa em momentos de maré de sizígia equinociais. Na figura 1 é possível observar o efeito de espigão hidráulico atuando no extremo do esporão arenoso quando um elevado prisma de maré ainda mantinha um estoque sedimentar alto nesta posição da praia. Pelo contrário na figura 63 do ano de 2006 verifica-se que a redução do prisma de maré ocasionou o prolongamento do esporão,

avanzando para a foz do Rio Anil. Este processo é provavelmente o principal responsável pela erosão nesta localidade.

Figura 63- Foto panorâmica da Praia da Ponta da Areia no ano de 2006 onde é possível observar a continuidade do pontal arenoso.



Figura 64- Imagem na maré cheia, mostrando ponto de erosão localizado a jusante do espigão costeiro, extremidade oeste da Praia da Ponta da Areia, próximo ao Memorial Bandeira Tribuzi.



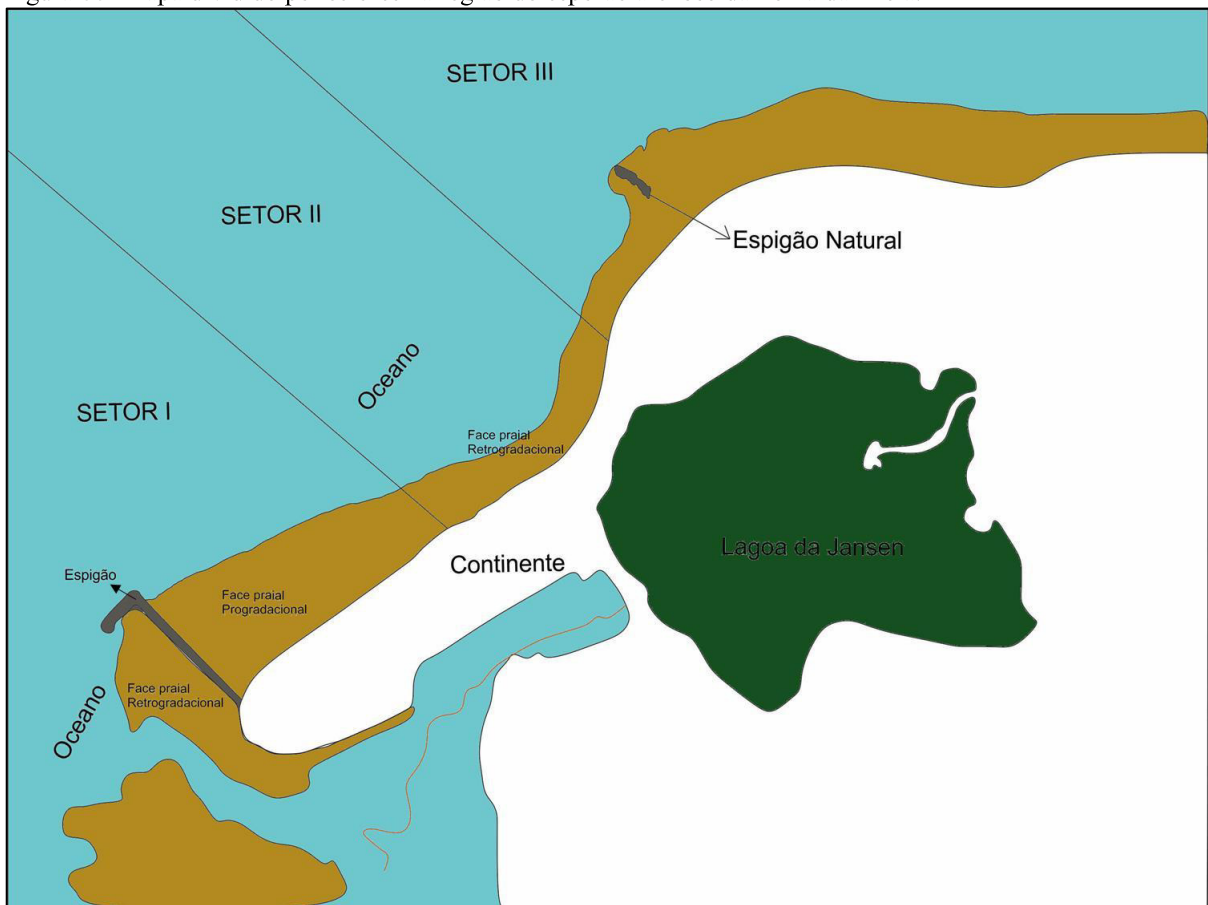
O perfil 1 não apresentou grandes modificações em sua morfologia ao longo do período monitorado. Sua posição é basicamente uma região de *by-pass* sedimentar (em fluxo subaquoso) onde os sedimentos que chegam a cruzar o espigão, também cruzam por este setor indo depositar num banco arenoso numa posição mais recuada do esporão (Figura 21). Este banco representa o novo compartimento deposicional dos sedimentos que cruzam o espigão e/ou mesmo os sedimentos que se depositam na desembocadura do Rio Anil. Representa o novo equilíbrio morfodinâmico de crescimento do esporão da Ponta da Areia. Este crescimento na direção SO ocorre de forma a sobrepor os sedimentos lagunares podendo este processo ser visível em campo (Figura 65). Este novo pontal indica que permanecem inalteradas as condições do prisma de maré nesta região, possibilitando o contínuo prolongamento do esporão arenoso. Outro aspecto desta estabilidade morfológica ocorre no perfil 1 onde o mesmo não acumulou perdas ao longo do ano monitorado (Tabela 1) permanecendo aproximadamente com a mesma morfologia e volumes perfilados.

Figura 65- Imagens do novo compartimento deposicional de sedimentos, na desembocadura do Rio Anil, na direção SO, a sotamar do espigão costeiro da Ponta da Areia.



O perfil 2 ao contrário do perfil 1 (Figura 21) exhibe muitas morfologias peculiares, como um campo de dunas parabólicas, dunas frontais, embrionárias e uma face praial com presença de calhas de maré. Este perfil exhibe a morfologia do setor I (figura 66), ou seja, o setor que progradou efetivamente com a instalação do espigão costeiro. Este perfil evoluiu rapidamente progradando as fácies eólicas, praias e antepraias. Especificamente no período monitorado o balanço sedimentar foi positivo na ordem de $141,8 \text{ m}^3/\text{m}$ de areias finas aportadas no perfil 2, sendo o período chuvoso o principal responsável por este volume ($104,3 \text{ m}^3/\text{m}$). Na figura 28 percebe-se que as maiores variações volumétricas do perfil 2 estão relacionadas a zona de inframaré média e inferior. Em segunda grandeza de variabilidade volumétrica está a zona de inframaré superior quando a dinâmica de calhas de maré atua, mobilizando os sedimentos e alterando a posição de sua calha principal. A duna frontal e embrionária na posição de 100 a 150 m do início do perfil também é responsável por modificações, no entanto são muito mais pontuais e localizadas.

Figura 66- Mapa dividido por setores na região do esporão arenoso da Ponta da Areia.



No compartimento eólico do perfil 2 foram realizados experimentos de transporte eólico no mês de outubro de 2016, época de ventos mais intensos onde foi obtido durante o experimento a velocidade média de 4 m/s e conseqüentemente, um elevado transporte por saltação e rolamento de sedimentos arenosos. Os resultados encontrados quantificaram o transporte dentro do campo de dunas (figura 67). O que se observa é um gradiente de transporte em direção a duna frontal partindo do início do perfil 2. O maior valor está claramente posicionado na armadilha na base da duna frontal no limite superior da zona de intermaré superior. Neste ponto a pista de vento é representada pela face praial que nesta localidade atinge 400 m na maré baixa em virtude da direção predominante dos ventos no dia do experimento (10°). Cabe salientar que a orientação da linha de costa no setor da Ponta da Areia corresponde a uma orientação de 60° com relação ao norte. No entanto deve-se salientar que a medida que a maré baixa a face praial exibe um gradiente de desidratação em somatório com as feições topográficas encontradas nela (calhas de maré).

Figura 67- Foto da região do transecto Espigão, representando o campo de dunas e a face praial com a presença de calha.



Arens (1996) define uma relação entre a taxa de transporte eólico e atuação paralela do vento, e conforme o autor, a pista onde o vento sopra e a fonte de sedimentos são intermináveis. Isso proporciona uma saturação do fluxo de areia, concordando com a grande quantidade de sedimentos transportados na região que abrange o pós-praia inferior até a zona de intermaré média (ZIM). Já na porção do pós-praia superior até o topo da duna frontal primária, observa-se uma redução na quantidade de sedimentos transportados em torno de 50%. Isso corresponde a presença de vegetação rasteira nas dunas, aumentando a rugosidade da superfície. Agora entre a zona de intermaré inferior (ZII) e a zona de inframaré (ZI) o transporte é praticamente nulo, ou seja, quase não há transporte porque é uma área constantemente úmida

devido a ação da maré. Em relação a todo o sistema praial, a ação eólica foi estimada em uma dinâmica de transporte de 545,56 kg a cada 15 minutos em uma área de aproximadamente 144 metros quadrados (Tabela 5).

O transecto espigão (Figura 70) foi construído a partir da integração das sondagens SP1, SP2 e da perfilagem topográfica P2, resultando em uma visualização bidimensional das fácies sedimentares nas imediações do espigão costeiro. A sondagem SP1, comporta o início da fase progradacional da barreira costeira neste setor litorâneo. Esta fase progradacional iniciou seu desenvolvimento após a construção do espigão costeiro, quando as fácies de *foreshore* (fácies PASP - praia/antepraia superior progradacional) iniciaram sua sobreposição a superfície de ravinamento (SR). Esta SR representa os estágios ainda erosivos desencadeados pela ação de ondas que erodiam a barreira costeira numa fase anterior a construção do espigão costeiro. A definição desta superfície de ravinamento teve como principal evidência a presença de uma defasagem composta por material laterítico e fragmentos rochas ígneas e resíduos de entulho de construção civil. Estes tipos de materiais foram inseridos artificialmente no pós-praia como medida para conter o avanço das grandes marés de sizígia que causavam destruição da orla. O material presente na defasagem representa o retrabalhamento do enrocamento de contenção sob ação de ondas. Apesar deste nível ter uma pequena parcela de material cascalhoso sua composição é que a torna distintiva quanto a delimitação da SR. Neste nível também ocorreu a concentração de minerais pesados (indicativos de uma elevada energia de ondas) que tornam sua coloração (5Y 4/1) enegrecida quando comparada aos níveis superiores e inferiores a SR.

Na sondagem SP1 o pacote sedimentar superior a SR de 3,10 m é atribuído exclusivamente a deposição sedimentar pós-espigão por ambientes deposicionais de pós-praia, estirâncio e eólico.

