



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - DINÂMICA,  
NATUREZA E CONSERVAÇÃO DO ESPAÇO – PPGeo

**GUSTAVO ALEXSANDRO RODRIGUES RAPOSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NAS FALÉSIAS DAS  
PRAIAS DE PANAQUATIRA E OLHO D'ÁGUA, ILHA DO MARANHÃO/MA**

São Luís

2018

**GUSTAVO ALEXSANDRO RODRIGUES RAPOSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NAS FALÉSIAS DAS  
PRAIAS DE PANAQUATIRA E OLHO D'ÁGUA, ILHA DO MARANHÃO/MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Dinâmica e conservação da natureza

Orientador: Prof. Dr. Jorge Hamilton Souza dos Santos

São Luís

2018

Raposo, Gustavo Alexsandro Rodrigues.

Caracterização de processos erosivos nas falésias das praias de Panaquatira e Olho D'Água, ilha do Maranhão/MA / Gustavo Alexsandro Rodrigues Raposo. – São Luís, 2020.

96 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Hamilton Souza dos Santos.

1.Processos erosivos. 2.Falésias. 3.Ilha do Maranhão. I.Título

CDU: 551.435.31(812.1)

**GUSTAVO ALEXSANDRO RODRIGUES RAPOSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NAS FALÉSIAS DAS PRAIAS  
DE PANAQUATIRA E OLHO D'ÁGUA, ILHA DO MARANHÃO/MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Dinâmica e conservação da natureza

Orientador: Prof. Dr. Jorge Hamilton Souza dos Santos

Aprovada **05/12/2018**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Jorge Hamilton Souza dos Santos  
Doutor em Geografia (UFRJ)  
Universidade Federal do Maranhão



---

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima  
Doutor em Oceanografia (UFRG)  
Universidade Federal do Maranhão



---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ediléa Dutra Pereira  
Doutora em Geologia (UNESP)  
Universidade Federal do Maranhão

São Luis

2018

“Não sei. Só sei que foi assim”  
(Chicó, em O Auto da compadecida de Ariano Suassuna)

## AGRADECIMENTOS

A Iosilde Mendes de Carvalho minha avó querida (*in memoriam*) a minha eterna gratidão pelos conhecimentos e valores transmitidos durante o período que pudemos conviver (25 anos, 11 meses e 4 dias). Te dedico essa dissertação como a prova que seu investimento em educação não foi em vão. Muito obrigado por tudo!

Aos meus pais, Antônio Eliezer Raposo e Anita Leonor Rodrigues pelo apoio incondicional, pela ajuda, pelo suporte e por todo amor que eles sempre puderam me dar, retribuo através deste trabalho. Meus mais sinceros agradecimentos por serem bons pais acima de tudo.

A Ana Rafaela De Carvalho Fonseca que embora as vezes tenha um temperamento explosivo, nunca deixou de ser amável, compreensiva, carinhosa e sempre que pode busca tentar me ajudar, auxiliar e ser base para quando os momentos difíceis chegam. A ela, todo meu amor e gratidão. Muito obrigado!

Aos meus irmãos Matheus André Rodrigues Raposo e Gabriel Ulysses Rodrigues, meus sinceros agradecimentos por estarem presentes na minha vida.

A Geane Viana, Ana Eliza e Elmo Fonseca (*in memoriam*) por toda ajuda e amizade durante esses anos que contribuíram diretamente para que essa pesquisa fosse concluída.

Ao meu tio Garibaldi Filho (*in memoriam*) ao qual eu me espelhei e ainda espelho para a continuação no meio acadêmica e chegar ao tão sonha doutorado. Muito obrigado!

A minha família (tia Marta, tia Rosa, tio Beto, Cacá, minha avó Maria José, Jacqueline, Amanda, Thais, Patrícia, tio Jorge) que mesmo de longe sempre torceu pelo meu sucesso. Em especial minha tia Márcia Valladares que em 2012 me presenteou com meu primeiro notebook (quando eu não tinha condições de comprar um) com o qual eu consegui concluir a monografia e uma parte dessa dissertação. Muito obrigado, por tudo!

Aos amigos do Private Topper. Raysa, Fabi, Tercio, Thay, Tika, Tasha, Jeff, Lucas e Mathias por toda amizade e companheirismo durante esses anos.

Aos meus amigos do Cartola tube pela amizade, zoeira e brincadeiras ao longo desses anos que ajudaram a esquecer um pouco as dificuldades. Agradeço em especial a Edmo Ramalho pelas ajudas durante as campanhas de campo e todas as suas dificuldades, sacrificando até os seus finais de semana. Muito obrigado!

Aos meus amigos da turma 2009.2 de Geografia da UFMA, Lainna, Gisselly, Alpha, Marquinhos, Suena e todos os outros que sempre estarão no meu coração.

A Capes pela bolsa cedida durante os dois anos de pesquisa. Muito Obrigado.

A meu orientador pelas considerações e supervisão durante a pesquisa.

Ao professor Leonardo Gonçalves pelo tempo e dedicação durante atividades de campo, laboratório e montagem do texto. Muito obrigado!

A Thais e Jordan do LEOG (Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica) que muito ajudaram para as análises granulométricas, meu muito obrigado.

A Nana pelo suporte e apoio durante esses dois anos. Muito obrigado!

A Gabi, que sempre sorridente me motivava quando precisava ir a UFMA. Muito obrigado.

Aos companheiros de mestrado, Thais, Jonas Jansen, Suellen, Bruno e David por compartilharem momentos únicos.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização dos 5 setores da zona costeira do Estado do Maranhão.....	18
Figura 2 - Localização das áreas investigadas na ilha do Maranhão.....	19
Figura 3 - Localização da falésia de Panaquatira.....	20
Figura 4 - Localização da falésia do Olho D'Água.....	21
Figura 5 - Geomorfologia da ilha do Maranhão.....	24
Figura 6 - Geologia da ilha do Maranhão.....	28
Figura 7 - Gráfico da normal climatológica (61-90) e as precipitações do ano de 2018	29
Figura 8 - Dinâmica erosiva em costas de falésias.....	33
Figura 9 - Condicionantes da erosão em falésias.....	33
Figura 10 - Perfil de uma costa de falésias e suas principais feições.....	34
Figura 11 - Falésia precedida de praia com plataforma suave (Sunamura,2015).....	35
Figura 12 - Falésia precedida de praia com plataforma de quebra abrupta.....	35
Figura 13 - Falésias não precedidas por praia.....	36
Figura 14 - Modelo de onda.....	37
Figura 15 - Modelo dos tipos de arrebentações de ondas.....	38
Figura 16 - Tipos de ondas.....	40
Figura 17 - Notches na base da falésia de Panaquatira.....	41
Figura 18 - Formação da plataforma de abrasão.....	43
Figura 19 - Principais movimentos de massa que podem alterar o perfil da falésia.....	44
Figura 20: Escorregamento planar.....	45
Figura 21 - Nível a laser utilizado para obtenção do perfil praias.....	46
Figura 22 - Localização do perfil do Olho d'Água.....	46
Figura 23 - Localização do perfil em Panaquatira.....	47
Figura 24 - Malha de pinos utilizada no monitoramento.....	49
Figura 25 - Fixação dos pinos na falésia de Panaquatira.....	49
Figura 26 - Rapel para a fixação dos pinos no Olho d'Água.....	50
Figura 27 - Malha de pinos na falésia do Olho d'Água.....	50
Figura 28 - Permeâmetro e Equação de Darcy.....	52
Figura 29 - Permeâmetro de tubo aberto utilizado na praia do Olho D'Água.....	52
Figura 30: Modelo de praias.....	54
Figura 31 - Perfis de praia no Olho d'Água, Ilha do Maranhão.....	56
Figura 32 - Perfil de praia de Panaquatira, Ilha do Maranhão.....	57
Figura 33 - Erosão na falésia do Olho d'Água entre agosto/2017 e setembro/2017.....	60

Figura 34 - Erosão na falésia do Olho d'Água entre Outubro/2017 e Janeiro/2018 .....	61
Figura 35 - Erosão na falésia do Olho d'Água entre março/2018 e junho/2018 .....	62
Figura 36 - Erosão na falésia do Olho d'Água entre junho/2018 e agosto/2018.....	63
Figura 37 - Erosão na falésia de Panaquatira entre agosto/2017 e setembro/2017 .....	64
Figura 38 - Erosão na falésia de Panaquatira entre outubro/2017 e janeiro/2018.....	65
Figura 39 - Erosão na falésia de Panaquatira entre março/2018 e junho/2018 .....	66
Figura 40 - Erosão na falésia de Panaquatira entre junho/2018 e agosto/2018.....	67
Figura 41 - Permeabilidade na falésia do Olho d'Água .....	69
Figura 42 - Compactação da falésia do Olho D'Água .....	70
Figura 43 - Permeabilidade da falésia de Panaquatira.....	71
Figura 44 - Compactação na falésia de Panaquatira.....	72
Figura 45 - Valores em Phi para amostra coletada na praia de Panaquatira .....	73
Figura 46 - Frequência acumulada amostral da praia de Panaquatira .....	74
Figura 47 - Valores em Phi para a amostra coletada na base da falésia de Panaquatira	74
Figura 48 - Frequência acumulada para amostra da base da falésia de Panaquatira .....	75
Figura 49-Valores em Phi para amostra coletada na face da falésia .....	76
Figura 50 - Frequência acumulada para a amostra da face da falésia de Panaquatira....	76
Figura 51 - Valores em Phi para amostra da falésia superior em Panaquatira .....	77
Figura 52 - Frequência acumulada para a amostra da falésia superior em Panaquatira .	77
Figura 53 - Valores em Phi para a amostra da praia no Olho d'Água.....	78
Figura 54 - Frequência acumulada para a amostra da praia no Olho d'Água .....	79
Figura 55 - Valores em Phi para amostra do desmoronado da falésia do Olho d'Água	80
Figura 56 - Frequência acumulada para a amostra do desmoronado da falésia do Olho d'Água .....	80
Figura 57 - Valores em Phi para amostra da face da falésia do Olho d'Água.....	81
Figura 58 - Frequência acumulada para a face da falésia do Olho d'Água.....	81
Figura 59 - Valores em Phi para a face lamosa da falésia do Olho d'Água.....	82
Figura 60 - Valores em Phi para a face dos pinos da falésia do Olho d'Água .....	83
Figura 61 - Ocupação da falésia de Panaquatira em 2006.....	86
Figura 62 - Ocupação na falésia de Panaquatira em 2016.....	87
Figura 63 - Ocupação na falésia da Ponta d'Areia. ....	88
Figura 64 - Ocupação na ponta D'areia e São Marcos.....	89
Figura 65 - Figura 65 – Ocupação na falésia do Olho D'Água em 2018 .....	90

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Coluna estratigráfica da Bacia de São Luis.....	27
--	----

## RESUMO

Os ambientes costeiros em sua totalidade, possuem uma dinamicidade e capacidade de fluxos de troca de matéria e energia que podem rapidamente alterar as características paisagísticas de um local em um curto intervalo de tempo. O estudo de processos erosivos costeiros, tem como uma das finalidades subsidiar informações principalmente ao que tange a ocupação humana nas zonas costeiras. A pesquisa foi realizada nas praias do Olho D'água localizada em São Luís – MA e Panaquatira- MA na cidade de São José de Ribamar, sendo essas duas cidades pertencentes a Região Metropolitana da Grande São Luís. A metodologia utilizada buscou reconhecer a dinâmica erosiva das praias através dos perfis de praia com a técnica de nivelamento geométrico. Para o monitoramento das falésias foram colocados pinos de erosão de 50 centímetros, distribuídos em uma malha de 4x4 pinos sendo a diferença vertical entre eles de 0,5 metros e horizontalmente de 2 metros. A caracterização sedimentar do pacote rochoso das falésias e da praia foram analisados em laboratório de acordo com a proposta de Suguio (1973) e Fork (1957). Ainda foram feitas campanhas com penetrômetro e permeâmetro para inferir o grau de compactação e permeabilidade da praia e das falésias. Os resultados obtidos explicitaram uma maior atividade erosiva durante o período chuvoso na falésia do Olho D'água por causa da intensa ação do *runoff*. Na falésia de Panaquatira a ação erosiva tem uma ação mais homogênea devido ao fenômeno da abrasão marinha.

Palavras chave: Processos Erosivos; Falésias, Ilha do Maranhão.

## **ABSTRACT**

The coastal environments in its totality have a dynamism and capacity for material and energy exchange flows that can rapidly change the landscape characteristics of a place in a short period. The study of coastal erosion processes has as one of the finalities to subsidize information mainly concerning human occupation in the coastal zones. The active cliffs are features that are important sources of sediment for the beach area (prism of the beach) and have its erosive activity associated mainly with the abrasive power of the wave's impact. However, not only the marine abrasion establishes the erosion on cliffs and the subaerial processes exert a determining function in the erosive dynamics. Considering that the monitored cliffs during the research are located in the island of Maranhão, with irregular rainfall dynamics (rainfall concentrated in the first semester) erosion through weathering is more pronounced during the first months of the year. During the research, it was tried to perform procedures in order to better elucidate the erosive processes in the cliffs. These procedures consisted of the topographic survey, as well as monitoring by erosion pines in order to establish the volume quantity of eroded sediment and granulometric analysis of the beach prism and the face of the cliff.

**Keywords:** Erosive Processes, Cliffs, Maranhão island

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.2 OBJETIVO GERAL .....	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. ÁREA DE ESTUDO .....	17
2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOMORFOLÓGICOS .....	22
2.1.1 Planície quaternária costeira.....	22
2.1.2 Tabuleiros costeiros e estrutura geológica .....	25
2.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS .....	29
2.2.1 Aspectos climáticos.....	29
2.2.2 Clima de ondas .....	30
2.2.3 Marés.....	30
5. EROSÃO EM FALÉSIAS.....	31
5.1 PERFIL DE UMA COSTA DE FALÉSIA.....	34
5.2 FATORES ENVOLVIDOS NA EVOLUÇÃO DE FALÉSIAS .....	37
5.2.1 Ondas.....	37
5.2.2 Processos Erosivos .....	40
5.2.3 Dinâmica Erosiva .....	42
5.2.4 Alterações no perfil da falésia.....	43
6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS. ....	45
6.1 PERFIS DE PRAIA .....	45
6.2 COMPACTAÇÃO .....	47
6.3 PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA. ....	47
6.4 PINOS DE EROSÃO.....	48
6.5 PERMEABILIDADE .....	51
6.6 GRANULOMETRIA.....	53
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
7.1. MORFODINÂMICA PRAIAL .....	53
7.2 PERFIS DE PRAIA .....	55
7.3 MONITORAMENTO DOS PINOS DE EROSÃO.....	58
7.4 COMPACTAÇÃO E PERMEABILIDADE .....	68
7.5 GRANULOMETRIA.....	73
7.5.1 Panaquatira.....	73

7.5.2 Olho d'Água.....	78
7.6 PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO, CÓDIGO FLORESTAL E A OCUPAÇÃO DE ÁREAS COSTEIRAS .....	83
8. CONCLUSÕES .....	91
REFERÊNCIAS .....	93

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos costeiros são importantes para o desenvolvimento de diversas áreas das ciências, tais como a geomorfologia, engenharia, biologia, geografia, ecologia etc. Partindo desse pressuposto, compreender toda a dinâmica desses ambientes, torna-se uma tarefa árdua devido as diversas nuances e dinâmicas impostas pelas forças geomorfológicas, climáticas e oceanográficas presentes nesses ambientes aos quais tornam-se complexos e extremamente dinâmicos.

No entender de Vasconcelos (2005) dois grupos de elementos dinâmicos podem ser definidos, os de curta duração como os ventos, chuvas, correntes, ondas e marés e os de longa duração como os tectônicos, geoidais e macroclimáticos. Ainda de acordo com o referido autor o produto desta complexa relação de forças atuantes se traduz por uma variedade de ambientes e feições litorâneas, tais como as praias, dunas, falésias, estuários, deltas restingas, cordões litorâneos, cada um com sua dinâmica própria.

A partir do último século a zona costeira torna-se o ambiente preferido para ocupação humana, logo como consequência a zona costeira transforma-se num lugar de pressão demográfica e econômica onde se observa uma intensa utilização dos recursos naturais existentes. Tal valorização deste ambiente, aliado a exploração intensa dos seus recursos, o acelerado adensamento populacional, e as múltiplas atividades desenvolvidas tem sido o motivo da maioria dos conflitos de usos e riscos ambientais atuais e futuros. Todavia, os conhecimentos atuais sobre a dinâmica das zonas costeiras possibilitam considera-las como uma das áreas de mais rápidas variações morfológicas naturais do planeta.

O estudo da zona costeira em nosso país, nas duas últimas décadas, tomou um maior impulso em virtude da necessidade de se conhecer melhor este ambiente de alto dinamismo que encerra múltiplas potencialidades (SANTOS, 1996), tão pouco estudado em escala de detalhe.

Desta forma, a ocupação das áreas urbanas eminentemente próximas da linha de costa tem proporcionado vários problemas socioambientais a exemplo dos movimentos de massa, inundações, erosão costeira, dentre outros, merecendo especial atenção, no que se refere a dinâmica das feições morfológicas existentes na orla marítima, bem como as suas limitações a ocupação humana, levando em consideração os aspectos naturais e a legislação ambiental vigente.

No que se refere à erosão costeira, este é um fenômeno natural e é resultado de um balanço negativo de sedimentos (SOUZA, et al., 2005). Além do referido déficit a elevação do nível médio do mar, já constatado em alguns lugares e previsto em outros, podem e devem acelerar os processos erosivos ao longo das linhas de costa nos diferentes continentes. Contudo, os autores destacam que a utilização de áreas litorâneas para fins recreativos e a necessidade por moradia, acaba por intensificar os processos erosivos costeiros devido a ação antrópica direta.

Na mais recente obra sobre a erosão costeira no Brasil Muehe (2018) alerta para o fato de que vários estudos realizados comprovam que além dos processos naturais de erosão costeira, a instalação de construções rígidas, tais como muros (*seawalls*), molhes e espigões provocam uma aceleração dessa erosão ao longo do litoral.

Dentre as feições morfológicas mais afetadas pela erosão costeira tem-se as praias, dunas e restingas, terraços, costões rochosos, spits e falésias. Nesta investigação será dado ênfase a erosão das falésias levando em consideração, principalmente, as forçantes climáticas e oceanográficas.

O litoral brasileiro do norte ao sudeste é recortado por formações tabuliformes do Grupo Barreiras que bordejam descontinuamente a costa em formas de falésias podendo chegar a algumas dezenas de metros (MUEHE, 2005). Outras pesquisas em âmbito nacional merecem destaque como a de Silva, *et al.*, (2003) para a caracterização dos processos erosivos nas falésias do Rio Grande do Norte em Tibau do Sul.

No estado do Maranhão, podemos destacar os trabalhos de Feitosa (1989), Santos (1996), El Robrini *et al.*(2018) os quais apresentam resultados e informações sobre a dinâmica das falésias especialmente em São Luís- MA. Recentemente o artigo de Silva e Silva (2012) apresenta as principais características e propriedades sedimentológicas das falésias da ilha do Maranhão.

A composição das falésias na praia de Panaquatira e do Olho d'Água situadas na ilha do Maranhão é classificada geologicamente como do Grupo Barreiras presente em grande parte do litoral brasileiro, onde sua constituição é sedimentar e friável, sendo assim, pouco resistente aos ataques das ondas e de processos subaéreos no desgaste em sua face.

As falésias monitoradas no período de agosto/2017 a agosto de 2018, através da utilização de imagens orbitais e sub-orbitais (fotografias aéreas e imagens de satélites), instalação de pinos de erosão, levantamento topográfico, perfis de praia, análises sedimentológicas e de permeabilidade, situam-se a retaguarda das praias do Olho

d'Água e Panaquatira na Ilha do Maranhão. A praia de Panaquatira localizada a leste na da referida ilha possui diversas falésias ativas as quais estão em intenso processo de recuo atrelado a erosão marinha e processos subaéreos. No Olho d'Água, processos semelhantes aos de Panaquatira também se configuram na área. O conceito de falésia adotado para as falésias da ilha é o empregado por Sunamura (2015), onde essas feições geomorfológicas costeiras são classificadas em *Shore platforms* e *plunging cliffs*, sendo a primeira de recuo íngreme, com alguns terraços modelados por deslizamentos e sendo precedida de praia ao contrário do tipo *plunging*, onde não existe a praia.

Na ilha do Maranhão, as falésias monitoradas nesta pesquisa, estão situadas no Olho d'Água e em Panaquatira. A praia de Panaquatira está localizada a leste da ilha do Maranhão, possuindo diversas falésias ativas as quais estão em intenso processo de recuo atrelado a erosão marinha e processos subaéreos.

Ao término desta dissertação espera-se contribuir para o entendimento e discussão sobre a dinâmica existente nas falésias em análise, assim como apresentar algumas considerações no que se refere aos procedimentos adotados para a estimativa das taxas de recuo das referidas feições morfológicas.

Desta maneira, os dados e informações apresentados nesta dissertação poderão, com o material já existente, propiciar um razoável ganho de conhecimento sobre a morfodinâmica, as potencialidades e limitações do uso das falésias existentes ao longo da orla marítima da ilha do Maranhão

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.2 OBJETIVO GERAL

- Compreender os processos morfodinâmicos responsáveis pelo recuo espaço-temporal das falésias do Olho d'Água e Panaquatira, na Ilha do Maranhão.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

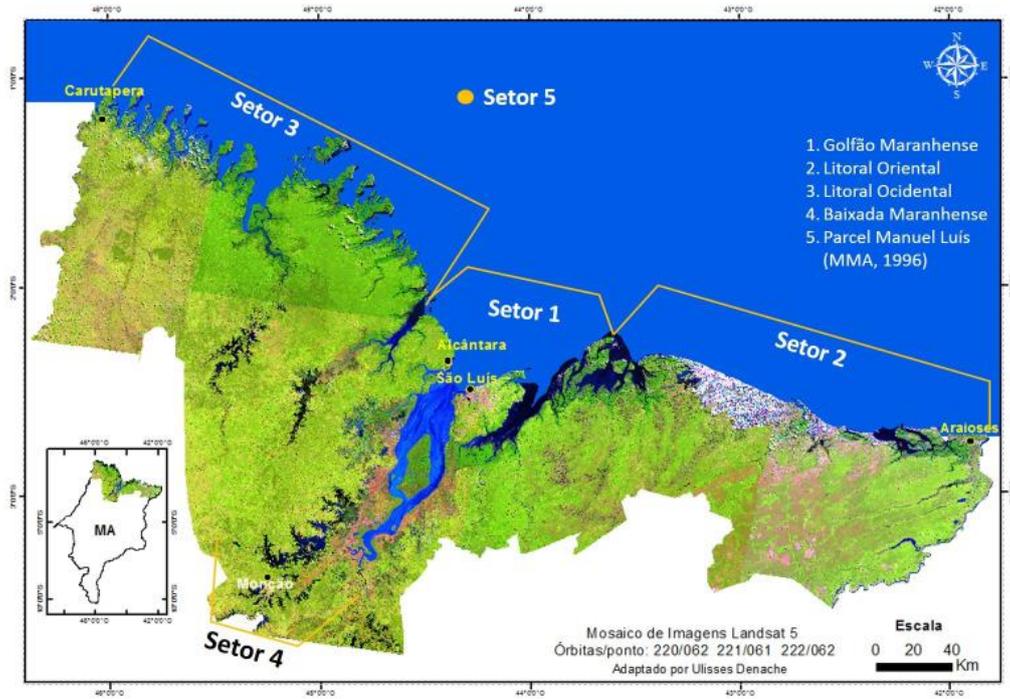
- Caracterizar os processos de erosão ocasionada pelas ondas, e processos subaéreos
- Mensurar o volume dos sedimentos erodido das falésias

- Conhecer as variações do perfil praias;
- Identificar a ocupação existente no entorno das principais falésias da ilha do Maranhão e as respectivas incongruências de uso com base na legislação vigente (Novo Código Florestal).

## 2. ÁREA DE ESTUDO

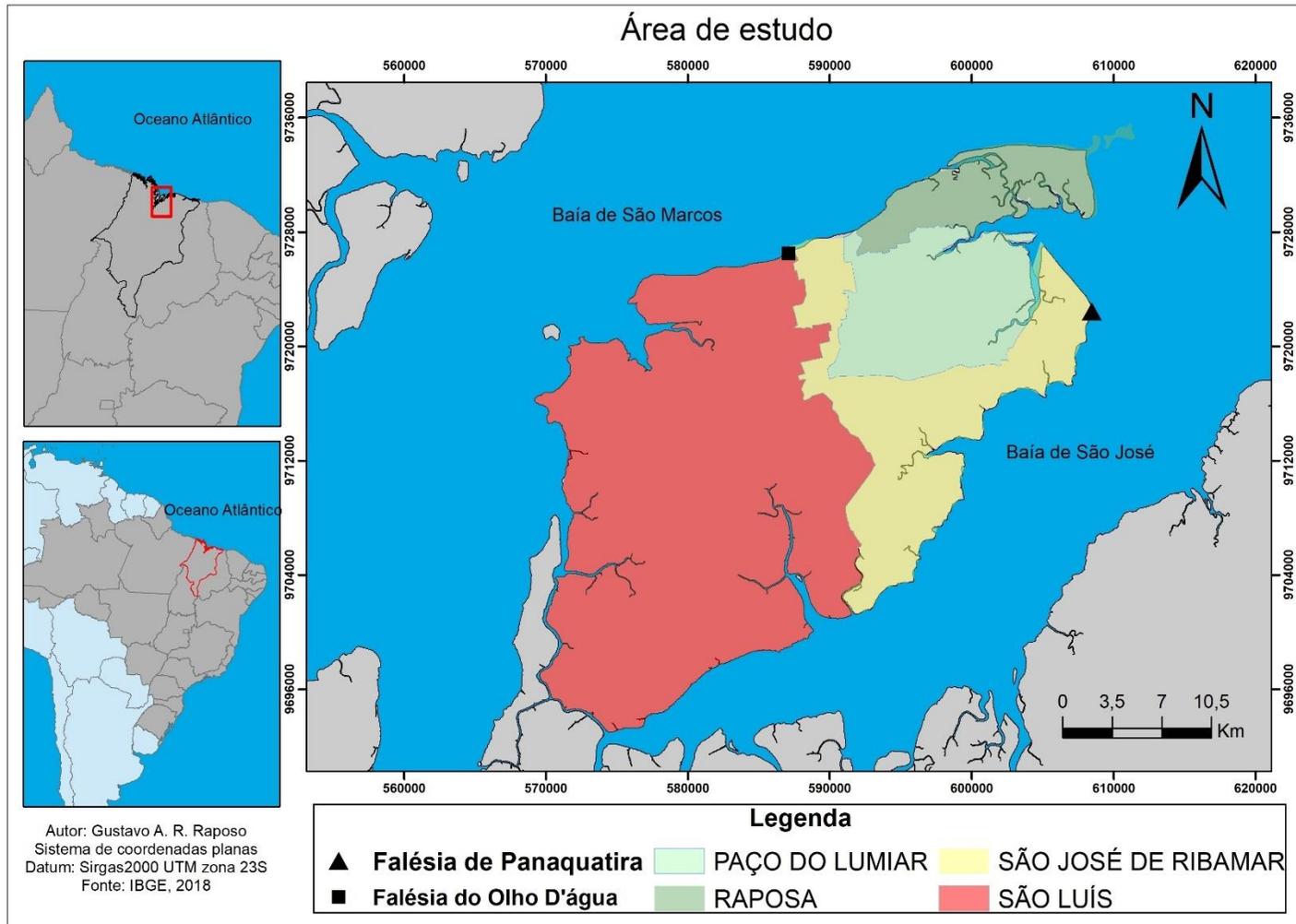
O litoral do estado do Maranhão é classificado em 5 compartimentos (EL-ROBRINI, *et al.*, 2018), a saber: (I) Golfão Maranhense, (II) litoral oriental, (III) litoral ocidental, (IV) Baixada maranhense e (V) Parque estadual Marinho do Parcel de Manuel Luís como demonstrado na figura 1. A área da realização da pesquisa está situada no Golfão Maranhense (Figura 2), importante complexo estuarino posicionado de forma quase perpendicular à linha de costa, onde existem consideráveis drenagens fluviais como o sistema Mearim/Pindaré/Grajaú na Baía de São Marcos e o rio Itapecuru na baía de São José. Tais cursos d'água são fundamentais no que se refere as características da morfodinâmica devido ao significativo fornecimento de sedimentos para as áreas costeiras. O Golfão Maranhense é delimitado a oeste pela ponta do Guajuru, a leste pela ilha de Santaninha e ao centro do golfão pela ilha de Upaon-Açú, que atualmente é mais conhecida como ilha do Maranhão (FEITOSA, 2006). Nas figuras 2, 3 e 4 observa-se com mais detalhes a área estudada.

