



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

RIVALDO JÚNIOR PINTO RAMOS

**Permeabilidade das praias oceânicas da Ilha do Maranhão frente
a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos**

São Luís – MA

2022

RIVALDO JÚNIOR PINTO RAMOS

**Permeabilidade das praias oceânicas na Ilha do Maranhão frente
a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Oceanografia pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do Grau de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima.

São Luís – MA

2022

RIVALDO JÚNIOR PINTO RAMOS

Permeabilidade das praias oceânicas da Ilha do Maranhão frente a
eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos

Monografia apresentada ao curso de
Graduação em Oceanografia pela
Universidade Federal do Maranhão,
como requisito para obtenção do Grau de
Bacharelado em Oceanografia.

Aprovada em: _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima (Orientador)

Prof. Dra. Claudia Klose Parise (UFMA)

Prof. Dr. Leonardo Soares Silva (UFMA)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a). Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA.

Pinto Ramos, Rivaldo Júnior.
Permeabilidade das praias oceânicas da Ilha do Maranhão frente a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos / Rivaldo Júnior Pinto Ramos. - 2022.
61 f.

Orientador(a): Leonardo Gonçalves de Lima.
Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. Permeabilidade. 2. Praias. 3. Hidrocarbonetos. 4. Marés. I. Gonçalves de Lima, Leonardo. II. Título.

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho aos meus pais e meu irmão,
por todo amor, carinho e motivação.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Joana Pinto e Antônio Rivaldo Ramos, pelo amor, carinho, pela motivação e suporte para que esta realização fosse concluída. Ao meu irmão Antônio Geovani, por me encorajar e ser inspiração para mim. A minha tia Rosa, pelo incentivo a trilhar o caminho dos estudos, e minha tia Neta pelo acolhimento e carinho. Aos meus primos, Gonçalo, Gleice e Inalda, por todo o amparo que me ofereceram. Além dos demais membros da família, que sempre me incentivaram e acreditaram que esta conquista fosse possível.

Ao meu professor e orientador Dr. Leonardo Gonçalves de Lima pelo conhecimento oferecido, pelas oportunidades, pela dedicação a mim durante meu período de estágio.

Aos amigos que fiz durante todo o período de graduação, Luís Carlos Lago, Thais Melo, Darah Tawany, Lucas Pires, João Felipe Sobrinho, Larissa Sitowski, Maria Fernanda Zanoni, Anderson Mineiro, Leonardo Medeiros, Thais Gava, Pedro Alípio, Hugo Leonardo, Ruan Teixeira, Luciana Amorim, Filipe Menks, Rafaela Silva. Obrigado pelo apoio, pelos momentos de descontração e por contribuírem para meu desenvolvimento como pessoa e profissional.

Aos novos amigos e companheiros do LEOG, Nívea Sabrina, Priscila Carvalho, José Bisneto, Saulo Sauáia, Matheus Oliveira, Thomas Vinicius. Obrigado pelas risadas e pelo auxílio.

Agradeço ao oceanógrafo Bruno Franco por todo o suporte e incentivo que me ofereceu nos momentos que mais precisei. O meu muito obrigado!

Aos meus professores Silma Pires e José Ribamar (R-Black), por sempre me instigarem ao conhecimento e ressaltarem que quem estuda vence.

A todo o corpo docente que compõe o Departamento de Oceanografia e Limnologia - DEOLI e ao Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica – LEOG.

Agradeço a todos que colaboraram de alguma forma para minha formação. A todos o meu sincero muito obrigado!

RESUMO

O derramamento de derivados de hidrocarbonetos na zona costeira é um dos acidentes que mais podem trazer impactos ambientais nocivos. Este tipo de poluição geralmente ocorre por conta de vazamentos advindos de navios que transportam esse material ou em portos. Quanto maior o tempo de permanência do óleo em um sítio, maior será a interação com o meio, maior será o dano causado no ambiente e mais difícil será sua recuperação. A permeabilidade surge como um parâmetro fundamental para determinar as características de percolação do substrato, e desta forma, possibilita ter um entendimento sobre a sensibilidade de uma praia em relação ao óleo. Dito isto, este estudo tem como objetivo avaliar o comportamento da permeabilidade da face praial e dissimilaridades na transposição de derivados de hidrocarbonetos na matriz sedimentar das praias oceânicas da Ilha do Maranhão. A metodologia do trabalho foi baseada em levantamento de dados bibliográficos e trabalhos de campo (ensaios de permeabilidade com água, óleo lubrificante e óleo diesel S10, coleta de sedimentos) nas praias nos meses de maio de 2021 a junho de 2022. Após a etapa de coletas, foram realizadas análises em laboratório e interpretação de dados. Os resultados de permeabilidade em função da variação de marés indicaram que entre todas as praias ocorreram variações significativas nos coeficientes nas zonas de maré alta de sizígia (MAS) e zona de maré baixa de sizígia (MBS). Na zona de MAS, as Praias da Ponta d'Areia e Calhau apresentaram os mais altos coeficientes de permeabilidade dentre todas as praias, enquanto que na MBS, houve menos variações os valores encontrados nas praias, em comparação com a zona de MAS. As Praias do Calhau, Caolho e Olho d'Água apresentaram os menores valores de permeabilidade. O ensaio realizado com o óleo diesel S10, a permeabilidade exibiu um coeficiente de $K = 0,00024$, e sua pluma de infiltração apresentou um formato elipsoidal arredondado. O ensaio realizado com o óleo lubrificante 10W40, a permeabilidade obteve um índice de $K = 0,00001$. De maneira geral, os resultados obtidos mostram que os coeficientes de permeabilidade apresentaram dissimilaridades em zonas distintas da praia, onde a permeabilidade exibiu seus maiores valores na zona de MAS em todas as praias, enquanto que nas zonas de MBS a permeabilidade exibiu menores coeficientes. Em casos de eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos que atinjam as praias da Ilha do Maranhão, o lençol freático estaria mais vulnerável à contaminação de derivados de hidrocarbonetos menos densidade como o diesel S10, tendo em vista que, quanto menos viscoso for o derivado, mais rápida e a sua penetração na face praial.

Palavras-chave: Permeabilidade, Praias, Hidrocarbonetos, Marés.

ABSTRAC

The spillage of hydrocarbon derivatives in the coastal zone is one of the accidents that can have the most harmful environmental impacts. This type of pollution usually occurs due to leaks from ships that transport this material or in ports. The longer the oil stays at a site, the greater the interaction with the environment, the greater the damage caused to the environment and the more difficult its recovery will be. Permeability emerges as a fundamental parameter to determine the percolation characteristics of the substrate, and in this way, it makes it possible to have an understanding of the sensitivity of a beach in relation to oil. That said, this study aims to evaluate the behavior of the beach face permeability and dissimilarities in the transposition of hydrocarbon derivatives in the sedimentary matrix of the ocean beaches of Maranhão Island. The methodology of the work was based on a survey of bibliographic data and field work (permeability tests with water, lubricating oil and S10 diesel oil, collection of sediments) on the beaches from May 2021 to June 2022. After the stage of collections, laboratory analyzes and data interpretation were performed. The permeability results as a function of tidal variation indicated that among all beaches there were significant variations in the coefficients in the high syzygy tide zones (MAS) and low syzygy tide zone (MBS). In the MAS zone, Ponta d'Areia and Calhau Beaches presented the highest permeability coefficients among all beaches, while in MBS, there were less variations in the values found on the beaches, compared to the MAS zone. The beaches of Calhau, Caolho and Olho d'Água presented the lowest permeability values. In the test carried out with S10 diesel oil, the permeability exhibited a coefficient of $K = 0.00024$, and its infiltration plume presented a rounded ellipsoidal shape. The test carried out with the lubricating oil 10W40, the permeability obtained an index of $K = 0.00001$. In general, the results obtained show that the permeability coefficients showed dissimilarities in different areas of the beach, where the permeability exhibited its highest values in the MAS zone on all beaches, while in the MBS zones the permeability exhibited lower coefficients. In cases of eventual spills of hydrocarbon derivatives that reach the beaches of Ilha do Maranhão, the water table would be more vulnerable to contamination by hydrocarbon derivatives with less density, such as S10 diesel, considering that the less viscous the derivative, the more and its penetration in the beach face.

Keywords: Permeability, Beaches, Hydrocarbons, Tides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Terminologias e limites adotados nas feições do sistema praial considerando a zonação hidrodinâmica. Modificado por FRANCO (2018) adaptado de Wright et al. (1982)	16
Figura 2. Carta de Sensibilidade ao Óleo operacional da Foz do Rio Amazonas. São exibidos recursos biológicos e recursos socioeconômico. O índice de sensibilidade do litoral é apresentado por uma linha, sendo a cor referente à sensibilidade do local. Fonte: Cartas SAO Foz do Rio Amazonas. Fonte: MMA (2007b)	18
Figura 3. Localização das praias estudadas, sendo: (1) Praia da Ponta d'Areia, (2) Praia de São Marcos, (3) Praia do Calhau, (4) Praia do Caolho, (5) Praia do Olho d'Água. (A) Mapa do Brasil, (B) Mapa do Maranhão, (C) Ilha do Maranhão.....	22
Figura 4. Método utilizado para a etapa de peneiramento das amostras e conjunto de peneiras granulométricas utilizadas.....	25
Figura 5. Permeâmetro de PVC descrito por Caputo (1980)	26
Figura 6. Ensaio geotécnico de permeabilidade realizado na face praial.....	27
Figura 7. Localização dos pontos amostrais de permeabilidade com água entre as zonas de MAS e MBS.....	28
Figura 8. Ensaio de permeabilidade com óleos, onde A é o ensaio com óleo diesel e B é o ensaio com óleo lubrificante.....	29
Figura 9. Remoção do óleo na sedimentação da praia, onde A foi a remoção feita pelo nível de inspeção do permeâmetro e B foi o sedimento contaminado em sacos plásticos.....	30
Figura 10. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia da Ponta d'Areia na MAS.....	31
Figura 11. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia da Ponta d'Areia na MBS.....	32
Figura 12. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia de São Marcos na MAS.....	32
Figura 13. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia de São Marcos na MBS.....	33
Figura 14. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Calhau na MAS.....	33

Figura 15. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Calhau na MBS.....	34
Figura 16. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Caolho na MAS.....	35
Figura 17. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Caolho na MBS.....	35
Figura 18. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Olho d'Água na MAS.....	36
Figura 19. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Olho d'Água na MBS.....	37
Figura 20. Gráfico comparativo de frequências acumuladas para todas as praias na zona de MAS e MBS.....	37
Figura 21. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia da Ponta d'Areia.....	39
Figura 22. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia de São Marcos.....	41
Figura 23. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Calhau.....	42
Figura 24. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Caolho.....	43
Figura 25. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Olho d'Água.....	44
Figura 26. Permeabilidade das praias da Ilha do Maranhão e suas dissimilaridades frente as variações de maré.....	45
Figura 27. Plumas de infiltração observadas nos ensaios de permeabilidade. A e B são utilizando óleo diesel, C e D utilizando óleo de motor.....	46
Figura 28. Enrocamentos presentes na Praia da Ponta d'Areia.....	47
Figura 29. Afloramentos de águas advindas da Lagoa da Jansen na face praial.....	48
Figura 30. Afloramentos lateríticos oriundos de eventos erosivos da Formação Alcântara.....	48
Figura 31. Escavações na sedimentação da Praia na MAS com presença de materiais detríticos, onde A é no km 2,0 e B situa-se no km 2,4.....	49
Figura 32. Enrocamentos presente na Praia de São Marcos.....	50
Figura 33. Campo de dunas na Praia do Calhau.....	51
Figura 34. Foz do Rio Calhau.....	52
Figura 35. Ensaio de permeabilidade próximo a uma calha fluvial.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Grupos de óleo e principais características. Fonte: Cetesb (2007)	16
Tabela 2. Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) com as respectivas cores e tipos de costa para cada valor de sensibilidade. Fonte: MMA, 2007b.....	19
Tabela 3. Coordenadas geográficas das praias estudadas. DATUM: SIRGAS 2000.....	23
Tabela 4. Parâmetros estatísticos da granulometria das praias da Ilha do Maranhão.....	28
Tabela 5. Coeficientes de permeabilidade na Praia da Ponta d'Areia.....	40
Tabela 6. Coeficientes de permeabilidade na Praia de São Marcos.....	41
Tabela 7. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Calhau.....	42
Tabela 8. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Caolho.....	43
Tabela 9. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Olho d'Água.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Zonação praial	15
2.3. Impactos de hidrocarbonetos no meio ambiente	16
3. OBJETIVOS.....	20
3.1. Objetivo geral	20
3.2. Objetivos específicos.....	20
4. MATERIAS E MÉTODOS	20
4.1. Área de estudo	20
4.2. Amostragem e processamento	23
4.2.1 Granulometria.....	24
4.2.2 Permeabilidade	25
4.2.2.1 Permeabilidade com água.....	26
4.2.2.2 Permeabilidade com hidrocarbonetos.....	29
5. RESULTADOS	30
5.1. Granulometria.....	30
5.1.1. Praia da Ponta d'Areia.....	30
5.1.2. Praia de São Marcos	32
5.1.3. Praia do Calhau.....	33
5.1.4. Praia do Caolho	34
5.1.5. Praia do Olho d'Água	36
5.2. Permeabilidade com água.....	39
5.2.1. Praia da Ponta d'Areia.....	39
5.2.2. Praia de São Marcos	40
5.2.3 Praia do Calhau.....	41

5.2.4 Praia do Caolho	42
5.2.5 Praia do Olho d'Água	43
5.3. Permeabilidade com hidrocarbonetos	46
6. DISCUSSÃO	47
7. CONCLUSÃO	55
8. REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

A poluição por derivados de hidrocarbonetos em regiões costeiras é oriunda principalmente de navios através de efluentes da lavagem de tanques petroleiros, praças de máquinas, por operações em terminais portuários, despejo por refinarias e industriais, e eventuais acidentes (ZIOILLI, 2002). O petróleo pode ser definido como uma mistura de moléculas de hidrocarbonetos e menores quantidades de outras moléculas orgânicas, incluindo tanto óleo quanto gás de hidrocarboneto (GLUYAS & SWARBRICK, 2013).

As consequências do óleo no ambiente praial estão associadas à impactos físicos de recobrimento da zona de intermarés, além de impactos na locomoção, alimentação e reprodução da comunidade biológica. Contaminações por derrames de óleos em praias também afetam as relações socioeconômicas locais, uma vez que esse ambiente se converte em um local de grande foco turístico e fonte de renda para populações locais (OLIVEIRA, 2014).

O transporte e armazenamento do petróleo e seus derivados se apresentam como atividades de alto risco ambiental, principalmente em zonas costeiras que são consideradas áreas sensíveis. A movimentação de cargas que fazem o transporte de derivados de hidrocarbonetos vem aumentando ao longo dos últimos anos, seja através dos portos organizados, como também os terminais privados, não só no Brasil, mas também no exterior (BRASIL, 2012).

No Brasil, o histórico de acidentes desta natureza tem início em março de 1975, quando o navio iraquiano Tarik Ibn Ziyad derramou 6 mil toneladas de óleo na Baía de Guanabara, tendo a Petrobras sido responsabilizada por este acidente. Entretanto, na história de acidentes envolvendo derramamento de petróleo no Brasil, o acidente que mais se destaca é a mancha de óleo descoberta no litoral nordestino em agosto de 2019, que se alastrou por mais de 700 km de extensão na costa brasileira, sendo considerado o maior desastre de derramamento de óleo do país (LAWAND *et al.*, 2021).

As praias representam o destino final dos derivados de hidrocarbonetos em zonas costeiras, uma vez que ventos, correntes e ondas transportam o petróleo em direção à costa. Quando um evento de derrame atinge as praias, deposita-se, prontamente, na zona de espraiamento onde ocorrem os maiores impactos ambientais. A penetração do petróleo em praias arenosas depende diretamente da permeabilidade do substrato, em função das características granulométricas, das características físicas dos derivados de hidrocarbonetos, do

grau e tipo de perturbação biológica (DAVIES & TOPPING, 1995) e da profundidade do lençol freático (MCLAREN, 1985; HAYES & MICHEL, 1999; OLIVEIRA & VINZON, 2003).

A permeabilidade pode ser definida como a facilidade que um fluido escoar através de uma matriz sedimentar porosa, a qual é quantificada pelo coeficiente de permeabilidade (PEREIRA, 2005). Denominado também de condutividade hidráulica, (CABRAL *et al.*, 2000), o coeficiente de permeabilidade leva em conta as características do meio, incluindo porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma e arranjo das mesmas, além das características do fluido de escoamento, como viscosidade e massa específica. A permeabilidade tende a diminuir com a diminuição do tamanho dos grãos, além de que ocorre um aumento considerável da capilaridade, desta forma, areias grossas tendem a ser mais permeáveis do que areias finas (SELLEY, 1998; CAPUTO, 1988).

Tendo em vista os pontos apresentados, o conhecimento oriundo deste estudo irá fornecer informações sobre o comportamento de derivados de hidrocarbonetos sobre a face praial, visando consolidar o desenvolvimento de futuras medidas e planos de ação eficientes na zona costeira.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Zonação praial

A morfologia e hidrodinâmica da face praial pode ser classificada de diferentes formas (BRAGA 2007). Portanto para setorização da face praial foi adotado subdivisão proposta por WRIGHT *et al.* (1982), que leva em consideração a variação média das marés de sizígia e quadratura.

Com isso, o sistema praial é dividido em três compartimentos. A Zona de Supramaré (ZS) pertencente a região que antecede a maré alta de sizígia (MAS). Zona de Intermaré representada pela face praial em si situada entre a maré alta (MAS) e a baixa de sizígia (MBS), sendo ainda subdividida em zona de intermaré superior (ZIS), divididas pelas marés alta de sizígia e quadratura, média (ZIM), compreendendo as marés alta (MAQ) e baixa de quadratura (MBQ) e inferior (ZII) limitada pelas marés baixas de quadratura (MBQ) e sizígia (MBS). Por fim, a Zona de Inframaré (ZI) é a área marcada pela parte inferior da maré baixa de sizígia (**Figura 1**).