Na base do registro sedimentar da sondagem SP1 encontra-se a fácies PASR (praia/antepraia superior retrogradacional), onde a deposição do sistema praial retrogradacional ocorre vinculada a grandes concentrações de minerais pesados, resultados do retrabalhamento das fácies basais e dos frequentes processos erosivos que ocorriam na Praia da Ponta da Areia antes da construção do espigão costeiro. Esta fácies é possivelmente mais espessa, no entanto não foi possível obter um registro mais completo devido à compactação destas areias da face praial. Esta unidade corresponde a depósitos de leques de sobrelavagem e/ou deltas de maré enchente que atuaram na retrogradação do esporão da Ponta da Areia. O efeito espigão hidráulico desempenhado pelo canal de ligação Rio Anil e Rio Bacanga deve ter mantido aproximadamente constantes as dimensões do esporão da Ponta da Areia principalmente pelo

controle hidráulico da topografia antecedente desempenhada pelos vales incisivos destes canais. Desta forma o prolongamento longitudinal deste esporão deve ter sido construído imediatamente após ser sido estabelecido os níveis atuais do NRM.

O material conquiliológico presente na fácies PASR apresenta-se consideravelmente mais íntegro que a fácies PASP, onde pouco material foi passível de identificação. Isto parece estar indicando que a inversão de comportamentos retrogradacional para progradacional pode conduzir a uma alteração sobre a forma com qual o material bioclástico chega a praia. A condição retrogradacional parece favorecer o transporte *crosshore* mantendo uma maior integridade do material enquanto na condição progradacional o material permanece mais tempo na zona de arrebentação. De toda forma a taxonomia das conchas encontradas na sondagem SP-1 reflete um ambiente tipicamente estuarino. No entanto nenhuma das conchas encontradas apresenta-se em posição de vida, ou seja, indicam apenas uma concentração sedimentológica de bioclastos.

Acima da SR as fácies sedimentares identificadas são basicamente eólicas e praias e resultam da progradação de ambientes do pós-praia, estirâncio e zona de arrebentação em direção ao centro da bacia deposicional, que neste caso é a baía de São Marcos. Estas fácies acumulam-se neste segmento costeiro principalmente pelo transporte de sedimentos via deriva litorânea de sentido WSW onde são retidos pelo espigão costeiro. Em outras palavras a construção do espigão alterou o regime deposicional retrogradacional para progradacional e esta transição ficou registrada pela SR marcando a interface das fácies superior (PASP) e inferior (PASR).

Na fácies PASP (praia/antepaia superior progradacional), observa-se a deposição do sistema praias progradacional., constituídos por areias finas, de cor bege, com seleção moderada e alto grau de compactação. Este pacote sedimentar com 2,9 m indica aproximadamente o *déficit* de sedimentos antes da construção do espigão, pois foi exatamente este pacote sedimentar o responsável por estabilizar a linha de costa e permitir sua progradação. Os níveis que sucedem a fácies PASR mantem uma alta concentração de minerais pesados o que indica que mesmo nos instantes iniciais de progradação, a linha de costa ainda não havia encontrado um ajuste as novas forçantes hidrodinâmicas ocasionadas pelo espigão. Nestes mesmos horizontes ocorre uma piora do parâmetro de seleção indicando que nestes níveis, grãos de maior tamanho como cascalho e areia grossa podem estar sendo depositados ainda sob condições pré-espigão. Esta fácies contém lentes de material bioclástico (constituído por fragmentos de conchas de moluscos) na sua base levando a uma redução no grau de seleção

sedimentar. Observando-se os horizontes de concentração do material bioclástico presente na sondagem SP1 percebe-se sua correlação com a seleção sedimentar nestes níveis (Figura 50). No topo da sondagem, na fácies E (eólica), encontra-se depósitos eólicos de dunas frontais e campos de dunas parabólicas, sendo constituída por areias finas, cor bege clara (10YR 7/4), com seleção moderada e baixo grau de compactação. Estas dunas progradaram à medida que a linha de costa foi sendo ampliada a montante do espigão, e até o momento já progradaram cerca de 125 m. Esta ampliação do sistema eólico ocorreu com preenchimento do espaço de acomodação criado pelo espigão costeiro, e agora o sistema eólico iniciou uma fase de *by-pass* quando todo o espaço de acomodação disponível foi preenchido e os sedimentos começaram a cruzar o espigão. Este mecanismo de *by-pass* está sendo ampliado à medida que ocorre a ampliação do campo de dunas em decorrência da progradação da praia a montante do espigão. Isto amplia a pista de vento (*fetch*) potencializando o transporte eólico, que neste caso ocorre transversalmente ao espigão devido ao sentido preferencial do vento neste setor. Como a estrutura do espigão foi urbanizada para fins turísticos este *by-pass* ocasiona transtornos à população que frequenta o espigão (figura 68).

Figura 68- Foto do trator retirando areia depositada pelo transporte eólico sobre a estrutura do espigão urbanizada.



Outras medidas paliativas para evitar que a deposição dos sedimentos ocorra em cima da passarela do espigão, foi a implantação de estruturas de proteção com palhas para formação de dunas (Figura 69). No entanto este tipo de estrutura amplia o espaço de acomodação causando ainda mais transtornos.

Figura 69- Estruturas de palhas para deposição de sedimentos.



A sondagem SP2, foi executada próxima a extremidade do espigão da Ponta da Areia, mais precisamente sobre o sistema praial progradacional, há 292,5 m do início da antiga posição da linha de costa. O objetivo da execução desta sondagem é empilhar o registro estratigráfico somando-se a sondagem SP1 de forma a compor um registro mais completo das fácies progradacionais. Esta composição resultou na seção estratigráfica da figura 70. Nela puderam ser adquiridos os limites continentais da antepraia superior (*foreshore*) marcados pela SR e os limites oceânicos (mar a dentro) do *foreshore* no contato com antepraia inferior. Este contato foi definido pelas lentes de argilas intercaladas com laminações arenosas de 1 a 2 mm, encontradas nas profundidades de -2,66 a -2,36, -2,06 a -1,96 e -0,96 a -0,76 m, indicativas dos limites abaixo da profundidade de fechamento neste perfil. Já nos intervalos de -2,26 a -2,16 e -1,46 a -1,36 m, foram evidenciadas camadas arenosas com conchas e rochas lateríticas de 0,5 centímetros, que caracterizam então uma alternância entre alta e baixa energia. Esta alternância pode ser correlacionada com a variabilidade hidrodinâmica imposta pelas marés de sizígia e quadratura. Ou seja, as grandes marés de sizígia impõem um aumento energético neste ponto do perfil praial enquanto nas marés de quadratura o mesmo não ocorre limitando a ação de ondas continente a dentro.

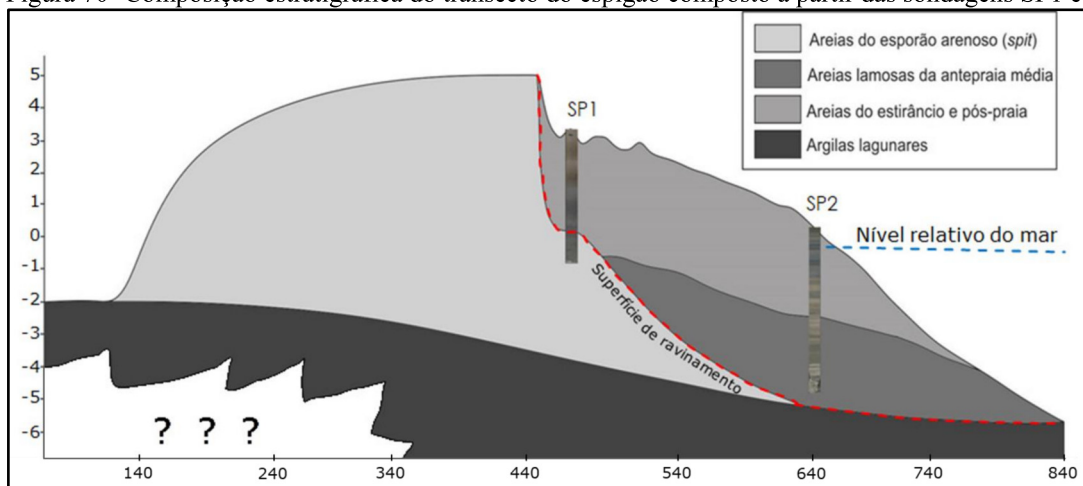
No intervalo de -0,46 m até o topo do testemunho foi definida a fácies PSP com laminações plano/paralelas de areia fina moderadamente selecionada a bem selecionada e muito compacta. De forma dispersa nesse intervalo, foi encontrado grandes quantidades de materiais carbonáticos (conchas) e rochas lateríticas que indicam um ambiente de alta energia exposto a

ação de ondas. Além dos materiais indicativos de ambientes de alta energia foram encontrados fragmentos vegetais e pontos de oxidação. Estes materiais são concentrados na zona de deposição de lixo da praia, provavelmente do pós-praia. Sua exposição na zona intermarés ocasiona a exposição a um ambiente oxigenado promovendo a dita oxidação. No Rio Grande Sul esse aspecto oxidado dos sedimentos serve para limitar os limites de sequencias (LS) dos sistemas de barreiras costeiras (Villwock, 1987).

As informações extraídas do registro sedimentar SP1 e SP2, expõe as alterações no ambiente praiar da Ponta da Areia após a construção do espigão costeiro. Ou seja, um grande avanço da linha de costa em direção a Baía de São Marcos em um local que antes sofria com a retrogradação da linha de costa. As fácies eólicas e praias se correlacionam as posições subaéreas do esporão arenoso (*spit*), a fácies da antepraia média/inferior com areias lamosas corresponde as posições subaquosas, e abaixo dessas fácies encontram-se as argilas lagunares correlata ao sistema laguna-barreira transgressivo sobre o qual o esporão arenoso migrou em direção do continente. A inferência desta última fácies se dá pela correlação ao testemunho SV1 e aos afloramentos lagunares na extremidade do esporão (figura 65).

No transecto espigão, a barreira apresenta uma estratigrafia regressiva (progradante), na forma de depósitos eólicos sobrepostos a depósitos praias antepraias. Esta progradação é resultado da fixação da extremidade do esporão arenoso fazendo com que a estratigrafia local comporte a transição entre a fase transgressiva para regressiva condicionada por um balanço positivo de sedimentos ao longo da costa. Esta alternância de fases se dá onde originalmente onde existia um sistema laguna-barreira transgressivo vinculado ao desenvolvimento de um esporão arenoso (*spit*).

Figura 70- Composição estratigráfica do transecto do espigão composto a partir das sondagens SP1 e SP2.