**Figura 1** - Localização dos 5 setores da zona costeira do Estado do Maranhão.

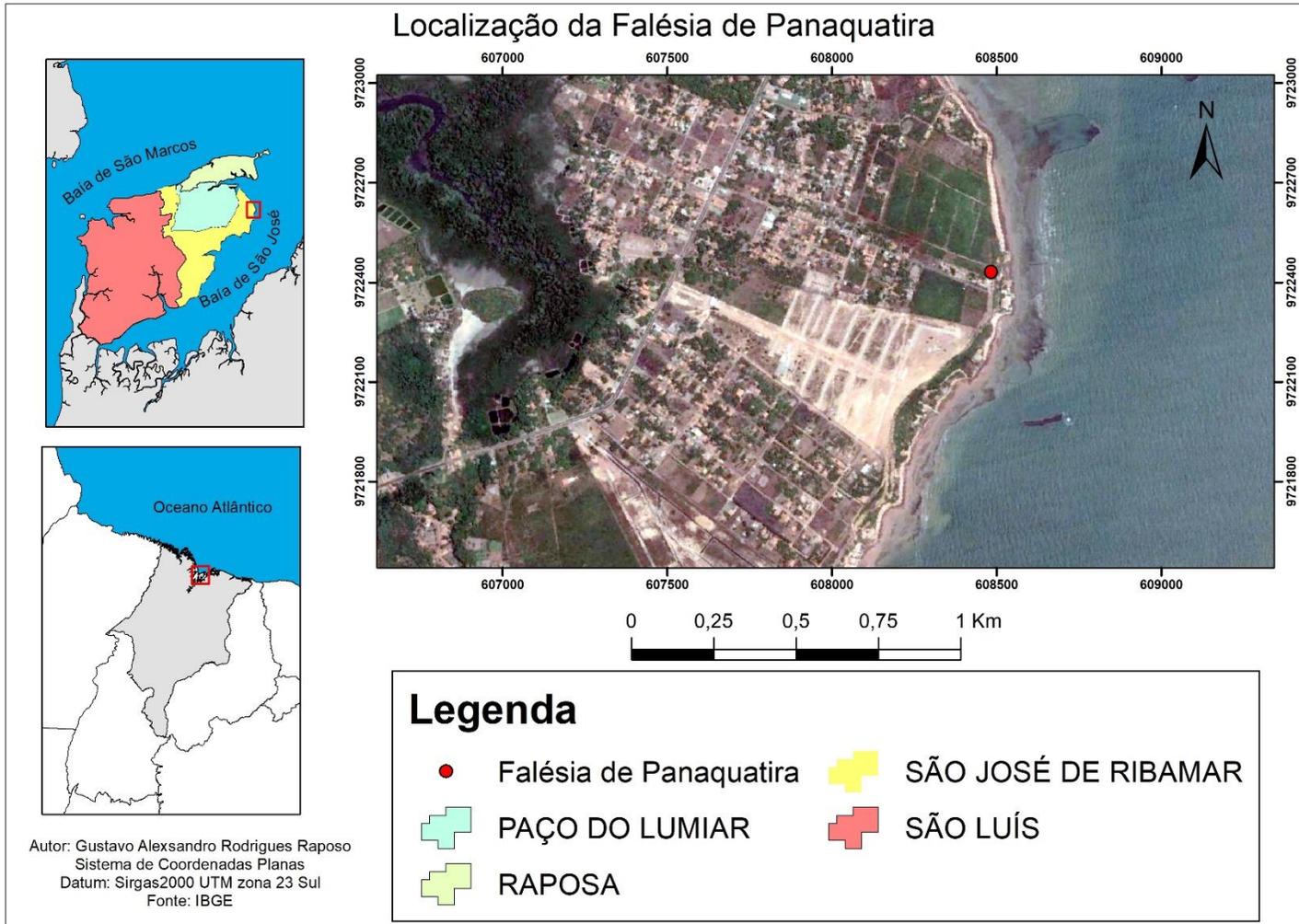


Fonte: El Robrini *et al.* (2018)

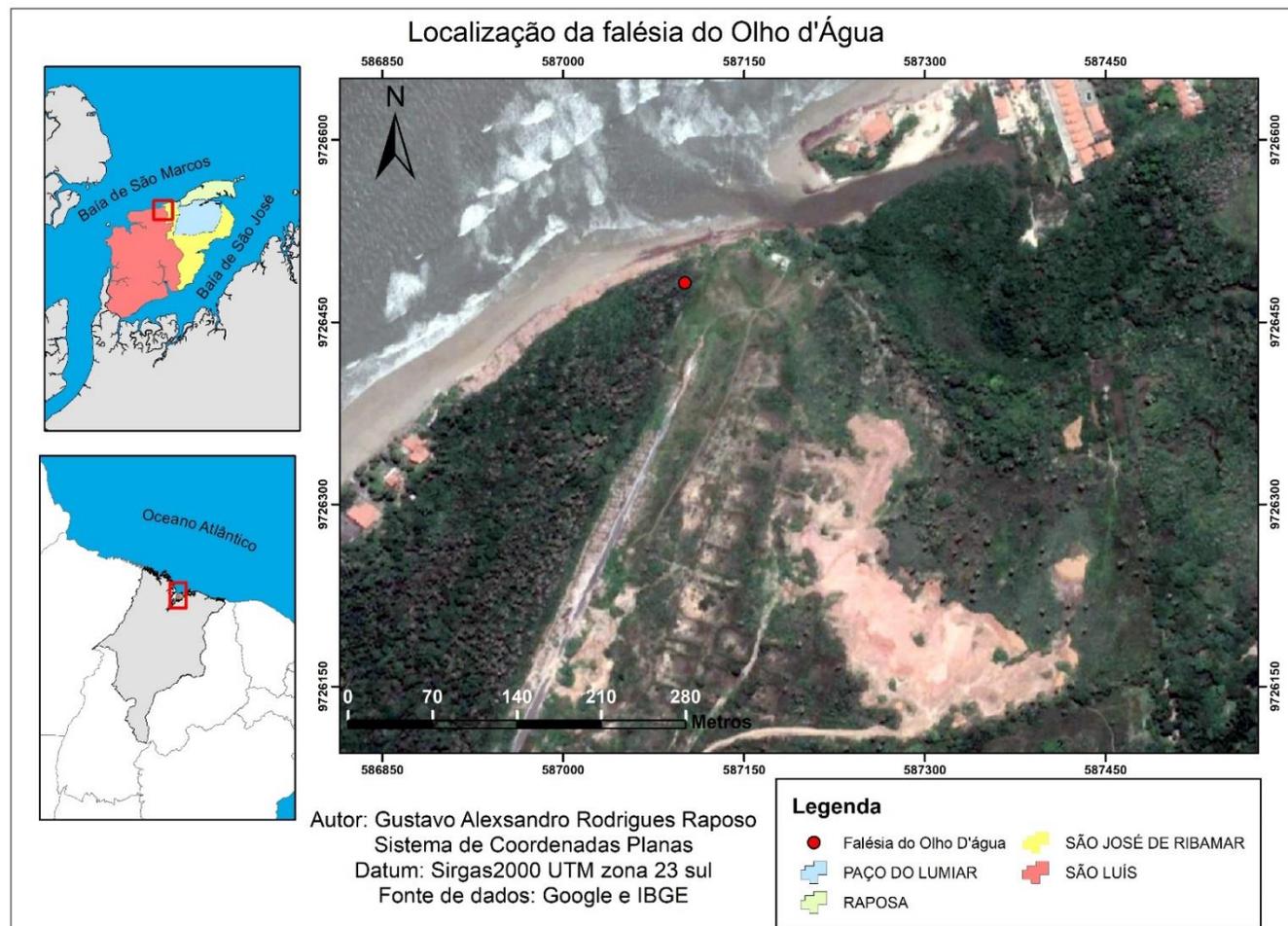
**Figura 2** - Localização das áreas investigadas na ilha do Maranhão.



**Figura 3** - Localização da falésia de Panaquatira.



**Figura 4** - Localização da falésia do Olho D'Água.



## 2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOMORFOLÓGICOS

### 2.1.1 Planície quaternária costeira

As planícies costeiras são áreas relativamente planas e são formadas por sedimentos inconsolidados provenientes da plataforma e de sistemas estuarinos os quais são retrabalhados ao longo da costa através dos seguintes agentes dinâmicos: ventos, ondas, correntes de maré e de deriva litorânea. De maneira geral, esses ambientes não possuem grandes altitudes, geralmente tendendo a uma suavização, em que os sedimentos possuem origem marinha e/ou fluvial (MUEHE,1998).

Na maioria das planícies costeiras brasileiras onde os sedimentos são datados a períodos anteriores ao final do Terciário e Quaternário tem-se a ocorrência frequente do Grupo Barreiras (figuras 5 e 6). De acordo com Tessler e Goya (2005), a modelagem das planícies costeiras brasileiras demonstra uma origem em ciclos de oscilação do nível relativo do mar em dois ciclos regressivos e transgressivos. O primeiro ciclo de idade pleistocênica atingiu aproximadamente cotas de 8 metros. Após a máxima transgressão houve uma regressão de 110 metros na isóbata abaixo do nível atual, deixando a plataforma exposta, a qual foi modelada e sulcada pelas drenagens fluviais.

Desta forma, ao final do Pleistoceno, a cerca de cem mil anos (120.000 – 17.000 anos A.P.), ocorreu uma variação aproximada de 118 metros do nível relativo do mar. Neste período, de um modo simplista, verificou-se uma taxa média de variação relativa do nível do mar de 0,19 cm/ano.” (TESSLER e GOYA, 2005).

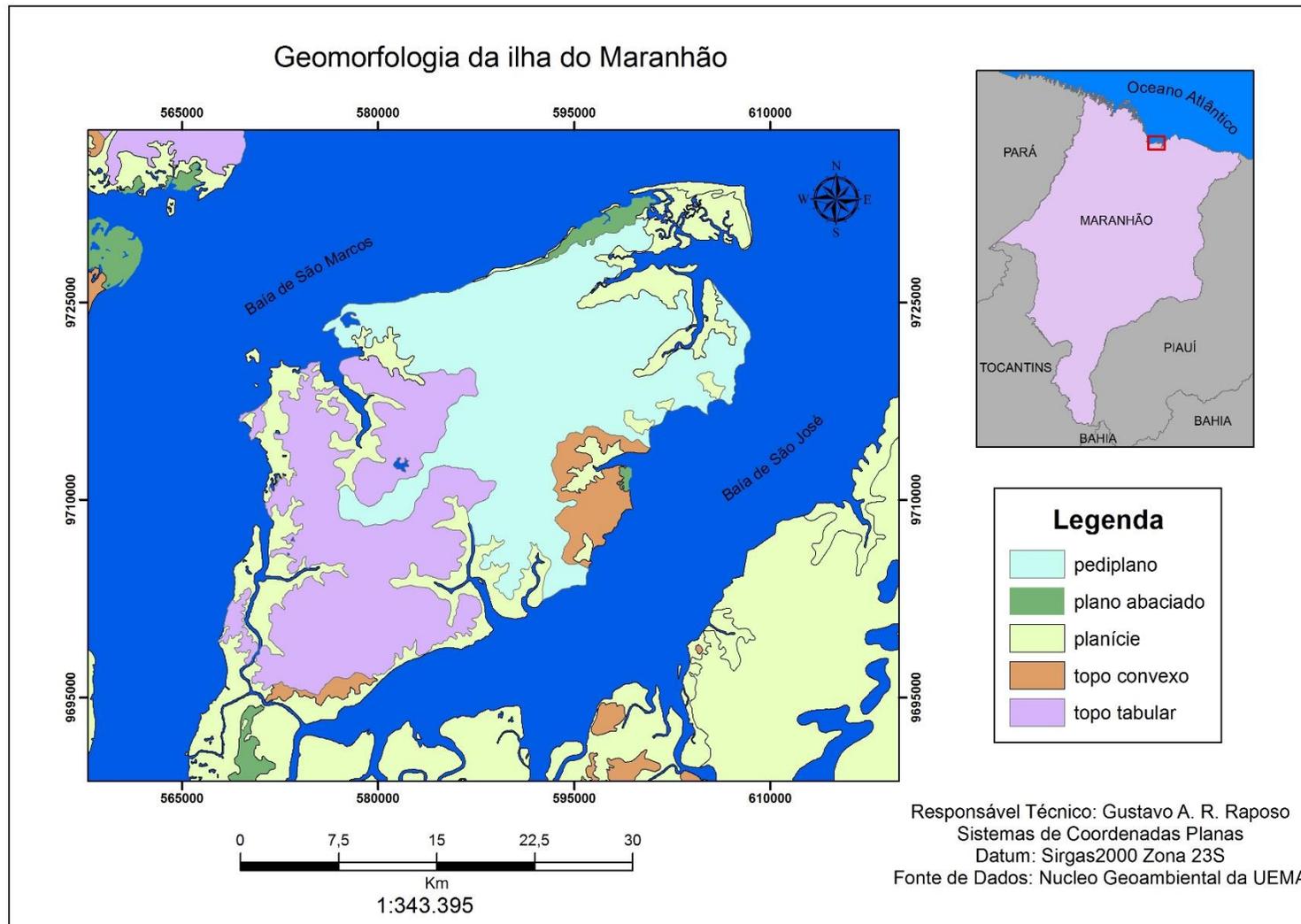
Assim, as variações do nível relativo do mar configuraram variadas feições geomorfológicas ao longo da costa brasileira. No Rio Grande do Sul a formação da sua planície costeira é datada do final do Terciário, tendo uma intensificação durante o Pleistoceno e Holoceno. Essas transgressões e regressões ao longo do Pleistoceno e Holoceno foram importantes na formação do sistema deposicional de leques aluviais e de quatro sistemas deposicionais laguna-barreira (Tomazelli e Villwock, 2005), sendo de origem pleistocênica (os sistemas I e II) e holocênico (os sistemas III e IV).

Na planície costeira da ilha do Maranhão, de acordo com (EL-ROBRINI, *et al*, 2018), tem-se a ocorrência de formas de relevo variadas, tais como: dunas ativas e inativas, planícies de maré lamosas (com ou sem mangue), praias arenosas, *cheniers*, tabuleiros, falésias, dentre outras (Figura 5).

As praias são depósitos de sedimentos arenosos, acumulados por ação de ondas que se ajustam as condições de maré e ondas, constituindo um importante elemento de

proteção ao litoral (MUEHE, 1998). As praias na ilha do Maranhão em geral são do tipo macro-maré, de acordo com a classificação de Davies (1964), as quais apresentam amplitudes de marés superiores aos 4 metros.

**Figura 5 -** Geomorfologia da ilha do Maranhão



### 2.1.2 Tabuleiros costeiros e estrutura geológica

A estrutura geológica da ilha do Maranhão pode ser compreendida em formações específicas como a Formação Barreiras, Formação Itapecuru e a Formação Açuí, sendo as duas primeiras de idade terciárias e a última quaternária. Alguns trabalhos como os de Rodrigues (1994), Veiga Júnior (2000) e Pereira (2006), contribuíram enfaticamente para os estudos da geologia da ilha e, portanto, serão o alicerce para o desenvolvimento das características geológicas aqui explanadas.

A bacia sedimentar de São Luís é do tipo fossa tectônica, intensamente falhada, com individualização da bacia intracratônica do Parnaíba pelo Arco Férrer Urbano Santos, com preenchimento em condições calmas de pré-rift em ambientes flúvio-lacustres de deposição. Sua sedimentação iniciou-se com os sedimentos do Cretáceo da Formação Itapecuru, Formação Terciário-Paleogeno, Formação Barreiras e Formação Açuí (DIAS E NOGUEIRA JÚNIOR, 2005; PEREIRA, 2006)

A Formação Terciária do Itapecuru pode ser representada por arenitos finos, siltitos e folhelhos. Ela pode ser classificada em Membro Inferior Psamítico e Membro Superior Alcântara. (RODRIGUES, 1994; SILVA, 2012). O Membro Inferior possui idade entre 112 e 99 M.A com arenitos finos e médios, quartzo com feldspato, caulinizado, mica, estratificação plano-paralela e cruzada, já o membro superior, é designado como folhelhos sílticos avermelhados, bem estratificados, com leitos de calcário esbranquiçado intercalados podendo ser observados na falésia de Alcântara, com aproximadamente 20 m de espessura e pode ser observado também na praia do Olho d'Água em São Luis. (RODRIGUES, 1994).

O Terciário Paleogeno descrito por Rodrigues (1994) e Pereira (2006), consiste em siltitos e argilitos de cores variegadas de tons róseos avermelhados e esbranquiçados, ocorrendo intercalações de arenitos finos e médios, havendo a predominância de tons mais esbranquiçados e róseos. Sendo os depósitos pouco consolidados, muito laterizados e com expressivos pacotes caulíníticos. Os sedimentos do terciário paleogeno possuem espessura que podem variara entre 15 e 20 metros, presentes na porção norte da ilha do Maranhão, nas falésias da ilha e entre a baía de Cumã e São Marcos.

A posição cronoestratigráfica (Quadro 1) permite considerar esses sedimentos como Paleogeno. Tais sedimentos estão em discordância angular sobre o Membro

Alcântara da Formação Itapecuru e são recobertos de forma discordante por alguns depósitos plio pleistocênicos da Formação Barreiras. (RODRIGUES, 1994; PEREIRA, 2006)

Ainda de acordo com Rodrigues (1994), o Membro Alcântara da formação Itapecuru é utilizado para siltitos e folhelhos vermelhos, coesos, estratificação plano-paralela arranjados em camadas decimétricas e tabulares de grande continuidade lateral, intercalando alguns bancos tabulares e lenticulares de calcário creme esbranquiçado. Essa unidade geralmente está exposta em áreas restritas como paredões de falésias.

A Formação Barreiras na ilha do Maranhão, apresenta perfis pouco evoluídos e aflora em áreas de tabuleiros costeiros (falésias), colinas, encostas e em topos de tabuleiros, com espessura máxima de 30 metros. (PEREIRA, 2006). A Formação Barreiras repousa sobre unidades mais antigas do Pré-Cambriano, Cretáceo e Terciário-Paleogeno, sendo os depósitos da Formação Barreiras recobertos discordantemente por sedimentos holocênicos, onde observa-se a migração de dunas eólicas sobre falésias esculpidas nas rochas terciárias (RODRIGUES, 1994).

Segundo Veiga Júnior (2000), o Grupo Barreiras possui três unidades de fácies: conglomerática, arenosa e pelítica. A conglomerática tendo apenas uma única litofácia, conglomerado de canga laterítica ou petroplintitos. A arenosa constituída de 2 litofácies: arenitos argilosos e arenitos de preenchimento de canais. Por último a fácies pelítica com 3 litofácies: siltitos argilosos ocre, argilas avermelhadas e argilas esbranquiçadas.

O termo utilizado para os tabuleiros da Formação Barreiras sejam eles no continente, ou em contato com o mar (falésias) são complexos desde sua gênese (MOURA-FÉ, 2015). Na ilha do Maranhão destaca-se o trabalho de Pereira (2006) a respeito da caracterização da Formação barreiras baseada no trabalho de Rodrigues (1994), designando a essa respectiva formação as características de sedimentos areno-argilosos de coloração róseo avermelhada, siltitos maciços de cores amareladas ocre, ferruginizados e, ocasionalmente, conglomeráticos, desorganizados.

Desde a primeira classificação da Formação Barreiras por Branner (1902, *apud* Mabesoone *et al*, 1972) vem sido discutido as relações da formação Barreiras no cenário da sua evolução, litoestratigrafia, fácies e etc. Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos para trazer à tona novas discussões a respeito da Formação Barreiras e podemos destacar o de Moura-Fé (2015) pela atualidade e a evolução historiográfica acerca do tema. De acordo com essa perspectiva, o autor enfatiza que alguns conceitos

ainda não são unânimes e que mesmo os estudos relacionados a essa formação geológica terem se iniciado a mais de um século, a temática ainda é restrita.

O termo Formação Açuí proposto por Rodrigues (1994), designa aos sedimentos quarternários inconsolidados que ocorrem na região e preenchem áreas topograficamente mais baixas e formam rias aterradas e mangues marginais a costa, sendo esses depósitos de origem lacustrina, fluvial e parálica e recobrem todas as unidades aflorantes da ilha do Maranhão. São também considerados como pertencentes ao Quaternário da Bacia de São Luis as dunas eólicas, aluviões e solos lateríticos. Sendo assim, as dunas possuem altitudes aproximadas de 10-15 metros contendo pequena fração argilosa, os aluviões são de sedimentos heterogêneos, aflorando ao longo das margens dos rios e planícies de inundação e manguezais. O solo laterítico vermelho e preto, seixoso, ocorre de forma espalhada ou localmente concentrada. (RODRIGUES, 1994).

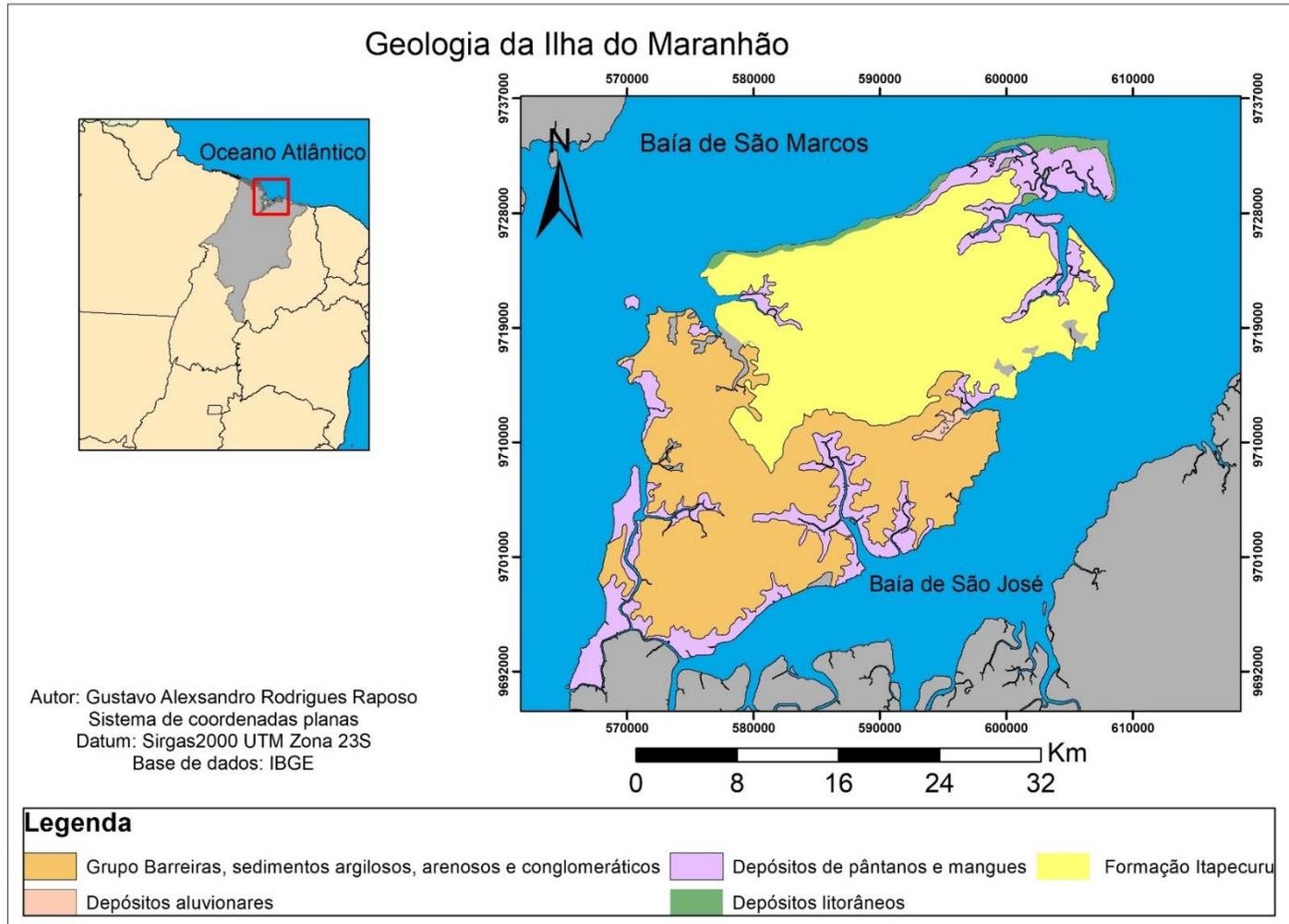
Todavia, novos levantamentos geológicos estão/foram realizados pela CPRM recentemente, não sendo publicados e podem trazer à tona uma nova (re)classificação geológicas para a ilha do Maranhão (figura 6), podendo alterar o embasamento geológico descrito nessa dissertação.

**Quadro 1** - Coluna estratigráfica da Bacia de São Luis

ERA/ PERÍODO		Unidades estratigráficas	Litologia	Potencial Mineral	
CENOZÓICO	Quaternário	FORMAÇÃO AÇUÍ	Areia fina a média, madura a submadura, com estratificação cruzada.	Areia	
	Pleistoceno		Argila arenosa, maciça bioturbada	Areia Argila	
	Terciário	Meso- Mioceno	FORMAÇÃO BARREIRAS	Areia fina a média, com concentrações ferruginosas, imatura, intercalações argilosas caulínificas.	Argila Laterita Água Subterrânea
	Mioceno	TERCIÁRIO PALEOGENO	Areia fina a silte, com bolas de argilito, submadura, conglomerados, estratificação ondulada e cruzada.	Areia Argila Água Subterrânea	
MESOZÓICO	Cretáceo	Superior Formação Itapecuru	Membro Alcântara	Calcilitos, silte e areia muito fina, com argila, texturalmente imaturo, micáceo, estratificação plano-paralela	Calcário Argila
			Membro Psamítico	Arenito fino a médio, quartzo com feldspato, caulinizado, mica, nódulos ferruginizados, estratificação plano-paralela e cruzada.	Água subterrânea

Fonte: Rodrigues (1994) e Pereira (2006)

Figura 6 - Geologia da ilha do Maranhão

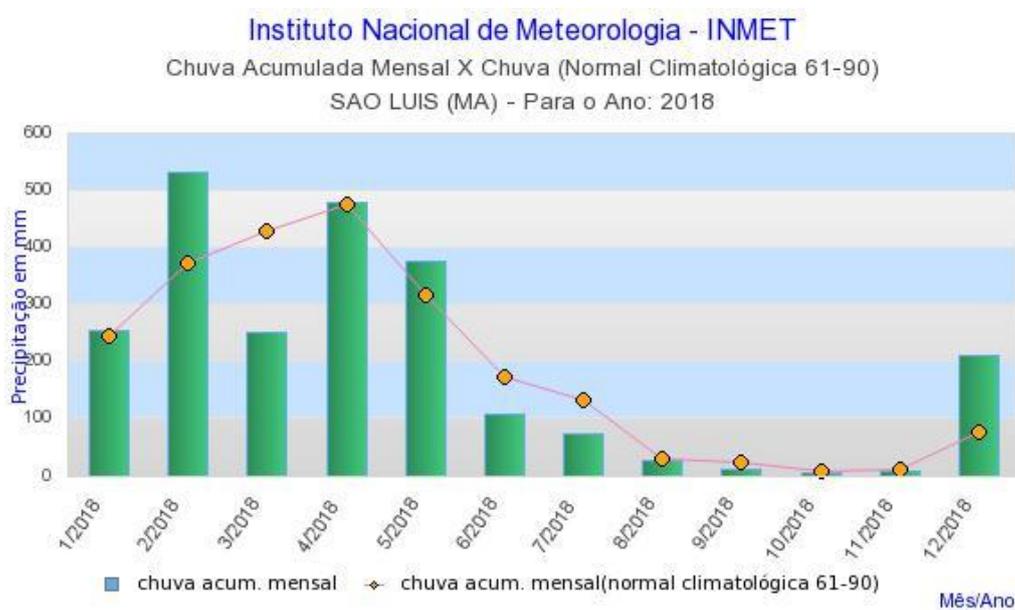


## 2.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

### 2.2.1 Aspectos climáticos

As características climáticas do Golfão são de temperaturas altas em todo ano (devido a latitude) em média de 26°C e chuvas concentradas no período de janeiro a julho. As médias de precipitações pluviométricas giram em torno de 2.5000mm/ano configurando assim uma área de clima quente e úmido. (EL-ROBRINI, *et al.*, 2018). Esses períodos concentrados em relação as precipitações são ocasionadas devido a ZCIT (Zona de convergência intertropical) e linhas de instabilidade (LI) devido a circulação da brisa marítima. Os períodos bem definidos (chuvoso e estiagem) estão organizados entre janeiro a julho (chuvoso) e agosto a dezembro (seco). Sendo o período chuvoso caracterizado pela alta umidade (em torno de 80%), com insolação em torno de 150h/mês dificultando a evaporação. Entretanto, na estação seca existe uma forte subsidência ocasionada pela entrada de um sistema de alta pressão subtropical e conseqüentemente fará com que haja uma maior incidência da radiação solar na superfície, contribuindo para o aumento das taxas de evaporação. Percebe-se que os meses mais chuvosos de acordo com o gráfico (observar figura 7) estão situados no período entre janeiro e maio, acentuando o poder erosivo nas falésias por processos intempéricos. No período entre julho e dezembro onde as taxas pluviométricas são ínfimas, a erosão ocasionada pelos agentes será menor.

**Figura 7** - Gráfico da normal climatológica (61-90) e as precipitações do ano de 2018



Fonte: INMET, 2018

### 2.2.2 Clima de ondas

As ondas tem sua gênese associada a ação dos ventos, onde o contato dos ventos com a superfície da água, gera um movimento de subida e descida da massa de água e gerando o movimento orbital (Rossetti, 2008). A atuação das ondas em ambientes mais rasos acaba fazendo com que o movimento orbital das ondas começa a ser distorcido e consequentemente ocasionando uma dissipação da energia. Ainda de acordo com (Rossetti, 2008), essa alteração no movimento orbital acarretará a diminuição do comprimento de ondas e inversamente a altura da onda que ficará mais significativa. Com isso, a altura da onda aumenta e a velocidade diminui, gerando colunas d'água cada vez mais esbeltas que atingirão um ponto crítico, originando a zona de arrebatamento, mobilizando água e sedimentos ao perfil praial.

As ondas atuantes na área são em média em torno de 1,0 -1,5m associadas a sua gênese com os alísios de nordeste e mantendo a dinâmica da deriva litorânea no sentido leste-oeste responsável pelo transporte de sedimentos e migração de barras arenosas de acordo com (EL-ROBRINI, et al., 2018). De maneira geral, devido à localização geográfica e as condicionantes atmosféricas como as massas de ar por exemplo, ondas de tempestades dificilmente ocorrem nessa área. Contudo, (EL-ROBRINI, et al., 2018) destaca a passagem do Ciclone Irene (classe II) em 1999 gerando ondas maiores que o normal, provando que nem as condições atmosféricas na geração de ondas permanecem como constantes invariáveis.

### 2.2.3 Marés

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre terra, lua e sol, e por forças centrífugas geradas pelos movimentos de rotação do centro de massa do sistema sol-terra-lua que se localiza no interior da terra, a uma distância de um quarto do raio terrestre Silva *et al.* (2004).

