



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AMANDA MORAES OLIVEIRA

**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)**

BELÉM – PARÁ

JANEIRO - 2014

AMANDA MORAES OLIVEIRA

**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
apresentado à Faculdade de
Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará - UFPA, em cumprimento às
exigências para a obtenção do título
de Bacharel em Oceanografia.
Orientador: Prof. Msc. Amílcar
Carvalho Mendes.

Belém
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

- O48p Oliveira, Amanda Moraes
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) / Amanda Moraes Oliveira – 2014
64 f. : il
Orientador: Amilcar Carvalho Mendes
Coorientador: Artur Gustavo Oliveira de Miranda
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
1. Praias - Amazônia. 2. Sedimentos (Geologia) - Análises. 3. Hidrocarbonetos. I. Título.

CDD 22. ed.: 551.45709811

AMANDA MORAES OLIVEIRA

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 apresentado
à Faculdade de Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará
– UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia.

Data de aprovação: 23 / 01 / 2014

Conceito: Excelente

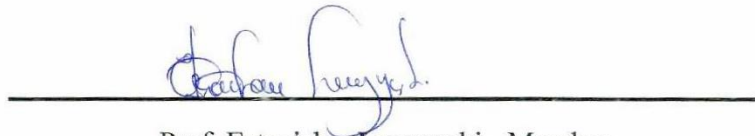
Banca examinadora:



Prof. Amilcar Carvalho Mendes - Orientador
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



Msc. Artur Gustavo Oliveira de Miranda – Coorientador
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



Prof. Estanislau Luczynski - Membro
Doutor em Energia
Universidade Federal do Pará



Prof. Sury de Moura Monteiro - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Aos meus pais por todo apoio e a Professora Odete Silveira (*in memoriam*) por todos ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente em minha vida, pelas conquistas e sua imensa misericórdia.

A Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências e ao Museu Paraense Emilio Goeldi pela oportunidade de desenvolver este trabalho e infra-estrutura disponibilizada.

Ao Projeto de Pesquisa “Mapeamento e Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo (Cartas SAO) para a Bacia da Foz do Amazonas”, pelo apoio financeiro nas etapas de campo.

Dedico em especial agradecimento ao Professor Amilcar Mendes por aceitar me orientar em um curto espaço de tempo, por toda paciência, disponibilidade, auxílio na busca de materiais e conversas esclarecedoras nas horas de maior desespero. Espero um dia ser pelo menos metade do pesquisador que é o senhor. Muito Obrigada!

Agradeço também ao LAMIGA e LAPAC por disponibilizarem os materiais para análises granulométricas e viscosidade.

Aos meus velhinhos Francisco e Walkiria e ao meu irmão Victor por todo amor e compreensão que me dedicaram durante esses anos, vocês são a verdadeira razão da minha dedicação. Eu amo muito vocês!

Agradeço a minha grande família Oliveira e Moraes, em especial a minha falecida avó Valdomira que não chegou a ver minha vitória, mas é uma das principais motivações desse trabalho. Agradeço por todas as gargalhadas, por falarem tão alto, mas principalmente pelo incentivo e por me mostrarem o verdadeiro significado da palavra união.

A professora Odete Silveira por me aceitar no LIOG, os ensinamentos, conversas e amizade que ultrapassavam o âmbito profissional. Agradeço o privilégio de poder ter conhecido uma pessoal tão especial e batalhadora.

Aos meus queridos colegas e amigos do LIOG e LOF André, Raiza, Lidiane, Fábio, Aldo pela companhia e em especial aos que ajudaram diretamente na elaboração do trabalho, Gustavo, Mauricio e Fabiola por toda ajuda na graduação e auxílio no uso de programas os quais não era familiarizada. Aos amigos Andrey, Priscila e Danielle que além de ajudarem na produção do trabalho, foram sempre muito companheiros nos momentos mais difíceis.

Aos colegas de curso, principalmente a turma de 2009 que resistiu bravamente, à Lorena, Shirlen, Priscilla Natasha, Wilson, Ellery, Cíntia, Luíza, Thaís, Yuri, Pablo,

Jonatas e agregados Kleper e Leon, que vocês tenham muito sucesso e sejam excelentes oceanógrafos.

Aos professores da Faculdade de Oceanografia por toda paciência e dedicação que tiveram em transmitir o conhecimento a nossa turma (que não era fácil!).

Aos amigos Rosana e Isaías pelos 8 anos de amizade, comigo em todos os momentos e os quais possuo grande carinho.

À vocês os meus mais sinceros agradecimentos, que Deus abençoe a todos!

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

Madre Teresa de Calcuta

RESUMO

O impacto ambiental causado por vazamento de petróleo e derivados tem sido uma ameaça permanente a integridade dos ecossistemas costeiros. O monitoramento e elaboração de planos de contingência, a partir do conhecimento das características ambientais, são fundamentais para evitar maiores impactos ao ecossistema e as atividades socioeconômicas desenvolvidas em ambientes eventualmente atingidos. Nesse contexto, o trabalho foi realizado nas praias do Caripi (Barcarena) e Grande (Ilha de Outeiro) sob influência fluvial e estuarina, respectivamente, próximos aos principais portos administrados pela Companhia Docas do Pará, representando risco potencial a esse ambiente. O objetivo de avaliar a permeabilidade superficial dos sedimentos praias através de ensaios *in situ* com água, gasolina e óleo diesel a partir de um permeâmetro em duas porções do prisma praial, encontrando o coeficiente de permeabilidade. Além disso, foram feitas análises de amostras de sedimentos e viscosidade dos fluidos para verificar a influencia de fatores secundários na permeabilidade da matriz sedimentar. Os dados obtidos nos ensaios sugeriram que a permeabilidade das praias estudadas não apresentam um padrão uniforme, sendo a granulometria, textura e umidade contida no sedimento os fatores preponderantes nos resultados de coeficiente de permeabilidade. Apesar de apresentar granulometria mais fina, a Praia Grande, na Ilha de Caratateua, apresentou maior permeabilidade com matriz sedimentar composta predominantemente de grãos mais arredondados que facilitam a infiltração dos fluidos, demandando ação de resposta mais rápida em relação ao Caripi.

Palavras-chave: Praias-Amazônia. Sedimentos (Geologia) - Análises. Hidrocarbonetos.

ABSTRACT

Environmental impacts caused by oil and derivatives leaks have become a permanent threat to coastal ecosystems' integrity. Monitoring and preparation of contingency plans, from the knowledge about environmental characteristics, are fundamental to avoid major impacts to ecosystem and to socioeconomic activities in affected environments. In such a context, this work was done on Caripi (Barcarena) and Grande (Ilha de Outeiro) beaches, under the riverine and estuarine influences, respectively, near to the main ports administered by Companhia Docas do Pará, representing a potential risk to this environment. The work aims to evaluate the superficial permeability in beach sediments through in situ experiments using water, gasoline and diesel oil from a permeameter in two portions of beachy prism, finding the permeability coefficient. Moreover, analysis of sediment samples and fluid's viscosity were performed to verify the influence of secondary factors in sediment matrix's permeability. The obtained data from analysis indicate that the studied beaches' permeability do not show a uniform pattern. Grain size, texture and moisture contained on sediment are the prevailing factors in results about permeability coefficient. Despite presenting lower grain sizes, Praia Grande on the island of Caratateua, showed greater permeability, with a sediment matrix predominantly composed of more rounded grains, facilitating fluid's infiltration and demanding a faster response action than at Caripi in Barcarena.

Key words: Beaches-Amazon. Sediments (Geology) - Analysis. Hydrocarbons.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização das praias Grande (Belém) e Caripi (Barcarena).	18
Figura 2: Zonação morfológica e hidrodinâmica do ambiente praiial (modificado de Cooke & Doornkamp, 1990)	24
Figura 3: Esquema de zonação da praia a partir da morfologia proposto por Alves (2001).	26
Figura 4: Estágios morfológicos do perfil praiial, segundo Wright & Short (1984).	27
Figura 5: Esquema do experimento desenvolvido por Henry Darcy em 1856.	30
Figura 6: Exemplos das seis classes de arredondamento: A) Muito Anguloso; B) Anguloso; C) Sub-anguloso; D) Sub-arredondado; E) Arredondado; e F) Muito arredondado. Fonte: DIAS (2004).	33
Figura 8: A) Porto de Vila do Conde, em Barcarena; B) Terminal Portuário de Outeiro em na ilha de Caratateua. Fonte: Associação Brasileira das Entidades Portuárias e Hidroviárias (2013).	35
Figura 7: Vias economicamente navegadas e instalações portuárias de carga e passageiros.	36
Figura 9: Fluxograma das etapas de realização do trabalho.	38
Figura 10: Estimativa de fluxo de embarcações atendidas pelos principais portos da CDP nos últimos cinco anos a cada semestre.	39
Figura 11: : A) Permeâmetro artesanal; B) Intervalo de 10 cm que o fluido percorreu; C) Penetração e bulbo formado no perfil transversal; e D) Bulbo superficial no sedimento saturado.	41
Figura 12: Histogramas com percentual granulométrico para A) Zona Supramaré - Praia Grande; B) Intermaré - Praia Grande; C) Supramaré - Caripi; e D) Intermaré - Caripi.	45
Figura 13: Teor de umidade das amostras das regiões do ensaio.	46
Figura 14: Maturidade dos grãos da Praia Grande.	47
Figura 15: Maturidade dos grãos da Praia do Caripi.	47
Figura 16: Gráficos de coeficientes de permeabilidade para a Praia Grande.	50
Figura 17: Gráficos de coeficientes de permeabilidade para a Praia do Caripi.	50
Figura 18: Bulbo formado pelo processo de infiltração de gasolina nos sedimentos com menor e maior teor de umidade.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coluna estrátigráfica para região de Belém e adjacências	20
Tabela 2: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade quanto ao tipo de sedimento baseado na equação experimental de Darcy.	31
Tabela 3: Viscosidade dos fluidos utilizados nos ensaios. Fonte: Hidrotec (2013)	32
Tabela 4: Parâmetros qualitativos quanto média granulométrica, grau de seleção e assimetria.	44
Tabela 5: Tempo de percolação (em segundos) dos fluidos no intervalo de 10 cm.	48
Tabela 6: Valores de coeficiente de permeabilidade obtidos para gasolina, óleo diesel e água nas praias estudadas.	49
Tabela 7: Comparação dos dados obtidos no estudo das Praias Grande e Caripi.	52
Tabela 8: Estimativa de tempo (em horas) de alcança dos combustíveis no nível freático.	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO.....	17
2.1. Geral.....	17
2.2. Específicos	17
3. LOCALIZAÇÃO, ACESSO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.1. Praia do Caripi	19
3.2. Praia Grande (Ilha de Caratateua).....	19
3.3. Caracterização fisiográfica	20
3.3.1. Geologia e Geomorfologia.....	20
3.4. Parâmetros meteorológicos e oceanográficos.....	21
3.4.1. Clima.....	21
3.4.2. Correntes e Marés	22
3.4.3. Ventos	22
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
4.1. Zona Costeira.....	22
4.2. Praias.....	24
4.3. Permeabilidade de substratos inconsolidados	29
4.4. Coeficiente de Permeabilidade / condutividade hidráulica.....	30
4.5. Viscosidade dos combustíveis	32
4.6. Morfometria	32
5. Exposição e medidas de contenção a eventuais acidentes	33
5.1. Atividades portuárias e potenciais risco aos sistemas praias amazônicos	34
6. METODOLOGIA	38
6.1. Pré-campo	38
6.2. Procedimentos de campo	39
6.2.1. Ensaios de permeabilidade.....	40
6.2.2. Coleta de sedimentos	40
6.3. Etapa de laboratório / Pós-campo	41
6.3.1. Processamento dos dados dos ensaios de permeabilidade.....	41
6.3.2. Determinação da viscosidade dos fluidos	42
6.3.3. Análise Granulométrica	42
6.3.4. Análise morfooscópica	43
7. RESULTADOS	44

7.1. Análise Granulométrica	44
7.2. Morfoscopia	47
7.3. Ensaio de permeabilidade.....	48
8. DISCUSSÃO.....	51
8.1. Coeficiente de permeabilidade das praias Grande e Caripi	53
8.2. Infiltração de contaminantes e medidas de contenção	56
9. CONCLUSÃO	58
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
BIBLIOGRAFIA	60

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e tecnológico torna a sociedade atual dependente da utilização de petróleo como fonte de energia, sendo este um dos principais responsáveis pela poluição marinha. A introdução de derivados de petróleo no meio aquático, em regiões costeiras, é uma das principais preocupações dos órgãos responsáveis pela gestão ambiental, dado o alto teor de contaminação e elevado tempo de permanência destes no ambiente (ALEIXO; TACHIBANA; CASAGRANDE, 2007).

Segundo ZIOLLI (2002) a poluição por petróleo em regiões costeiras é oriunda principalmente por navios através de efluentes da lavagem dos tanques petroleiros, praças de máquinas dos navios, por operações nos terminais portuários, despejo por refinarias e indústrias, e eventuais acidentes.

Uma das primeiras tentativas para estimar a vulnerabilidade dos ambientes costeiros à derrames de óleo foi estabelecida por Gundlach & Hayes (1978), que estabeleceram uma classificação de ambientes costeiros baseada em características físicas e geológicas dos mesmos. No início deste século Petersen et al. (2003) desenvolveram índices de sensibilidade ambiental a derrame de óleo para ambientes costeiros, tomando por base não somente as características físicas, mas também informações biológicas e uso dos recursos litorâneos.

A Lei N^o 9.966, de 28 de abril de 2000, que dispõe sobre a prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas, determina em seu § 2^o que “*A responsabilidade pela consolidação dos planos de emergência individuais em um único plano de emergência para a área envolvida cabe às entidades exploradoras de portos organizados e instalações portuárias, e aos proprietários ou operadores de plataformas, sob a coordenação do órgão ambiental competente*”.

Na tentativa de conter possíveis contaminações a eventuais derrames, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2000, definiu as especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (Cartas SAO) na zona costeira e marinha, atribuindo índices de sensibilidade ao litoral, com base no conhecimento das características geomorfológicas, tipo de substrato, declividade e o grau de exposição da linha de costa à energia de ondas e marés. O objetivo seria identificar ambientes mais sensíveis ao derrame de óleo e derivados, permitindo, assim, o desenvolvimento de um plano de contingência adequado para cada ambiente (MMA, 2002).

De acordo com o MMA (2002), dada a conjunção da ação de ondas, marés, ventos e correntes, que transportam o óleo em direção à costa, o destino final deste, caso haja uma acidente, será a região litorânea, onde seus subambientes (restingas, praias, dunas) possuem índices de sensibilidade do litoral (ISL) que permitem avaliar quais ações de resposta deverão ser empreendidas. Na região norte brasileira estes subambientes variam desde praias arenosas à manguezais.

A penetração de derivados de petróleo em praias arenosas depende, dentre outros fatores, da permeabilidade do substrato, função das características granulométricas e das características físicas do óleo (Davies & Topping, 1995) e da profundidade do lençol freático (Hayes & Michel, 1999; Oliveira & Vinzon, 2003). 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 viscosidade do fluido de escoamento.

O conhecimento das características do óleo, dos sedimentos e da geodinâmica local, podem ajudar a prever o comportamento do mesmo e sua persistência no ambiente. No que pese as praias apresentarem baixo índice de sensibilidade ambiental a derrame de óleo, apresentam alta permeabilidade por serem constituídas principalmente por sedimento arenoso que, dependendo de sua granulometria, seleção e grau de angulosidade dos grãos, favorece a infiltração do óleo e derivados dificultando a sua remoção, oferecendo riscos de contaminação do lençol freático e tornando a praia temporariamente imprópria para as atividades econômicas e de lazer.