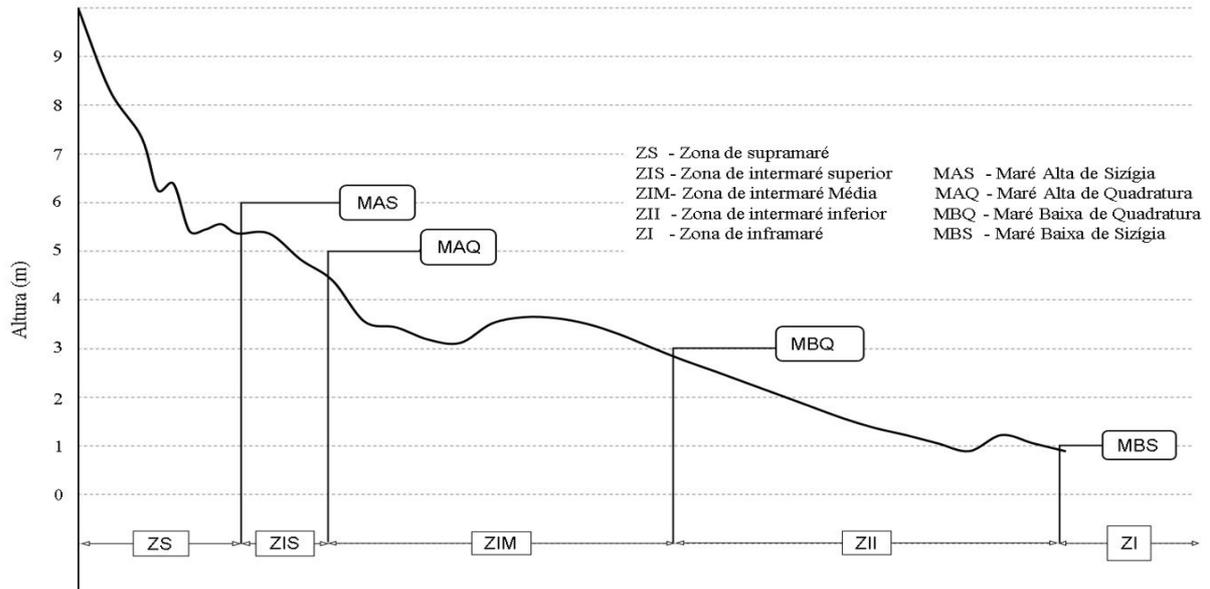


Figura 1. Terminologias e limites adotados nas feições do sistema praial considerando a zonação hidrodinâmica. Modificado por FRANCO (2018) adaptado de WRIGHT et al. (1982).

2.3. Impactos de hidrocarbonetos no meio ambiente

O Grupo de óleo pode ser dividido em não-persistentes (Grupo I) e persistentes (Grupos II, III, IV). A Lei Federal 9966 de 28/04/2000 define o termo óleo como “qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borracha, resíduos de petróleo e produtos refinados” (BRASIL, 2000).

O óleo é dividido em quatro grupos de acordo com suas propriedades físico-químicas, incluindo a densidade relativa (ou gravidade específica), persistência (ou meia vida) e a viscosidade (**Tabela 1**).

Grupos de óleo e suas características principais				
Grupo	Densidade Relativa	°API	Meia vida	Viscosidade (15°C)
Grupo I	<0,8	>45	~24h	0,5 – 2,0
Grupo II	0,80 < 0,85	35 a 45	~24h	4
Grupo III	0,85 < 0,95	17,5 a 35	~48h	8
Grupo IV	>0,95	< 17,5	~72h	1500

Tabela 1. Grupos de óleo e principais características. Fonte: Cetesb (2007).

Os óleos respectivos ao grupo I, incluem os derivados de hidrocarbonetos, como a gasolina, nafta e diesel. Os mesmos são considerados leves, solúveis e voláteis, possuindo assim, rápido espalhamento e evaporação e, portanto, rápida degradação natural (CETESB, 2007).

Os óleos pertencentes ao grupos II e III são considerados intermediários e incluem os óleos crus com grau API entre 17,5 e 45. Normalmente são compostos por uma parcela solúvel, que sofre degradação rápida e natural; e uma parcela mais persistente, que muitas vezes, demanda remoção manual. Já os óleos do grupo IV, incluindo pavimento asfáltico, chamados de “pesados”, possuem grau API variando entre 10 e 17,5. São relativamente pouco voláteis, viscosos a semissólidos, adesivos, com toxicidade baixa e podem formar emulsões estáveis. Estes óleos necessitam de intervenção antrópica com remoção manual após o contato com o ambiente (CETESB, 2007).

Com o intuito de mitigar os impactos causados por possíveis danos ambientais, surge o princípio da prevenção, que, de acordo com FORTUNATO & FORTUNATO NETO (2011), é denominado como a antecipação à prática de ações que possam causar danos ambientais, adotando medidas gerenciais aptas a proteger o meio ambiente. Segundo os mesmos autores, a prevenção atua com prévio conhecimento das implicações relativas às intervenções antrópicas quando previsível a ocorrência de impactos negativos ao meio ambiente. Assim, a prevenção aplica-se quando não há dúvida alguma de que os danos possam vir a ocorrer.

Nesta conjuntura de prevenção e contingência estabelecidas pela lei, encontram-se as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) como instrumentos oficiais para orientação à resposta em caso de acidentes. A Resolução CONAMA 398/2008 insere as Cartas SAO no conteúdo mínimo dos PEIs para incidentes de poluição por óleo, originados em portos organizados, terminais, dutos e plataformas, bem como suas instalações de apoio. As Cartas SAO (**Figura 2**), constituem um componente essencial e fonte primária de informação para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Elas representam uma ferramenta para o enquadramento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificarem aqueles ambientes com prioridade de preservação e as eventuais áreas de sacrifício, permitem o correto direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza (MMA, 2007a).

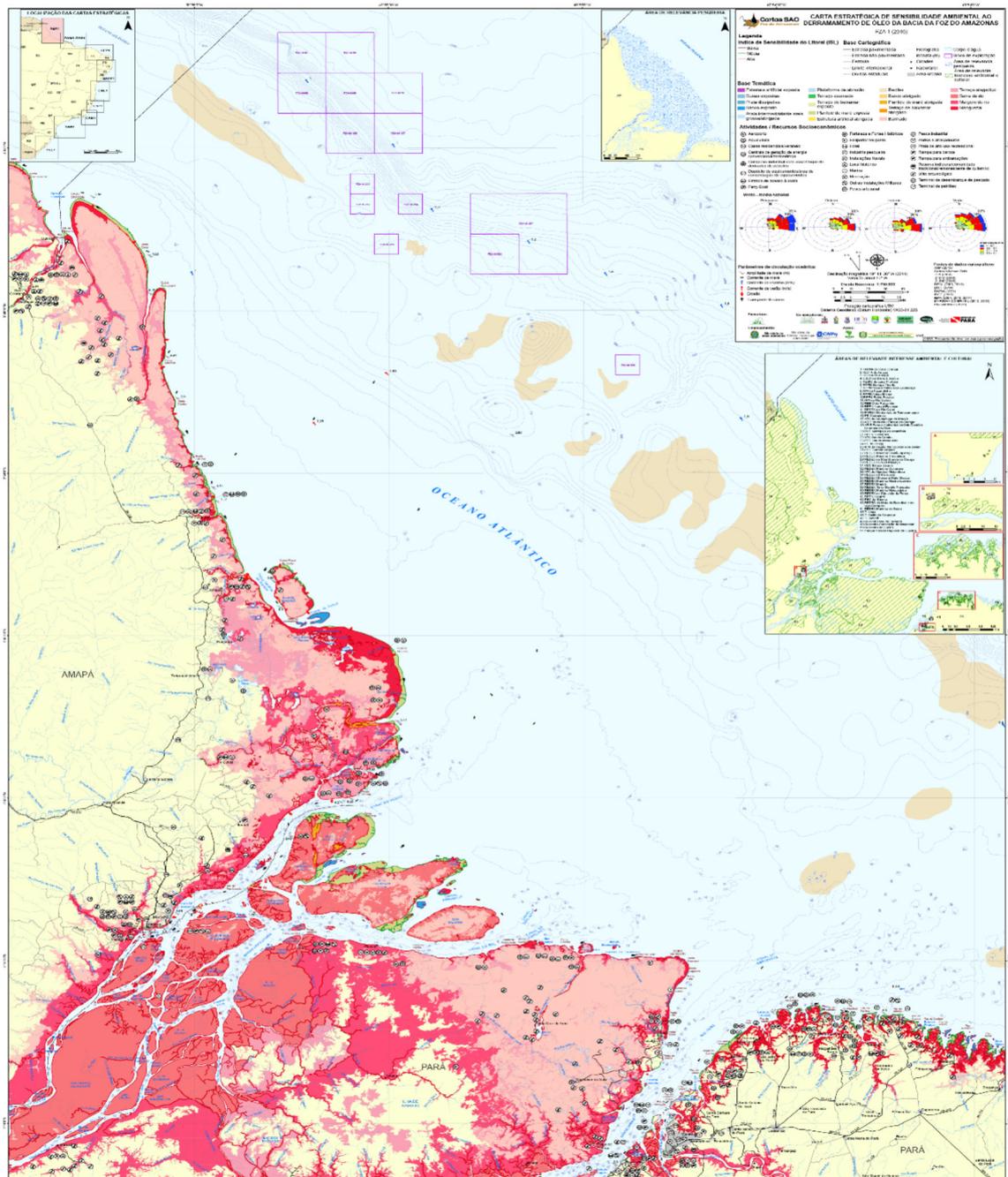


Figura 2. Carta de Sensibilidade ao Óleo operacional da Foz do Rio Amazonas. São exibidos recursos biológicos e recursos socioeconômico. O índice de sensibilidade do litoral é apresentado por uma linha, sendo a cor referente à sensibilidade do local. Fonte: Cartas SAO Foz do Rio Amazonas. Fonte: MMA (2007a).

O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) (**Tabela 2**), hierarquiza os ambientes costeiros em relação à sensibilidade relativa a derrames de óleos, potencial de prejuízo ecológico e facilidade de limpeza, em uma escala de 1 a 10, em ordem crescente de sensibilidade. Esta classificação é baseada nas características geomorfológicas do litoral, segundo o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato.

COR	ÍNDICE	TIPOS DE COSTA
	ISL 1	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos • Falésias em rochas sedimentares, expostas • Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostos
	ISL 2	<ul style="list-style-type: none"> • Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos • Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc)
	ISL 3	<ul style="list-style-type: none"> • Praias dissipativas de areia média a fina, expostas • Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo “<i>long beach</i>”) • Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros litorâneos), expostos • Campos de dunas expostas
	ISL 4	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de areia grossa • Praias intermediárias de areia fina a média, expostas • Praias de areia fina a média, abrigadas
	ISL 5	<ul style="list-style-type: none"> • Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais • Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação • Recifes areníticos em franja
	ISL 6	<ul style="list-style-type: none"> • Praias de cascalho (seixos e calhaus) • Costa de detritos calcários • Deposito de tálus • Enrocamentos (“rip-rap”, guia corrente, quebra-mar) expostos • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	ISL 7	<ul style="list-style-type: none"> • Planícies de maré arenosa exposta • Terraço de baixa-mar
	ISL 8	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada • Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada • Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados • Enrocamentos (“rip-rap” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
	ISL 9	<ul style="list-style-type: none"> • Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas • Terraço de baixa-mar lamoso abrigado • Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	ISL 10	<ul style="list-style-type: none"> • Deltas e barras de rio vegetadas • Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas • Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum • Marismas • Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Tabela 2. Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) com as respectivas cores e tipos de costa para cada valor de sensibilidade. Adaptado de OLIVEIRA (2016). Fonte: MMA, 2007b.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o comportamento da permeabilidade da face praial e dissimilaridades na transposição de hidrocarbonetos e derivados na matriz sedimentar das praias oceânicas da Ilha do Maranhão.

3.2. Objetivos específicos

- Averiguar a permeabilidade da matriz sedimentar em zonas distintas do perfil praial, impostas pela maré;
- Caracterizar a granulometria e grau de seleção dos sedimentos superficiais da praia;
- Verificar como as variações longitudinais do pacote sedimentar das praias influenciam na permeabilidade.

4. MATERIAS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A costa do estado do Maranhão constitui a segunda maior do Brasil, possuindo aproximadamente 640 km de extensão, a qual se dá a partir da foz do rio Gurupi, na divisa com o Estado do Pará, até o Delta do rio Parnaíba, na divisa com o Estado do Piauí. Sua morfologia expressa uma faixa litorânea com três segmentos distintos: Costa Ocidental, Costa Oriental e Golfão Maranhense (FEITOSA, 1996).

A Ilha do Maranhão está situada o estado do Maranhão comportando os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Inserida no Golfão Maranhense tem como suas principais unidades litoestratigráficas são as Formações: Itapecuru (origem no Cretáceo), Barreiras (datada do Terciário) e Açuí (Quaternário), que deram início a sedimentação da Bacia de São Luís (PONTES *et al.*, 1987; RODRIGUES *et al.*, 1994; ALMEIDA, 2000; VEIGA JÚNIOR, 2000; PEREIRA, 2006).

Segundo EL-ROBRINI *et al.* (2006) as praias do litoral norte da Ilha do Maranhão apresentam largura média de aproximadamente 250 m, podendo variar em face da grande

amplitude de maré. Esta região costeira está sob influência de um regime de macromaré semi-diurna, com alturas de até 7,5 m (DHN, 2004) e recebe ventos constantes vindos de NE, os quais por sua vez, resultam em ondas de até 1,5 m de altura. Eventos extremos são frequentes no verão e resultam de ciclones extratropicais originados no Hemisfério Norte (QUADROS, 2016).

CERVEIRA (2018) e ALBUQUERQUE (2018), descrevem as características geomorfológicas dos setores praias maranhenses como praias anexadas (*mainland beach*) e esporão arenoso (*spits*). As praias no município de São Luís posicionam-se sobre esporões arenosos, como a praia da Ponta d'Areia, e nos limites de falésias das formações Itapecuru, Alcântara, Cujupe e Barreiras, como as praias de São Marcos, Calhau, Caolho e Olho d'Água. As praias do município de Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa estão anexadas a falésias das formações Açuí, Itapecuru e Barreiras (SILVA, 2012).

As praias em que ocorrerão as amostragens serão: Ponta d'areia, São Marcos, Calhau, Caolho e Olho D'água. A escolha destas praias está relacionada principalmente o tráfego de navios-petroleiros na Baía de São Marcos até o Porto de Itaqui (**Tabela 3**).

A Praia da Ponta d'Areia a tem aproximadamente 2,5 km de extensão e apresenta em média extensão de 230 m e possui um espigão costeiro que foi construído com o intuito de barrar o sedimento transportado por corrente litorânea e desta forma impedir eventos erosivos.

A Praia do Calhau apresenta um perfil com uma extensão média de 240 m, com a presença de dunas frontais bem definidas. O perfil da Praia do Caolho apresenta uma extensão média de 300 metros, contendo em sua morfologia feições bem definidas de banco e calha e por vezes cavas oriundas do Rio Pimenta.

Referente as características morfodinâmicas, as praias da Ilha do Maranhão se classificam em três estágios: dissipativo sem banco, terraço de baixa mar banco e cava e ultra-dissipativo, onde as praias do Caolho e Ponta d'areia encontram classificadas no estágio dissipativo sem banco, no estágio de terraço de baixa mar, banco e cava estão classificadas as praias do Calhau (FRANCO, 2018).

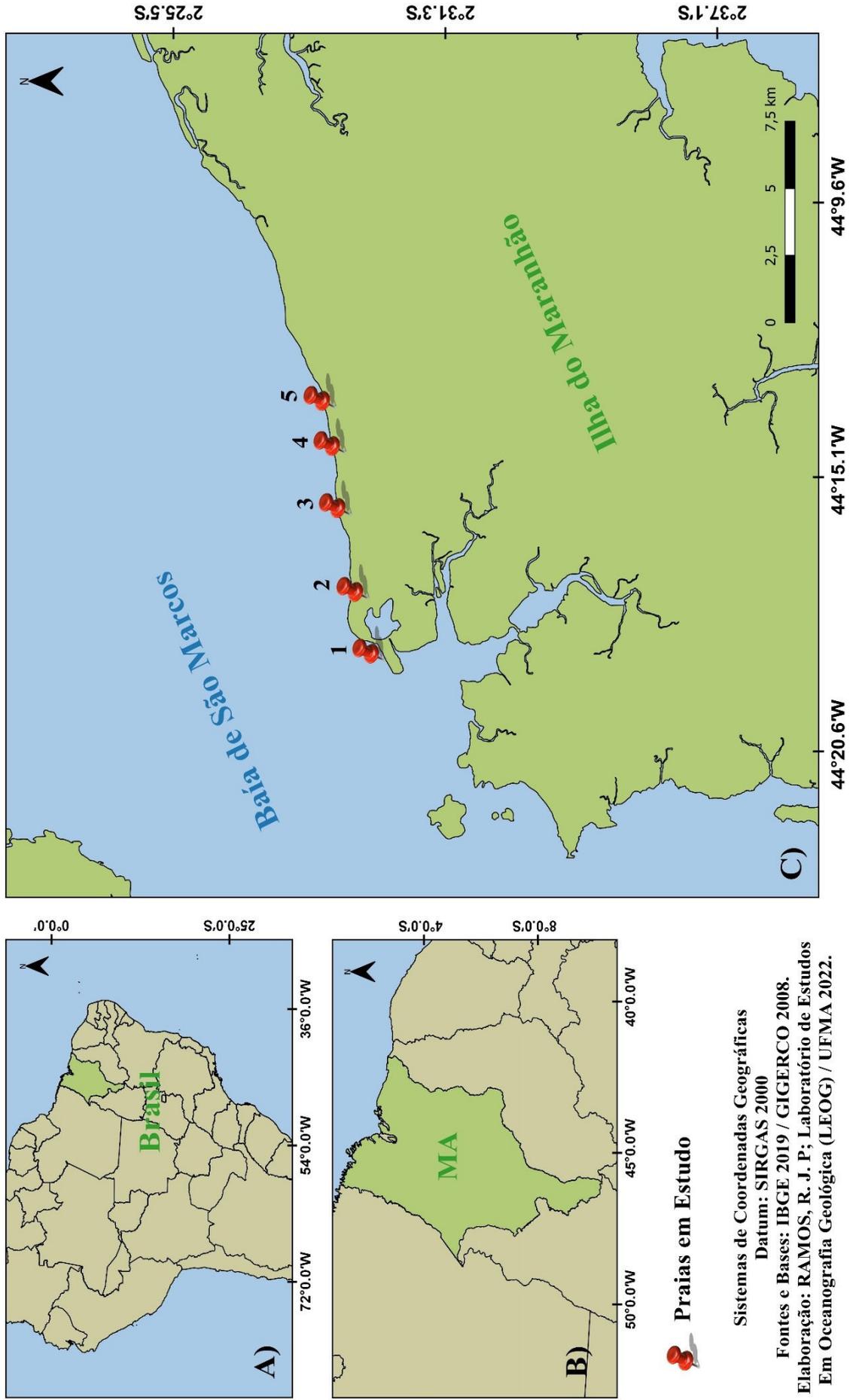


Figura 3. Localização das praias estudadas, sendo: (1) Praia da Ponta d'Areia, (2) Praia de São Marcos, (3) Praia do Calhau, (4) Praia do Caolho, (5) Praia do Olho d'Água. (A) Mapa do Brasil, (B) Mapa do Maranhão, (C) Ilha do Maranhão.

