



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Valléria Vieira Pereira

**INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA
MORFODINÂMICA DO SISTEMA PRAIA/DUNA NA PRAIA DO CALHAU,
SÃO LUÍS – MA.**

SÃO LUÍS, MA/2018

Valléria Vieira Pereira

**INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA
MORFODINÂMICA DO SISTEMA PRAIA/DUNA NA PRAIA DO CALHAU,
SÃO LUÍS – MA.**

Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em
Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão, como requisito
para a obtenção do grau de Bacharela
em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves
de Lima

SÃO LUÍS, MA/2018

Pereira, Valléria Vieira.

INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA MORFODINÂMICA DO SISTEMA PRAIA/DUNA NA PRAIA DO CALHAU, SÃO LUÍS - MA/ Valléria Vieira Pereira. 2018.

83 f.

Monografia apresentada à Universidade Federal do Maranhão como requisito exigido para a conclusão do curso de Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima.

1. Morfologia. 2. Vegetação. 3. Dunas Costeiras. 4. Índice de Vulnerabilidade.

VALLÉRIA VIEIRA PEREIRA

**INFLUÊNCIA DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA
MORFODINÂMICA DO SISTEMA PRAIA/DUNA NA PRAIA DO CALHAU,
SÃO LUÍS – MA.**

Monografia apresentada ao
Curso de Graduação em
Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão, como requisito
para a obtenção do grau de Bacharela
em Oceanografia.

Aprovada em ____ de _____ de _____

Banca Examinadora

Nome do Professor

Nome do Professor

Nome do Professor

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado ao meu pai que, involuntariamente, me incentivou
a trilhar o caminho do Oceano

AGRADECIMENTOS

Na conclusão dessa etapa da minha vida gostaria de agradecer à:

Ao meu pai, Aldo Augusto, que durante o tempo que passou comigo conseguiu me mostrar o amor ao mar e o quanto ele consegue ser intrigante.

À minha mãe, Josefa Sena, por me incentivar e apoiar nas minhas decisões de sair de casa para seguir meu sonho de ser oceanógrafa, à senhora todo mérito por essa conquista.

À minha irmã, Jennifer, por entender a minha ausência durante esse tempo longe de casa, e mesmo sendo tão pequena ser uma das minhas fontes de força e persistência.

À minha prima Letícia que foi a minha primeira amiga em São Luís e que ajudou na época de adaptação à cidade nova. Obrigada golfinho.

Ao meu orientador Leonardo Gonçalves pela oportunidade de entrar no LEOG e pelo tempo dedicado à minha formação durante os 4 anos de orientação.

Aos meus colegas “LEOG’s” que me ajudaram na realização dos campos, encarando sol quente e areia mais quente ainda. Meu muito obrigada, sem vocês eu não teria conseguido.

Aos oceanógrafos Brunno Franco e Matheus Seguins que me deram suporte e motivação quando eu precisava e quando não precisava também. Obrigada por tudo.

Às minhas sereias, Thaís e Laiane, melhores seres que eu poderia ter conhecido, as irmãs que eu escolhi não lembramos muito bem quando e nem como, mas que me ajudaram a manter a sanidade nesse mundo hostil que a universidade consegue ser. Toda a minha gratidão a vocês duas. Facção Carinhosa ê ê!

À uma parte da família que o Maranhão me deu, *Léozinho*, *Rennan* e *Anso*. Obrigada pelo álcool consumido enquanto ouviam sobre meus desesperos com meu trabalho e vida acadêmica e pelo tanto que vocês tiveram paciência e carinho comigo nesses cinco anos. Em especial às melhores *roommates* que eu poderia ter tido durante minha estadia na Residência Universitária, Léia Cardoso e Suiara Tavares, obrigada por aguentarem as minhas inúmeras fases.

A todos muito obrigada!

RESUMO

O estudo da morfologia costeira tem sido incentivado durante as últimas décadas a fim de obter um modelo conceitual que auxilie como recuperar e/ou manter as atuais posições da linha de costa. Dentre os ambientes mais dinâmicos da zona costeira, pode-se citar as praias e dunas, onde as dunas são formadas a partir da interação entre três elementos essenciais: vento, areia e vegetação. A área de estudo compreende uma faixa de campo de dunas de aproximadamente 2,5 kms, localizada na Praia do Calhau, situada na parte norte da cidade de São Luís no estado do Maranhão. O presente estudo visa caracterizar os fatores naturais e antrópicos que controlam a morfologia do sistema dunas da praia do Calhau, localizada na cidade de São Luís, durante o período de estiagem (julho a novembro) durante o ano de 2017. Os métodos utilizados para o monitoramento da morfologia praia/duna foram o de perfis praias, realizados em três dunas distintas nos meses de julho, setembro, outubro e dezembro do ano de 2017, totalizando 12 perfis, sendo 3 em cada mês. Para o acompanhamento do sedimento transportado para o sistema dunar foi utilizado o método de armadilhas. Para a avaliação da taxonomia da flora componente foram utilizadas chaves dicotômicas, enquanto para a quantificação da área de cobertura vegetal foi utilizado o software QGIS, onde foram criados polígonos sobre a vegetação para mensurar a área, em imagens prévias dos anos de 2009, 2015 e 2017. A fim de caracterizar a vulnerabilidade do campo de dunas da área de estudo foi utilizado o método do Índice de Vulnerabilidade em forma de *Checklists* aplicados às 14 dunas da orla da Praia do Calhau e depois foram gerados gráficos de polígonos para expressar a seção do *Checklists* responsável pelo índice de vulnerabilidade da duna. A duna monitorada pelo perfil 1 apresentou caráter erosivo na ordem de $-9,41 \text{ m}^3/\text{m}$, logo após nota-se acreção entre os meses de outubro e dezembro. Esta fase acrescida resulta em $444,4 \text{ m}^3/\text{m}$ de areia acrescida ao perfil. O perfil 2 apresentou comportamento semelhante ao perfil 1 obtendo variação do pacote sedimentar maior nos meses entre setembro e outubro na ordem de $280,63 \text{ m}^3/\text{m}$ de sedimento acrescidos ao perfil 2. A duna referente ao perfil 3 apresentou acreção no mês de dezembro, onde se observou o aparecimento do sistema de duplo banco, formado na porção intermediária da face praial. Através das armadilhas eólicas de sedimento foi possível estimar a quantidade de sedimento transportada pelo vento e seu padrão de granulometria. Quanto à granulometria do sedimento coletado através do transporte eólico, há um predomínio de areia fina, bem selecionada e um padrão de diminuição na granulometria a medida que o coletor se aproximava do topo da duna. Os índices de vulnerabilidade, *checklists*, mostraram a seção C, que compreende os eventos nos 200 m adjacentes ao mar, como a seção de maior influência nos índices de vulnerabilidade obtidos para o campo de dunas. A duna de número 7 foi a única que atingiu valores de vulnerabilidade maiores de 61%, enquanto as outras 13 foram classificadas entre 41 e 60%. O campo de dunas possui forças naturais e antrópicas que alteram sua resiliência e sua morfologia, o que causa transtornos não só à população, quando ao próprio ambiente, alterando sua capacidade de se recuperar de eventos de estresses e suportar as adversidades climáticas ao qual são submetidas durante o período seco e chuvoso.

PALAVRA-CHAVE: Dunas frontais, morfodinâmica, vegetação, índice de vulnerabilidade.

ABSTRACT

The coastal morphology study has been encouraged during the last decades to obtain a conceptual model that helps to recover or maintain the actual position of the coastal line. Among the most dynamical environments of the coastal zone, it can be quoted the beaches and fore dunes that can be formed by the interaction between three essential elements: wind, sand and vegetation. The study area comprehend a part of the dune's field of 2,5 km localized on Calhau's beach on the north of São Luís city on Maranhão state. This study aim to characterize natural and anthropic factors that controls the morphology of the dune field system on Calhau's beach, localized on São luís city during the dry period (July to December). The methods used to monitor de beach/dune morphology was beach profiling topography, done in three dunes during July, September, October and December of 2007 totalizing 12 profiles, 3 per month. To observe the sediment transported to the dune field system it was used the sand trap method. To evaluate the vegetation taxonomy was used dichotomous key and in order to quantify the vegetation cover was user qgis software where was created polygons on the limits of vegetation to measure the area, using historical images of 2009, 2015 and 2017. For the purpose of characterize the dune field vulnerability of the study area it was used the vulnerability index method that consists in Checklists applied to 14 dunes on the seashore of Calhau's beach and after the data collected it were reproduced on polygons charts to express the section that was responsible for the vulnerability index of the dune studied. The dune monitored by the topographic profile 1 presented erosive character of 9,41 m³/m, and after that it has been noted accretion between October and December. This accretional phase results in 444.4 m³/m of sand being accreted to this profile. The profile 2 presented a similar behavior to profile 1 obtaining then major variation on the sedimentary package on September and October in order of 280.63 m³/m of sediment being accreted to profile 2. The dune of profile 3 shown accretion on December where it can be noticed the appearance of a system of double bench formed in the intermediary portion of the beach face. Through the Aeolian traps of sediment was possible estimate the amount of sediment that is transported by the wind and the pattern in the granulometry. Therefore the granulometry of the sediment that was collected through the Aeolian transport, the is a predominance of fine sand, well selected and a pattern of decrease in the granulometry as long as the trap goes in the direction of the dune top. The vulnerability index, checklists, showed that section C, that comprehends the events that takes place in the 200 adjacent to the sea, has the most influence in the indexes obtained on the dune field. Dune number 7 was the only one that reached vulnerability values higher than 60%, while the other 13 were classified between 41 and 60%. The dune field has naturals and anthropic characteristics that change the resilience capacity and its morphology, this causes trouble to the population and to the environment changing the capacity of recovering by stress events, and to tolerate the climatic adversities that the dune field can be submitted during the raining and dry period.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplificação das quatro classes nas quais estão divididos os acontecimentos morfodinâmicos em escalas temporais e espaciais.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2: Localização da área de estudo compreendendo toda a extensão da Praia do Calhau, São Luís – MA.	Erro! Indicador não definido.
Figura 3: Representação do método de Birkemeier (1981).....	21
Figura 4: Mapa de localização dos perfis topográficos 1, 2 e 3 em uma área da praia do Calhau.....	22
Figura 5: Armadilhas verticais posicionadas ao longo da duna e pós-praia dentro do Perfil 3.....	23
Figura 6a: Medida total da armadilha e da abertura. 6b: Malha tamanho 0,062 mm.....	24
Figura 7: Armadilhas eólicas baseadas no modelo de ROSEN (1978).	25
Figura 8: Biruta – medição da direção do vento.....	26
Figura 9: Anemôm para medição da velocidade média do vento.....	26
Figura 10: Peneiras para separação dos grãos em intervalo de $\frac{1}{2}$ phi.	27
Figura 11: Mapa de localização das dunas avaliadas pelo método do checklist.....	31
Figura 12: Gráfico do perfil referente à duna 1 - indicando a relevância na seção C (características dos 200 m adjacentes ao mar).....	32
Figura 13: Estruturas de palha colocadas com a finalidade de barrar o transporte eólico de sedimento para os bares ao lado da duna 2.....	35
Figura 14: Sedimento cobrindo boa parte da calçada da orla da praia do Calhau (duna do perfil 3).....	35
Figura 15: Pontos do GPS referente ao início e fim dos perfis.....	36
Figura 16: Partes sem vegetação ocasionado pelo constante pisoteamento da parte antes vegetada na duna do perfil 1 em sua face voltada para o mar.	37
Figura 17: Parte das raízes expostas pelo processo de escarpamento na duna do perfil 1.....	37
Figura 18: Comprimentos e delimitação de setores do perfil 1.....	38
Figura 19: Valores máximos acrescivo e erosivo e valor médio resultantes para o perfil 1.....	38
Figura 20: Variação do volume de sedimento (m^3/m) entre os meses de monitoramento para o perfil 1.....	39

Figura 21: Monitoramento do perfil 2 entre os meses de julho a dezembro de 2018 e sua delimitação em dois setores.....	40
Figura 22: Valor máximo (dezembro) e mínimo (outubro) do perfil 2.....	40
Figura 23: Variação do volume (m ³ /m) de sedimento do Perfil 2.....	41
Figura 24: Monitoramento do perfil 3 entre os meses de julho a dezembro de 2018 e sua delimitação em dois setores.....	41
Figura 25: Valores máximos (dezembro) e mínimos (outubro) do Perfil 3.....	42
Figura 26: Variação do volume (m ³ /m) de sedimento nos meses de monitoramento do Perfil 3.....	42
Figura 27: Disposição das armadilhas eólicas ao longo do perfil 3.....	43
Figura 28: Armadilha 4 posicionada na direção do vento (NE) e a vegetação obstruindo o transporte do sedimento até a armadilha.....	44
Figura 29: Gráfico de estimativa de transporte dos meses de setembro, outubro e dezembro.....	47
Figura 30: Histograma da granulometria realizada com o sedimento trapeado nas armadilhas de 2 a 4 resultado do experimento de setembro/2017.....	48
Figura 31: Frequência acumulada referente ao mês de setembro/2017 dos sedimentos coletados pelas armadilhas eólicas.....	49
Figura 32: <i>Cuscuta racemosa</i> . (na cor avermelhada) constituindo boa parte da cobertura vegetal da duna do perfil 1.....	51
Figura 33: <i>Ipomea pes-caprae</i> . Cobertura densa da espécie na duna do perfil 2.....	51
Figura 34: <i>Sporobolus virginicus</i> foi encontrada em todas as dunas observadas, porém a duna do perfil 2 foi a que mais apresentou a espécie ao longo de sua extensão.....	52
Figura 35: <i>Sporobolus virginicus</i> encontrado na zona próxima ao limite da maré alta na duna referente ao perfil topográfico 3.....	52
Figura 36: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 1 a 4 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m ² , nos anos de 2009, 2015 e 2017. Figuras que não apresentaram os três anos citados anteriormente indicam que, no ano não representado no mapa não foi identificada vegetação.....	54
Figura 37: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 5 a 8 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m ² , nos anos de 2009, 2015 e 2017.....	55

Figura 38: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 9 a 12 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m ² , nos anos de 2009, 2015 e 2017.	56
Figura 39: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 13 a 16 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m ² , nos anos de 2009, 2015 e 2017. Figuras que não apresentaram os três anos citados anteriormente indicam que, no ano não representado no mapa não foi identificada vegetação.	57
Figura 40: Gráficos poligonais para os índices de vulnerabilidade das dunas de 1 a 14 da praia do Calhau. A: Morfologia das dunas; B: Condições da praia; C: Característica dos 200 m adjacentes ao mar; D: Pressão de uso. Em vermelho o gráfico representando o único perfil classificado, segundo os níveis de vulnerabilidade definidos por Laranjeira (1997), como nível 4 de vulnerabilidade – ver Tabela 2.	61
Figura 41: Gráfico de representação da precipitação total (mm) dos meses entre julho e dezembro de 2017. Fonte: BDMEP – INPE.....	64
Figura 42: Face marinha da duna do perfil 1. a) vegetação escassa da face voltada para o mar e b) face voltada para a orla com vegetação mais densa.	65
Figura 43: Estrutura de palha posicionada de uma extremidade a outra da duna do perfil 2 gerando um barramento do sedimento transportado.....	66
Figura 44: Duna 7 – área da duna sem vegetação e áreas com vegetação escassa ocasionando fuga de sedimento para a área da calçada.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de taxaço de valores atribuídos (P) para as seço es de A à D do perfil referente à duna 1 e seu IV total.....	31
Tabela 2: Níveis de vulnerabilidade e suas características, modificado de Laranjeira (1997).	33
Tabela 3: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referente ao mês de setembro e sua percentagem de umidade.	44
Tabela 4: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referentes ao mês de outubro e sua percentagem de umidade.....	44
Tabela 5: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referentes ao mês de dezembro e sua percentagem de umidade.	45
Tabela 6: Velocidade e direção medidos durante o experimento de transporte eólicos dos meses de setembro a dezembro de 2017.....	45
Tabela 7: Estimativa do peso em kg/m ² /30 min de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real (úmido) do sedimento coletado durante o experimento no mês de setembro/2017.	46
Tabela 8: Estimativa do peso em kg/m ² /30min de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real do sedimento coletado durante o experimento no mês de outubro/2017.....	46
Tabela 9: Estimativa do peso em kg/m ² /30min de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real do sedimento coletado durante o experimento no mês de dezembro/2017.....	47
Tabela 10: Classificação verbal pelo método estatístico de McCammon (1962) da granulometria realizada com o sedimento trapeado pelas armadilhas de 2 a 4 durante o mês de setembro/2017.	48
Tabela 11: Espécies amostradas do estrato herbáceo das dunas da Praia do Calhau, São Luís, Maranhão.	50
Tabela 12: Diferença em m ² da área vegetada das dunas da praia do Calhau entre os anos de 2009 e 2017.....	58
Tabela 13: Diferença em m ² da área vegetada das dunas da praia do Calhau entre os anos de 2015 e 2017.....	59
Tabela 14: Índices de Vulnerabilidade Reativos (IVR) para cada seço do checklists..	62

Tabela 15: Distribuição das dunas por nível de vulnerabilidade segundo classificação de Laranjeira (1997).	63
Tabela 16: Velocidade média do vento (km/h) referente aos meses de monitoramento morfológico	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3.	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Área De Estudo	19
3.2	Métodos	21
3.2.1	Morfodinâmica	21
3.2.2	Experimentos de Transporte Eólico	22
3.2.3	Análise Granulométrica	26
3.2.4	Classificação Taxonômica e Cobertura Vegetal.....	28
3.2.5	Índice de Vulnerabilidade.....	29
3.2.5.1	Parâmetros dos <i>checklists</i>	32
3.2.5.2	Agrupamento dos perfis	33
4.	RESULTADOS	34
4.1	Morfodinâmica	34
4.2	Transporte Eólico	43
4.3	Análise Granulométrica	47
4.4	Cobertura Vegetal	49
4.5	Índice de Vulnerabilidade	59
5	DISCUSSÃO	63
6	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXO I - PLANILHA ADAPTADA DE WILLIAMS et al., (2001) PARA REALIZAÇÃO DO CHECKLIST	81

1 INTRODUÇÃO

O estudo da morfologia costeira foi bastante incentivado durante os anos que sucederam a Segunda Guerra Mundial, a fim de obter maior conhecimento sobre o comportamento da morfologia da costa das principais potências mundiais na época, como Reino Unido, Estados Unidos e Canadá (WRIGHT E THOM, 1977). Desde esta época, o estudo e o reconhecimento da morfologia costeira envolveu metodologias bem distintas, se forem considerados, por exemplos, os últimos trinta anos de evolução do estudo dos fenômenos morfológicos, é possível notar uma ampla variedade de métodos para explicar os eventos com os quais os cientistas depararam-se ao longo do tempo (WRIGHT E THOM, 1977).

A morfodinâmica costeira é, segundo Wright e Thom (1977), o ajuste mútuo da topografia e dinâmica dos fluidos, envolvendo transporte de sedimento, ou ainda segundo Vriend (1991), pode ser definida como o comportamento dinâmico das fronteiras aluviais. A evolução das formas de relevo costeiras é intrinsecamente instável e dependente da variação temporal como um resultado dos efeitos do retorno da morfodinâmica e do comportamento Markoviano, que diz que a evolução depende apenas do estado atual e não dos eventos que o precederam. Em síntese, significa que cada estado morfológico em uma sequência evolutiva tem um conjunto de estados para os quais ele pode evoluir no próximo passo em uma sucessão. A situação imediatamente antecedente define o rumo que deverá tomar a evolução costeira.

As propriedades essenciais dos processos morfodinâmicos costeiros são atribuídos a uma retroalimentação, sendo ela positiva ou negativa, entre topografia e dinâmica de fluidos, que dirigem o transporte de sedimentos produzindo mudanças morfológicas (CARTER E WOODROFFE, 1994)

Praias e dunas costeiras estão entre os mais dinâmicos ambientes costeiros (SHERMAN E BAUER, 1993). As dunas costeiras são estruturas contidas em praias arenosas e são formadas a partir da correlação entre três elementos, que são: vento, areia e vegetação (CORDAZZO E SEELIGER, 1988). Essas estruturas podem ser classificadas por sua estrutura e forma. As dunas mais comuns são as dunas barcana, transversal, parabólica, estrela e longitudinal, quanto à forma, e estacionárias e migratórias, quanto à estrutura interna.

Fatores como umidade, presença de vegetação e obstáculos encontrados na face praial, são fatores que viabilizam a existência de dunas imóveis, as chamadas dunas estacionárias, enquanto as dunas migratórias, que ao contrário das dunas imóveis, estão em constante migração, e têm essa característica por conta de fatores físicos, ambientais e sobretudo por interferências antrópicas (FRANCHINI, 2010)

As dunas costeiras são depósitos eólicos que ocorrem depois da zona do pós-praia tanto em praias oceânicas, quanto em estuarinas, lagunares ou lacustres (UGRI, 2004). Locais como dunas costeiras são ambientes promissores para estudos de fluxo de transporte, uma vez que as mudanças de forma podem acontecer em questão de dias ou até mesmo horas.

Os processos morfodinâmicos acontecem em uma escala de tempo e espaço definidos, e dependem diretamente da interação entre a hidrodinâmica, o sedimento e a topografia da faixa costeira analisada. Segundo Cowell e Thom (1977), as atividades morfodinâmicas no que tange a escala tempo e espaço foram divididas em quatro classes; sendo elas: instantâneas, eventuais, engenharia e geológica (Figura 1). Ainda segundo Cowell e Thom (1977) as dunas frontais têm uma mudança morfológica classificada em processos eventuais que variam de dias até anos num espaço de 0,1 a 1 km (Figura 1). As mudanças da forma da paisagem também podem ocorrer ao longo de períodos de décadas a séculos, neste caso (longo termo) um período de tempo importante para que haja o gerenciamento costeiro e o estudo da evolução da paisagem (SHERMAN E BAUER, 1993).