Os efeitos do óleo no ambiente praias estão, direta e indiretamente, associados ao impacto físico de recobrimento da zona intertidal e aos impactos na locomoção, alimentação e reprodução da comunidade biológica. Além disso, as 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.

A costa paraense, nos seus 79.795 km², é considerada sob o ponto de vista geomorfológico uma costa recortada, com uma profusão de baías e estuários, onde coexistem ambientes influenciados por ondas e correntes de maré, destacando-se as planícies de maré colonizadas por manguezais e as praias arenosas (Szlafsztein, 2009). Não obstante, as características fisiográficas e hidrodinâmicas da linha de costa proporcionaram excelentes condições para o estabelecimento de instalações portuárias,

como os portos organizados¹ de Belém e Vila do Conde, o Terminal Portuário de Outeiro e o Terminal Petroquímico de Miramar que respondem por intensa movimentação de cargas, dentre elas inflamáveis líquidas e gasosas, em grande parte consumida em Belém, mas que também abastecem parte do interior do Estado através de rodovias e, sobretudo, cursos fluviais.

Com a grande movimentação de embarcações a probabilidade de acidentes e vazamento de graneis líquidos é potencializada, principalmente na margem direita da Baía do Guajará, onde as atividades portuárias são mais concentradas, destacando-se, neste particular, o Terminal Portuário Miramar, específico para transporte, armazenamento e distribuição de inflamáveis.

Devido localizar-se em áreas de influência direta de instalações portuárias e de frequente tráfego de embarcações dos mais variados portes e calados, algumas praias são potencialmente submetidas à ameaças de contaminação por petróleo e derivados, como é o caso da Praia Grande e Praia do Caripi, objetos do presente estudo. Até então, os estudos de cunho geológico realizados nessas praias objetivaram simplesmente a caracterização sedimentológica e morfológica sazonal desses ambientes como os trabalhos de Boulhosa & Mendes (2009) e Pimentel, Oliveira e Rodrigues (2012); e mais recentemente a cartografia dos índices de sensibilidade do litoral feita por Rocha (2013) e Silva (2013), sem a abordagem integrada dos fatores que influenciam no tempo de persistência de derivados de hidrocarbonetos nesses ambientes praias.

Nesse contexto, o presente estudo pretende avaliar a permeabilidade do substrato e diferenças no comportamento da percolação de derivados de hidrocarboneto na matriz sedimentar de dois sistemas praias localizados na zona de influência de atividades portuárias e com diferentes características hidrodinâmicas: a Praia Grande, na Ilha de Caratateua (Belém-PA), submetida à forte influência estuarina e, a Praia do Caripi (Barcarena-PA), fortemente influenciada pelo sistema fluvial do rio Pará.

¹ Construído e aparelhado para atender às necessidades da navegação e da movimentação e armazenagem de mercadorias, concedido ou explorado pela União, cujo tráfego e operações portuárias estejam sob a jurisdição de uma autoridade portuária.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

Analisar o comportamento de percolação de derivados de hidrocarbonetos (óleo diesel e gasolina) na matriz sedimentar de praias fluviais e estuarinas da costa paraense em função das características sedimentológicas e texturais.

2.2. Específicos

- Caracterizar textural e sedimentologicamente as praias estudadas;
- Analisar a permeabilidade e o tempo de infiltração de óleo diesel e gasolina na face praial (zona intermaré e pós-praia);
- Discutir possíveis diferenças entre a permeabilidade das praias a derivados de hidrocarbonetos e a água nos ambientes praias estudados;

3. LOCALIZAÇÃO, ACESSO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os sistemas praias envolvidos no estudo estão compreendidos entre os paralelos 1° 12' e 1° 17' S, e meridianos 48°25' e 48°29' W GR (Figura 1), inseridos na mesorregião Metropolitana de Belém.

As praias do Caripi e Grande pertencem aos municípios de Barcarena e Belém, respectivamente, e são consideradas por El-Robrini et. al. (2001) como pertencentes ao setor Continental Estuarino da Zona Costeira Paraense.

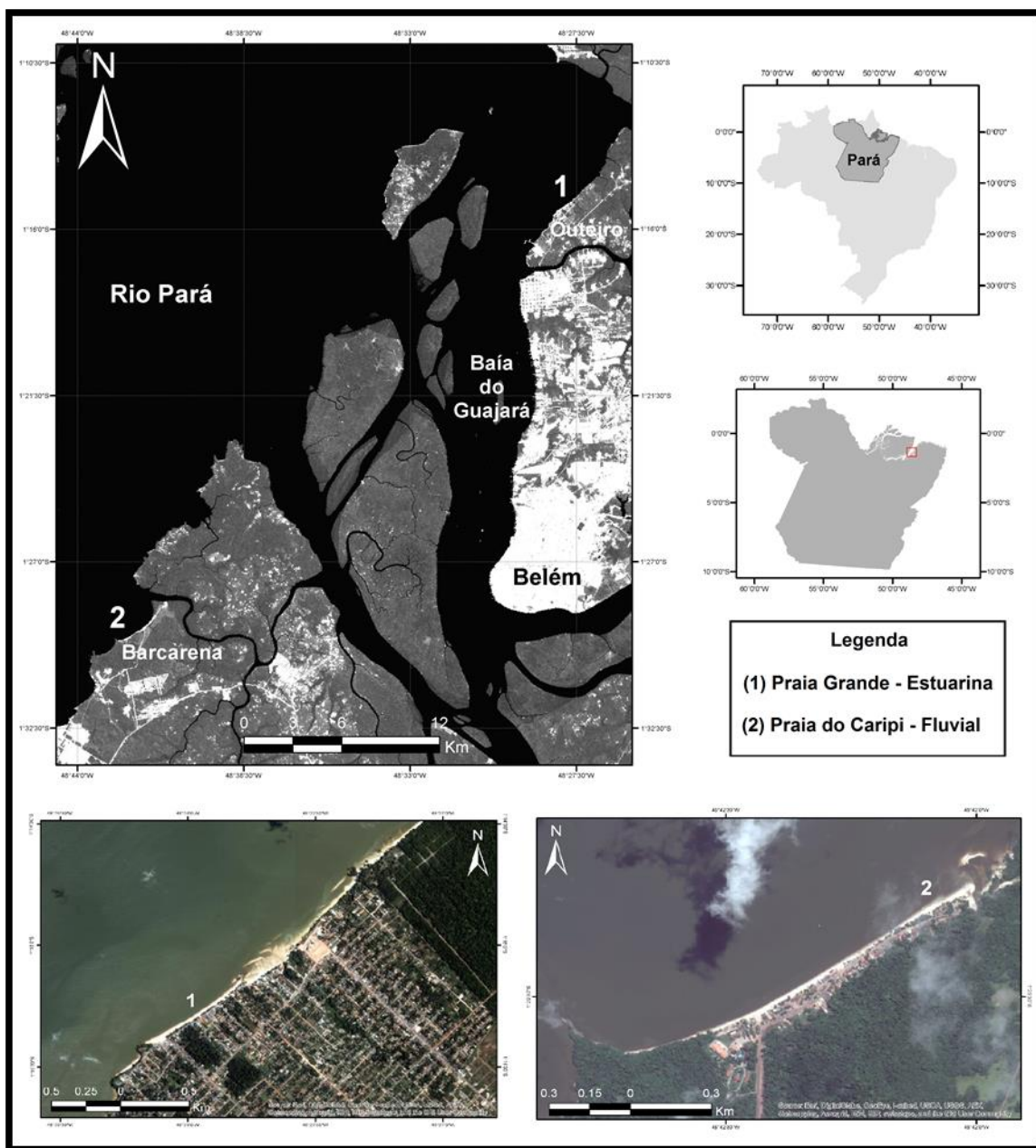


Figura 1: Mapa de localização das praias Grande (Belém) e Caripi (Barcarena).

Fonte: Google Earth - Imagem Satélite *GeoEye* de 2010.

3.1. Praia do Caripi

O município de Barcarena se limita ao norte pela Baía de Guajará e município de Belém; ao sul, pelos municípios de Mojú e Abaetetuba; a leste, pelo município de Acará e, a oeste, pela Baía do Marajó. É conhecido por abrigar um grande complexo industrial abastecido pelos principais portos de Vila do Conde que atendem as empresas ALBRAS/ALUNORTE (processadora de minérios), Pará Pigmentos/SA (PPAS) e Imerys Rio Capim (IRCC) com estação portuária própria, onde se realizam as importações e exportações de cargas de minério e movimentação de óleo combustível (RODRIGUES, 2008).

A Praia do Caripi localiza-se no município de Barcarena, na margem direita do Rio Pará. O acesso, a partir de Belém, pode ser realizado pelo sistema rodofluvial, por travessia do rio Guamá por balsa (cerca de 1h de viagem) até o Porto de Arapari e mais 35 km pela rodovia PA151 até Barcarena. Outra opção é pela rodovia BR-316, até Marituba e, de lá, pela rodovia PA-483, oficialmente denominada Alça Viária do Pará.

A praia do Caripi está inserida no Setor Continental Estuarino, sob influência do rio Pará e com características de praia reflectiva a intermediária (SALDANHA, 2009).

Segundo Rocha (2013) a praia é fortemente influenciada por correntes de maré e ondas baixas (altura <1 m), provindas de NE. A face praial apresenta larguras variando de 5 a 72 metros e declividade moderada (<10°).

3.2. Praia Grande (Ilha de Caratateua)

A Ilha de Caratateua, também conhecida popularmente como Ilha de Outeiro, é um distrito da Região Metropolitana de Belém, localizada à 18 km da capital. É conhecida por ser frequentemente visitada durante o ano pela população, que procura como destino as praias da Brasília, do Amor, dos Artistas e a Praia Grande.

A ilha é bordejada em sua margem direita pelo Furo do Maguari, onde localizam-se diversas indústrias e atividades potencialmente poluidoras, como curtumes e indústria de pesca, que despejam grandes quantidades de efluentes na Baía do Guajará e contribuem para a frequente interdição das praias ao banho.

A Praia Grande é uma praia de água doce, fortemente influenciada pela maré dinâmica e composta por sedimentos arenosos de granulometria média à grossa, ricos em quartzo e minerais pesados. É uma praia dissipativa com conexão direta com a Baía do Guajará permite à praia adquirir características fisiográficas regidas pelo regime de marés e descarga fluvial.

3.3. Caracterização fisiográfica

3.3.1. Geologia e Geomorfologia

A geologia regional em que as áreas de estudos estão inseridas é pouco variável. Segundo Pinheiro (1987) a geologia da região de Belém e adjacências pode ser descrita a partir de uma coluna estratigráfica (Tabela 1), onde a cerca de 100-120m da superfície encontram-se sedimentos de idade Oligo-Miocênica, atribuídos à Formação Pirabas e, sobrepostos, em profundidades entre 100-150m, os sedimentos Terciários correlacionáveis ao Grupo Barreiras. Em seguida, já no Quaternário, estaria repousando uma unidade atribuída ao Pleistoceno/Holoceno Médio-Inferior, representada pelos sedimentos Pós-Barreiras, e, finalmente, no topo da seção, estariam os sedimentos Recentes.

Tabela 1: Coluna estratigráfica para região de Belém e adjacências

UNIDADE	PROFUNDIDADE	IDADE		DESCRIÇÃO
Pós Barreira	0 a 40-50m	Q U A T E R N Á R I O	10.000 a 4-5.000 anos AP ao recente. (Holoceno Superior Recente)	Argilas silicosas e areias quartzosas com matéria orgânica
			10.000 a 16.000 anos AP. (Holoceno Meio Inferior) 16.00 a 2,5 M.A. (Pleistoceno)	Siltos, argilas, areias finas. Siltos argilosos com grânulos e blocos de arenitos ferruginosos.
Grupo Barreiras	0 a 100-150m	Terciário Superior		Siltos argilosos com níveis de arenito ferruginoso, argila cinza clara.
Formação Pirabas	Entre 76 e 100-120m	Oligo-Mioceno		Areia argilosa cinza escura, grossa a muito grossa. Macro e micro fósseis.

Fonte: Pinheiro (1987)

O Grupo Barreiras constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçadas associados a leques aluviais, planícies de areia, planícies de lama, sendo provável influência de marés (ROSSETI; TRUCKENBRODT; GÓES, 1989). É constituído por uma sequência de sedimentos siliciclásticos, que variam de argilas multicoloridas a sedimentos inconsolidados argilo-arenosos e areno-argilosos, geralmente apresentando uma coloração amarelada, alaranjada a avermelhada, às vezes com leitos de material grosseiro a conglomerático.

Nas margens estuarinas e dos rios ocorrem sedimentos quaternários, descritos por SALDANHA (2009) como depósitos aluvionares recentes como as planícies de maré lamosas, pântanos, terraços marinhos, praias, cordões litorâneos atuais, dunas recentes e outros, sendo caracterizados nas zonas de praia por sedimentos compostos de cascalho, areia, silte e argilas intercaladas.

Boulhosa & Mendes (2009) descrevem a unidade de paisagem de Praias fluviais da planície amazônica composta por depósitos arenosos localizados, com extensão ($\pm 500\text{m}$) e largura em torno de 100 m, constituídos por sedimentos de granulometria fina a média, ricos em quartzo e minerais pesados, cuja fonte está provavelmente associada ao retrabalhamento das margens.

3.4. Parâmetros meteorológicos e oceanográficos

3.4.1. Clima

O clima do litoral NE paraense é caracterizado como quente e úmido, *Af* pela classificação de KOPPEN (MARTINS, 2010). Boulhosa (2006) descreve que o período mais seco vai de junho a novembro, sendo que de junho a agosto há pouca precipitação; de setembro a outubro é praticamente seco, voltando a aumentar nos meses de dezembro a maio. A temperatura anual varia entre 18°C (mínima) e 33°C (máxima), sendo observados valores extremos de 42°C nos meses de agosto a outubro (EL-ROBRINI et. al. 2006).

De forma geral, a região Continental Estuarina é descrita por Pinheiro (1987) como não apresentando uma estação seca definida, apenas observando-se períodos os *chuvoso* e *menos chuvoso*, sem inverno e baixas amplitudes térmicas que influenciam diretamente a vazão dos rios da região e, conseqüentemente, modificam as características físico-químicas das águas estuarinas.

3.4.2. Correntes e Marés

A região é dominada por marés semidiurnas, ou seja, com duas preamares e duas baixamares no período de um dia lunar, correspondente à 24h 50min (MARTINS, 2010). A amplitude de maré pode chegar a 3,6 m durante as marés de sizígia, no período chuvoso, e as menores amplitudes, em abril, de 0,5 m, durante a maré de quadratura.

PINHEIRO (1987) descreve que no estuário Guajará e no Rio Pará, o comportamento das marés reflete a influência da vazão fluvial e que o atrito com o fundo produz uma acentuada assimetria nas curvas de marés, de forma que a subida do nível da água leva cerca de 5 horas, em contraste com a descida, que dura, em média, 7 horas, em marés de sizígia.

As velocidades máximas absolutas ocorrem durante as marés de sizígia. As máximas ocorrem durante a vazante (1,74 m/s) e enchente (2,1 m/s), sendo observada uma inversão na direção das correntes em torno de uma hora antes de cada preamar ou baixamar, por um período de 30 minutos, com velocidade próxima a zero e que, de forma gradual, começa a aumentar logo após a inversão de direção.

3.4.3. Ventos

Os ventos, nos períodos chuvoso e menos chuvoso, apresentam valores entre 0,5 e 2,5 m/s. Sendo mais acentuados no período menos chuvoso. A direção predominante do quadrante nordeste na Região Norte, com intensidade fraca pela manhã e moderada a fraca à tarde, rondando de norte para leste. Mesmo em condições de ventos fracos, a superfície da água da Baía de Guajará é caracterizada como um sistema relativamente agitado, definindo claramente um regime de fluxo turbulento (MOURA, 2007).