O perfil 3 (Figura 21) encontra-se a montante do espigão costeiro, partindo do início do enrocamento de proteção do Hotel Praia Mar. Este perfil encontra-se no setor II da figura 66 apresenta uma face praial com a presença de um sistema bem definido de banco e calhas de maré na zona de intermaré. Devido a presença de um sistema de calha móvel nesta região, ocorreu ao longo do período monitorado uma maior variação volumétrica, alternando períodos de erosão e acresção sempre vinculados a face superior da praia nos primeiros 100m do perfil (figura 33). Já na zona de intermaré o perfil se mostrou com pouca variação volumétrica.

Em relação ao perfil como um todo, durante o ciclo sazonal estudado, o balanço sedimentar foi positivo com 157,29 m³/m de areias finas, sendo o período seco o principal responsável por esta acresção, com um volume de 243,59 m³/m. Já no período chuvoso, ocorre o contrário, com um volume máximo negativo de -69,18 m³/m, devido à diminuição do transporte eólico somado com os valores de transporte sedimentar por correntes longitudinais (*longshore currents*).

Segundo Muehe (1994), as correntes longitudinais ocorrem ao longo da costa e são formadas pelo fenômeno de refração das ondas em função da batimetria do fundo aproximando as ondas em direção à praia com um certo ângulo de incidência, criando um fluxo longitudinal. Este fluxo somado a resuspensão do sedimento de fundo pela ação das ondas incidentes podem transporta-los por vários quilômetros tanto na zona de surfe como na face da praia (swash), fenômeno este denominado de deriva litorânea. O transporte de sedimentos ao longo da costa está ligado diretamente as condições de corrente e alterações do fundo. No perfil 3 as alterações do fundo são representadas por crista e calhas topográficas relacionadas as calhas de maré.

Os quantitativos do transporte de sedimentos ao longo da costa em praias, têm sido pesquisadas por oceanógrafos, geólogos e engenheiros costeiros há cinco décadas (WANG, *et al.* 1998). A velocidade da corrente longitudinal medida no experimento realizado na Praia da Ponta da Areia foi de 1,9 m/s transportando os sedimentos que são colocados em suspensão pelas ondas de até 1,1 m.

Os processos que ocorrem na zona de surfe da praia da Ponta da Areia são extremamente dinâmicos, envolvendo a ação das correntes induzidas por ondas. O presente estudo quantificou o transporte sedimentar por deriva, realizado no setor do perfil 3, por ser uma região de elevada hidrodinâmica. O objetivo deste experimento foi caracterizar os processos de transporte que ocorrem neste setor específico da praia, através de medições de velocidade e direção da corrente longitudinal, altura significativa de onda (Hs) e quantificação de sedimentos transportados, tanto na maré baixa quanto na maré alta. Dominada por um regime de macromaré, a Praia da Ponta da Areia possui ondas incidentes com direção NE que chegam

até 1,1 metro de altura na maré cheia e 0,4 metro na maré baixa. Já as correntes geradas por ondas propagam-se na direção W, assim como a corrente de maré dominante na praia (corrente de maré enchente).

Muehe (1994) afirma que ângulos maiores a 5° são suficientes para gerar correntes com velocidades eficientes para o transporte de sedimentos. Com o transporte por deriva litorânea, o arco praiial sofre erosão em uma extremidade e acumulação em outra, em posição perpendicular ao ângulo de incidência das ondas. Hoefel (1998) acrescenta que em praias com obstáculos naturais ou artificiais, os efeitos da deriva são bem visíveis.

Isto ocorre visivelmente ao longo da região litorânea da Praia da Ponta da Areia, os sedimentos são colocados em suspensão pela ação das ondas incidentes e transportados pelas correntes longitudinais durante toda a linha de costa (deriva litorânea) e depositados a barlar do espigão costeiro (obstáculo artificial). Na maré cheia essas correntes longitudinais chegam até 1,93 m/s e na maré baixa a velocidade de corrente é quase nula, mas ainda ocorrendo transporte.

Komar (1977) ressalta que a quantidade e o tamanho do grão de areia transportado estão relacionados à maior velocidade de corrente, possibilitando o transporte de fundo. Com a diminuição da velocidade o transporte é realizado por suspensão, com grãos menores. No experimento realizado na Praia da Ponta da Areia, os sedimentos transportados na maré baixa foram em menores quantidades (69g) com grãos de areia muito fina ($3,2\Phi$ a $3,5\Phi$), bem selecionados e aproximadamente simétricos. Já na maré cheia, as quantidades de sedimentos foram maiores (711g) com grãos de areia fina ($2,8\Phi$ a $3,0\Phi$), bem selecionados e aproximadamente simétricos na região em suspensão e moderadamente selecionados com assimetria muito positiva na região do fundo. Isto porque a velocidade de corrente é maior na maré alta que na maré baixa. A estimativa de transporte na maré alta é de $266,6 \text{ kg/m}^2$ por dia e na maré baixa $25,8 \text{ kg/m}^2$ por dia, ou seja, o transporte de sedimentos por deriva tem grande influência (quilos de grãos de areia sendo transportados por dia) na morfodinâmica da praia da Ponta da Areia.

Segundo Calliari *et al.* (2003), a morfodinâmica de uma praia é diferenciada pela amplitude de variação em relação ao estado modal da praia. O estado modal da praia se caracteriza pelas condições mais frequentes, em resposta ao tipo de arrebentação e de sedimentos predominantes. A variação do clima de ondas, da maré, do vento e das características dos sedimentos de uma praia podem influenciar diretamente ao estado modal mais frequente.

As praias com $RTR < 2$ são descritas baseadas no parâmetro ômega. Já as praias com valores de RTR maior que 2, se considera o efeito da maré, pois ele passa a ser relevante (MASSELINK, 1993). Como o RTR medido no perfil 3 e extrapolado para o *spit* arenoso da Ponta da Areia foi maior que 2, os efeitos da maré são bastantes relevantes, devendo ser considerado para estudo.

Portanto, classificou-se o esporão arenoso da Praia da Ponta da Areia de acordo com o modelo conceitual de praias arenosas do tipo macromaré que é baseado na relação entre o parâmetro ômega (Ω) e o parâmetro de variação relativa da maré (RTR), apresentado por Masselink & Short (1993). Como a praia da Ponta da Areia exhibe uma variação marcante com relação a maré, na maré baixa a mesma comporta-se com características dissipativas por conta de um perfil extremamente suave nas posições da antepraia inferior fazendo com que a altura de onda medida não ultrapasse 0,4 m. Estas características quando computadas no modelo de Masselink & Short (1993) permitem classificar esta praia na maré baixa como ultra-dissipativa. Por outro lado, na maré alta, esta praia comporta-se como reflectiva devido principalmente à sua declividade nas posições superiores da face praial ocasionando ondas de 1,1 m na zona de arrebenção. Desta forma, essa praia foi classificada “*non-barred dissipative*” em condições de maré alta.

Alves & El-Robrine (2003), encontrou resultados semelhantes na praia de Ajuruteua (PA) que também é dominada por um regime de macromaré. Os valores encontrados a partir do modelo de Masselink & Short (1993) evidenciam o comportamento da praia como tipicamente dissipativa, relacionando aos processos de energia moderada e alta (banco e calha longitudinal).

Outra semelhança são as larguras médias da zona de intermaré entre essas praias, desde a base das dunas frontais até a linha de maré baixa que variam entre 200m e 250m. Partindo da proposta de Souza Filho *et.al.* (2003) a praia de Ajuruteua é classificada como uma “*barrier-beach ridges*” que se estende da linha de maré baixa de sizígia até as escarpas das dunas que representam a linha de maré alta de sizígia.

Adentrando o setor mais erosivo da Praia da Ponta da Areia encontra-se o perfil topográfico P4, no designado setor II. É a região com a menor faixa de areia de toda a praia, principalmente por encontrar-se à jusante de um enrocamento natural de rochas lateríticas (espigão natural, setor III), que funciona como uma barreira (zona de sombra do espigão natural) que impede/desvia o transporte longitudinal de sedimentos que alimentaria este setor. Este espigão foi formado pela erosão costeira atuante na Ponta do Farol (Figura 21 e 66). A maior resistência à erosão das falésias da Ponta do Farol quando comparadas com as praias de

entorno ocasionam que nesta localidade ocorra uma projeção da linha de costa. Isto ocasiona uma refração diferenciada de ondas, ampliando seu tamanho e removendo os sedimentos da face praial. A erosão da Ponta do Farol é provavelmente um fenômeno de longo termo. Litoestratigraficamente, a bacia de São Luís encontra-se caracterizada por três unidades principais: Formação Itapecuru (Mesozoico – Cretáceo Superior), Formação Barreiras (Cenozoico – Terciário – Plioceno) e Formação Açuí (Cenozoico – Quaternário - Pleistoceno/Holoceno) (RODRIGUES *et. al.*, 1994; EL-ROBRINI *et. al.*, 2006). Suas falésias representam exposições da Formação Alcântara e apresentam tanto o limite de base como o seu limite de topo marcado por discordâncias não deposicionais definidas por horizontes ferruginosos com presença marcante de rochas lateríticas. São estas rochas que erodidas das falésias concentram-se na zona de arrebentação e estirâncio formando uma feição natural de dezenas de metros que se aproxima da feição de um espigão costeiro. Como forma de evidenciar a zona de sombra promovida por esta feição foram realizados dois perfis topográficos: um a montante (perfil P5) e um a jusante (perfil P6). Nestes perfis, é bem evidente que imediatamente a jusante do espigão natural a praia apresenta um balanço negativo de sedimentos indicado pelas dimensões do perfil P5 quando comparado ao perfil P6 (Figura 21).

O setor mais erosivo da praia da Ponta da Areia, coincide com a menor distância entre praia e Lagoa da Jansen. Nesta localidade foi realizado um perfil topográfico com o intuito de nivelar a lagoa e o oceano. Este transecto de nivelamento foi designado Lagoa da Jansen sendo construído a partir da integração das sondagens SV1, SV2 (retirada do trabalho de Cerveira, 2018) e perfilagem P4, resultando em uma visualização bidimensional das fácies estratigráficas (Figura 71). Esse transecto se expressa superficialmente por uma curta planície costeira, evidenciando um sistema deposicional do tipo laguna-barreira. O sistema barreira é representado pelo esporão (*spit*) emerso da ponta da Areia enquanto a laguna é representada pela Lagoa da Jansen.

Os sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, foram estudados nas últimas três décadas, por vários autores entre eles Hoyt (1967), Gilbert (1885), Beaumont (1885), Villwock *et al.* (1986), Kraft *et al.* (1987), Tomazelli (1990), Villwock & Tomazelli (1995), Tomazelli *et al.* (2000), Dillenburg *et al.* (2000 a), Lopes e Lavina (2001), Dillenburg *et al.* (2004), Clerot (2004). Nestes sistemas os mais antigos geralmente são pleistocênicos, enquanto que o mais recente se formou no Holoceno.