As marés são movimentos dos oceanos ocasionados diretamente pela força gravitacional do sol e da lua em relação à Terra. São ondas muito longas que viajam através dos oceanos e são sentidas em baías, golfos, reentrâncias, estuários distribuídos por todo o planeta (BIRD, 2011). Ainda de acordo com o autor mencionado anteriormente, os fluxos de vazante e cheia da maré produzem mudanças no nível do mar ao longo da costa, gerando assim, as correntes de maré. As marés são formadas pela

ação combinada de forças de atração gravitacional entre terra, lua e sol, e por forças centrífugas geradas pelos movimentos de rotação do centro de massa do sistema sol-terra-lua que se localiza no interior da terra, a uma distância de um quarto do raio terrestre Silva *et al.* (2004).

A classificação das marés, baseia-se no trabalho de Davis Jr e Hayes (1984), onde a amplitude de maré é essencial para a caracterização das costas. Segundo os autores, as costas com amplitude < 2 metros, micro-maré, são estreitas com a possibilidade de formação de ilhas barreiras e com entradas bem espaçadas como baías ou golfos. As áreas de influência de meso-maré possuem amplitude entre 2-4 metros e podem se formar ilhas barreiras pequenas e feições como baías. Entretanto, no caso dessa dissertação, o ambiente de interesse é dominado por macro-maré, com amplitudes acima de 4 metros, onde ilhas barreiras não se desenvolvem devido as correntes de marés e os corpos arenosos encontram-se orientados paralelamente a direção dessas correntes.

“A proximidade do Equador e a configuração do relevo favorecem a amplitude das marés, que alcançam até 7,2 m com média em torno de 6,6 m (PORTOBRAS, 1988) e penetram os leitos dos rios causando influências até cerca de 150 km do litoral.” (FEITOSA, 2006).

## 5. EROSÃO EM FALÉSIAS

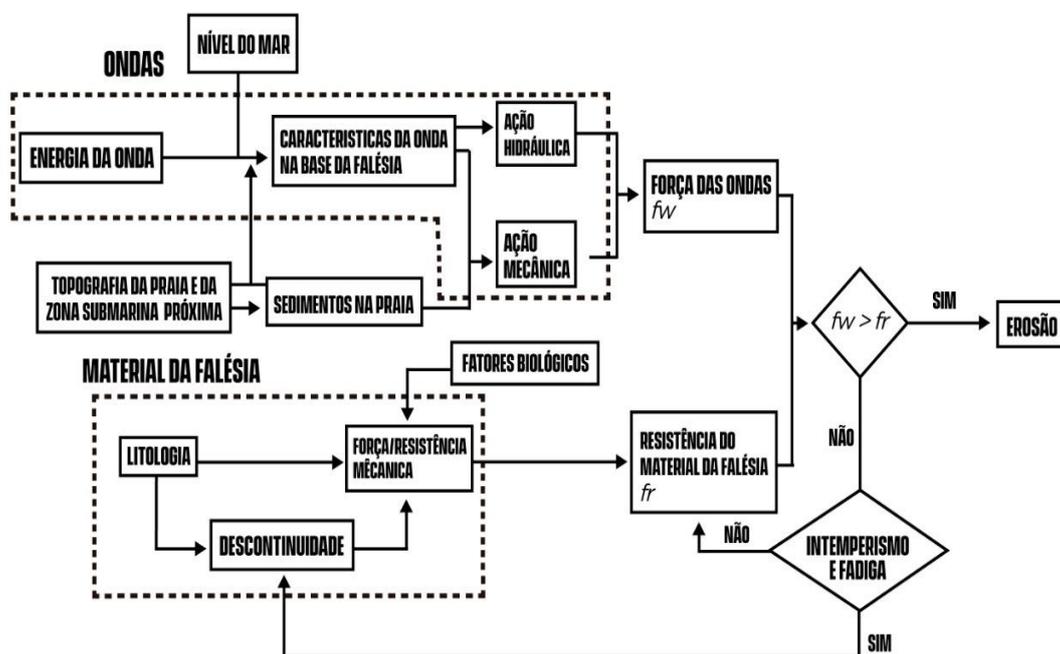
O conceito de falésia aplicado no texto tem embasamento em Sunamura (1992), Trenhaile (1987) e Bird (2011). De acordo com esses pesquisadores, costas em que predominam falésias, morfologicamente são escarpadas com material consolidado e semi-consolidado. As definições relacionadas as falésias em uma visão geomorfológica são variadas e não existe consenso em um denominador em comum. Porém, há de ressaltar-se que, os termos aplicados as falésias possuem alguma familiaridade. Alguns autores como Guerra e Guerra (2011), denominam as falésias como feições costeiras abruptas ou escarpadas. É interessante mencionar o trabalho de Hampton (2004) onde o autor destaca as falésias como formas descontínuas e abruptas do relevo que estão em contato com a linha de costa.

Na concepção de Christofolletti (1980) as falésias caracterizam um ressalto não coberto por vegetação, com alturas variadas e declividades acentuadas, na linha de contato entre a terra e o mar. Contudo, é um equívoco por parte do autor atribuir essa

concepção somente a formas não cobertas por vegetação. Entretanto, Suguio (1999) define as falésias como “faces abruptas onde sua gênese é constituída pela ação erosiva das ondas nas rochas que compõem a falésia.” É interessante destacar os conceitos de Suguio (1999) no que tange o termo “costa rochosa”, ao qual é apresentado como uma costa onde falésias chegam ao mar, podendo apresentar a sua frente terraço de abrasão (*wave-cut plataforma*), terraço de abrasão por ondas (*wave-cut terrace*) com blocos caídos.

O recuo de falésias é essencial para a evolução de costas onde há falésias, pois, essas feições são importantes no fornecimento de sedimentos para as praias. (SUNAMURA, 2015). As costas onde existem falésias podem ter tido sua origem atrelada a variações do nível do mar ou a atividades geológicas recentes sendo os processos erosivos, marinhos ou subaéreos, fundamentais na modificação da paisagem em costas onde predominam falésias (NASCIMENTO, 2006). Existem ainda múltiplos fatores que controlam a erosão em costas de falésias como o nível do mar que diretamente influencia no ataque das ondas na base delas, retirando sedimentos e aumentando as chances de instabilidade, ocasionando assim os movimentos de massa (SUNAMURA, 2015). Costas compostas de rochas consolidadas, principalmente de rochas magmáticas e metamórficas possuem uma maior resistência a erosão por abrasão marinha e processos subaéreos. Contudo, falésias compostas por rochas sedimentares friáveis, são menos resistentes e possuem recuo de metros/ano, enquanto as primeiras citadas, os recuos são na ordem de cm/ano. (CARTER, 1988 *apud* NASCIMENTO, 2006). Sunamura (2015) apresenta um modelo a respeito da dinâmica erosiva em costas de falésias e sua relação com a produção de sedimentos no prisma praias. Contudo, outro modelo de Sunamura (1992) mostra que fatores como a litologia, coesão dos sedimentos são condicionantes importantes no controle e dinamismo do processo erosivo. (figura 8).

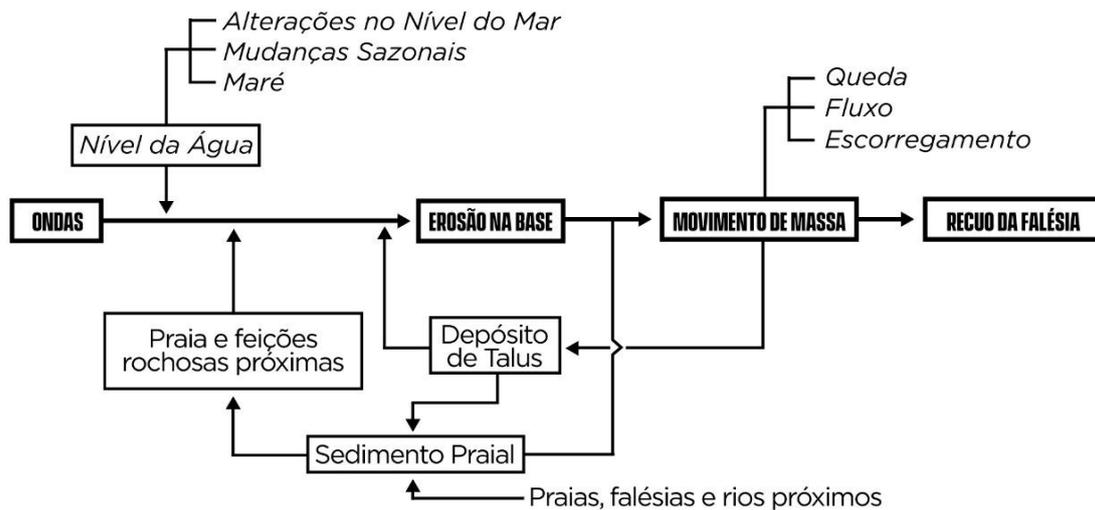
**Figura 8** - Dinâmica erosiva em costas de falésias.



Fonte: Sunamura, (2015)

Na figura 9 observa-se que o nível da água (mudança global do nível do mar, mudanças sazonais e marés) atua diretamente com as ondas dando origem a força motriz para o processo erosivo costeiro na falésia.

**Figura 9** - Condicionantes da erosão em falésias.



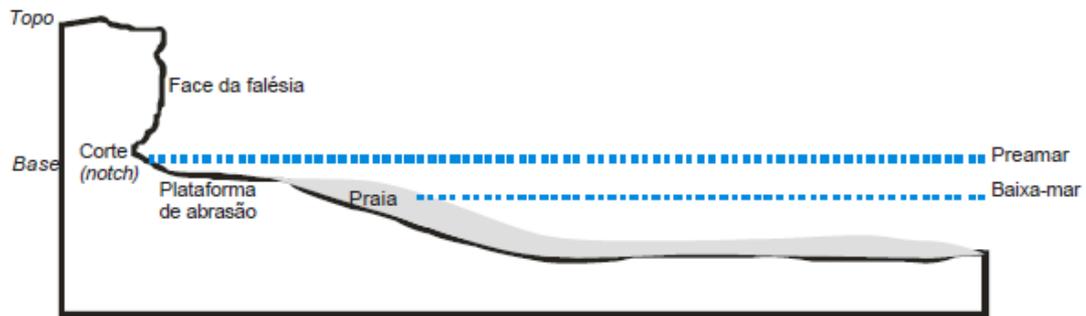
Fonte: Sunamura (1992)

Simplificando, a litologia da falésia, o balanço sedimentar da área, o clima de ondas, a espessura do pacote sedimentar sobre a plataforma de abrasão e a topografia da praia, irão influenciar diretamente o processo erosivo no sopé da falésia. No fluxograma da figura (8) observa-se a relação entre a litologia da falésia, ação de abrasão das ondas, topografia da praia e a resistência das rochas, onde se a força das ondas ( $F_w$ ) for maior que a da resistência do material da falésia ( $F_r$ ) o resultado será a erosão da mesma.

### 5.1 PERFIL DE UMA COSTA DE FALÉSIA.

Muitas são as feições geomorfológicas características de áreas costeiras como dunas, praias arenosas, spits, ilhas barreiras e etc. Contudo, as feições mais comuns encontradas em costas de falésia são as plataformas de abrasão, *notches* e o paredão rochoso da face da falésia que pode estar em contato direto ou não com o poder abrasivo marinho. Na figura 10, um modelo de uma costa com falésia precedida por praia, destacando a ação do poder abrasivo durante a preamar na base da falésia, ocasionando o *notche*.

**Figura 10** - Perfil de uma costa de falésias e suas principais feições.



Fonte: Sunamura (1992)

Todavia, esse modelo proposto por Sunamura (1992) na figura 10 não é único. O próprio autor em 2015 considera as costas recortadas por falésias em duas categorias: falésia precedida por praia e falésia não precedida por praia. Sendo a primeira subdividida em duas partes (figuras 11 e 12):

- a) Falésia precedida de praia com plataforma suave (*shore platforms sloping*)
- b) Falésia precedida de praia com plataforma de quebra abrupta (*shore platforms horizontal*)
- c) Falésias não precedidas por praia (*plunging cliffs*) (Figura 13).

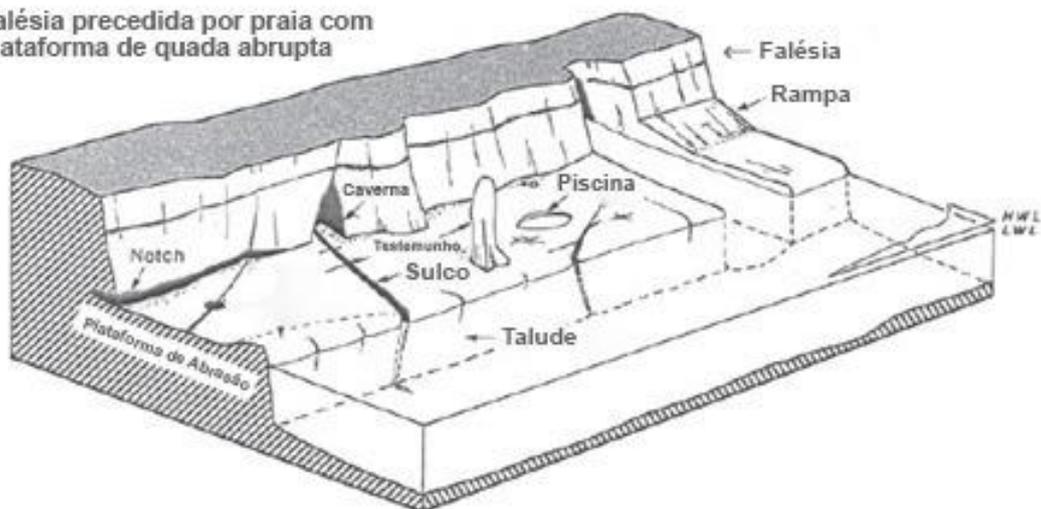
**Figura 11** - Falésia precedida de praia com plataforma suave (Sunamura,2015)



Fonte: Sunamura (2015)

**Figura 12** - Falésia precedida de praia com plataforma de quebra abrupta

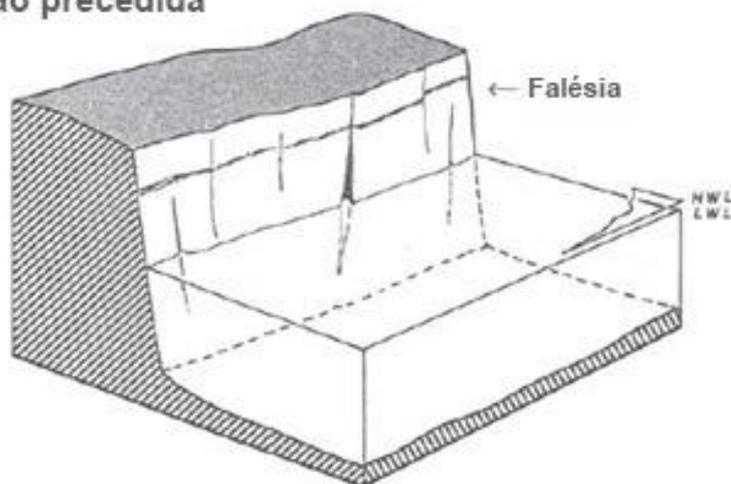
Falésia precedida por praia com plataforma de queda abrupta



Fonte: Sunamura (2015)

**Figura 13** - Falésias não precedidas por praia

Falésia não precedida de praia



Fonte: Sunamura (2015)

Os perfis (a) e (b) são precedidos por praia, entretanto, no primeiro, a plataforma tem um ângulo de inclinação suave e no perfil (b) após a praia, a plataforma possui uma mudança abrupta em sua topografia. De acordo ainda com Emery & Kuhn (1982), o perfil da falésia é moldado de acordo com as características de composição litológica

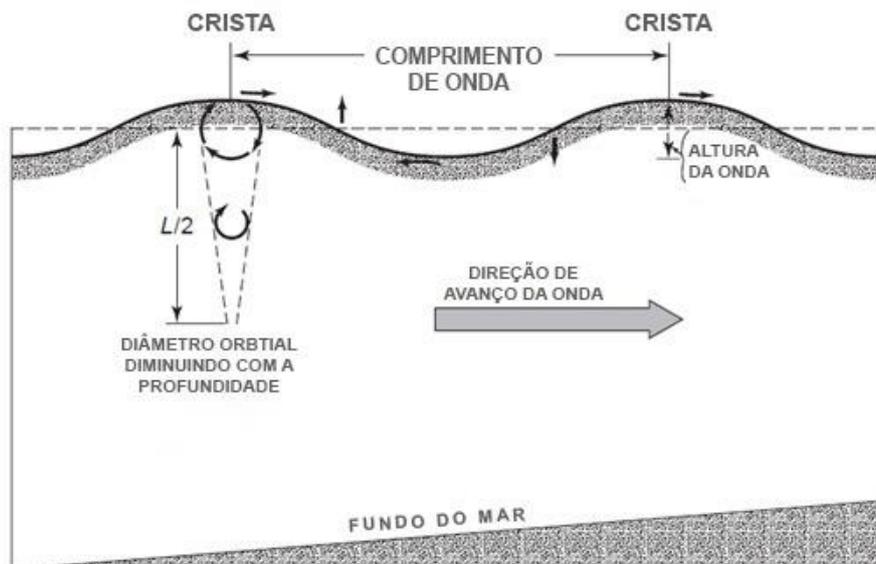
(material homogêneo ou heterogêneo) e as taxas de erosão, podendo ser de origem marinha ou pelas forças intempéricas.

## 5.2 FATORES ENVOLVIDOS NA EVOLUÇÃO DE FALÉSIAS

### 5.2.1 Ondas

As ondas resultam da ação dos ventos representando a transferência direta da energia cinética da atmosfera para a superfície oceânica. Quando maior a velocidade do vento, a sua duração e a extensão da área de influência eólica, maiores serão as ondas (CHRISTOFOLETTI, 1980). As ondas possuem comprimento (de uma crista até outra crista, representada pela letra L) e a altura da onda que é medida pela altura da crista (H) até a cava e a órbita vai sendo alterada de acordo com a profundidade, como mostra a figura 9. A medida que a onda se aproxima da costa, a órbita circular passa a ganhar forma elíptica e o comprimento de onda diminui e ganha esbeltez e assim, a força gravitacional acaba contribuindo para a sua arrebentação. (figura 14)

**Figura 14** - Modelo de onda



Fonte: Bird (2011)

Sunamura (1977), explicita que os principais fatores envolvidos na evolução das falésias são:

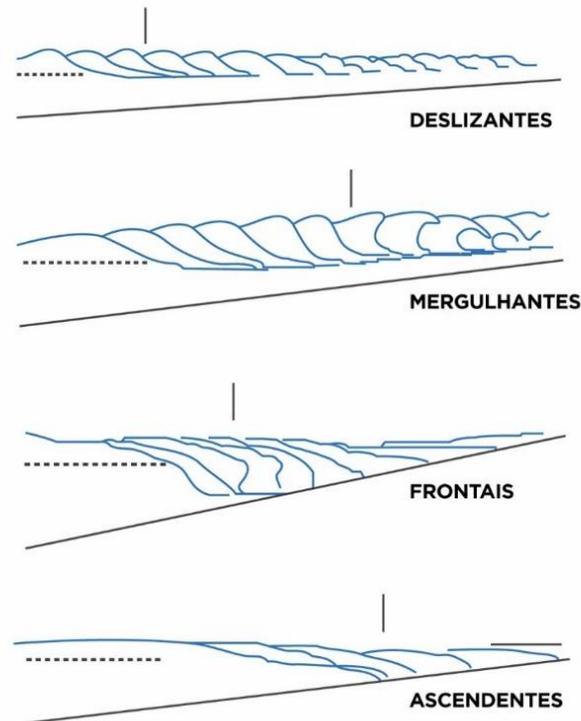
(a) A força que a onda exerce no material rochoso da falésia

(b) A ação de compressão do ar nas fissuras das rochas ocasionada pelo choque da onda sobre o material rochoso.

Galvin Jr (1968), definiu em seu artigo a classificação dos tipos de ondas e suas respectivas formas de arrebentação (Figura 15). Portanto, em relação aos tipos de arrebentação ondas, a referida classificação destaca:

- Ondas deslizantes (*spilling waves*) – Ocorre geralmente em praias onde a topografia é suave, a onda quebra dissipando sua energia por uma longa extensão.
- Ondas mergulhantes (*plunging waves*) – Em praias de declividade moderada ou alta, o trem de ondas empilha-se formando um tubo dissipando sua energia em uma pequena área do perfil.
- Ondas frontais (*collapsing waves*) – Esse tipo de arrebentação segundo Galvin Jr (1968), é um estágio intermediário entre os tipos mergulhantes e ascendentes.
- ondas ascendentes (*surging waves*) – Acontece quando da crista da onda até a base permanece intacta, não chegando a quebrar, avançando em relação a praia com os refluxos anteriores da onda.

Figura 15 - Modelo dos tipos de arrebentações de ondas.



Fonte: Galvin Jr (1968).

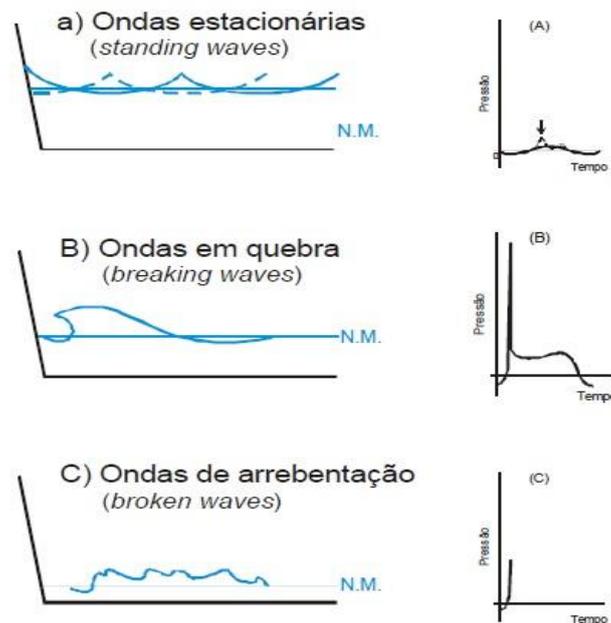
As ondas possuem papel importante na morfodinâmica costeira devido a sua capacidade nata de transporte de sedimentos ao longo da linha de costa. Contudo, a mobilização dos sedimentos é diretamente proporcional a capacidade de energia que a onda tem em dissipar durante sua arrebentação. Sendo assim, quanto maior a energia durante a quebra da onda, maior a quantidade de sedimentos que poderão ser mobilizados durante o fenômeno supracitado. De acordo com (NASCIMENTO, 2006 p. 17):

“A altura da onda é a única variável na equação, sendo assim a energia de uma onda se dará em função de sua altura na arrebentação. A topografia da zona submarina, obstáculos próximos e a própria irregularidade da linha de costa são fatores que influenciam as ondas que atingem a costa e, conseqüentemente, uma distribuição desigual das alturas na arrebentação, e a ocorrência de zonas de convergência e de erosão preferencial.”

Observa-se, portanto a relação entre ondas x altura e balanço sedimentar ao longo da linha de costa, como fatores importantes na morfodinâmica costeira. As ondas são os agentes erosivos mais atuantes na zona costeira (NASCIMENTO, 2006). Entretanto, seus efeitos variam entre a energia da onda e as características naturais do

material exposto ao ataque das ondas (BEZERRA, *et al*, 2015). Os tipos de ondas também são importantes fatores na erosão costeira em falésias como aponta Sunamura (1992), onde o autor classifica os tipos de ondas: estacionárias, em quebra e de arrebatção como demonstrado na figura (16).

**Figura 16** - Tipos de ondas.



Fonte: Adaptado de Sunamura (1992).

As ondas estacionárias têm sua gênese nas situações onde a profundidade na base da falésia for maior que um tipo de onda pode arrebentar. As ondas em quebra têm origem quando a profundidade da base da falésia é igual a profundidade que a onda pode quebrar. Sendo assim, a onda arrebenta na falésia. As ondas em arrebatção vão se formar quando a profundidade da falésia for menor e assim a onda já chega arrebentada na base da falésia.

### 5.2.2 Processos Erosivos

O desenvolvimento de processos erosivos em falésias depende diretamente das propriedades das rochas (litologia, textura e fraturas saturação do nível d'água, percolação e de processos marinhos e subaéreos. As ondas desempenham um papel extremamente importante na evolução desses processos através do impacto direto nas

rochas, comprimindo o ar pelas fissuras e pela decompressão durante o refluxo destacando e mobilizando os sedimentos. (BEZERRA *et al*, 2015; DUPERRET *et al.*, 2005).

A abrasão marinha é um dos mecanismos erosivos mais contundentes das falésias tendo em vista que os sedimentos depositados no sopé da falésia são movimentados durante a maré cheia (preamar) e acabam por atacar a face da falésia contribuindo para o desenvolvimento do *notche*, (figura 17 ) ocasionando assim, queda de blocos rochosos, num futuro próximo.

Todavia é importante destacar que os processos erosivos diretamente relacionados às falésias não estejam concentrados somente no poder abrasivo das ondas. Os processos subaéreos são importantes mecanismos principalmente quando se trata de topo de falésias onde a compactação é acentuada, dificultando a infiltração do fluxo hídrico e em sequência direcionando-o a face da falésia e assim contribuindo diretamente para o processo erosivo na citada face. “Quando o solo é compactado, sua resistência é aumentada e a porosidade total é reduzida às custas dos poros maiores. Com isso, o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo são aumentados, enquanto a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas” (REICHERT *et al*, 2007 p.50). Diversos são os fatores atribuídos a compactação de solos sendo eles: pisoteio por animais ou humanos, intensa mecanização da atividade agrícola, passagem de veículos, dentre outros.

Figura 17 - Notches na base da falésia de Panaquatira



Fonte: Acervo do autor.

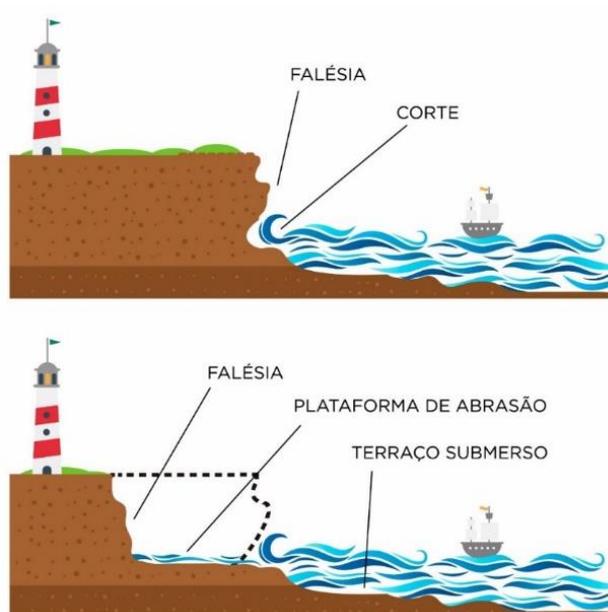
### 5.2.3 Dinâmica Erosiva

A dinâmica erosiva pelas ondas acontece em dois momentos distintos: O primeiro a erosão rebaixa a superfície de contato e o segundo momento consiste no destacamento e transporte dos detritos para o sopé da falésia (NASCIMENTO, 2006). A taxa de variação de uma falésia pode variar na ordem de centímetros por ano ou até vários metros. Contudo, muitos estudos foram executados em laboratório, destacando o de Sunamura (1975), onde em tanques, a autora simulou a erosão em falésias pelo ataque de ondas durante um período específico de horas. De acordo com Sunamura (op cit), o material retirado da falésia através do ataque pelas ondas, ou até mesmo por processos subaéreos os sedimentos ou blocos de rochas que e que são depositados no sopé, servirá como fator potencializador da abrasão marinha, quando houver o ataque das ondas na frente da falésia, o material solto será lançado contra a face rochosa, propiciando a abrasão pelo impacto das ondas e posteriormente do material rochoso proveniente do talús. Portanto, os notches serão desenvolvidos e com o passar do tempo, ficarão mais profundos. Entretanto, quando esse *notche* está bem desenvolvido, esses detritos servirão como elemento amortizador do ataque das ondas no sopé da falésia retardando o processo erosivo.

Outra questão a ser discutida em relação a dinâmica erosiva, é a formação da plataforma de abrasão onde os sedimentos provenientes das falésias são depositados ao longo da praia, que amortece o efeito abrasivo das ondas e dependendo da dinâmica erosiva/deposicional da área, essa plataforma pode ficar exposta ou não ao ataque das ondas (NASCIMENTO, 2006). Diferentes tipos de plataforma de abrasão podem ser encontrados ao longo das áreas costeiras e possuem diversas variações devido a estrutura geológica e agentes morfogenéticos como as marés e as ondas. Na figura (18), pode ser observado como são formadas as plataformas de abrasão.

Muitas falésias são bordejadas por plataformas de abrasão que se estendem através da zona intermaré. De acordo com Bird (2011), o termo plataforma de abrasão por ondas (*wave-cut platform*) deve ficar restrito a formas que são modeladas através do poder abrasivo das ondas que são comumente observadas em áreas de formação sedimentar. Geralmente os processos de contribuição a formação de plataformas de abrasão são lentos e essas feições são indícios que a linha de costa se manteve estável por um determinado período. (Bird, 2011).

**Figura 18** - Formação da plataforma de abrasão.



Fonte: Adaptado de Do Nascimento (2006).