Coordenadas Geográficas		
Praias	Latitude	Longitude
Praia da Ponta d'Areia	02°29'40.90" S	44°18'27.52" W
Praia de São Marcos	02°29'16.81" S	44°17'12.99" W
Praia do Calhau	02°28'57.82" S	44°15'31.91" W
Praia do Caolho	02°28'50.89" S	44°14'16.96" W
Praia do Olho d'Água	02°28'38.00" S	44°13'22.52" W

Tabela 3. Coordenadas geográficas das praias estudadas. DATUM: SIRGAS 2000.

O regime sazonal de chuvas no litoral maranhense é caracterizado por dois períodos bem definidos: chuvoso e de estiagem (NIMER, 1989). Esta variação de períodos é provocada através do deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) resultando oscilações na temperatura atmosférica e no regime de precipitações (SILVA, 2012). Entre os meses de janeiro a junho, ocorre o período chuvoso que tem suas máximas pluviométricas durante os meses de março, abril e maio. De julho a dezembro ocorre o período de estiagem com poucas chuvas registrando as menores médias pluviométricas nos meses de setembro, outubro e novembro. Segundo FEITOSA (1989), os dados pluviométricos para a Ilha do Maranhão variam entre 1258 mm e 2221 mm com uma média anual de 1823 mm.

O sistema eólico é predominantemente regido por ventos de NE que correspondem à 40,81% do total anual (setembro a março) e que apresentam uma frequência de 33,72% nos meses de abril a agosto (BITTENCOURT *et al.*, 1990). Por conta do regime anual de ventos, sobretudo no período de estiagem, a morfologia praial é constantemente alterada em função do transporte subaéreo de sedimentos.

A vegetação é composta por florestas secundárias e regiões de matas baixas com intrusões de babaçu. Apresenta também áreas de cerrados e formações pioneiras, além de buritizais e juçarais compondo a mata ciliar nas proximidades dos rios (REBÊLO *et al.*, 1999).

4.2. Amostragem e processamento

A metodologia do trabalho foi baseada em levantamento de dados bibliográficos e trabalhos de campo (ensaios de permeabilidade com água, óleo lubrificante e óleo diesel, coleta de sedimentos) nas praias nos meses de maio de 2021 a junho de 2022. Após a etapa de coletas, foram realizadas análises em laboratório e interpretação de dados.

4.2.1 Granulometria

Granulometria é a denominação dada ao conjunto de métodos que classifica, padroniza, e estima os tamanhos de grãos possibilitando comparações a partir de suas propriedades físicas. Os parâmetros de tais análises são baseados no diâmetro, peso, volume, área ou velocidade de decantação da partícula e variam conforme o ambiente estudado.

Para as análises granulométricas, foram coletadas amostras de sedimentos com a finalidade de determinar as características granulométricas locais. Em cada uma das 5 praias estudadas, foram coletadas 2 amostras, sendo uma na zona de MAS e uma na zona de MBS. As análises granulométricas das amostras coletadas foram submetidas ao peneiramento em um conjunto de peneiras granulométricas (SUGUIO 1973; MENDES *et al.*, 1997).

As amostras foram levadas a laboratório para serem lavadas para a retirada dos sais e secadas na estufa à temperatura de 50°C. Posteriormente retirada 50g das amostras e despejado no conjunto de peneiras partindo de malhas mais grossas até as mais finas, com intervalo de $1/2\phi$ (2,00; 1,41; 1,00; 0,71; 0,50; 0,351; 0,250; 0,177; 0,125; 0,088 e 0,062 mm), as amostras foram agitadas utilizando agitador eletromagnético durante 10 minutos (**Figura 4**). Os dados foram processados no software SYSGRAN 3.0® (CAMARGO, 2006) e analisados segundo os métodos estatísticos descritos por FOLK E WARD (1973).

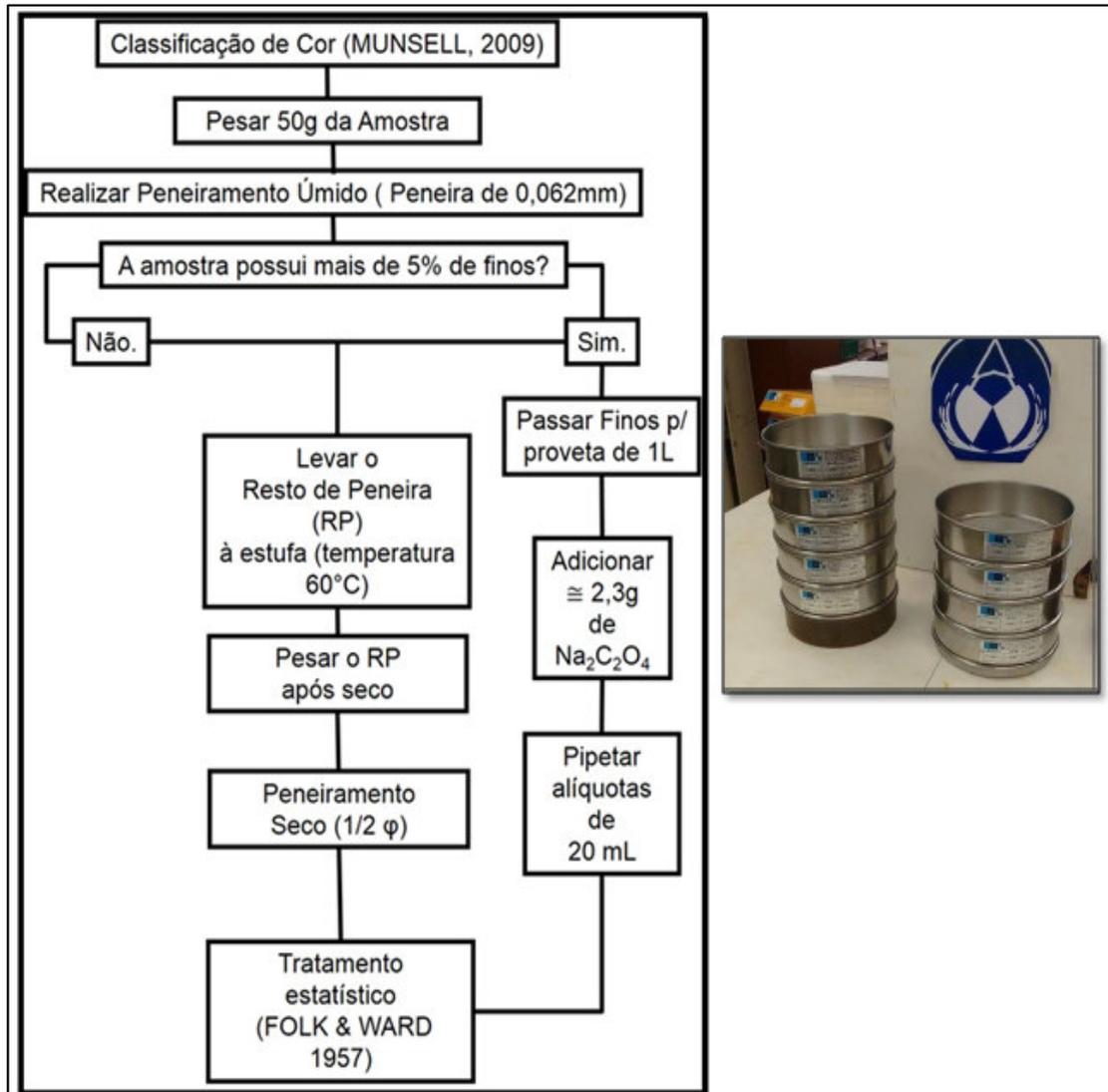


Figura 4. Método utilizado para a etapa de peneiramento das amostras e conjunto de peneiras granulométricas utilizadas.

4.2.2 Permeabilidade

Para a determinação dos coeficientes de permeabilidade, realizados ensaios geotécnicos, utilizando um permeâmetro, o qual consiste basicamente em um tubo aberto de policloreto de vinila (PVC) (**Figura 5**), segundo o método descrito por CAPUTO (1980).

O tubo foi penetrado a uma profundidade de 5 cm no solo e preenchido com fluido de percolação até o topo. Depois foi cronometrado o tempo gasto que o fluido levou para percorrer o comprimento de 10 cm entre os níveis marcados no cano de PVC.

A partir dos valores obtidos em campo, a permeabilidade foi calculada utilizando a equação desenvolvida por CAPUTO (1980), com base na formula experimental de Darcy.

$$K = \left(\frac{r}{4hm} \right) \left(\frac{dh}{dt} \right)$$

r: raio do tubo;

hm: média da altura da coluna d'água no nível inicial e final;

dh: altura de coluna d'água de aferição;

dt: tempo para percorrer a coluna d'água.

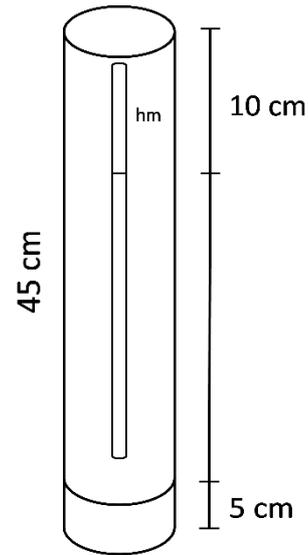


Figura 5. Permeâmetro de PVC descrito por Caputo (1980).

4.2.2.1 Permeabilidade com água

Para os ensaios de permeabilidade em que a água foi fluido principal, o tubo foi preenchido 3 vezes, percorrendo um intervalo de 10 cm, com a finalidade de verificar a variação média da permeabilidade com o grau de saturação do sedimento. Este experimento foi realizado para verificar o comportamento da permeabilidade frente a variação das marés (**Figura 6**).

Ao todo, realizaram-se um total 60 ensaios geotécnicos de permeabilidade com água, sendo estes distribuídos ao longo das 5 praias estudadas. Os ensaios ocorreram em dois locais distintos na zonação hidrodinâmica da praia, onde ensaios ocorreram na Maré Alta de Sizígia (MAS) entre a ZS e ZIS e também ocorreram na Maré Baixa de Sizígia (MBS) entre a ZII e ZI. Os ensaios foram georreferenciados com o auxílio de um GPS *garmin etrex 30*, onde cada ponto deteve uma distância de aproximadamente 400 metros (**Figura 7**).

Na praia da Ponta d'Areia foram efetuados um total de 20 ensaios, onde 10 ocorreram na MAS e os outros 10 ocorreram na MBS. Já para a praia de São Marcos, foram realizados um total de 8 ensaios, onde 4 aconteceram na MAS e 4 na MBS. A praia do Calhau teve um total de 16 ensaios, onde 8 foram realizados na MAS e 8 restantes foram realizados na MBS. A praia do Caolho teve uma amostragem com um total de 8 pontos, haja vista que, 4 foram feitos na MAS e os 4 restantes na MBS. Por fim, a praia do Olho d'Água também teve um total de 8 pontos, com 4 feitos na MAS e 4 realizados na MBS.



Figura 6. Ensaio geotécnico de permeabilidade realizado na face praial.

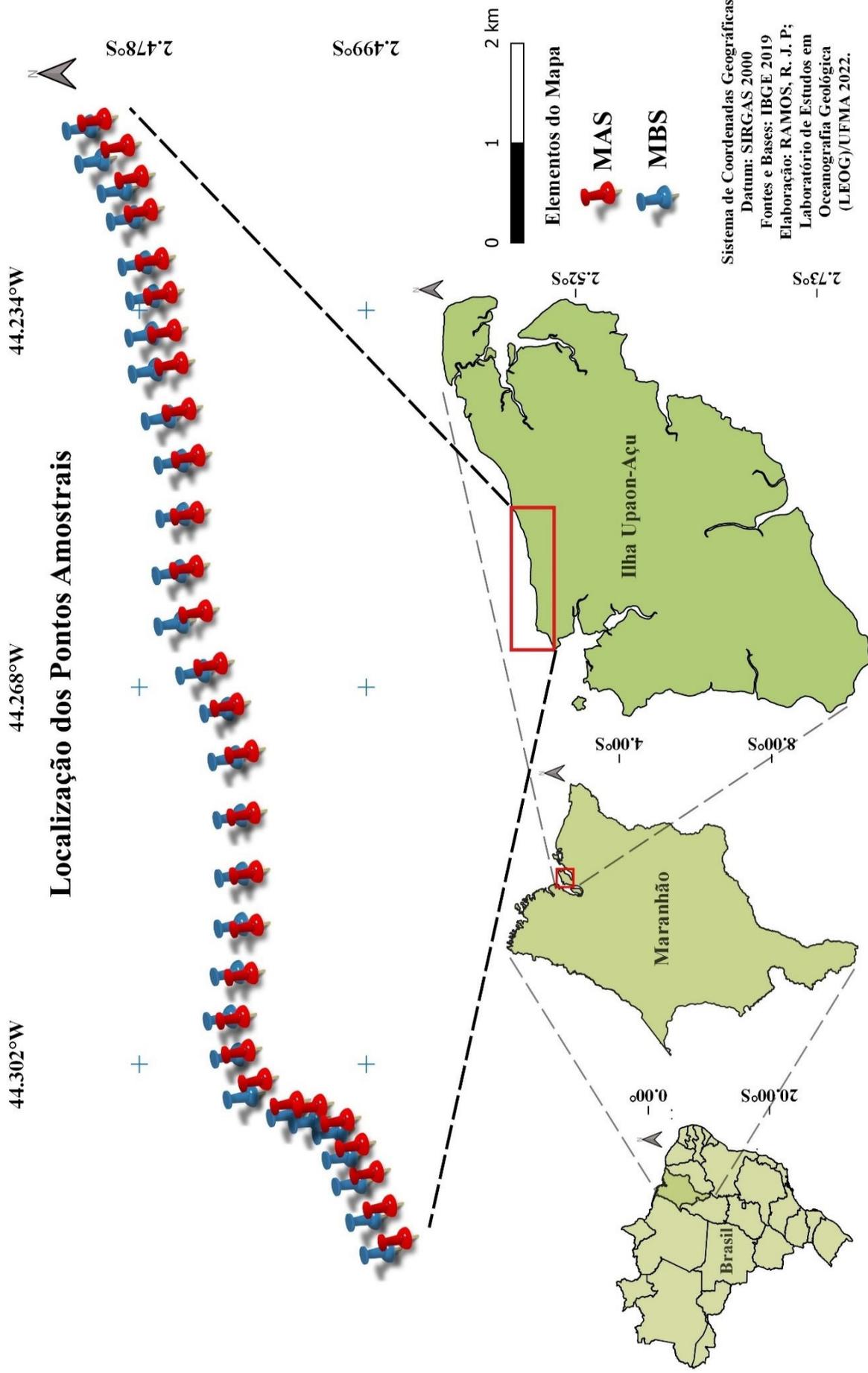


Figura 7. Localização dos pontos amostrais de permeabilidade com água entre as zonas de MAS e MBS.

4.2.2.2 Permeabilidade com hidrocarbonetos

Nos ensaios de permeabilidade envolvendo apenas os derivados de hidrocarbonetos, foi realizado 2 ensaios geotécnicos na Praia do Calhau, no mês de junho de 2022, durante o período chuvoso. Os fluídos utilizados para o experimento foram óleo diesel S10 e óleo lubrificante multiviscoso 10W40 da marca Maxon Oil Ultra.

O óleo diesel S10 tem uma viscosidade de 2,0 – 4,5 cSt a 40°C (Método D445/NBR-10441). Já o óleo lubrificante tem uma viscosidade de 12,5 – 16,2 cSt a 100°C.

No ensaio de permeabilidade com óleo diesel S10, o permeâmetro teve sua base inserida na areia a uma profundidade de 5 cm e foi preenchido uma vez com o fluido até o topo. A partir do ponto zero, foi cronometrado o tempo em que o fluido leva para percorrer o intervalo de 10 cm entre os níveis pré-determinados (**Figura 8**).