Segundo Dillenburg *et al.* (2000a), os sistemas de laguna-barreira holocênicos podem ser classificados em quatro subtipos morfoestratigráficos: barreiras regressivas, estacionárias, transgressivas e de praias anexadas (*mainland beach barrier*). No *spit* arenoso da

Praia da Ponta da Areia, o que se verifica é uma barreira holocênica transgressiva onde a base do esporão é do tipo praia anexada, indicado pela presença do substrato que antecede à última Transgressão Marinha Pós-Glacial, presente na evolução das barreiras costeiras em quase todo o litoral do nordeste brasileiro.

A sondagem SV1, realizada próxima a base do *spit* arenoso da Ponta da Areia, sobre o sistema praial, há 96 m da linha de preamar máxima (perfil topográfico P4) sobre este setor costeiro, no local mais estreito do esporão arenoso, obtendo um registro sedimentar de 3,00 m. Essa sondagem mostra registros de uma fase transgressiva da barreira, na forma de depósitos arenosos do esporão arenoso sobrepostos a sedimentos tipicamente lagunares ocorrentes na base. A elevada concentração de fragmentos vegetais e raízes na fácies lagunar da sondagem SV1 evidenciam que este ambiente deposicional formou-se em posições abrigadas por uma barreira costeira. A continuidade da fácies lagunares estende-se até a sondagem SV2 junto à margem da Lagoa da Jansen.

A sondagem SV1 comporta um assoalho lagunar, na cota topográfica 0,12 m do NRM. Na base desta fácies a -1,59 m do NRM foi realizada uma datação radiométrica (AMS) indicando a idade calibrada de 7.240 \pm 30BP anos. Esta posição é compatível com as curvas de variação do NRM apresentadas para o litoral brasileiro (SUGUIO & MARTIN, 1978; KOSMANN & COSTA, 1979, ANGULO *et al*, 2006). Esta idade indica que por volta deste tempo já existia um sistema laguna-barreira, no entanto, este sistema estendia-se oceano a dentro posicionando a barreira arenosa além do que vemos hoje. Da mesma forma a laguna que ocupava a retaguarda (retrobarreira) era consideravelmente maior. As margens internas da Lagoa da Jansen fazem limite com a Formação Alcântara, e deveriam ser assim também em tempos anteriores. Por volta de 7.240 \pm 30BP anos a barreira costeira instalada nesta posição deveria ser ancorada nas falésias da Ponta do Farol, que também se apresentava oceano a dentro em posições compatíveis com a barreira. Assim, com o decorrer da TMP tanto a falésia como o sistema laguna-barreira evoluíram de forma a transgredir sobre os substratos mais antigos, a barreira neste caso avançando sobre a retrobarreira. Na fácies Lagunares da sondagem SV1 entre 0,59 a 0,99 m do NRM ocorrem lentes de areia que representam os possíveis indicadores do processo transgressivo. Estas lentes de areia enriquecidas com fragmentos de conchas foram formadas por leques de sobrelavagem (*washover*) que invadiram o complexo lagunar em uma provável maré equinocial.

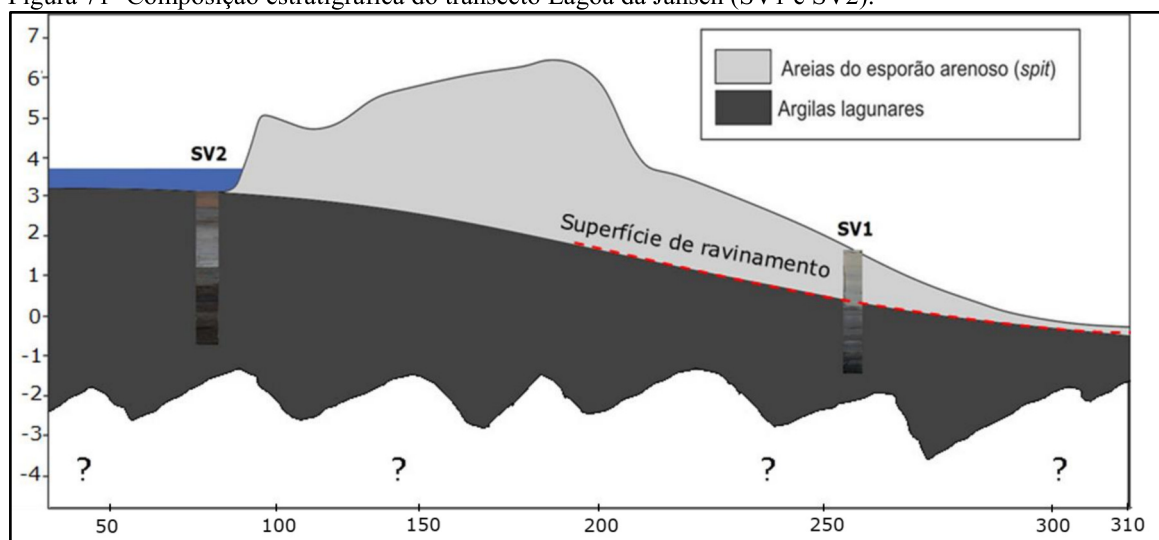
Esta natureza estratigráfica evidenciada na praia da Ponta da Areia é comum em outros setores do litoral brasileiro com barreiras costeiras transgressivas (DILLENBURG *et al.*, 2006; LIMA *et al.*, 2012).

A sondagem SV2 realizada por Cerveira (2018), foi executada na margem norte da Lagoa da Jansen. Esta sondagem apresenta um sistema lagunar (*backbarrier*) desde o momento de instalação da retrobarreira até os estágios finais de assoreamento, quando a margem da lagoa foi superior ao registro. As características hidrodinâmicas que atuavam na lagoa quando ainda havia ligação com o oceano, eram mais elevadas. Neste tempo a variação de maré atuante na lagoa permitia a exposição de seus sedimentos durante a maré baixa, que comporta a evolução estratigráfica da praia desde quando a Laguna da Jansen ainda era uma laguna (Paleolagoa), ou seja, ainda possuía uma comunicação efetiva com o oceano até o seu estágio atual, quando foi transformada numa lagoa costeira com controle manual de sua comunicação com o oceano através de uma comporta.

Segundo Cerveira (2018), devido a base do registro sedimentar ser arenosa, as características hidrodinâmicas que atuavam na lagoa quando ainda existia comunicação direta com o oceano, eram mais elevadas. Onde a variação de maré permitia a exposição de sedimentos lagunares no período da maré baixa, ocasionando uma redução drástica do material orgânico preservado pela oxidação da matéria orgânica.

Além disso o registro possui, próximo a sua base, evidências pontuais de um leque de sobrelavagem (*washover fan*) ou ainda mesmo um pulso eólico em forma de um lençol de areia aprisionado na estratigrafia lagunar, indicando o limite de dispersão da barreira transgressiva em forma semelhante às barreiras transgressivas existentes no Golfo do México. Segundo Morton e Sallenger (2003), essas barreiras mexicanas migram em direção ao continente como resultado da coalescência de leques de sobrelavagem. Já na região média deste registro sedimentar, há indícios do estágio de assoreamento da lagoa quando seu canal de ligação (*inlet*) com o oceano foi interrompida por aterros.

Figura 71- Composição estratigráfica do transecto Lagoa da Jansen (SV1 e SV2).



Cerveira (2018) descreve também uma sondagem designada de SP10 que representa em larga escala a maior parte do litoral da Ilha do Maranhão, que são as barreiras de praias anexadas (*mailand beach barries*). Este tipo de barreira apresenta uma grande presença do substrato antecedente à Última Transgressão Marinha Pós-Glacial, que domina a evolução das barreiras costeiras em quase todo o litoral do Nordeste Brasileiro.

Esta sondagem SP10 também evidencia o pouco estoque sedimentar das barreiras costeiras do Maranhão e que existem grandes parcelas da topografia que às antecedem, aflorando neste litoral (Figura 72).

Figura 72- Afloramentos na praia da Ponta d'Areia, onde foi obtido o registro sedimentar SP10 de Cerveira (2018).



5 CONCLUSÃO

A natureza estratigráfica da barreira costeira na praia da Ponta da Areia foi definida como uma sequência sedimentar retrogradacional caracterizada pela migração em direção ao continente de um *headland spit barrier*. A construção de um espigão costeiro na praia da Ponta da Areia alterou a natureza estratigráfica da barreira costeira nesta localidade passando a comportar-se como um sistema progradacional.

A dinâmica do perfil P1 encontra-se diretamente influenciada pela dinâmica do Canal do Rio Anil e do banco de Minerva, onde encontra-se em processo um assoreamento controlado pela redução do prisma de maré causadas pela barragem do Bacanga e represamento do Igarapé da Jansen. O perfil topográfico P1, confirma uma região com pequena faixa de areia devido a seu posicionamento sobre a zona de sombra do espigão, porém uma região basicamente estável, sem apresentar grandes variações ao longo dos meses monitorados, com um balanço sedimentar total de apenas 3,35 m³/m. O balanço sedimentar para o período seco neste setor teve uma resultante de -3,93 m³/m enquanto que no período chuvoso acumulou um total de 7,27 m³/m.

As sondagens SP1 e SP2, confirmam a progradação da barreira costeira nas imediações do espigão costeiro, onde ocorre a sobreposição de ambientes distais (antepraia) por ambientes proximais (*foreshore*).

A sondagem SP1 identificou registros estratigráficos da transição da fase retrogradacional para a fase progradacional da barreira costeira na praia da Ponta da Areia. Esta inversão teve início após a construção do espigão costeiro, ocasionando a sobreposição da superfície de ravinamento (SR) pela fácies de *foreshore* (fácies praia/antepraia superior progradacional).

A sondagem SP2 obteve o registro sedimentar progradacional pós construção do espigão, com fácies praias progradacionais proximais (*foreshore*) sobrepondo-se a fácies praias progradacionais distais (antepraia inferior).

O perfil P2, indicou constante acreção, com um aporte considerável de sedimentos acumulados a montante do espigão, proporcionando a maior faixa de praia e dunas de todo o esporão arenoso, onde ficou evidenciado o balanço sedimentar total de 141,87 m³/m, um volume líquido de 37,52 m³/m no período seco e 104,358 m³/m nos meses de chuva.

No perfil P2 o transporte sedimentar eólico no período seco pode ser estimado com base em experimento de transporte indicando o total de 7 kg/m/h de sedimentos transportados por rolamento e saltação numa seção de 311 m de distância (compartimento eólico).