A modificação do relevo de dunas pode ser ocasionada tanto por processos naturais, quanto por processos antrópicos (SEELIGER, 2003). Segundo Short e Hesp (1982), pode-se citar como processos naturais, que podem modificar a morfologia da linha de costa: a sedimentologia (tamanho, forma dos grãos), que influencia nas taxas de suprimento sedimentar e no tipo de praia (largura e declividade); as direções e velocidades dos ventos; a quantidade e sazonalidade da precipitação; os padrões de distribuição e abundância das espécies vegetais. Como fatores antrópicos, segundo Leite e Andrade (2004) temos, como um dos fatores, o mau uso de dunas vegetadas, o que pode promover modificações ou levar à destruição de dunas e ainda segundo Hesp (2000), o uso ilegal de sedimento dunar em construções civis pode estar gerando impactos irreversíveis ao ambiente.



Figura 1: Exemplificação das quatro classes nas quais estão divididos os acontecimentos morfodinâmicos em escalas temporais e espaciais.

Considerando o disposto na Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988 que estabelece o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), assim como outras providências, em especial o art. 3º onde diz que o PNGC deverá prever o zoneamento de usos e atividades da zona costeira e dar prioridade à conservação e proteção das dunas, entre outros bens, temos que, as dunas desempenham relevante papel na formação e recarga de aquíferos, têm fundamental importância na dinâmica da zona costeira e no controle do processo erosivo. Ainda levando em consideração a legislação percebeu-se a necessidade de controlar, de modo especialmente rigoroso, o uso e ocupação das dunas na zona costeira, originalmente desprovidas de vegetação.

Visto isto, a ampliação do conhecimento já existente sobre o campo de dunas da orla de São Luís é importante para entender e principalmente separar os processos naturais dos processos antrópicos que podem modificar sua paisagem. As alterações morfodinâmicas do sistema praia/duna pode causar prejuízos gigantescos aos municípios litorâneos, e que de certa forma poderiam ser evitados com o conhecimento adquirido através deste tipo de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar os fatores naturais e antrópicos controladores da morfodinâmica do sistema praia/duna frontal, durante o período de estiagem, na Praia do Calhau, orla oceânica de São Luís – MA.

2.2 Objetivos Específicos

- Monitorar a morfologia do sistema praia/duna durante o período de estiagem utilizando perfis topográficos;
- Dimensionar a magnitude do transporte eólico no sistema praia/duna frontal;
- Analisar a granulometria dos sedimentos transportados e depositados desde a face praial até as dunas;
- Classificar a vegetação das dunas frontais quanto a taxonomia e cobertura vegetal com o auxílio de imagens temporais;
- Calcular o índice de vulnerabilidade dos campos de dunas através do método de *checklists* – *Índice de Vulnerabilidade*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área De Estudo

As praias do litoral norte da Ilha de São Luís apresentam largura média de aproximadamente 250 m, podendo variar em face da grande amplitude de maré (EL-ROBRINI, 2006). A área de estudo compreende uma faixa de campo de dunas de aproximadamente 2,5 km localizada na Praia do Calhau, situada na parte norte da cidade de São Luís no estado do Maranhão (Figura 2). O campo de dunas em questão está localizado entre a desembocadura do rio Calhau e a do rio Pimenta, dois rios que possuem bacias de drenagem alvos de constantes obras de despoluição e revitalização.

A zona praial, objeto deste estudo, localiza-se no nível superior da bacia costeira de São Luís, que se originou a partir de esforços tectônicos durante o Cretáceo Inferior. No final do Cretáceo com o soerguimento de rochas pré-cambrianas, deu-se a individualização das bacias de São Luís, Barreirinhas e Parnaíba, constituídas de sedimentos cretáceos predominantemente de origem continental, deltaico e marinho (FEITOSA, 1996).

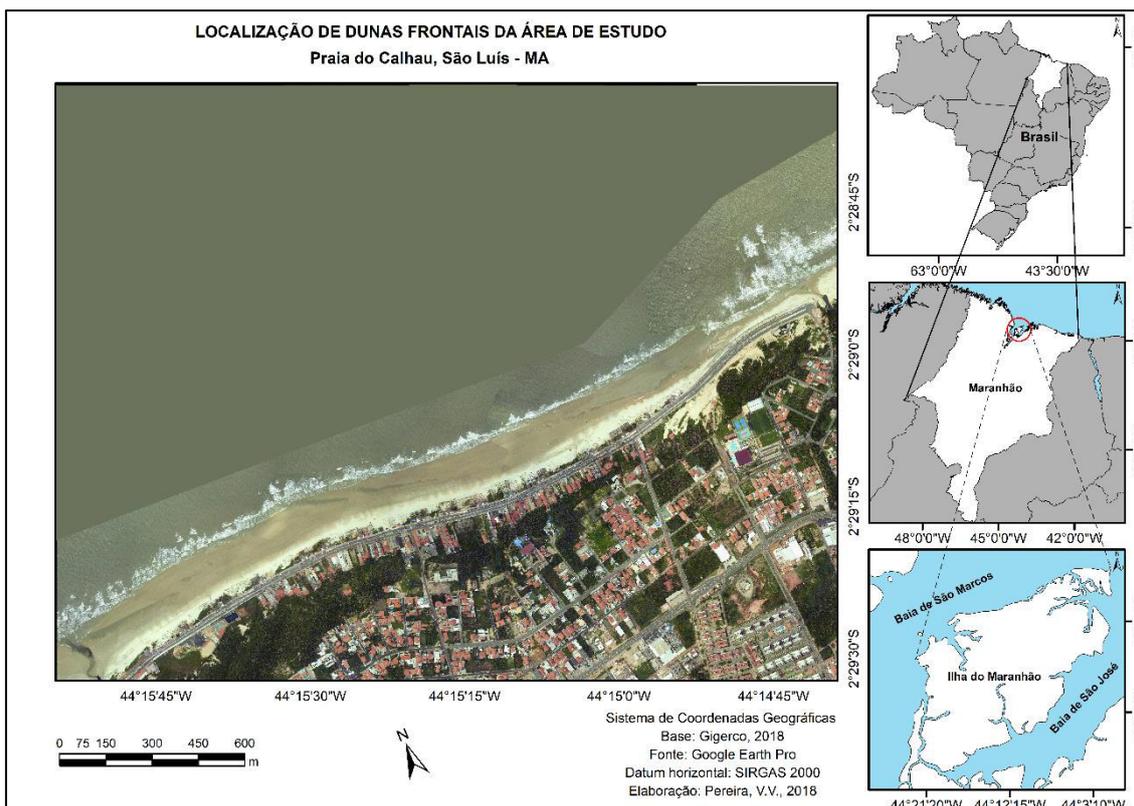


Figura 2: Localização da área de estudo compreendendo toda a extensão da Praia do Calhau, São Luís – MA.

.1.1 Condições Meteorológicas e Oceanográficas

De acordo com Viana (2000) a região de São Luís está inserida em uma região de padrão climático do tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, clima tropical com estação seca de inverno, sofrendo pequenas transformações derivando do subtipo Aw', clima quente e úmido com dois períodos distintos um chuvoso (janeiro a junho) e outro seco (julho a dezembro).

.1.2 Expansão Urbana da Praia do Calhau

Considerando a realidade das praias da Ilha do Maranhão, a Praia do Calhau está inserida no cenário de expansão urbana que teve início a partir da década de 70, com muito pouca ou nenhuma estruturação e planejamento do espaço urbano, ocasionando inúmeros problemas ambientais, principalmente no que concerne ao saneamento ambiental (SIQUEIRA *et al.*, 2010). A área apresenta significativas edificações e cobertura asfáltica, o uso que se faz do solo varia entre residencial e comercial (bares restaurantes, pousadas, hotéis, etc.).

A Avenida Litorânea, localizada na orla da Praia do Calhau, foi construída com o intuito de interligar grandes pontos de expansão urbana no norte do município de São Luís. Por consequência do crescente processo de urbanização e da falta de malha viária para dar novos acessos aos motoristas, foi projetada a ampliação da Avenida Litorânea que buscou uma melhor desobstrução do trânsito e um contínuo desenvolvimento da cidade (LIMA, 2013). Os impactos negativos na expansão da Avenida Litorânea, entre eles: a perda de vegetação, grande fluxo de sedimento para fora do sistema de dunas e exposição da drenagem de água pluviais que são despejadas na praia (LIMA, 2013).

3.2 Métodos

3.2.1 Morfodinâmica

Os perfis topográficos foram realizados de acordo com o método proposto por Birkemeier (1981). Este método (Figura 3) faz uso de um nível topográfico acoplado à um tripé, com auxílio de uma régua de altura máxima de 5 m e trena para medir a distância entre os pontos de visada.

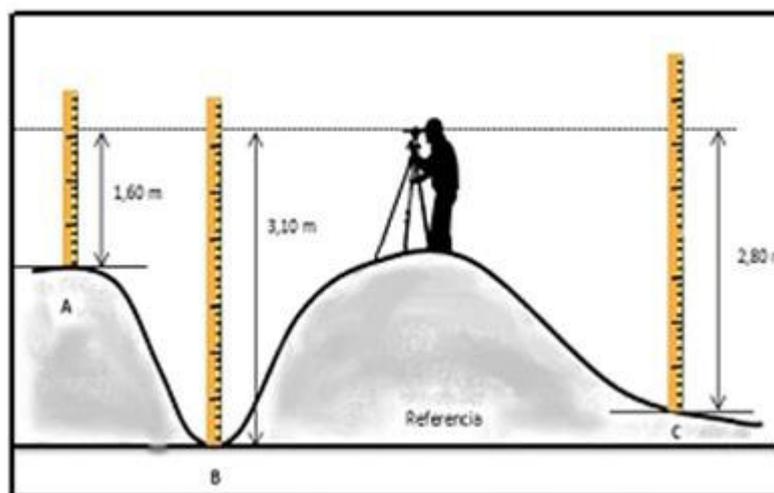


Figura 2: Representação do método de Birkemeier (1981). Fonte:

Os pontos de referências (pontos de ancoramento ou RN) são definidos no calçamento da Avenida Litorânea. São escolhidos também estruturas rígidas tais como postes, árvores e edificações, para o alinhamento dos perfis que se alinham à costa desde o RN em direção ao mar.

Neste estudo foram estabelecidos três transects, denominados perfis 1, 2 e 3, (Figura 4), em três setores com diferentes comportamentos morfodinâmicos distribuídos na Praia do Calhau, partindo do RN, altura 0 da calçada no início de cada perfil, e tendo

como fim a zona de estirâncio em condições de maré baixa de sizígia. Os perfis foram monitorados com intervalos de um mês durante o segundo semestre de 2017.

Os dados aferidos em campo foram anotados em Tabelas, transferidos e armazenados em planilhas do software Excel, para que fosse determinado a variação das alturas (cotas) ao longo dos perfis. Com base na variação das alturas entre cada mês de monitoramento foi possível calcular a variação do balanço sedimentar dentro do perfil com auxílio de software de programação e ainda determinar a morfologia do sistema praia/duna.

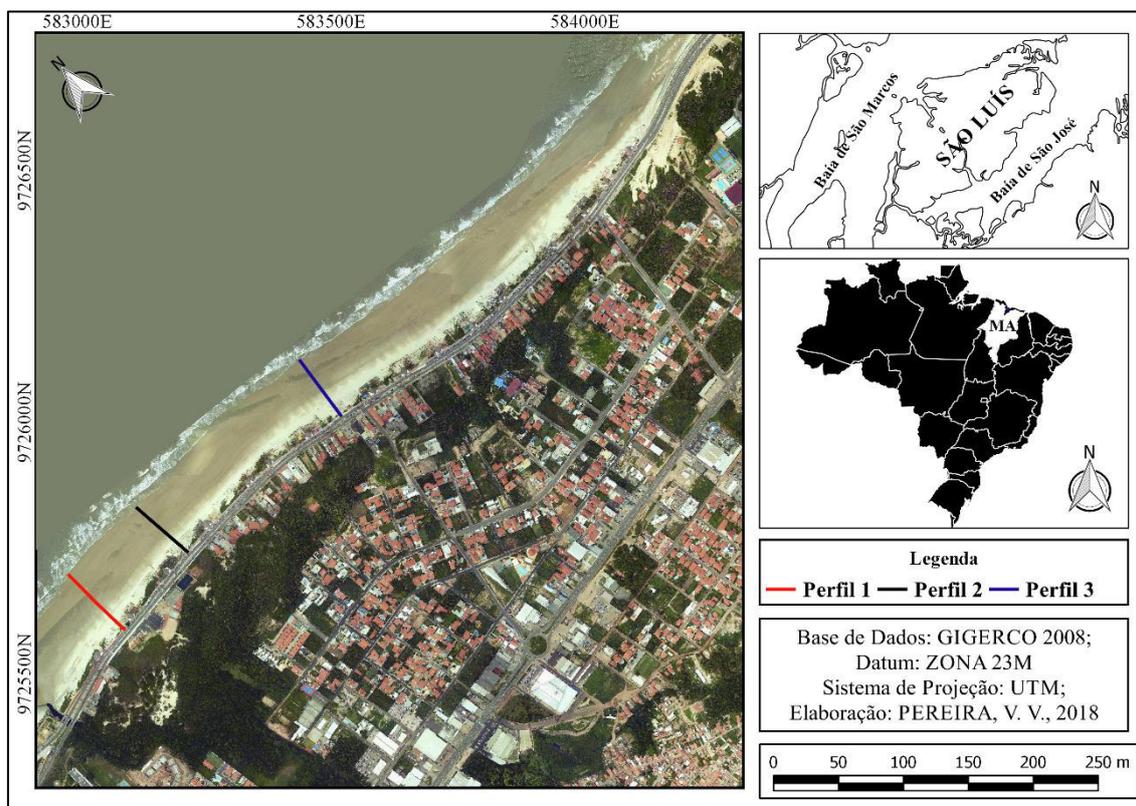


Figura 3: Mapa de localização dos perfis topográficos 1, 2 e 3 em uma área da praia do Calhau.

3.2.2 Experimentos de Transporte Eólico

Conhecer o volume de sedimento transportado e a direção do transporte eólico são condições fundamentais para a determinação do montante de areia que será depositado nas regiões costeiras (ROSEN, 1978). O transporte de sedimento e sua posterior deposição na costa formam cumes de dunas que podem ser chamados de dunas costeiras (HESP, 2002). A fim de realizar a medição da quantidade de sedimento transportado pelo vento em determinado segmento de praia, vários autores têm tentado estabelecer um método eficiente para tal feito (ROSEN, 1978; GOLDSMITH, 1988; LEATHERMAN,

1978; PYE E TSOAR, 1987). Desse modo existem diferentes tipos de coletores e cada um possui suas vantagens e desvantagens, de acordo com o tipo de ambiente ao qual será empregado.

No presente estudo, o experimento de transporte seguiu a metodologia empregada por Leatherman (1978) e posteriormente adaptada por Rosen (1978), por possibilitarem a coleta de sedimentos carreados tanto por rolamento, quanto por saltação e suspensão. Durante o período seco, de agosto a dezembro, as armadilhas de sedimentos foram posicionadas ao longo da duna monitorada no perfil topográfico 3, como mostra a figura 5.



Figura 4: Armadilhas verticais posicionadas ao longo da duna e pós-praia dentro do Perfil 3.

As armadilhas (Figuras 6 e 7) possuem aberturas de 106 cm^2 para a entrada do sedimento transportado e uma capacidade máxima de $4,710 \text{ cm}^3$ de sedimento. Na parte traseira do equipamento está uma malha de $0,062 \text{ mm}$ (Figura 5b) para que o sedimento do tamanho areia fina não ultrapasse a abertura e assim fique retido dentro da armadilha.

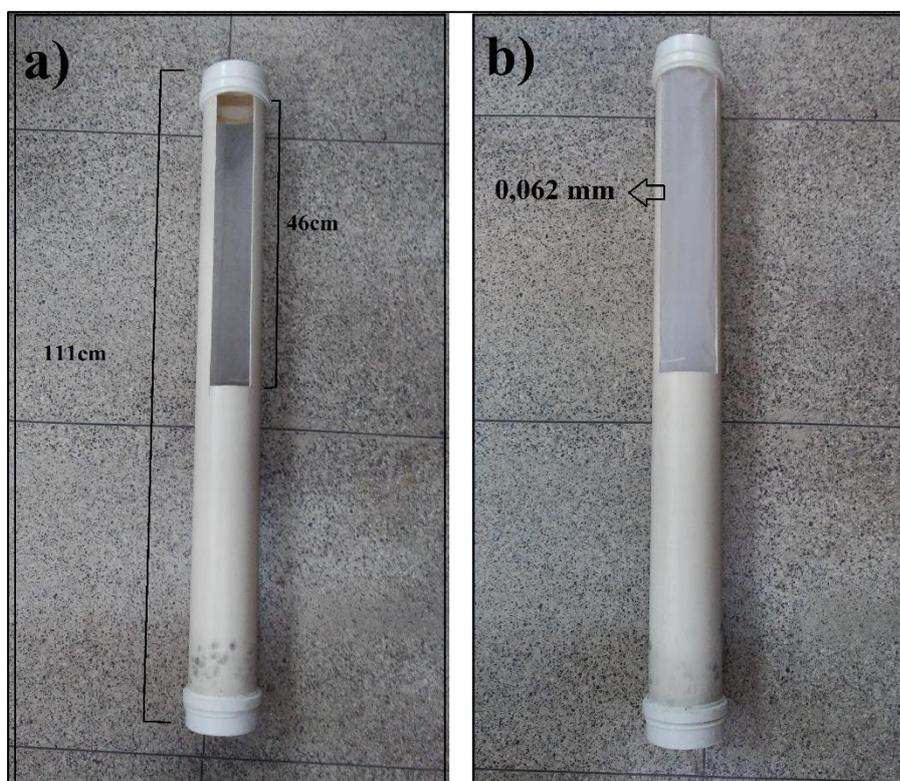


Figura 5 (a): Medida total da armadilha e da abertura. (b): Malha tamanho $0,062 \text{ mm}$

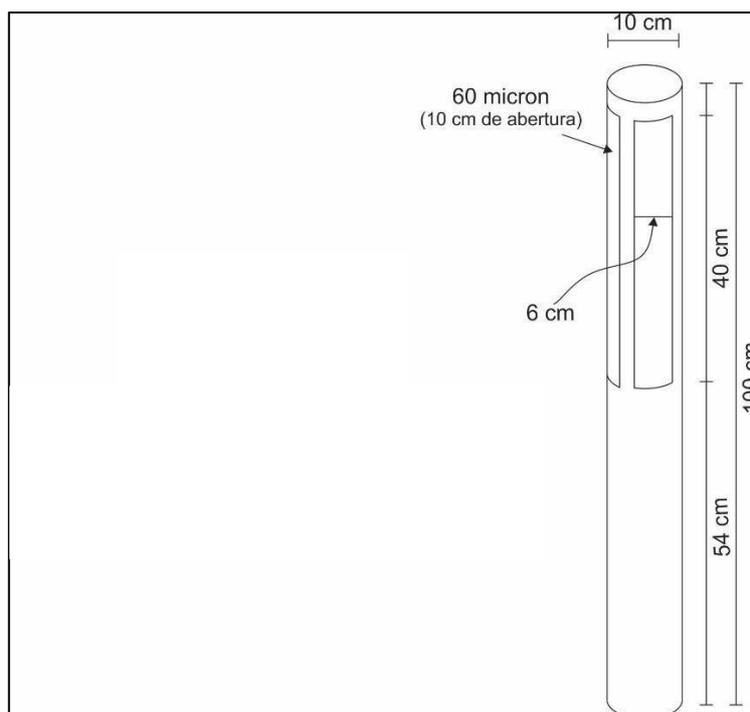


Figura 6: Armadilhas eólicas baseadas no modelo de ROSEN (1978).

As armadilhas foram instaladas de acordo com a orientação do vento, o qual por sua vez foi medido com uma biruta (Figura 8). Os equipamentos foram enterrados até o início da abertura para que esta estivesse nivelada com a superfície do terreno, possibilitando a entrada de sedimento transportados por rolamento, e devidamente direcionada para a pista de atuação do vento (90°). As armadilhas, dispostas desde a duna até o início da zona de pós-praia, foram posicionadas simultaneamente para a direção de onde vinha o vento, de modo que o tempo de amostragem fosse igual para todas.

Juntamente com a coleta do sedimento com as armadilhas foi medida a velocidade média de intensidade do vento, com o auxílio de um anemôm (Figura 9), durante o período de 30 minutos, que foi o tempo de amostragem. Terminado o tempo de experimento, o sedimento aprisionado foi armazenado em sacos, devidamente etiquetados e levados para análise granulométrica e de umidade em laboratório.

A armadilha vertical utilizada no presente estudo teve como vantagem o baixo custo e a facilidade de obtenção de dados e como desvantagem a alteração do fluxo do ar



Figura 7: Biruta utilizada no alinhamento da armadilha com a direção do vento.



Figura 8: Anemôm para medição da velocidade média do vento.

3.2.3 Análise Granulométrica

O sedimento coletado nas armadilhas e na superfície das dunas foi processado para que houvesse separação em intervalos granulométricos, através de um conjunto de peneiras de $\frac{1}{2}$ phi (Figura 10), segundo método proposto por Suguio (1973).



Figura 9: Peneiras para separação dos grãos em intervalo de $\frac{1}{2} \phi$.

O sedimento processado foi separado na escala de Krumbein (1963), uma modificação da Escala de Wentworth (1922). A escala de Krumbein é uma escala logarítmica onde:

$$\phi = -\log_2(\text{tamanho do grão em mm})$$

As amostras foram pesadas para medir seu peso úmido e em seguida lavadas para a retirada dos sais e colocadas na estufa em temperatura de 50°C para a retirada da umidade e em seguida pesadas novamente para conhecer seu peso seco e assim realizar cálculos de porcentagem de umidade das amostras. Já secas e em temperatura ambiente, retirou-se 50g de cada amostra para a separação em peneiras partindo de malhas mais grossas até as mais finas, com intervalo de $\frac{1}{2}\phi$ (1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 ϕ). As peneiras foram agitadas manualmente durante 5 minutos e posteriormente as amostras separadas foram devidamente pesadas em balança digital.