#### 5.2.4 Alterações no perfil da falésia

Existem diferentes tipos da erosão costeira (movimentos de massa) que altera, o perfil de uma falésia (figura 19). De acordo com Nascimento (2006) as principais maneiras são as seguintes:

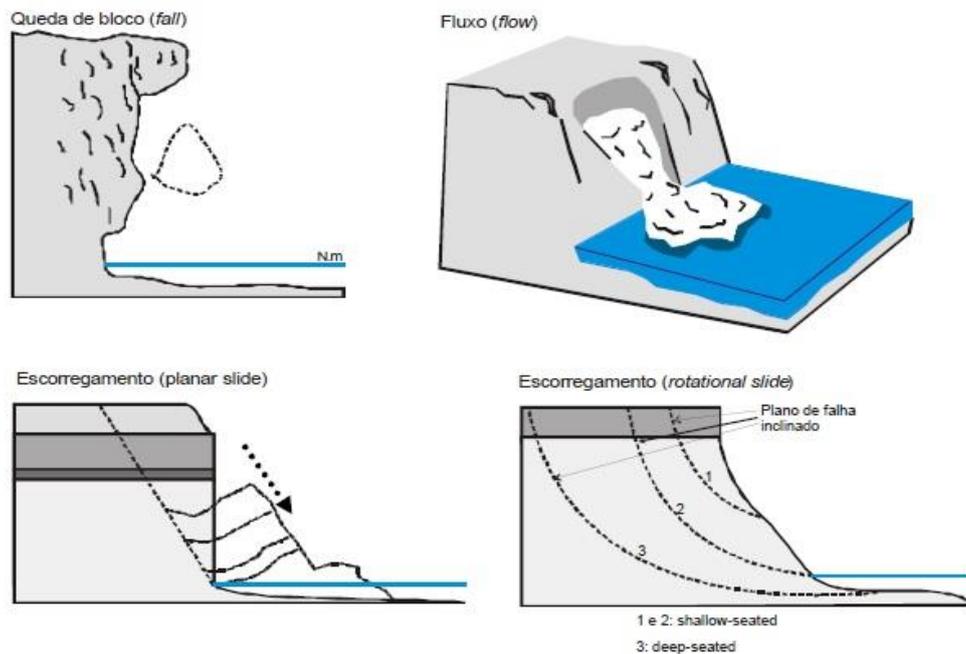
1- Queda de blocos: são movimentos rápidos de blocos (de solo coeso ou rocha, dependendo do material da falésia) caindo pela ação gravitacional sem a presença de uma superfície de deslizamento (queda livre).

2- Fluxos: são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos. Estão associados à concentração de águas superficiais e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material. Esse processo pode ser observado em falésias de material pouco coeso, ou mesmo ter seu início na desintegração de um material originalmente deslocado por escorregamento.

3- Escorregamentos: caracterizam-se por movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura definido a ponto de ser possível distinguir o material deslizado e aquele não movimentado (figura 20). São, geralmente, divididos com base na forma do plano de ruptura - identificados então como translacionais e rotacionais; e no tipo de material movimentado – que pode ser solo, rocha ou uma mistura de ambos. O

translacional é mais frequente, pois possui superfície de ruptura com forma planar e é geralmente comprido e raso, o rotacional possui uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dará o movimento rotacional do material, tem seu início associado a cortes na base.

**Figura 19** - Principais movimentos de massa que podem alterar o perfil da falésia



Fonte: Do Nascimento (2006)

**Figura 20:** Escorregamento planar



Fonte: Acervo do autor.

## 6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

Os procedimentos adotados durante a pesquisa foram tiveram como objetivo conhecer a capacidade de permeabilidade das falésias, compactação, dinâmica erosiva e ocupação em torno das falésias. Sendo assim, foram realizados perfis de praia durante um ano, instalados pinos de erosão de 0,5 metros e testes de permeabilidade e compactação com penetrômetro e permeâmetro. Para análise espacial da ocupação das áreas em torno das falésias foram utilizadas imagens georreferenciadas do Google Earth Pro e os softwares Qgis e ArcMap.

### 6.1 PERFIS DE PRAIA

Traçar o perfil topográfico da praia permite inferir o ritmo da ação erosiva levando em consideração que ela é uma importante proteção contra o efeito abrasivo das ondas na falésia. Os perfis de praia foram realizados de acordo com método do nivelamento geométrico composto utilizando um nível a laser da marca topcon modelo RI-H3C (figura 21) sempre em condições de baixa mar. Para o ajustamento do RN foi instalado um marco topográfico e usado um GPS spectra precision Ashtec mobile20 para validação da cota. O intervalo de monitoramento aconteceu em intervalos de 2

meses, totalizando 6 perfis para cada praia e as campanhas foram realizadas entre agosto de 2017 e agosto de 2018. Observar nas figuras 22 e 23 a localização dos perfis.

**Figura 21** - Nível a laser utilizado para obtenção do perfil praial



**Figura 22** - Localização do perfil do Olho d'Água.



Fonte: Catálogo de imagens do Google Earth

**Figura 23** - Localização do perfil em Panaquatira



Fonte: Catálogo de imagens do Google Earth

## 6.2 COMPACTAÇÃO

Estabelecer a compactação do local que influi diretamente sobre a dinâmica do escoamento superficial, possibilita compreender a intensidade dos fluxos d'água nas falésias responsáveis pela ocorrência e desenvolvimento dos respectivos processos erosivos. Nesta perspectiva, foram realizados testes de compactação no solo com um penetrômetro de impacto Kamaq modelo Stolf. O penetrômetro possui marcadores de perfuração na ordem de 45 cm, 30 cm e 15 cm. Os golpes foram realizados na praia, no bloco desmoronado, na face (Olho d'Água) e na borda das falésias. A partir desses dados foram gerados gráficos com o número total de golpes em cada ponto.

## 6.3 PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA.

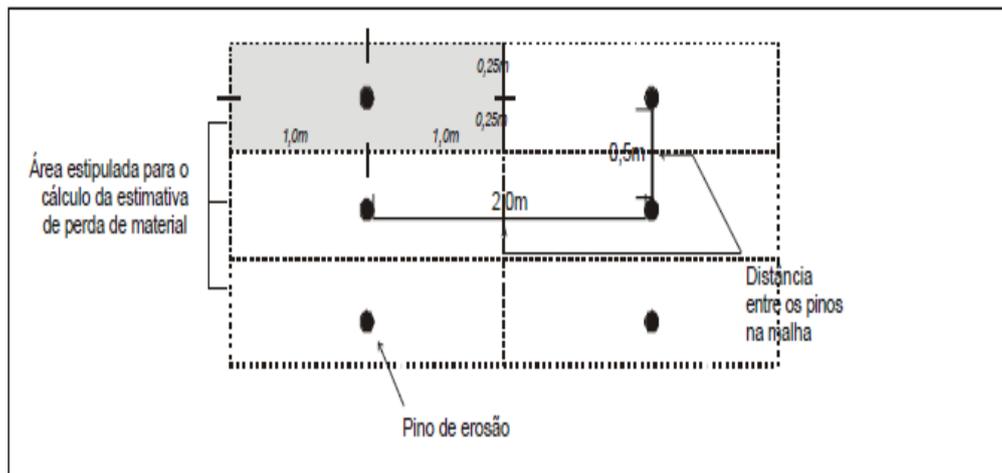
As imagens do catálogo do Google Earth Pro, da série são nítidas e ajudam a interpretar de maneira mais eficaz a área de estudo e sua dinâmica, levando em consideração a dinamicidade da zona costeira e seus muitos processos geomorfológicos coexistentes. Foram utilizadas imagens de 2006 e 2016, sendo as mesmas georreferenciadas com a utilização do software ArcMap e Qgis com erro quadrático de 0,02m e base de dados provenientes das malhas territoriais do IBGE.

## 6.4 PINOS DE EROSÃO

O estaqueamento dos pinos de erosão no topo da falésia e na sua face teve como finalidade monitorar a retrogradação da linha de costa e reconhecer se de fato a falésia estava em erosão. Ambas as falésias monitoradas foram estaqueadas com a finalidade de monitorar sua variação de recuo durante o período monitorado de um ano (agosto de 2017 à agosto de 2018). Os pinos possuem 0,5m e foram colocados em uma malha com 16 pinos (observar as figuras 24, 25, 26 e 27), sendo 4 colunas com 4 linhas e distância horizontal de 2 metros entre cada pino e vertical de 0,5 metros. O método empregado baseou-se na proposta de De Ploey e Gabriels (1980). A geração dos gráficos referentes aos resultados do monitoramento dos pinos foi realizada a partir do software Surfer13, com a técnica de interpolação por Krigagem.

No Olho d'Água foi necessária utilização de rapel para fixação dos pinos e o monitoramento foi realizado com uma escada extensível. À medida que os processos marinhos e subaéreos trabalham no desgaste da falésia, os pinos vão ficando expostos e esta exposição irá subsidiar os dados para o cálculo de volume perdido na face da falésia. Foi definido que cada pino representa um cubo de  $1\text{m}^3$ , e a altura definida pela exposição e consequente perda de material. Cada pino ficou exposto 5 cm propositalmente para facilitar a localização dos mesmos. A cada dois meses o monitoramento foi feito com o intuito de detectar o avanço da erosão através da exposição dos pinos. Por exemplo, se um pino durante o monitoramento foi mensurado em 7 cm, significa que a falésia erodiu 2 cm naquela região onde foi instalado o pino. A partir desses dados, pode-se estimar o volume de material erodido, pois sabe-se aproximadamente a área abrangida pelos pinos.

**Figura 24** - Malha de pinos utilizada no monitoramento.



Fonte: Nascimento, (2006).

**Figura 25** - Fixação dos pinos na falésia de Panaquatira.

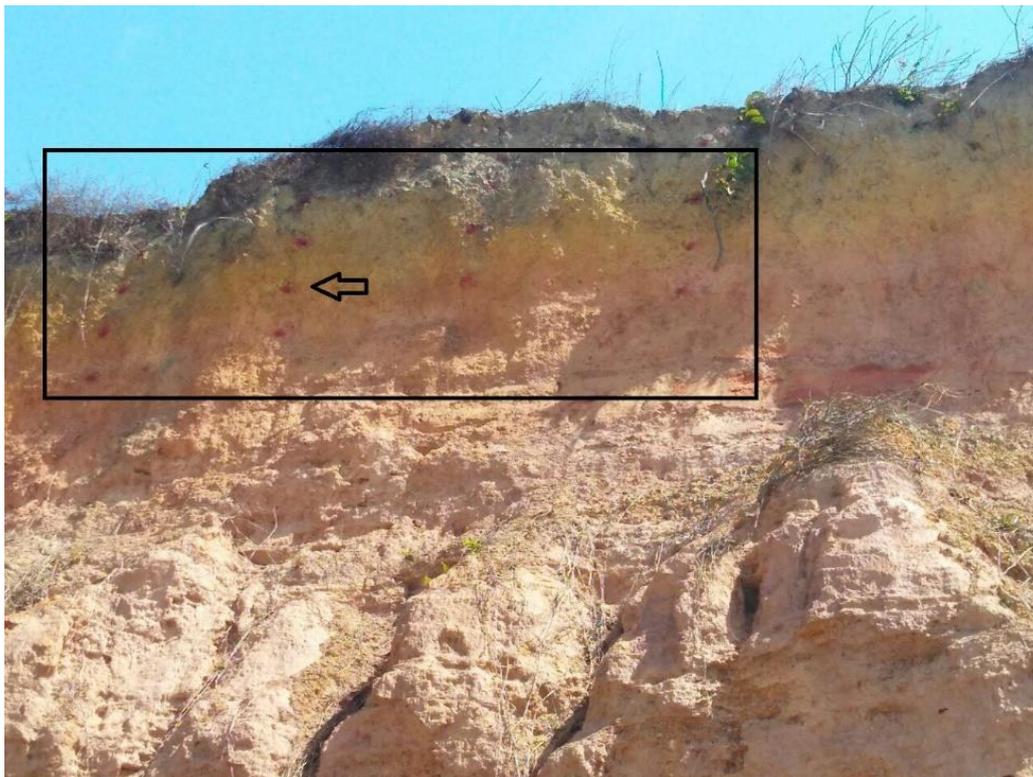


**Figura 26** - Rapel para a fixação dos pinos no Olho d'Água



Fonte: Acervo do autor.

**Figura 27** - Malha de pinos na falésia do Olho d'Água



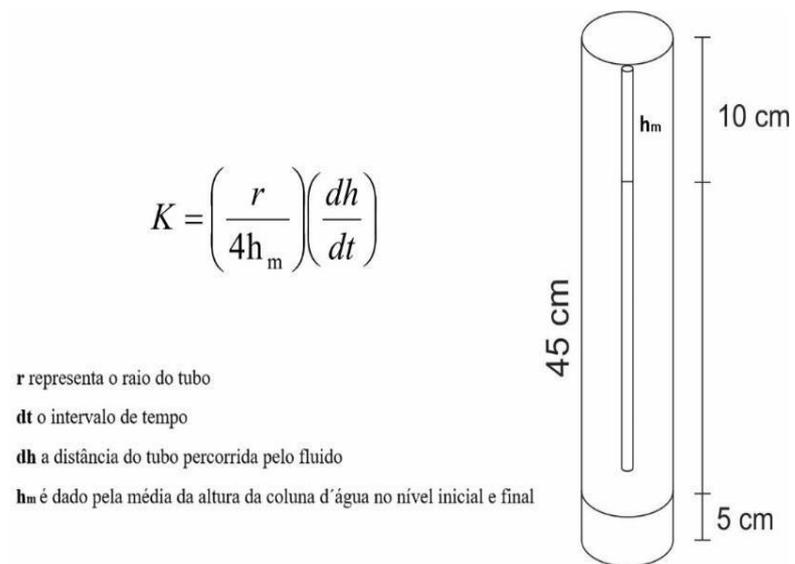
Fonte: Acervo do autor.

## 6.5 PERMEABILIDADE

A capacidade de permeabilidade e infiltração no solo é algo essencial nessa pesquisa, haja vista que, a não infiltração da água no solo no topo das falésias corroboram para a dinâmica hídrica de escoamento superficial na face da falésia, contribuindo para o processo erosivo. É interessante destacar que esse processo ganha maior notabilidade na falésia do Olho d'Água devido ao fator que os processos intempéricos estão sendo levados em consideração para o monitoramento da mesma. Contudo, na falésia de Panaquatira o escoamento superficial irá ser considerado também, devido a intervenções antrópicas no topo da falésia como a construção de um assoalho que impede a passagem da água e conseqüentemente sua infiltração e a utilização do permeâmetro.

O permeâmetro utilizado na pesquisa (figuras 28 e 29), foi o modelo de tubo aberto proposto por Caputo (1988) com o objetivo de mensurar a condutividade hidráulica ( $K_{sat}$ ). “A condutividade hidráulica saturada permite avaliar a capacidade que o solo possui em permitir a percolação de um fluído entre os seus espaços vazios. A baixa permeabilidade do solo está diretamente relacionada à sua compactação e resistência à infiltração, fator este que influencia na geração de *runoff* e na erosão dos solos” (MORAIS *et al*, 2013 p.5). A partir dos dados referentes a permeabilidade, obteve-se gráficos referentes a permeabilidade das falésias. Os gráficos de permeabilidade foram gerados no software Surfer 8, em uma malha de pontos com orientação de vista aérea sendo a sessão inferior do gráfico referente a praia e a superior do topo da falésia. A partir da adaptação da Equação de Darcy (figura 28), pode-se obter o grau de permeabilidade dos pontos amostrais.

**Figura 28** - Permeâmetro e Equação de Darcy.



Fonte: Caputo (1988)

**Figura 29** - Permeâmetro de tubo aberto utilizado na praia do Olho D'Água.



Fonte: Acervo do autor.

## 6.6 GRANULOMETRIA

A granulometria é um importante parâmetro para os estudos relacionados a erosão seja ela costeira ou não, pois permite conhecer a dinâmica sedimentar da área estudada em questão e assim, associar a composição sedimentar com os possíveis agentes erosivos e estabelecer uma correlação entre eles. Ao todo, foram coletadas 9 amostras de sedimentos sendo 5 amostras no Olho d'Água e 4 em Panaquatira.

Na falésia do Olho d'Água foram coletadas amostras na face dos pinos (aproximadamente 9-10 metros de altura), na face da falésia abaixo da malha de pinos, na face de material lamoso, na parte do desmoronado e na praia. Em Panaquatira foi coletada amostras na falésia superior, na face onde foi implantando os pinos, na base da falésia ativa e na faixa de areia. O método utilizado na pesquisa para realização da granulometria foi o proposto por Suguio (1973) e o método estatístico para análise foi o de Fork (1957). Os gráficos foram plotados utilizando o SysGran.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos procedimentos metodológicos adotados, pode-se conhecer mais acerca da morfodinâmica costeira das áreas de estudo. Obteve-se assim, resultados da granulometria, perfis de praia, dinâmica erosiva na face da falésia. De maneira geral, falésias e as praias obtiveram resultados de materiais finos ao que tange a granulometria, praias dissipativas (ultra dissipativa como no caso de Panaquatira) e dinâmicas erosiva bem diferentes constatadas através dos pinos. Obteve-se também, resultados provenientes de permeabilidade e compactação que possuem contribuição fundamental para a erosão. Os resultados serão descritos nos próximos itens.

### 7.1. MORFODINÂMICA PRAIAL

Em todas as praias de ordem natural, os processos e a morfologia tem influência direta das ondas e das marés. Entretanto, a morfologia da praia não é simplesmente determinada pela variação da altura da maré ou pelas ondas e sim, pela interação desses dois fatores. (DAVIS JR e HAYES, 1984; MASSELINK e SHORT, 1993). A relação entre a variabilidade de ondas e os sedimentos são fatores diretos nos estágios morfodinâmicos e foi elaborado por Wright e Short (1984), onde os autores utilizam o parâmetro adimensional de ômega ( $\Omega$ ) como explicitado na equação 1:

$$\Omega = H_b / \omega_s T$$

Sendo:

$H_b$  = altura significativa da onda na arrebentação;

$\omega_s$  = velocidade média de decantação dos sedimentos da face da praia;

$T$  = período médio das ondas.

É interessante destacar que o parâmetro ômega é utilizado para praias do tipo micro-maré, onde não possui aplicabilidade em ambientes de meso e macro-maré. Portanto, a classificação baseia-se na proposta de Masselink e Short (1993), onde o parâmetro utilizado é o RTR (Parâmetro relativo do alcance da maré) e utilizando também o parâmetro ômega (Equação 2).

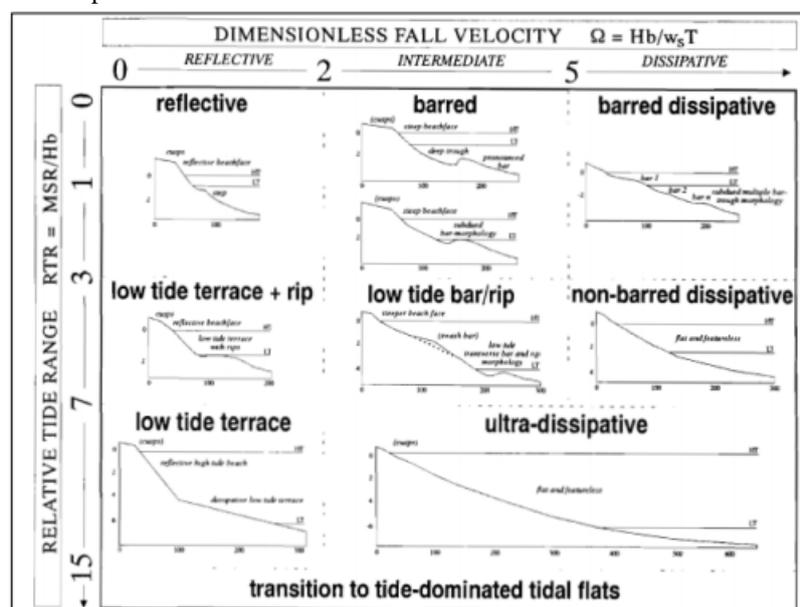
$$RTR = TR / H_b$$

Sendo:

TR = Variação da maré

O modelo idealizado por Masselink e Short (1993) sobre os perfis de praia (figura 30) e o trabalho executado por Franco (2018), foram importantes quando da classificação dos tipos de praia estudadas nesta pesquisa. As praias analisadas foram classificadas como ultra dissipativa em Panaquatira e dissipativa sem banco no Olho D'Água.

**Figura 30:** Modelo de praias



Fonte: (Masselink e Short, 1993)

## 7.2 PERFIS DE PRAIA

Os perfis de praia são importantes para a classificação de praias e compreender a dinâmica erosiva e deposicional da praia em análise. No Olho d'Água as mudanças de perfil durante o monitoramento (agosto de 2017 a agosto de 2018) foram significativas (Figura 31). Observou-se que o período mais intenso de erosão na área foi no mês de agosto de 2018. Essa intensa atividade erosiva pode ser associada a maior intensidade dos ventos e conseqüentemente maior altura das ondas nesse período e a diminuição das chuvas, contribuindo para uma maior mobilização de sedimentos. Observou-se também, que entre janeiro a junho de 2018 um processo de sedimentação associado ao período chuvoso e a menor intensidade de mobilização de sedimentos pelos ventos, sendo intercalado com um período erosivo em março. A partir de agosto de 2018, notou-se novamente a erosão na praia novamente devido à diminuição das chuvas e o início do período de estiagem, com ventos mais velozes e intensos realizando o ataque de ondas mais altas contra as falésias.

Em Panaquatira a variação do perfil (Figura 32) foi mínima durante o período de monitoramento. Essa variação é associada a característica ultra dissipativa da praia, sendo assim, tendo baixa energia e conseqüentemente pouca mobilização de sedimentos na praia. Contudo, percebe-se que os meses em que houve maior erosão foram os meses do período de estiagem (com exceção de junho que onde perfil foi traçado no final do mês já configurando um período de transição para a estiagem). Entre janeiro a maio a dinâmica praial teve característica deposicional, corroborando assim, que em épocas mais chuvosas os processos erosivos possuem menor intensidade.

**Figura 31** - Perfis de praia no Olho d'Água, Ilha do Maranhão.

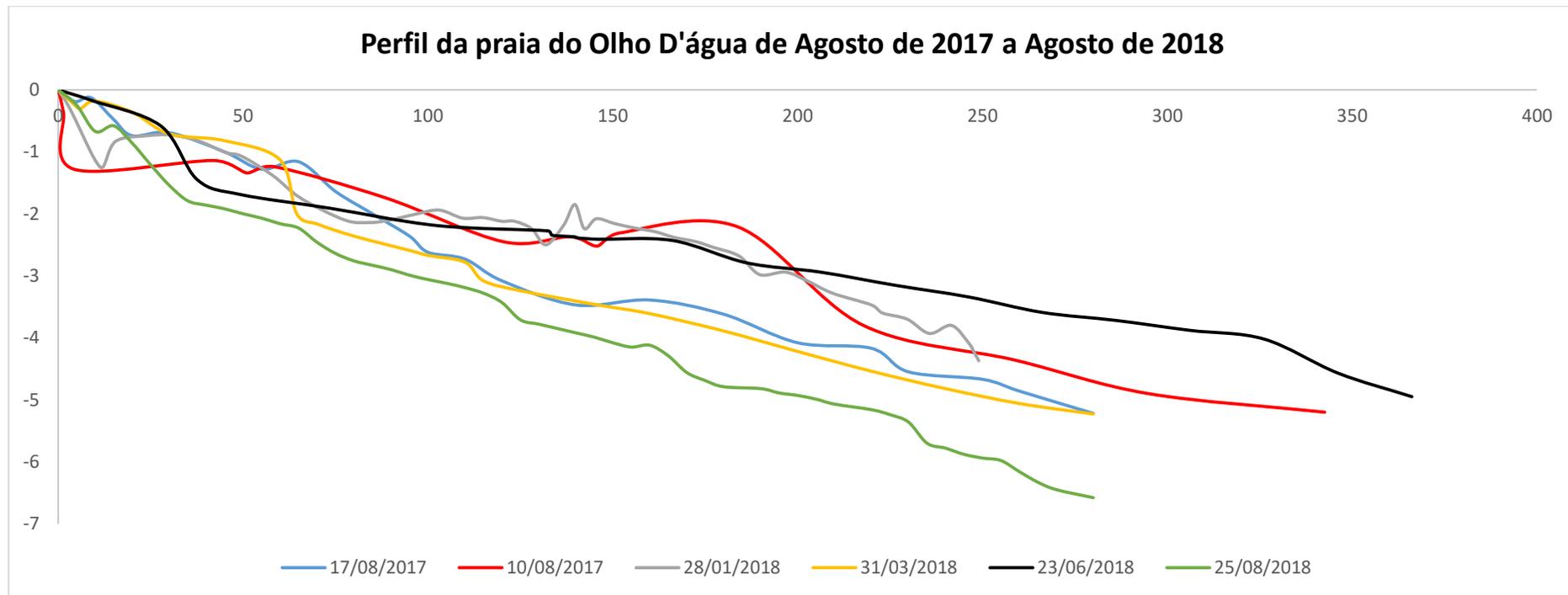
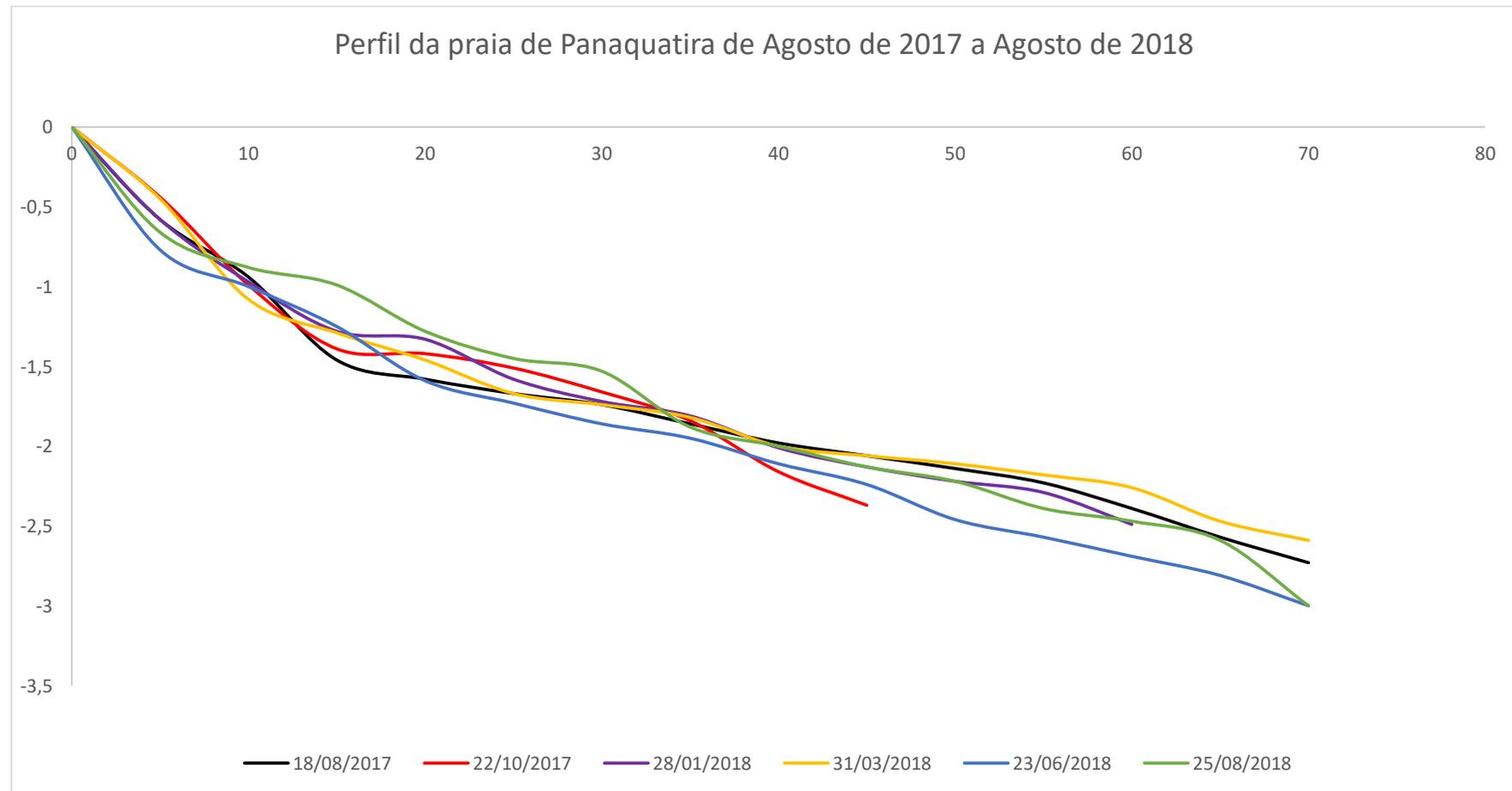


Figura 32 - Perfil de praia de Panaquatira, Ilha do Maranhão.



### 7.3 MONITORAMENTO DOS PINOS DE EROSÃO

As duas falésias possuíram metodologias distintas quanto ao monitoramento por pinos de erosão. Enquanto no Olho d'Água o objetivo foi caracterizar a erosão por processos subaéreos, em Panaquatira o poder abrasivo das ondas foi o principal agente erosivo na falésia. No Olho d'Água notou-se pouco poder erosivo no início das campanhas de campo devido aos baixos índices pluviométricos do período. Contudo, ainda houve atividade erosiva, entre os meses de agosto e setembro de 2017 na ordem de até 1mm configurando assim, o processo erosivo como estagnado durante esse intervalo de tempo. (Figura 33)

Entre outubro de 2017 e janeiro de 2018, o panorama da erosão ganha outra configuração devido a mudança do período de estiagem para a época do ano onde os índices de pluviosidade começam a se elevar. As variações entre esse intervalo são de 2 a 3 milímetros (Figura 34). Durante o intervalo entre março de 2018 a junho de 2018 (meses onde se concentram os maiores índices pluviométricos), a ordem de variação na falésia ficou entre 2 e 3 cm como demonstra a figura 35 e a dinâmica erosiva aconteceu entre a face intermediária da malha de pinos e a porção superior corroborando a linha de raciocínio que o *runoff* é mais intenso nas proximidades dos pinos superiores.