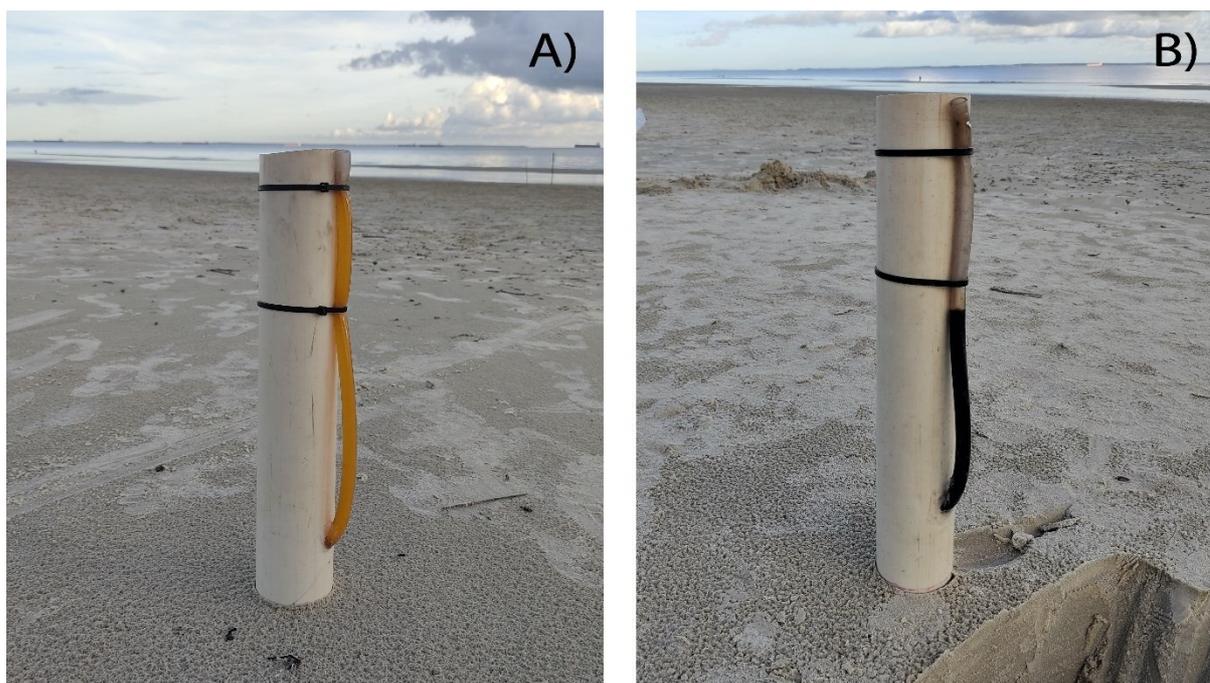


Figura 8. Ensaios de permeabilidade com óleos, onde A é o ensaio com óleo diesel e B é o ensaio com óleo lubrificante.

O ensaio efetuado com óleo lubrificante 10W40, teve uma amostragem realizada em um ponto amostral, com a mesma metodologia utilizada no ensaio com o óleo diesel S10, com exceção na altura de percolação do óleo lubrificante 10W40 no permeâmetro, que foi de 2 cm.

Após os ensaios, dois tipos de tratamentos serão dados aos sedimentos contaminados, a queima “in situ” ou remoção dos mesmos através de nível de inspeção do permeâmetro (**Figura 9**).



Figura 9. Remoção do óleo na sedimentação da praia, onde A foi a remoção feita pelo nível de inspeção do permeâmetro e B foi o sedimento contaminado em sacos plásticos.

5. RESULTADOS

5.1. Granulometria

5.1.1. Praia da Ponta d'Areia

A amostra de sedimentar coletada na Praia da Ponta d'Areia na zona de MAS, foi classificado como areia fina, com média de Phi em 2,982, com uma porcentagem de 99,99% de areia e 0,007% de silte (**Tabela 3**). É bem selecionado, apresentando uma seleção de 0,470 e possui uma curva de distribuição com assimetria muito negativa (-0,566), curtose de 1,691, sendo classificada como muito leptocúrtica (**Figura 10**).

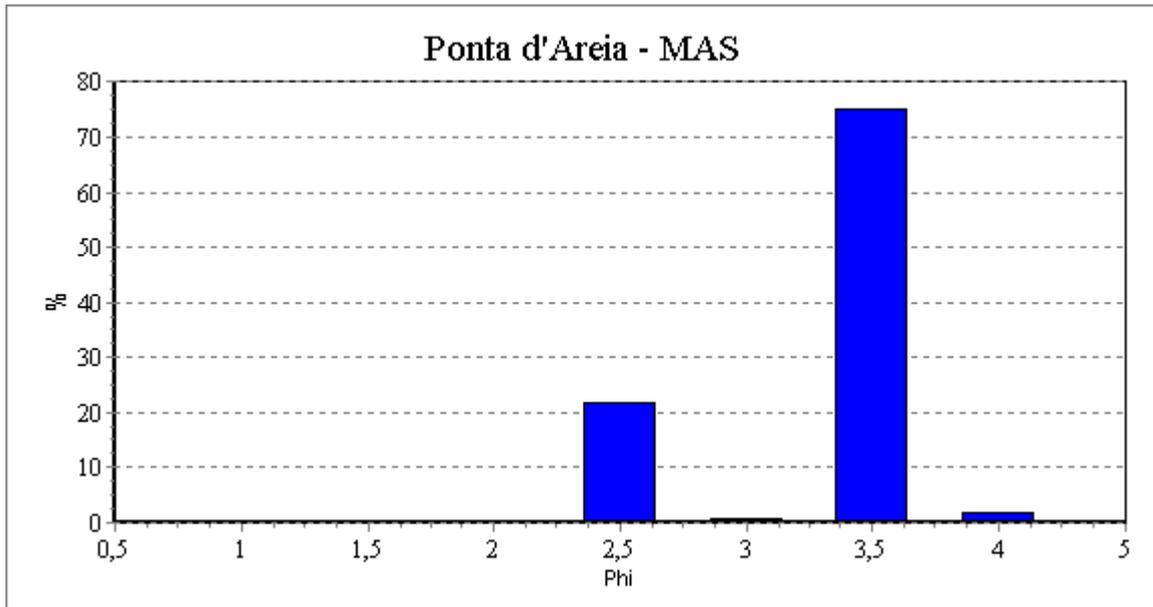


Figura 10. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia da Ponta d'Areia na MAS.

Já na zona de MBS da Praia da Ponta d'Areia, a amostra foi classificada como areia fina, exibindo um phi médio de 2,828, com os sedimentos moderadamente seleccionados, com seleção de 0,632, com uma curva de distribuição muito negativa, com assimetria de -0,573. O valor da curtose foi de 0,725, sendo está classificada como platicúrtica (**Figura 11**).

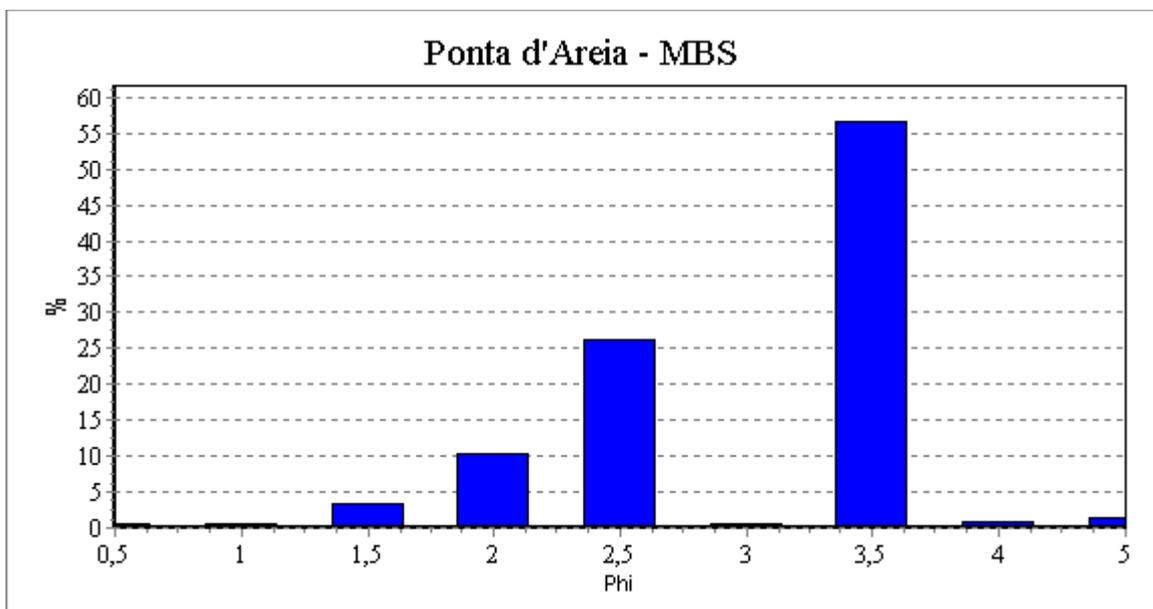


Figura 11. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia da Ponta d'Areia na MBS.

5.1.2. Praia de São Marcos

Para a praia de São Marcos, as amostras coletadas na MAS mostraram a presença de areia fina, com phi médio de 2,660, onde os sedimentos são moderadamente selecionados, apresentando uma seleção de 0,903. A sua assimetria foi de 0,199, e sua curtose exibiu o índice de 0,735, portanto se classificando como platicúrtica (**Figura 12**).

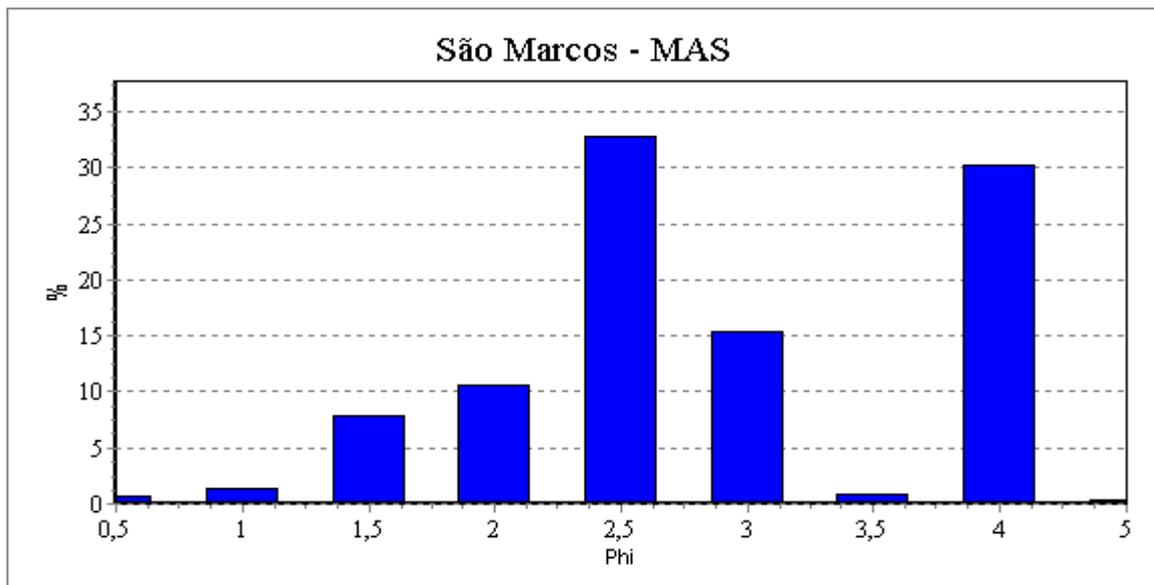


Figura 12. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia de São Marcos na MAS.

Na zona de MBS da Praia de São Marcos, a amostra foi classificada como areia muito fina (phi médio de 3,312), sendo moderadamente selecionada, exibindo uma seleção de 0,627 e possui uma curva de distribuição muito negativa, com a assimetria de -0,604. Sua curtose foi de 0,687, classificando-a como platicúrtica (**Figura 13**).

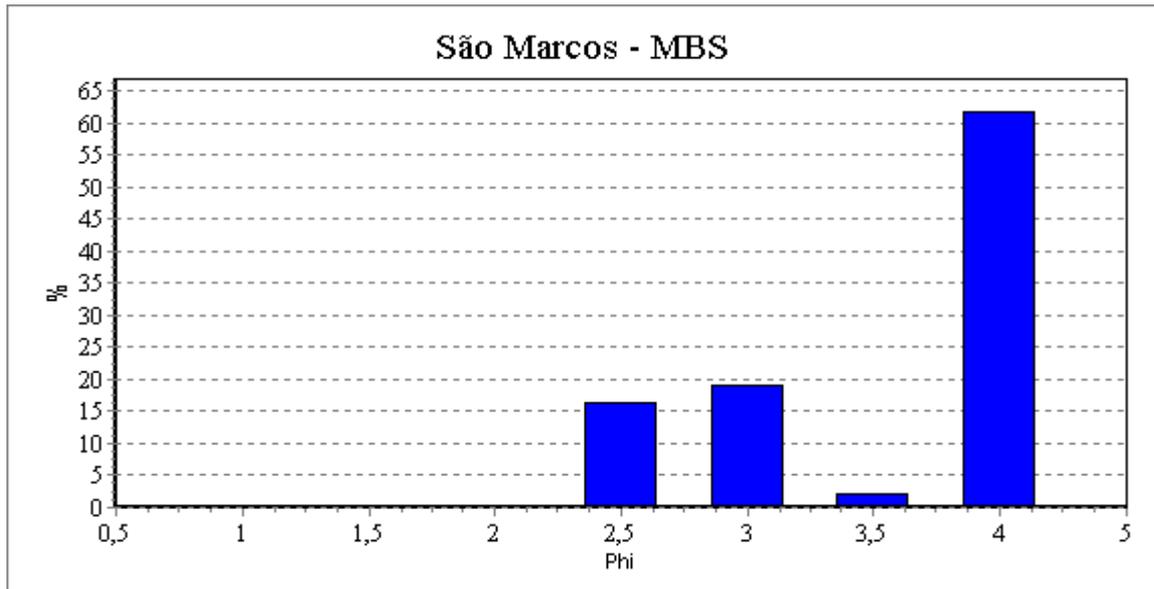


Figura 13. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia de São Marcos na MBS.

5.1.3. Praia do Calhau

Na Praia do Calhau a amostra coletada na zona de MAS apresentou em sua classificação fração de areia fina, apresentando uma média de phi em 2,912, sendo bem selecionada, com seleção de 0,493, sua curva de distribuição classificou-se como muito negativa, com uma assimetria de -0,507 e sua curtose foi de 0,620 com sua classificação sendo muito platicúrtica (**Figura 14**).

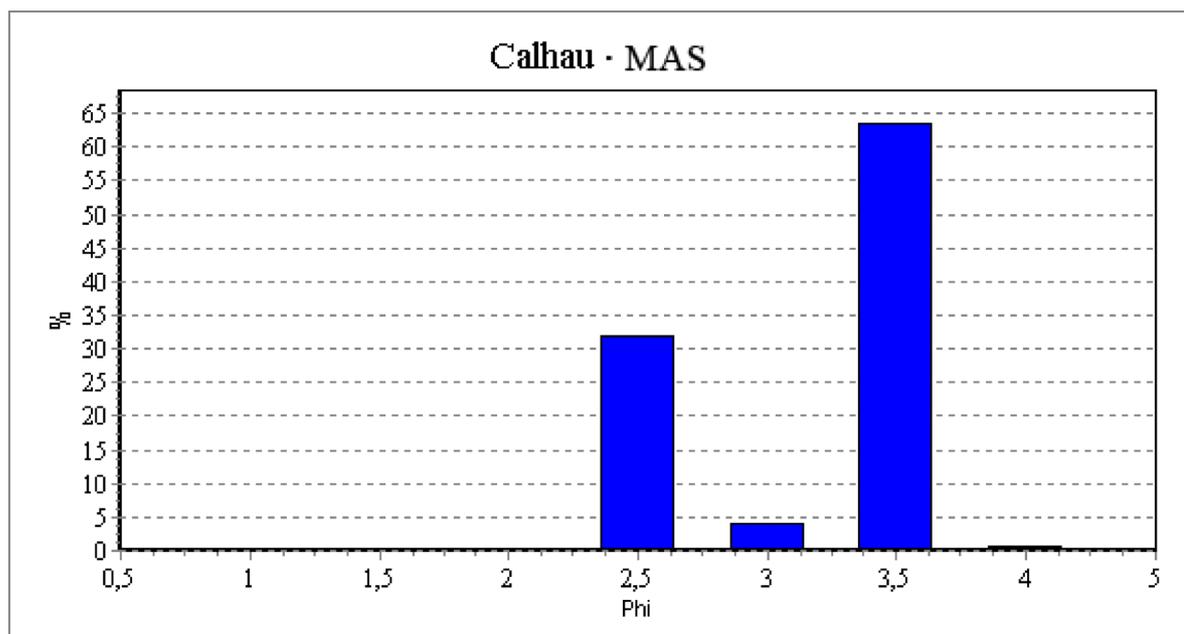


Figura 14. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Calhau na MAS.

As amostras sedimentares na zona de MBS da Praia do Calhau apresentaram em sua classificação uma fração de areia fina e seu phi médio foi de 2,955, sendo esta moderadamente selecionada, com uma seleção de 0,668 e curva de distribuição muito negativa, exibindo uma assimetria de -0,470; a curtose encontrada foi de 1,134, com uma classificação leptocúrtica (**Figura 15**).

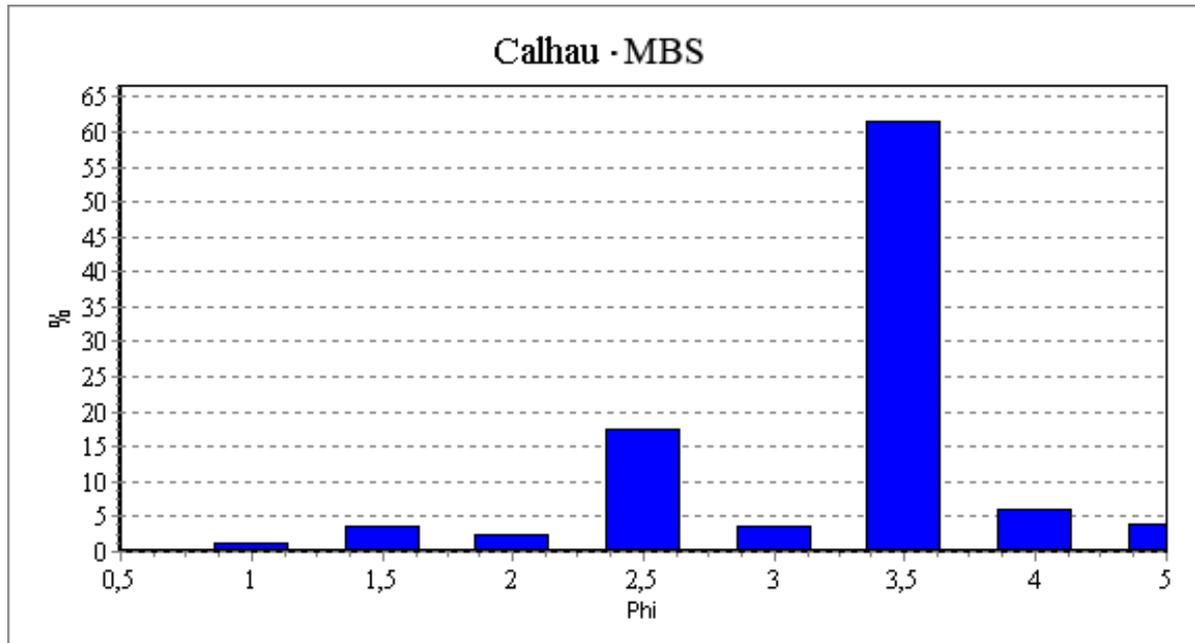


Figura 15. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Calhau na MBS.