As ondulações podem chegar a um metro de altura. As ondulações com mais de um metro de altura significativa podem ocorrer com a associação entre vento terral e o período de vazante, produzindo uma corrente superficial no sentido norte-noroeste que dificulta manobras de embarcações de pequeno e médio porte, e também através da atuação de ventos de norte-nordeste, gerando ondulações que percorrem praticamente toda a baía (PINHEIRO, 1987).

4. Fundamentação teórica

4.1. Zona Costeira

A crescente concentração populacional e atividades nas cidades costeiras fazem com que na maioria dos países litorâneos delimitem o espaço a partir da criação de leis. No Brasil, a lei nº. 7661, de 16 de maio de 1988, caracteriza a zona costeira como um

espaço geográfico de interação ar, mar e terra, incluindo seus recursos, sendo eles renováveis ou não (SZLAFSZTEIN, 2009).

Há vários conceitos para definir zona costeira, quase sempre levando em consideração as características físicas, geográficas e demográficas, bem como as funções ecológicas dos ecossistemas ali existentes. Dentre as várias conceituações, talvez a mais completa corresponde àquela de Rodríguez & Windevoxhel (1988), que define zona costeira como *“o espaço delimitado pela interface entre o oceano e o continente, ou seja, a faixa do continente que recebe forte influência marinha e o setor oceânico que sofre forte influência dos processos continentais”*. Segundo Clark (1996), a zona costeira corresponde à região entre Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e o limite terrestre afetado por processos marinhos.

No Brasil, a Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM) considera a zona costeira como a região geográfica com interação de processos meteorológicos, marinhos e continentais, incluindo seus recursos naturais. Segundo CIRM (2001), essa região abrangeria dois setores: a) faixa marinha – região oceânica que se estende até as 12 milhas náuticas da linha de costa, conforme estabelecida na Convenção das Nações Unidas e na Lei do Mar; b) Faixa continental – região emersa bordejando o limite do mar, incluindo os municípios confrontantes com o mar aberto, ou seja, que sofrem ação direta dos processos oceânicos.

A importância estratégica da zona costeira brasileira pode ser evidenciada em vários aspectos, seja pelo mosaico de ecossistemas que abriga enorme biodiversidade ou pelos divergentes interesses econômicos conflitantes, associados a uma desordenada expansão urbana (MMA, 2014).

Os estuários são áreas mais sensíveis do ponto de vista ambiental por abrigarem ambientes de grande importância econômica e ecológica como praias e manguezais, entretanto, em geral, toda a orla marítima está sujeita a vetores de desenvolvimento, dentre os quais destacam-se o turismo, a aquicultura, as grandes estruturas industriais, portuárias e logísticas ligadas, sobretudo, à exploração petrolífera.

Em ambientes de praias as ondas e ventos retrabalham os sedimentos e controlam as taxas de erosão e deposição, que variam consideravelmente de um dia para outro ao longo dessa zona. A energia que chega à costa pode se tornar alta durante as tempestades, e assim torna a zona costeira uma região com alta vulnerabilidade aos riscos naturais e determinam o comportamento e persistência de poluentes lançados

nesse ambiente. Assim, a compreensão das interações de maré, correntes e ondas com a zona costeira é essencial para entender os riscos que esse ambiente está exposto.

4.2. Praias

Em termos sedimentológicos, a definição mais utilizada para caracterizar as praias é a proposta por Komar (1998), que descreve a praia como uma acumulação de sedimentos inconsolidados de tamanhos variados, que se estendem em direção à costa, do nível de maré baixa até onde haja uma mudança fisiográfica como uma falésia, duna ou vegetação.

As definições dos ambientes de praia também dificultam que haja um padrão de caracterização das praias, uma vez que não há um consenso entre os autores que descrevem esse ambiente. Tessler & de Mahiques (2000) apresentaram uma abordagem sobre as diferentes terminologias e afirmaram que os problemas de classificação dos ambientes de praia são originados da adaptação para Português. Apenas não existindo diferença quanto a utilização do termo pós-praia (*backshore*), que limita esse ambiente ao limite da crista da berma até a zona de vegetação permanente.

Entretanto, as zonas em que os processos de surf e espraçamento acontecem são denominadas de antepraia e face de praia, respectivamente (Figura 2). Sendo mais adequado, para a zona submetida à ação do espraçamento, a designação face de praia em detrimento do termo estirâncio, que consiste em uma adaptação do termo “*strand*” que se relaciona ao termo costa.

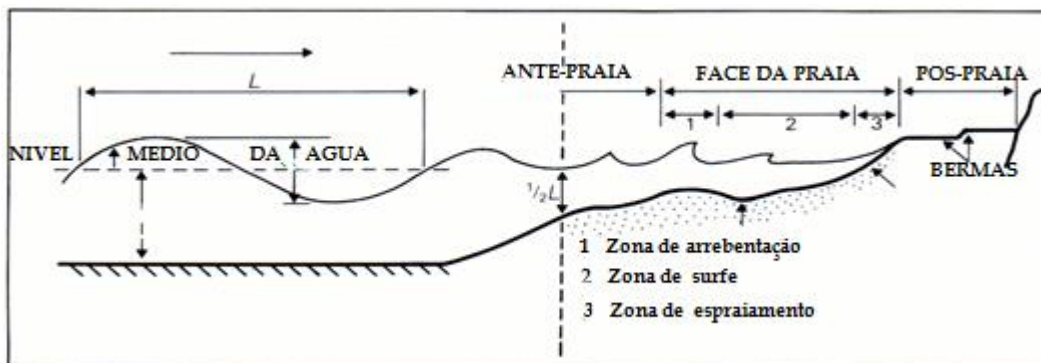


Figura 2: Zonagem morfológica e hidrodinâmica do ambiente praial (modificado de Cooke & Doornkamp, 1990)

Para Horikawa (1988 apud HOEFEL, 1998) as praias são ambientes facilmente deformáveis pela ação das ondas, em direção à costa, que delimitam o ambiente desde a profundidade em que ocorre mobilização efetiva do sedimento pelas ondas, até o limite

de ação das ondas de tempestade sobre a praia. Nesse sentido, o perfil das praias pode ser divididos em três zonas (Figura 2).

- a) *Zona de Arrebentação (breaker zone)*: Caracterizada pela ocorrência da quebra da onda (momento cuja velocidade da crista da onda excede a velocidade de grupo desta).
- b) *Zona de Surfe (surf zone)*: A caracterização desta zona é dependente do modo como ocorre a dissipação energética das ondas incidentes (tipo de quebra). Hoefel (1998) afirma que para praias de baixa declividade as ondas quebram e formam *vagalhões*. À medida que estes se aproximam da linha de costa, perdem altura e boa parte de sua energia e transferida para a geração de correntes - longitudinais e transversais à praia. Para Horikawa (1988) em praias dissipativas, muitas vezes, a zona de surfe e de arrebentação formam uma única zona.
- c) *Zona de Espraçamento (swash zone)*: Caracteriza a região do perfil praiial delimitada pela máxima excursão dos *vagalhões* formados na zona de surfe. Para a engenharia costeira os processos ocorrentes nesta zona são importantíssimos, uma vez que representam as condições de contorno do ambiente praiial e determinam os níveis máximos de atuação dos agentes hidrodinâmicos do surfe sobre a praia (Hoefel, 1998)

O ambiente praiial também é subdividido quanto à sua morfologia, porém existem muitas divergências na literatura. Neste trabalho utilizou-se as terminologias sugeridas por Short (2003), suscintamente descritas a seguir:

- a) *Ante-praia (offshore)*: Zona permanentemente abaixo da linha d'água. Seu início é marcado pelo Nível Mínimo da Maré de Sizígia (NmínMS). Sua superfície é caracterizada por bancos longitudinais e calhas, originados na zona de quebra das ondas pela contribuição de sedimentos do continente e da plataforma continental adjacente.
- b) *Face da Praia (intertidal beach; nearshore)*: Zona do perfil praiial que fica ora submersa (preamar), ora emersa (baixa-mar). Limita-se pelo Nível Máximo da Maré de Sizígia (NMáxMS) e pelo NmínMS. Frequentemente, a face da praia exhibe um ou mais bancos longitudinais assimétricos. Neste subambiente a declividade em relação ao mar é suave e ocorrem os processos de espraçamento.
- c) *Pós-Praia (backshore)*: Zona compreendida entre o NMáxMS e o início das dunas fixadas por vegetação ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca

(e. g. Falésia). Os sedimentos deste subambiente normalmente permanecem secos, exceto em condições de ondas, marés equinociais e/ou tempestades.

Para regiões onde as variações de maré são influentes, Alves (2002 apud SALDANHA, 2009), com base nas condições morfológicas, propõe o estabelecimento de três zonas no perfil praial (Figura 3).

a) Zona Supramaré ou Pós-Praia: Correspondente ao nível de maré alta de sizígia, onde observa-se a escarpa da praia e, em alguns casos, dunas costeiras. Quando se apresentam em uma porção plana é conhecida como berma, que é inexistente em áreas de intensa erosão.

b) Zona Intermaré ou Estirâncio: Região limitada pelo nível de maré alta e baixa. Em termos de hidrodinâmicas, é a região em que o espraimamento é mais influente.

c) Zona Inframaré ou Face de Praia: Situada na linha de maré baixa onde ocorre ação das ondas no substrato mais raso, propiciando a quebra das ondas.

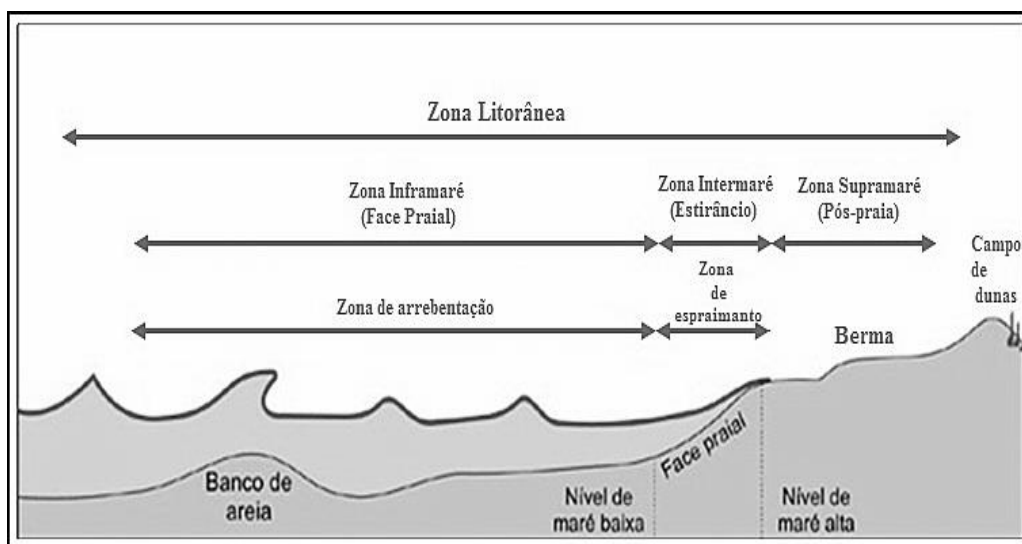


Figura 3: Esquema de zonização da praia a partir da morfologia proposto por Alves (2001).

Popp (2010) define dois tipos distintos de praias, conforme a granulometria do sedimento:

A) Praias de cascalho – desenvolvem-se onde o cascalho é suprido por cursos de água montanhosos e também onde a linha de costa é constituída por rochas (granitos, gnaisses, quartizitos etc) que, quando trabalhadas, formam seixos;

B) Praias de areia – são as mais comuns. As areias constituem cerca de 95% dos sedimentos de praia. Essas praias, algumas vezes, cobrem áreas de grande extensão e passam para planos arenosos pouco espalhados. A distribuição granulométrica muda constantemente, variando com as condições hidrodinâmicas.

Sistemas praias são compreendidos em termos de modelos morfodinâmicos tridimensionais que incluem parâmetros quantitativos (altura quebra das ondas, velocidade de queda de sedimentos, período das ondas e inclinação da praia) e condições limites para definição da relação formas-processos (ex: presença ou ausência de barras, bem como seu tipo). O modelo evolutivo de Wright & Short (1984) propõe além dos estágios extremos, dissipativo e refletivo, outros quatro estágios intermediários (Figura 4).

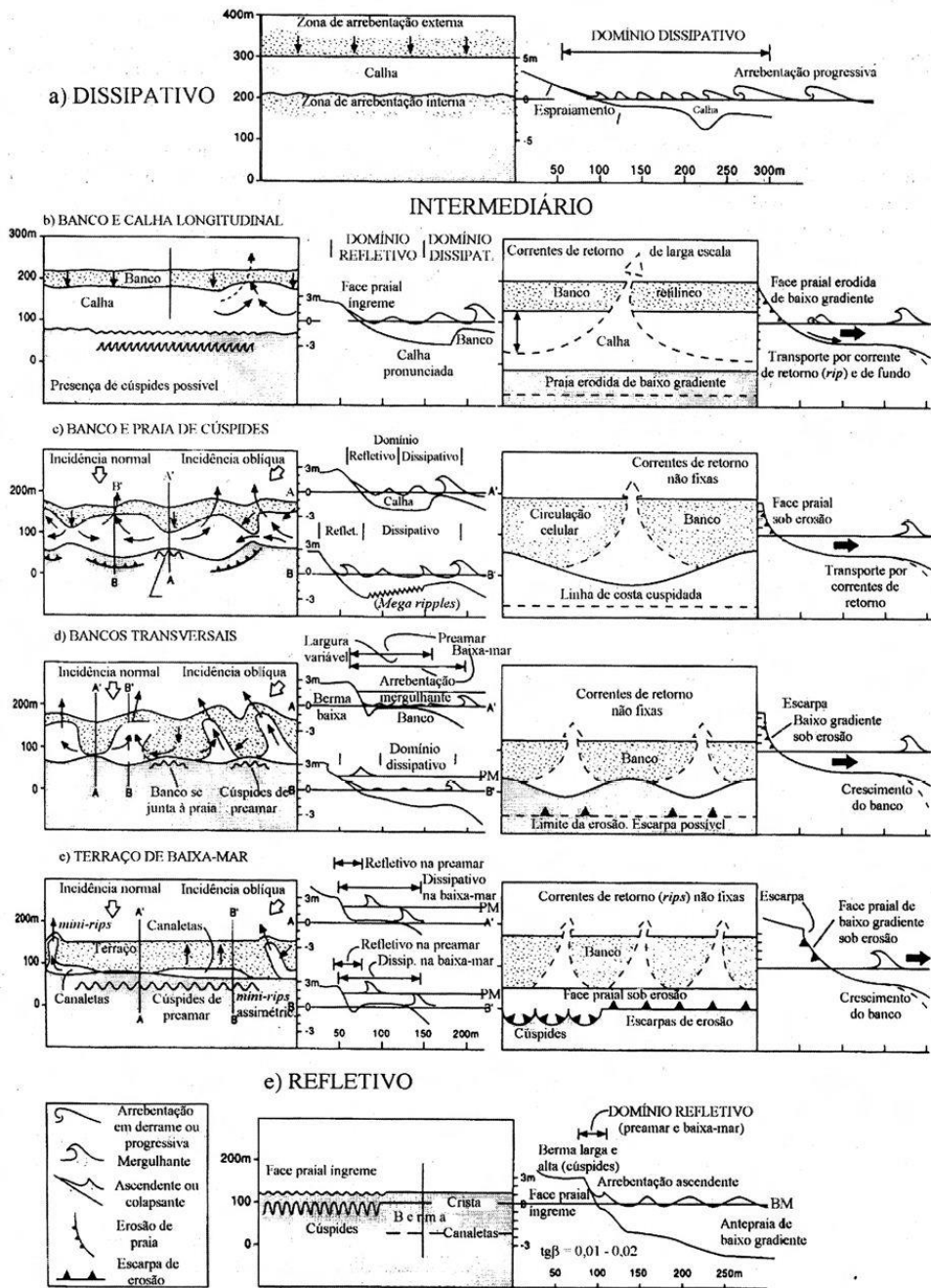


Figura 4: Estágios morfológicos do perfil praias, segundo Wright & Short (1984).