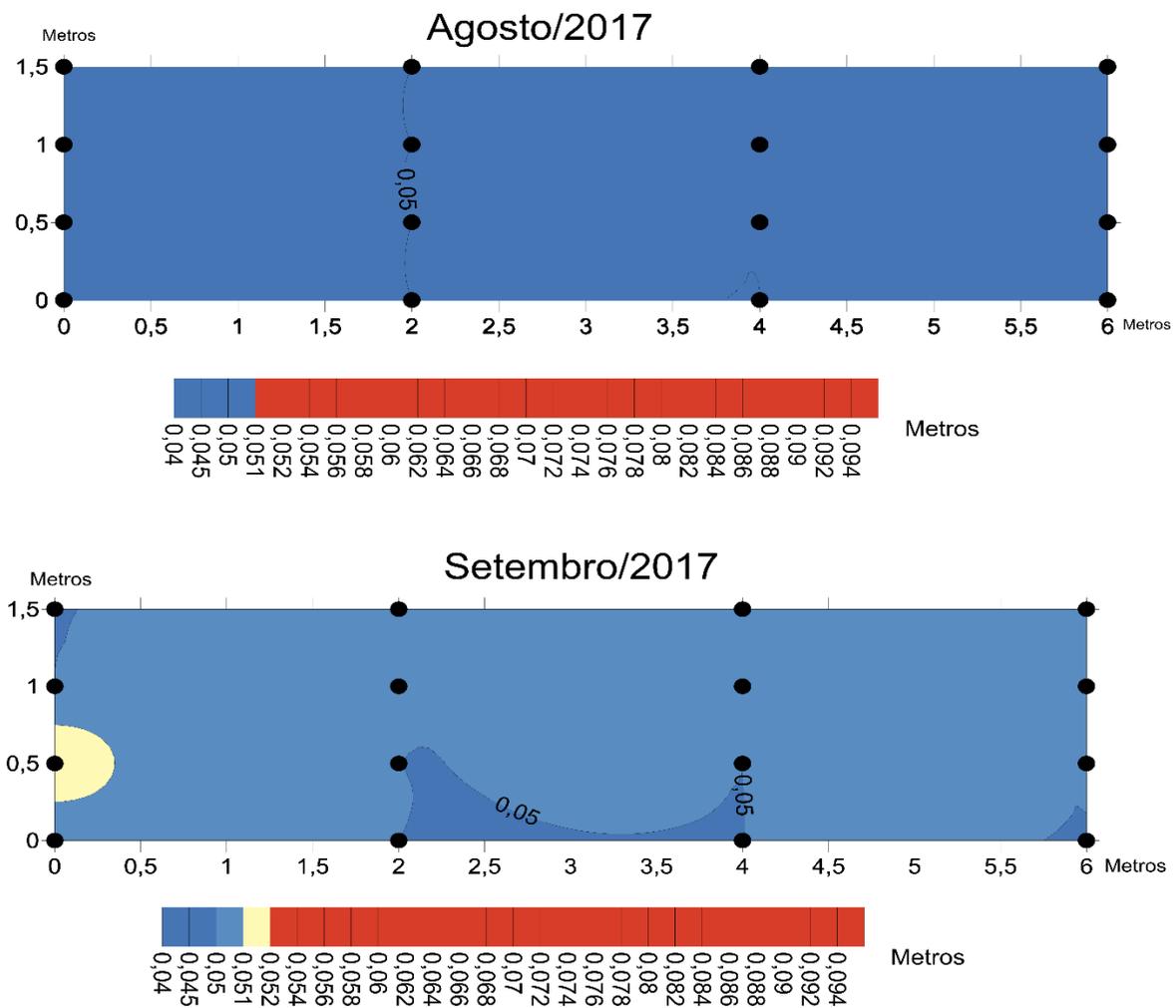
No intervalo entre junho de 2018 e agosto de 2018, a erosão continuou ocorrendo, entretanto, de modo menos intenso se comparado ao período entre março e junho devido a maior intensidade das chuvas. A intensidade da chuva tem relação direta devido ao efeito do *splash* e geração de *runoff*. A variação desse intervalo (junho a agosto de 2018), teve como característica a atividade erosiva, contudo, observa-se a transição entre o período chuvoso e o de estiagem, explicitando assim, uma variação na ordem de 7 a 8 milímetros. (figura 36)

Em Panaquatira como o agente erosivo de maior intensidade foi a abrasão marinha, as taxas de erosão obtiveram resultados mais expressivos se comparados a falésia do Olho d'Água. É interessante destacar que embora sejam processos erosivos em feições geomorfológicas semelhantes a dinâmica erosiva de ambos possuem características diferentes. A erosão em Panaquatira concentrou-se na base da falésia e foi se acentuando com o passar do tempo. Entre as campanhas de agosto e setembro de 2017 a

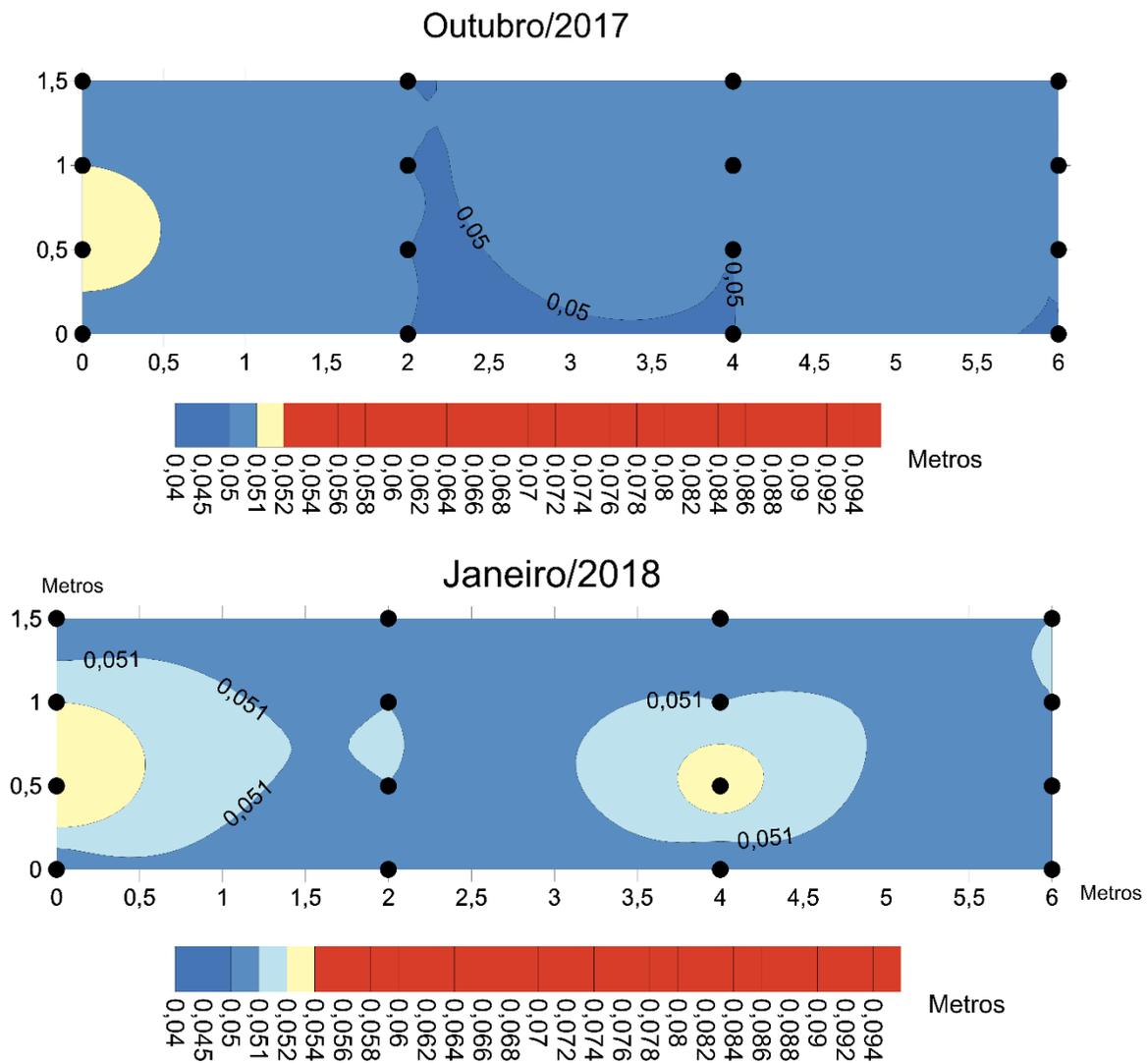
variação entre os pinos foi na ordem de 8 a 12 centímetros, mas sempre concentrando-se mais na base da falésia indicando o poder abrasivo das ondas (figura 37).

Entre as campanhas de outubro de 2017 e janeiro de 2018 (Figura 38) a dinâmica erosiva continuou na base da falésia, chegando a obter dados máximos de exposição de pinos de até 64 cm. É interessante observar as variações entre as malhas de pino superiores com a inferiores durante o monitoramento desse intervalo de tempo. Em outubro, os pinos superiores sofreram menor erosão se comparados com o mês de janeiro. Esse fato está associado diretamente ao início do período chuvoso onde existe a influência direta do *splash* e do *runoff*. Entre março e junho, a dinâmica erosiva teve uma linearidade ao que tange o ataque das ondas na base da falésia (figura 39). É interessante destacar que o ataque das ondas durante o mês de março concentrou-se na porção direita da malha de pinos, voltando a ser mais intensa e homogênea durante junho. As variações na porção não atacada pelas ondas durante o monitoramento de março e o mês de junho, foram na ordem de 4,6 centímetros. Entre junho e agosto os pinos localizados na face intermediária sofreram maior erosão, atingindo até 42 cm de exposição devido ao intenso solapamento da base e desmoronamento de blocos da falésia (figura 40)

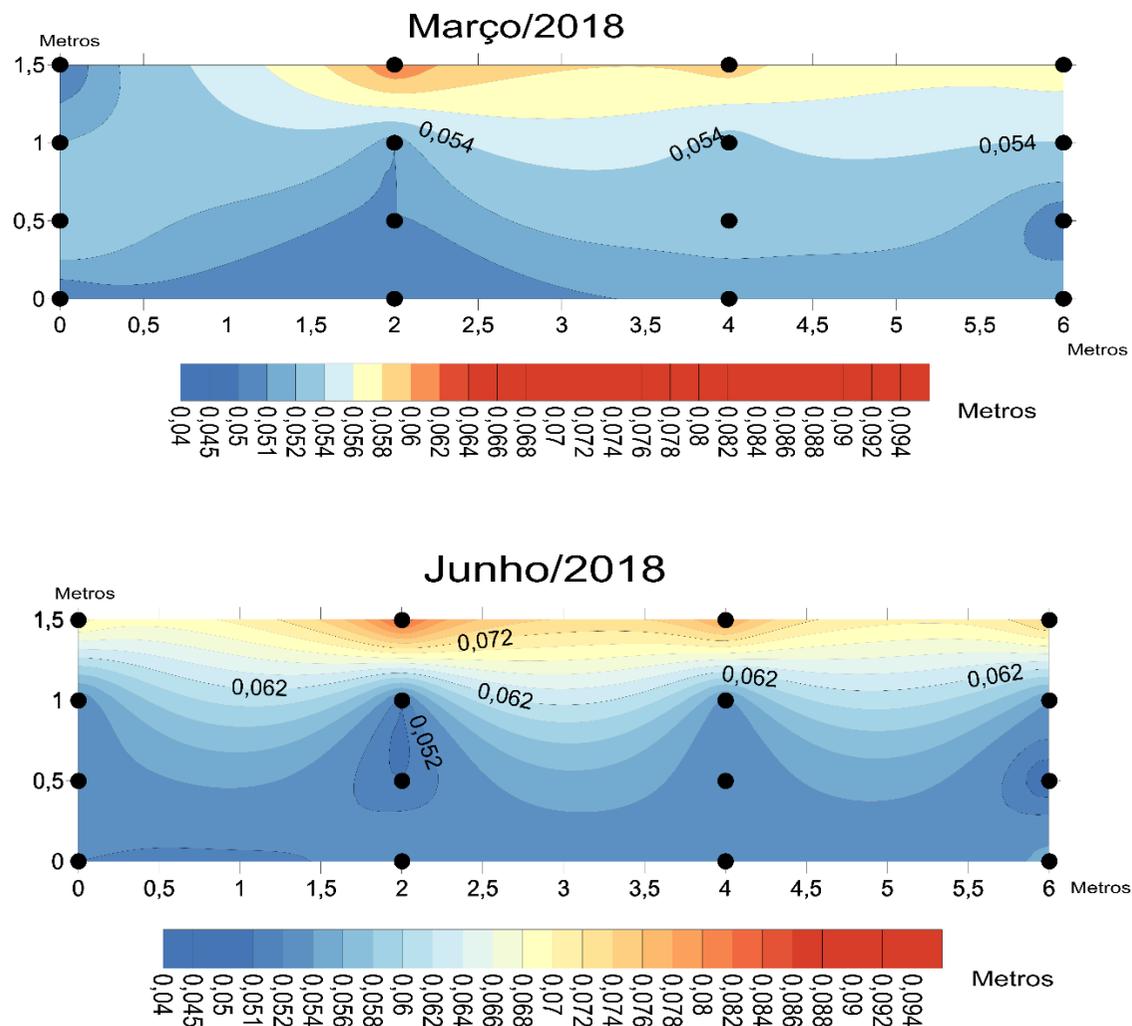
**Figura 33** - Erosão na falésia do Olho d'Água entre agosto/2017 e setembro/2017



**Figura 34** - Erosão na falésia do Olho d'Água entre Outubro/2017 e Janeiro/2018



**Figura 35** - Erosão na falésia do Olho d'Água entre março/2018 e junho/2018



**Figura 36** - Erosão na falésia do Olho d'Água entre junho/2018 e agosto/2018

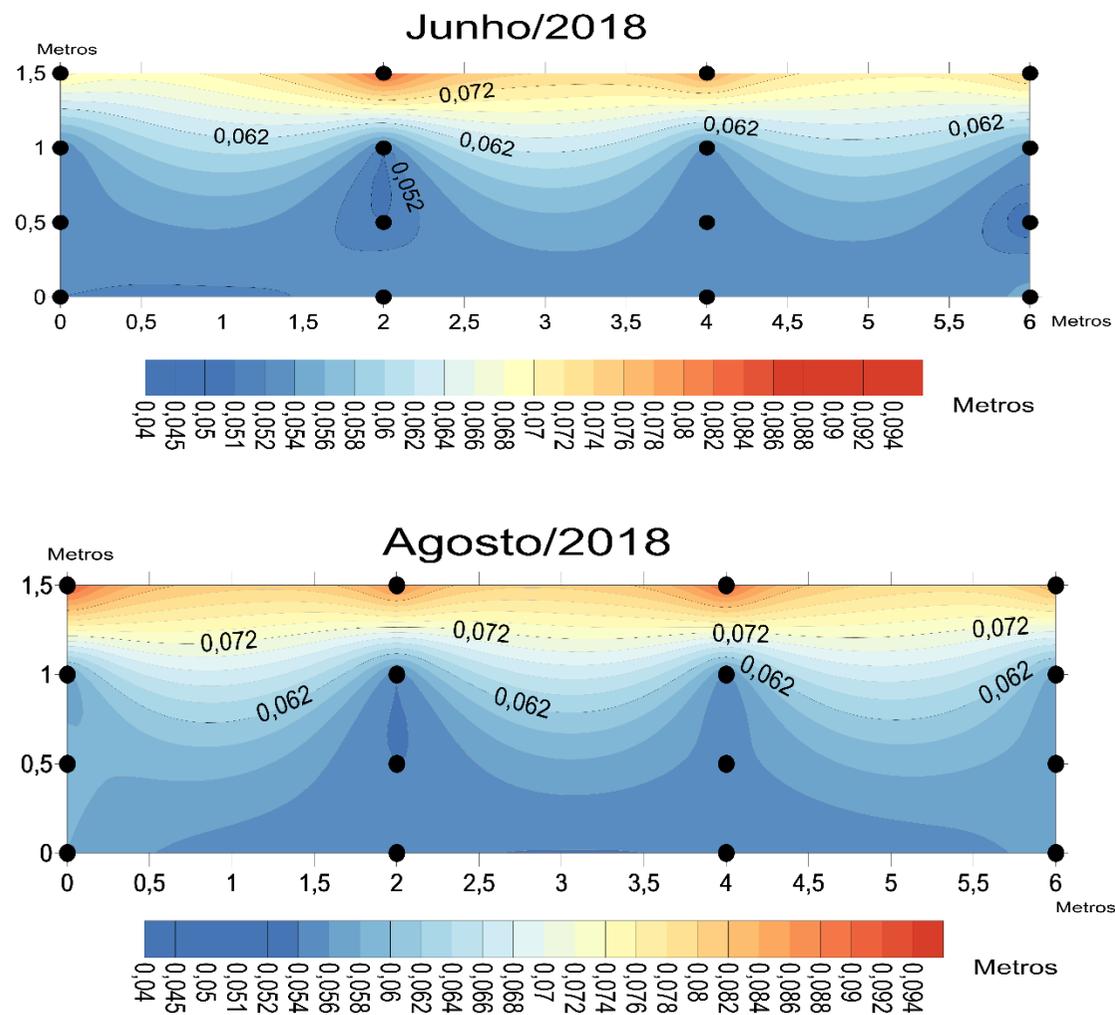


Figura 37 - Erosão na falésia de Panaquatira entre agosto/2017 e setembro/2017

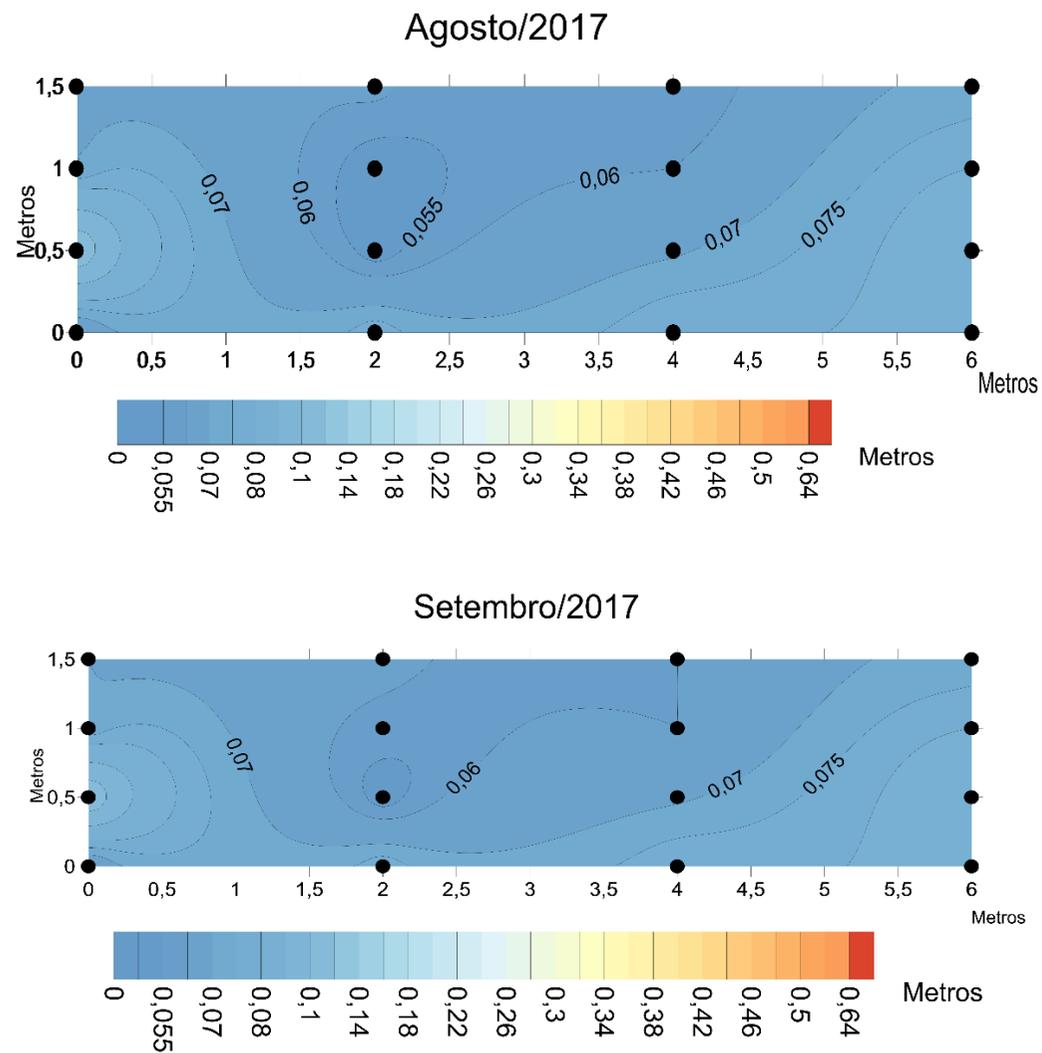


Figura 38 - Erosão na falésia de Panaquatira entre outubro/2017 e janeiro/2018

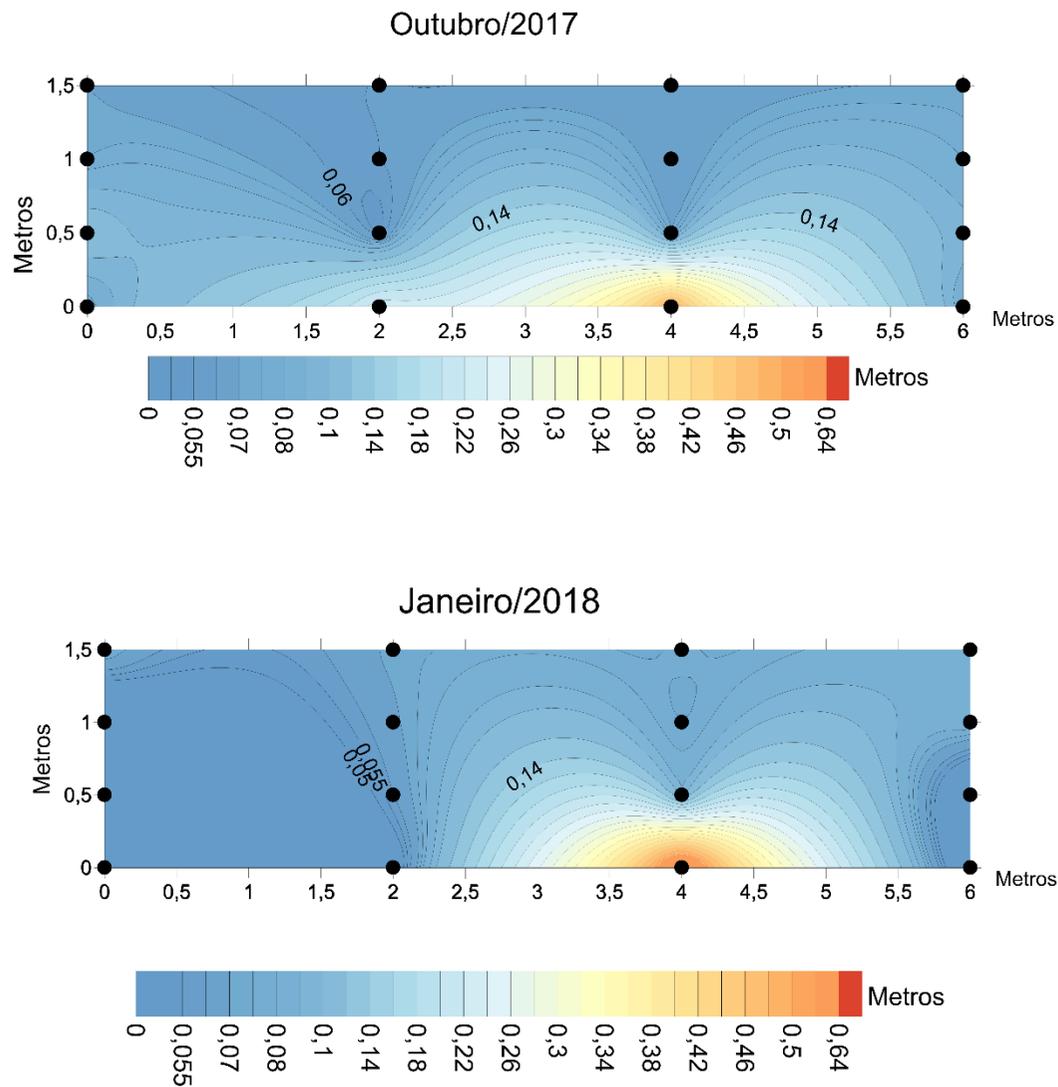


Figura 39 - Erosão na falésia de Panaquatira entre março/2018 e junho/2018

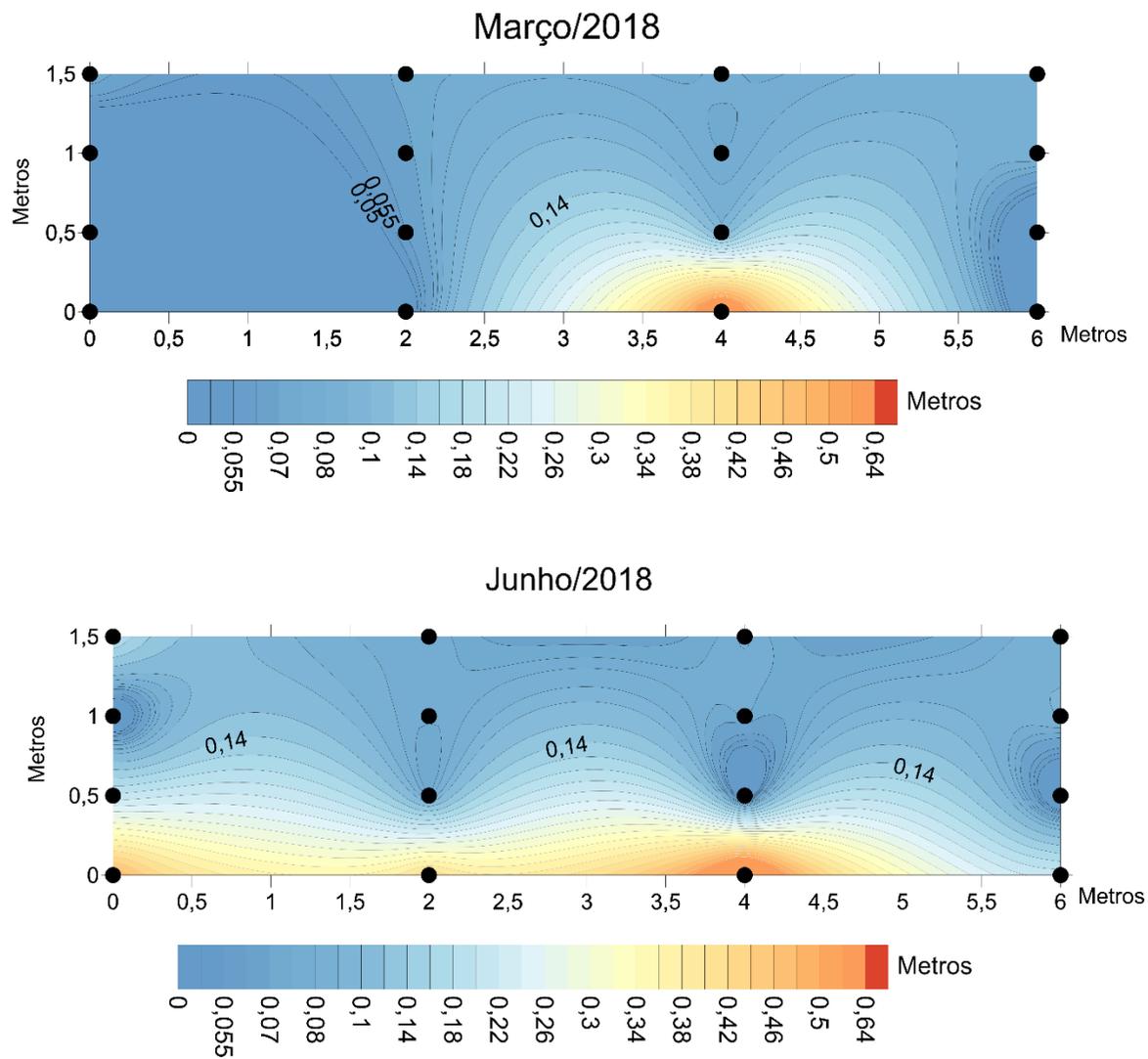
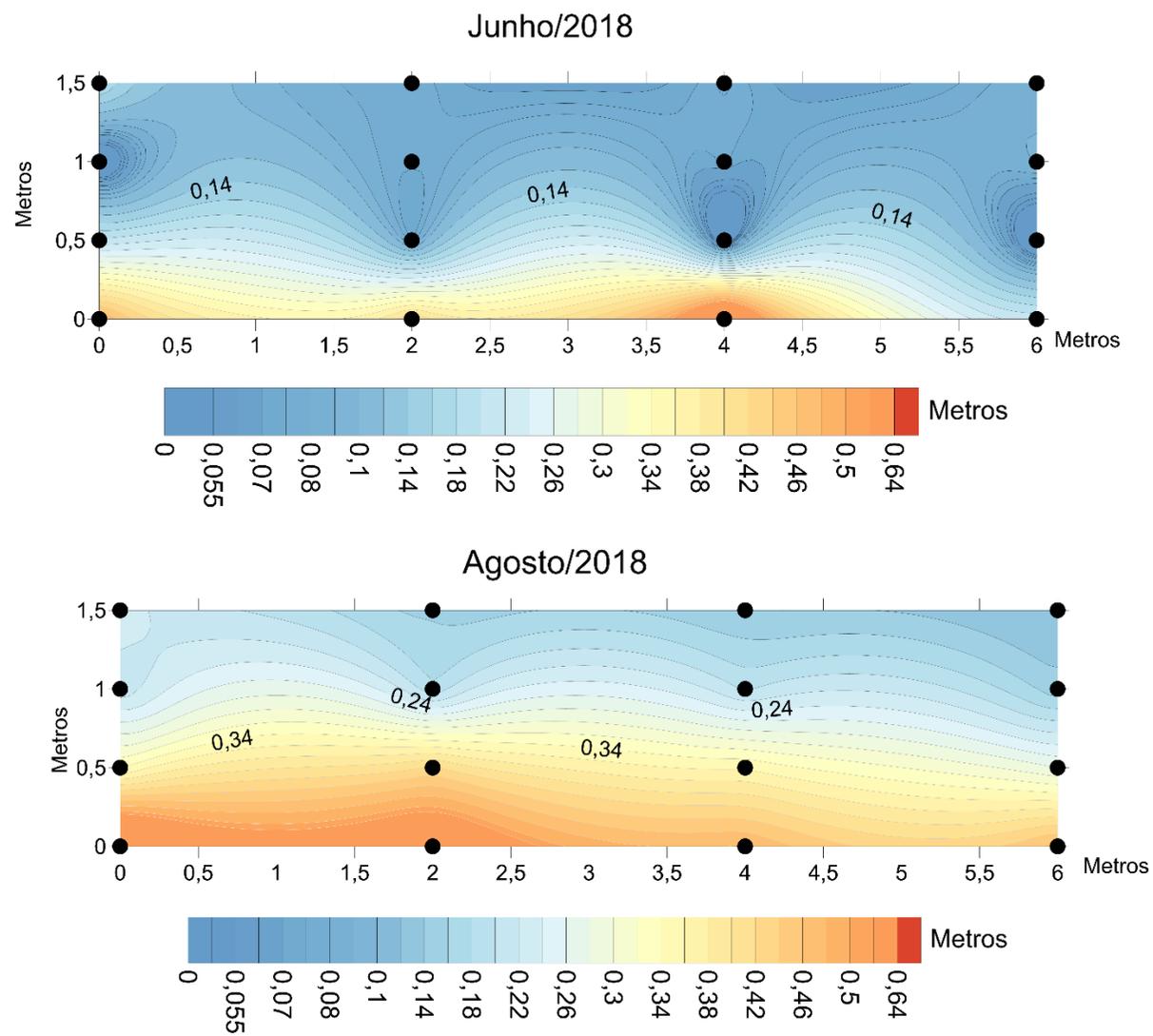