O perfil P3 indicou um balanço sedimentar positivo com o total de 157,29 m³/m durante o ciclo sazonal estudado, com volume máximo de 243,49 m³/m no período seco e -69,18 m³/m no período chuvoso. O transporte sedimentar por deriva realizado no perfil P3, permitiu identificar que o maior transporte de sedimentos ocorreu vinculado ao ciclo de maré alta, com ondas do tipo vagas (*sea*) de 1,1 m de altura, período de 6 s e direção de NE que induzem a uma velocidade de corrente longitudinal de 1,9 m/s e um transporte sedimentar por deriva de 266,6 kg/m²/dia. Para a condição de maré baixa observou-se que a altura de onda de 0,4 m induz uma velocidade de corrente desprezível (próxima de zero) transportando 25,8 kg/m²/dia de sedimentos em suspensão, rolamento e saltação na zona de arrebentação.

A relação entre parâmetro Omega e RTR aplicados para Ponta da Areia possibilitaram classificar a praia como ultra-dissipativa na maré baixa e “*non-barred dissipative*” em condições de maré alta.

A sondagem SV1 executada sobre este sistema praiial (perfil P4), recuperou registros da fase transgressiva da barreira, com depósitos arenosos do esporão arenoso (*headland spit barrier*) sobrepostos a sedimentos lagunares da paleolaguna da Jansen. É interessante salientar também que a fase transgressiva envolveu tanto a origem como a migração em direção do continente do esporão arenoso da Ponta da Areia.

A datação radiométrica (AMS) do topo paleolaguna da Jansen obteve a idade calibrada de 7.240+/-30 cal. BP indicando que neste tempo a lagoa se estendia em direção a Baía de São Marcos protegida por uma barreira costeira.

O conjunto dos dados apresentados neste estudo permitiu elucidar as relações existentes entre o comportamento de uma barreira regressiva originada de uma intervenção antrópica (espigão costeiro) em contraponto com a evolução natural de um sistema transgressivo de *headland spit barrier* que por volta de 7.240+/-30 cal. BP originou o sistema lagunar da paleolaguna da Jansen.

O setor mais erosivo da Praia da Ponta da Areia (setor III) encontra-se localizado nas proximidades da zona sombra de afloramentos de rochas lateríticas que desempenham funções semelhantes à de um espigão, ancorado as falésias da Ponta do Farol, onde os perfis P4 e P5 indicam a morfologia erosiva da face praiial a jusante do espigão e o perfil P6 a morfologia deposicional da face praiial a montante.

A Praia da Ponta da Areia no setor III pode ser caracterizada como uma praia anexada (*mainland beaches*) devido a exposição permanente dos sedimentos do Membro Alcântara da Formação Itapecuru. Observando-se a morfologia do conjunto praia/falésias da ilha do Maranhão é possível afirmar que além de barreiras transgressivas, a maior parte do litoral do Maranhão pode ainda enquadrar-se mais especificamente na classificação de barreiras anexadas (*mainland beach barriers*).

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, Paolo. **Obras e Gestão de Portos e Costas – A Técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2005.
- ALVES, JOÃO; GOMES, FERNANDO VELOSO. **Estudo experimental de um recife artificial para surf e defesa costeira em materiais geossintéticos**. 6º Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, 2011.
- ALVES, M. M. S; EL-ROBRINI, M. **Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua, bragança – North Brazil**. IN: Proceedings of the 8th Internacioanal Coastal Symposium. Journal of Coastal Research, v.39. Itajaí, SC – Brasil. 2003.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C., DE SOUZA, M.C., 2006. **A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline**. Quaternary Science Review 25(5–6), 486–506.
- ARENS, S.M., 1996. **Rates of aeolian transport on a beach in a temperate humid climate**. Geomorphology, 17, p. 3-18.
- AZEVEDO, James W. J., 2012. **Assoreamento em ambientes costeiros e seus efeitos sobre a sustentabilidade: Estudo de caso da embocadura estuarina de São Luís- MA**. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Maranhão-UFMA, Dissertação de Mestrado, p. 84-100.
- BAUER, B.O.; SHERMAN, D.J.; NORDSTROM, K.F. e GARES, P.A., 1990. **Aeolian transport measurement and prediction across a beach and dune at castroville, California**. In: NORDSTROM, K.F., PSUTY, N.P. and CARTER, R.W.G. (ed.), *Coastal Dunes: Form and Process*. Chichester: Wiley, pp. 39-55.
- BEAUMONT, L. DE., 1885. **Leçons de Géologie pratique. Septième leçon**. Bertrand Paris, pp. 221-252.
- BHATTACHARYA, J. & WALKER, R.G. 1991. **Allostratigraphic subdivision of the Upper Cretaceous Dunvegan, Shaftesbury, and Kaskapau formations in the subsurface of northwestern Alberta**. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v. 39., p. 145-164.
- BIGARELLA, J.J., 1975. **The Barreiras Group in Northeastern Brazil**. Anais. Acad. Bras. Ciênc., Rio de Janeiro, 47(supl.): 365-393.
- BIGARELLA, J.J.; HARTKOPF, C.C.; SOBANSKI, A. & TREVISAN, N. 1955. **Textura superficial dos grãos de areias e arenitos (Contribuição à metodologia)**. Curitiba, Arq. Biol. Tecn., X(11): 253-275.
- BIRKEMEIER, W.A. 1981. **Fast Accurate Two-person beach survey**. Coastal Engineering Technical Aid 81- 11. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississipi, 22p.

BRANNER, J.C., 1902. **Geology along the Pernambuco coast south of Recife**. B. Geol. Soc. Amer., v.13: 58-92.

BUSH, D. M.; LONGO, N. J.; NEAL, W. J.; ESTEVES, L. S., PILKEY O. H.; PILKEY D. F.; WEBB, C. A. **“Living on the edge of the Gulf”**. The west Florida and Alabama Coast. Duke University Press, Durhan and London, 2001, 340 p.

CAPUTO, H. P. 1980. **Mecânica de solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro, *Editora Livro Técnicos e Científicos*.

CALLIARI L.J., MUEHE D., HOEFEL F.G., TOLDO JR. E.E., 2003. **Morfodinâmica praial: uma breve revisão**. Revista Brasileira de Oceanografia, 51: 63- 78.

CAMPBELL, D.F., 1949. **Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin**. Belém, Petrobras.

CERVEIRA, Gabriel Silva. 2018. **Origem e Evolução da Lagoa Da Jansen**. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão- UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, p. 48-51.

CLEROT L.C.P. 2004. **Estudo da Barreira IV na Região do Cassino, Rio Grande, RS: evolução e caracterização como reservatório**. Instituto de Geociências, UFRGS, Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia, 83p.

CURRAY, J.R., 1964. **Transgressions and regressions**. In: Miller, R.L. (Ed.), Papers in Marine Geology. Macmillan, New York, p. 175– 203.

DAVIS Jr., R.A. & HAYES, M.O., 1984. **What is a wave dominated coast?** Marine Geology, 60, 313-329.

DAVIS, R.A., JR. (ed.), 1994, **Geology of Holocene barrier island systems**. Springer-Verlag, 464 p. [Compilation of barrier studies from the United States with some global examples].

DEAN, R. G. 1973. **Heuristic models of sand transport in the surf zone**. In: CONFERENCE ON ENGINEERING DYNAMICS IN THE SURF ZONE. Sydney, 1973. Proceedings. Sydney, Institute of Engineers, p. 208-214.

DEAN, W.E. 1974. **Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods**. Journal of Sedimentary Petrology 44:242-248.

DE BEAUMONT, L.E., 1845. **Lecons de geologie pratique. Septieme lecon**. In: Schwartz, M.L. (Ed.), 1973. Barrier Islands, Benchmark Papers in Geology. Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA, vol. 9, pp. 5–43.

DILLENBURG, S. F. & HESP P. A. 2008, **Geology of Brazilian Coastal Barriers Series: Lecture Notes in Earth Sciences** , Vol. 107 Approx. 220 p.

DILLENBURG, Sérgio R.; HESP, Patrick A.. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, 2009. 390 p.

DILLENBURG, S.R; ROY, P.S; COWELL, P.J; & TOMAZELLI, L.J., 2000a. **Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by shoreface translation- barrier model (STM)**. Journal of coastal research, 16(1): 71-81.

DILLENBURG S.R., TOMAZELLI L.J., BARBOZA E.G. 2004. **Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil**. Marine Geology, Amsterdam, **203**:43-56.

DILLENBURG, S. R. et al. **Stratigraphy and evolution of a prograded transgressive dunefield barrier in southern Brazil**. Journal of Coastal Research, p. 132–135, 2006.

DOMINGUEZ, J.M. Landim; BITTENCOURT, A.C.S. Pinto; MARTIN, Louis. **Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ)**. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geofísica e Instituto de Geociências da UFBA. Revista Brasileira de Geociências, vol. 11(4), dez. 1981.

EL-ROBRINI, M.; MARQUES J, V.; SILVA, M.M.A.; EL-ROBRINI, M.H.S.; FEITOSA, A.C.; TAROUCO, J.E.F.; SANTOS, J.H.S.; VIAN, J. R. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro-Maranhão**. In: MUEHE, D. (Org.). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro-Maranhão. Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). Brasília: MMA, 2006.

FERREIRA JR., C.R.P., 1996. **Neotectônica na Bacia de São Luis**. Tese de mestrado, CPGG/UFPA: 139p.

FISCHER, Andrea; CALLIARI, Lauro Júlio. **Proposta para recuperação das áreas afetadas por erosão na praia estuarina do Barro Duro – Laguna dos Patos/RS**. Repositório Institucional da Universidade Federal do Rio Grande. FURG, Rio Grande, RS 2006.

FISHER, J.J., 1968. **Barrier island formation: discussion**. *Geological Society of America Bulletin* 79, 1421–1425.

FITZGERALD, D. M.; BUYNEVICH, I. V.. Coastal Barriers. In: ISLA, Federico Ignacio; IRIBARNE, Oscar. **Coastal zones and estuaries**. USA: Eolss, 2006. p. 164-189.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. *Journal Sedimentary Petrology*, 27(1):03-26.

FOLK RL, WARD WC. 1957. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26.

GILBERT, G.K., 1885. **The topographic features of Lake Shores**. In: Schwartz, M.L. (Ed.), 1973. *Barrier Islands, Benchmark Papers in Geology*. Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA, vol. 9, pp. 45–46.

GOLDSMITH, V., ROSEN, P., GERTNER, Y., 1990. **Aeolian transport measurements, winds, and comparison with theoretical transport in Israeli coastal dunes.** In: NORDSTROM, K.F., PSUTY, N., CARTER, R.W.G. EDS. , **Coastal Dunes — Form and Process.**Wiley, Chichester, pp. 79–103.