Para análise dos resultados, estes foram processados segundo a análise estatística descrita por McCammon (1962) no software Sysgran 3.0[®] (Camargo, 2006) e através de Tabelas do Excel 2013.

3.2.4 Classificação Taxonômica e Cobertura Vegetal

As dunas contidas nos perfis praias do monitoramento (Figura 4) foram também observadas quanto a sua vegetação. Com o intuito de obter maior entendimento sobre o comportamento do transporte de sedimento nestas dunas foram identificadas as espécies componentes da flora, uma vez que a vegetação pode influenciar as mudanças na morfologia das dunas (Cordazzo, 2006). Segundo este mesmo autor, dentre as diversas influências que a vegetação exerce na formação e manutenção das dunas está a estabilização da superfície através de seus rizomas e raízes, porém essa influência varia de acordo com o tipo de espécie a qual está ocupando as dunas. A fim de entender melhor essa interação, a vegetação foi observada em campo com a finalidade de identificar características que a relacione com a fixação da duna, taxa de deposição de sedimento e flutuação do nível do lençol freático e posteriormente classifica-la segundo a taxonomia, para um melhor entendimento de suas adaptações e funções no ambiente dunar.

Os indivíduos amostrados ao longo das dunas durante os trabalhos de campo foram separados quanto as suas estruturas, para que posteriormente fosse feita a identificação taxonômica a partir de chaves de identificação e a também comparação com o material encontrado no acervo do Herbário do Maranhão (MAR), localizado no Departamento de Biologia da Universidade Federal do Maranhão. A listagem das famílias seguiu a classificação do APG III (2009).

Para a quantificação da cobertura vegetal do campo de dunas da Praia do Calhau, foi utilizada uma ortofoto do ano de 2009 e uma aerocarta do ano de 2015, que foram comparadas com imagens retiradas do Google Earth referente à área de estudo. As fotos pretéritas têm diferença de cerca de 8 anos e 2 anos, respectivamente para as imagens do Google, e com o auxílio do programa QGis[®], onde foi feita uma delimitação da área vegetada através da criação de polígonos, foi possível mensurar a diferença em m quadrados entre a cobertura vegetal pretérita e a atual.

3.2.5 Índice de Vulnerabilidade

As dunas costeiras são ambientes sob a intensa pressão ao redor do mundo, devido à perda de sedimento ocasionada por uso e ocupação humana, o que aumenta a vulnerabilidade desses sistemas (Jardim, 2009).

Segundo Tabajara (2005) o termo vulnerabilidade costeira é aplicado em geociências para referir-se a uma série de atributos que irão caracterizar a fragilidade do sistema à desastres e fenômenos naturais que tenham grande incidência. Nesse estudo o termo vulnerabilidade das dunas, diz respeito ao estado em que se encontra esse sistema submetido a fatores que induzem à erosão e degradação ambiental, o que levaria a perda de equilíbrio e comprometimento de sua capacidade de resiliência, ameaçando assim comunidades costeiras frente a eventos de maré.

A metodologia aplicada para a determinação do nível de vulnerabilidade em que se encontra o sistema de dunas foi o método da aplicação de *checklists* (Anexo 1) (lista de controle de vulnerabilidade) proposto por Williams *et al.* (2001), adaptado às particularidades do litoral ludovicense. O *checklists* de vulnerabilidade foi adaptado da metodologia estabelecida pelo Programa *ELOISE/DUNES (Environmental Long-term Interactive Changes on South Atlantic Coasts and Estuarine Environments/ Mudanças Ambientais Interativas de Longa Duração nas Costas e Ambientes Estuarinos do Atlântico Sul/Dunas)* da União Europeia, a fim de avaliar as condições que produzem uma aceleração do ritmo da degradação dos sistemas ambientais.

O método do *checklists* foi escolhido por seu caráter de rápido delineamento do problema, a partir da listagem das principais características das dunas (Tabajara, 2005). As notas que qualificam a condição da duna variam de 0 a 4, sendo 0 uma boa condição de equilíbrio e 4 para um estágio avançado de degradação.

Os principais parâmetros serão agrupados em quatro seções:

- 1 – Morfologia das dunas (6 parâmetros);
- 2 – Condições de praia (3 parâmetros);
- 3 – Características dos 200 m adjacentes ao mar (7 parâmetros);
- 4 – Pressão de uso (6 parâmetros);

O índice da vulnerabilidade foi o resultante do seguinte algoritmo:

$$IV = \frac{\sum(1, 2, 3, 4) * 100}{\text{máximo valor possível}}$$

Cada seção possui um máximo valor possível, que seria o caso onde todas as seções (1, 2, 3 e 4) terem valor máximo (valor 4: Seção A: 6 x 4 = 24; B: 5 x 4 = 20; C: 7 x 4 = 28; D: 7 x 4 = 28), o *máximo valor possível* do sistema (denominador) é igual ao somatório dos máximos valores possíveis nas seções. Exemplificando:

$$IV = \frac{\sum(24 + 20 + 28 + 28) * 100}{\text{Máximo valor possível}}$$

$$IV = \frac{100 * 100}{\text{Máximo valor possível}}$$

$$IV = \frac{10000}{100} = 100\%$$

A avaliação da vulnerabilidade do sistema de duna da Praia do Calhau ocorreu em uma única saída de campo no mês de dezembro do ano de 2017, último mês de monitoramento da área de estudo.

A área de estudo que compreende aproximadamente 2,5 km de extensão e contém cerca de 14 conjuntos de dunas (Figura 10), sendo assim, dividida em 14 *checklists*. Para tal classificação foi realizado um percurso no sentido oeste-leste, onde a primeira lista de controle refere-se à duna à direita da desembocadura do rio Calhau e a última à duna à esquerda da desembocadura do rio Pimenta.

A informação apurada do resultado foi representada em gráficos de polígonos, onde a área do polígono é diretamente proporcional à vulnerabilidade da duna referente ao *checklists* de vulnerabilidade.

Para a elaboração dos gráficos foi necessário que se fizesse um índice parcial (Tabela 2) para cada seção (Figura 11), assim a informação dada pelo gráfico permitiu identificar qual seção é referente ao maior índice e, portanto, maior responsável pelas alterações do sistema.

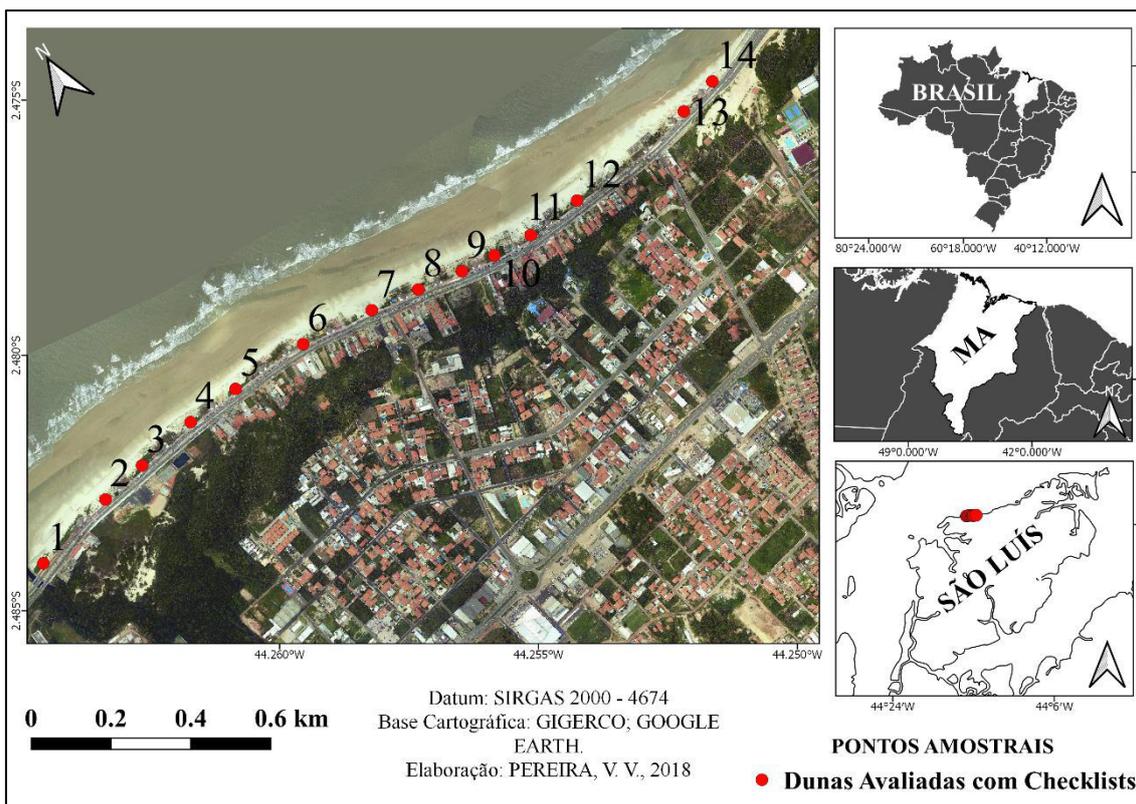


Figura 10: Mapa de localização das dunas avaliadas pelo método do *checklists*

Tabela 1: Exemplo de taxação de valores atribuídos (P) para as seções de A à D do perfil referente à duna 1 e seu IV total

Notas por seção para a duna 1							
A	P	B	P	C	P	D	P
A1	3	B1	0	C1	4	D1	0
A2	3	B2	2	C2	2	D2	2
A3	3	B3	2	C3	3	D3	2
A4	4	B4	0	C4	1	D4	4
A5	3	B5	4	C5		D5	2
A6	4			C6	2	D6	0
				C7	2	D7	0
				C8	2		
Σ	20		8		16		10
%	33		40		54		36

Σ de A até D = 54
IV = 54%

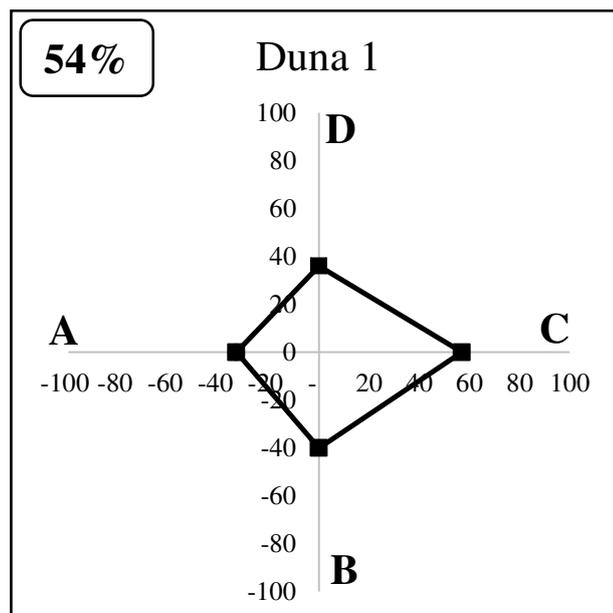


Figura 11: Gráfico do perfil referente à duna 1 - indicando a relevância na seção C (características dos 200 m adjacentes ao mar).

3.2.5.1 Parâmetros dos *checklists*

- Seção A (Morfologia da duna):** Considerando que a condição da morfologia da duna é extremamente determinante para sua capacidade de resiliência, temos que quanto maior é o sistema dunar maior é sua capacidade de recuperação a eventos naturais ou antrópicos, melhores são suas relações ecológicas e geomorfológicas juntamente com a proteção contra ação erosiva por ondas ou vento (WILLIAMS *et al.*, 2001). Nesse trabalho, os parâmetros considerados para a seção A consistiram em: Área superficial (m²), largura da duna (m), altura máxima da duna (m), processo de escarpamento, estágios evolutivos (HESP, 1988) e declividade na face frontal marinha.
- Seção B (Condição de praia):** Esse parâmetro refere-se a área de pós-praia que é relacionado diretamente com o suprimento de sedimento para as dunas frontais. A largura da praia é diretamente proporcional a disponibilidade de sedimentos para o sistema (PORTZ, 2016), logo um pós-praia estreito dissipa menos energia das ondas o que afeta diretamente o desenvolvimento das dunas frontais em sua face marinha. Os parâmetros componentes da seção B são: largura do pós-praia (m), suprimento de areia, brechas na face da praia, larguras das brechas na face da praia e dunas embrionárias.

- **Seção C (Características dos 200 m adjacentes ao mar):** A seção C tem como característica as relações entre o sistema dunar e o ambiente onde está inserido bem como a existência de sangradouros, fuga de areia para o continente e existência de cobertura impenetrável. As características consideradas foram: porcentagem da área de *blowout* dentro do sistema (%), fuga de areia do sistema para o continente, porcentagem do lado marinho da duna vegetada (%), porcentagem de cobertura impenetrável (%), existência de vegetação exótica e canais de drenagem pluvial.
- **Seção D (Pressão de uso):** A seção D visa levar em consideração interferências antrópicas que podem modificar o equilíbrio do sistema dunar. Os eventos são: número de acesso de veículos, densidade de caminhos de pedestre, estágio de urbanização, nível de urbanização (%), posição da urbanização e número de quiosques na praia

3.2.5.2 Agrupamento dos perfis

De acordo com Laranjeira (1997) os graus de vulnerabilidade podem ser estabelecidos em função dos limites da resiliência do sistema dunar, ou seja, os índices da vulnerabilidade, obtidos através do cálculo dos resultados dos *checklists*, os quais podem ser divididos em classes (Tabela 3)

Tabela 2: Níveis de vulnerabilidade e suas características, modificado de Laranjeira (1997).

<p>Nível 1 – 0 a 20%</p>	<p>Nível de vulnerabilidade onde o grau de transformação do sistema de dunas não põe em risco a capacidade de auto regeneração; estado de degradação das feições não ultrapassa o limiar de resiliência; sensibilidade baixa</p>
<p>Nível 2 – 20 a 40%</p>	<p>Nível onde já se percebem sinais de mudanças no conjunto do sistema, notando-se uma acentuação no nível de sensibilidade.</p>
<p>Nível 3 – 40 a 60%</p>	<p>Nível em que se percebe sinais de degradação significativa, já se faz necessária uma certa restrição a sua utilização; feições dunares encontram-se no limite da sua resiliência</p>

<p style="text-align: center;">Nível 4 – 60 a 80%</p>	<p>Nível onde os mecanismos de pressão são bastante perceptíveis; feições dunares não apresentam sinais de resistência aos impactos negativos e demonstram alta sensibilidade.</p>
<p style="text-align: center;">Nível 5 – 80 a 100%</p>	<p>Evidenciam-se efeitos de degradação severa e generalizada; nota –se nível de degradação bem elevados comprometendo até mesmo o caráter das geoformas; limite de resiliência ultrapassado.</p>

De acordo com essa classificação, todos os perfis levantados foram enquadrados seguindo suas porcentagens calculadas no *Índice da vulnerabilidade* (IV).

4. RESULTADOS

4.1 Morfodinâmica

Os três perfis topográficos previamente apresentados (Figura 4), foram distribuídos em três grandes dunas frontais ao longo da praia do Calhau para que houvesse entendimento da morfodinâmica deste sistema praia-duna. O perfil 1 foi posicionado a montante da desembocadura do Rio Calhau, o perfil 2 em uma duna em que estava havendo intervenção antrópica, para tentar barrar o transporte eólico, na forma de barreiras construídas com palha de coqueiro (Figura 13) e o perfil 3 realizado sobre uma duna que avança sobre a Avenida Litorânea, sendo constantemente retilinizada pela remoção de areia por parte do município (Figura 14).



Figura 12: Estruturas de palha colocadas com a finalidade de barrar o transporte eólico de sedimento para os bares ao lado da duna 2.



Figura 13: Sedimento cobrindo boa parte da calçada da orla da Praia do Calhau (duna do perfil 3)

Na Figura 15 pode ser observado os pontos do GPS marcados no início e término dos perfis.



Figura 14: Pontos do GPS referente ao início e fim dos perfis.

4.1.1 Perfil 1

O perfil 1, à jusante do Rio Calhau está localizado em uma região onde o transporte de sedimento é barrado pela constante entrada e saída de água ocasionada pela foz do Rio Calhau.

A duna monitorada no perfil 1 possui uma grande área de constante pisoteamento por parte dos banhistas (Figura 16) e pouca área de cobertura vegetal. Por conta da época em que se iniciou o experimento, final da época chuvosa, pode-se observar um processo de escarpamento, causado pela ação das ondas, o que fez com que houvesse a exposição de algumas raízes da flora dunar (Figura 17).



Figura 15: Partes sem vegetação ocasionado pelo constante pisoteamento da parte antes vegetada na duna do perfil 1 em sua face voltada para o mar.



Figura 16: Parte das raízes expostas pelo processo de esculpamento na duna do perfil 1

O perfil 1 ao longo de seu monitoramento teve comprimento máximo de cerca de 250 m e mínimo de 200 m (Figura 18). O perfil pôde ser dividido em dois setores distintos, o primeiro se estendendo desde a calçada (Av. Litorânea) até o fim da extensão da duna, aos 45 m, e o segundo a partir da zona de pós-praia desde os 45 m até os 250 m (Figura 18).

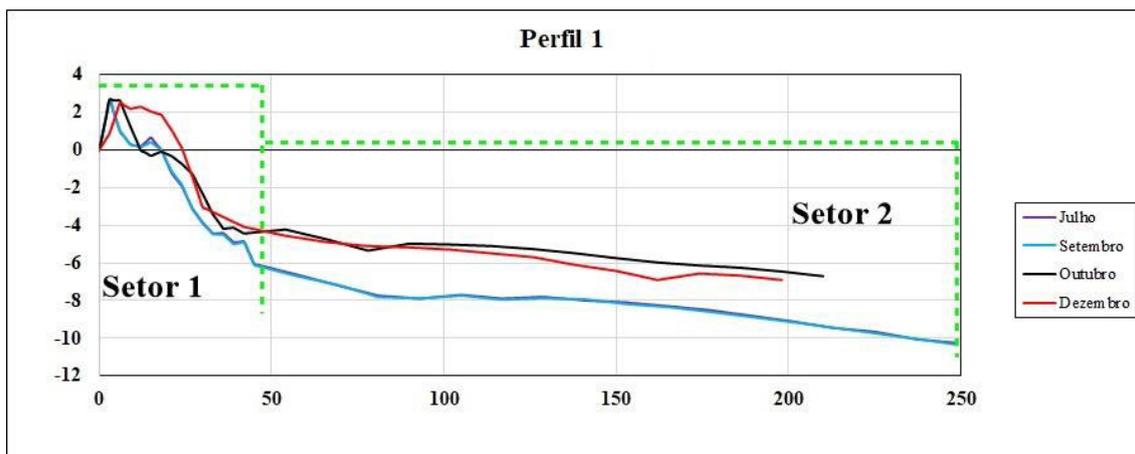


Figura 17: Comprimentos e delimitação de setores do perfil 1

Na Figura 19 estão representados os perfis máximo erosivo e máximo acrescivo observados para o perfil 1, além do perfil médio observados durante os meses de monitoramento ao longo do segundo semestre do ano de 2017. Este gráfico expressa o pacote de variação sedimentar ao longo do monitoramento.

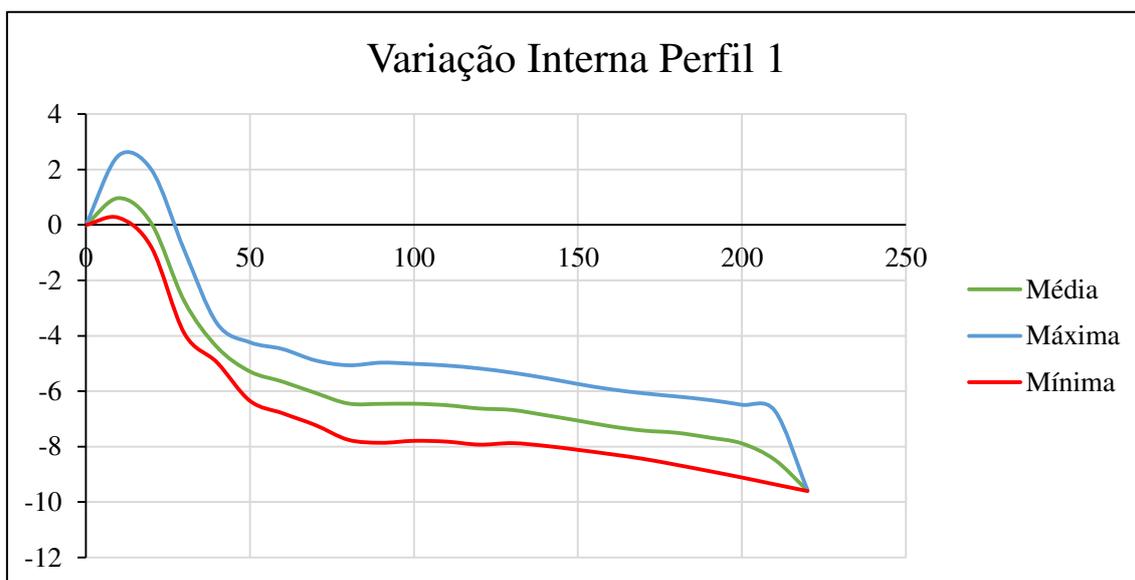


Figura 18: Valores máximos acrescivo e erosivo e valor médio resultantes para o perfil

1

A Figura 20 mostra a variação de volume de sedimento mês a mês em m^3/m , onde pode-se perceber que o único perfil monitorado com caráter acrescivo foi entre os meses de setembro e outubro com um valor de $444,4 m^3/m$ sendo acrescidos ao perfil 1. O

máximo erosivo foi entre os meses de julho e setembro com um total de 9,41 m³/m de sedimento retirado do perfil 1.