Em geral, no estágio dissipativo a zona de surfe é larga, com baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia. A praia também apresenta ocorrência de areias de granulometria fina e ondas altas. O estágio refletivo apresenta características opostas, com elevados gradientes, a escarpa de berma é elevada devido à velocidade de espraiamento da onda, e o baixo estoque de areia na zona submersa (WRIGHT e SHORT, 1984).

Os estágios intermediários são caracterizados por uma progressiva redução da largura da calha longitudinal, em decorrência da migração do banco submerso da zona de arrebentação em direção à praia, sendo isto uma resposta às variações nas características hidrodinâmicas.

O ambiente praiial também pode ser caracterizado com base na localização, em termos de localização como praias oceânicas, estuarinas e fluviais. As praias oceânicas se enquadram no modelo retrocitado e se caracterizam como sistemas altamente dinâmicos e sensíveis, que sofrem processos de retrabalhamento eólico, biológico e hidráulico sendo este último mais importante, ocorrendo em escalas variadas. As ondas geradas pelos ventos, as correntes litorâneas as oscilações de longo período e as marés são os principais agentes controladores da configuração da linha de costa (HOEFEL, 1998).

Em rios e estuários a acumulação preferencial de sedimentos finos será silte e argila. Entretanto, se as condições de energia de ondas e marés forem suficientes para que ocorra o transporte de sedimentos pode-se observar a formação de praias de areia e cascalho em áreas com configuração fisiográfica favorável. Neste caso, as características morfológicas serão distintas das praias oceânicas, principalmente devido à importância da amplitude de maré relativamente à altura das ondas. Aquela condiciona a largura da praia e a morfologia de cada setor do perfil, devido à distribuição vertical da energia das ondas.

Segundo Jackson & Nordstrom (1993) as praias estuarinas, inclusive aquelas localizadas em vales fluviais afogados, são consideradas como praias de baixa energia, ou seja, que ocorrem em locais protegidos, onde a ação de ondas é mínima. Nesse tipo de praia o perfil extremamente dissipativo prevalece e modificações morfológicas somente ocorrem em porções mais íngremes do perfil.

Praias estuarinas são caracterizadas por uma zona de pós-praia estreita (<10 m), declividade praiial oscilando entre 6° e 9°, amplo e um terraço de baixamar relativamente plano (Fenster et al., 2006). Segundo Jackson & Nordstrom (1993) as ondas apresentam

altura de 0.15 a 0.50 m, períodos de 2 a 5 segundos e quebram diretamente no estirâncio em forma oscilante.

4.3. Permeabilidade de substratos inconsolidados

A permeabilidade é a propriedade que um sedimento/solo apresenta de permitir o escoamento de fluido através dele. Depende do tipo de sedimento e da granulometria, fatores esses que determinarão o grau de permeabilidade, também chamado de coeficiente de permeabilidade (CAPUTO, 1980).

McLachlan (1990) verificou que grandes volumes de água são filtrados pelas praias arenosas, sendo que aquelas de baixa declividade (dissipativas) e compostas por sedimentos finos apresentam baixa capacidade de infiltração e um alto tempo de residência de fluidos, enquanto que praias com alta declividade (reflectivas) e compostas por sedimentos mais grosseiros apresentam alta taxa de infiltração, porém um pequeno tempo de residência de fluidos.

Segundo Pryor (1973 apud SUGUIO, 1980) nos sedimentos mais finos, por possuírem poros menores, a alta pressão capilar das paredes dos poros inibe o fluxo do fluido. Os estudos realizados por esse autor confirmam essa relação para areias fluviais, mas mostraram que para as areias de dunas e praias, a permeabilidade aumenta com o decréscimo da seleção granulométrica e grau de arredondamento.

Outro fator observado por Suguio (op. cit.) foi o efeito da forma do grão na permeabilidade, ou seja, a esfericidade e o grau de arredondamento dos grãos afetam de algum modo, a permeabilidade.

Segundo MMA (2002) o tempo de permanência do petróleo no sedimento dependerá diretamente da infiltração potencial no substrato, ou seja, quanto maior o diâmetro, esfericidade e uniformidade dos grãos mais profunda será a penetração do óleo, além das características do petróleo. Entretanto, é importante ressaltar que além das características físicas do ambiente, a intensa atividade biológica – organismos escavadores – e a construção de tocas (bioturbação) também podem favorecer a penetração de óleo na matriz sedimentar.

Para determinação da permeabilidade de fluido em sedimentos inconsolidados é comumente utilizada medidas da vazão do fluxo de um fluido, normalmente água, através de uma coluna de sedimento.

Caputo (1980) descreve o ensaio para determinação da permeabilidade denominado ensaio de *tubo aberto* que consiste em determinar o coeficiente de permeabilidade (k) a

partir de um tubo cravado no próprio terreno e utilizado fluido de percolação até a profundidade desejada, medindo-se a velocidade com que a água escoou pelo tubo e infiltra no terreno.

4.4. Coeficiente de Permeabilidade / condutividade hidráulica

De acordo com Vargas apud Pereira (2005), o coeficiente de permeabilidade representa um índice de maior ou menor dificuldade que o solo opõe à percolação d'água através de seus poros. Segundo Paiva (2000) o coeficiente de permeabilidade considera as características do fluido e do meio, incluindo porosidade, tamanho, forma, arranjo e distribuição das partículas, além das características do fluido de escoamento, como viscosidade e massa específica

A determinação da condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade é dada pela lei experimental de Darcy, desenvolvida em 1856 pelo engenheiro francês Henry Darcy, que verificou como os diversos fatores geométricos influenciavam a vazão da água e na velocidade de percolação do fluido (CAPUTO, 1980).

O experimento de Darcy (Figura 5) consistiu em percolar água através de uma área (A) em uma amostra de solo com um determinado comprimento (L), a partir de dois reservatórios constantes com uma diferença (h) entre as alturas. Assim, foi constatado que a velocidade de percolação da água é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, ou seja, a perda de carga hidráulica por comprimento da amostra. Em termos matemáticos essa relação foi descrita a partir da equação $Q = A.K.i$, onde Q é a vazão em m³/s, K é o coeficiente de permeabilidade do solo em m/s, A é a área transversal ao escoamento em m² e finalmente i é o gradiente hidráulico dado pela razão h/L.

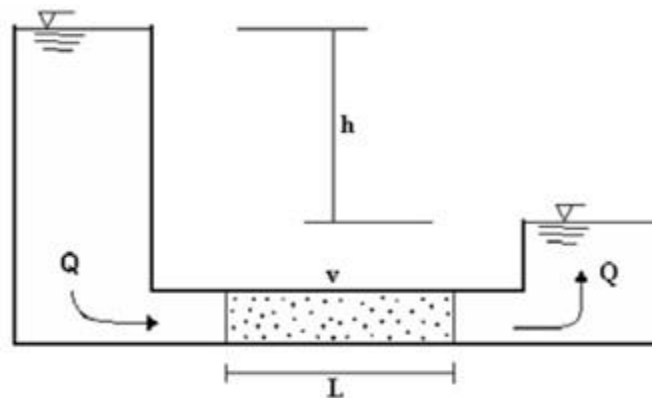


Figura 5: Esquema do experimento desenvolvido por Henry Darcy em 1856.

A partir da Equação de Darcy, verifica-se que o coeficiente de permeabilidade tem unidade de uma velocidade e é expresso em m/s ou cm/s, ou ainda por m/dia. Caputo (op. cit.) descreve que o coeficiente de permeabilidade (K) pode ser determinado por fórmulas que relacionam a granulometria (apenas para areias fofas e uniformes), em laboratório ou *in loco* com auxílio de “permeâmetros”. Os ensaios de campo para a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo tendem a fornecer valores mais reais, já que são realizados aproximadamente na mesma escala do problema de engenharia e levam em conta os eventuais anisotropias do solo como a não homogeneidade.

O coeficiente de permeabilidade indica a velocidade de percolação da água quando o gradiente é igual a um. Portanto, é expresso por um produto inferior a 10 por uma potencia negativa de 10, como observado abaixo (Tabela 2).

Tabela 2: Valores típicos de coeficiente de permeabilidade quanto ao tipo de sedimento baseado na equação experimental de Darcy.

Tipo de sedimento	K (cm/s)
Argila	$<10^{-7}$
Argila siltosa	10^{-5} a 10^{-7}
Silte e areia siltosa e argilosa	10^{-3} a 10^{-5}
Areias	10^{-1} a 10^{-3}
Pedregulho	$>10^{-1}$

Fonte: Caputo (1980) odificado

Pinto (2006) afirma que para sedimentos de granulometria maiores que areia grossa a velocidade de fluxo é muito elevada, tornando o fluxo turbulento. Nesse caso, a Lei de Darcy não é válida, uma vez que o coeficiente de permeabilidade é determinado pelos finos do solo e não pela predominância de grãos.

O nível da superfície freática também é determinante na permeabilidade do sedimento de praia. Dessa forma, em períodos de maré vazante o nível da superfície freática fica acima do nível do mar, onde essa sobrelevação aumenta com a amplitude da maré, exposição ao espraiamento das ondas e mais grosseiro for o sedimento (Turner et al, 1997).

4.5. Viscosidade dos combustíveis

A condutividade hidráulica, por sua vez, é função da viscosidade e densidade do fluido, gravidade e da permeabilidade intrínseca do sedimento, determinada basicamente pela distribuição granulométrica e índice de vazios (compactação) (Fredlund & Rahardjo, 1993).

Para determinar a viscosidade em laboratório foram feitas análises apenas para o óleo diesel, uma vez que a gasolina se apresenta como uma mistura complexa de vários hidrocarbonetos, sendo necessário utilizar misturas menos complexas para representar as características químicas desta em testes.

Nesse contexto, dados UFCG (2013) e Canciam (2012), demonstram que a viscosidade da gasolina é menor em relação ao óleo diesel e a água (Tabela 3). Os valores da viscosidade da gasolina também podem variar de acordo com a temperatura, sendo modificada entre as estações do ano e o teor de álcool contido na mistura (CANCIAM, 2012.).

Tabela 3: Viscosidade dos fluidos utilizados nos ensaios. Fonte: Hidrotec (2013)

Fluido	Temperatura (°C)	Viscosidade (m ² /s)
Água	40	0,66 x 10 ⁻⁶
Gasolina	20	0,6 x 10 ⁻⁶
Diesel 1	40	2,71 x 10 ⁻⁶
Diesel 2	40	2,84 x 10 ⁻⁶

4.6. Morfometria

A forma do grão permite avaliar o quanto uma partícula foi transportada e de que forma ocorreu a sedimentação no ambiente e, a partir disso, possibilita avaliar o potencial de infiltração e retenção de água por dimensões conhecidas como arredondamento e esfericidade das partículas.

O arredondamento dos grãos é verificado pela observação da angulosidade da partícula, ou seja, agudez dos cantos e arestas que caracteriza o quanto transportada essa partícula foi do local de origem.

A esfericidade transmite a ideia da forma original do cristal que consiste em verificar quanto o grão é circular ou esférico. Nesse contexto, a forma e o

arredondamento devem afetar a porosidade intergranular, de forma que quanto mais arredondados e esféricos forem os grãos menor será a porosidade.

Para classificação do grau de esfericidade e arredondamento, o método mais rigoroso consiste na medição individual de cada uma das partículas obedecendo a classificação utilizada na petrografia sedimentar (Figura 6). A espécie mineral a ser observada é preferencialmente o quartzo por ser resistente e mais abundante (DIAS, 2004).

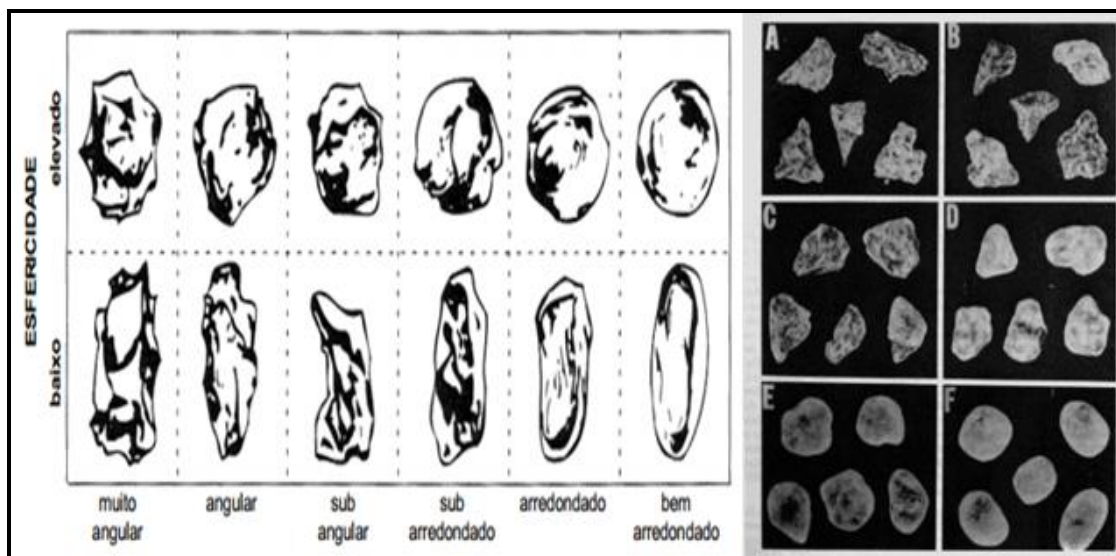


Figura 6: Exemplos das seis classes de arredondamento: A) Muito Angular; B) Angular; C) Sub-angular; D) Sub-arredondado; E) Arredondado; e F) Muito arredondado. Fonte: DIAS (2004).

5. Exposição e medidas de contenção a eventuais acidentes

Quando uma região é atingida por uma mancha de óleo é necessário que haja estudos a respeito da área para que se avalie a necessidade de uma medida de contenção efetiva. Hayes & Michel (1999) afirmam que as condições ambientais, os parâmetros físicos de composição sedimentar e a natureza das interações entre o óleo e a absorção pelo sedimento determinarão que tipo de método deverá ser adotado como medida de contenção.

No caso dos planos de contingência envolvem três etapas que permite a tomada de decisões e ações de respostas mais eficientes. A primeira etapa consiste em elaborar um mapa de sensibilidade da área atingida, que inclui os índices de vulnerabilidade e atividades socioeconômicas; a segunda envolve a mobilização de recursos para contenção, evitando que o óleo chegue às áreas mais sensíveis; e, por último, a limpeza e a remoção do óleo do ambiente atingido.

Os métodos de limpeza são descritos por American Petroleum Institute (API) como sendo absorção, remoção manual, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, biodegradação induzida, dispersão química, queima, limpeza natural e jateamento. No entanto, a adoção de métodos de limpeza pode ser muitas vezes mais prejudicial ao ambiente do que a própria contaminação.

GUNDLAUCH & HAYES (1978) e NOAA (2000 apud CASTRO, 2010) descrevem que o método de limpeza manual é mais indicado para setores de supra e intermaré, para evitar que grande quantidade de areia seja removida. Além disso, o tráfego de veículos também apresenta condições adversas, uma vez que faz com que o sedimento contaminado acabe se misturando ainda mais com sedimentos limpos, impactando principalmente a biota que, em geral, ocupa aproximadamente os 10 primeiros centímetros do sedimento.