HAYES, M. O., 1979. **Barrier island morphology as a function of wave and tide regime,** in Leatherman, S. P. ed., **Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico:** Academic Press, New York, NY, pp 1-29.

HM - CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA LTDA (Maranhão). **Estudos da Evolução Morfológica da Embocadura Estuarina de São Luís – Caracterização Conceitual de Obra Costeira para Controle dos Processos Marítimos.** São Luís: Hm, 2007. 174 p

HOEFEL, F. **Morfodinâmica das praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica.** Univali, Itajaí – PR. 93 p. 1998.

HOYT, J.H., 1967. Barrier island formation. *Geological Society of America Bulletin* 79, 1125–1136.

HOYT, J.H., 1968. **Barrier island formation:** reply. *Geological Society of America Bulletin* 79, 1427–1432.

HOYT, J.H., 1969. **Chenier versus barrier, genetic and stratigraphic distinction.** *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 53, 299–306.

HOYT, J.H., 1970. **Development and migration of barrier islands, northern Gulf of Mexico: discussion.** *Geological Society of America* 81, 3779–3782.

HUGHEN, K. A.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E.; BECK, J. W.; BERTRAND, C. J.H.; BLACKWELL, P. G.; BUCK, C. E.; BURR, G. S.; CUTLER, K. B.; DAMON, P. E.; EDWARDS, R. L.; FAIRBANKS, R. G.; FRIEDRICH, M.; GUILDERTSON, T. P.; KROMER, B.; MCCORMAC, G.; MANNING, S.; BRONK R., C.; REIMER, P. J.; REIMER, RON W.; REMMELE, S.; SOUTHON, J. R.; STUIVER, M.; TALAMO, S.; TAYLOR, F.W.; PLICHT, J. VAN DER; WEYHENMEYER, C. E. 2004 *Marine04 Marine Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal kyr BP.* *Radiocarbon*, Vol 46, Nr 3, p 1059–1086.

INMET. 2017. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: Janeiro de 2018.

KOMAR, P. D. **Selective longshore transport rates of different grain-size fractions within a beach.** *Journal of Sedimentary Petrology*. v. 47, 1977.

KOWSMANN, R.O. & COSTA, M.P.A., (1979). **Evidence of late Quaternary sea level stillstands on the upper Brazilian continental margin: a synthesis.** In: 1978 International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary (Proceedings), São Paulo, p.170-195.

KRAFT, J.C., CHRZASTOWSKI, M.J., BELKNAP, D.F., TOSCANO, M.A., FLETCHER, C.H., 1987. **The transgressive barrier-lagoon coast of Delaware: morphostratigraphy, sedimentary sequences and responses to relative rise in sea level.** In: Nummedal, D., Pilkey, O.H., Howards, J.D. (Eds.), *Sea level fluctuation and coastal evolution*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, pp. 129-143.

KRAUS, N. C. 1985. **Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(1): 3-14.

KRUMBEIN, W.C., 1934. **Size frequency distributions of sediments, J. Sed. Petrology**, 4, 65-77.

KRUMBEIN, W.C. 1941. **Measurements and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles.** *Journal of Sed. Petrol.*, 11: 64-72. *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 107, 220 p.

LEATHERMAN, S.P. **A new eolian sand trap design.** *Sedimentology*, v. 25, p. 303-306, 1978.

LIMA L. G. 2012. **Estratigrafia e Evolução Holocênica de uma Barreira Costeira Transgressiva/Regressiva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil.** Programa de Pós graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. Tese de doutorado. 128p.

Lopes, R.C., Lavina, E.L.C., 2001. **Estratigrafia de sequências nas formações Rio Bonito e Parlermo (Bacia do Paraná), na região carbonífera do Jacuí, Rio Grande do Sul.** In: Ribeiro, H.J.P.S. (Org.), *Estratigrafia de Sequências: Fundamentos e Aplicações*. Edunisinos, São Leopoldo, pp. 391-419.

MASSELINK, G. 1993. **Simulating the effects of tides on beach morphodynamics.** *J. coast. Res.* SI 15:180-197.

MASSELINK, G. & SHORT. 1993. **The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model.** *J. coast. Res.*, 9(3):785- 800.

MCGEE, W.J., 1890. **Encroachments of the sea.** In: Schwartz, M.L. (Ed.), 1973. *Barrier Islands, Benchmark Papers in Geology*. Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA, 9, pp. 49–61.

MORTON, R. A.; SALLENGER JR., A. H. **Morphological Impacts of Extreme Storms on Sandy Beaches and Barriers.** *Journal of Coastal Research*, v. 19, n. 3, p. 560–573, 2003.

MUEHE, D. *Geomorfologia Costeira.* In: Cunha, D. S. e Guerra, T. J. A. (orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

MUNK, W.H. (1944). **Proposed uniform procedure for observing waves and interpreting instrument records.** La Jolla, California: Wave Project at the Scripps Institute of Oceanography.

MUNSELL COLOR COMPANY I. 2009. **Geological Rock-color charts**. Baltimore, Maryland.

NICOLODI, J.L., PETERMANN, R.M., 2010. **Climate Changes and Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects**. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 10(2):151-177 (2010).

OTVOS, E.G., 1970a. **Development and migration of barrier islands, northeastern Gulf of Mexico**. *Geological Society of America Bulletin* 81, 241–246.

OTVOS, E.G., 1970b. **Development and migration of barrier islands, northeastern Gulf of Mexico: reply**. *Geological Society of America Bulletin* 81, 3783–3788.

PYE, K., BOWMAN, G., 1984. **The Holocene marine transgression as a forcing function in episodic dune activity on the eastern Australian coast**. In: Thom, B.G. (Ed.), *Coastal Geomorphology in Australia*. Academic Press, Sydney, pp. 179–196.

PYE, K. AND TSOAR, H., 1990. **Aeolian Sand and Sand Dunes**. Unwin Hyman, London.

REIMER P.J., BAILLIE M.G.L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BERTRAND C., BLACKWELL P.G., BUCK C.E., BURR G., CUTLER K.B., DAMON P.E., EDWARDS R.L., FAIRBANKS R.G., FRIEDRICH M., GUILDERTSON T.P., HUGHEN K.A., KROMER B., MCCORMAC F.G., MANNING S., BRONK RAMSEY C., REIMER R.W., REMMELE S., SOUTHON J.R., STUIVER M., TALAMO S., TAYLOR F.W., VAN DER PLICHT J., E WEYHENMEYER C.E., 2004. **Radiocarbon** 46:1029-1058.

REINSON, G.E. 1992. **Transgressive Barrier Island and estuarine systems**. In: Walker RG, James NP (ed) *Fácies models – response to sea level change*. Geological Association of Canada, Stittsville, pp 179–194.

RODRIGUES, T. L. N.; ARAÚJO, C.C.; CAMAZZATO, E.; RAMGRAB, G.E. (Orgs.). **São Luís, Folha SA23-2-A, Cururupu, Folha SA-23-X-C, escala 1: 1.000.000**. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 1994.185 p.

ROY P.S., COWELL P.J., FERLAND M.A. e THOM B.G. 1994. **Wave Dominated Coasts**. In: CARTER R.W.G. e WOODROFFE CD (Ed.), *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, Cambridge: Cambridge University Press, p. 121-186.

ROSEN, P. S., 1978. **An Efficient, Low-Cost, Aeolian Sediment Sampling System**: *Geological Survey of Canada Paper* 78-1A, p.531-532.

SANDERS, J.E. e KUMAR, N., 1975. **Evidence of shoreface retreat and in place “drowning” during Holocene submergence of barriers, shelf off Fire Island, New York**. *Geological Society of America Bulletin* 86:65–76.

SHERMAN, D.J. e BAUER, B.O. 1993. **Dynamics of beach-dune systems**. *Progr. Phys. Geogr.* 17: 413-447.

- SHORT, A. D. 1979a. **Wave power and beach stages: A global model.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16. Hamburg, 1978. Proceedings. Hamburg, ASCE. p. 1045-1062.
- SHORT, A. D. 1979b. **Three dimensional beach stage model.** J. Geol., 87(5):553-571.
- SHORT, A. D. 1981. **Beach response to variation in breaker height.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 17. Sydney, 1981. Proceedings. Sydney, ASCE. p. 1016-1035.
- SHORT, A. D. 1982. **Morphodynamics of a macrotidal beach.** Mar. Geol. 50(1-2):97-128.
- SHORT, A.D. e HESP, P.A. (1982) **Wave, Beach and Dune interactions in South Eastern Australia.** Marine Geology 48: 259-284.
- SOUZA, Marco Antônio de Lyra. **Benefícios Ambientais no Controle de Erosão Costeira com o Uso do Dissipador de Energia “Bagwall” no Litoral de Alagoas.** Revista da Gestão Costeira Integrada, Maceió, v. 8, n.2, p. 139-148, nov. 2008.
- SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; EL-ROBRINI, M. **Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil.** Journal of Coastal Research. v.35, p. 580-589. 2003.
- STOKES, G.G., 1851. **On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums.** Transactions of the Cambridge Philosophical Society, Part II, 9, 8-106.
- STREIF, H.J. 1989. **Barrier islands, tidal flats, and coastal marshes resulting from a relative rise of sea level in East Frisia and German North Sea Coast.** Proc. KNGMG Symp. Coastal Lowlands: Geology and Geotechnology, pp. 213-223.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** 1º Edição, São Paulo, Edgard Blucher Ltda. 1973,317p.
- SUGUIO, K; MARTIN, L. 1978. **Quaternary formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro.** In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo (SP).
- SWIFT, D.J.P., 1976. **Continental shelf sedimentation.** In: Stanley, D., Swift, D.J.P. (Eds.), Marine Sediment Transport and Environmental Management. John Wiley & Sons, New York, pp. 311 –350.
- TALMA, A. S., VOGEL, J. C., 1993. **A Simplified Approach to the Calibration of Radiocarbon Dates.** Radiocarbon 35 (2), p317-322.
- TOMAZELLI L.J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul - com ênfase no sistema eólico.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 270p.

TOMAZELLI L.J., DILLENBURG S.R., VILLWOCK J.A. 2000. **Late Quaternary Geological History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil**. Revista Brasileira de Geociências, Porto Alegre, **30(3)**:470-472.

USACE. 1995. Beach Morphology Analysis Package (BMAP). **Coastal Engineering Technical Notes (CETN II-34)**, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory. Vicksburg: [s.n.].

VILLWOCK J.A., TOMAZELLI L.J., LOSS E.L., DEHNHARD E.A., HORN FILHO N.O., BACHI F.A., DEHNHARDT B.A. 1986. **Geology of the Rio Grande do Sul coastal province**. In: J. Rabassa (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam, 4:79-97.