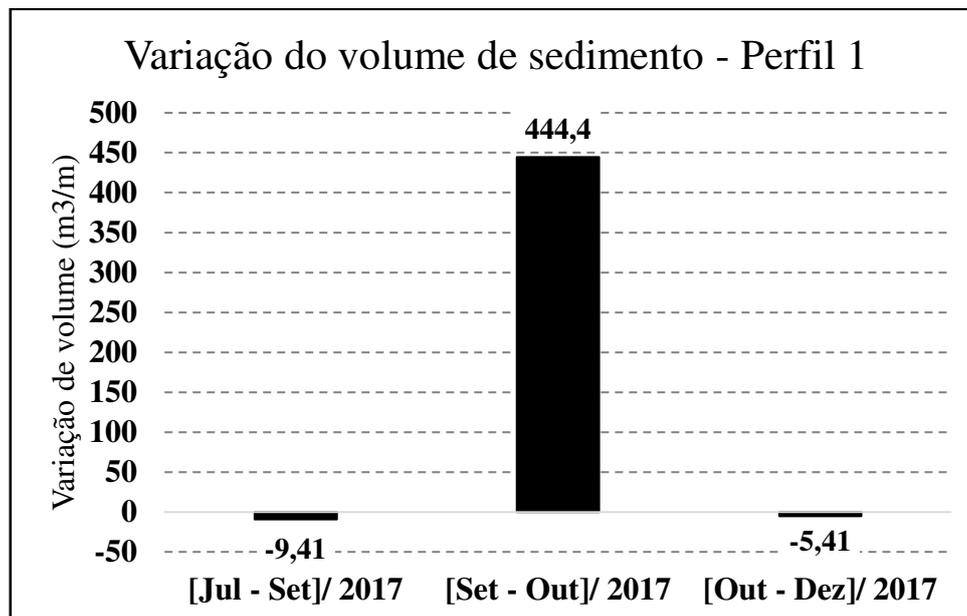


Figura 19: Variação do volume de sedimento (m³/m) entre os meses de monitoramento para o perfil 1.

4.1.2 Perfil 2

O perfil 2, localizado na frente do Círculo Militar da cidade de São Luís entre os quiosques Landruá e Sol Nascente, atingiu distância máxima de 230 m e mínima de 206 m no mês de dezembro. Esse perfil (Figura 21) foi dividido por zonas limitantes dos ambientes deposicionais praias e eólicos, sendo seccionado em dois setores: setor 1, corresponde à zona dunar que se estende até 50 m, e dos 50 aos 230 m está o setor 2, que corresponde ao pós-praia. Pode-se perceber na figura 21 que a duna atingiu uma altura máxima de 1,81 m no mês de dezembro.

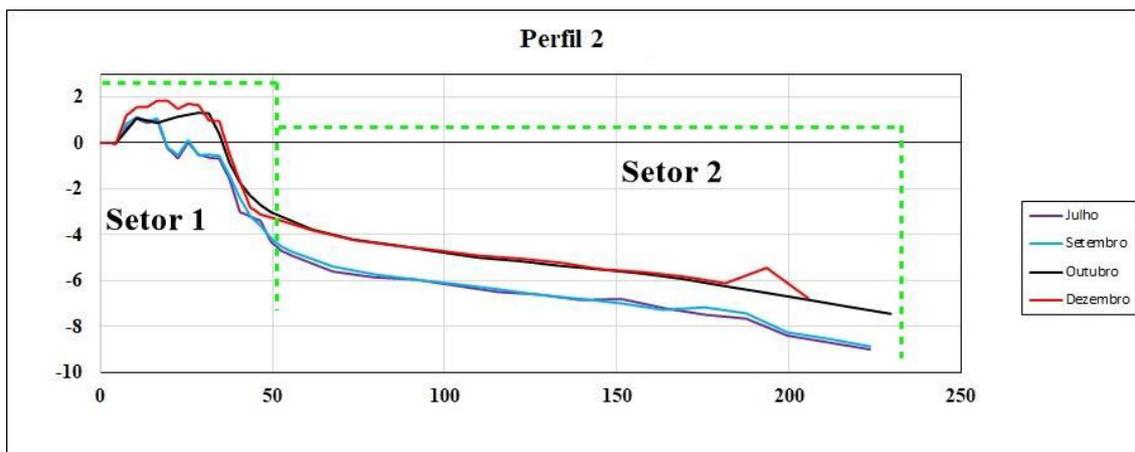


Figura 20: Monitoramento do perfil 2 entre os meses de julho a dezembro de 2018 e sua delimitação em dois setores.

Na figura 22 podem ser observados os perfis com característica máximo acrescivo e máximo erosivo e pode-se observar uma maior variação na área de duna, mostrando que ela sofreu acreção para a face marinha, ou seja, sua área não vegetada varia mais do que sua área vegetada que fica voltada para o continente.

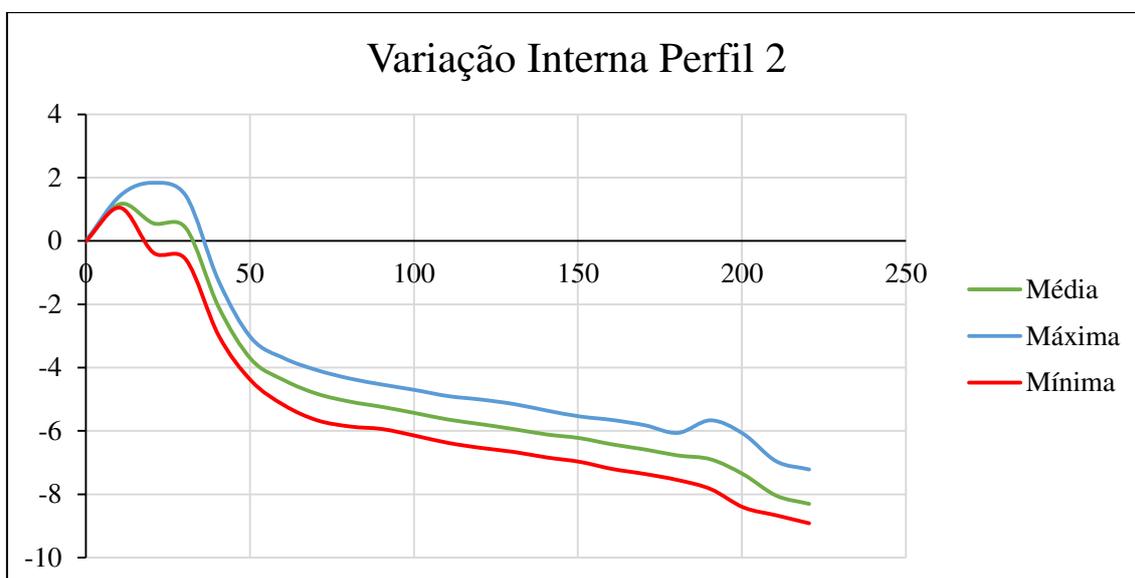


Figura 21: Valores máximos acrescivo e erosivo e valor médio resultantes para o perfil 2.

No gráfico de variação do volume de sedimento correspondente ao perfil 2 (Figura 23) é possível perceber que não houve erosão significativa no perfil 2 onde houve um máximo de acreção entre os meses de setembro e outubro chegando a $280,63 \text{ m}^3/\text{m}$ sendo acrescentados ao perfil 2.

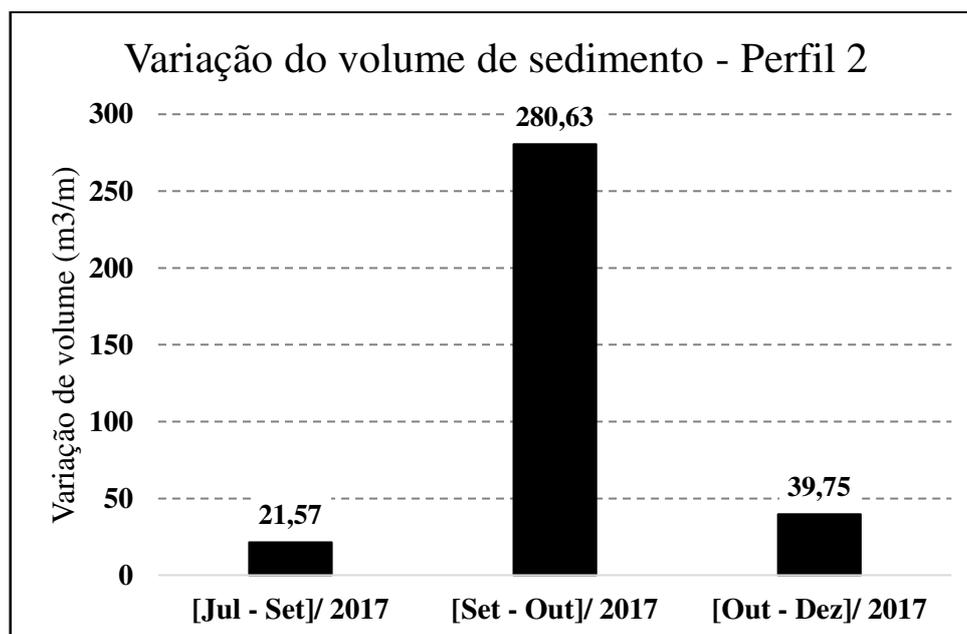


Figura 22: Variação do volume (m^3/m) de sedimento do Perfil 2.

4.1.3 Perfil 3

O terceiro e último perfil está localizado na frente do restaurante Cabana do Sol, entre os quiosques Adventure e Maré de lua. O perfil 3 atingiu distância máxima de 234 m e mínima de 224 m ao longo do período monitorado. Na Figura 24 estão plotados os perfis entre julho e dezembro e seccionado em dois setores: setor 1 sendo a área de duna e o setor 2 o pós-praia. Pode-se perceber que a altura máxima atingida da duna do perfil foi 4 m, sendo essa a maior duna monitorada, onde observa-se também uma acreção entre 20 e 40 m da extensão da duna caracterizando um período de acresção.

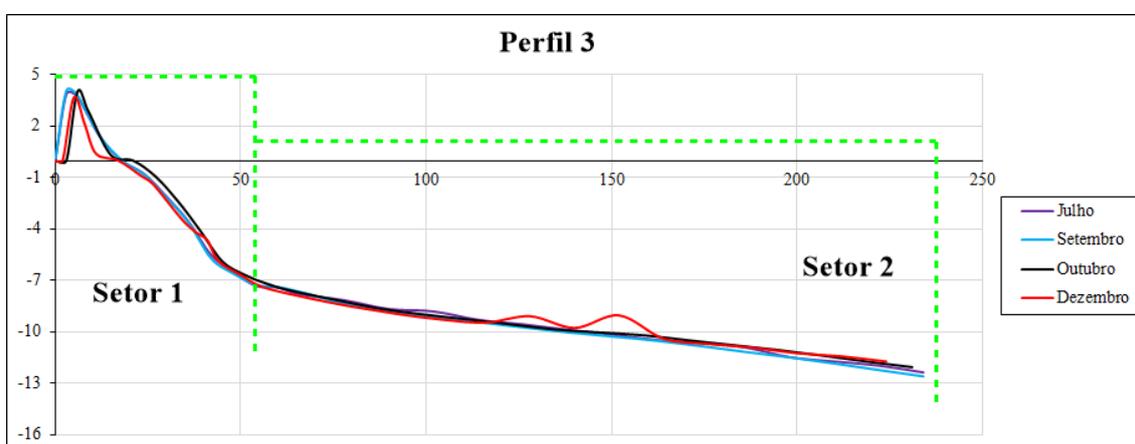


Figura 23: Monitoramento do perfil 3 entre os meses de julho a dezembro de 2018 e sua delimitação em dois setores.

Os perfis máximos acrescivo e erosivo e o perfil médio referentes ao monitoramento do perfil 3 estão ilustrados na Figura 25.

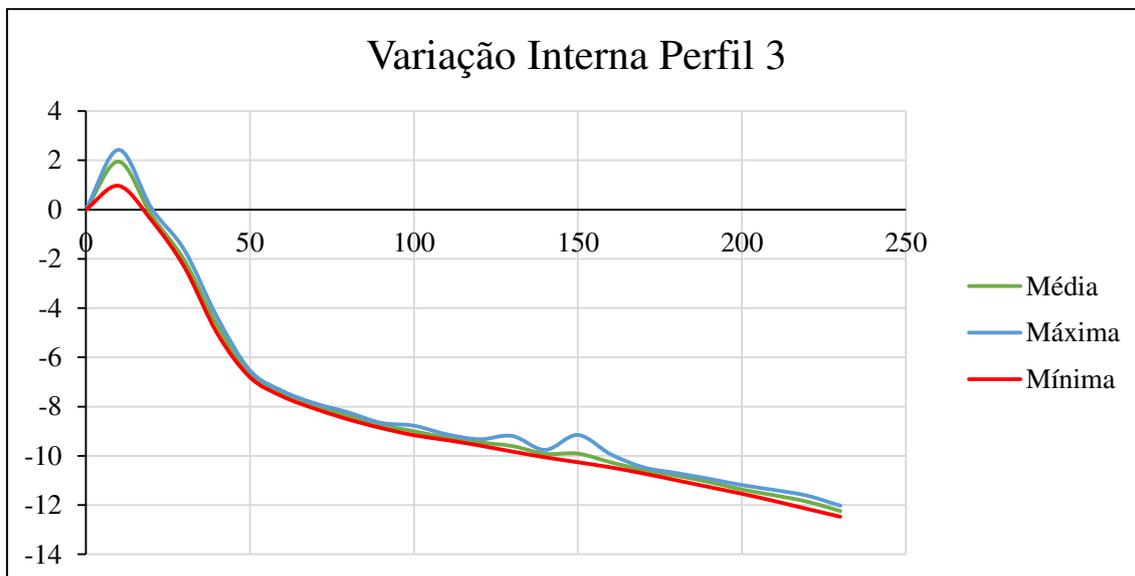


Figura 24: Valores máximos (dezembro) e mínimos (outubro) do Perfil 3.

A Figura 26 mostra a variação de volume de sedimento em m^3/m ao longo do perfil 3. Pode-se observar uma leve erosão entre os meses de julho e setembro seguido de acreção de cerca de $39,41 \text{ m}^3/\text{m}$ entre os meses de setembro e outubro e logo em seguida uma erosão da ordem de $11,81 \text{ m}^3/\text{m}$ entre os meses de outubro e dezembro.

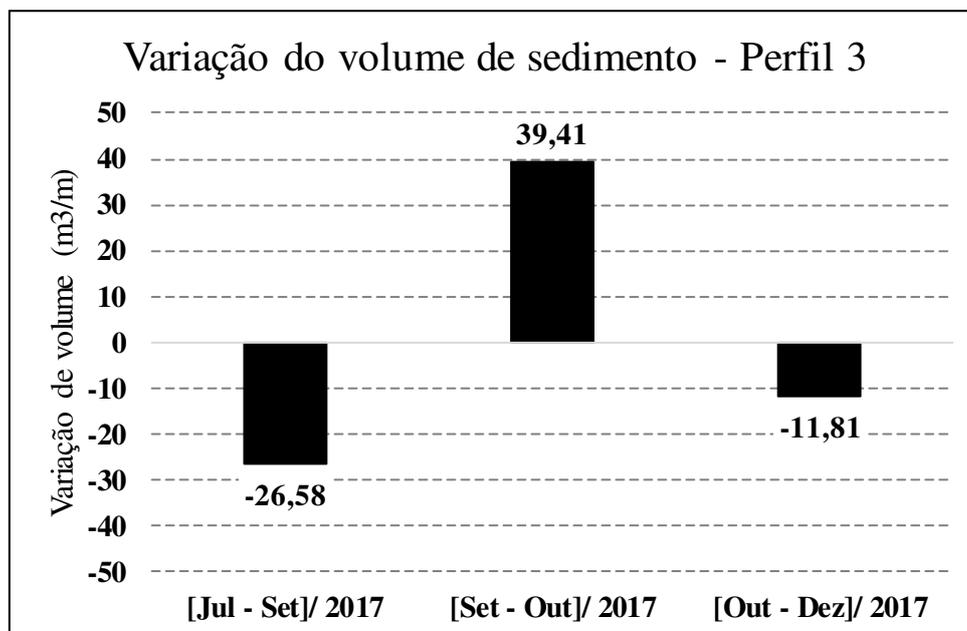


Figura 25: Variação do volume (m^3/m) de sedimento nos meses de monitoramento do Perfil 3.

4.2 Transporte Eólico

O experimento de transporte eólico foi realizado nos meses de setembro, outubro e dezembro de 2017. Durante as saídas de campo foram definidos os pontos de posicionamento das armadilhas eólicas, alinhados ao longo do perfil 3 (Figura 27), partindo do topo da duna, até o início da zona de pós-praia.

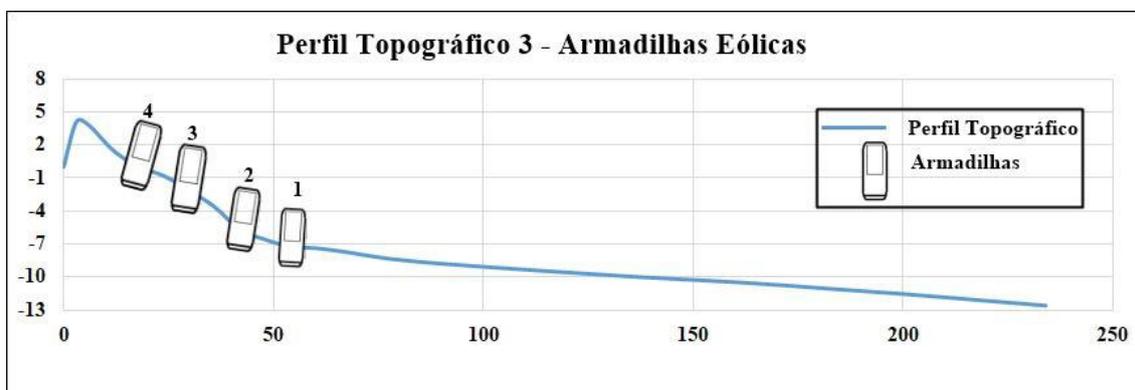


Figura 26: Disposição das armadilhas eólicas ao longo do perfil 3.

Os pontos definidos para as armadilhas 1, 2, 3 e 4 distanciam-se 6, 9, 12 e 12 m entre si partindo do topo da duna, respectivamente. A armadilha 4 foi instalada a 18 m do início do perfil topográfico, numa parte mais íngreme da duna, percebeu-se durante o experimento que, ao longo do percurso feito pelo sedimento transportado pelo vento, havia grande densidade de vegetação (Figura 28), o que pode ter dificultado o transporte eólico nessa zona da duna. A armadilha 3 foi posicionada a 24 m do início do perfil 3, onde havia uma pequena quantidade de raízes secas de vegetação dunar. A armadilha 2 foi colocada a 36 m do início do perfil, e coletou sedimentos que seriam depositados na base da duna. A armadilha 1 foi implantada no início da região de pós-praia, numa zona onde já podia perceber umidade no solo durante o posicionamento da armadilha, o que pode ter sido a causa da coleta de sedimento ter sido baixa nessa armadilha.

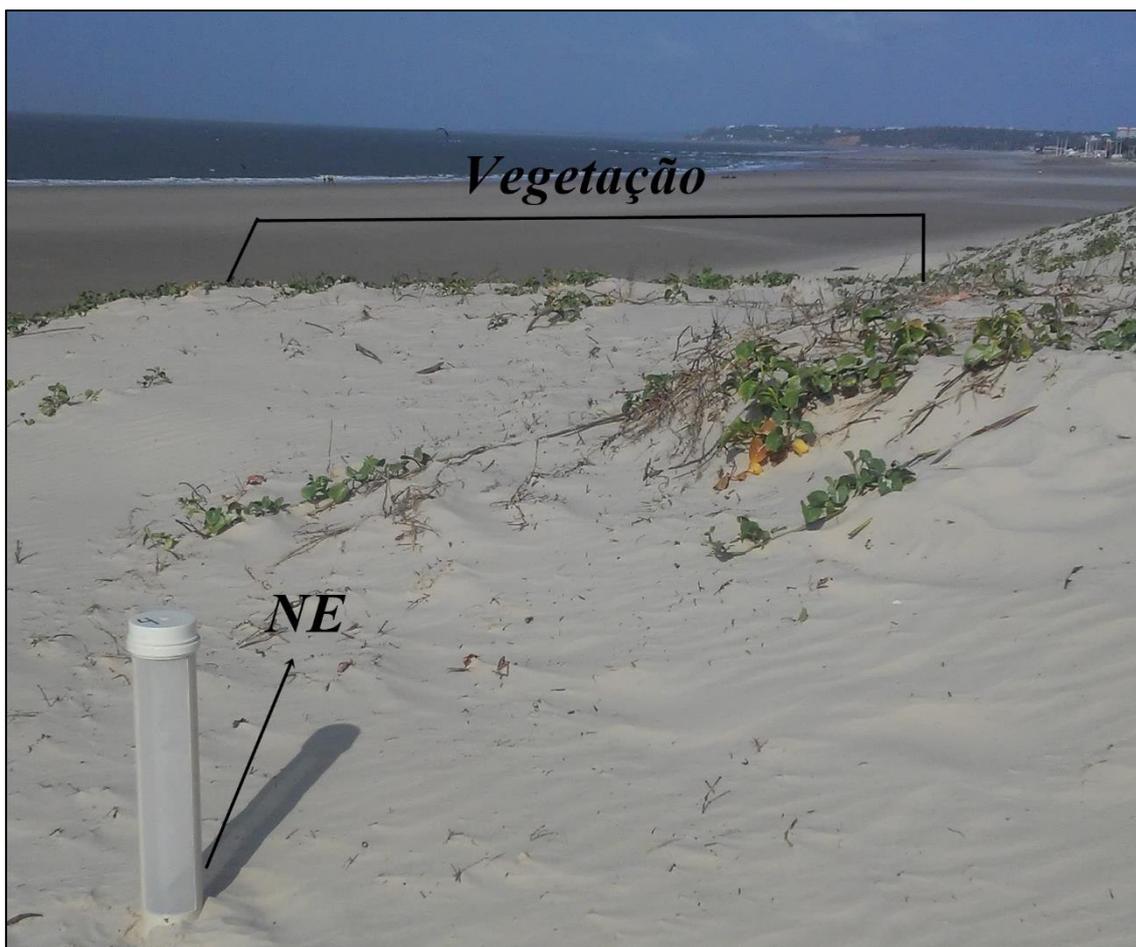


Figura 27: Armadilha 4 posicionada na direção do vento (NE) e a vegetação obstruindo o transporte do sedimento até a armadilha.