5.1.4. Praia do Caolho

Para a Praia do Caolho, a amostra coletada na MAS foi classificada como areia fina (phi de 2,823), sendo bem selecionada e sua seleção foi de 0,473. Sua curva de distribuição é negativa, com assimetria -0,185. A curtose teve um valor de 0,703 e assim teve uma classificação platicúrtica (**Figura 16**).

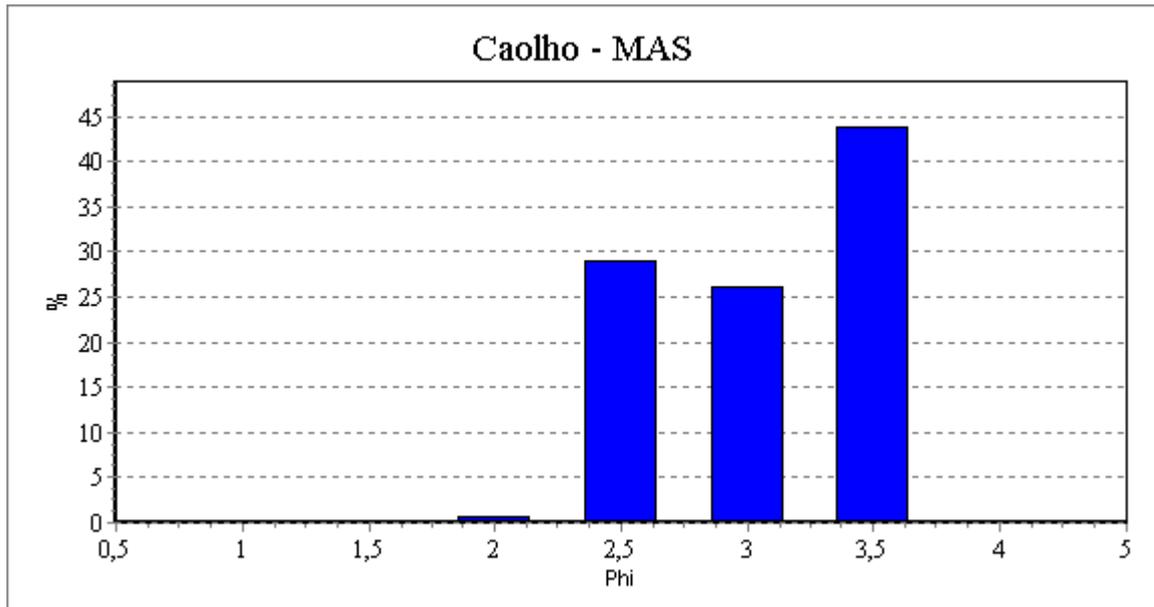


Figura 16. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Caolho na MAS.

Na zona de MBS da Praia do Caolho, a amostra analisada apresentou uma classificação de areia muito fina, onde o phi médio foi de 3,011, sendo bem selecionada e exibindo uma seleção de 0,453. Sua curva de assimetria foi classificada como muito negativa (-0,565). Seu valor de curtose foi de 1,727, sendo assim esta amostra classificada como muito leptocúrtica (**Figura 17**).

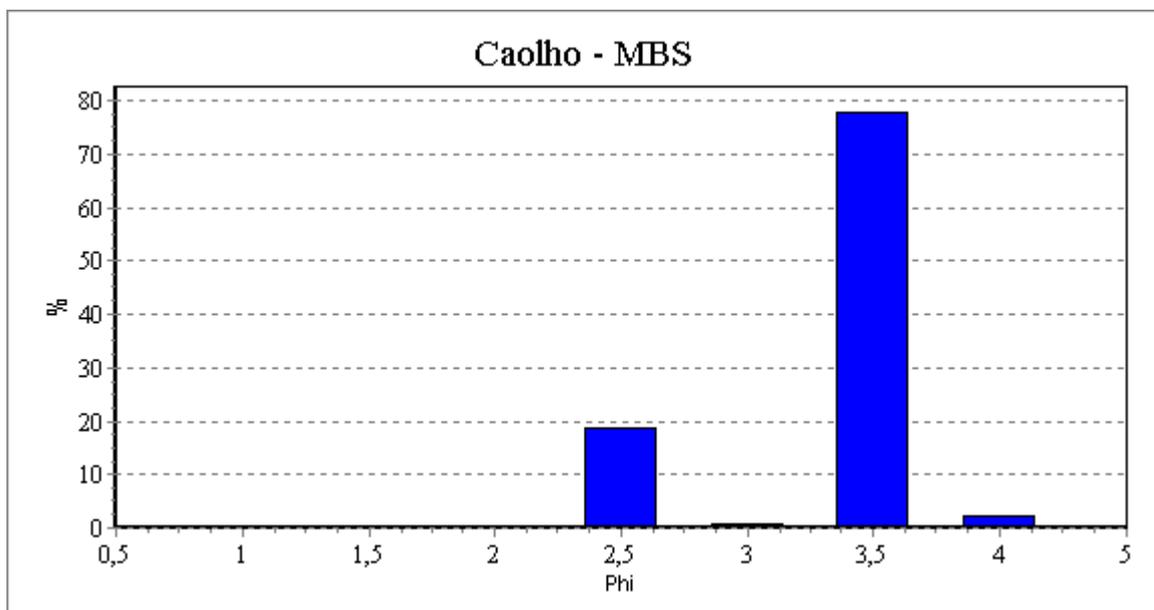


Figura 17. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Caolho na MBS.

5.1.5. Praia do Olho d'Água

A Praia do Olho d'Água na zona de MAS exibiu em seus resultados uma classificação apresentando areia fina (phi em 2,627), moderadamente selecionada com seleção de 0,513. Sua distribuição assimétrica foi muito positiva, tendo um valor de 0,369; já seu índice de curtose foi de 0,612, e assim sua classificação foi de muito platicúrtica (**Figura 18**).

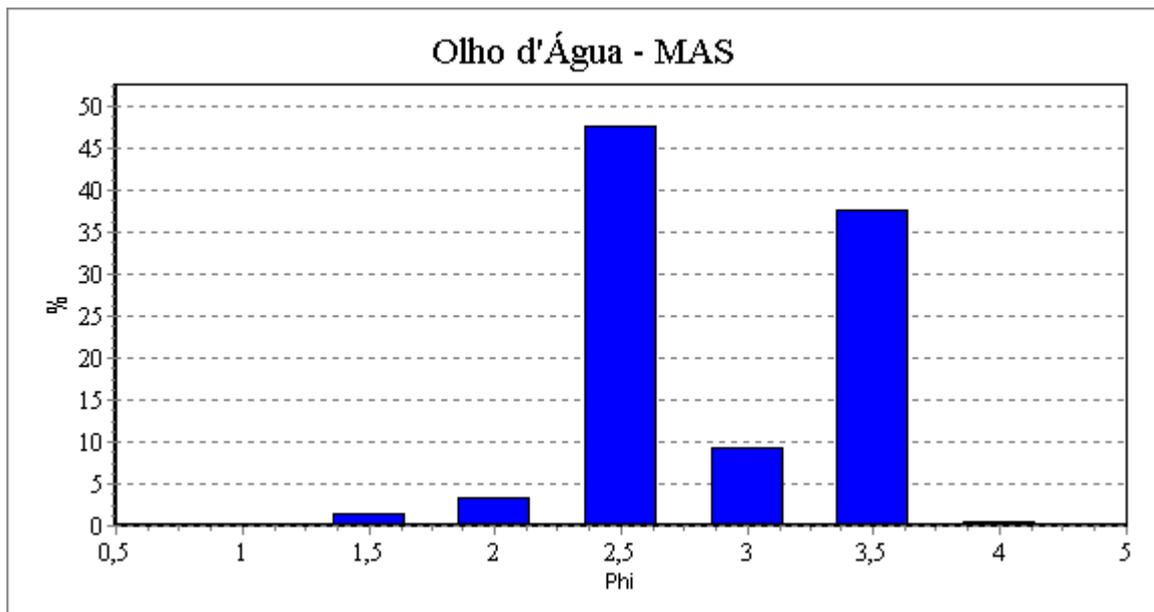


Figura 18. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Olho d'Água na MAS.

Ainda na Praia do Olho d'Água, a amostragem realizada revelou uma classificação de areia fina com um média de phi no valor de 2,941, moderadamente selecionada, com uma seleção de 0,552. Sua curva de assimetria foi muito negativa (-0,350) e seu valor de curtose foi de 0,845, classificando-a como platicúrtica (**Figura 19**).

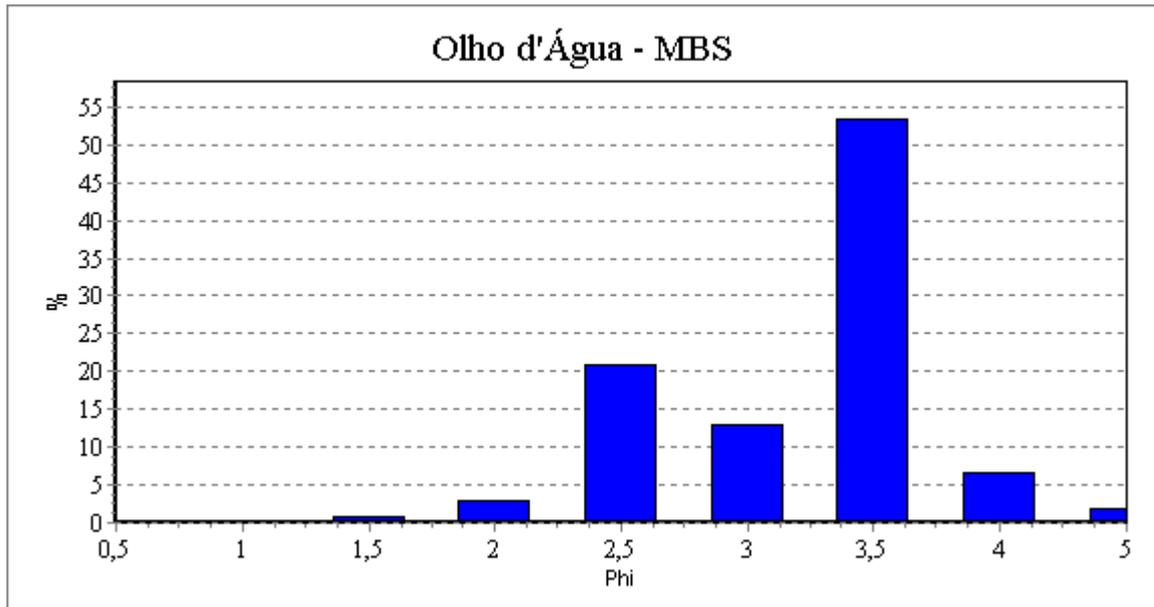


Figura 19. Distribuição granulométrica percentual da amostra superficial da Praia do Olho d'Água na MBS.

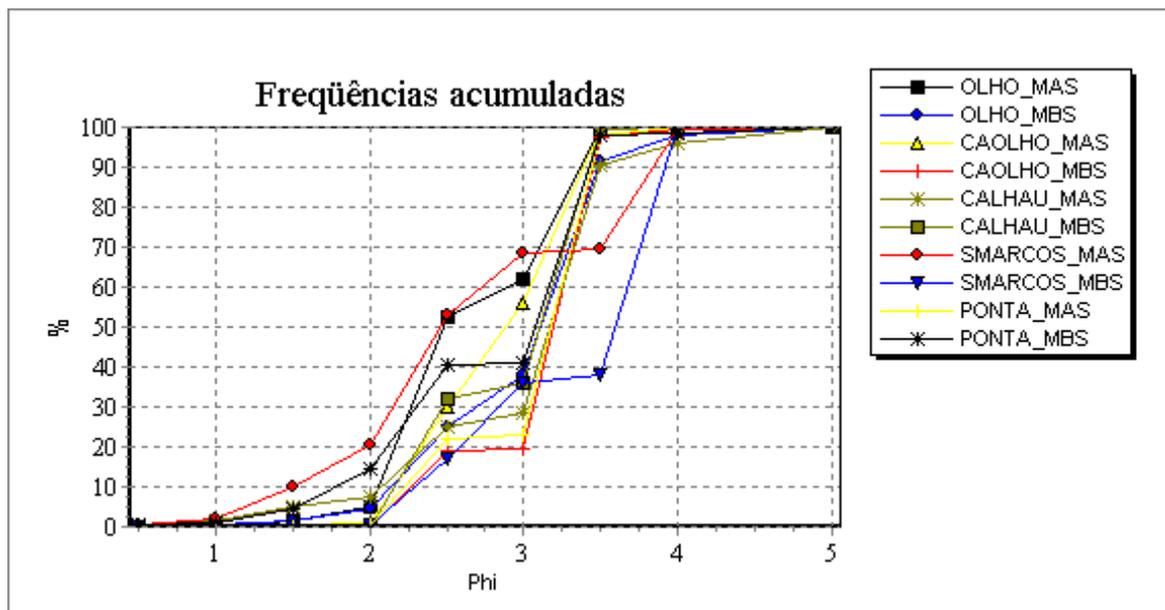


Figura 20. Gráfico comparativo de frequências acumuladas para todas as praias na zona de MAS e MBS.

Praias	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
PONT_MAS	2,982	Areia fina	3,180	0,470	Bem selecionado	-0,566	Muito negativa	1,691	Muito leptocúrtica	0	99,99	0,007	0
PONT_MBS	2,828	Areia fina	3,077	0,632	Moderadamente selecionado	-0,573	Muito negativa	0,725	Platicúrtica	0	98,58	1,419	0
SMAR_MAS	2,66	Areia fina	2,451	0,903	Moderadamente selecionado	0,199	Positiva	0,735	Platicúrtica	0	99,68	0,321	0
SMAR_MBS	3,312	Areia muito fina	3,596	0,627	Moderadamente selecionado	-0,604	Muito negativa	0,687	Platicúrtica	0	99,93	0,067	0
CALH_MAS	2,912	Areia fina	3,110	0,493	Bem selecionado	-0,507	Muito negativa	0,620	Muito platicúrtica	0	99,98	0,022	0
CALH_MBS	2,955	Areia fina	3,173	0,668	Moderadamente selecionado	-0,470	Muito negativa	1,134	Leptocúrtica	0	96,15	3,854	0
CAOL_MAS	2,823	Areia fina	2,887	0,473	Bem selecionado	-0,185	Negativa	0,703	Platicúrtica	0	99,94	0,057	0
CAOL_MBS	3,011	Areia muito fina	3,195	0,453	Bem selecionado	-0,565	Muito negativa	1,727	Muito leptocúrtica	0	99,56	0,438	0
OLHO_MAS	2,627	Areia fina	2,472	0,513	Moderadamente selecionado	0,369	Muito positiva	0,612	Muito platicúrtica	0	99,94	0,058	0
OLHO_MBS	2,941	Areia fina	3,112	0,552	Moderadamente selecionado	-0,350	Muito negativa	0,845	Platicúrtica	0	98,17	1,833	0

Tabela 4. Parâmetros estatísticos da granulometria das praias da Ilha do Maranhão.

5.2. Permeabilidade com água

5.2.1. Praia da Ponta d'Areia

Com base nos ensaios geotécnicos *in situ*, os coeficientes de permeabilidade encontrados na Praia da Ponta d'Areia apresentaram uma variação entre as zonas de MAS e zona de MBS. Os coeficientes de permeabilidade nos pontos de MAS exibiram maiores valores, com destaque para o quilômetro 2,4 ($K = 0,0061$) e quilômetro 2,8 ($K = 0,0059$) que obtiveram os maiores índices, como mostra a **Figura 21** e **Tabela 4**. Em contrapartida, os pontos na zona de MBS, apresentaram os menores valores, onde o quilômetro 0,8 ($K = 0,0009$), quilômetro 2,4 ($K = 0,0010$) e quilômetro 0,8 ($K = 0,0009$) exibiram os menores índices.

Vale ressaltar que todos os ensaios realizados em pontos na MAS apresentaram os maiores valores de permeabilidade, enquanto os ensaios na MBS exibiram os menores índices.