VILLWOCK, J.A. 1987. **Processos costeiros e a formação das praias arenosas e campos de dunas ao longo da costa sul e sudeste brasileira**. Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira: síntese dos conhecimentos. Cananéia-SP: Academia de ciências do estado de São Paulo, 1987. p.380- 399.

VILLWOCK J.A. & TOMAZELLI L.J. 1995. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas, Porto Alegre, 8:1-45.

WANG, P.; KRAUS, N.C. and DAVIS Jr. R. A. 1998. **Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions**. Journal of Coastal Research, 14(1): 269-282.

WENTWORTH, C. K. 1922. **A scale of grade and class terms for clastic sediments**. J. Geology 30:377-392.

WETZEL, R.G. 1975. **W.B.** Saunders Company, Philadelphia, London and Toronto. Xii. Limnology. 743 p.

WOODROFFE, C.D., 2002. **Coasts: Form, Process and Evolution**. Cambridge University Press, 638 pp.

WRIGHT, L. D.; CHAPPELL, J.; THORN, B.G.; BRADSHAW, M. P. e COWELL, P. 1979. **Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia**. Mar. Geol., 32(1-2):105-140.

WRIGHT, L. D. e SHORT, A. D. 1983. **Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia**. In: Komar P. D. ed. Handbook of coastal processes and erosion. Boca Raton, CRC Press, p. 35-64.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. & GREEN, M. O. 1985. **Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model**. Mar. Geol., 62(3-4):339-364.

WRIGHT, L. D.; THORN, B. G. e CHAPPELL, J. 1978. **Morphodynamic variability of high energy beaches**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16. Hamburg, 1978. Proceedings. Hamburg, ASCE. p. 1180- 1194.

ZEMBRUSCKI, S.G.; GORINI, M.A.; PALMA, J.J.C. & COSTA, M.P.A., 1971. **Fisiografia e Distribuição dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Brasileira.** Boletim Técnico da PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 14 (3/4):127-55.

APÊNDICE

Apêndice 1- Classificação verbal da sondagem SP1.

Prof	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
3,226	2,655	Areia fina	2,482	0,6572	Moderadamente selecionado	0,3322	Muito positiva	0,8516	Platicúrtica	0	100	0	0
3,126	2,996	Areia fina	3,01	0,5563	Moderadamente selecionado	-0,02061	Aproximadamente simétrica	0,9287	Mesocúrtica	0	100	0	0
3,026	2,81	Areia fina	2,755	0,5675	Moderadamente selecionado	0,1636	Positiva	1,053	Mesocúrtica	0	100	0	0
2,926	2,584	Areia fina	2,584	0,411	Bem selecionado	0,1049	Positiva	0,9379	Mesocúrtica	0	100	0	0
2,826	2,47	Areia fina	2,439	0,5769	Moderadamente selecionado	-0,132	Positiva	1,447	Leptocúrtica	0	100	0	0
2,726	3,039	Areia muito fina	2,925	0,6444	Moderadamente selecionado	0,1671	Positiva	0,6728	Platicúrtica	0	100	0	0
2,626	3,114	Areia muito fina	3,112	0,577	Moderadamente selecionado	-0,06048	Aproximadamente simétrica	0,8696	Platicúrtica	0	100	0	0
2,526	2,819	Areia fina	2,797	0,4991	Bem selecionado	0,09188	Aproximadamente simétrica	1,037	Mesocúrtica	0	100	0	0
2,426	2,71	Areia fina	2,672	0,5426	Moderadamente selecionado	0,1788	Positiva	1,174	Leptocúrtica	0	100	0	0
2,326	2,793	Areia fina	2,791	0,46	Bem selecionado	-0,007756	Aproximadamente simétrica	0,9004	Mesocúrtica	0	100	0	0
2,226	2,309	Areia fina	2,366	0,6527	Moderadamente selecionado	-0,1267	Negativa	1,106	Mesocúrtica	0	100	0	0
2,126	2,743	Areia fina	2,746	0,4887	Bem selecionado	-0,0117	Aproximadamente simétrica	0,8205	Platicúrtica	0	100	0	0
2,026	2,945	Areia fina	3,02	0,525	Moderadamente selecionado	-0,1617	Negativa	0,9716	Mesocúrtica	0	100	0	0
1,926	2,869	Areia fina	2,937	0,5996	Moderadamente selecionado	-0,1331	Negativa	0,9455	Mesocúrtica	0	100	0	0
1,826	2,82	Areia fina	2,834	0,4616	Bem selecionado	-0,06472	Aproximadamente simétrica	0,8573	Platicúrtica	0	100	0	0
1,726	2,672	Areia fina	2,652	0,46	Bem selecionado	0,08434	Aproximadamente simétrica	0,8362	Platicúrtica	0	100	0	0
1,626	2,823	Areia fina	2,863	0,4647	Bem selecionado	-0,1444	Negativa	0,837	Platicúrtica	0	100	0	0
1,526	2,808	Areia fina	2,841	0,487	Bem selecionado	-0,1081	Negativa	0,7888	Platicúrtica	0	100	0	0
1,426	2,796	Areia fina	2,807	0,4591	Bem selecionado	-0,05437	Aproximadamente simétrica	0,8895	Platicúrtica	0	100	0	0
1,326	2,573	Areia fina	2,557	0,406	Bem selecionado	0,1342	Positiva	0,873	Platicúrtica	0	100	0	0
1,226	2,74	Areia fina	2,743	0,4257	Bem selecionado	-0,009805	Aproximadamente simétrica	1,059	Mesocúrtica	0	100	0	0
1,126	2,014	Areia fina	2,159	0,978	Moderadamente selecionado	-0,3968	Muito negativa	1,68	Muito leptocúrtica	6,569	93,43	0	0
1,066	2,153	Areia fina	2,228	0,7245	Moderadamente selecionado	-0,1967	Negativa	1,215	Leptocúrtica	1,861	98,14	0	0
1,026	2,193	Areia fina	2,249	0,6846	Moderadamente selecionado	-0,1775	Negativa	1,34	Leptocúrtica	1,253	98,75	0	0
0,926	2,237	Areia fina	2,272	0,7056	Moderadamente selecionado	-0,1962	Negativa	1,633	Muito leptocúrtica	3,853	96,15	0	0
0,856	2,542	Areia fina	2,53	0,5592	Moderadamente selecionado	-0,06346	Aproximadamente simétrica	1,12	Leptocúrtica	0,868	99,13	0	0
0,826	2,385	Areia fina	2,403	0,6302	Moderadamente selecionado	-0,123	Negativa	1,281	Leptocúrtica	1,965	98,04	0	0
0,756	2,159	Areia fina	2,303	1,041	Pobremente selecionado	-0,3693	Muito negativa	1,623	Muito leptocúrtica	7,191	92,81	0	0
0,726	2,286	Areia fina	2,414	1,004	Pobremente selecionado	-0,3455	Muito negativa	1,557	Muito leptocúrtica	3,683	96,32	0	0
0,626	2,587	Areia fina	2,63	0,4711	Bem selecionado	-0,1555	Negativa	1,137	Leptocúrtica	0,7125	99,29	0	0
0,556	2,087	Areia fina	2,308	1,242	Pobremente selecionado	-0,3801	Muito negativa	1,226	Leptocúrtica	5,518	94,48	0	0
0,526	2,564	Areia fina	2,689	1,058	Pobremente selecionado	-0,448	Muito negativa	1,973	Muito leptocúrtica	5,049	94,95	0	0
0,506	1,977	Areia média	2,18	1,133	Pobremente selecionado	-0,3376	Muito negativa	1,167	Leptocúrtica	9,093	90,91	0	0
0,426	2,785	Areia fina	2,812	0,5467	Moderadamente selecionado	-0,2141	Negativa	1,269	Leptocúrtica	1,806	98,19	0	0
0,326	2,566	Areia fina	2,55	0,5256	Moderadamente selecionado	-0,02414	Aproximadamente simétrica	1,1	Mesocúrtica	0,4161	99,58	0	0
0,226	2,327	Areia fina	2,328	0,6112	Moderadamente selecionado	-0,09559	Aproximadamente simétrica	1,456	Leptocúrtica	2,05	97,95	0	0
0,126	2,266	Areia fina	2,279	0,582	Moderadamente selecionado	-0,1784	Negativa	1,744	Muito leptocúrtica	2,739	97,26	0	0
0,026	2,104	Areia fina	1,91	0,5486	Moderadamente selecionado	0,4959	Muito positiva	0,7444	Platicúrtica	1,127	98,87	0	0
-0,034	2,39	Areia fina	2,332	0,4461	Bem selecionado	0,1224	Positiva	1,232	Leptocúrtica	0	100	0	0
-0,074	2,377	Areia fina	2,315	0,4043	Bem selecionado	0,1942	Positiva	1,328	Leptocúrtica	0	100	0	0
-0,174	2,588	Areia fina	2,549	0,5034	Moderadamente selecionado	0,07368	Aproximadamente simétrica	0,9454	Mesocúrtica	0,3377	99,66	0	0
-0,274	2,569	Areia fina	2,589	0,4264	Bem selecionado	0,06671	Aproximadamente simétrica	0,8759	Platicúrtica	0	100	0	0
-0,374	2,53	Areia fina	2,506	0,3953	Bem selecionado	0,1619	Positiva	0,8798	Platicúrtica	0	100	0	0
-0,474	2,577	Areia fina	2,58	0,4014	Bem selecionado	0,07724	Aproximadamente simétrica	0,8923	Platicúrtica	0	100	0	0
-0,574	2,6	Areia fina	2,607	0,4046	Bem selecionado	0,0587	Aproximadamente simétrica	0,8948	Platicúrtica	0	100	0	0
-0,674	2,54	Areia fina	2,515	0,3946	Bem selecionado	0,1678	Positiva	0,8799	Platicúrtica	0	100	0	0
-0,774	2,644	Areia fina	2,681	0,3761	Bem selecionado	-0,05047	Aproximadamente simétrica	1,055	Mesocúrtica	0	100	0	0
-0,794	2,543	Areia fina	2,526	0,4372	Bem selecionado	0,1023	Positiva	0,9374	Mesocúrtica	0	100	0	0

Apêndice 2- Classificação verbal da sondagem SP2.