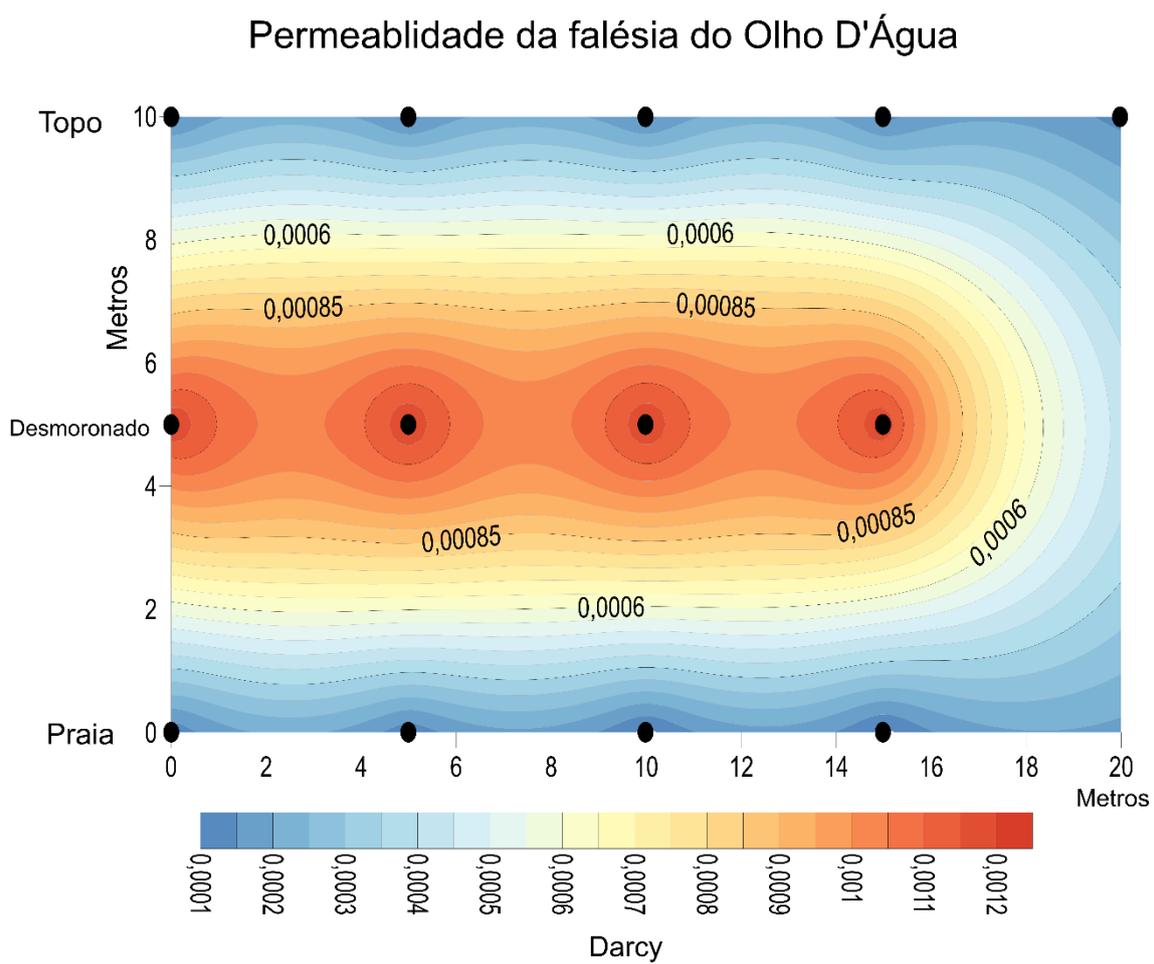
Figura 40 - Erosão na falésia de Panaquatira entre junho/2018 e agosto/2018

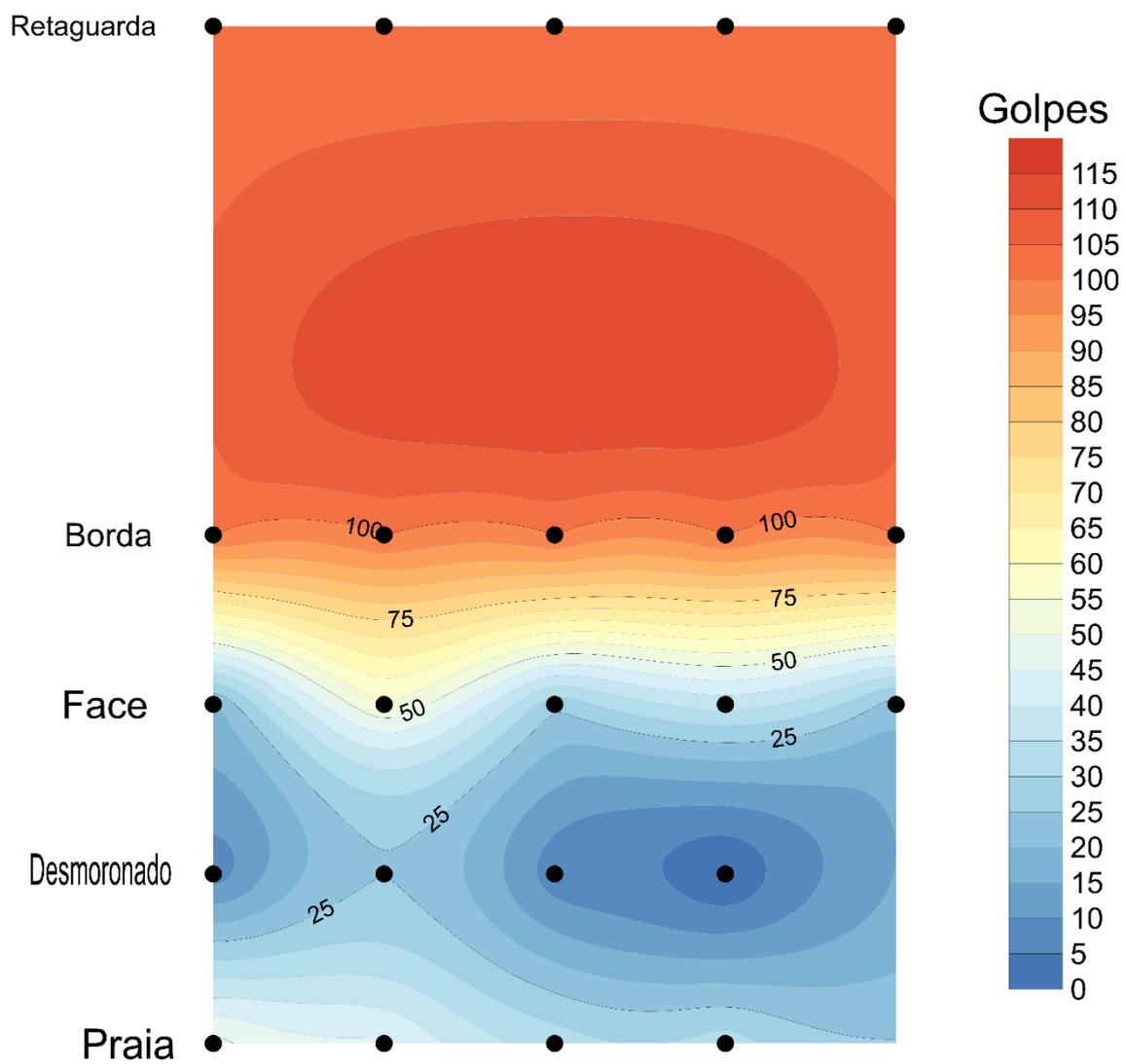


#### 7.4 COMPACTAÇÃO E PERMEABILIDADE

A compactação do solo é importante exerce diretamente influência a dinâmica erosiva nas falésias em questão. Com a excessiva compactação, a infiltração é dificultada originando assim, uma baixa permeabilidade nesse solo. No Olho d'Água, foram feitas tentativas de golpeando nas proximidades da borda e a retaguarda. Todas as tentativas demonstraram acentuada compactação após sucessivos golpes sendo os resultados desses tentos considerados ínfimos. Sendo assim, a água não infiltra na falésia não acelerando o processo de intemperismo pela percolação da água e conseqüentemente levando a dinâmica erosiva ao contato físico durante o *runoff*, chuvas e pela ação eólica. As áreas da falésia onde houve menor necessidade de golpes para a haste do penetrômetro atingir seu limite foram entre a praia e o desmoronado da falésia. Pode associar a esse fator, presença de laterita e sedimentos inconsolidados provenientes de desmoronamentos pretéritos. (figuras 41 e 42)

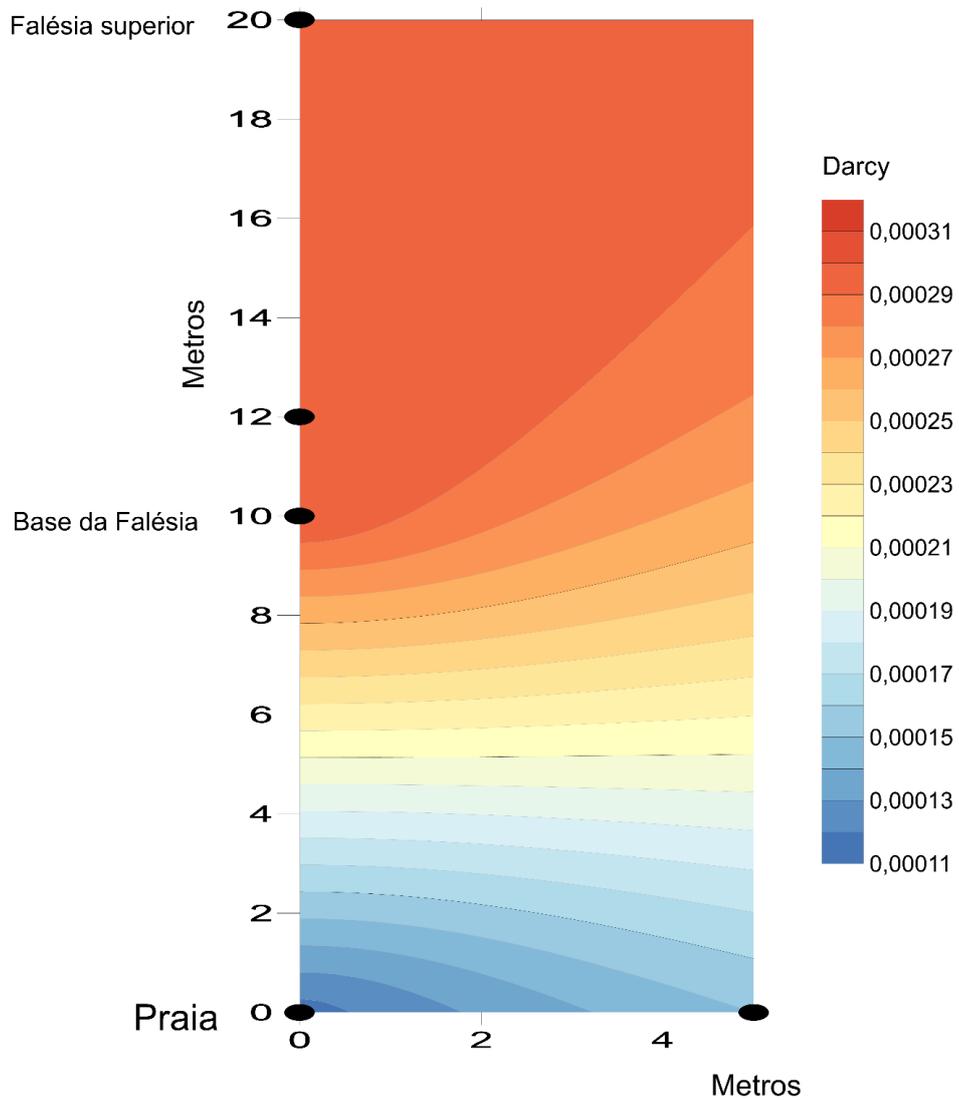
Em Panaquatira, a situação é parecida, porém a compactação do solo tem origem antrópica. No topo da falésia foi construído um assoalho de uma residência e assim, foi considerado o seu topo como impenetrável. Contudo, mesmo com seu topo impenetrável, foram realizados golpeamentos na base e em um bloco caído na face da falésia, sendo no bloco considerado um nível elevado de golpes (aproximadamente 55) tornando assim, praticamente impenetrável. Já na base da falésia, o número de golpes foi menor, mas devido a coesão do seu material, a permeabilidade foi dificultada. (figuras 43 e 44).

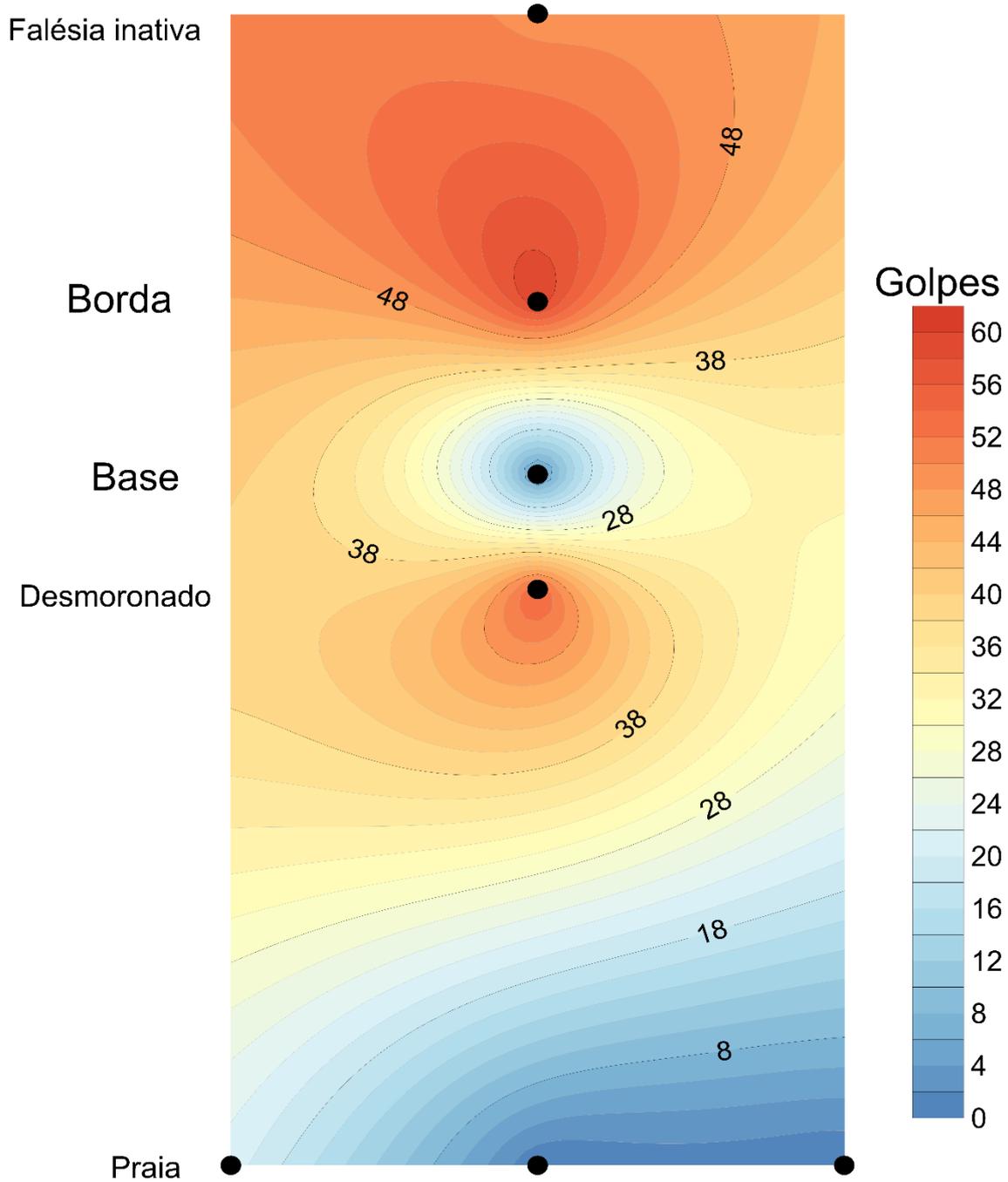
**Figura 41** - Permeabilidade na falésia do Olho d'Água

**Figura 42** - Compactação da falésia do Olho D'Água

**Figura 43** - Permeabilidade da falésia de Panaquatira

### Permeabilidade da falésia de Panaquatira



**Figura 44** - Compactação na falésia de Panaquatira

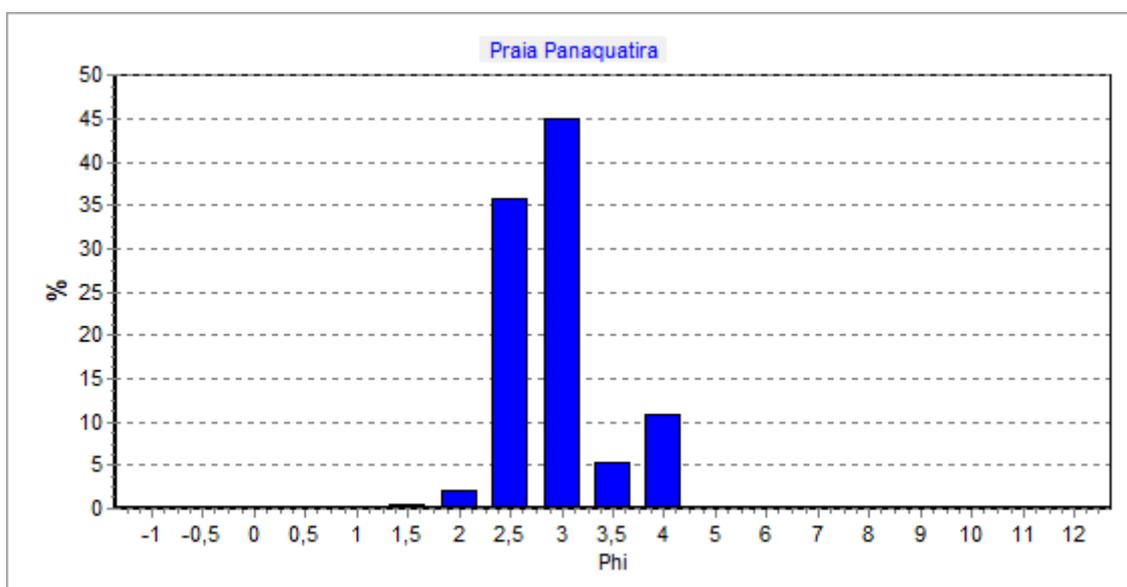
## 7.5 GRANULOMETRIA

### 7.5.1 Panaquatira

Os valores referentes as frações finas ou grossas dos sedimentos em estudos de caso de erosão mostram-se essenciais pois através delas o pesquisador consegue depreender se a composição sedimentar da área em questão tem maior ou menor facilidade em sofrer transporte. Diante dessa questão, as análises granulométricas realizadas, serviram de parâmetro para compreender a dinâmica erosiva das falésias estudadas.

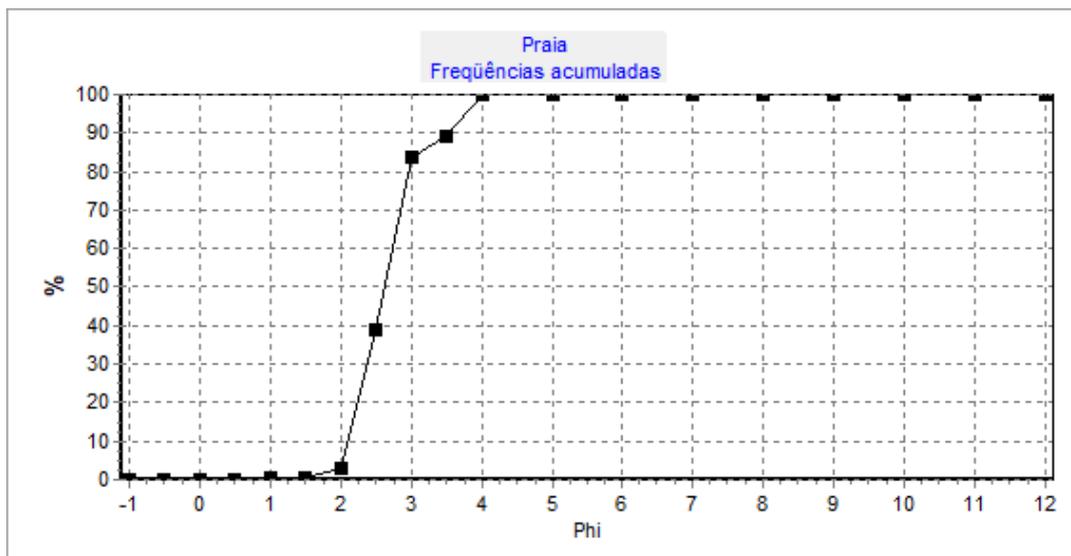
Portanto, em Panaquatira, os valores referentes a praia concentraram-se entre o  $\phi$  4 e 3 considerado areia muito fina (cerca de 60% da amostra) e intercalado com aproximadamente 40% de areia fina (figuras 45 e 46). Na base da falésia, os valores referentes a maior parte da amostra ficaram no intervalo de  $\phi$  8 a 4, sendo assim, mais de 40% da amostra em questão é silte, variando com frações de areia média (aproximadamente 15%), areia fina e uma pequena parcela de argila correspondendo ao restante da amostra (gráfico 18 e 19). Dado esses valores de granulometria, entende-se que a base da falésia deve sofrer um intenso processo erosivo decorrente da abrasão marinha e o tamanho referente as frações dos sedimentos.

**Figura 45** - Valores em Phi para amostra coletada na praia de Panaquatira



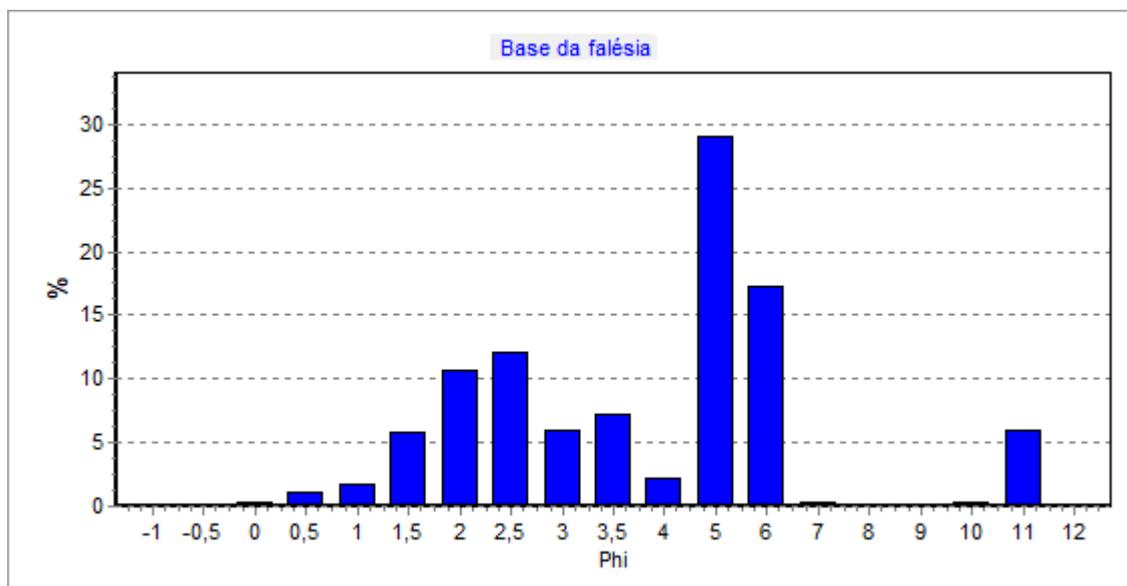
Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 46** - Frequência acumulada amostral da praia de Panaquatira



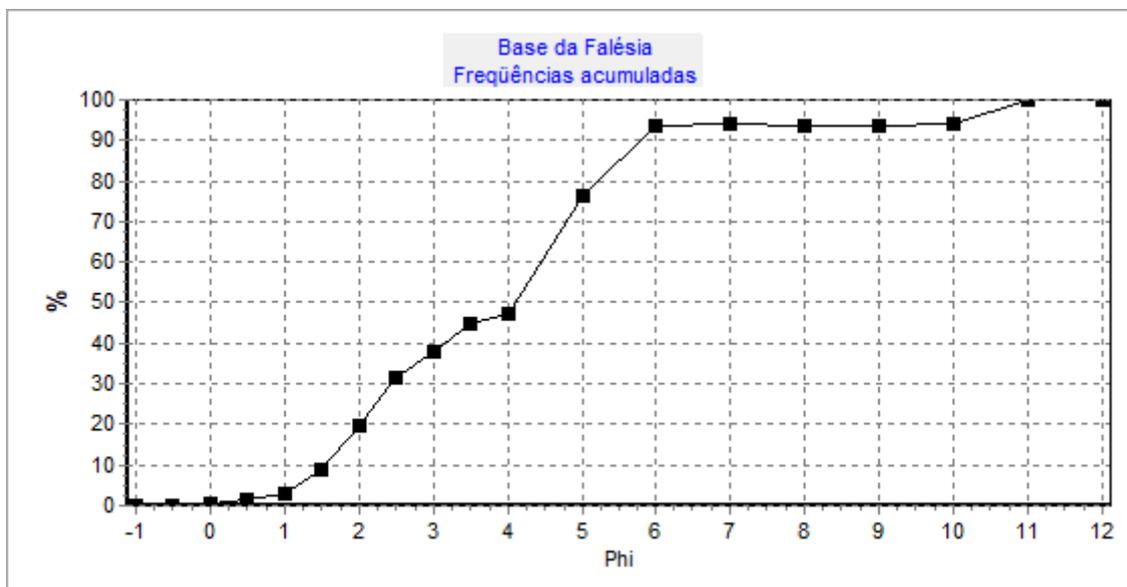
Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 47** - Valores em Phi para a amostra coletada na base da falésia de Panaquatira



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 48** - Frequência acumulada para amostra da base da falésia de Panaquatira

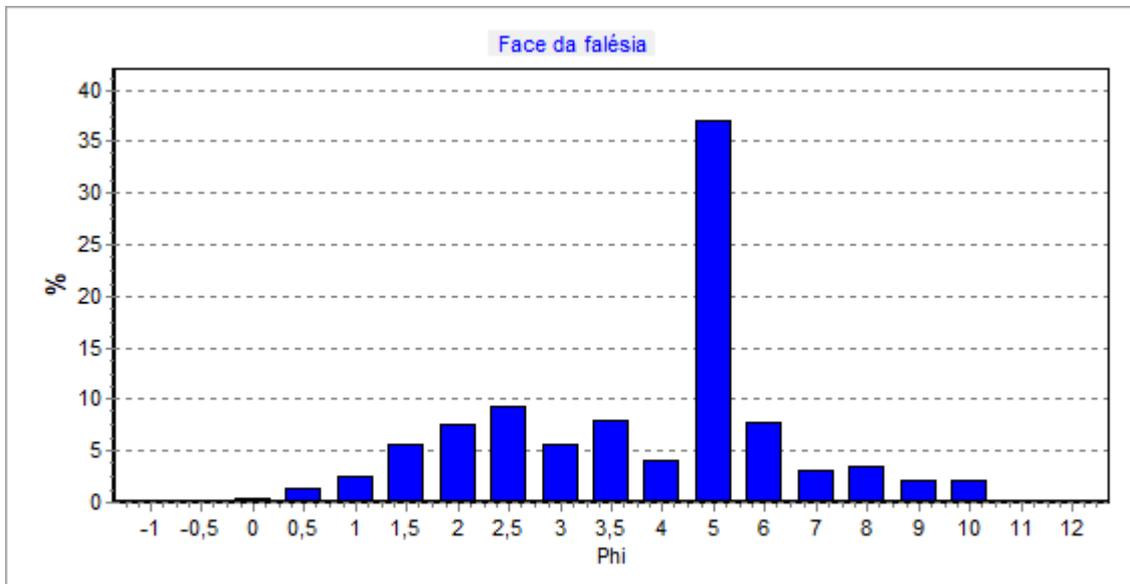


Fonte: Dados da pesquisa

Observando os gráficos de frequência (figura 48), nota-se a seleção de frações mais finas em detrimento as frações mais grosseiras.