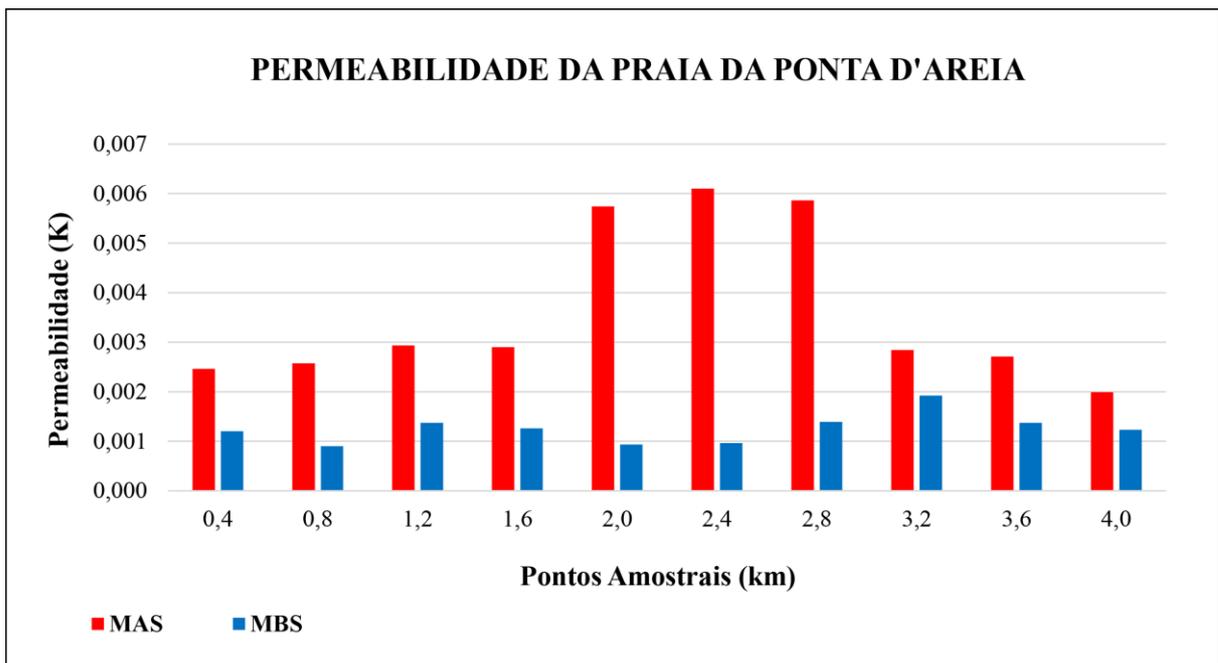


Figura 21. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia da Ponta d'Areia.

PRAIA DA PONTA D'AREIA			
MAS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)	MBS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)
0,4	0,0025	0,4	0,0012
0,8	0,0026	0,8	0,0009
1,2	0,0029	1,2	0,0014
1,6	0,0029	1,6	0,0013
2,0	0,0057	2,0	0,0009
2,4	0,0061	2,4	0,0010
2,8	0,0059	2,8	0,0014
3,2	0,0028	3,2	0,0019
3,6	0,0027	3,6	0,0014
4,0	0,0020	4,0	0,0012

Tabela 5. Coeficientes de permeabilidade na Praia da Ponta d'Areia.

5.2.2. Praia de São Marcos

Para a praia de São Marcos, pode se observar uma distribuição dos índices com menos variação em relação a praia anterior, com apenas o quilômetro 5,2 ($K = 0,0050$) destoando dos demais pontos na zona de MAS, apresentando um coeficiente maior. Nos pontos de MBS os índices também apresentaram variações, onde os menores valores foram encontrados no quilômetro 4,8 e quilômetro 5,6 ($K = 0,0012$) (**Tabela 4**).

Assim como na praia da Ponta d'Areia, nesta praia os índices de permeabilidade nos pontos situados na zona da MAS foram mais elevados, enquanto que os menores índices ocorreram em zonas de MBS (**Figura 22**).

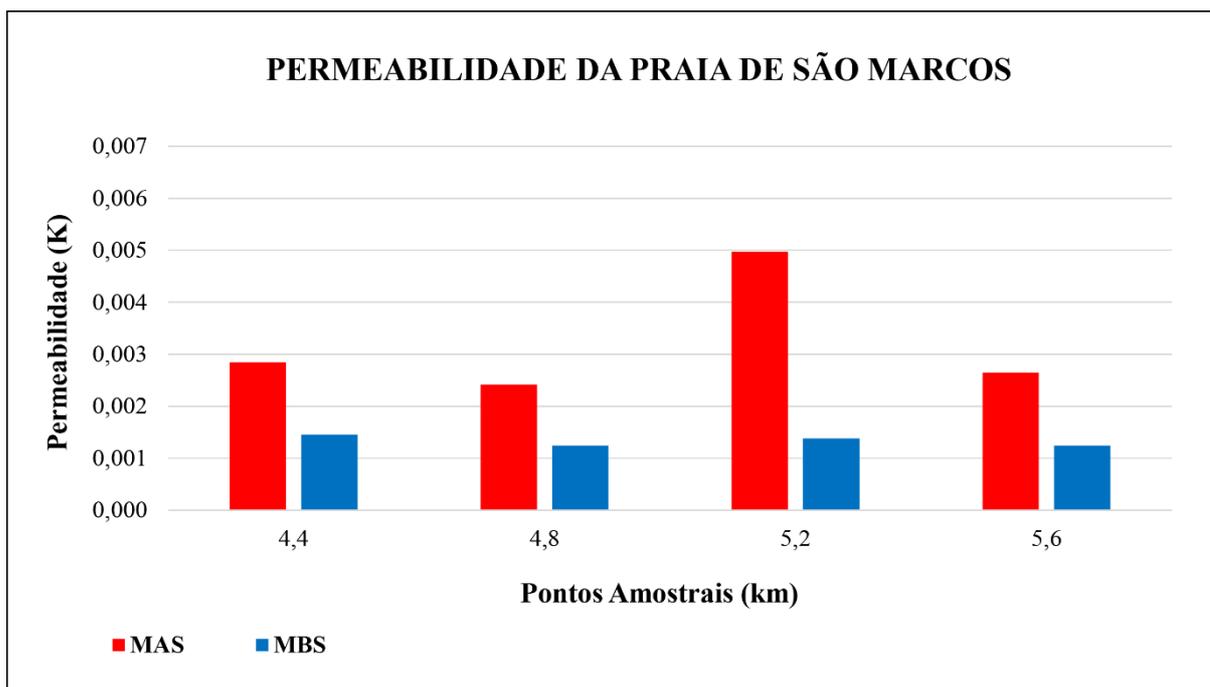


Figura 22. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia de São Marcos.

PRAIA DE SÃO MARCOS			
MAS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)	MBS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)
4,4	0,0028	4,4	0,0015
4,8	0,0024	4,8	0,0012
5,2	0,0050	5,2	0,0014
5,6	0,0026	5,6	0,0012

Tabela 6. Coeficientes de permeabilidade na Praia de São Marcos.

5.2.3 Praia do Calhau

Na praia do Calhau a permeabilidade seguiu um comportamento semelhante as praias anteriores, apresentando em seus resultados um pico entre os quilômetros 8,0 ($K = 0,0055$), quilômetro 7,6 e quilômetro 7,2 ($K = 0,0051$) na zona de MAS desta praia. Em contrapartida, os menores valores ocorreram na zona de MBS nos quilômetros 6,4 - 6,8 e igualmente no quilômetro 8,8 ($K = 0,0011$) e quilômetro 7,2 ($K = 0,0009$) **Tabela 6.**

Nesta praia, os coeficientes de permeabilidade apresentam seus maiores valores nas zonas de MAS em todos os pontos, assim como os menores valores encontram-se na zona de MBS, característica que ocorre nas praias da Ponta d'Areia e de São Marcos (**Figura 23**).

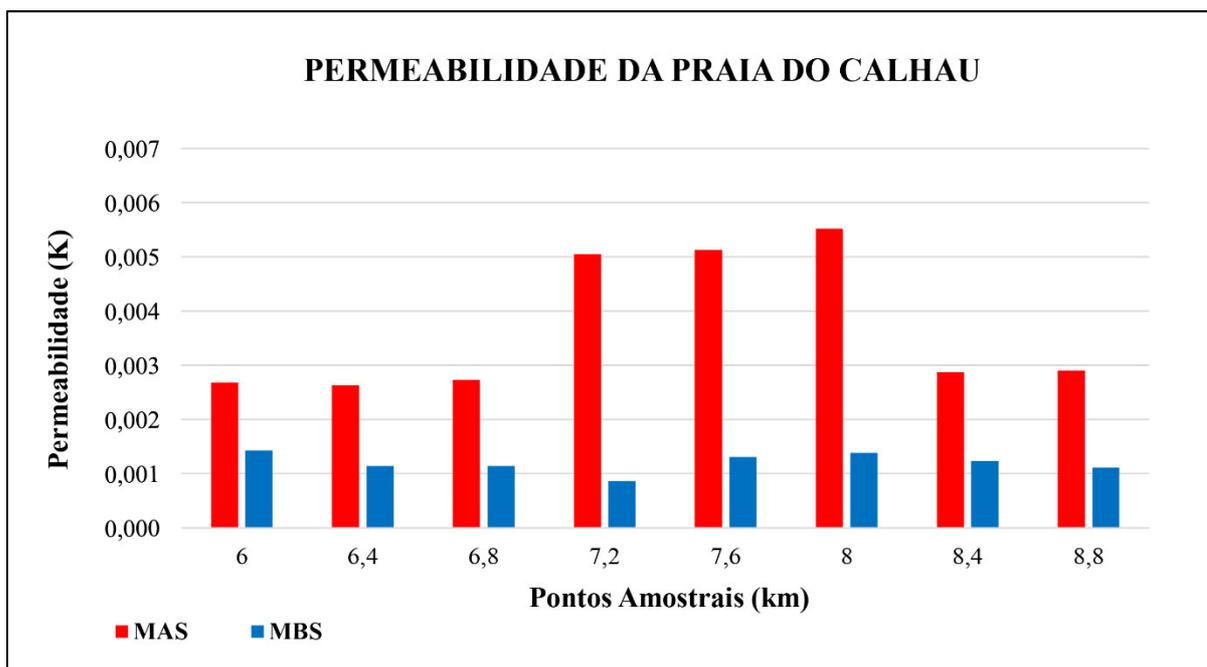


Figura 23. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Calhau.

PRAIA DO CALHAU			
MAS (km)	K água x10 ⁻³ (cm/s)	MBS (km)	K água x10 ⁻³ (cm/s)
6,0	0,0027	6,0	0,0014
6,4	0,0026	6,4	0,0011
6,8	0,0027	6,8	0,0011
7,2	0,0051	7,2	0,0009
7,6	0,0051	7,6	0,0013
8,0	0,0055	8,0	0,0014
8,4	0,0029	8,4	0,0012
8,8	0,0029	8,8	0,0011

Tabela 7. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Calhau.

5.2.4 Praia do Caolho

Os resultados de permeabilidade nesta praia apresentaram os maiores coeficientes de permeabilidade nas zonas de MAS, enquanto que os pontos situados na MBS apresentaram os menores coeficientes, **Figura 24**.

O maior coeficiente ocorreu na zona de MAS no quilômetro 9,6 ($K = 0,0050$) que apresentou o maior índice entre todos os pontos desta praia. Em compensação, na zona de MBS o quilômetro 9,2 ($K = 0,0008$) denotou o menor índice entre todos os pontos, **Tabela 7**.

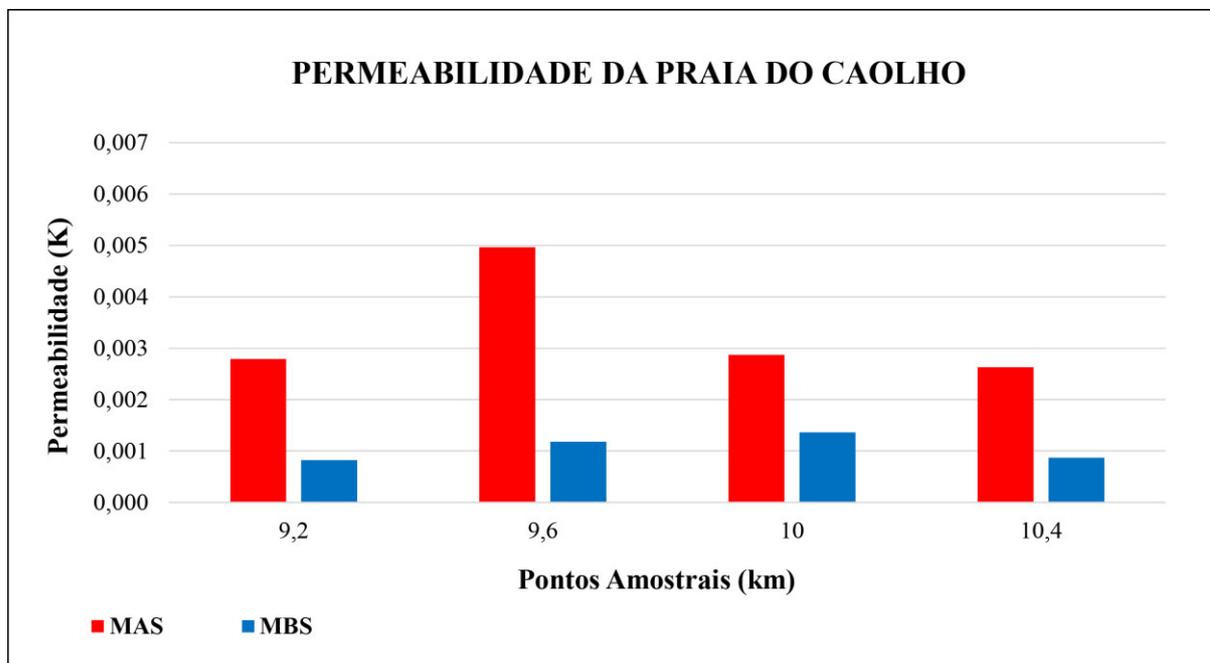


Figura 24. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Caolho.

PRAIA DO CAOLHO			
MAS (km)	K água $\times 10^{-3}$ (cm/s)	MBS (km)	K água $\times 10^{-3}$ (cm/s)
9,2	0,0028	9,2	0,0008
9,6	0,0050	9,6	0,0012
10,0	0,0029	10,0	0,0014
10,2	0,0026	10,2	0,0009

Tabela 8. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Caolho.

5.2.5 Praia do Olho d'Água

A praia do Olho d'Água por sua vez, apresenta pouca variação nos coeficientes de permeabilidade, exceto no quilômetro 12 da zona de MAS, que exibiu um valor mais elevado dentre todos os pontos amostrais ($K = 0,0056$), em contrapartida, na MBS no quilômetro 11,2 da praia, foi onde ocorreu o menor valor ($K = 0,0007$) (**Figura 25**).

Os demais pontos de amostragem exibiram poucas diferenças nos seus coeficientes de permeabilidade, em suas respectivas zonas de amostragem.

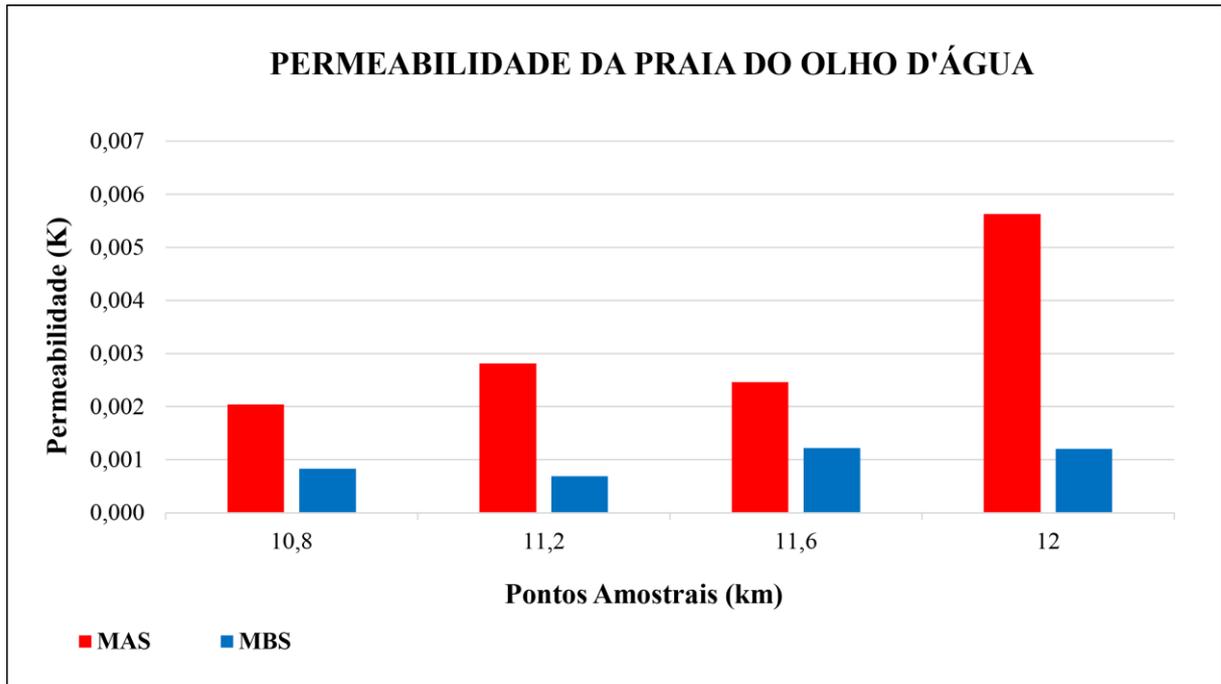


Figura 25. Distribuição gráfica dos índices de permeabilidade na Praia do Olho d'Água.

PRAIA DO OLHO D'ÁGUA			
MAS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)	MBS (km)	K água x10⁻³ (cm/s)
10,8	0,0020	10,8	0,0008
11,2	0,0028	11,2	0,0007
11,6	0,0025	11,6	0,0012
12,0	0,0056	12,0	0,0012

Tabela 9. Coeficientes de permeabilidade na Praia do Olho d'Água.