No Brasil, os órgãos ambientais, como o MMA, entendem que um procedimento de limpeza eficiente é aquele que possibilita a remoção do contaminante, com mínimos impactos adicionais ao ecossistema atingido e que favorece a recuperação do ambiente no menor tempo possível. Assim, os métodos de jateamento de baixa e alta pressão, dispersão química e queima são rápidos e eficientes na remoção do óleo, porém causam maiores perturbações ao ecossistema.

A biodegradação ou bioremediação induzida também é um dos métodos de menor impacto e consiste em adicionar fertilizantes nas áreas contaminadas. Apesar de haver poucos estudos a respeito da sua real eficiência, este se apresenta como mais seguro sendo necessários avaliar o comportamento do mesmo para áreas com grandes variações de maré e regimes intenso de chuvas este método é ineficiente (CASTRO, 2010).

5.1. Atividades portuárias e potenciais risco aos sistemas praias amazônicos

As praias escolhidas para realização dos ensaios de permeabilidade situam-se próximas às rotas de embarcações e portos paraenses (Figura 7) sendo os principais no estudo os portos de Vila do Conde e Outeiro.



Figura 7: A) Porto de Vila do Conde, em Barcarena; B) Terminal Portuário de Outeiro em na ilha de Caratateua. Fonte: Associação Brasileira das Entidades Portuárias e Hidroviárias (2013).

A região portuária de Vila do Conde (Figura 8) localiza-se, à margem direita do Rio Pará, a cerca de 3,3 km à jusante da cidade de Vila do Conde, confronte à Baía do Marajó, que é o principal canal de acesso marítimo-fluvial de embarcações de grande porte (CDP, 2013). O porto foi inaugurado em 1985, através de um acordo entre Brasil e Japão, com objetivo de escoar a produção de alumínio produzido no complexo industrial da Albras/Alunorte (PA).

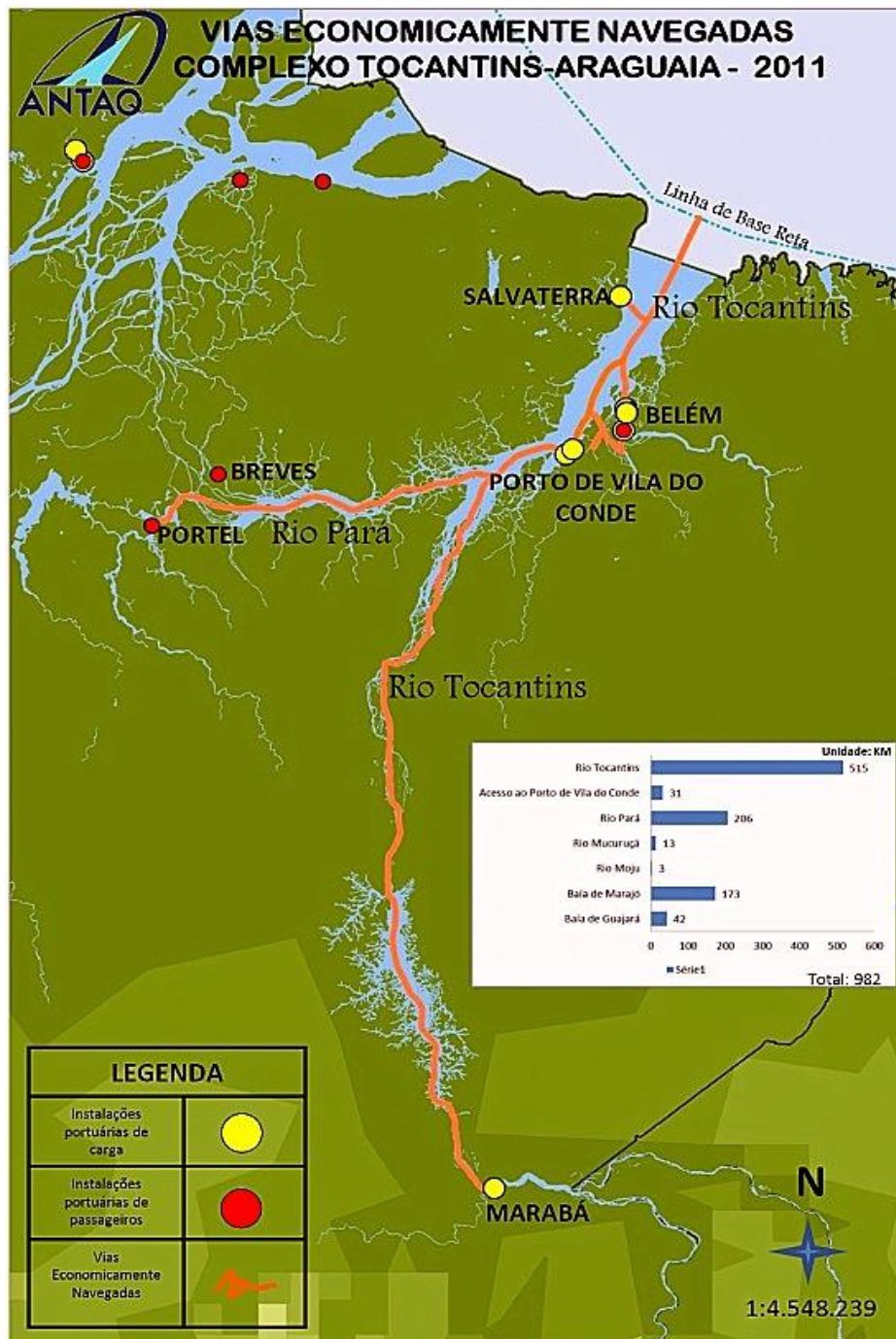


Figura 8: Vias economicamente navegadas e instalações portuárias de carga e passageiros.

Fonte: ANTAQ (2011).

Em 2011 o Porto de Vila do Conde representou quase 3/4 da movimentação de todas as mercadorias operadas nas instalações portuárias administradas pela CDP. Em um segundo patamar, o Terminal de Miramar (com 9,70%) apresenta participação percentual na movimentação de mercadoria bem próxima à do Porto de Santarém (com 10,52%) (CDP, 2012).

Nascimento (2010) relata que dois grandes acidentes envolvendo embarcações foram registrados no Rio Pará, às proximidades do porto de Vila do Conde. O primeiro ocorreu no ano de 2000, à 400m do porto, quando a Balsa Miss Rondônia, sob responsabilidade da TEXACO, afundou com 1.928 toneladas de combustível para a fábrica da ALBRAS. No entanto, o acidente de maior impacto ocorreu em 2008, com o rebocador Jeany Glalon XXVII, sob responsabilidade da empresa J. F. Oliveira Ltda, na entrada do Furo do Arrozal. A mancha de óleo atingiu a orla dos municípios de Barcarena e Abaetetuba, causando a contaminação da água e da vegetação, sendo necessária a interdição de praias.

Atualmente o porto de Vila do Conde é o maior porto industrial do Estado, atendendo o complexo de alumínio formado pelas empresas Alumínio Brasileiro S.A. (ALBRAS), Alumina do Norte do Brasil S. A (ALUNORTE), Alumínios de Barcarena (ALUBAR) e o polo caulínífero formado pelas empresas Pará Pigmentos S.A. e Imerys Rio Capim Caulim S.A. (PRATBEL, 2012).

No Terminal Portuário de Outeiro (Figura 8) não há registros de acidentes de grandes proporções envolvendo embarcações. Este movimentação principalmente graneis sólidos de origem vegetal como soja, trigo, cimento e cavacos de madeira. No entanto está localizado próximo ao principal porto de distribuição de inflamáveis.

A 15.000 metros, por hidrovias, está localizado o Terminal Petroquímico de Miramar que movimentação essencialmente inflamáveis líquidos como óleo diesel, G.L.P., querosene para aviões, gasolina comum e mistura MF-380 (CDP, 2012) representando um risco potencial as adjacências da margem direita da Baía do Guajará.

Além disso, são observadas ao longo das hidrovias amazônicas balsas-tanque que, em conjunto com cenário acima exposto, atribuem um alto grau de risco as áreas sobre influência do regime hidrográfico tornando este ambiente sensível ao risco de vazamento de combustíveis e insumos industriais, onde a permanência do óleo pode persistir por um longo tempo (NASCIMENTO, 2010).

O modal hidroviário representa a principal forma de transporte e circulação de cargas e passageiros na Amazônia. No que concerne à zona costeira paraense, os principais terminais portuários estão inseridos na rede hidrográfica que compreende as baías do Marajó e Guajará, além dos sistemas fluviais dos rios Pará, Tocantins e Amazonas, que possuem intenso fluxo de embarcações e variação constante das condições morfológicas dos bancos e canais, propiciando, assim, a possibilidade de ocorrência de eventuais acidentes.

6. METODOLOGIA

A metodologia está baseada na combinação de levantamento de dados bibliográficos pretéritos (secundários), trabalhos de campo (ensaios de permeabilidade com água e derivados de hidrocarbonetos – óleo diesel e gasolina; coleta de sedimentos), análises laboratoriais (processamento e análises granulométricas) e integração dos dados. Para fins de sistematização e descrição, os procedimentos metodológicos foram agrupados em três etapas à saber (Figura 9).

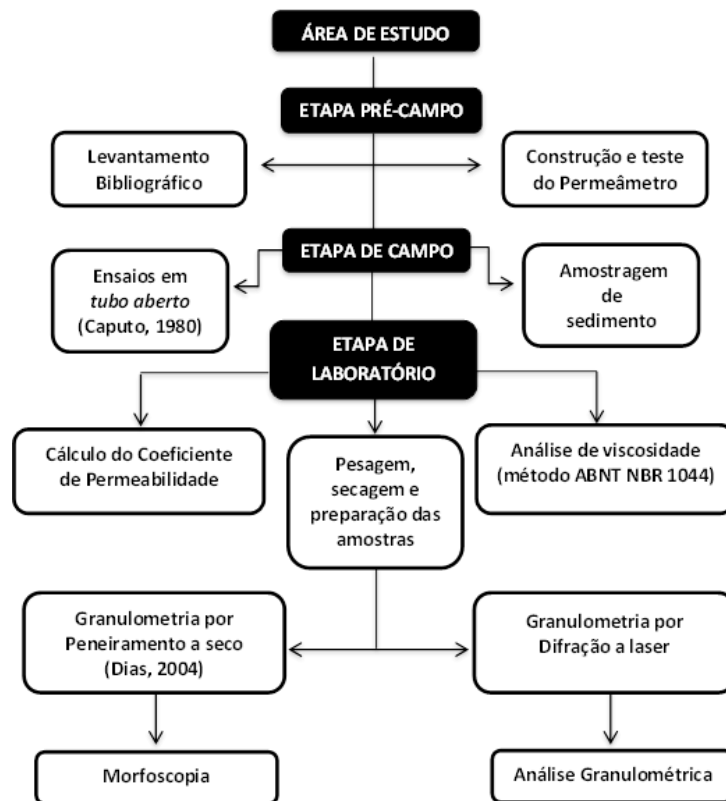


Figura 9: Fluxograma das etapas de realização do trabalho.

6.1. Pré-campo

Os dados secundários foram coletados com a finalidade de estabelecer a fundamentação teórica basilar para o desenvolvimento das diferentes etapas do trabalho, assim como para a caracterização fisiográfica das áreas estudadas.

Para tanto, foram consultadas bases de dados online hospedadas em sites técnico-científicos e acadêmicos, entre eles o da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), de instituições públicas como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e privadas como o da Companhia Docas do Pará (CDP). Adicionalmente foram realizadas pesquisas em bibliotecas especializadas (Museu

Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará). Além disso, foram feitos a construção e teste de um permeâmetro para averiguar a funcionalidade do mesmo na etapa de campo.

A partir do levantamento bibliográfico, foi verificado que a análise do potencial de risco a acidentes e contaminação está mais relacionados à frequência no fluxo de embarcações e eventos que mudam as condições fisiográficas tanto da região de praia quanto dos canais de navegação como é o caso do rio Pará apresenta constante variações de profundidade e mudanças de posição dos bancos, assim como as alterações das suas margens, por erosão representando maior risco a acidentes.

Nesse caso, foram utilizados os dados estatísticos pela Companhia Docas do Pará (CDP) de quantidade de embarcações atendidas, nos últimos cinco anos, em portos organizados a cada mês a fim de verificar os meses de maior fluxo de embarcações atendida e período de maior risco de acidente. Os dados foram separados em semestres que indicaram o 2º semestre (Figura 10) corresponde ao período de maior risco de acidentes envolvendo embarcações.

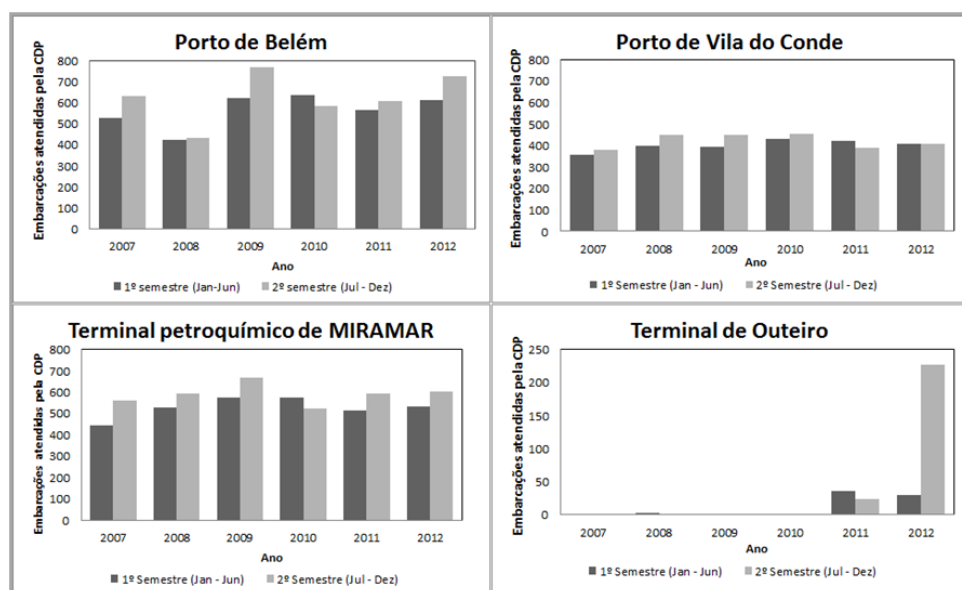


Figura 10: Estimativa de fluxo de embarcações atendidas pelos principais portos da CDP nos últimos cinco anos a cada semestre.

6.2. Procedimentos de campo

Os trabalhos e campo foram realizados no mês de novembro de 2013, na Praia de Caripi (Município de Barcarena) e Praia Grande (Ilha de Outeiro – Município de Belém).

6.2.1. Ensaios de permeabilidade

Considerando as condições de sazonalidade climática da Região Amazônica, seriam necessários ensaios de permeabilidade nas estações chuvosa e menos chuvosa. Contudo, o maior potencial de risco de acidentes com derrames de óleo e contaminação nas praias estudadas estão relacionados à frequência no fluxo de embarcações que ocorrem notadamente no período menos chuvoso (2º semestre), conforme atestam os dados estatísticos disponibilizados por CDP (2012).

O trabalho de campo constaram de ensaios de permeabilidade mediante utilização de um permeâmetro de PVC (Figura 11), segundo o método descrito por Caputo (1980).

O ensaio de tubo aberto (infiltração) é utilizado para solos mais finos e a determinação do coeficiente de permeabilidade é feita enchendo-se um furo com uma determinada quantidade de água e deixando-se a água percolar pelo solo.