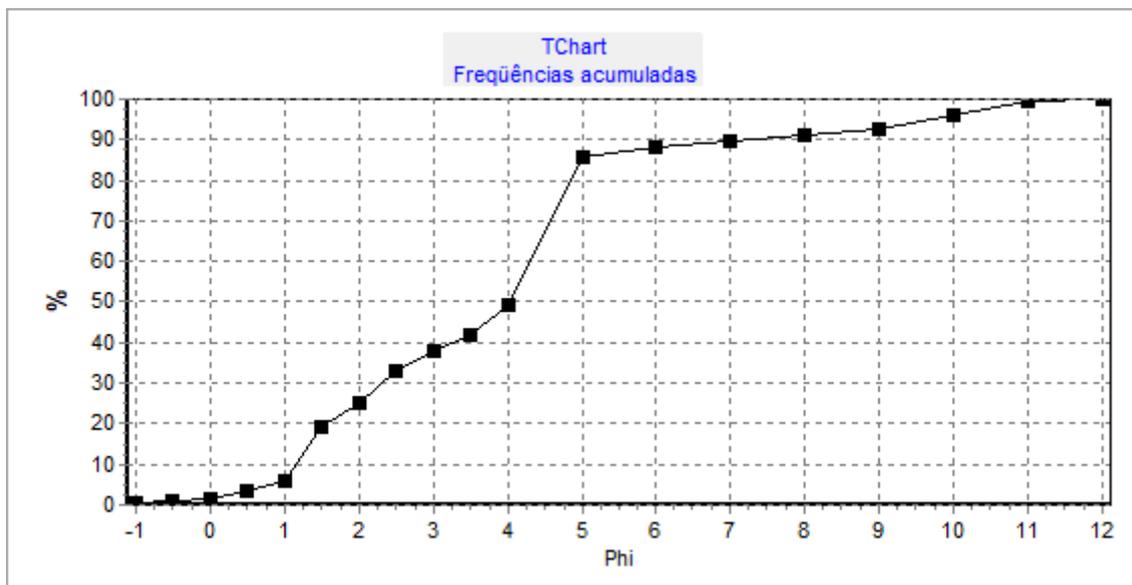
A face da falésia é composta por material silteoso e areias finas (figuras 49 e 50) explicitando a fragilidade da face da falésia frente ao ataque das ondas. A falésia superior que não está em contato direto com o poder abrasivo das ondas, revelou características granulométricas de areias médias, finas e silte. É interessante destacar que a maior fração foi referente ao intervalo entre  $\phi$  8 e 4 (areia muito fina) com aproximadamente 45% da amostra. (figura 51 e 52)

**Figura 49**-Valores em Phi para amostra coletada na face da falésia



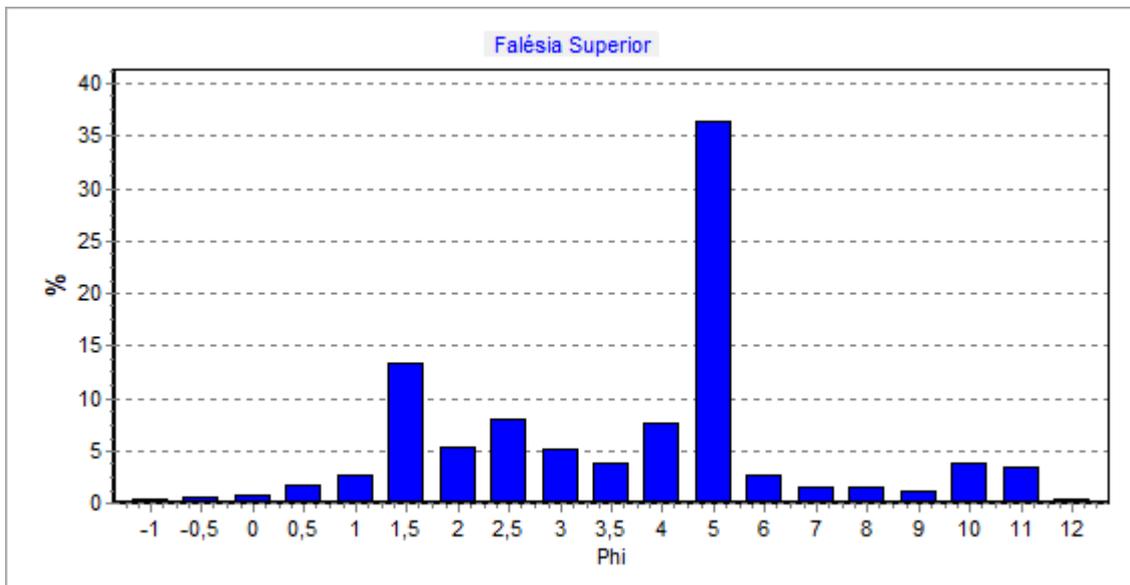
Fonte: Dados da Pesquisa

**Figura 50** - Frequência acumulada para a amostra da face da falésia de Panaquatira



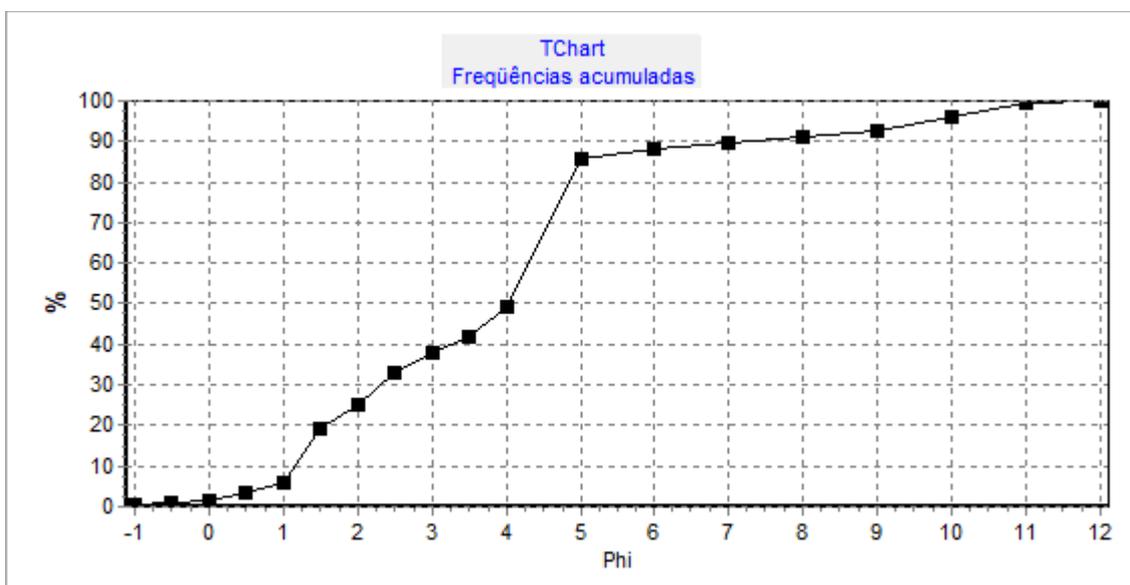
Fonte: Dados da Pesquisa

**Figura 51** - Valores em Phi para amostra da falésia superior em Panaquatira



Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 52** - Frequência acumulada para a amostra da falésia superior em Panaquatira

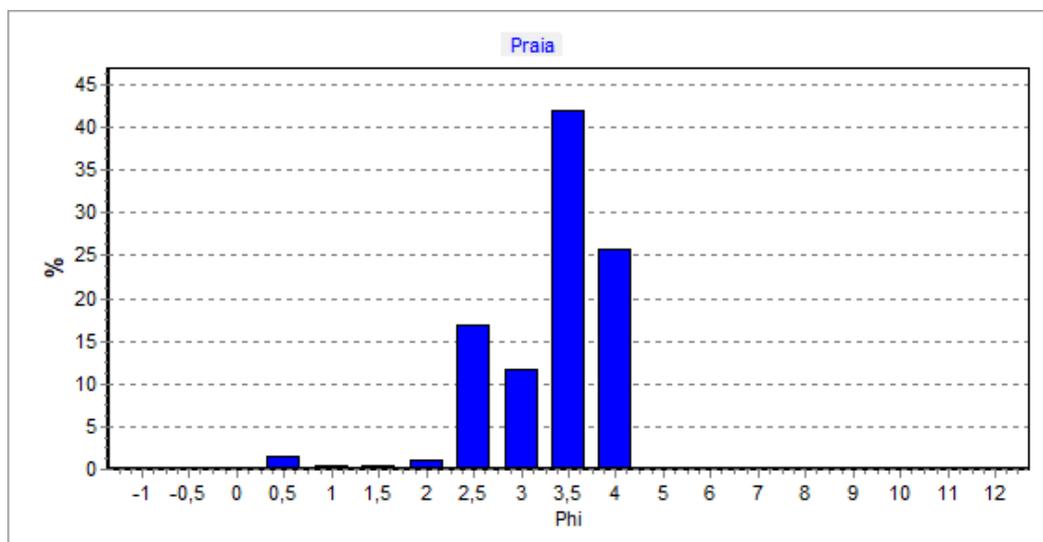


Fonte: Dados da pesquisa

### 7.5.2 Olho d'Água

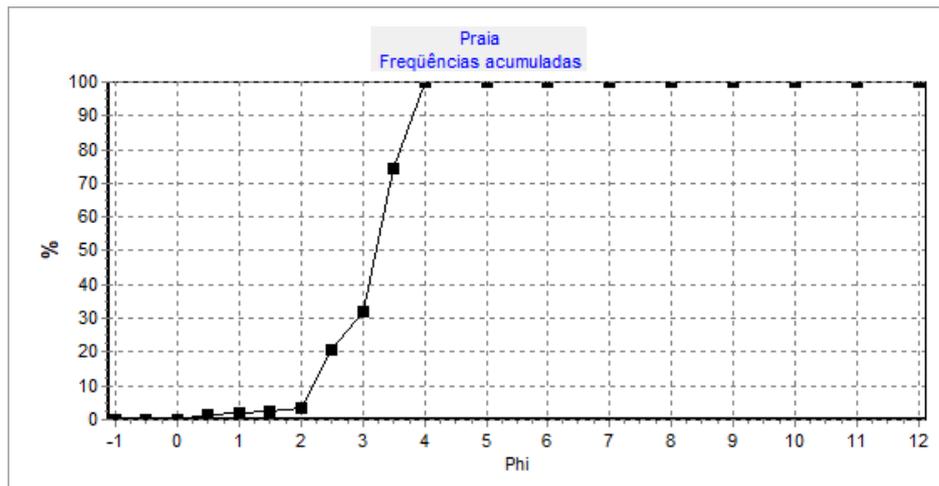
Como no Olho d'Água o monitoramento da dinâmica erosiva foi pautada nas ações do intemperismo, conhecer a granulometria do material da área de estudo foi fundamental para compreensão e posteriormente análise dos resultados. De maneira geral, as características granulométricas da praia em comparação com Panaquatira pouco mudaram, devido as características gerais de praias dissipativas e pela presença de cursos fluviais nas proximidades. A classificação do material da praia em questão em sua maior parte foi de areia fina e muito fina (figuras 53 e 54). É interessante destacar as características dominantes no gráfico de frequência acumulada (figura 54), a disparidade dos sedimentos entre os  $\phi$  3 e 4 (areia muito fina) em relação aos  $\phi$  correspondentes as frações mais grosseiras.

**Figura 53** - Valores em Phi para a amostra da praia no Olho d'Água



Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 54** - Frequência acumulada para a amostra da praia no Olho d'Água

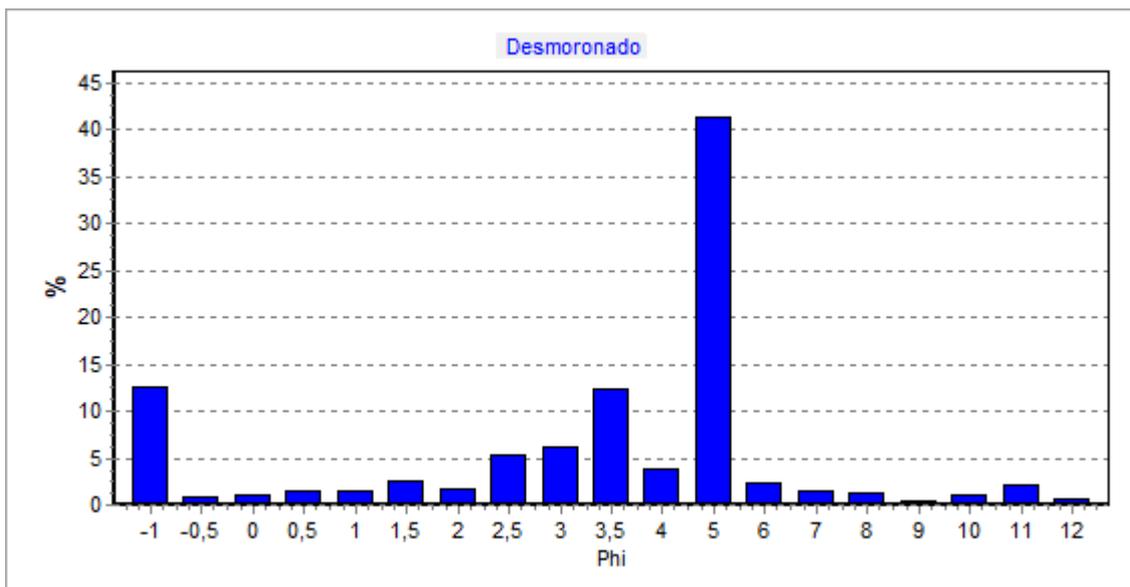


Fonte: Dados da pesquisa

No desmoronado da falésia, houve predomínio de material fino como silte (aproximadamente 40%), areia muito fina e areia fina. Contudo, um pouco mais de 10% da amostra variou entre areia grossa e areia média (figuras 55 e 56). Observa-se no gráfico de frequência acumulada, a curva de concentração de material fino entre o  $\phi$  4 e 5 (silte). Outra questão acerca do desmoronado foi a presença de nódulos lateríticos, oriundos de deslizamentos pretéritos e que de certo modo, servem como proteção ao ataque das ondas frente a base da falésia. Todavia, esse não é o objetivo desse tópico.

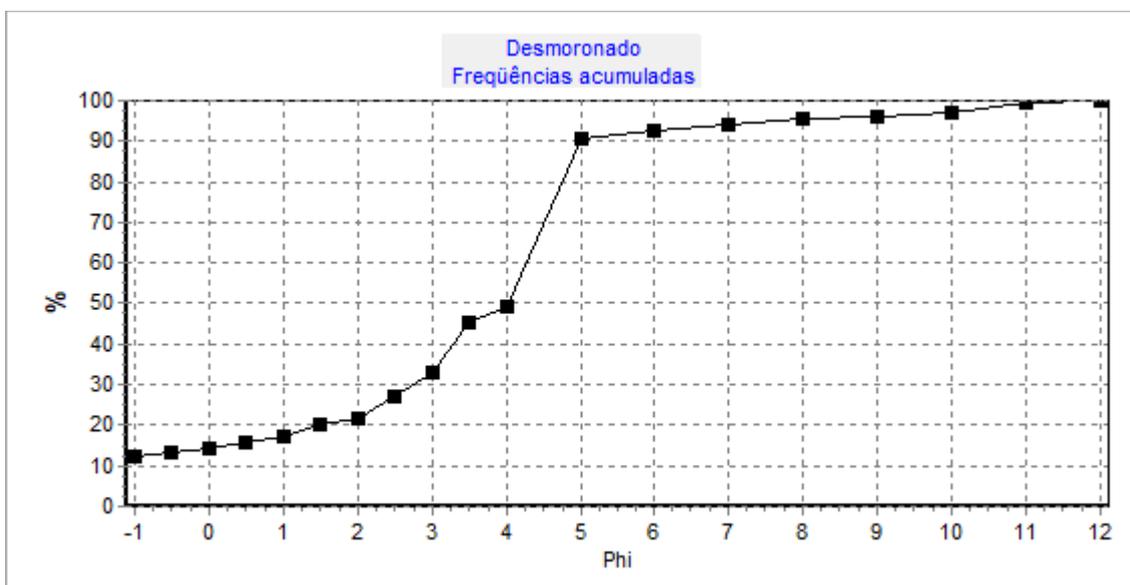
Na face da falésia os ensaios granulométricos revelaram a composição predominante de silte, intercalada com areia muito fina e fina. Esses materiais são mais suscetíveis a erosão eólica e pluvial devido a sua facilidade de serem destacados e conseqüentemente transportados. É interessante destacar que a maiores frações dessa amostra foram de silte (aproximadamente 50%) e areia muito fina (aproximadamente 40%) como mostra as figuras 57 e 58.

**Figura 55** - Valores em Phi para amostra do desmoronado da falésia do Olho d'Água



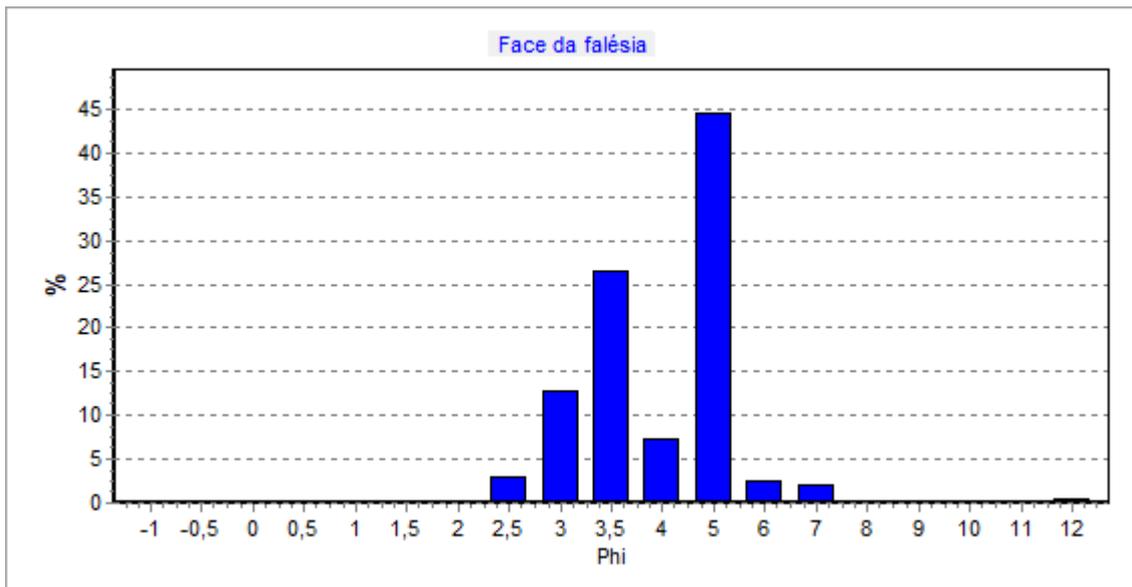
Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 56** - Frequência acumulada para a amostra do desmoronado da falésia do Olho d'Água



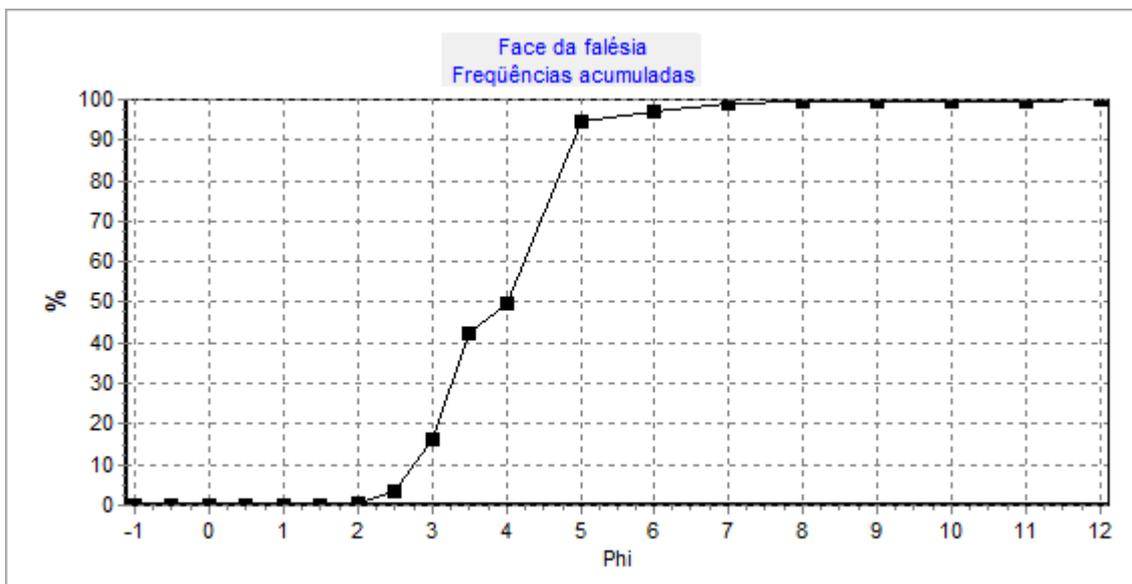
Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 57** - Valores em Phi para amostra da face da falésia do Olho d'Água



Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 58** - Freqüência acumulada para a face da falésia do Olho d'Água.

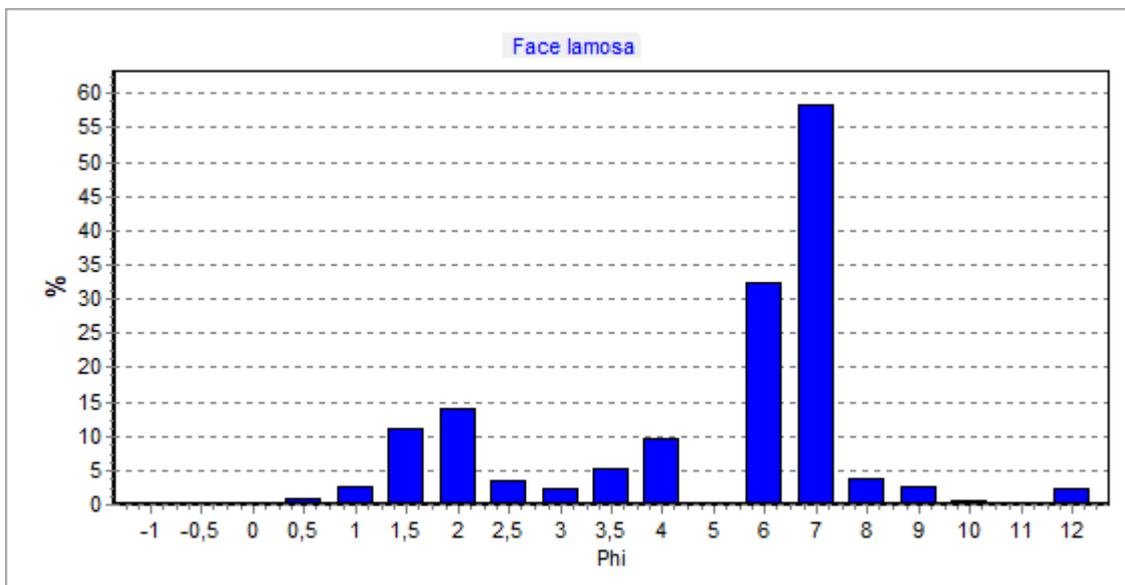


Fonte: Dados da pesquisa

A face lamosa da falésia obteve resultados granulométricos em sua maior parte de material rico em silte e areia fina. Contudo, houve uma pequena fração girando em torno de areia média e argila como aponta a figura 59. Esse material argiloso por possuir maior poder de coesão, pode ter relação direta com o *runoff*, pois a coesão dos sedimentos dificulta o seu destaque por agentes erosivos e posteriormente o seu

transporte. Isso indica a razão dos pinos na porção inferior da malha sofrerem menos erosão durante o período monitorado.

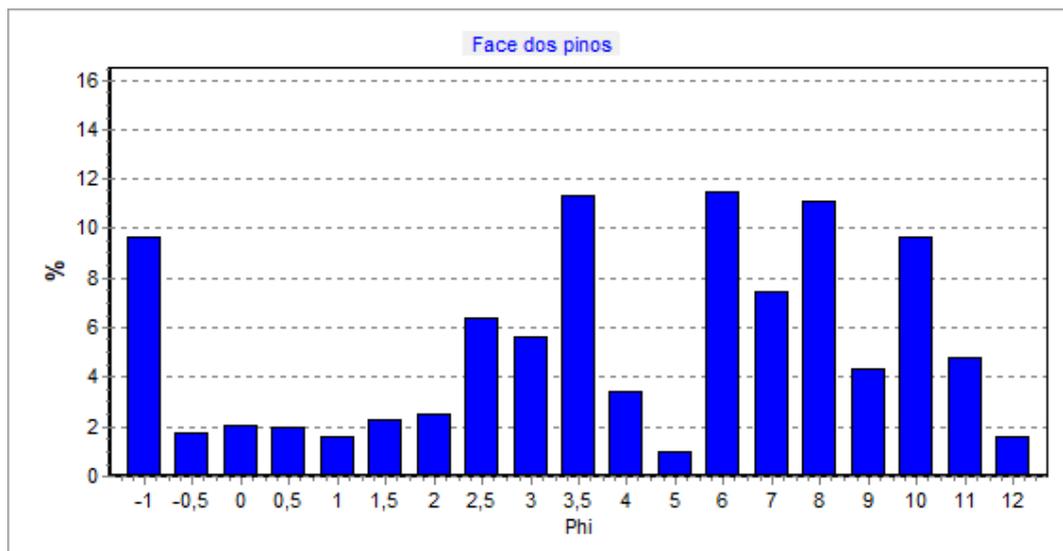
**Figura 59** - Valores em Phi para a face lamosa da falésia do Olho d'Água



Fonte: Dados da pesquisa

A face onde foi instalado os pinos se mostrou mais heterogênea se comparada com as outras partes da falésia analisadas anteriormente. Nesse setor específico da falésia, 9% aproximadamente foi de areia muito grossa, 5% de areia grossa, aproximadamente 5,5% de areia média e um pouco mais de 10% para areia fina. Contudo, os maiores percentuais nessa amostra foram de sedimentos mais finos como areia muito fina, silte e argila, como demonstra a figura 60. Na porção superior da malha de pinos, o poder de erosão por parte da ação hidráulica devido a maior parte das frações de sedimentos serem compostos de material fino ou muito fino.

**Figura 60** - Valores em Phi para a face dos pinos da falésia do Olho d'Água



Fonte: Dados da pesquisa

## 7.6 PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO, CÓDIGO FLORESTAL E A OCUPAÇÃO DE ÁREAS COSTEIRAS

O PNGC foi um marco fundamental para o planejamento e ordenamento territorial **das** zonas costeiras. Esses ambientes possuem uma complexidade elevada associada a uma fragilidade **dos** seus ecossistemas que necessitam de um cuidado maior por parte do poder público. Em 21 de novembro de 1990 a resolução da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM) decidiu aprovar o PNGC através da lei 7.661/88. “De acordo com tal lei, é considerado zona costeira o espaço geográfico de interação do ar, mar e terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, e abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, a serem definidas neste Plano”. (BRASIL, 1988)

Sendo assim, o plano ainda destaca que na zona costeira é onde está instalada a maior parte da população brasileira, enfatizando as capitais e o crescente risco em relação a expansão territorial urbana e seus futuros impactos na zona costeira. Essa expansão é uma preocupação devido a atividade turística que potencializa os fluxos humanos em direção as áreas costeiras, colocando em xeque a preservação dos ecossistemas ali presentes. “Torna-se, assim, imprescindível que, na esfera político-administrativa da jurisdição federal, sejam estabelecidos critérios e normas de ordem legal, que contribuam para o ordenamento do espaço costeiro, a utilização de seus recursos e a racionalização das atividades socioeconômicas ou culturais desenvolvidas dentro de seus limites.” (BRASIL, 1988)

O objetivo maior no PNGC é orientar acerca da utilização dos recursos de forma racional na zona costeira (ZC) para que assim, haja melhorias na qualidade de vida da população e conseqüentemente a sociedade consiga proteger seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural. (BRASIL, 1988). Contudo, o PNGC traz diretrizes, competências, instrumentos, objetivos, conceitos e princípios para o ordenamento da zona costeira, porém no caso específico das falésias, o Código Florestal brasileiro é que disciplina a ocupação dessas áreas.

De acordo com o artigo 4º que trata sobre a delimitação das áreas de preservação permanente em zonas rurais ou urbanas, o parágrafo VIII explicita que são consideradas áreas de proteção permanente “as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais” (BRASIL, 2012). Sendo assim, a ocupação de tabuleiros costeiros (falésias) distando 100m de sua borda é proibida segundo a lei vigente (Código Florestal). Contudo, observa-se nos últimos anos o interesse em ocupar as áreas costeiras principalmente por causa do alto poder especulativo do mercado imobiliário. As “segundas residências” termo utilizado por Moraes (2007) são as moradias de veraneio sendo um expressivo fator de urbanização da zona costeira, contribuindo para o adensamento populacional na área, aumento do valor de interesse aos terrenos próximos a orla e ocasionando assim um acréscimo agressivo da especulação imobiliária ao longo dos anos agravando problemas ambientais, principalmente ao que se refere a erosão costeira, visto que, a urbanização das áreas próximas a zona costeira contribuirá para a modificação dos aspectos morfodinâmicos e conseqüentemente ocasionarão impactos posteriores.

Nas falésias de Panaquatira a urbanização foi intensificada ao longo dos anos como constatado na comparação das imagens de 2006 e 2016 (Figuras 61 e 62 respectivamente). Contudo, em Panaquatira a urbanização foi mais intensa, nesta década, devido aos preços mais acessíveis dos terrenos, assim como pela abertura de novos loteamentos na planície e no tabuleiro costeiro.

Algumas outras falésias como a existente no limite da praia da Ponta D'areia com São Marcos, possuem ocupações “irregulares” do ponto de vista jurídico por ser uma área muito valorizada pelo mercado imobiliário com um dos m<sup>2</sup> mais caros da cidade. Sendo assim, a ocupação dessa área ao longo dos anos ocorreu de forma mais intensa. (figuras 63 e 64). Contudo, essa falésia não foi monitorada durante a pesquisa devido a criminalidade da área, onde o índice de assaltos é considerado elevado.