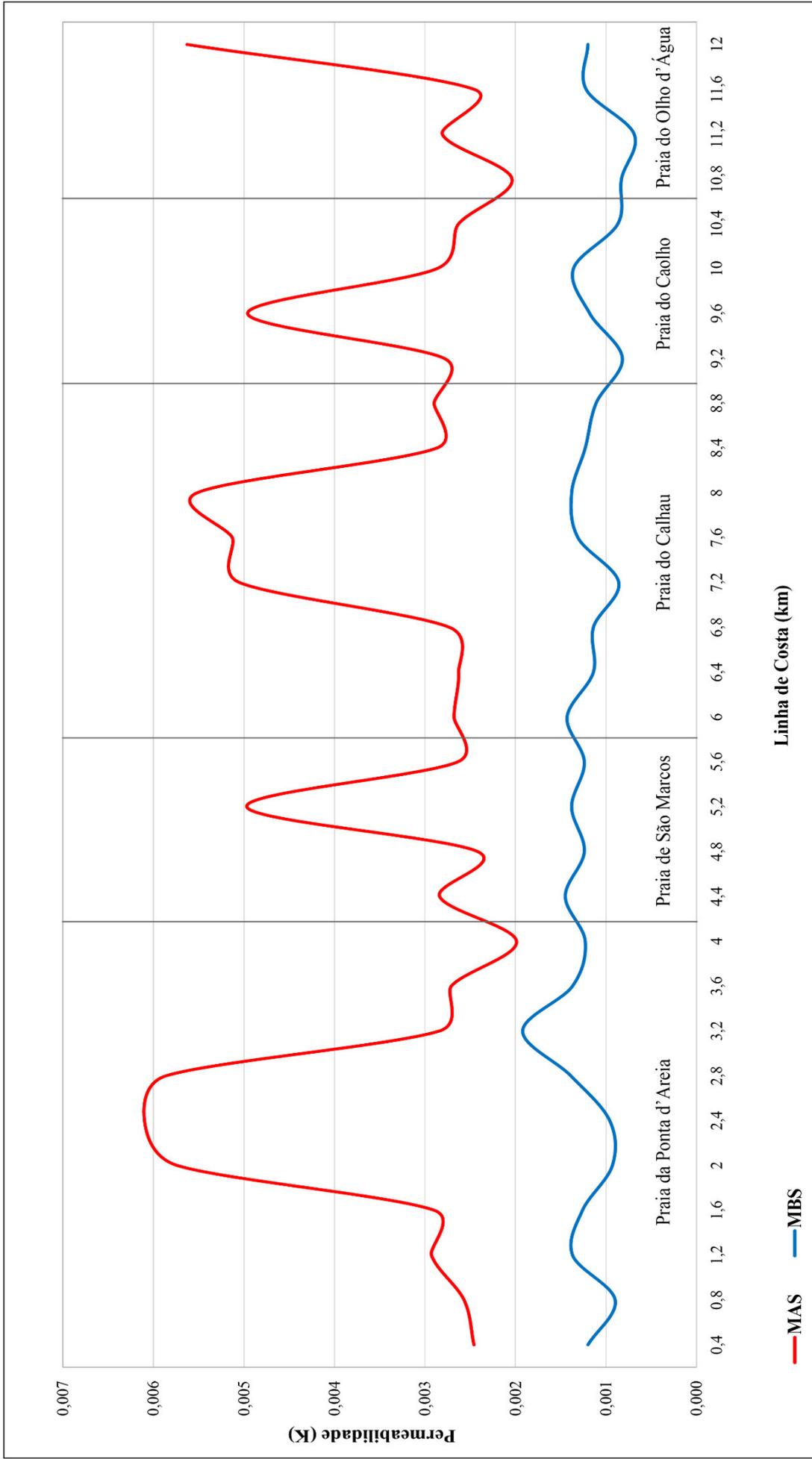


Figura 26. Permeabilidade das praias da Ilha do Maranhão e suas dissimilaridades frente as variações de maré.

5.3. Permeabilidade com hidrocarbonetos

O ensaio realizado com o óleo diesel S10 apresentou um tempo de infiltração de 12 min e 23s e teve uma infiltração com profundidade de aproximadamente 11 cm. A permeabilidade exibiu um coeficiente de $K = 0,00024$, e sua pluma de infiltração apresentou um formato elipsoidal arredondado, indicando que a sedimentação se arranja de forma homogênea, e desta forma obstrui com mais facilidade a percolação do óleo diesel S10.

No ensaio realizado com o óleo lubrificante 10W40, o tempo de percolação deste fluido foi de 61 min e 8s e teve uma infiltração com profundidade de aproximadamente 8 cm. onde a permeabilidade obteve um índice de $K = 0,00001$. Sua pluma de infiltração exibiu um formato achatado. A grau de comparação, vale ressaltar que a quantidade de óleo diesel S10 percolado na face praial foi maior que a quantidade do óleo lubrificante 10W40, devido a isso, a pluma de infiltração do diesel S10 apresenta um tamanho maior (**Figura 27**).

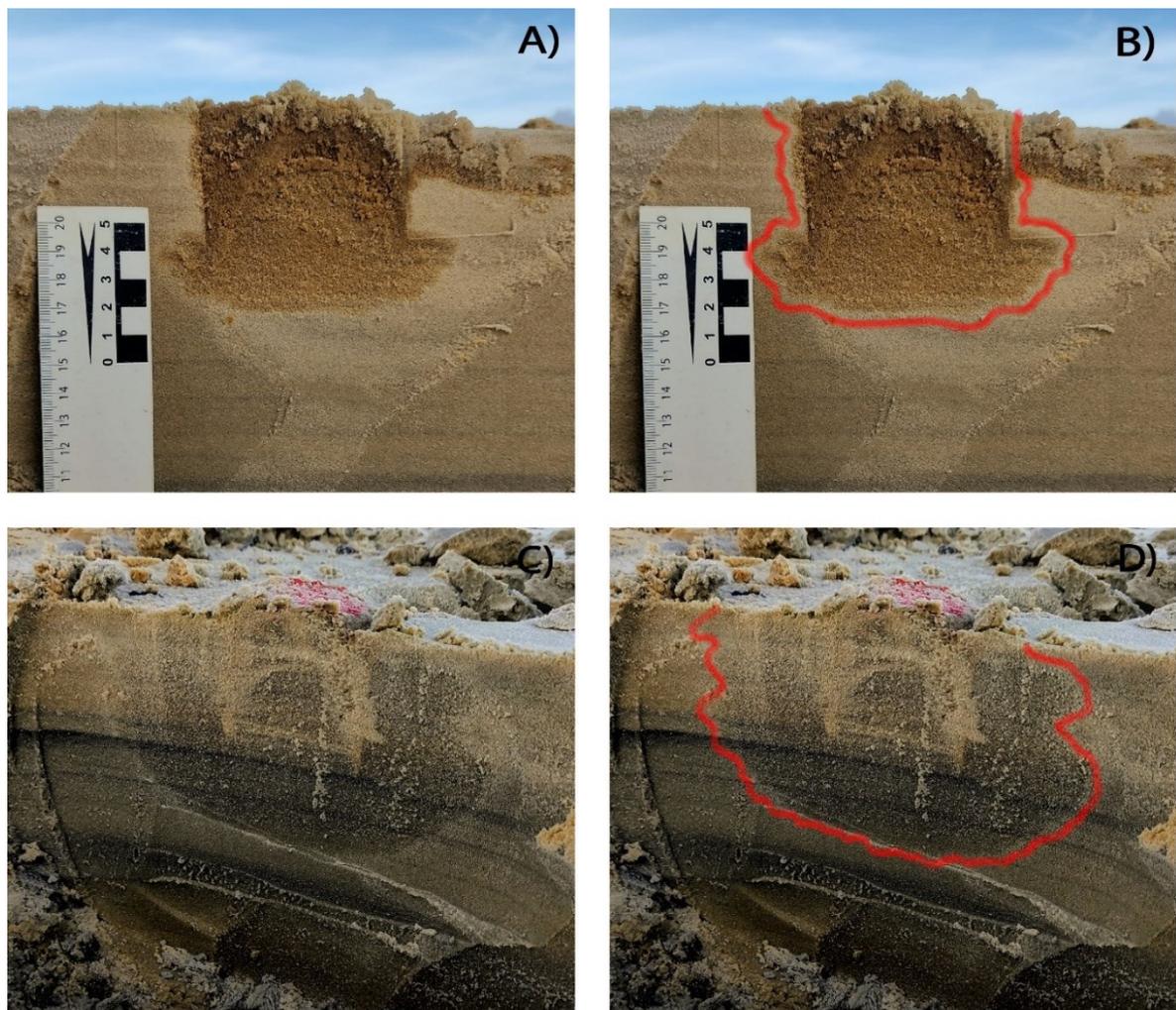


Figura 27. Plumões de infiltração observadas nos ensaios de permeabilidade. A e B são utilizando óleo diesel, C e D utilizando óleo de motor.

6. DISCUSSÃO

Na Praia da Ponta d'Areia, do quilômetro 2,0 - 2,8 foi observada uma dissimilaridade acentuada nos índices de permeabilidade entre as zonas de MAS e MBS, uma vez que, neste trecho da praia a permeabilidade teve altos valores na zona de MAS (os maiores valores dentre todas as praias estudadas), e na zona de MBS os valores foram muito baixos. Uma das razões para essa característica encontrada neste local da praia é a saturação do solo pela água, haja vista que, a saturação da zona de MAS é menor, pois sua sedimentação tem tempo para secar durante os períodos de baixa mar, enquanto a região de MBS é constantemente inundada (**Figura 28**). CERVEIRA (2018) identificou uma migração de águas da Lagoa da Jansen para a face praial da Praia da Ponta d'Areia via lençol freático, o que pode contribuir ainda mais para a saturação da região de MBS, explicando assim os baixos índices.



Figura 28. Afloramentos de águas advindas da Lagoa da Jansen na face praial.

Os maiores índices de permeabilidade encontrados nos quilômetros 2,0 – 2,4 da MAS, podem ser explicados por se situarem no setor mais erosivo desta praia, uma vez que, estão presentes na menor faixa de areia de toda a praia, em decorrência de afloramentos rochas lateríticas (espigão natural) localizados entre a Praia da Ponta d'Areia e a Praia de São Marcos, que funcionam como uma barreira que impede/desvia o transporte longitudinal de sedimentos que alimentaria este setor (**Figura 29**).

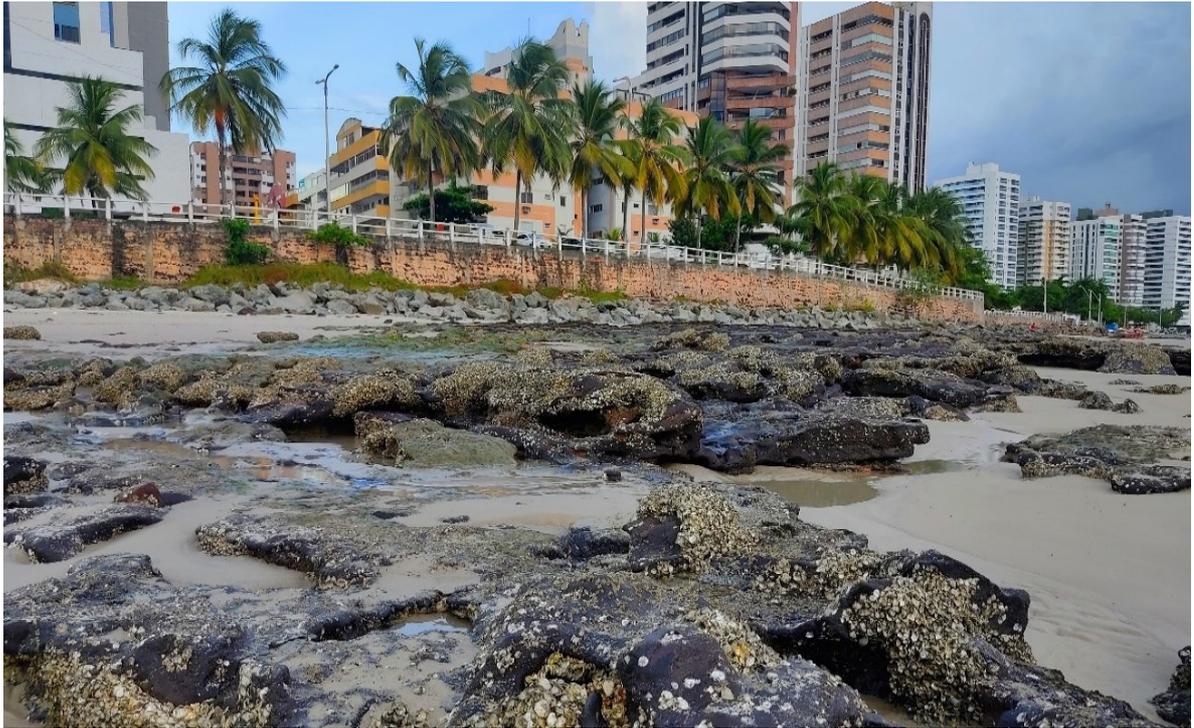


Figura 29. Afloramentos lateríticos oriundos de eventos erosivos da Formação Alcântara.

Na MAS da praia, os sedimentos classificam-se em muito leptocúrticos, o que indica transporte e remobilização de sedimentos praias. ALBUQUERQUE (2018) concluiu que o setor mais erosivo da Praia da Ponta da Areia encontra-se localizado nas proximidades da zona sombra de afloramentos de rochas lateríticas que desempenham funções semelhantes à de um espigão (**Figura 30**).



Figura 30. Enrocamentos degradados por conta da erosão presentes na Praia da Ponta d' Areia.

VAN RIJN (2011) destaca que esse tipo de estrutura rígida pode levar a um aumento da variação costeira, com taxas de erosão muito maiores do que a situação anterior. Isso ocorre por que esse tipo de estrutura, por vezes, leva a saturação da deriva litorânea (em maior ou menor grau), condicionando uma nova situação de dinâmica costeira.

Provavelmente a erosão pode estar atuando na remobilização de materiais detríticos de granulometria grossa, advindos das falésias e ou das estruturas de enrocamentos. Este material é recoberto por uma camada superficial de sedimentos mais finos em determinado período do ano. Quando a água transpassa esta camada de sedimentos finos e encontra partículas mais grosseiras a percolação será maior (**Figura 31**).

FRANCO (2018) identificou que neste local da praia ocorre grandes variações do sistema de banco e calha durante alguns meses, e que por vezes está mais evidente altimetricamente, isto é, com o perfil menos plano e por vezes espacialmente com a migração do banco e calha no sentido *onshore* e *offshore*.



Figura 31. Escavações na sedimentação da Praia na MAS com presença de materiais detríticos, onde A é no km 2,0 e B situa-se no km 2,4.

No que diz respeito as características granulométricas desta praia, ocorreram diferenças entre as zonas de MAS e MBS, onde as diferenças entre a seleção sedimentar podem ter influência também nas diferenças de percolação da água. Na zona de MAS, a sedimentologia se apresentou de forma bem selecionada, o que reflete numa maior permeabilidade. Para a zona

de MBS, a classificação em areia fina, foi moderadamente selecionada, o que reforça os baixos índices de permeabilidade nesta zona.

KRUMBEIN & MONK (1942) afirmam que quanto maior o desvio padrão de uma determinada amostra, menor é a sua permeabilidade, sendo esta principalmente função do tamanho médio e desvio padrão.

A praia de São Marcos apresentou poucas variações em seus valores de permeabilidade, apresentando apenas uma variação mais acentuada no quilômetro 0,8 na zona de maré alta, onde este ponto foi realizado próximo a uma estrutura de enrocamento (*seawall*) paralelos à praia, o que pode estar ligado a mesma característica encontrada próximos aos enrocamentos da Praia do Ponta d'Areia, isto é, com presença de detritos de granulometria grosseira recobertos por uma camada de areia fina. **(Figura 32).**

Na caracterização sedimentar das zonas de MAS e MBS desta praia, houve em ambas zonas uma classificação em moderadamente selecionada, ocorrendo diferenças na classificação entre areia fina (MAS) e areia muito fina (MBS), o que pode se representar na permeabilidade desigual nestas zonas, uma vez que uma sedimentação mais fina tende a dificultar mais a percolação de fluidos na face praial.

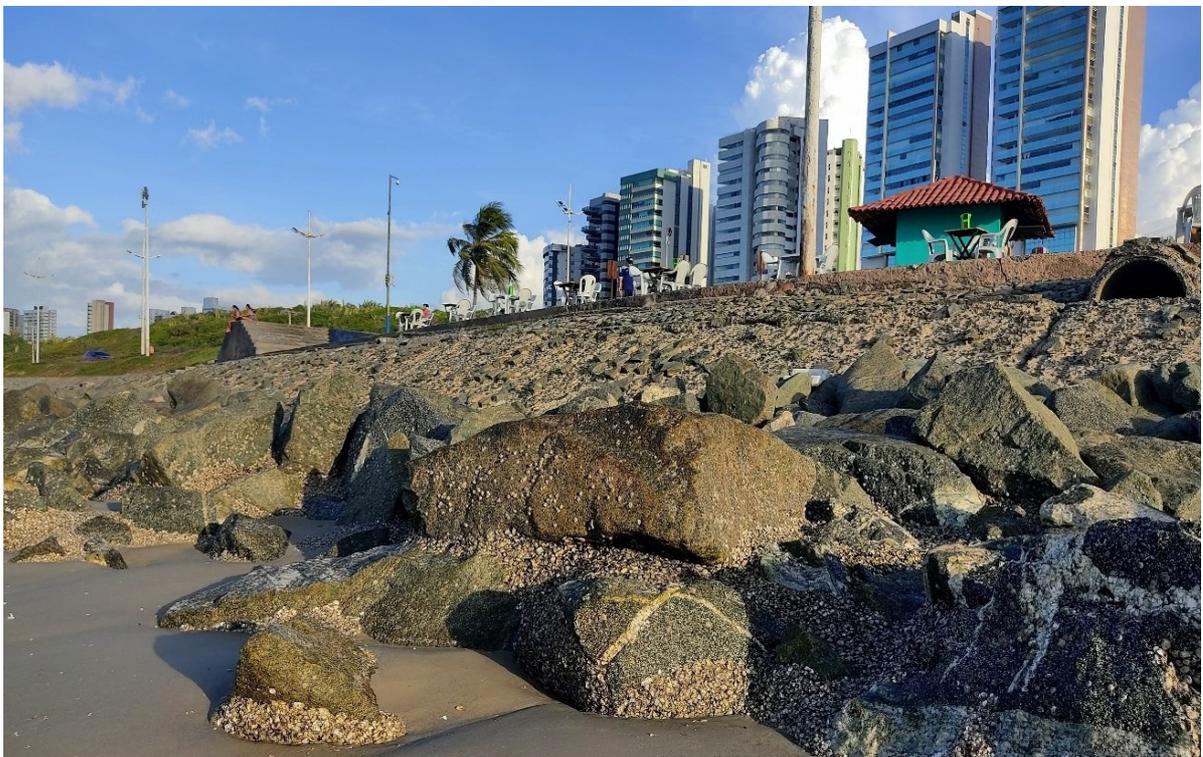


Figura 32. Enrocamentos presentes na Praia de São Marcos.