Na metodologia dos ensaios em campo o permeâmetro foi enterrado no sedimento praias a profundidade de 5 cm e preenchido com fluido até o topo do tubo e cronometrando-se a partir do ponto zero o tempo que a coluna de fluido levava para percorrer o intervalo de 10 cm (Figura 11). O processo foi repetido por cinco (05) vezes para verificar a saturação e a validação dos dados pela média dos tempos obtidos.

Como fluido de percolação foram usados água das praias, gasolina e óleo diesel. Os ensaios foram realizados nos setores de supramaré e intermaré, vulneráveis à ação da mancha de óleo. Todos os ensaios foram realizados em situações acima do nível do lençol freático.

Foi realizado um ensaio para cada fluido nas duas zonas, totalizando doze (12) ensaios divididos entre as duas praias. Além disso, foram escavadas trincheiras de 0.5 m x 0.5 m (Figura 11), para avaliar o comportamento lateral e vertical do bulbo formado pelos fluidos de percolação utilizados quando da realização dos ensaios.

6.2.2. Coleta de sedimentos

As coletas de sedimentos praias foram realizadas nos mesmos pontos de ensaio, aproveitando as trincheiras escavadas, tendo como premissa a amostragem na camada superficial (0-10 cm).

As amostras de sedimentos foram retiradas com o auxílio de uma colher de pedreiro e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados para posterior análise umidade, granulométrica e morfoscopia em laboratório.



Figura 11: A) Permeâmetro artesanal; B) Intervalo de 10 cm que o fluido percorreu; C) Penetração e bulbo formado no perfil transversal; e D) Bulbo superficial no sedimento saturado.

6.3. Etapa de laboratório / Pós-campo

6.3.1. Processamento dos dados dos ensaios de permeabilidade

Com os dados de variação do tempo obtidos nos ensaios em campo foram calculados os coeficientes de permeabilidade para cada fluido, a partir da equação desenvolvida por CAPUTO (1980), como mostra a Equação 1, com base na equação experimental de Darcy.

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

Onde:

r - raio do tubo PVC (cm);

hm - média da altura da coluna d'água no nível inicial e final (cm);

dh - distância do tubo percorrida pelo fluido (cm);

dt - intervalo de tempo (segundos).

Os gráficos de permeabilidade foram feitos no software Grapher 8 com a unidade cm/s sendo este mais adequado para sedimentos de areia a qual a permeabilidade é maior.

6.3.2. Determinação da viscosidade dos fluidos

Para determinação da viscosidade foram feitas análises do óleo diesel no Laboratório de Pesquisa e Análise de Combustíveis (LAPAC), da Universidade Federal do Pará (UFPA).

As amostras de óleo diesel foram processadas no viscosímetro manual Schott CT52, segundo o método ABNT NBR 1044. O teste foi realizado fazendo-se escoar por gravidade, uma quantidade controlada da amostra do fluido através do viscosímetro de tubo capilar, em temperatura previamente fixada (40°C) e mantida sob controle. Posteriormente foi anotado o tempo necessário ao escoamento, o qual foi corrigido conforme o fator do tubo utilizado.

A análise da viscosidade da gasolina não foi realizada, pois o laboratório apenas disponibiliza análises para diesel e outros óleos de maior densidade. Além disso, a gasolina por ser uma mistura com composição difícil de ser determinada, pela sua complexidade, análises mais elaboradas precisariam ser feitas de forma a se estimar a viscosidade para esse combustível.

6.3.3. Análise Granulométrica

As amostras de 200g de sedimentos foram pesadas, secas em estufa à 50° C por dois dias e pesadas novamente para definição do percentual de umidade presente nas mesmas.

A separação granulométrica foi realizada mediante a utilização de dois métodos:

a) Peneiramento - Método clássico descrito em Suguio (1982), que consiste no quarteamento da amostra total para retirada de uma alíquota de 120 g, submetida à peneiramento por aproximadamente 10 minutos, em coluna de peneiras empilhadas a intervalos de $\frac{1}{2} \Phi$ (phi), utilizando a escala de Wentworth (1922). A separação granulométrica por peneiramento foi feita com objetivo de encontrar a classe granulométrica predominante para análise morfoscópica dos grãos.

b) Granulometria a laser - Foram separadas 5g de cada amostra e adicionados 10 ml de água destilada e 2 ml de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) para evitar a floculação dos grãos, deixando agir por um período de 24 horas. O granulômetro ANALYSETTE

22/FRITSCH, do Laboratório de Mineralogia Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) do Museu de Geociências da UFPA, foi usado para análise com o intervalo de 1 Φ , onde foram geradas tabelas com informações granulométricas das amostras. A separação granulométrica por laser foi utilizada para a classificação dos sedimentos, por ser um método mais confiável e preciso, conforme demonstrado por Pye & Blott (2004).

Os resultados foram tabulados em planilhas do software Microsoft Office Excel e posteriormente exportadas para o software Sysgran, para o cálculo dos parâmetros estatísticos (grau de seleção, desvio padrão, assimetria e curtose) da distribuição granulométrica e, conseqüentemente, classificação dos sedimentos de acordo com o sistema proposto por Folk e Ward (1957).

6.3.4. Análise morfoscópica

Após a separação granulométrica por peneiramento foi extraída uma alíquota da classe granulométrica dominante, a qual foi disposta em uma lâmina reticulada, de fundo preto e fosco.

A observação dos grãos foi realizada no Laboratório de Microscopia óptica do Museu paraense Emílio Goeldi, mediante utilização de lupa binocular, com iluminação por reflexão dirigida a 45° e zoom óptico de 0.75x.

Os grãos minerais observados foram os de quartzo, dada a sua ampla distribuição nos sedimentos praias. Em cada amostra foram observados 100 grãos. Evidentemente que a observação de um número maior de grãos ampliaria o rigor estatístico da análise, mas conforme demonstrado em Dias (2004) normalmente não conduz a melhoria significativa dos resultados. Por essa razão é necessário considerar que esse tipo de análise é meramente aproximada.

7. RESULTADOS

7.1. Análise Granulométrica

Os sedimentos coletados em ambas as praias estudadas foram classificados como areia fina (supramaré / pós-praia) a média (intermaré), muito bem selecionada (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros qualitativos quanto média granulométrica, grau de seleção e assimetria.

		Média	Classificação	Seleção	Assimetria
Praia Grande	Supramaré	2,008	Areia fina	Muito bem selecionado	Muito negativa
	Intermaré	1,838	Areia média	Muito bem selecionado	Negativa
Praia do Caripi	Supramaré	2,061	Areia fina	Muito bem selecionado	Negativa
	Intermaré	1,598	Areia média	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica

Na Praia Grande em Outeiro, a fração predominante foi correspondente a areia média (1ϕ) e fina (2ϕ), principalmente para areia média que se apresentou em maior percentual com 52,25% na zona supramaré (Figura 12A) e 61,46% na zona intermarés (Figura 12B).

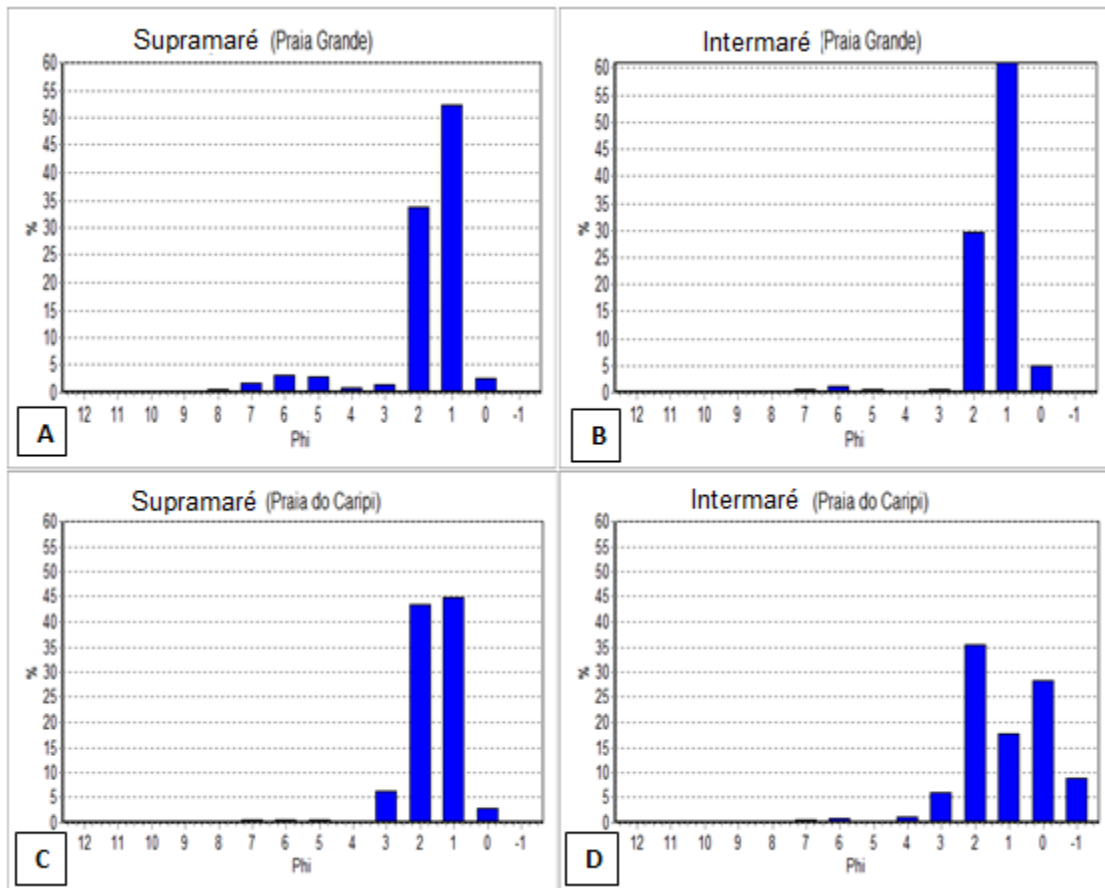


Figura 12: Histogramas com percentual granulométrico para A) Zona Supramaré - Praia Grande; B) Intermaré - Praia Grande; C) Supramaré - Caripi; e D) Intermaré - Caripi.

As classes granulométricas foram variáveis quanto à predominância para a Praia do Caripi, onde a região supramaré apresentou 44,93% de areia média (Figura 12C) e 35,51% de areia fina (Figura 12D). Além disso, somente a zona intermaré apresentou variação significativa para outras classes que vão de areia muito fina a areia muito grossa demonstrando a heterogeneidade do ambiente.

Na análise dos parâmetros qualitativos de Folk & Ward (1957), a média os valores do grau de seleção foram classificados como muito bem selecionados e assimetria negativa à simétrica para ambas as praias, representando que há predominância de uma classe granulométrica em cada amostra de cada zona como observado na Tabela 4.

As medidas de assimetria foram muito negativas na zona supramaré na Praia Grande, enquanto que na Praia do Caripi, na zona intermaré a distribuição se apresentou aproximadamente simétrica.

Em comparação às duas praias, as zonas supramaré e intermaré tiveram o mesmo comportamento quanto à média, classificação e grau de seleção, mudando apenas a assimetria.

Quanto ao teor de umidade das amostras estudadas, os valores obtidos demonstram que a Praia Grande se apresentava com maior teor de umidade (Figura 13) em comparação à Praia do Caripi, condição que pode ser explicada pelo horário da coleta que ocorreu em maré vazante e, portanto, a matriz sedimentar se encontrava a pouco tempo exposta aos raios solares. Ao contrário, na Praia do Caripi a coleta ocorreu em condição de maré enchente, estando o sedimento mais tempo exposto à radiação solar.

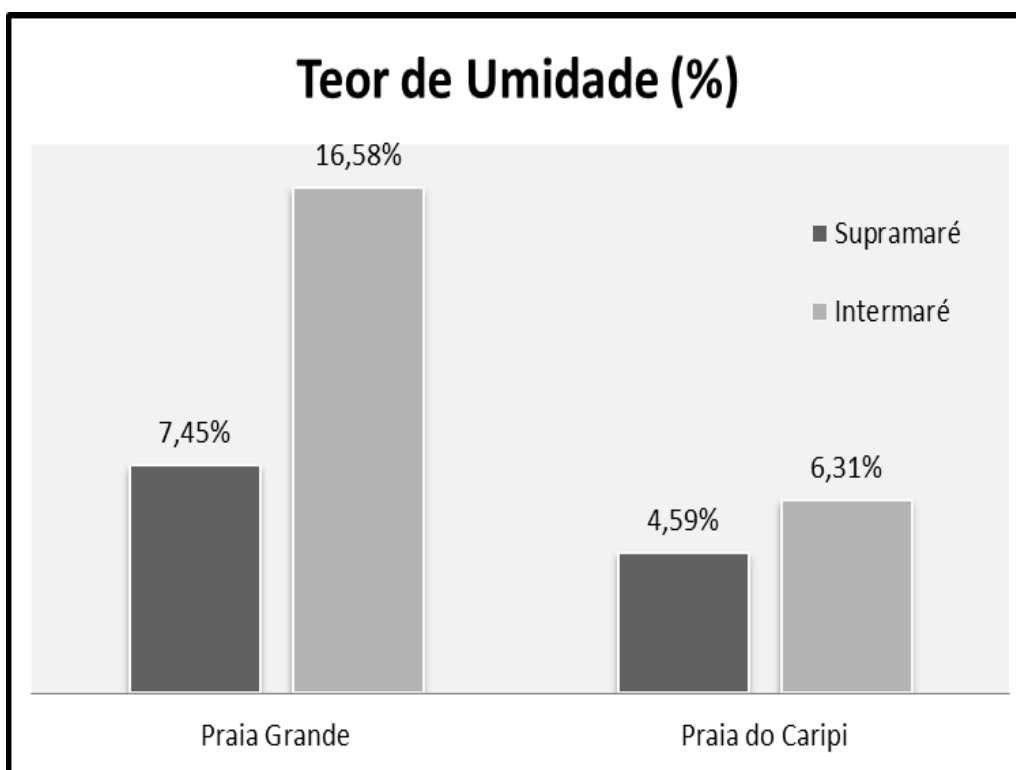


Figura 13: Teor de umidade das amostras das regiões do ensaio.

7.2. Morfoscopia

De maneira geral os grãos subarredondados predominam nas praias estudadas.

Na Praia Grande, na zona supramaré, o percentual de ocorrência é de 41%, seguido de 26,5% de grãos arredondados. Na zona intertidal esses percentuais permanecem estabilizados, com pequenas variações (Figura 14).

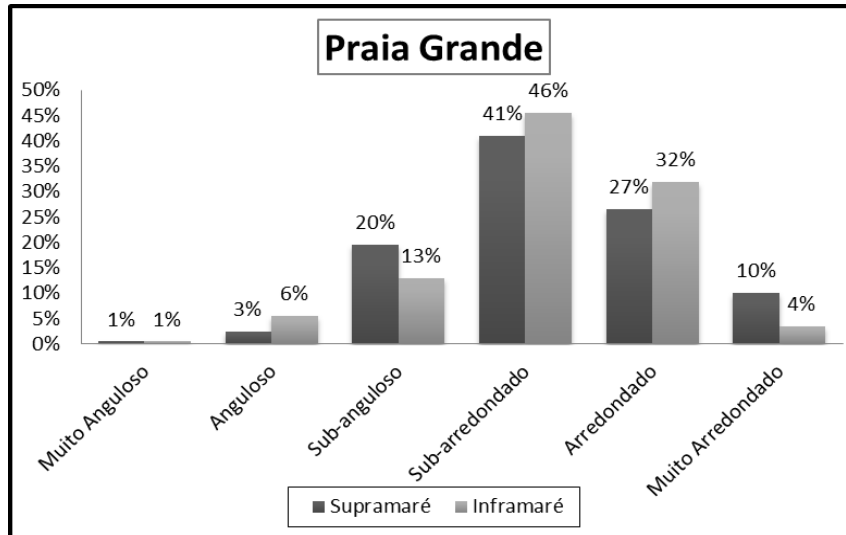


Figura 14: Maturidade dos grãos da Praia Grande.