As tabelas de 3 a 5 representam os resultados do experimento de transporte eólico, indicando a quantidade de sedimento acumulados em cada armadilha (peso úmido), medido em gramas, num período de 30 minutos.

Tabela 3: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referente ao mês de setembro e sua percentagem de umidade.

	% umidade		
	Peso úmido	Peso seco	%
Arm1	1,80	1,72	4,17
Arm2	78,21	78,06	0,19
Arm3	75,05	74,83	0,29
Arm4	72,27	72,05	0,3

Tabela 4: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referentes ao mês de outubro e sua percentagem de umidade

% umidade			
	Peso úmido	Peso seco	%
Arm1	1,32	1,25	5,3
Arm2	2,50	2,39	4,4
Arm3	10,35	10,05	2,8
Arm4	12,68	1253	1,1

Tabela 5: Peso úmido e seco do sedimento coletado nas armadilhas de 1 a 4, referentes ao mês de dezembro e sua percentagem de umidade.

% umidade			
	Peso úmido	Peso seco	%
Arm1	2,00	1,81	9,5
Arm2	13,00	12,77	7,6
Arm3	9,54	9,40	1,4
Arm4	13,80	13,63	1,2

Os dados de umidade encontrados são proporcionais a área fonte dos ambientes deposicionais amostrados, onde ao longo da duna, a umidade é reduzida e ao ir se aproximando da zona da base da duna até o início do pós-praia, a umidade vai obtendo valores mais altos como pode-se observar nas tabelas de 3 a 5.

Durante a duração do experimento de transporte eólico, com o auxílio do anemôm, foi medida a velocidade média e a direção do vento que estão expressos na tabela 6.

Tabela 6: Velocidade e direção medidos durante o experimento de transporte eólicos dos meses de setembro a dezembro de 2017

Anemômetro		
Experimento	Velocidade (km/h)	Direção
set/17	21.3	NE
out/17	13.8	NE
dez/17	15.2	NE

As tabelas de 7 a 9 representam os resultados de transporte eólico estimados para cada setor do sistema praia-duna durante os três meses de monitoramento. O peso, em quilograma (kg), dos sedimentos retidos nos coletores após a amostragem, fora utilizado em um cálculo de regra de três, juntamente com a área da abertura da armadilha em m quadrados e o valor de 1 m² (m quadrado) para que a estimativa fosse dada em kg/m²/30 minutos.

No mês de setembro (Tabela 7, Figura 29) no setor das armadilhas de 2 a 4 foi possível observar um potencial de transporte maior do que no local onde estava posicionada a armadilha 1, o que reflete o baixo transporte realizado durante o experimento e também o ambiente onde ela estava situada. No dia do experimento, observou-se que parte do solo se encontrava úmido, embora o posicionamento das armadilhas tenha ocorrido no máximo da maré vazante e com isso esperava-se que o solo já estivesse propício ao transporte eólico.

Tabela 7: Estimativa do peso em $\text{kg/m}^2/30 \text{ min}$ de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real (úmido) do sedimento coletado durante o experimento no mês de setembro/2017.

Estimativa de Transporte Eólico (Setembro)	
Armadilhas	$\text{kg/m}^2/30\text{min}$
1	0,065
2	2,8336
3	2,7192
4	2,6184

Na tabela 8 e figura 29 é possível observar os valores estimados em quilogramas que seriam transportados em um m quadrado durante 30 minutos. A estimativa foi realizada com base no peso coletado pelas armadilhas, que podem ser observados na Tabela 4. Embora o experimento tenha sido realizado durante o período não chuvoso do ano, o vento estava atipicamente fraco se comparado com o normalmente observado nos períodos secos na cidade.

Tabela 8: Estimativa do peso em $\text{kg/m}^2/30\text{min}$ de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real do sedimento coletado durante o experimento no mês de outubro/2017.

Estimativa de Transporte Eólico (Outubro)	
Armadilhas	$\text{kg/m}^2/30\text{min}$
1	0,0478
2	0,4594
3	0,375
4	0,0905

Para o mês de dezembro, o transporte por m^2 de sedimento teve um leve aumento, porém não significativo e por isso os valores estimados foram próximos aos previstos para o mês de outubro. Nesse mês observou-se o início da precipitação e um declínio na velocidade do vento, uma vez que o mês de dezembro marca o fim do período seco e já pode-se observar dias chuvosos que segundo Van Dijk e Stroosnijder (1996), podem

alterar o transporte de sedimentos. Os valores expressos na Tabela 9, e ilustrados na Figura 29, refletem as mudanças ocorridas no ambiente através dos baixos números estimados para o transporte eólico de sedimento.

Tabela 9: Estimativa do peso em $\text{kg}/\text{m}^2/30\text{min}$ de sedimento transportado em um m quadrado considerando o peso real do sedimento coletado durante o experimento no mês de dezembro/2017.

Estimativa de Transporte Eólico (Dezembro)	
Armadilhas	$\text{kg}/\text{m}^2/30\text{min}$
1	0,0724
2	0,5
3	0,3442
4	0,1086

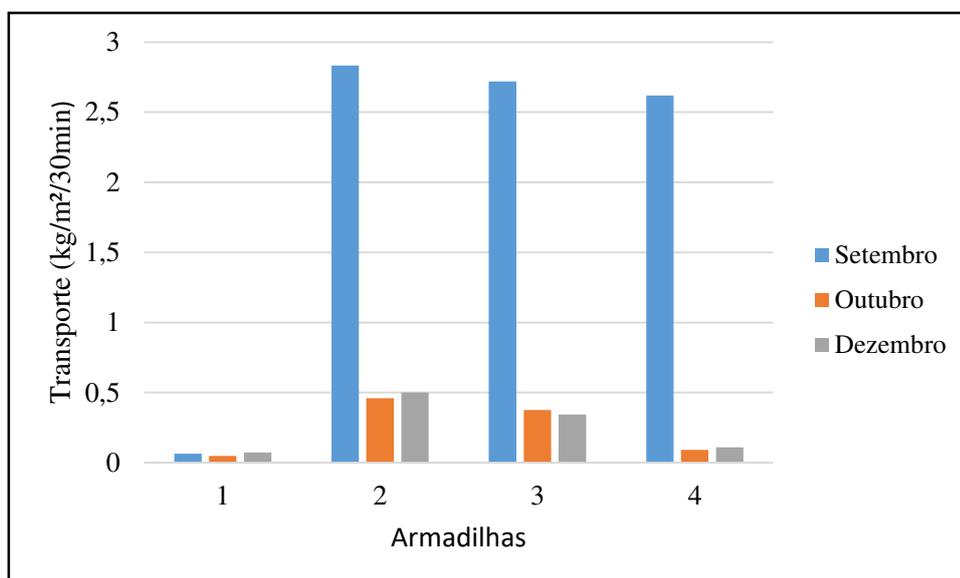


Figura 28: Estimativa de transporte dos meses de setembro, outubro e dezembro.

4.3 Análise Granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas através da peneiragem e, posteriormente, os pesos encontrados por phi (Φ) foram classificados verbalmente pelo método de McCammon (1962), com o auxílio do programa Sysgram, mostrado na Tabela 9, que se mostrou mais eficiente estatisticamente, segundo a literatura (Dias, 2004; Ballance, 1964), na classificação das médias e curtose. A armadilha 1 do experimento no mês de setembro não teve montante de sedimento significativo para que fosse feita a análise granulométrica, assim como nos meses que seguiram (outubro e dezembro).

Na Tabela 10, pode-se observar que a classificação define o sedimento das armadilhas como areia fina. No que se trata da curtose da amostra, percebe-se que a

amostra 2 é mais homogênea, por ser platicúrtica e a amostra retida na armadilha 4 é menos homogênea, já que se trata de uma curtose leptocúrtica. Isso reflete também na Figura 30 onde percebe-se uma centralização do tamanho de grão 2,5 phi na amostra da armadilha 4 e uma maior distribuição dos tamanhos de grão no sedimento da armadilha 2.

Tabela 8: Classificação verbal pelo método estatístico de McCammon (1962) da granulometria realizada com o sedimento traçado pelas armadilhas de 2 a 4 durante o mês de setembro/2017.

Classificação Verbal (McCammon, 1962)						
Armadilhas	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose
Arm 2	2,03	Areia fina	1,974	Bem selecionado	Positiva	Platicúrtica
Arm 3	2,107	Areia fina	2,112	Bem selecionado	Aprox. simétrica	Mesocúrtica
Arm 4	2,263	Areia fina	2,259	Bem selecionado	Aprox. simétrica	Leptocúrtica

Na Figura 30 pode-se observar o resultado do histograma para o experimento de setembro de 2017, onde apenas as armadilhas de 2 a 4 obtiveram sedimento o suficiente para que fosse feita a granulometria. A armadilha 1 obteve um peso de pouco menos de 2 gramas de peso total, o que não é uma amostra significativa para os testes estatísticos. Nas armadilhas posicionadas ao longo da duna, ou seja, armadilhas 3 e 4, percebe-se um domínio do phi 2,5 e na armadilha 2 uma distribuição entre o phi 2 e 2,5.

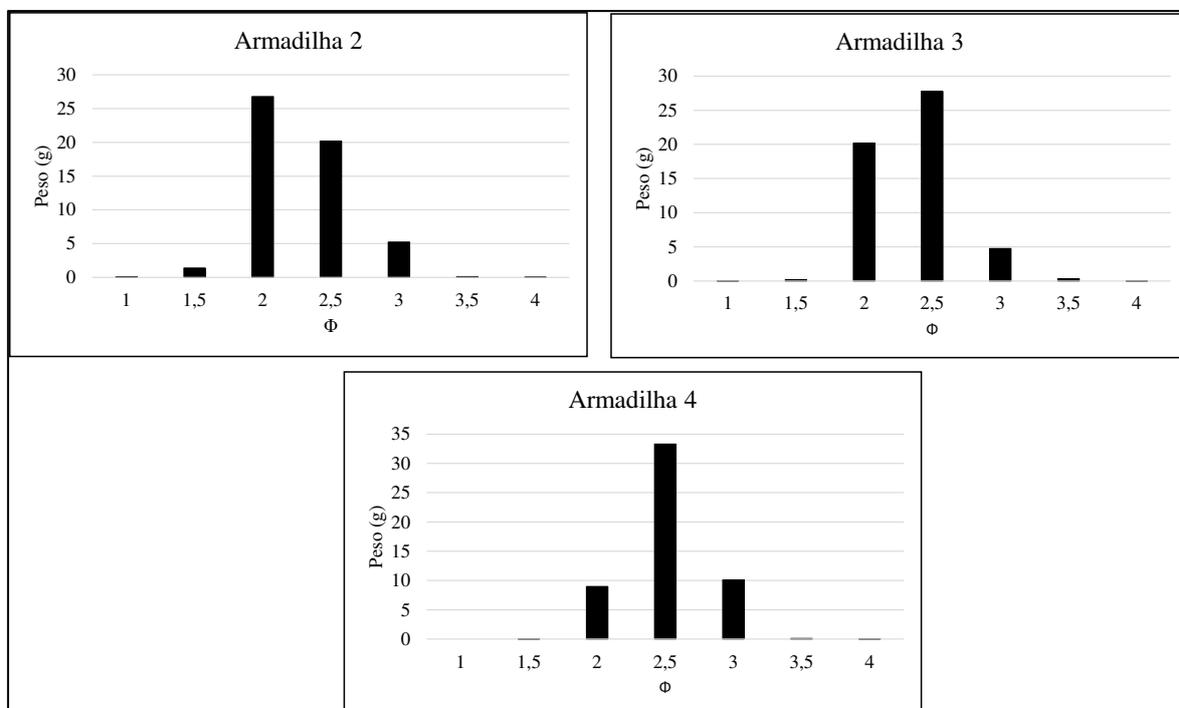


Figura 29: Histograma da granulometria realizada com o sedimento traçado nas armadilhas de 2 a 4 resultado do experimento de setembro/2017.

A Figura 31 representa a frequência acumulada da granulometria realizada com o sedimento coletado nas armadilhas de 2 a 4, e nela pode-se perceber que a medida em que a armadilha se aproxima do topo da duna, o sedimento coletado por ela segue diminuindo sua granulometria.

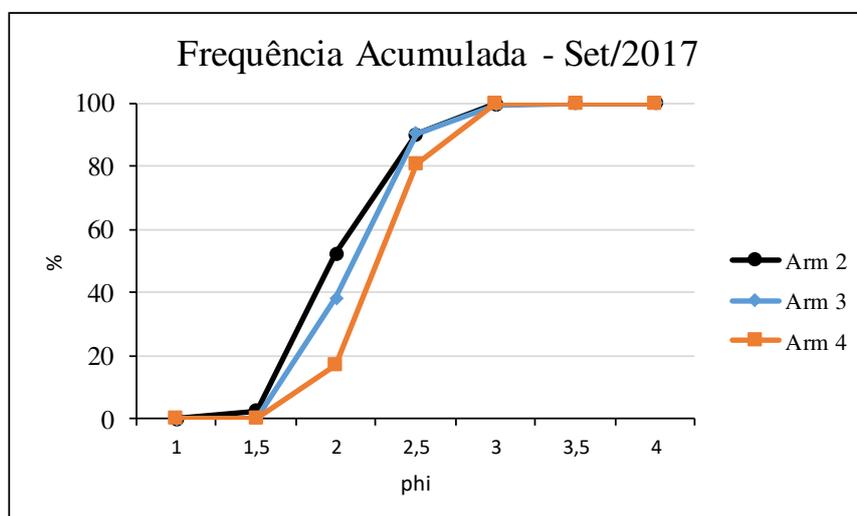


Figura 30: Frequência acumulada referente ao mês de setembro/2017 dos sedimentos coletados pelas armadilhas eólicas.

4.4 Cobertura Vegetal

- Classificação Taxonômica

Nas três dunas cuja vegetação foi classificada quanto a taxonomia, pôde-se identificar cerca de 10 espécies, distribuídas em 5 famílias e 7 gêneros (Tabela 11). As famílias que apresentaram o maior número de espécies foram a Poaceae com 3 espécies, seguido por Convolvulaceae, Passifloraceae e Amaranthaceae com 2 espécies cada e por último Aizoaceae com apenas 1 espécie.

Tabela 9: Espécies amostradas do estrato herbáceo das dunas da Praia do Calhau, São Luís, Maranhão.

Nº	Espécie	Família	Gênero
1	<i>Cuscuta racemosa</i>	Convolvulaceae	Cuscuta
2	<i>Ipomoea pes-caprae</i>	Convolvulaceae	Ipomoea
3	<i>Sporobolus virginicus</i>	Poaceae	Sporobolus
4	<i>Blutaparon portulacoides</i>	Amaranthaceae	Blutaparon
5	<i>Blutaparon vermiculare</i>	Amaranthaceae	Blutaparon
6	<i>Paspalum maritimum</i>	Poaceae	Paspalum
7	<i>Paspalum lingulare</i>	Poaceae	Paspalum
8	<i>Turnera pumilea</i>	Passifloraceae	Turnera
9	<i>Turnera subulata</i>	Passifloraceae	Turnera
10	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Aizoaceae	Sesuvium

Através das observações de campo pode-se perceber uma dominância altíssima de três espécies: *Cuscuta racemosa*., *Ipomoea pes-caprae* e *Sporobolus virginicus*. As três espécies foram avistadas abundantemente nas três dunas avaliadas, sendo a *Cuscuta racemosa* mais observadas nas dunas do perfil 1 (Figura 32) e *Ipomoea pes-caprae* (Figura 33) e *Sporobolus virginicus* (Figura 34) observadas em coberturas bastante densas em todas as três dunas. Além das espécies encontradas, foi observado também várias palhas da espécie *Cocos nucifera* formando uma espessa cobertura acima das dunas.

Na Tabela 11 as espécies estão ordenadas de forma decrescente quanto a sua presença nas dunas observadas. A espécie *Cuscuta racemosa* é caracterizada, segundo Souza (2012), como uma parasita muito agressiva e facilmente identificada pela cor amarelada de seus caules. Essa espécie, com o decorrer dos campos, foi se fazendo presente nas dunas estudadas e foi possível notar o avanço de sua colonização.

A espécie *Ipomoea pes-caprae* está presente nas três dunas observadas e compõe grande parte da área de vegetação mais densa das mesmas. Encontrada desde a face marinha da duna até a face voltada para a área da orla, essa espécie é a mais encontrada de sua família ocupando as áreas dunares.

Sporobolus virginicus, pertencente à família das Poaceae, possui crescimento rizomatoso e é considerada uma espécie halófila-psamófila, o que pôde-se perceber durante os campos, já que esta foi encontrada principalmente bem próximos a zona de espraiamento (Figura 35).



Figura 31: *Cuscuta racemosa*. (na cor avermelhada) constituindo boa parte da cobertura vegetal da duna do perfil 1



Figura 32: *Ipomoea pes-caprae*. Cobertura densa da espécie na duna do perfil 2.



Figura 33: *Sporobolus virginicus* foi encontrada em todas as dunas observadas, porém a duna do perfil 2 foi a que mais apresentou a espécie ao longo de sua extensão.



Figura 34: *Sporobolus virginicus* encontrado na zona próxima ao limite da maré alta na duna referente ao perfil topográfico 3.

- Avaliação da Cobertura Vegetal

Com auxílio de imagens históricas e imagens do Google Earth Pro[®], foi possível mapear as áreas vegetadas das dunas da praia do Calhau, utilizando o software livre de geoprocessamento Quantum GIS. As imagens históricas referentes a área de estudo, utilizadas para o mapeamento, datam dos anos de 2009 e 2015 e foram ambas comparadas com uma imagem do ano de 2017, adquirida com auxílio do Google Earth Pro[®].

Com o auxílio das imagens supracitadas, foram feitos mapas comparativos (Figuras 36 - 39) para avaliar e quantificar a área de cobertura vegetal, que foi acrescida ou diminuída das dunas do campo dunar da praia do Calhau no intervalo entre os anos 2009, 2015 e 2017.

Observando o mapa, pode-se perceber que algumas dunas tiveram perda gradativa da vegetação, como é o caso das dunas 7 (Figura 37), 11(Figura 38), 15 e 16(Figura 39), onde cerca de 50% de sua vegetação foi perdida, sendo a duna 7 a que sofreu a maior perda, sendo esta de 67%. Tiveram ainda dunas que apresentaram perda seguida de ganho de vegetação, como as dunas 1, 4(Figura 36), 5 (Figura 37), 12(Figura 38), 13 e 14(Figura 39) e foi possível perceber que somente uma duna teve acréscimo em sua área vegetada que foi a duna 3, partindo de aproximadamente 759 m² em 2009 para 1679 m² em 2017.

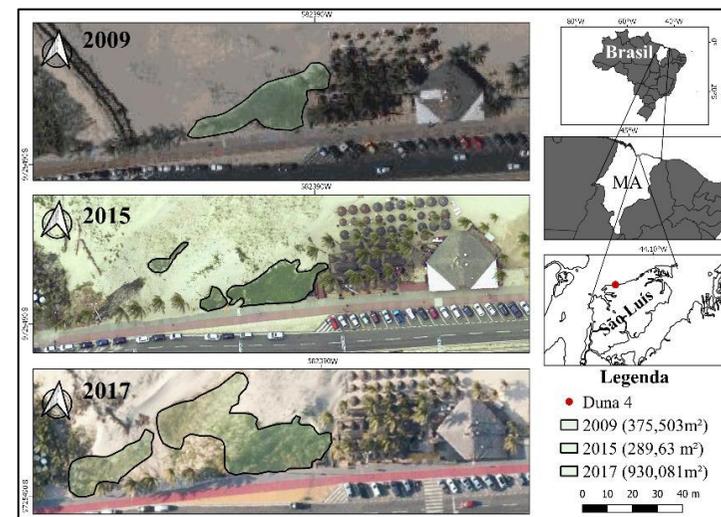
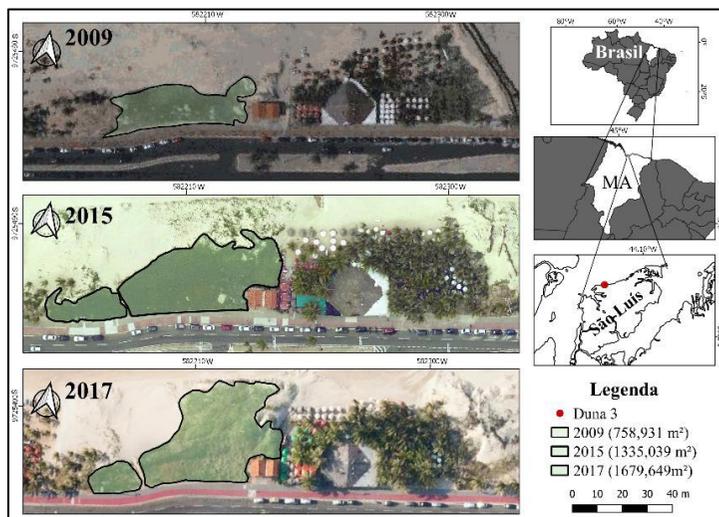
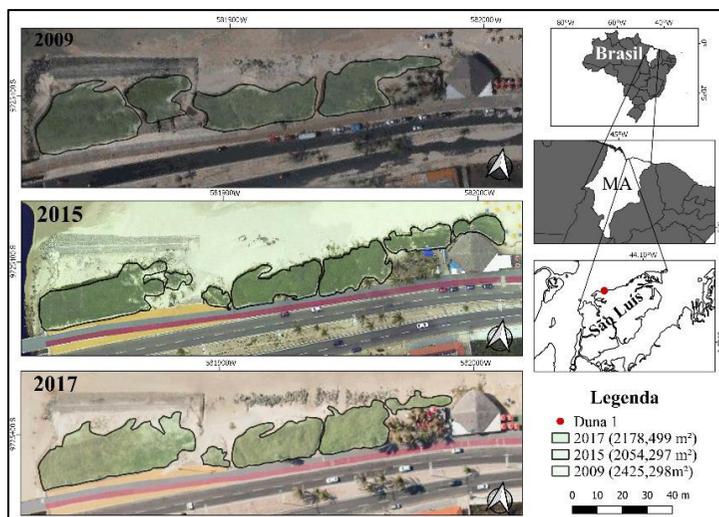


Figura 35: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 1 a 4 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m², nos anos de 2009, 2015 e 2017. Figuras que não apresentaram os três anos citados anteriormente indicam que, no ano não representado no mapa não foi identificada vegetação.