Quando comparado a imagem de 2006 em relação a de 2016 (Figuras 61 e 62), percebe-se que existe no local analisado uma incongruência de uso, uma vez que não foi respeitado os 100m da borda do tabuleiro, com a implantação de algumas edificações, bem como pelo loteamento recentemente implantado na área. Tal situação termina sendo preocupante, uma vez que, de acordo com a inspeção visual e relato de moradores a área é susceptível a frequentes movimentos de massa, devido processos subaéreos e oceanográficos. Assim este tipo de ocupação deve ser cuidadosamente avaliado pelo poder público antes do licenciamento destas áreas. A ocupação na falésia do Olho d'Água não é intensa devido a área ser uma propriedade privada cercada e vigiada, mas é interessante ressaltar que houve ocupação no passado e que os imóveis foram abandonados devido a iminência de desabamento por estarem localizados próximos a borda da falésia ativa como destaca a figura 65.

Figura 61 - Ocupação da falésia de Panaquatira em 2006.

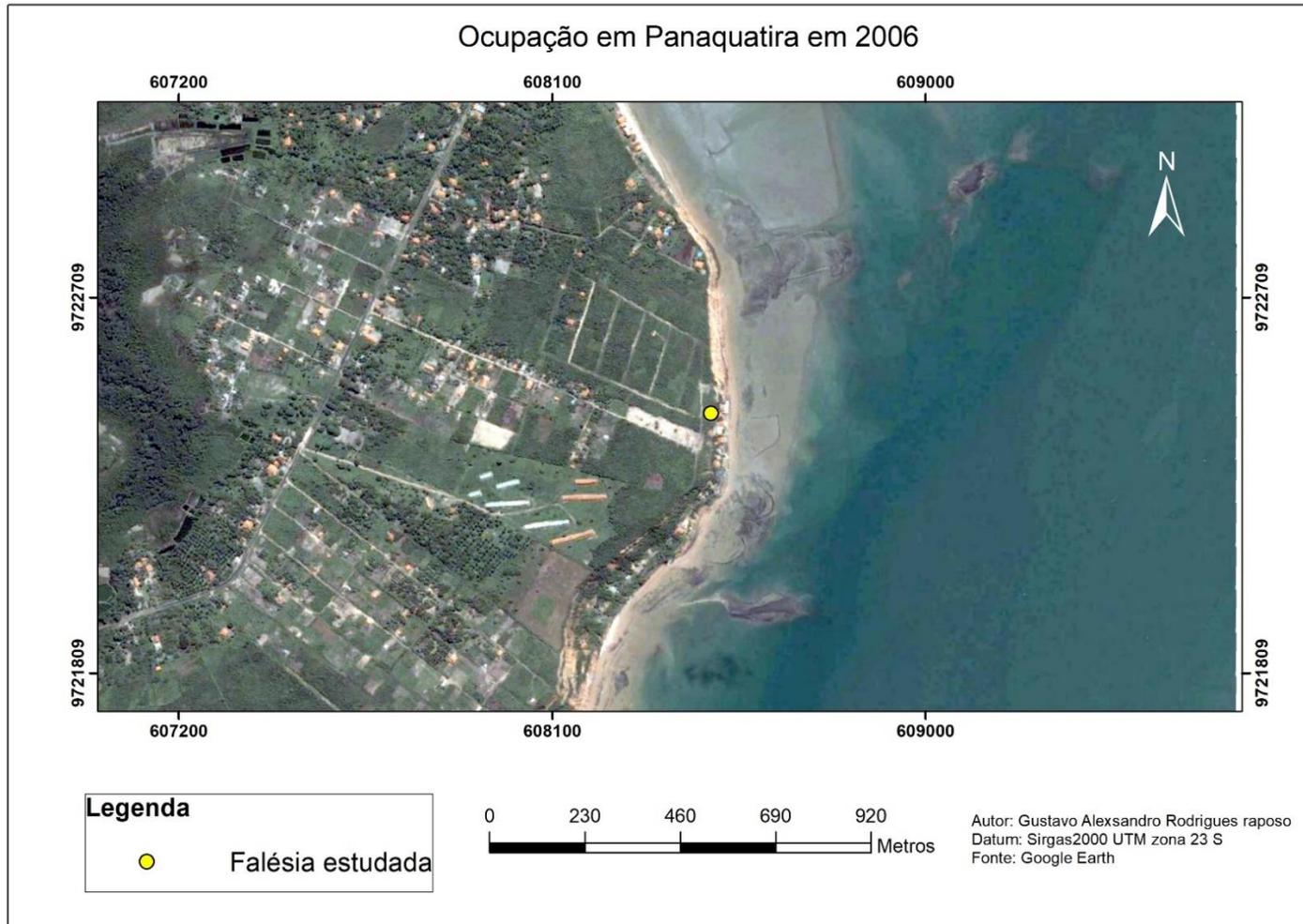
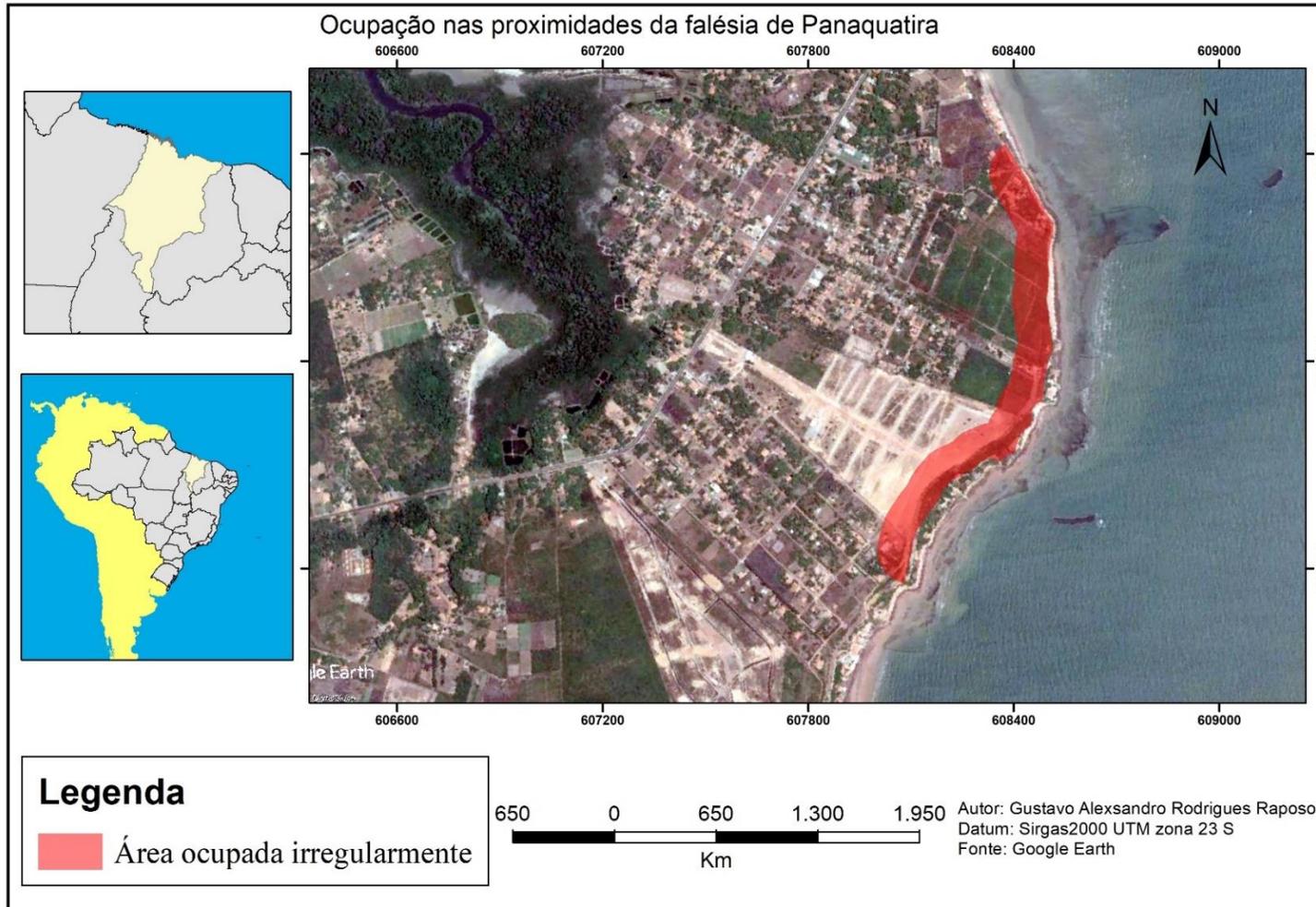
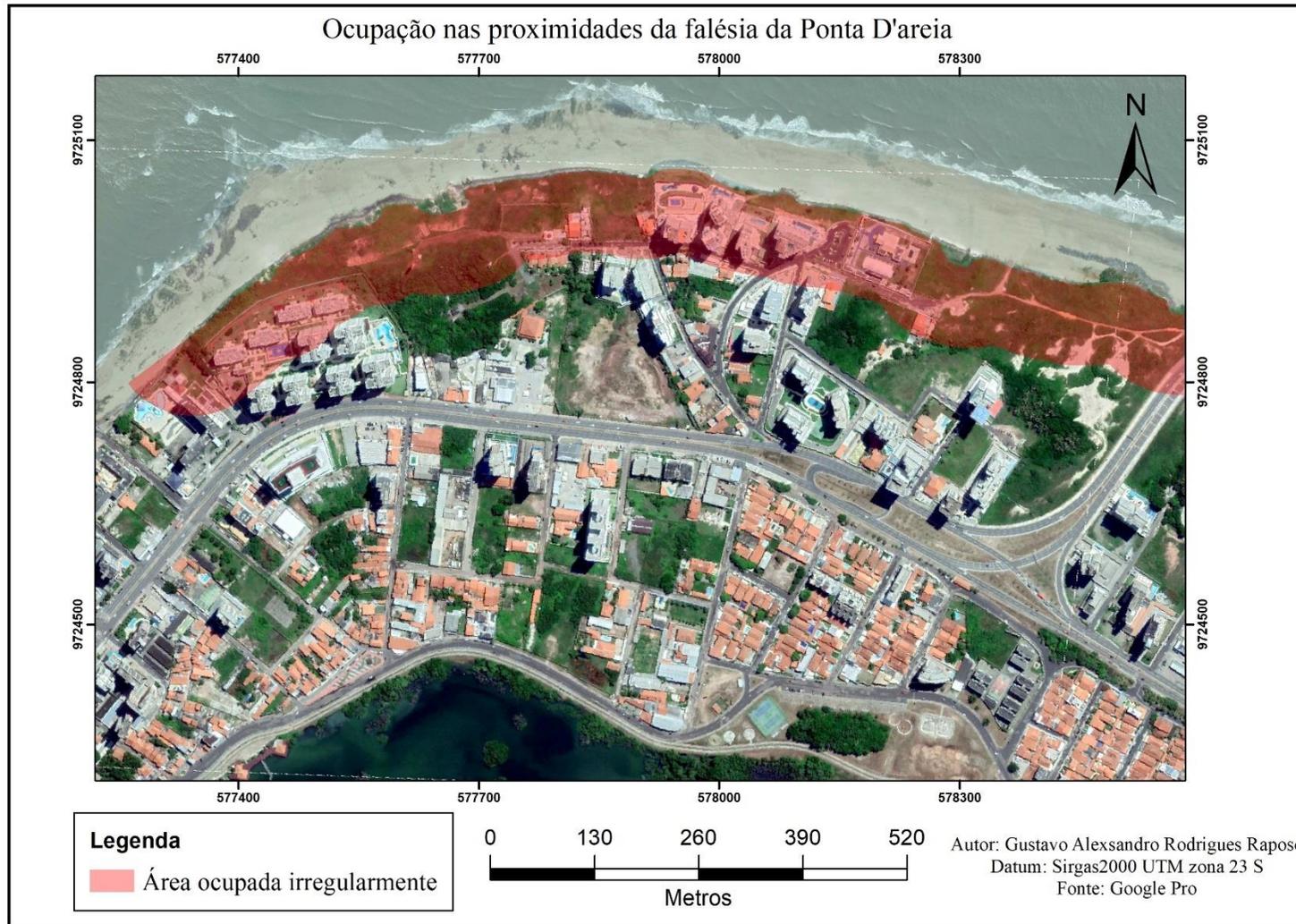


Figura 62 - Ocupação na falésia de Panaquatira em 2016.



**Figura 63** - Ocupação na falésia da Ponta d'Areia.



**Figura 64** - Ocupação na ponta D'areia e São Marcos

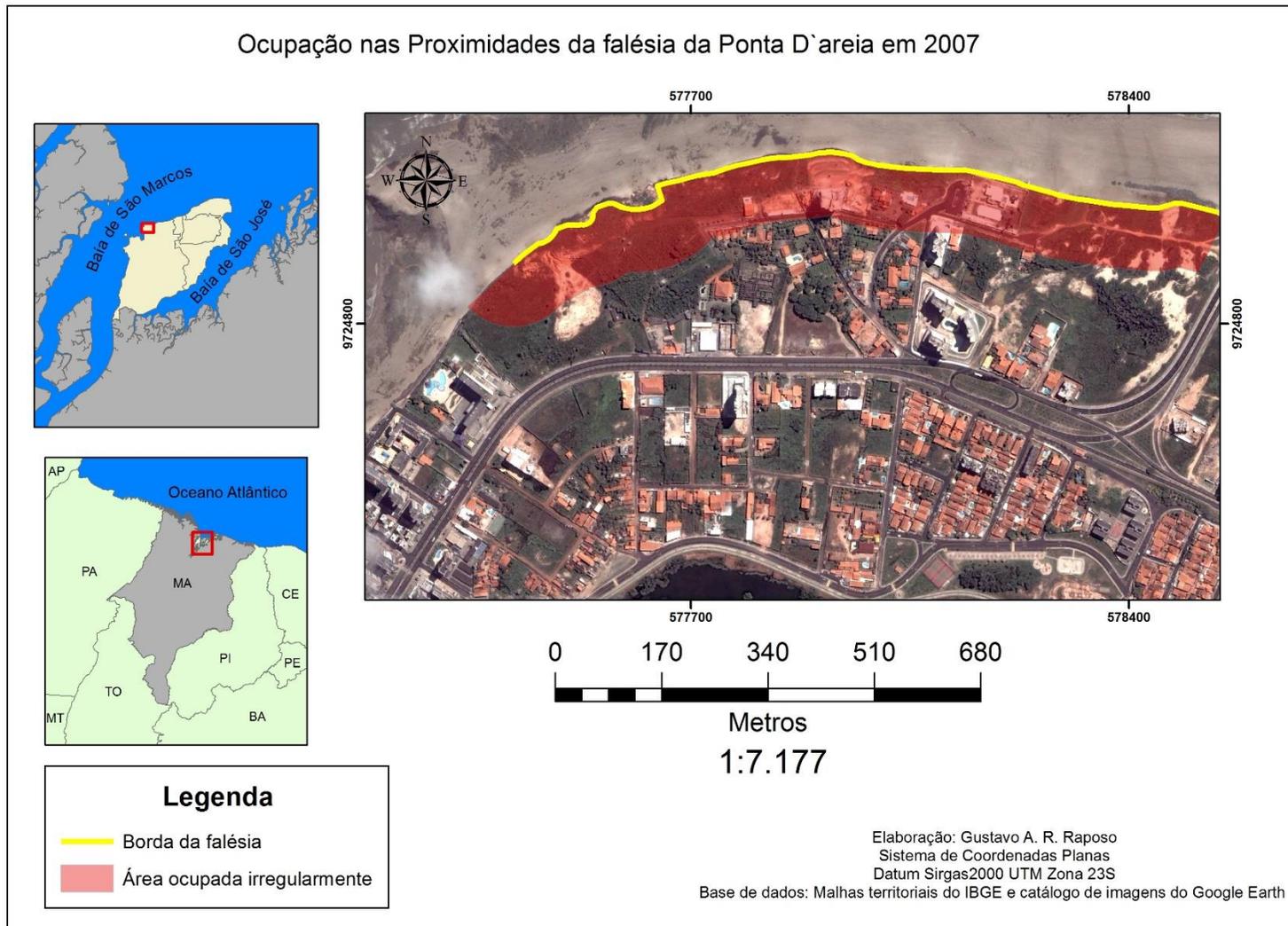
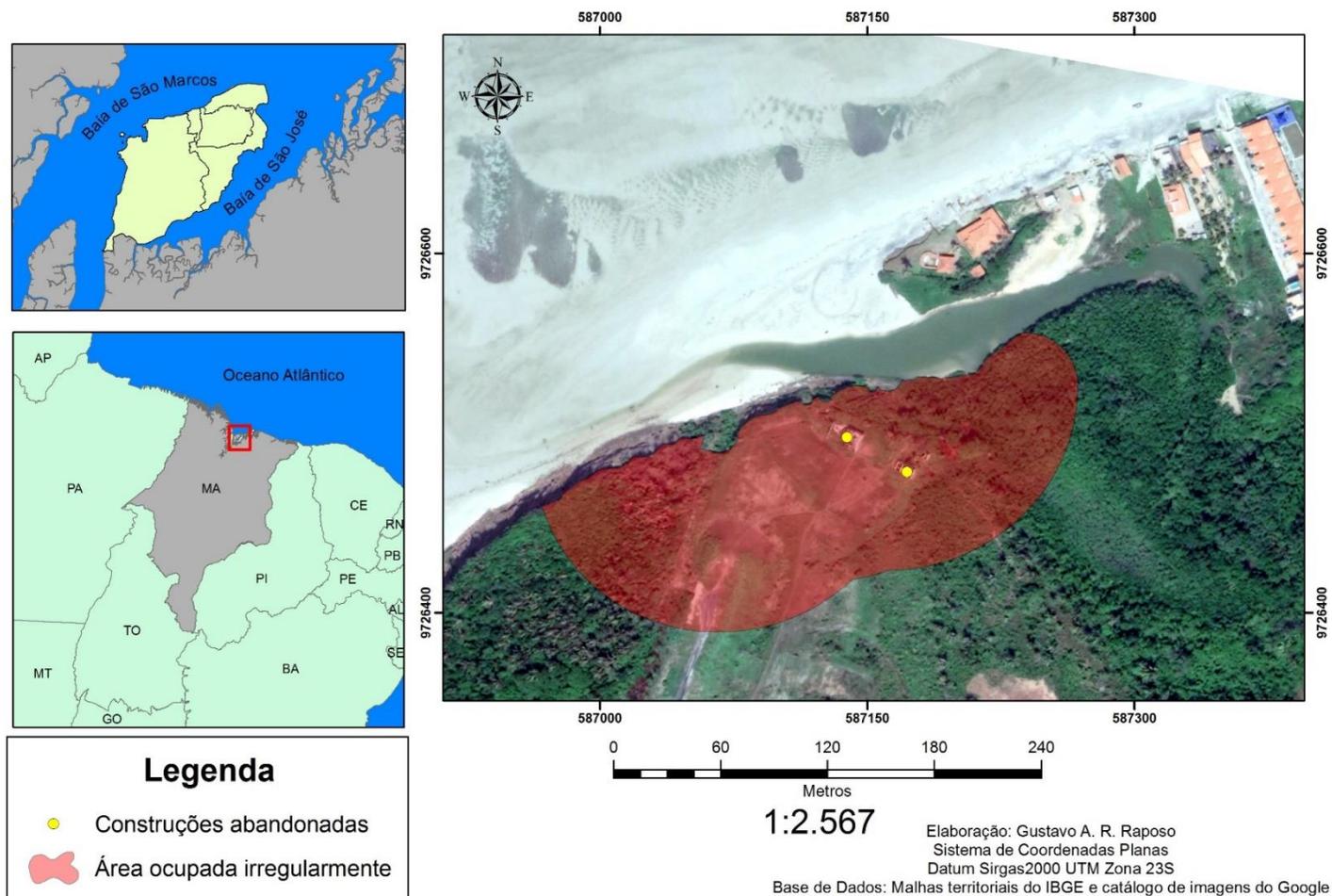


Figura 65 - Ocupação na falésia do Olho D'Água em 2018



## 8. CONCLUSÕES

Em Panaquatira o poder abrasivo das ondas exerceu importante papel no desenvolvimento do processo erosivo na falésia. Comparando com a falésia do Olho d'Água, a erosão em Panaquatira foi mais acentuada. Contudo, não foi possível comparar a intensidade da erosão entre as duas falésias devido a dinâmica em cada uma ser diferente. Todavia, é interessante destacar que ambas estão em processo de erosão, mas evidenciando que o ataque pelas ondas tem um poder de destaque de sedimentos maior do que a erosão hídrica ocasionada pelo *runoff*.

Através dos pinos instalados nas falésias, constatou-se que o período de maior incidência erosiva no Olho d'Água aconteceu entre Janeiro e Junho de 2018, devido aos maiores índices pluviométricos. Entre julho e dezembro a erosão mantém-se praticamente estagnada pois mesmo os ventos sendo mais intensos nesse período, o desgaste ainda menor do que o realizado pela erosão hídrica. Os níveis de compactação e permeabilidade contribuíram na compreensão da geração de *runoff* e consequentemente sua participação na erosão das falésias. Tanto em Panaquatira quanto no Olho d'Água, o topo compactado e impermeabilizado contribuiu para que não houvesse infiltração o que de certo modo, contribuiria bastante para erosão haja vista que, o fluxo hídrico que percolaria para as camadas inferiores da falésia iria intemperizar seu material e consequentemente acelerar a erosão “de dentro para fora”. A composição granulométrica do material das falésias também teve papel importante na dinâmica erosiva. Ambas são ricas em materiais ricos em areia, silte e argila, sendo assim, fácil de serem destacados e consequentemente transportados.

Em Panaquatira a erosão concentrou-se na base da falésia constatando assim, que o principal agente foi a abrasão marinha. Entretanto, nos meses chuvosos, a malha de pinos revelou erosão nas porções superiores da malha de pinos, onde pode-se atribuir a isso o efeito do *splash* e do *runoff*. Portanto, os pinos foram fundamentais para compreender a dinâmica erosiva em ambas as falésias. A falésia em Panaquatira erodiu aproximadamente 60 a 65 cm durante um ano de monitoramento. Levando em consideração o clima e as características geomorfológicas da área, chega-se à conclusão que em período de 5 anos, a erosão pode chegar a 3 metros e mantendo esse ritmo, em

10 anos haverá retrogradação da falésia em até 6 metros, caso mantido essas taxas de recuo observadas durante a pesquisa.

No Olho d'Água, a falésia sofreu erosão na ordem de 10 a 12 centímetros como demonstrado pelos pinos. Diante desses fatos, a retrogradação da falésia em 1 metro demoraria aproximadamente de 8 a 10 anos levando em consideração que nesse intervalo de tempo mesmo com as condições constantes de clima, poderá haver anos com índices pluviométricos mais elevados do que outros. Sendo assim, o processo erosivo na falésia do Olho d'Água é definido como desacelerado e mudanças perceptíveis na paisagem só seriam visíveis ao longo de muitos anos, caso as forçantes climáticas e oceanográficas se mantenham sem significativas alterações. Entretanto, deve-se considerar o princípio da precaução quando da ocupação da referida área, com adoção dos 100m preconizados no atual Código Florestal, uma vez que de acordo com os modelos de previsão de variação do nível médio do mar, nos próximos anos está previsto a elevação do mesmo ao longo da linha de costa brasileira como demonstrado na obra "Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro" organizada por Muehe (2006).

## REFERÊNCIAS

- BEZERRA, Maria M. *et al.* Influence of wave action and lithology on sea cliff mass movements in Central Algarve Coast, Portugal. *Journal of Coastal Research*, v. 27, n. 6A, p. 162-171, 2011. B, v. 91, n. 9, p. 481-500, 2015.
- BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction**. Great Britain: John Wiley & Sons, 2011.
- BRANNER, J. C. Geology of the northeast coast of Brazil. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 13, n. 1, p. 41-98, 1902.
- BRASIL, lei n° 7661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Brasília, DF
- BRASIL. Lei 12.651/2012. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações; exercícios e problemas recebidos**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- CARTER, R. W G. **Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines**. Elsevier, 1988.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- DAVIES, J. L. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, v. 8, p. 127-142, 1964.
- DAVIS JR, R. A.; HAYES, M. O. What is a wave-dominated coast?. *Marine geology*, v. 60, n. 1-4, p. 313-329, 1984.
- DE PLOEY, J.; GABRIELS, D. Measuring soil loss and experimental studies. *Soil erosion*, p. 63-108, 1980.
- DUPERRET, A. *et al.* Effect of groundwater and sea weathering cycles on the strength of chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France. *Engineering Geology*, v. 78, n. 3-4, p. 321-343, 2005.
- EL-ROBRINI, M. *et al.* Maranhão. In: MUEHE, D. (Org.). *Panorama da erosão costeira no Brasil (Recurso Eletrônico)* Ministério do Meio Ambiente/SRHQA/DGAT. 1ed. Brasília. 2018, v.1 p. 167-239.
- EMERY, K. O.; KUHN, G. G. Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, n. 7, p. 644-654, 1982.
- EMPRESA DE PORTOS DO BRASIL S. A. 1988. Relatório de Apresentação das Medições Meteorológicas Observadas em Pontal do Sul, Paranaguá-PR, Período Set J982aDez. 1986. Rio de Janeiro, Portobrás/ INPH. 168 p
- FEITOSA, A. C. Relevo do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: *Simpósio nacional de geomorfologia; regional conference on geomorphology*. 2006. p. 1-11.

- FEITOSA, Antonio Cordeiro. Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1989. Dissertação de Mestrado.
- FORK, R. L. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameter. *J. Sed. Petrol.*, v. 27, p. 3-26, 1957.
- FRANCO, B. J. Caracterização morfodinâmica das praias oceânicas da ilha do Maranhão. Monografia. 2018. p.47., UFMA.
- GALVIN JR, C. J. Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of geophysical research*, v. 73, n. 12, p. 3651-3659, 1968.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Bertrand Brasil, 2011.
- HAMPTON, Monty A. **Formation, evolution, and stability of coastal cliffs: status and trends**. DIANE Publishing, 2004.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 19 de outubro de 2018
- MABESOONE, J. M.; *et al.* Estratigrafia e origem do grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 2, n. 3, p. 173-188, 2018.
- MASSELINK, G; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, p. 785-800, 1993.
- MORAES, A. C. R. **Contribuição para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007.
- MORAIS, N. B; *et al.* Avaliação da condutividade hidráulica e a sua relação com escoamento superficial em áreas de colinas situadas na bacia hidrográfica do rio São João, RJ. *Revista Tamoios*, v. 9, n. 1, 2013.
- MOURA-FÉ, M. M. Barreiras: Série, Grupo ou Formação? (Barreiras: Serie, Group or Formation?). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1055-1061, 2015.
- MUEHE, D. 1998. **Geomorfologia costeira**. In: GUERRA A.J.T. E CUNHA, S.B. da (orgs). *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand do Brasil, Rio de Janeiro. 1998. Pág. 253-308
- MUEHE, Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 4, n. 7, 2005.
- MUEHE, Dieter. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 1ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006,
- NASCIMENTO, K. A. Caracterização do processo de erosão marinha nas falésias da Ponta do Retiro, litoral norte do RJ. 2006. 106f. Dissertação de Mestrado. Dissertação (Mestrado em Geologia e geofísica marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

- PEREIRA, E. D. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batata–São Luís (MA). 2006. 144f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geociências)–Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro.
- REICHERT, J.M ; *et al.* Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.
- RODRIGUES, T. L.N; *et al.* São Luís, Folha SA. 23-ZA, Cururupu, Folha SA. 23-XC. 1994.
- ROSSETTI, D. F. Ambientes Costeiros. Em T. G. Florenzano, **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais** (pp. 247-281). São Paulo: Oficina de textos. 2008
- SANTOS, JHS dos. Análise por geoprocessamento da ocupação na franja costeira ao norte da cidade de São Luís–MA. Rio de Janeiro: IGEO/PPGG/UFRJ, 1996.
- SILVA, C. H. S; SILVA, Q. D. Análise de Falésias no Litoral Ocidental da Ilha do Maranhão. Revista Geonorte v. 3 n. 4, 2012
- SILVA, C.H.S. FALÉSIA DE ITAPARI, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, MARANHÃO: evolução geomorfológica recente. Teresina: UFPI/PPGG. 2017.121p. Dissertação de Mestrado..
- SILVA, Q. D. Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão. São Paulo: PPGE/UNESP. 2012. 251p. Tese de Doutorado
- SILVA, W. S. et al. Erosão costeira nas falésias Tibau do Sul: litoral leste do Rio Grande do Norte. In: Congresso sobre planejamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão portuguesa. 2003.
- SOUZA, C. R. *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. Em C. R. SOUZA, *et al.* **Quaternário do Brasil** (pp. 130-152). Ribeirão Preto: Holos, 2005.
- SUGUIO, K. 1973. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo, Ed.Edgard Blücher - Edusp. 317p.
- SUGUIO, K. 1999. **Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins**. Rio De Janeiro, Ed. Bertrand Brasil. 1217p.
- SUNAMURA, T. A laboratory study of wave-cut platform formation. The Journal of Geology, v. 83, n. 3, p. 389-397, 1975.
- SUNAMURA, T. A relationship between wave-induced cliff erosion and erosive force of waves. The Journal of Geology, v. 85, n. 5, p. 613-618, 1977.
- SUNAMURA, T. **Geomorphology of rocky coasts**. John Wiley & Son Ltd, 1992.
- SUNAMURA, T. Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs. Proceedings of the Japan Academy, Series B, v. 91, n. 9, p. 481-500, 2015.
- TESSLER, M. G; GOYA, S. C. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. Revista do Departamento de Geografia, v. 17, p. 11-23, 2005.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. Gravel, v. 3, n. 1, 2005.

TRENHAILE, A. S. **The geomorphology of rock coasts**. Oxford University Press, USA, 1987.

VASCONCELOS, F. P. **Gestão Integrada da Zona Costeira**: Ocupação antrópica desordenada, erosão, assoreamento e poluição ambiental do litoral. Premium Editora, 2005.

VEIGA JÚNIOR, José Pessoa. São Luís NE/SE. Folhas SA.23-X e SA.23-Z: Estados do Maranhão e Piauí. Brasília: CPRM, 2000.