Na Praia do Caripi os grãos subarredondados predominam na distribuição, com percentuais de ocorrência superior a 60% na zona de pós-praia. Todavia foi registrado um aumento na presença de grãos sub-angulosos (Figura 15), representando diferença de maturação dos grãos entre as duas praias, ou ainda, a forte contribuição de sedimentos fluviais. Na zona intermaré ocorreu pequeno decréscimo nos percentuais de grãos subarredondados (52,5%) e subangulosos (26,5%).

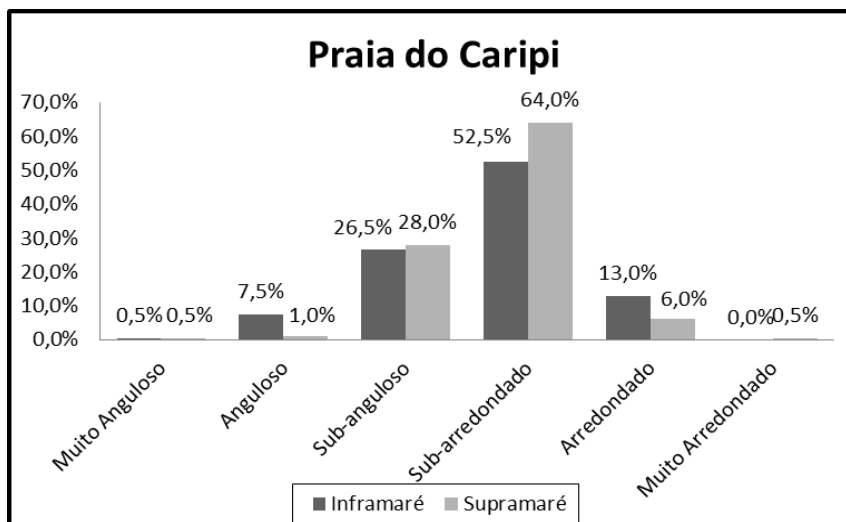


Figura 15: Maturidade dos grãos da Praia do Caripi.

7.3. Ensaios de permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade realizados mostraram uma nítida diferença entre as zonas de supramaré e intermaré das praias estudadas.

No caso do ensaio realizado com água os valores máximos de coeficiente de permeabilidade foram encontrados na zona intermaré. Para a gasolina os valores maiores foram registrados nas zonas de supramaré, ao passo que para o óleo diesel, na Praia Grande, o maior valor foi registrado na zona de supramaré, enquanto que na Praia do Caripi, o coeficiente de permeabilidade foi maior no setor intermaré.

Os intervalos de tempo não apresentaram um comportamento linear, provavelmente pela diferença das propriedades físicas dos fluidos utilizados nos ensaios. O intervalo de tempo de percolação para água demonstrou um mínimo correspondente à região de intermaré para ambas as praias estudadas.

O tempo máximo de percolação foi registrado nos ensaios com óleo diesel, sendo que a Praia do Caripi apresentou uma grande variação entre os dois setores estudados, coincidentemente os valores máximos e mínimos para todos os ensaios com óleo diesel foram para praia do Caripi.

Em relação aos três ensaios com água, gasolina e diesel realizados em ambas as praias os tempos mínimos foram registrados para o teste com gasolina. A Tabela 5 mostra os intervalos de tempo, em segundos, nos ensaios para cada zona em ambas as praias.

Tabela 5: Tempo de percolação (em segundos) dos fluidos no intervalo de 10 cm.

PRAIA GRANDE		
	Supramaré	Intermaré
Água	38:38	26:34
Gasolina	30:54	38:44
Óleo Diesel	109:37	144:13

PRAIA DO CARIPI		
	Supramaré	Intermaré
Água	45:82	38:81
Gasolina	40:31	59:90
Óleo Diesel	171:79	65:42

Os valores de intervalo de tempo foram empregados na equação experimental desenvolvida por CAPUTO (1980) para ensaios em *tubo aberto* e possibilitou gerar gráficos com os coeficientes de permeabilidade para cada fluido. É importante ressaltar que os valores do coeficiente de permeabilidade são inversamente proporcionais ao tempo de percolação do fluido no sedimento.

Através da razão entre os coeficientes de permeabilidade da água em relação ao óleo e à gasolina, foi possível a obtenção de uma relação quantitativa que reflete a velocidade de percolação entre os três tipos de fluidos utilizados no ensaio. A relação água/gasolina em ambas as praias mostra um acréscimo em direção à zona intermaré. Na Praia do Grande a relação água / óleo diesel também apresenta acréscimo para a zona intertidal, mas na Praia Grande essa relação apresenta padrão inverso, ou seja, sofre decréscimo em direção à zona intermaré (Tabela 6).

Tabela 6: Valores de coeficiente de permeabilidade obtidos para gasolina, óleo diesel e água nas praias estudadas.

Praia	Setor	$K_{\text{óleo}}$	K_{gasolina}	$K_{\text{água}}$	$\frac{K_{\text{água}}}{K_{\text{gasolina}}}$	$\frac{K_{\text{água}}}{K_{\text{óleo}}}$
		($\times 10^{-2}$)	($\times 10^{-2}$)	($\times 10^{-2}$)	($\times 10^{-2}$)	($\times 10^{-2}$)
Praia Grande	supramaré	1.6	5.7	4.5	0.78	2.81
	intermaré	1.2	4.5	6.6	1.46	5.5
Praia do Caripi	supramaré	1.0	4.3	3.8	0.88	3.8
	intermaré	2.6	2.9	4.5	1.55	1.73

Nas figuras 16 e 17 são apresentados os valores de coeficiente de permeabilidade (K) para as praias Grande e Caripi.

Os perfis de permeabilidade apresentaram grandes diferenças entre as regiões de supramaré e intermaré, sendo a gasolina o fluido que apresentou os maiores valores de K para os ensaios da zona supramaré. Contrapondo-se, o perfil de permeabilidade para a zona intermaré apresentou valores de K mais altos para água e uma queda linear para gasolina e diesel.

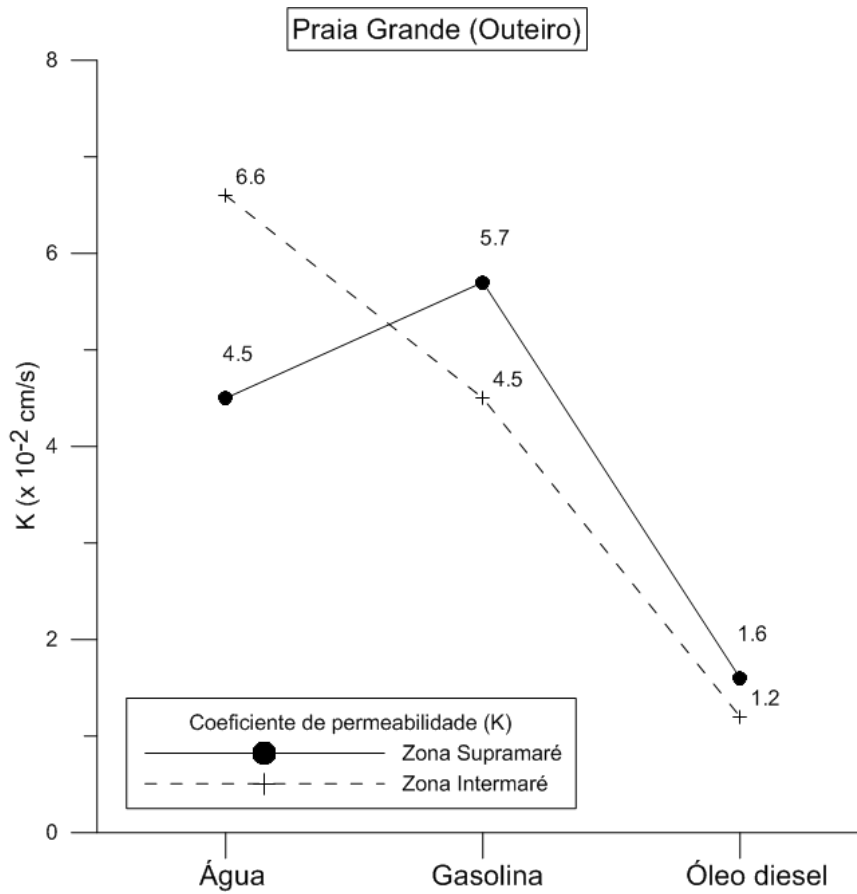


Figura 16: Gráficos de coeficientes de permeabilidade para a Praia Grande.

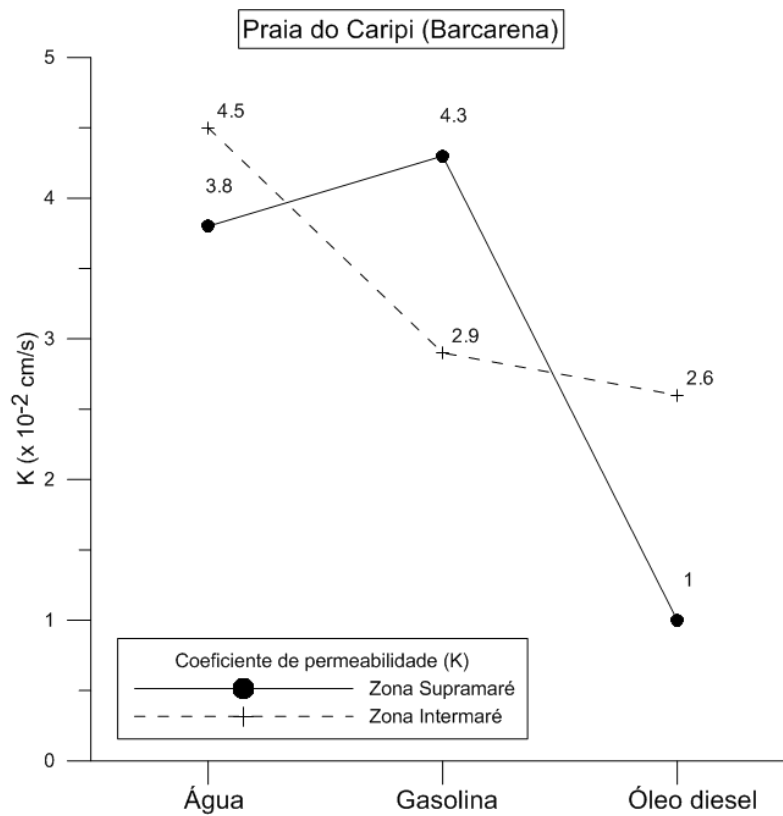


Figura 17: Gráficos de coeficientes de permeabilidade para a Praia do Caripi.

Em comparação as duas praias, os coeficientes de permeabilidade foram mais elevados para a Praia Grande, ou seja, os intervalos de tempo que o fluido levou para percolar o sedimento foram menores nessa praia do que na Praia do Caripi.

Baixos valores relativos de K encontrados para as zonas de supramaré nas praias estudadas indicam uma velocidade de percolação da gasolina muito semelhante. Desta forma, uma determinada carga desse fluido levará praticamente o mesmo tempo para se infiltrar nos sedimentos de ambas.

8. DISCUSSÃO

Os parâmetros declividade, percentual de umidade dos sedimentos e grau de arredondamento dos grãos constituintes são os fatores que mais influenciam no estabelecimento dos diferentes valores de coeficiente de permeabilidade obtidos no presente estudo.

De acordo com Krumbein e Monk (1942) apud Pereira (2005) a permeabilidade em sedimentos arenosos é controlada basicamente pelo tamanho médio dos grãos e desvio padrão. No presente estudo, ambas as praias apresentam a mesma classificação granulométrica (areia fina a média) e mesmo grau de seleção (bem selecionadas), sendo apenas observado um acréscimo de sedimentos grosseiros na zona intermaré da praia do Caripi com assimetria indicando aproximadamente simétrico.

Nas duas praias analisadas a permeabilidade não apresentou um perfil uniforme para cada zona como pode ser observado na tabela 8, sendo constatada a relação tamanho, seleção dos grãos e viscosidade dos fluidos como fatores preponderantes no tempo de percolação dos fluidos na matriz sedimentar.

A predominância de alguns tipos de minerais tem grande influência sobre os resultados de permeabilidade. A matriz sedimentar das áreas estudadas é composta principalmente por materiais silicosos (quartzo), tornando os valores de “K” da ordem de 10^{-2} , ou seja, a permeabilidade foi elevada para todas as praias.

Outro fator de influência é o arranjo estrutural da areia que é mais simplificado em comparação aos sedimentos mais finos, constituídos por canalículos interconectados onde a água flui mais facilmente.

Para fins de sistematização das discussões os resultados foram agrupados em uma tabela de síntese (Tabela 7).

Tabela 7: Comparação dos dados obtidos no estudo das Praias Grande e Caripi.

	ESTUARINA		FLUVIAL	
	Praia Grande		Praia do Caripi	
	Zona Supramaré	Zona Intermaré	Zona Supramaré	Zona Intermaré
GRANULOMETRIA	Fina	Média	Fina	Média
GRAU DE SELEÇÃO	Muito bem selecionado		Muito bem selecionado	
ARREDONDAMENTO	Sub-arredondado a arredondado		Sub-anguloso a sub-arredondado	
DECLIVIDADE	< 2°		> 4° menos chuvoso / < 2° chuvoso	
UMIDADE (%)	7.45	16.58	4.59	6.31
LENÇÕL FREÁTICO	~ 10 e 12 m		~ 6 e 9 m	
$K_{\text{água}}$ (cm/s)	4.5×10^{-2}	6.6×10^{-2}	3.8×10^{-2}	4.5×10^{-2}
K_{gasolina} (cm/s)	5.7×10^{-2}	4.5×10^{-2}	4.3×10^{-2}	2.9×10^{-2}
K_{diesel} (cm/s)	1.6×10^{-2}	1.2×10^{-2}	1×10^{-2}	2.6×10^{-2}

8.1. Coeficiente de permeabilidade das praias Grande e Caripi

Nas praias Grande e do Caripi a permeabilidade natural (ensaio com água), foi elevada na zona intertidal, onde a granulometria descreveu a predominância de areia média. Dessa forma, a capilaridade da matriz sedimentar é mais elevada nesta porção do perfil em relação a zona supramaré que possui predominantemente areia fina, menor teor de umidade e permeabilidade menor. Estudos realizados por McLachlan (1979) indicam que o processo de filtração da água pela praia é controlado pelo grau de saturação da areia, que por sua vez, é relacionado com a distância acima do lençol freático. Sendo assim os maiores fluxos intersticiais ocorrem acima da praia, nas areias mais secas.

A diferença dos coeficientes de permeabilidades nos ensaios de água entre as duas praias foi condicionado pelo grau de arredondamento observado nas amostras coletadas em cada praia. Na Praia Grande, a maior porcentagem de grão sub-arredondados e arredondados garantiram que o tempo de infiltração da água fosse menor, dada a menor área de contato entre os grãos e conseqüentemente o estabelecimento maior de poros na matriz sedimentar. Sendo assim a permeabilidade foi mais elevada.

A praia do Caripi, sob influência fluvial, apresentou sedimentos com grau de arredondamento que variou de subangulosos a subarredondados, característica esta que torna o arranjo descontínuo de acomodação dos grãos, permitindo que haja ocupação dos interstícios por sedimentos de granulometria menor.

Os ensaios com gasolina e óleo diesel demonstraram que a viscosidade dos fluidos, a declividade da face praial e a umidade contida no sedimento foram os principais fatores de influência no coeficiente de permeabilidade.