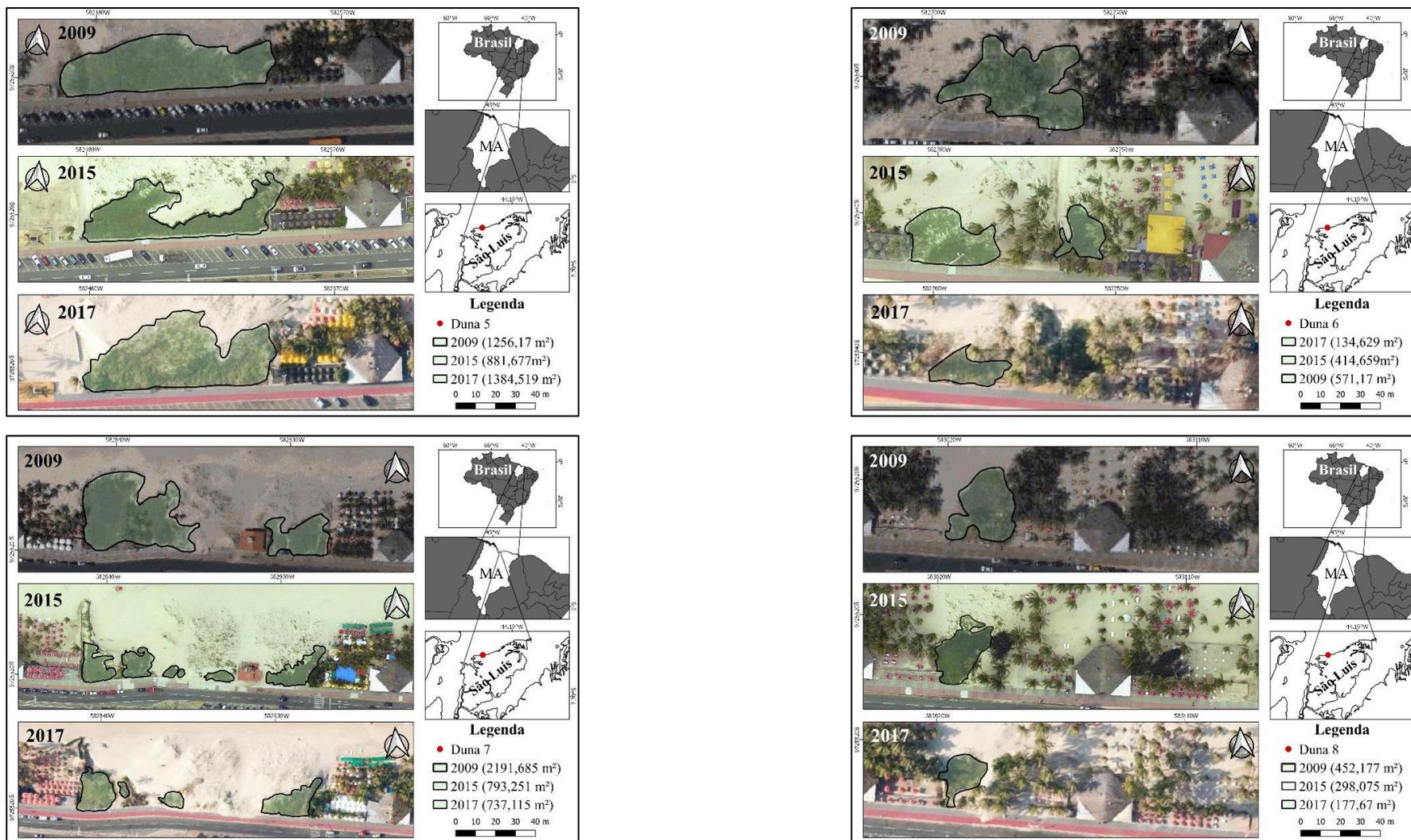


Figura 36: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 5 a 8 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m², nos anos de 2009, 2015 e 2017.

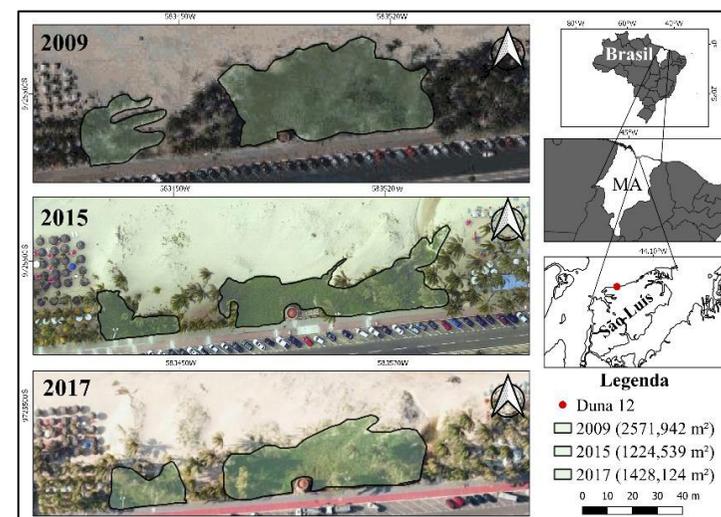
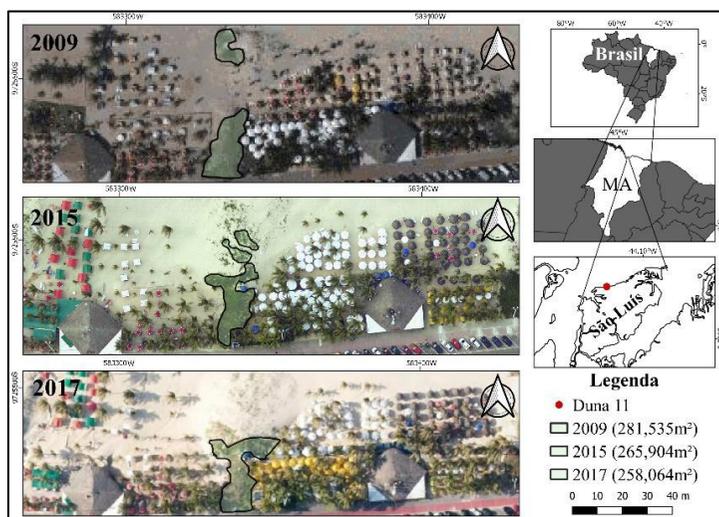
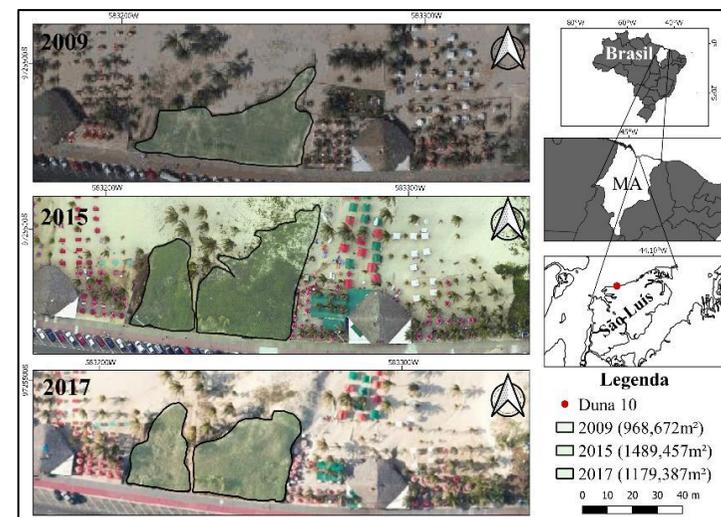
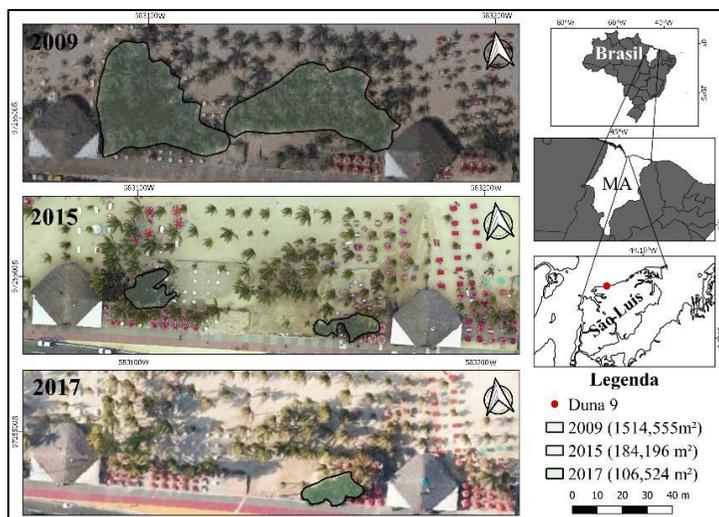


Figura 37: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 9 a 12 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m², nos anos de 2009, 2015 e 2017.

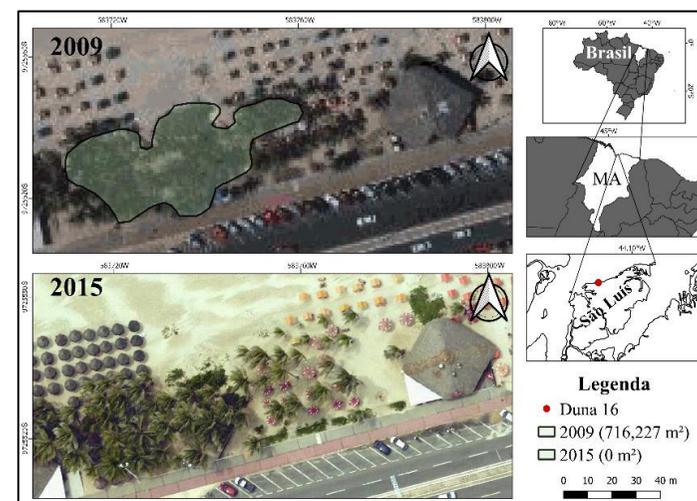
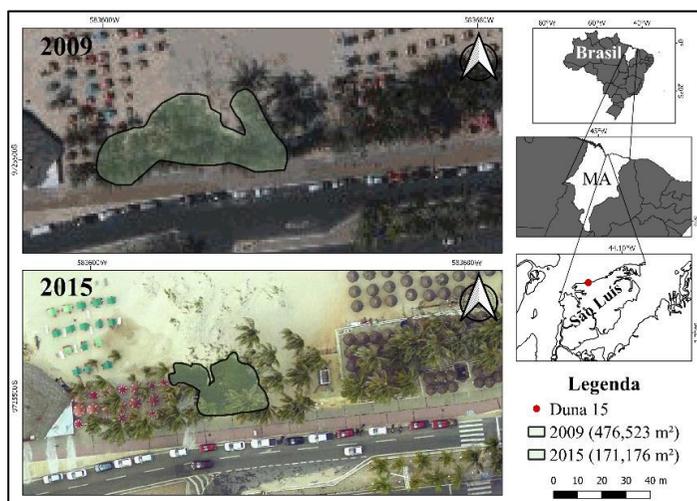
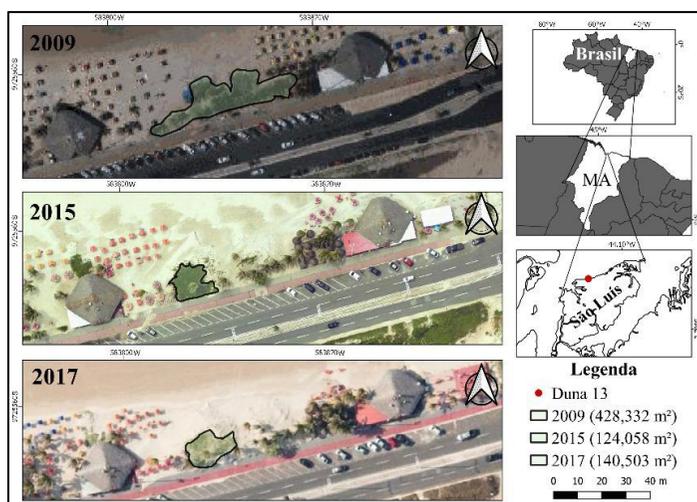


Figura 38: Mapas com os polígonos criados para delimitar a área vegetada das dunas de 13 a 16 encontrada na orla da praia do Calhau e a quantificação de sua área em m², nos anos de 2009, 2015 e 2017. Figuras que não apresentaram os três anos citados anteriormente indicam que, no ano não representado no mapa não foi identificada vegetação.

Na Tabela 11 estão expressos os valores da área total dos polígonos, em m², criados nas imagens de 2009 e posteriormente nas imagens de 2017 para comparar as áreas cobertas por vegetação em 16 dunas, pode-se perceber também os valores da diferença de área vegetada entre os anos de 2009 e 2017 que foram obtidos com a subtração das áreas encontradas para cada polígono. Os valores em vermelho são referentes a valores negativos, ou seja, valores de área vegetada que entre 2009 e 2017 obteve decréscimo. Os valores em verde mostram a área de cobertura de vegetação que apresentou crescimento nesse intervalo de oito anos. Nota-se que a maioria dos valores está em vermelho o que representa uma perda de vegetação nas dunas da orla da praia do Calhau. Polígonos que apresentam o valor de 0 m² representam dunas que não apresentaram vegetação aparente nas imagens utilizadas para o mapeamento.

Tabela 10: Diferença em m² da área vegetada das dunas da praia do Calhau entre os anos de 2009 e 2017.

Diferença em m ² da área vegetada das duna da praia do Calhau			
Dunas (polígonos)	Aerocarta (2009)	Google Earth Pro (2017)	Diferença (m ²) - 2009 - 2017
1	2425,298	2178,499	-246,799
2	0	403,471	403,471
3	758,931	1679,649	920,718
4	375,503	930,081	554,578
5	1256,17	1384,519	128,349
6	571,17	134,629	-436,541
7	2191,685	737,115	-1454,57
8	452,177	177,67	-274,507
9	1514,555	106,524	-1408,031
10	968,672	1179,387	210,715
11	281,535	258,064	-23,471
12	2571,942	1428,124	-1143,818
13	428,332	140,503	-287,829
14	60,791	51,028	-9,763
15	476,523	0	-476,523
16	716,227	0	-716,227

A Tabela 13 expressa os valores totais dos polígonos criados delimitando a área vegetada das dunas nas imagens dos anos de 2015 e 2017. É importante ressaltar que cada polígono representa a cobertura vegetal de uma duna, logo foram 15 dunas mapeadas durante o trabalho.

Na coluna denominada *Diferença* encontram-se os valores encontrados através da subtração entre as áreas dos polígonos criados nas imagens de 2017 e 2015, então os valores negativos e em vermelho retratam as dunas que entre 2015 e 2017 tiveram perda

de vegetação e os valores positivos e em verde apresentam as dunas que obtiveram um crescimento de sua área vegetada.

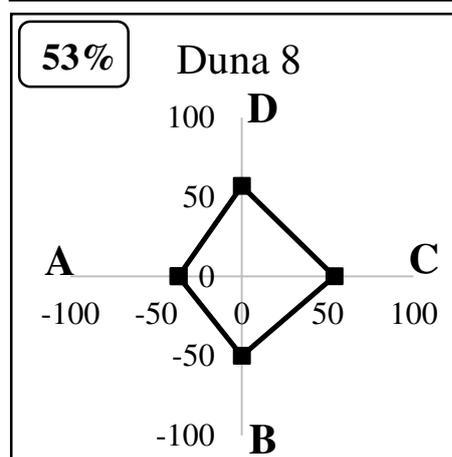
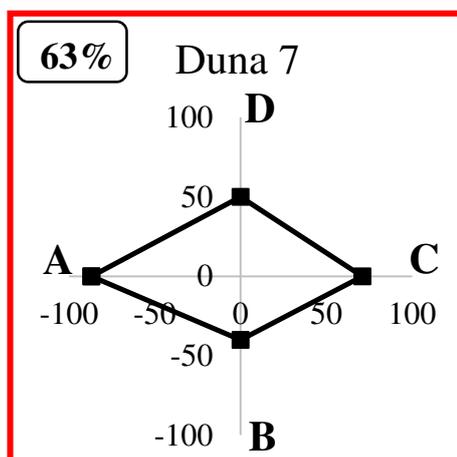
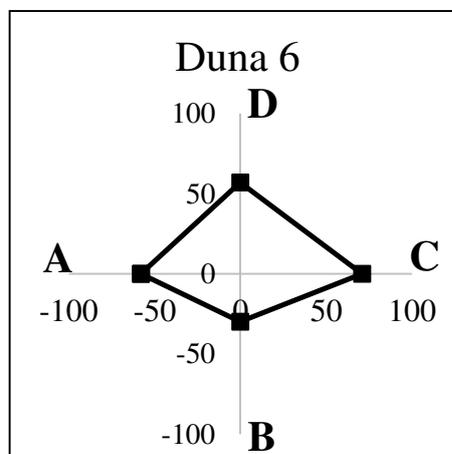
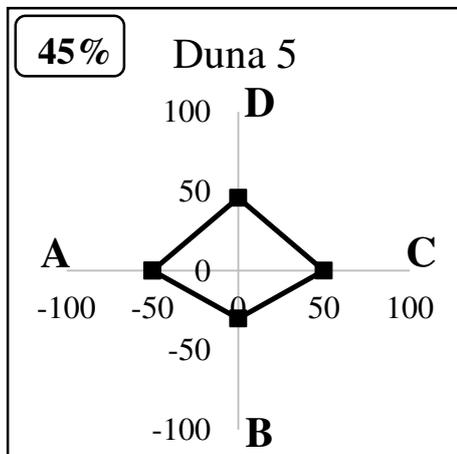
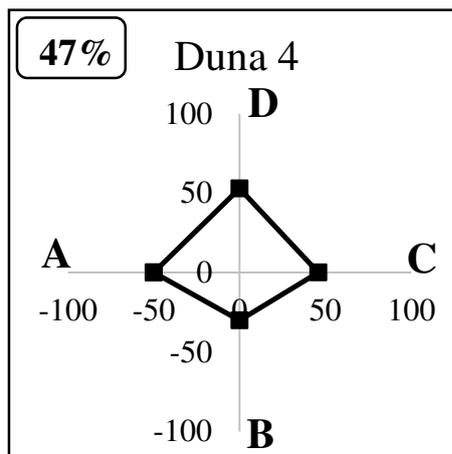
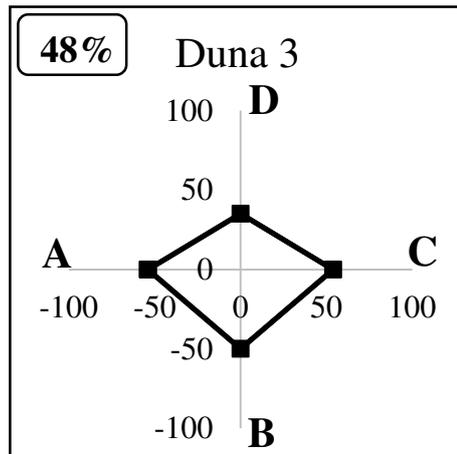
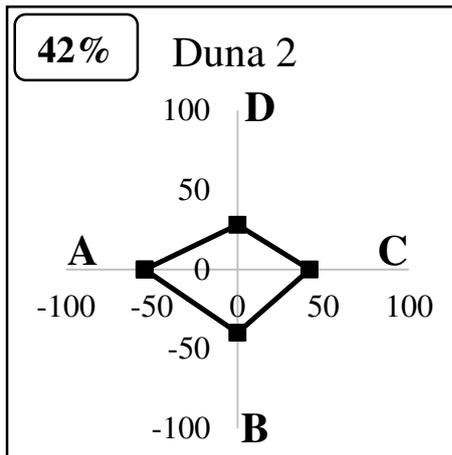
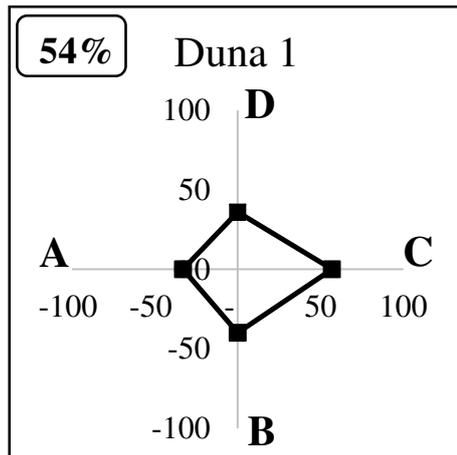
Tabela 11: Diferença em m² da área vegetada das dunas da praia do Calhau entre os anos de 2015 e 2017.