Prof	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curiose	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
-0,224	2,641	Areia fina	2,643	0,4633	Bem selecionado	0,009068	Aproximadamente simétrica	0,9311	Mesocúrtica	0,2486	99,03	0,7198	0
-0,274	2,712	Areia fina	2,71	0,462	Bem selecionado	0,02492	Aproximadamente simétrica	0,9543	Mesocúrtica	0,08324	96,78	1,134	0
-0,374	2,523	Areia fina	2,493	0,424	Bem selecionado	0,1678	Positiva	0,9322	Mesocúrtica	0	99,65	0,3473	0
-0,474	2,72	Areia fina	2,731	0,4871	Bem selecionado	-0,04997	Aproximadamente simétrica	0,8645	Platicúrtica	0	99,61	0,39	0
-0,574	2,49	Areia fina	2,446	0,4339	Bem selecionado	0,1627	Positiva	0,956	Mesocúrtica	0	99,92	0,08203	0
-0,674	2,676	Areia fina	2,686	0,5705	Moderadamente selecionado	-0,107	Negativa	0,9419	Mesocúrtica	0,04799	99,62	0,3299	0
-0,774	2,778	Areia fina	2,815	0,5151	Moderadamente selecionado	-0,158	Negativa	0,8982	Platicúrtica	0	99,55	0,4473	0
-0,874	2,963	Areia fina	3,015	0,4374	Bem selecionado	-0,2489	Negativa	0,9018	Mesocúrtica	0,3521	96,23	1,416	0
-0,984	2,988	Areia fina	3,049	0,4628	Bem selecionado	-0,2246	Negativa	1,013	Mesocúrtica	0,5596	97,58	1,857	0
-1,064	2,744	Areia fina	2,753	0,4933	Bem selecionado	-0,05197	Aproximadamente simétrica	0,9148	Mesocúrtica	0,2472	97,92	1,829	0
-1,174	2,774	Areia fina	2,778	0,4396	Bem selecionado	-0,03183	Aproximadamente simétrica	0,984	Mesocúrtica	0	99,75	0,254	0
-1,274	2,802	Areia fina	2,803	0,4542	Bem selecionado	-0,03183	Aproximadamente simétrica	0,9492	Mesocúrtica	0	98,58	1,424	0
-1,374	2,818	Areia fina	2,838	0,4619	Bem selecionado	-0,09829	Aproximadamente simétrica	0,9103	Mesocúrtica	0	99,7	0,2982	0
-1,474	3	Areia fina	3,07	0,4693	Bem selecionado	-0,2383	Negativa	1,018	Mesocúrtica	0	99,6	0,4007	0
-1,574	2,762	Areia fina	2,765	0,4455	Bem selecionado	-0,02368	Aproximadamente simétrica	1,023	Mesocúrtica	0	99,54	0,4591	0
-1,674	2,74	Areia fina	2,744	0,4555	Bem selecionado	-0,009046	Aproximadamente simétrica	0,955	Mesocúrtica	0,1137	99,26	0,6282	0
-1,774	2,575	Areia fina	2,569	0,4249	Bem selecionado	0,09701	Aproximadamente simétrica	0,8787	Platicúrtica	0	98,43	0,5737	0
-1,874	2,714	Areia fina	2,722	0,4559	Bem selecionado	-0,01536	Aproximadamente simétrica	0,9301	Mesocúrtica	0	99,73	0,2707	0
-1,974	2,638	Areia fina	2,638	0,4519	Bem selecionado	0,082	Aproximadamente simétrica	0,9071	Mesocúrtica	0	98,58	1,418	0
-2,134	2,767	Areia fina	2,779	0,4766	Bem selecionado	-0,04693	Aproximadamente simétrica	0,8643	Platicúrtica	0	99,47	0,526	0
-2,214	2,729	Areia fina	2,732	0,4577	Bem selecionado	-0,0005894	Aproximadamente simétrica	0,9782	Mesocúrtica	0	99,13	0,874	0
-2,264	2,827	Areia fina	2,849	0,4731	Bem selecionado	-0,07191	Negativa	0,8865	Platicúrtica	0	98,77	0,2328	0
-2,304	2,99	Areia fina	3,079	0,5233	Moderadamente selecionado	-0,2635	Negativa	1,156	Leptocúrtica	0	97,35	2,649	0
-2,574	2,824	Areia fina	2,915	0,6446	Moderadamente selecionado	-0,3259	Muito negativa	1,189	Leptocúrtica	0	99,16	0,8449	0
-2,674	2,761	Areia fina	2,759	0,4789	Bem selecionado	0,002455	Aproximadamente simétrica	0,8956	Platicúrtica	0,01612	99,98	0	0
-2,774	2,698	Areia fina	2,72	0,5722	Moderadamente selecionado	-0,1601	Negativa	1,083	Mesocúrtica	0,7814	99,22	0	0
-2,874	3,187	Areia muito fina	3,23	0,9333	Moderadamente selecionado	-0,2066	Negativa	2,386	Muito leptocúrtica	2,742	87,79	7,971	1,5
-2,974	3,05	Areia muito fina	3,131	0,6153	Moderadamente selecionado	-0,353	Muito negativa	1,571	Muito leptocúrtica	0,5702	99,43	0	0
-3,074	2,983	Areia fina	3,051	0,5082	Moderadamente selecionado	-0,1847	Negativa	1,01	Mesocúrtica	0,1903	99,81	0	0
-3,174	3,067	Areia muito fina	3,161	0,7171	Moderadamente selecionado	-0,3193	Muito negativa	1,263	Leptocúrtica	0,3255	99,67	0	0
-3,274	3,06	Areia muito fina	3,13	0,5147	Moderadamente selecionado	-0,2275	Negativa	1,147	Leptocúrtica	0,5328	99,47	0	0
-3,374	2,88	Areia fina	2,988	0,694	Moderadamente selecionado	-0,3697	Muito negativa	1,449	Leptocúrtica	1,006	96,99	0	0
-3,474	2,903	Areia fina	3,003	0,7504	Moderadamente selecionado	-0,3953	Muito negativa	1,704	Muito leptocúrtica	2,983	97,02	0	0
-3,574	2,996	Areia fina	3,027	0,4744	Bem selecionado	-0,1763	Negativa	1,055	Mesocúrtica	1,192	96,81	0	0
-3,674	2,256	Areia fina	2,621	1,395	Pobremente selecionado	-0,4514	Muito negativa	1,064	Mesocúrtica	5,429	94,57	0	0
-3,774	3,077	Areia muito fina	3,172	0,6313	Moderadamente selecionado	-0,4562	Muito negativa	2,255	Muito leptocúrtica	2,27	97,73	0	0
-3,874	3,438	Areia muito fina	3,407	0,3114	Muito bem selecionado	0,142	Positiva	0,7661	Platicúrtica	0,4738	96,53	0	0
-3,974	3,388	Areia muito fina	3,33	0,3926	Bem selecionado	0,1976	Positiva	1,301	Leptocúrtica	0,06214	94,21	5,427	0,3007
-4,074	3,459	Areia muito fina	3,413	0,3842	Bem selecionado	0,2695	Positiva	0,9655	Mesocúrtica	0,05	93,32	6,126	0,5
-4,174	3,496	Areia muito fina	3,477	0,3652	Bem selecionado	0,1483	Positiva	0,8768	Platicúrtica	0,148	93,88	5,268	0,7001
-4,274	3,748	Areia muito fina	3,71	0,524	Moderadamente selecionado	0,1914	Positiva	1,359	Leptocúrtica	0,01	78,7	19,79	1,501
-4,374	3,782	Areia muito fina	3,729	0,5678	Moderadamente selecionado	0,1774	Positiva	1,308	Leptocúrtica	0,05614	75	24,04	0,9022
-4,574	2,975	Areia fina	2,983	0,396	Bem selecionado	-0,1176	Negativa	0,9019	Mesocúrtica	0,1225	98,88	0	0
-4,704	2,897	Areia fina	2,838	0,9118	Moderadamente selecionado	0,4207	Muito positiva	2,677	Muito leptocúrtica	0,05801	90,43	6,611	2,9
-4,814	2,817	Areia fina	2,777	0,7517	Moderadamente selecionado	0,3406	Muito positiva	2,122	Muito leptocúrtica	0,146	92,09	5,464	2,3
-4,924	2,69	Areia fina	2,701	0,4241	Bem selecionado	0,002759	Aproximadamente simétrica	1,014	Mesocúrtica	0,2819	99,72	0	0
-5,074	2,669	Areia fina	2,679	0,4276	Bem selecionado	0,01576	Aproximadamente simétrica	0,9619	Mesocúrtica	0,1203	99,88	0	0

Apêndice 3- Classificação verbal da sondagem SV1.

Profundidade	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
1,305	2,724	Areia fina	2,732	0,4289	Bem selecionado	-0,01369	Aproximadamente simétrica	1,035	Mesocúrtica	0,00612	99,99	0	0
0,785	2,992	Areia fina	3,026	0,5303	Moderadamente selecionado	0,004181	Aproximadamente simétrica	1,301	Leptocúrtica	0,02206	94,42	4,156	1,404
0,345	2,72	Areia fina	2,725	0,4762	Bem selecionado	-0,0109	Aproximadamente simétrica	0,8187	Platicúrtica	0,5865	99,41	0	0
0,275	2,758	Areia fina	2,771	0,4719	Bem selecionado	-0,04373	Aproximadamente simétrica	0,8158	Platicúrtica	0,7767	99,22	0	0
0,175	2,861	Areia fina	2,867	0,4265	Bem selecionado	-0,07828	Aproximadamente simétrica	0,9018	Mesocúrtica	0,09943	99,9	0	0
0,125	4,176	Silte grosso	3,412	1,619	Pobremente selecionado	0,5629	Muito positiva	0,6677	Muito platicúrtica	0,8739	58,38	39,15	1,596
-0,095	5,96	Silte médio	6,199	1,545	Pobremente selecionado	-0,2076	Negativa	0,6633	Muito platicúrtica	0	14,17	82,43	3,398
-0,195	6,028	Silte fino	6,29	1,548	Pobremente selecionado	-0,2378	Negativa	0,6595	Muito platicúrtica	0	12,88	83,32	3,803
-0,425	6,269	Silte fino	6,776	1,56	Pobremente selecionado	-0,4626	Muito negativa	0,6986	Platicúrtica	0	10,09	85,51	4,395
-0,595	4,888	Silte grosso	4,662	1,736	Pobremente selecionado	0,1357	Positiva	0,7754	Platicúrtica	0,2283	38,93	57,84	3,004
-0,755	5,317	Silte médio	4,859	1,744	Pobremente selecionado	0,3077	Muito positiva	0,5768	Muito platicúrtica	0	39,79	55,8	4,412
-0,995	6,221	Silte fino	6,837	1,687	Pobremente selecionado	-0,4847	Muito negativa	0,7798	Platicúrtica	0	15,16	79,24	5,599
-1,195	6,312	Silte fino	6,413	1,173	Pobremente selecionado	-0,1669	Negativa	1,113	Leptocúrtica	0,008002	4,197	91,79	4,001
-1,595	6,928	Silte fino	7,219	0,9514	Moderadamente selecionado	-0,4478	Muito negativa	0,8805	Platicúrtica	0	3,055	92,4	4,55