A praia do Calhau exibiu entre seus pontos amostrais algumas diferenças, tendo em vista que entre os quilômetros 7,2 - 8,0 houve um aumento significativo nos coeficientes de permeabilidade. A praia do Calhau dentre as praias monitoradas é a única que apresenta dunas frontais bem desenvolvidas e também, na face praial, um sistema de banco e calha que se mantem estável (**Figura 33**).



Figura 33. Campo de dunas na Praia do Calhau.

Ainda na Praia do Calhau, nos quilômetros 6,4 – 7,2 e quilômetro 8,8 na zona de MBS, ocorreram baixos valores de permeabilidade nesta praia. A presença da foz do Rio Calhau (próximo aos quilômetros 6,4 – 7,2) e Rio Pimenta (próximo ao quilômetro 8,8), tendem a deixar a sedimentação mais saturada pela água proveniente da descarga dos rios (**Figura 34**). FRANCO (2018) descreve que o Rio Pimenta tem um papel fundamental na dinâmica da morfologia deste segmento praial sendo responsável por saturar os sedimentos da praia que se tornam mais suscetíveis a erosão. OLIVEIRA (2016) diz que os baixos valores de infiltração na linha d'água são explicados pela saturação dos poros provocada pela baixa profundidade do lençol freático.

No que diz respeito as características sedimentológicas, na zona de MAS da Praia do Calhau, a presença de sedimentos bem selecionados corrobora com os altos valores de permeabilidade encontrados nesta zona da praia. Em inversão, a zona de MBS exibiu

sedimentos moderadamente selecionados, e dessa forma, contribuindo pra uma permeabilidade mais baixa.



Figura 34. Foz do Rio Calhau.

Por sua vez, a Praia do Caolho mostrou algumas variações entre os pontos de amostragem, como no quilômetro 9,6 na zona de MAS, que apresentou o maior valor de permeabilidade. O menor índice de permeabilidade ocorreu no quilômetro 9,2 da zona de MBS ocorreu próximo a foz do Rio Pimenta, onde a saturação da face praial aumenta pela descarga de água advinda do rio, como também ocorre nos menores valores encontrados na Praia do Calhau. PEREIRA *et al.* (2015) e FRANCO (2018), explicam que o Rio Pimenta atua na dinâmica praial fornecendo grande descarga sedimentar, mesmo não havendo uma caracterização mais aprofundada do que é despejado praias maranhenses e também saturando os sedimentos praias.

A sedimentologia da Praia do Caolho, apresenta em sua sedimentação grãos bem selecionados tanto na zona de MAS quanto na zona de MBS, porém a zona de MAS apresenta em sua classificação areia fina, enquanto que na MBS a classificação é de areia muito fina, o que potencializa os resultados diferentes de permeabilidade.

A praia do Olho d'Água indicou algumas variações entre seus pontos amostrais, onde dentre todas as praias, apresentou o menor coeficiente de permeabilidade na zona de MBS no quilômetro 11,2, seguido por um baixo valor nos quilômetros 11 - 12. A presença de descarga fluvial nestes quilômetros da praia, influenciando na saturação da face praial pode esclarecer

os baixos valores encontrados neste local (**Figura 35**). A presença de espigões naturais nestes quilômetros da praia também pode ter ligação com os baixos índices.

A sedimentologia na Praia do Olho d'água não apresentou tantas diferenças significativas como nas praias anteriores, onde na zona de MAS e MBS, os sedimentos são moderadamente selecionados, classificados em areia fina. Isto pode implicar que nesta praia fatores como a saturação do solo e suas características sedimentares podem estar atuando com mais influência na dissimilaridade encontrada nos resultados de permeabilidade entre as zonas de MAS e MBS.

Comparando com os resultados encontrados por OLIVEIRA (2016) observa-se que ocorreu o inverso das praias da Ilha do Maranhão, onde as praias com baixo ou moderado grau de seleção (caracterizadas como bimodais ou polimodais) apresentaram os maiores valores de permeabilidade no Sistema Patos - Guaíba. Normalmente, solos com pobre grau de seleção apresentam baixos valores de permeabilidade já que os interstícios intergranulares são preenchidos por sedimentos de menor granulometria que obstruem os poros e reduzem a permeabilidade.



Figura 35. Ensaio de permeabilidade próximo a uma calha fluvial.

Os ensaios de permeabilidade com os derivados de hidrocarbonetos mostraram que houveram variações no formato das plumas de infiltração, onde os foram observados bulbos em formatos elipsoidais. No ensaio realizado com óleo diesel S10, o formato com tendência

circulares ou elípticas foi mais evidente, em relação ao ensaio feito com o óleo lubrificante 10W40, que apresentou um formato bem mais achatado. Este padrão pode ser explicado em razão da viscosidade diferente entre os fluidos e sedimentologia local, onde os sedimentos finos apresentam uma distribuição homogênea sem nenhuma estratificação aparente. A velocidade de infiltração e a área de espalhamento entre os dois fluidos apresenta diferenças significativas, uma vez que, que o óleo diesel S10 consegue abranger uma área de penetração no substrato bem maior numa velocidade menor, em comparação ao óleo lubrificante.

PEREIRA & CALLIARI (2005), ao realizar ensaios de permeabilidade com óleo em praias oceânicas do RS encontraram na penetração do óleo um formato cônico com tendências retangulares em praias de granulometria fina e tendência circular ou elíptica em praias de granulometria média a grossa. Consonante a estrutura do pacote sedimentar, ou no caso o grau de seleção do mesmo, a pluma de infiltração do óleo (a forma como o óleo se espalha no ambiente) pode apresentar diferentes aspectos. Em um pacote sedimentar homogêneo, sem estratificações ou horizontes diferenciados e pequenas variações no tamanho e distribuição dos poros, a pluma apresentará forma de gota, predominando a componente vertical regida pela força da gravidade (STERN, 2007).

Dentre todos os fatores, um dos que mais influencia o tempo de percolação do fluido é a umidade. Isto já foi observado por ADAMS (2007), que determina o teor de umidade como fator secundário, restringindo a profundidade de infiltração do óleo, em vista que a insolubilidade do óleo na água faz que este encontre dificuldade em penetrar na matriz sedimentar, ficando restrito aos primeiros centímetros do solo.

CUNHA (2017) comprovando que o teor de umidade funciona como uma barreira à percolação de fluidos derivados de hidrocarbonetos, apresenta como ação de contingência a possibilidade de utilizar a saturação do sedimento praial, sobretudo no setor pós-praia, em acidentes com derrame de derivados de hidrocarbonetos em ambiente praial.

7. CONCLUSÃO

De maneira geral, os resultados obtidos mostram que os coeficientes de permeabilidade apresentaram dissimilaridades em zonas distintas da praia, onde a permeabilidade exibiu seus maiores valores na zona de MAS em todas as praias, enquanto que nas zonas de MBS a permeabilidade exibiu menores coeficientes.

A saturação da sedimentação pela água na zona de MBS é um dos fatores mais influentes na diferença de percolação entre zonas distintas das praias, uma vez que, onde há presença de afloramentos de água via lençol freático, espigões naturais e foz de rios, são onde foram encontrados os menores índices de permeabilidade.

Os maiores índices de permeabilidade entre todas as praias encontram-se na Praia da Ponta d'Areia (quilômetro 2,0 – 2,8) e associam-se a zona mais erosiva desta praia. Além disso, encontra-se um baixo estoque sedimentar devido a remobilização de sedimentos neste local.

Todas as amostras de sedimentos coletadas na zona de MAS em todas as 5 praias, foram classificadas como areia fina e alternaram entre bem selecionados e moderadamente selecionados. As praias da Ponta d'Areia e Calhau, onde se encontraram os maiores valores de permeabilidade dentre todas as praias na MAS, foi onde também houve presença de uma sedimentação bem selecionada.

Em casos de eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos que atinjam as praias da Ilha do Maranhão, o lençol freático estaria mais vulnerável à contaminação de derivados de hidrocarbonetos menos densidade como o diesel S10, tendo em vista que, quanto menos viscoso for o derivado, mais rápida e a sua penetração na face praial. As praias da Ponta d'Areia e Calhau, estariam mais suscetíveis a uma maior contaminação, uma vez que, estas praias apresentam altos índices de permeabilidade na MAS.

De acordo com os dados granulométricos e o índice de sensibilidade de acordo com o MMA (2007), as praias da Ilha do Maranhão apresentam uma sensibilidade de nível ISL 3, uma vez que as praias apresentam uma sedimentação com classificação de areia fina e areia muito fina.

As praias da Ilha do Maranhão apresentam diferenças em relações as suas feições, características sedimentológicas e morfodinâmicas, portanto, sugere-se estudos mais detalhados e específicos sobre a permeabilidade para cada praia, sendo estes fundamentais para o melhor entendimento e sob o ponto de vista operacional durante a realização de planos de

contingência e limpeza de praia. Esses tipos de informações podem ser de grande utilidade na redução de impactos causados por eventuais derrames, minimizando também esforços operacionais e aumentando o sucesso de medidas mitigatórias, reduzindo custos.

8. REFERÊNCIAS

- ADAMS R. B. 2007. **Identification of essential oil components by gas chromatograph/mass spectrometry**. Allured, Carol Stream. 804p.
- ALBUQUERQUE, S.S. 2018. **Estratigrafia e Evolução do Esporão Arenoso Da Ponta Da Areia, São Luís -MA**. Dissertação De Mestrado, Universidade Federal Do Maranhão, Programa De Pós-Graduação Em Oceanografia.116p.
- ALMEIDA, H. G. (ORG.). 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil**. São Luís SW/NW, Folhas Sa.23-V E Sa.23-Y. Estados Do Pará E Maranhão. Escala 1:50 0.000. Brasília: CPRM
- BRAGA, F.P.S. 2007. **Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: Um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo**. Belém, 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós. Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- BRASIL, 2000. Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Zona Costeira e Marinha**. Disponível em: Acesso em: 10 Jul. 2015.
- CABRAL J., KOIDE S. & SIMÕES S. (2000). **Recursos Hídrico Subterrâneos. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. JB D. Piava, Paiva, EMCD. Santa Maria, RS.
- CAMARGO, M. G. 2006. **SYSGRAN: Um Sistema De Código Aberto Para Análises Granulométricas Do Sedimento**. *Revista Brasileira De Geociências*: 345-352.
- CAPUTO, H. P. 1980. **Mecânica de solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro, Editora Livro Técnicos e Científicos.
- CAPUTO, H. P. 1988. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª edição. Volume 1. Editora LTC. Rio de Janeiro. 244 p.
- CETESB 2007. **Ambientes Costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza. Manual de orientação**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. p. 120.

CERVEIRA, G. S. 2018. Origem E Evolução Da Lagoa Da Jansen. Departamento De Oceanografia E Limnologia, Universidade Federal Do Maranhão- UFMA, Trabalho De Conclusão Do Curso De Oceanografia. 58p.

CUNHA, I. R. V. 2017. **Permeabilidade Da Praia Do Caripi (Barcarena – Pa) A Eventuais Derrames De Derivados De Hidrocarbonetos**. Instituto De Geociências, Universidade Federal Do Pará, Trabalho De Conclusão De Curso. 48p.

DAVIES J. M. & TOPPING G. 1995. **O impacto de um derrame de óleo em águas turbulentas: O Braer**. Rio de Janeiro, FEMAR.

DIRETORIA de HIDROGRAFIA e NAVEGAÇÃO. 2004. **Tábua das Marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco)**. Disponível em: <<http://www.dhn.mar.mil.br>>

EL-ROBRINE, M.; SILVA, M. M. D.A; EL-ROBRINE, M. H.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. F. E.; SANTOS, J. H. S. DOS & VIANA, J R. 2006. MARANHÃO. In: Dieter, M. (Org). **Erosão E Progradação Do Litoral Brasileiro. Brasília: Ministério Do Meio Ambiente / Secretária Ambiental De Qualidade Nos Assentamentos Humanos**. P. 87-130.

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

FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos Processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão**. Rio Claro: IGCE - Cp - UNESP, 1996. 249p.

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

FORTUNATO, I. & FORTUNATO NETO, J. 2011. **Risco ambiental à luz dos princípios da precaução e da prevenção**. In: GUIMARÃES, S.T.L. et al (Orgs). Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais. 1ª edição. IGCE/UNESP/RIO CLARO, Rio Claro. p. 12-31.

FRANCO, J. B.2018. Caracterização Morfodinâmica Das Praias Oceânicas Da Ilha Do Maranhão. Departamento De Oceanografia E Limnologia, Universidade Federal Do Maranhão-UFMA, Trabalho De Conclusão Do Curso De Oceanografia. 58p.

GLUYAS J. G. & SWARBRICK, R. E. 2013. **Petroleum Geoscience**. Ed. John Wiley & Sons.

HAYES, M.O. & MICHEL, J. 1999. **Factors determining the long-term persistence of Exxon Valdez oil in gravel beaches**. Marine Pollution Bulletin: vol. 38 (2): p. 92-101.

KRUMBEIN, W. C., & MONK, G. D. (1942). **Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand: Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers**, v. 151.

LAWAND, A., DE ALMEIDA SILVA, C. D., & DE OLIVEIRA, L. P. F. (2021). **Derramamento de óleo no nordeste brasileiro: Responsabilização e desdobramentos**. *Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy-International Law and Business Review*, 1(1), 84-113.

McLAREN, P. 1985. **Behavior of diesel fuel on a high energy beach**. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 16 (5): p. 191-196.

MENDES, A.C. & SILVA, M.S. & FARIA JR., L.E.C. **A expansão urbana e seus efeitos danosos ao meio ambiente da Ilha do Atalaia – Salinópolis/PA** In: COSTA, M.L & ANGÉLICA R.S. (Ed). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Finep/SBG-NO: 1997, p. 359-398.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2007a **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. 133 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2007b. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade. 107 p.

NIMER, E. 1989. **Climatologia Do Brasil**. 2.ED. Rio De Janeiro: Fundação IBGE, 421p.

OLIVEIRA, F.A.M. & VINZON, S.B. 2003. **Dinâmica do escoamento na face da praia**. In: IX CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. Anais... Recife. P.3.

OLIVEIRA, A. M. 2014. **Permeabilidade de Praias Fluviais e estuarinas Amazônicas a Eventuais Derrames de Derivados de Hidrocarbonetos: O Caso das Praias Grande (Ilha de Outeiro-PA) e Caripi (Barcarena-PA)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Pará.

OLIVEIRA, E. B. 2016. **Variações Da Permeabilidade Ao Óleo Em Praias Arenosas Do Sistema Patos Guaíba, Rs, Brasil**. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em

Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 90p.

PEREIRA, P.S. 2005. **Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geo-morfológicos**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Geológica) – Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 161 p.

PEREIRA, E. D. **Avaliação Da Vulnerabilidade Natural À Contaminação Do Solo E Aquífero Do Reservatório Batatã - São Luís (MA)**. 2006. XVIII, 141 F. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto De Geociências E Ciências Exatas, 2006.

PEREIRA, P.S. & CALLIARI, L.J. 2005. **Permeabilidade das praias oceânicas do Rio Grande do Sul (RS) em relação a eventuais derrames de óleo**. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS. Anais...Salvador. p.6.

PEREIRA, D. M.; MORENO, T. G.; LIMA, L. G.; SOUZA, L. J.; GUIMARAES, W. B. D.; BORGES, K. K.; FRANCO, B. J.; FERREIRA, M. S.; CERVEIRA, G. S.; PEREIRA, V. V. 2015. **Avaliação Morfoscópica De Desembocaduras Fluviais Nas Praias Do Calhau, Olho D'água E Marcela Em São Luís-MA**. In: XXVII Semana Nacional De Oceanografia, Belém, Pa.

PONTES S. A. P. ET AL. 1987. **Avaliação Regional Do Setor Mineral - Maranhão**, Brasília: DNPM, 186P.

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

REBÊLO, J. M. M.; ARAÚJO, J. A. C. D.; CARVALHO, M. L.; BARROS, V. L. L.; SILVA, F. S.; OLIVEIRA, S. T. D. **Flebótomos (Diptera, Phlebotominae) da Ilha de São Luis, zona do Golfão Maranhense, Brasil**. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v. 32, n. 3, p. 247-253, 1999.

RODRIGUES, T. L. N. ET AL. 1994. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil. São Luís**. Folha Sa.23-Z-A, Cururupu. Folha Sa.23-X-C, Estado Do Maranhão. Brasília, Cprm,

SELLEY, R.C. 1998. **Elements of Petroleum Geology**. 2ª edição. Londres: Academic Press. 470 p.

STERN, A.G. 2007. **Parâmetros texturais de sedimentos para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo Cartas SAO**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências: Universidade de São Paulo/USP, São Paulo. 103 p.

SILVA, Q. D. 2012. **Mapeamento Geomorfológico Da Ilha Do Maranhão**. 248 F. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade De Ciências E Tecnologia. Disponível em: .

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 318p. 1973.

VEIGA JÚNIOR, J. P. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil**. São Luís Ne/Se, Folhas Sa.23-X E Sa.23-Z. Estados Do Maranhão E Piauí. Escala 1:500.000. Brasília: Cprm.

VAN RIJN, L. C. **Coastal erosion and control**. *Ocean & Coastal Management*. v. 54, Issue 12, p. 857-956, Dec. 2011.

ZIOLLI R. L. 2002. **Aspectos ambientais envolvidos na poluição marinha por petróleo**. *Revista saúde e ambiente*. v3, n.2, p.32 – 41.

WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P.; SHORT, A.D. e GREEN, M.O. **Morphodynamics of a macrotidal beach**. *Marine Geology*. 1982. 50, 97-128.