Diferença em m ² da área vegetada das duna da praia do Calhau			
Dunas (polígonos)	Ortofoto (2015)	Google Earth Pro (2017)	Diferença (m ²) - 2017-2015
1	2054,297	2178,499	124,202
2	440,506	403,471	-37,035
3	1335,039	1679,649	344,61
4	289,63	930,081	640,451
5	881,677	1384,519	502,842
6	414,659	134,629	-280,03
7	793,251	737,115	-56,136
8	298,075	177,67	-120,405
9	184,196	106,524	-77,672
10	1489,457	1179,387	-310,07
11	265,904	258,064	-7,84
12	1224,539	1428,124	203,585
13	124,058	140,503	16,445
14	47,048	51,028	3,98
15	171,176	0	-171,176

4.5 Índice de Vulnerabilidade

A partir do monitoramento realizado em dezembro de 2017 foi possível avaliar o comportamento dos índices de vulnerabilidade do campo de dunas da Praia do Calhau no mês de transição entre o período seco e o período chuvoso, após longa exposição aos fortes ventos e uma ausência de chuva de ao menos três meses, características que marcam o período seco, que predomina de julho a dezembro.

O resultado desse monitoramento está expresso em gráficos de polígono (Figura 40), onde cada gráfico representa uma duna avaliada e os valores em % representam o Índice total de vulnerabilidade de cada duna, sendo a duna 7, em vermelho, a única que atingiu valor maior que 60%, o que a caracteriza como uma duna com a resiliência altamente afetada e uma sensibilidade elevada, segundo a classificação de Laranjeira (1997), essa duna apresentou maior valor de índice relativo na seção A (morfologia da duna), o que contribuiu diretamente para seu alto índice de vulnerabilidade.



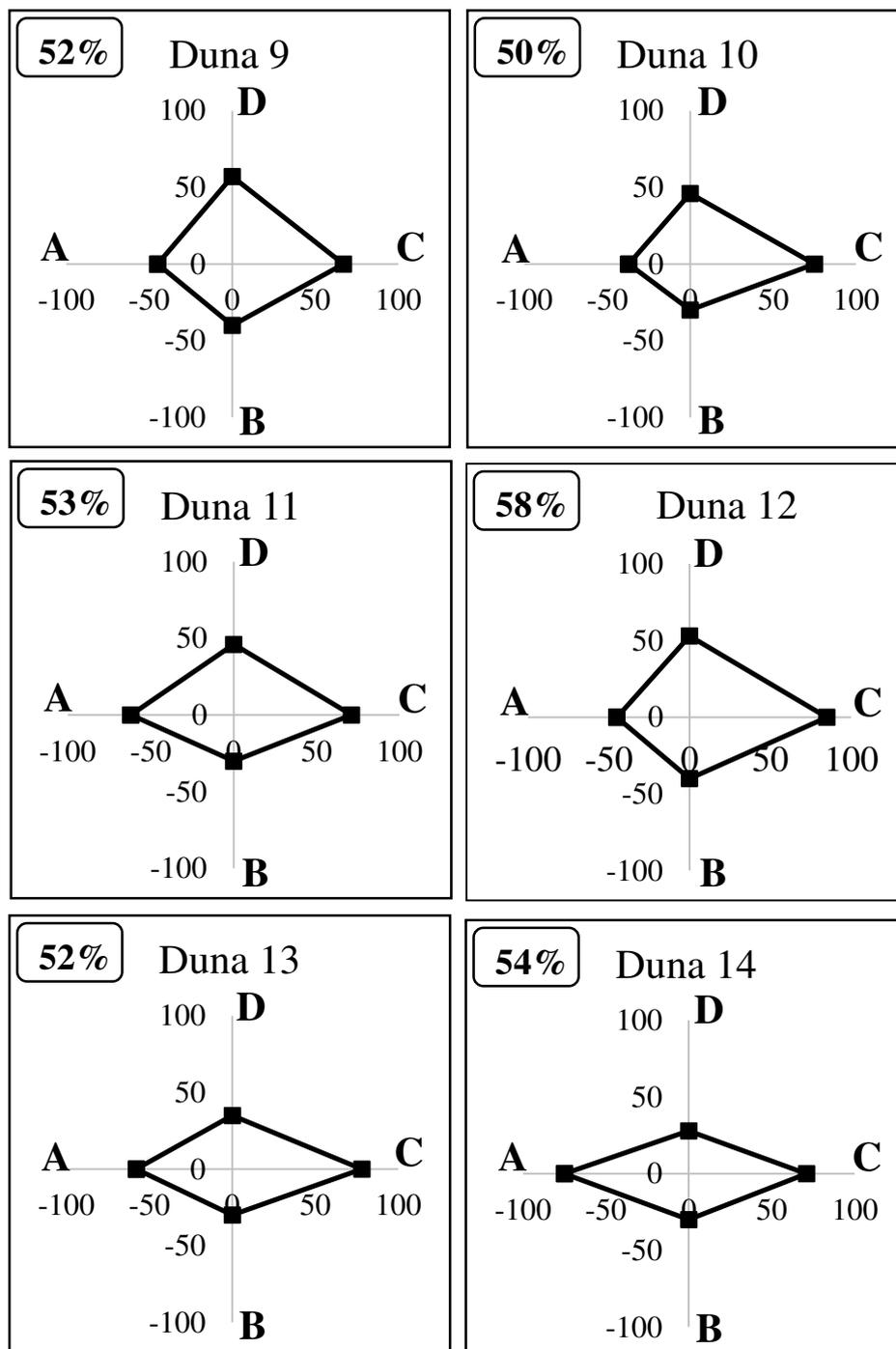


Figura 39: Gráficos poligonais para os índices de vulnerabilidade das dunas de 1 a 14 da praia do Calhau. A: Morfologia das dunas; B: Condições da praia; C: Característica dos 200 m adjacentes ao mar; D: Pressão de uso. Em vermelho o gráfico representando o único perfil classificado, segundo os níveis de vulnerabilidade definidos por Laranjeira (1997), como nível 4 de vulnerabilidade – ver Tabela 2.

Na tabela 12 estão expressos os valores individuais obtidos durante a aplicação dos *checklists* para cada seção e percebe-se que em sua grande maioria as seções mais influentes nos valores dos índices de vulnerabilidade foram C (característica dos 200 m

adjacentes ao mar), seguido por A (condições da morfologia da duna) e a menos influente a seção B (condições da praia). A seção D possui flutuações nos valores, porém nunca ultrapassando os 60%. Dentre as 14 dunas estudadas apenas 3 tiveram como seção mais significativa a A e uma duna mostrou como seção mais influente no nível de vulnerabilidade a seção D, todas as outras a seção mais importante foi a C ou houve um empate entre as seções A e C.

Tabela 12: Índices de Vulnerabilidade Reativos (IVR) para cada seção do checklists.

Segmento	Seção A (%)	Seção B (%)	Seção C (%)	Seção D (%)
IV 1	33	40	50	36
IV 2	54,1	40	42,8	28,5
IV 3	54,1	50	54	35,7
IV 4	50	30	46,4	53,5
IV 5	50	30	50	46,5
IV 6	58,3	30	71,4	57
IV 7	87,5	40	71,4	50
IV 8	37,5	50	64,2	57,1
IV 9	45,8	40	67,8	57,1
IV 10	37,5	30	75	46,4
IV 11	62,5	30	71,4	46,4
IV 12	45,8	40	85	53,4
IV 13	58,3	30	78,5	35,7
IV 14	75	30	71,4	28,5

A tabela 14 apresenta as dunas distribuídas de acordo com a classificação feita por Laranjeira (1997), onde as dunas estudadas se dividiram entre os níveis 3 e 4 de vulnerabilidade, onde o 3 refere-se as dunas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, que obtiveram valores entre 40 e 60% no Índice de Vulnerabilidade, o que caracteriza uma duna com sinais de degradação significativos e restrições em sua utilização, e o nível 4, duna 7, que refere-se a dunas que obtiveram uma percentagem de vulnerabilidade entre 60 e 80%, que seria a duna que tem uma pressão de uso alta e possui a resiliência comprometida.

Tabela 13: Distribuição das dunas por nível de vulnerabilidade segundo classificação de Laranjeira (1997).

Níveis de Vulnerabilidade			
Nível 1 (0-20%)	Nível 2 (21-40%)	Nível 3 (41-60%)	Nível 4 (61-80%)
		Duna 1 Duna 2 Duna 3 Duna 4 Duna 5 Duna 6 Duna 8 Duna 9 Duna 10 Duna 11 Duna 12 Duna 13 Duna 14	Duna 7

5 DISCUSSÃO

Através de análise dos resultados obtidos, pôde-se perceber a mudança da morfologia das dunas monitoradas, onde fica claro que as dunas que sofrem modificações antrópicas, respondem de maneira diferente daquelas que sofrem pouca ou nenhuma modificação por parte da população.

A duna monitorada pelo perfil 1 apresentou-se estável entre os meses de setembro e outubro, com uma erosão de 9,41 m²/m e logo após, nota-se um caráter deposicional entre os meses de outubro e dezembro, o que pode ter sido resultado de um período com médias de pluviosidade perto de 0 (Figura 41) e aumento da velocidade do vento, ocasionado pela influência dos ventos alísios (EL-ROBRINI, 2006) (Tabela 15), que é bastante característico dessa época do ano. Esta fase acrescida resulta em 444,4 m³/m de areia, que se solda a praia ampliando em mais de 1 m a face praial. O setor 1 do perfil 1 (compartimento da duna) amplia-se sensivelmente em dezembro, indicando que a mudança da morfologia praial mais acrescida resulta em uma pista de vento mais eficiente e provavelmente melhor drenada durante o recuo da maré. Em outras palavras, o aumento de nível da face praial expõem as areias mais rapidamente a desidratação ampliando o

potencial de transporte eólico nesta localidade. Nessa duna, pode-se notar o pisoteamento de áreas antes vegetadas, o que segundo Rickard *et al.* (1994), embora exista alguma resistência por conta das espécies que compõe a flora dunar, o constante pisoteamento leva a morte da vegetação e com isso a movimentação constante de sedimento. Segundo Cordazzo (2002), essa vegetação que faz a cobertura da duna possui o mecanismo de impedir a circulação de ar e assim diminuir a capacidade de transporte realizado pelo vento atuando assim na estabilização da superfície.

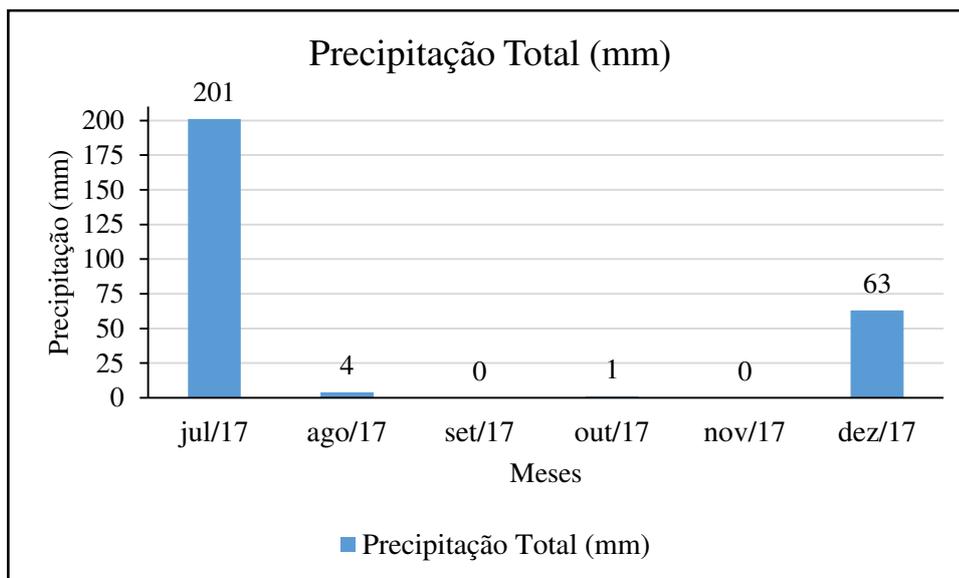


Figura 40: Gráfico de representação da precipitação total (mm) dos meses entre julho e dezembro de 2017.

Tabela 14: Velocidade média do vento (km/h) referente aos meses de monitoramento morfológico.

Velocidade Média do Vento (km/h)		
Data	Direção do vento	Velocidade do Vento (km/h)
25/07/2017	Nordeste	10
25/09/2017	Nordeste	12,6
09/10/2017	Nordeste	10,5
21/12/2017	Nordeste	10,8

A vegetação encontrada nessa duna traz características de elevada estabilização na parte vegetada uma vez que as espécies encontradas, segundo Cabral-Freire e Monteiro (1993) possuem crescimento rizomatoso, o que juntamente com suas raízes cumprem o papel de fixar a duna. Analisando o perfil de monitoramento topográfico (Figura 18) realizado na duna do Perfil 1 pode-se notar que a parte de maior variação morfológica ocorre no setor que compreende a duna, mais especificamente em sua face que se encontra

voltada para o mar, respaldando assim a ideia de que a parte vegetada possui menor variação do que a área sem vegetação (Figura 42).



Figura 41: Face marinha da duna do perfil 1. a) vegetação escassa da face voltada para o mar e b) face voltada para a orla com vegetação mais densa.

Após análise dos polígonos referente à duna no perfil 1 (Figura 36), esta apresentou decréscimo de vegetação, o que pode ter se dado pela colonização da duna por espécies invasoras como a *Cuscuta sp.*, parasita invasora mais encontrado na duna em questão e pode ser relacionada com a pressão antrópica que ocorre nessa duna. Alguns autores apontam que o fato do aparecimento de espécies mais agressivas e persistentes em áreas de restinga, pode ocasionar na redução da diversidade local (Santos *et al.* 2000; Cirne *et al.* 2003).

O perfil 2 apresentou o mesmo comportamento do perfil 1, refletindo uma fase acresciva, tanto do setor 1 quanto do setor 2 (Figura 21) no período de outubro e dezembro. A variação do pacote sedimentar foi maior nos meses entre setembro e outubro na ordem de 280,63 m³/m de sedimento acrescidos ao perfil 2. A acresção no setor 1 corresponde novamente ao aumento de velocidade do vento e ausência de pluviosidade no período, no entanto, cabe lembrar que estas dunas se encontram antropizadas com a presença de estruturas feitas de palha (Figura 43), posicionadas com a finalidade de barrar o sedimento que é transportado para fora do sistema. Esta medida de contenção das dunas que pode ser percebida em vários pontos de dunas na cidade de São Luís, porém no monitoramento do presente estudo a duna do perfil 2 foi a única que apresentou essa estrutura desde o início do monitoramento. Em comparação com o perfil 1, percebe-se que em outubro a duna (setor 1) do perfil 2 já estava numa fase nitidamente acrescional, enquanto no perfil 1 demorou mais um mês para encontrar em condição acrescional semelhante. Com os perfis mais acrescionais (dezembro) percebe-se que um amplo banco arenoso se solda as posições mais inferiores da face praial.



Figura 42: Estrutura de palha posicionada de uma extremidade a outra da duna do perfil 2, gerando um barramento do sedimento transportado.

Segundo Hesp (2002), dunas que contem plantas rasteiras como vegetação predominante sofrem a diminuição do fluxo de ar assim como em seu transporte eólico, levando a um curto declive na face ocupada por essa vegetação. A forte presença de vegetação do gênero *Ipomoea*, representada pela espécie *Ipomoea pes-caprae*, pode ser apontada como causa da assimetria observada nessa duna, ou seja, um curto declive na face ocupada por essa vegetação, porém na face com vegetação escassa, fim do setor 1 (Figura 21), foi possível observar um grande declive.

Assim como no perfil 1, houve uma acresção mais acentuada entre os meses de novembro e dezembro, provavelmente devido à eventos de alta energia, como a maré astronômica da superlua, que antecedeu a realização do perfil de dezembro de 2017. Em um estudo realizado na mesma praia, Franco (2018) encontrou resultados semelhantes após um mesmo evento de alta energia ocorrido durante um monitoramento nos meses de novembro e dezembro de 2016. A medida que houve esta grande movimentação de areia entre o mês de outubro / dezembro, bancos se fizeram presentes, indicando que sua presença representa o principal mecanismo de acresção praial. O aparecimento de calhas e bancos arenosos em perfis planares (*flat*), é evidenciado em alguns trabalhos como Masselink e Short (1993), Ranieri e El-Robrini (2013), Franco (2018) Lippmann e Holman (1990) e Wright e Short (1984). Associados a variação de período de chuvas e estiagem, conjuntamente com as alterações no clima de ondas do local (Quadros, 2016).

Analisando a Figura 21 pode-se observar que além da acresção sofrida o aparecimento de um banco de areia, no mês de dezembro, a cerca de 180 m do início do perfil topográfico, pode ter a mesma explicação do perfil acrescido no mês de dezembro no perfil 1. Ou seja, a chegada da fase de transição do período de seca e chuva, (em dezembro nota-se um quantitativo considerável de precipitação). Da mesma forma, esta fase de transição carrega consigo alterações no clima de ondas do local (Quadros, 2016), além de estarem relacionadas a maré astronômica da superlua. Respostas semelhantes a esses eventos foram observados nos trabalhos de Franco (2018) e Ranieri (2013), onde notou-se o aparecimento de bancos arenosos na face praial frente a transição de período seco para período chuvoso.

A duna monitorada pelo perfil 3 é a mais alta do sistema dunar da Praia do Calhau, como pode ser observado na Figura 24, que ilustra o monitoramento deste perfil do mês de julho a dezembro. A duna em questão apresentou um caráter principalmente acrescido no mês de dezembro, onde se pode notar o aparecimento sistema de duplo banco formado na porção intermediária do setor 2 do perfil 3.

A partir do monitoramento da face praial foi possível notar a presença de um sistema de banco e cava bem definido em pelo menos um mês nos perfis da praia. Franco (2018), sugere a hipótese de que há variação do estágio morfodinâmico desta praia ao longo ano em resposta a maiores alturas de ondas na zona de arrebentação. Este mesmo autor relaciona a movimentação dos bancos arenosos com o volume de areia transportado, o que reflete também na variação de volume da duna frontal desta praia.

Ainda na duna do perfil 3 foram realizadas três campanhas de coleta de transporte eólico, nos meses de setembro, outubro e dezembro. Comparando os resultados obtidos no transporte eólico, a face da duna representada pelas armadilhas 2 e 3 representam os compartimentos com maior volume de areia transportada nos meses de monitoramento. Em setembro, no auge da estação seca foi o período monitorado com maior mobilidade de areias, no entanto, percebe-se que o padrão de transporte medido foi sempre o mesmo, com maior transporte nos compartimentos 2 e 3, decrescendo significativamente na armadilha 4 e valores quase nulos na armadilha 1. Estes valores quase nulos na base da duna (armadilha 1) refletem que na ausência de obstáculos na face praial, as areias transportadas por rolamento e saltação cruzam por este compartimento aplainado (*flat*), sem ocasionar deposição de grãos.

De acordo com vários autores o fluxo de vento é topograficamente acelerado em direção ao topo da duna, sendo desacelerado por presença de vegetação ou de detritos (JACKSON e HUNT, 1975; FINNIGAN, 1988; WILSON et al., 1998; RASMUSSEN, 1989; ARENS 1996). No mês de setembro, onde havia uma maior proximidade com o fim do período chuvoso, percebeu-se a presença maior de vegetação do que nos meses de outubro e dezembro, onde a vegetação encontra-se mais seca e escassa.

Foi possível perceber a interferência de uma série de fatores no transporte eólico, uma vez que o mês de setembro foi o maior volume de sedimento capturado. Isso pode ter sido ocasionado pela velocidade média do vento durante a coleta, que se manteve maior durante o experimento de setembro, se comparado com os outros meses (Tabela 6). Pode ser apontado também a pluviosidade que se manteve em 0 mm no mês de setembro, sendo favorável ao transporte, foi possível notar também a umidade da superfície praial durante os experimentos dos meses de outubro e dezembro. Estudos como de Belly (1964), Azizov (1977) e Van dijk *et al.* (1996), descrevem a influência negativa da chuva e da umidade da superfície no transporte eólico de sedimentos.

Devido aos fatores já discutidos acima, apenas uma campanha obteve quantitativo suficiente para que fossem realizados os testes estatísticos de granulometria. Se comparados com a literatura (AHLBRANDT'S, 1979), a seleção e o tamanho de grão encontrados na granulometria são característicos de campos de dunas costeiras, onde predomina areia fina bem selecionada, como pode ser observado na Figura 30 e Tabela 9. Embora haja diferença na homogeneidade das amostras, Pye e Tsoar (2009) aponta essa distribuição apresentada nos histogramas como normais para sedimento eólico dunar.

A frequência acumulada dos sedimentos coletados no mês de setembro mostra uma diminuição no tamanho do grão a medida em que se afasta da base da duna, resultados já encontrados em estudos posteriores como Bagnold (1941), Sharp (1966) e Lindsay (1973), que obtiveram o mesmo padrão de diferença na granulometria. Isso se dá, segundo Pye e Tsoar (2009), por que o sedimento mais grosso é movido para partes mais altas com maior dificuldade, tendendo assim a ser depositado na base da duna, enquanto que os sedimentos mais finos são facilmente transportados.

De modo amplo, o que se percebe nos resultados tanto da morfologia praia/duna como dos experimentos de transporte é que este sistema praial sofre influência direta dos

parâm meteorológicos e hidrodinâmicos que resultam em dois ciclos com características distintas ao longo do ano, sendo um relacionado com o período chuvoso que se estende pelos primeiros seis meses do ano e o segundo ciclo sendo influenciado pelo período seco que vai de junho a dezembro. (FRANCO, 2018; ALBUQUERQUE, 2018; FERREIRA 2018; FEITOSA, 1989). Os resultados do presente estudo, mesmo que não contemplando um período amostral ao longo de um ano completo, refletem a transição entre o período chuvoso e seco.

Durante o monitoramento do sistema praia/duna, foi aplicado o método de *checklists* adaptado de Williams et al. (2001) para a região da orla de São Luís a fim de identificar área prioritárias para possíveis intervenções de manejo, segundo a maior fragilidade identificada através de Índices de Vulnerabilidade. Observando a Figura 39, pode-se perceber que as seções que mais contribuem para os níveis gerais de vulnerabilidade não seguem um padrão, porém a mais observada é a seção C, que compreende características como: fuga de areia do sistema de dunas para o continente (orla), existência de vegetação exótica, % de vegetação no lado marinho da duna, dentre outros.

Segundo Portz (2012), a presença de vegetação exótica pode causar uma acentuação no nível de sensibilidade, pois não permite a fixação da vegetação nativa, facilitando com isso a retirada de areia do sistema de dunas pela dinâmica de ventos e de ondas. Espécies como *Cuscuta racemosa*, encontrada durante esse estudo, caracterizada como parasita agressiva, pode ter sido responsável por grande parte das notas altas recebidas nessa seção para várias dunas, o que pode ocasionar a fuga de sedimento dunar para o sistema, além disso deve ser levado em consideração também a época seca em que foi feita a aplicação dos *checklists*.

Dentre os gráficos de vulnerabilidade gerados, pode-se destacar o IV da duna 7, que foi a única a atingir uma percentagem maior que 60%, caracterizando-a, como uma duna com vulnerabilidade nível 4 onde, segundo Laranjeira (1997), a duna já não apresenta mecanismos de defesa contra os estresses sofridos.

Nessa duna é possível notar faixas de sedimento completamente sem vegetação, com marcas de pegada de banhistas e a notória fuga de sedimento para a área da calçada (Figura 44), em estudos anteriores foi observado que a pressão de uso antrópico é o principal condicionante das características morfológicas da faixa de dunas (Zomer et al.,

1997; Gruber et al., 2005), ressaltando a importância de se eliminar os conflitos de uso e ocupação nestes locais. O papel da vegetação de trapear o sedimento e evitar o seu transporte para fora do sistema praial foi observado nos trabalhos de Clark (1977) e Cordazzo (2006), onde percebeu-se que a vegetação exerce um importante papel na estabilização das dunas, aprisionando os sedimentos carreados pelos ventos para o continente, fixando grandes áreas de dunas, e desta forma mantendo as areias no sistema praial.



Figura 43: Duna 7 – área da duna sem vegetação e áreas com vegetação escassa ocasionando fuga de sedimento para a área da calçada.

6 CONCLUSÕES

As dunas monitoradas sofrem mudança da morfologia impulsionadas por fatores naturais e/ou antrópicos, notando-se que as dunas que sofrem modificações antrópicas, respondem de maneira distinta daquelas não impactadas.

O sistema praia/duna contida no perfil 1 apresentou-se estável entre os meses de setembro e outubro, com uma erosão de $-9,41 \text{ m}^3/\text{m}$, sendo precedida de eventos deposicionais entre os meses de outubro e dezembro, que resultaram em $444,4 \text{ m}^3/\text{m}$ de areia que se solda à praia ampliando em mais de 1 m a face praial.

No perfil 2 a variação do pacote sedimentar foi maior nos meses entre setembro e outubro na ordem de $280,63 \text{ m}^3/\text{m}$ de sedimento acrescidos, sendo grandemente

impulsionado pelo aumento da velocidade do vento, ausência da pluviosidade e presença de estruturas antrópicas que retém sedimento.

O sistema praia/duna do perfil 3 apresentou um caráter acrescivo no mês de dezembro, onde se pode notar o aparecimento do sistema de duplo banco formado na porção intermediária do setor 2.

A face da duna que mais sofreu modificações de volume sedimentar foi a face marinha, que se encontra com ausência ou escassez de vegetação. Essa vegetação que cobre a duna impede a circulação de ar e assim diminui a capacidade de transporte (rolamento, saltação e suspensão) realizado pelo vento, atuando assim na estabilização da superfície. Sua ausência, por outro lado, faz com que não haja essa estabilização, condicionando assim, alterações em sua morfologia.

Dunas que contem plantas rasteiras como vegetação predominante condicionam a morfologia a um suave declive na face ocupada pela vegetação e pelo contrário, um declive mais acentuado na faixa não vegetada.

A faixa intermediária da extensão da duna possui maior potencial de transporte eólico do que sua base e topo, onde a base recebe sedimento com maiores granulometrias que o topo ou mesmo a região intermediária. A região onde as armadilhas 2 e 3 foram posicionadas são responsáveis por coletar mais sedimento, o que reflete maior transporte eólico nessa região, exibindo neste setor, a predominância de sedimento fino e bem selecionado.

Os efeitos da dinâmica natural, combinados com as perturbações antrópicas nas dunas da Praia do Calhau, levaram a uma desestabilização da integridade do ambiente costeiro, induzindo a mudanças profundas das unidades fisiográficas, quase sempre com uma significativa redução da biodiversidade refletida na predominância de espécies exóticas na flora componente destas dunas.

Com a aplicação do método de *Checklists*, a seção C que compreende características como: fuga de areia do sistema de dunas para o continente (orla), existência de vegetação exótica, % de vegetação no lado marinho da duna, etc., se mostrou mais influente, seguida da seção A, que compreende características da duna, tais como altura e estágio evolutivo. Cada item citado na seção C ou A possuem forçantes que pode estar

ligado a conflitos de uso e ocupação, fazendo-se assim necessário o envolvimento de órgãos públicos, já que os mesmos possuem condições legais de intervir nessas situações.

Nota-se que nenhuma das dunas estudadas obteve a classificação no nível 1 ou 2 o que significa que a orla da praia do Calhau não possui dunas com baixo risco à sua resiliência e com baixa sensibilidade às características do meio.

O método do checklists se mostrou eficiente, porém foi percebida a necessidade de melhor adequação ao ambiente da orla da Praia do Calhau. A ação de recuperação das dunas deve envolver um planejamento com um trabalho continuado e adaptativo, uma vez que, a estabilização destas áreas demanda tempo para ser atingida e está relacionada com uma ampla gama de variáveis ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLBRANDT, T. S. Textural Parameters of Eolian Deposits. In E. McKee (Ed.), *A study of global sandseas*. p. 21–51. Prof. Pap. US Geol. Surv., No. 1052. 1979.

ALBUQUERQUE, S. S. de. *Estratigrafia e Evolução do Esporão Arenoso da Ponta da Areia, São Luís - Ma*. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

APG III. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, *161*: 105-121. 2009.

ARENS, S.M. Patterns of Sand Transport on Vegetated Foredunes. **Geomorphology** *17*, p.339–350. 1996.

AZIZOV, M. T. Influence of Soil Moisture on the Resistance of Soil to Wind Erosion. **Pochvovedeniye**, v.1, p.102-105. 1977.

BAGNOLD, R.A, TSOAR, H. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, [s.l.], v. 18, n. 1, p.91-96. **SAGE Publications**, mar. 1994.

BALLANCE, P.F. The Sedimentology of the Waitemata Group in the Takapuna Section, Auckland. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, [s.l.], v. 7, n. 3, p.466-499, Informa UK Limited, ago. 1964.

BELLY, T. Y. *Sand Movement by Wind*, US Army Coastal Engineering Research Center, Technical Memo, I, 1-24. 1964.

BIRKEMEIER, William A. Fast, Accurance Two-Person Beach Surveys. **National Technical Information Service**, Virginia, v. 285, p.6-15, ago. 1981.

BRAGA, F.P.S. Morfologia e Sedimentologia da Praia de Macromaré de Ajuruteua, Pará: Um Estudo para Definição de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo. Belém, 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 2007.

BRASIL. Lei 7.661, de 16 de maio de 1988, Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, Brasília, DF. Mai, 1988.

CABRAL-FREIRE, M.C.; MONTEIRO, R. Florística das Praias da Ilha de São Luís, Estado do Maranhão (Brasil): Diversidade de Espécies e Suas Ocorrências no Litoral Brasileiro. **Acta Amazonica**, 23: 125-140. 1993

CAMARGO, M.G. SYSGRAN: Um Sistema de Código Aberto para Análises Granulométricas do Sedimento. P. 345-352. **Revista Brasileira de Geociências**, 2006.

CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. (Ed.). Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics. P. 431. Melbourne: Cambridge University Press, 1994.

CIRNE, P.; ZALUAR, H.L.T. & SCARANO, F.R. Plant Diversity, Inter-specific Association, and Postfire Resprouting on a Sandy Spit in a Brazilian Coastal Plain. **Ecotropica** 9: 33-38. 2003.

CLARK, J.R. Coastal Ecosystem Management. Florida, USA. 1977

CORDAZZO, C. V.; SEELIGER, U. Phenological and Biogeographical Aspects of Coastal Dune Plant Communities in Southern Brazil. **Vegetatio**, v. 75, n. 3, p. 169-173, 1988.

CORDAZZO, C.V.; PAIVA, J.B.; SEELINGER, U. Guia Ilustrado Plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica. P.107. Editora USEB, Pelotas, 2006.

COWELL, P. J.; THOM, B. G. Morphodynamics of Coastal Evolution. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1994.

DIAS, J. M. A. A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinheiros. P.84. Universidade do Algarve, Faro, Portugal, 2004.

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.

EL-ROBRINI, M.; TUMA, L.S.R. & SILVA, C.A. DA. Estudo Sedimentológico das Areias Litorâneas do Nordeste do Pará e do Noroeste do Maranhão. IV Congres. Associa. Brasil. Estud. Quatern. – ABEQUA, São Paulo (Brasil), 5-8 de julho de 1993.

FEITOSA, A.C. Evolução Morfogenética do Litoral Norte da Ilha do Maranhão. Rio Claro, UNESP: 210p. Dissertação de Mestrado, 1989.

FERREIRA, M. S. Morfodinâmica Da Praia Da Ponta Dareia, São Luís-Ma. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão-UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, f. 83, 2018.

FINNIGAN, J.J. Air Flow over Complex Terrain. In: Steffen, W.L., Denmead, O.T. (Eds.), Flow and Transport in the Natural Environment: Advances and Applications. , p.64–74. Springer Verlag. Berlin, 1988.

FRANCHINI, R. A. L. Diagnóstico de Vulnerabilidade das Dunas do Município de Arroio do Sal - Contribuição para o plano de Manejo de Dunas. p.112. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FRANCO, B. J. Caracterização Morfodinâmica das Praias Oceânicas da Ilha do Maranhão. p.58 TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

GOLDSMITH, V., ROSEN, P., & GERTNER, Y. Eolian Sediments Transport on The Israeli Coast. Haifa: National Oceanographic Institute. (Final Report, US–Israel BSF), 1988.

GRUBER, N.L.S.; CORRÊA, I.C.S.; TABAJARA, L.L.; SILVA, C.R.C.; SOUZA, R.R.; SILVA, D.C.; UGRI, A.; BORGES, C.L.L. Diagnóstico de Vulnerabilidade dos Campos de Dunas Frontais do Município de Xangri-lá - RS, como Subsídio ao Plano de

Manejo. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica CECO/IG/UFRGS e Prefeitura Municipal de Xangri-Lá. 2005.

HESP, P. Foredunes and Blowouts: Initiation, Geomorphology and Dynamics. **Geomorphology**, [s.l.], v. 48, n. 1-3, p.245-268. Elsevier BV, 2002.

HESP, P. Morphology, Dynamics and Internal Stratification of Some Established Foredunes in Southeast Australia. v. 55, p.17-41. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, maio 1988.

HESP, P. Coastal Sand Dunes: Form and Function. 4. ed. [s.l]: p.28. CDVN Technical Bulletin, 2000.

JACKSON, N.A., HUNT, J.C.R. Turbulent Wind Flow over a Low Hill. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 101, p.929– 955. 1975.

JARDIM, J. P. M. Análise dos Índices de Vulnerabilidade Sazonais de Inverno e Verão para a Classificação das Dunas Frontais do Município de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. p.115. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

KRUMBEIN, W. AND SLOSS, L. Stratigraphy and Sedimentation. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 660 p. 1963.

LARANJEIRA, M. C. Vulnerabilidade e Gestão dos Sistemas Dunares – O Caso das Dunas de Mira. (Dissertação de Mestrado). Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 1997.

LEATHERMAN, S. P. A New Aeolian Sand Trap Design. *Sedimentology* 25, 303–306. 1978.

LEITE, A. V. L., ANDRADE, L. H. C. Riqueza de Espécies e Composição Florística em um Ambiente de Duna Após 50 Anos de Pressão Antrópica: Um Estudo na Praia de Boa Viagem, Recife, PE - Brasil. **Biotemas**, Recife, v. 17, p.29-46, set. 2004.

LIMA, C. S., SILVA, J. F. Expansão Urbana na Zona Costeira de São Luís - Ma: A Gestão Ambiental Inserida No Gerenciamento Costeiro. In: IV Congresso Nacional de Gestão Ambiental. Salvador - BA. ANAIS - CONGRESSOS BRASILEIROS DE GESTÃO AMBIENTAL. Goiânia: Gráfica PUC GOIÁS, v. 04. p. 2-172. 2013.

LINDSAY, J. F. Reversing Barchan Dunes in Lower Victoria Valley, Antarctica. *Bull. Geol. Soc. Am.* 84, 1799–1806. 1973.

LIPPMANN, T.C. e HOLMAN, R.A. The Spatial and Temporal Variability of Sand Bar Morphology. p. 95 – 115. *Journal of Geophysical Research*, 1990.

MASSELINK, G. & SHORT, A.D. The Effect of the Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. p. 785-800. *Journal of Coastal Research*, 9 (3): 1993.

MCCAMMON R.B. Efficiencies of Percentile Measurements for Describing the Mean Size and Sorting of Sedimentary Particles. *Journal of Geology*, 70:453-465. 1962.

BALANCE, P. F. The Sedimentology of the Waitemata Group in the Takapuna Section, Auckland, New Zealand *Journal of Geology and Geophysics*, 7:3, 466-499, 1964.

PORTZ, L. C. Contribuição para o Estudo do Manejo de Dunas: Caso das Praias de Osório e Xangri-Lá, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. p.144. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PORTZ, L. C. Gestão De Praias e Dunas: Aplicações para a Região Costeira do Rio Grande do Sul. p.188. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PYE, K., & TSOAR, H. The Mechanics and Geological Implications of Dust Transport and Deposition in Deserts with Particular Reference to Loess Formation and Dune Sand Diagenesis in the Northern Negev, Israel. In L. Frostick & I. Reid (Eds.), *Desert sediments: ancient and modern* (pp. 139–156). Oxford: Blackwell. 1987

PYE, Kenneth; TSOAR, Haim. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Springer, [s.l.], p.258-263. Springer Berlin Heidelberg. 2009.

QUADROS, E. A. S. Caracterização do Clima de Ondas na Plataforma Continental do Maranhão e Região Oceânica Adjacente por Meio de Modelagem Numérica. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão-UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, f. 48, 2016.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Comportamento Morfodinâmico Sazonal da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (NE Do Pará), como Indicativo do Transporte

Litorâneo da Área. Pesquisa em Geociências, Rio Grande do Sul, v. 3, n. 39, p.231-246, 2013.

RASMUSSEN, K.R. Some Aspects of Flow Over Coastal Dunes. In: Gimingham, C.H., Ritchie, W., Willetts, B.B., Willis, A.J. (Eds.), Coastal Sand Dunes. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, vol. 96B. Roy. Soc. Edinb., Edinburgh, pp. 129– 147. 1989.

RICKARD, C.A.; MCLACHLAN, A.; KERLEY, G. I. H.. The Effects of Vehicular and Pedestrian Traffic on Dune Vegetation In South Africa. Ocean & Coastal Management, [s.l.], v. 23, n. 3, p.225-247. Elsevier BV. 1994

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

SANTOS, M.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. & CARVALHO, D. Correlações entre Variáveis do Solo e Espécies Herbáceo-Arbustivas de Dunas em Revegetação no Litoral Norte da Paraíba. Cerne 6(1): 19-29. 2000.

SEELIGER, U. Response of Southern Brazilian Coastal Foredunes to Natural and Human-Induced Disturbance. **Journal of Coastal Research**, p. 51-55, 2003.

SHARP, R. P. K. Dunes, Mojave Desert, California. Bull. Geol. Soc. Am. 77, 1045–1073. 1966.

SHERMAN, Douglas J.; BAUER, Bernard O. Coastal Geomorphology Through the Looking Glass. In: **Geomorphology: the Research Frontier and Beyond**. p. 225-249. 1993.

SHORT, A.D.; HESP, P.A.. Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. **Marine Geology**, [s.l.], v. 48, n. 3-4, p.259-284, Elsevier BV, 1982.

SIQUEIRA, L. F. S. Séries Temporais e Modelos Numéricos Preditivos como Ferramentas de Auxílio ao Gerenciamento Costeiro Integrado da Ilha do Maranhão, Brasil. p.10. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sustentabilidade de Ecossistemas, Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. Botânica Sistemática: Guia Ilustrado para Identificação das Famílias de Angiospermas da Flora Brasileira, Baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p.640. 2005.

SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. 1º Edição, São Paulo, Edgard Blucher Ltda. p.317. 1973.

TABAJARA, L.L.C.A. Controle Morfodinâmico na Formação e Desenvolvimento das Dunas Frontais no Litoral Norte do Rio Grande Do Sul. Anais do Congresso da Abequa, Guarapari-ES. CDR. 2005.

UGRI, A. Mudanças Em Escala Histórica Das Dunas Costeiras Do Extremo Sul Do Brasil. p.86. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Departamento de Oceanografia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande / RS, 2004

VAN DIJK, P. M.; STROOSNIJDER, L.; LIMA, J. L. M. P. The Influence of Rainfall on Transport of Beach Sand by Wind. Earth Surface Processes and Landforms, [s.l.], v. 21, n. 4, p.341-352, Wiley, 1996.

VIANA, J.R., 2000, Estudo da Morfodinâmica da Praia de São Marcos São Luís – Maranhão. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Geografia. UFMA: p.91. 2000

VRIEND, H. J. Mathematical Modelling and Large-scale Coastal Behaviour. **Journal Of Hydraulic Research**, [s.l.], v. 29, n. 6, p.727-740. Informa UK Limited, 1991.

WENTWORTH, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. J. Geology 30:377–392.

WILLIAMS, A. T. et al. Integrated Coastal Dune Management: Checklists. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 21, p.1937-1960, jan. 2001.

WILSON, J.D., FINNIGAN, J.F., RAUPACH, M.R. A First-Order Closure for Disturbed Plant-Canopy Flows, and its Application To Winds In A Canopy On A Ridge. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 124, p.705– 732. 1998

WRIGHT, L. D. e SHORT, A. D. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. Mar. Geol. 56 (1-4): p.93-118. 1984

WRIGHT, L.D.; THOM, B.G.. Coastal Depositional Landforms. **Progress In Physical Geography: Earth and Environment**, [s.l.], v. 1, n. 3, p.412-459. SAGE Publications, 1977.

ZOMER, S. L. C. Uso De Recobrimentos Aerofotográficos Verticais no Estudo das Alterações sobre a Faixa de Dunas Frontais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Volume 1, 133p. 1997.

**ANEXO I - PLANILHA ADAPTADA DE WILLIAMS et al., (2001) PARA
REALIZAÇÃO DO CHECKLIST**

Seção A - Morfologia da Duna					
	0	1	2	3	4
1 - Área Superficial (m²)	> 10000 []	> 7500 []	> 5000 []	> 2500 []	< 2500 []
2 - Largura da duna (m)	> 50 []	> 40 []	> 30 []	> 20 []	> 10 []
3 - Altura máxima da duna (m)	> 5 []	> 4 []	> 3 []	> 2 []	< 1 []
4 - Processo de escarpamento	Baixo []		Moderado []		Alto []
5 - Estágios evolutivo (Hesp, 1988)	1 []	2 []	3 []	4 []	5 []
6 - Declividade na face frontal marinha	Suave []		Moderada []		Acentuada []
ESCORE TOTAL / (%)					
Seção B - Condições da Praia					
	0	1	2	3	4
1 - Largura do pós-praia (m)	> 100 []	> 80 []	> 60 []	> 40 []	< 40 []
2 - Suprimento de areia	Alto []		Moderado []		Baixo []
3 - Brechas na face da praia	Nenhuma []		Algumas []		Muitas []
4 - Largura das brechas na face da praia (m)	< 2 []		2 - 10 []		> 10 []
5 - Dunas embrionárias	Muitas []		Algumas []		Poucas []
ESCORE TOTAL / (%)					
Seção C - Características dos 200 m adjacentes ao mar					
	0	1	2	3	4
1 - % de área de blowouts dentro do sistema	< 5 []	> 5 []	> 10 []	> 20 []	> 40 []
2 - Fuga de areia do sistema para o continente	Pouca []		Alguma []		Muita []
3 - % brecha do sistema de dunas	> 0 []	> 5 []	> 25 []	> 50 []	> 70 []
4 - % do lado marinho da duna vegetada	> 90 []	> 60 []	> 30 []	> 10 []	< 10 []
5 - Recentes areias colonizadas por <i>Blutaparora</i>	Muitas []		Alguma []		Nenhuma []
6 - % de cobertura impenetrável	Pouca []		Alguma []		Muita []
7 - Existência de vegetação exótica	Nenhuma []		Alguma []		Muita []
8 - Canais de drenagem pluvial	0 []		1 []		> 2 []
ESCORE TOTAL / (%)					
Seção D - Pressão de uso					
	0	1	2	3	4
1 - Nº de acesso de veículos	0 []	1 []	2 []	3 []	4 []
2 - Densidade de caminho de pedestres	Baixa []		Média []		Alta []
3 - Estágio de Urbanização	Nenhum []	Orla rústica []	Horiz. Padrão []	Mista []	Vertical []
4 - Nível de urbanização (%)	< 10 []	> 10 []	30 a 50 []	> 50 []	> 70 []
5 - Posição da Urbanização	Sem []	Parte final []	Pós - duna []	Duna Frontal []	Pós - Praia []
6 - Nº de quiosques na praia	0 []	1 a 2 []	3 a 5 []	6 a 8 []	9 a 10 []
7 - Nº de proprietários	Um []		Alguns []		Muitos []
ESCORE TOTAL / (%)					