Nos ensaios com gasolina, a permeabilidade foi maior na zona supramaré. A umidade elevada da zona intermaré fez com que a gasolina, tivesse maior tempo de percolação no sedimento. Tal fato foi nitidamente observado nos ensaios com os dois tipos de combustíveis na zona intermaré da Praia Grande, onde o percentual de umidade chegou a 16,58% e os fluidos, apesar de menor tempo de infiltração, ao invés de percolarem a matriz sedimentar de forma vertical sofreram um espalhamento horizontal, como observado nos bulbos formados nas camadas superiores do pacote sedimentar (Figura 18).

Esse comportamento já havia sido descrito por Adams et. al. (2007), que determinam que o teor de umidade, mesmo como fator secundário, restringe a profundidade de infiltração do óleo, haja vista que a insolubilidade do óleo na água faz

com que este encontre dificuldade em percolar a matriz sedimentar, restringindo o óleo aos primeiros centímetros do sedimento.



Figura 18: Bulbo formado pelo processo de infiltração de gasolina nos sedimentos com menor e maior teor de umidade.

De acordo com Rocha *et al.* (2005) a diferença encontrada nos formatos dos bulbos pode ser explicada através de duas alternativas: (i) a partir das variações nos coeficientes de permeabilidade horizontais e verticais: pode variar no interior do pacote de sedimentos em função da sua heterogeneidade. Em situações de poros isotrópicos a permeabilidade é igual em todas as direções. No entanto, sedimentos em ambientes naturais são predominantemente anisotrópicos, significando que a permeabilidade horizontal é diferente da vertical (Rocha *et al.*, *op. cit.*); (ii) de acordo com a porcentagem de água encontrada nos interstícios dos grãos o óleo, de menor densidade,

tende a apresentar um maior espalhamento horizontal, funcionando a água como uma barreira de imiscibilidade.

O comportamento do óleo diesel foi determinado tanto pela granulometria dos sedimentos quanto pela viscosidade do combustível. Na Praia Grande o coeficiente de permeabilidade para zona supramaré foi maior em relação zona intermaré que é resultado da quantidade de umidade nesta última. Em contrapartida, a Praia do Caripi em que o teor de umidade foi baixo em ambas as zonas, a permeabilidade foi maior na zona intermaré onde a granulometria dos sedimentos é mais grossa (areia média).

É importante atentar que o grau de seleção foi determinado como muito bem selecionado para as duas praias. Sendo assim, a diferença nas viscosidades dos fluidos utilizados foi o principal fator de influência sobre o coeficiente de permeabilidade. Assim, em condições de menor umidade e viscosidade maior da gasolina a permeabilidade se apresentou maior no sedimento, seguido da água e óleo diesel.

A relação do estágio praial com a permeabilidade também pode determinar o K das praias estudadas. A característica dissipativa (declividade menor que 5°) é facilmente observada na Praia Grande, conforme dados apresentados por Silva (2013). A composição de areia fina nessa praia dissipativa, sob influência de processos estuarinos, pode ser indicativo de um ambiente de maior variedade da fauna bentônica, que favorece o processo de infiltração no sedimento através da construção de tubos e galerias e pode ser um dos fatos dos elevados valores de permeabilidade na Praia Grande.

A Praia do Caripi apresenta características morfológicas que variam de acordo com a sazonalidade. Os estudos realizados por Saldanha (2009) demonstram que a Praia do Caripi apresenta dois estágios: a) reflectivo, com estágio terraço de maré baixa e correntes de contorno no período menos chuvoso de novembro; b) Intermediário com estágio de praia dissipativa para os perfis realizados em fevereiro, período mais chuvoso.

A partir das características descritas as praias Grande e do Caripi assumem Índice de Sensibilidade do Litoral de valor 3, relativo a praias dissipativas com granulometria média a fina, e nível de vulnerabilidade baixo segundo o índice estabelecido por NOAA e descrito por SILVA & MUEHE (1997).

Considerando as condições de sazonalidade da Região Costeira Amazônica, seria necessário o mínimo de um ensaio para cada estação, no caso da região norte, período chuvoso e menos chuvoso. Porém, baseado em no levantamento da variação

sedimentológica foi possível verificar que a diferença na composição sedimentar das praias quanto a granulometria pouco sofre variação em relação a sazonalidade, sendo apenas verificado a diferença na morfologia.

8.2. Infiltração de contaminantes e medidas de contenção

A profundidade da superfície freática é apontada também como um fator de influência na permeabilidade das praias, uma vez que umidade, apesar de não determinar o tempo de infiltração, pode dificultar a profundidade de penetração de derivados de petróleo no sedimento.

A água subterrânea das praias é considerada como aquíferos costeiros não confinados, altamente dinâmicos, em que os fluxos ocorrem nos sedimentos saturados e não saturados e que são dirigidos pela maré, ondas, espraiamento, evaporação e precipitação. Na região costeira paraense há grande influência da variação diária da maré e a morfodinâmica sazonal das praias que modificam elevação da superfície freática.

Saldanha (2009) descreve que na Praia do Caripi existem mudanças morfológicas no perfil praial nos períodos de fevereiro e novembro. Logo, as mudanças morfológicas que ocorrem na Praia do Caripi, geram basicamente perfis mais convexos durante o período menos chuvoso (novembro), com predominância de areias médias, devido à maior ação dos ventos que mobilizam sedimentos de menor granulometria para a zona de intermaré. No período seguinte, quando predominam as chuvas (fevereiro) e os ventos são mais fracos, o fator predominante é o hidrodinâmico (ondas e marés). As marés tornam-se mais efetivas, passam a predominar neste período, principalmente quando acontecem as marés de sizíguas.

Assim, no período de novembro quando os eventos chuvosos são menores pode-se dizer que o nível do lençol freático, via de regra, é determinado pela variação de maré e espraiamento dos zonas em estudo, apresentando um nível mais baixo. Entretanto no período mais chuvoso (fevereiro) esses níveis são fortemente influenciados pelas condições pluviométricas e maré de sizígia da região que tornam o nível do lençol mais elevado.

Nesse contexto, caso haja uma eventual exposição a derivados de petróleo, na praia do Caripi, a permeabilidade da mesma seria maior no período menos chuvoso (novembro) em por conta do baixo teor de umidade contido no sedimento de praia. Entretanto, no período mais chuvoso (fevereiro) a mancha de óleo pode alcançar o nível

mais alto do perfil praial, uma vez que essa praia está em um processo erosivo, por conta dos altos níveis energéticos dos ventos e marés, conforme demonstrado por Rocha (2013).

A remoção mecânica ou manual se faz necessária em ambas as praias, sendo o primeiro método é a ação de resposta imediata, uma vez que as praias Grande e Caripi apresentam fácil acesso de veículos e máquinas. Entretanto, este método apresenta maior potencial prejudicial, pois acaba descaracterizando a morfologia do perfil praial uma vez que é necessário a retirada de grandes quantidades de areia, causando prejuízo para comunidade biológica e podendo causar maior penetração do combustível em profundidade pela movimentação de máquinas na areia.

Pelas características descritas, o método de limpeza manual seria mais eficiente e causaria menor impacto nos sedimentos praias das áreas estudadas. A Tabela 8 mostra a estimativa do tempo em que os combustíveis levariam para alcançar o nível saturado da matriz sedimentar nas condições ambientais descritas no trabalho.

O cálculo da estimativa foi feito considerando-se a profundidade dos níveis dos poços localizados nas praias Grande e Caripi. Os dados foram obtidos a partir de conhecimento empíricos dos moradores da praia Grande e o trabalho de Mendes & Verma (2013).

Tabela 8: Estimativa de tempo (em horas) de alcança dos combustíveis no nível freático.

Tempo em h	Praia Grande		Praia do Caripi	
	Gasolina	Óleo diesel	Gasolina	Óleo diesel
Supramaré	0,84	3,03	1,11	4,77
Intermaré	1,06	4,00	1,52	1,81

O tempo de uma ação de resposta ao óleo diesel ficou em média de três horas, antes que esse poluente contamine o nível saturado e torne a água imprópria ao uso.

9. CONCLUSÃO

O coeficiente de permeabilidade mostrou-se bastante relacionado ao tamanho médio do grão. De uma forma geral, como já esperado, a permeabilidade do sedimento ao óleo foi menor e mais lenta do que a da gasolina e da água. A diferença encontrada entre os coeficientes de permeabilidade pode ilustrar dois aspectos fundamentais: as características texturais (granulometria, seleção e morfoscopia) dos sedimentos que constituem as praias, o estágio morfodinâmico.

Há uma nítida diferenciação em relação ao padrão de permeabilidade do sedimento aos combustíveis e os setores praias, sendo que na zona supramaré os coeficientes de permeabilidade se mostraram mais elevados. Nas praias estudadas a permeabilidade natural foi mais elevada na zona intertidal, constituída por areia média, em relação a zona supramaré que possui predominantemente areia fina.

Essa relação também se repete no que concerne à morfologia praias, onde na Praia Grande, de caráter nitidamente dissipativo (declividade $< 2^\circ$), os coeficientes de permeabilidade dos combustíveis foram maiores do que aqueles registrados na Praia do Caripi, onde a declividade é maior que 4° e os valores de coeficiente de permeabilidade, sobretudo para o óleo diesel, foram menores.

Os ensaios demonstraram que os combustíveis apresentam tendência a ter maior espalhamento horizontal, sobretudo na Praia Grande, onde o teor de umidade é mais elevado e a declividade é menor, fazendo com que os fluidos ao invés de percolarem a matriz sedimentar de forma vertical sofreram um espalhamento horizontal, ampliando sua área de espalhamento em profundidade e, conseqüentemente, seu tempo de permanência no ambiente.

No que diz respeito a vulnerabilidade das praias estudadas em relação a permeabilidade, a Praia Grande apresenta-se como a mais vulnerável do que a Praia do Caripi. No que pese a relação direta entre a permeabilidade, infiltração e a média da distribuição granulométrica e grau de seleção dos sedimentos praias, outros parâmetros como a declividade, percentual de umidade dos sedimentos e grau de arredondamento dos grãos constituintes foram os fatores que mais influenciaram no estabelecimento dos diferentes valores de coeficiente de permeabilidade, o comportamento de percolação dos fluidos na matriz sedimentar e, conseqüentemente, no grau de vulnerabilidade das praias estudadas a acidentes e vazamento de derivados de petróleo.

A Praia Grande de influência estuarina e característica dissipativa apresentou os sedimentos mais arredondados que é próprio de ambiente com alta energia. Nesse caso,

as variações da maré proporcionam melhor retrabalhamento dos grãos que garantem maior permeabilidade do sedimento.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em casos de derramamentos de petróleo e derivados que possam atingir a área estudada, o tempo de infiltração e o coeficiente de permeabilidade das praias devem ser analisados conjuntamente com as condições da maré, índices pluviométricos, perfil praial e granulometria.

Como sugestões para trabalhos futuros, indica-se estudos de permeabilidade das praias em caráter sazonal, atrelados às variações naturais do lençol freático e suas variações espaço-temporais de acordo com os processos hidrodinâmicos.

Adicionalmente, é necessário analisar o comportamento de percolação e permeabilidade de óleos com diferentes densidades, como, por exemplo, aqueles de baixo ponto de fusão (BPF) além da realização de experimentos que visem estudar a interação das diferentes fases (água, óleo e ar) envolvidas no processo de chegada do óleo nas praias.

Desta forma, o estabelecimento dos índices de sensibilidade ambiental e as tomadas de decisão a respeito do definição de áreas de proteção prioritária e da adequação do uso de métodos de limpeza, que em praias arenosas deve ser feita mais rapidamente, será baseada não somente no risco imediato que a praia esta sujeita, mas também levando em consideração a permeabilidade e tempo de infiltração, que também interferem no potencial do sedimento reter a contaminação.

Sob o ponto de vista operacional, durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias, esses tipos de informações podem ser de grande utilidade na redução de impactos e custos operacionais causados por eventuais derrames, aumentando o grau de sucesso de medidas mitigatórias e reduzindo custos.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, R.B. Identification of essential oil components by gas chromatograph/mass spectrometry. 4th ed. Carol Stream: Allured, 2007. p.804.

ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T-I.; CASAGRANDE, D. Poluição por óleos: Formas de introdução de petróleo e derivados no ambiente. *Integração*, n. 49, p. 159-166, 2007.

BOULHOSA, M. B. M. Análise de imagens LANDSAT ETM+, RADARSAT-1 em modelos numéricos de terreno para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na costa de manguezais do nordeste do Pará. 2006. 151 f. Dissertação (Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. 2006.

BRASIL. Lei N° 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. *Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil*. Brasília, 28 de abril de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9966.htm>. Acesso em: 07 de Jan. 2014.

CANCIAM, C. A. Efeito da temperatura na viscosidade de alguns Éteres: Predição da energia de ativação viscosa. *Revista e-xacta*, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 83-97. (2012).

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

CASTRO, A. M. Estudo técnico para limpeza da areia de produção e descarte no mar. 2010. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia do Petróleo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. Estatísticas 2012 – 2008. Disponível em: <www.cdp.com.br/>. Acesso em: 07 de Janeiro de 2014.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. Relatório de Gestão do Exercício de 2011. Belém, PA. 2012.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA RECURSOS DO MAR. 2º Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II). Brasília. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

CLARK, J. Integrated coastal management – A world wide challenge to comprehend – shoreline and coastal Waters as single unit. *Sea Technology*, Virginia, v. 37. N. 6, 1996.

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

DIAS, J. A. A Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Algarve: Universidade do Algarve, 2004.

EL-ROBRINI, M.; SILVA, M.M.A.; SOUZA FILHO, P.W.M.; SILVA, Jr. O.G.; FRANÇA, C.F. Erosão e Progradação do litoral brasileiro - Pará. 46 p. 2001.

FENSTER, M.S.; KNISLEY, C.B.; REED, C.T. Habitat preference and the effects of beach nourishment on the federally threatened northeastern beach tiger beetle, *Cicindela dorsalis*: Western shore, Chesapeake Bay, Virginia. *J. Coast.* 2006. n. 22, 1133–1144.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology and Petrology*. 1957. v. 27. n.1, p. 3-27.

FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. Soil mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons. 1993.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. *Marine Technology Society Journal*, 1978. n. 12, 18–27.

HAYES, M. O.; MICHEL, J. Factors Determining the Long-Term Persistence of Exxon Valdez Oil in Gravel Beaches. *Marine Pollution Bulletin* v. 38 n. 2: p. 92-1001, 1999.

Hidráulica Aplicada a Tubulações (HIDROTEC). Base de dados - Viscosidade Cinemática. Disponível em < <http://www.hidrotec.xpg.com.br/tabvisc.htm>> Acesso em 11 de Dezembro de 2013.

HOEFEL, F. G. Morfodinâmica de Praias Arenosas: uma Revisão Bibliográfica. Itajaí, 1998. Editora da Univali. 92 p.

JACKSON, N.L.; NORDSTROM, K.F. Site-specific controls on wind and wave processes and beach mobility on estuarine beaches. *Journal of Coastal Research* 8, 1992. p. 88–98.

JACKSON, N.L.; NORDSTROM, K.F. Depth of activation of sediment by plunging breakers on a steep sand beach. *Mar. Geol*, 1993. n. 115. p. 143–151.

KLEIN, A.H.F.; DE MENEZES, J.T.; Beach morphodynamic and profile sequence for a headland bay coast. 2001. n.17, p. 812–835.

KOMAR, P. D. Beach processes and Sedimentation. Second edition. New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1998.

MARTINS, S. E. M. Geomorfologia E Sedimentologia Dos Depósitos Sedimentares Recentes Da Porção Superior Do Estuário Do Rio Pará (Baía De Marajó, Amazônia). (Dissertação de Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2010.

MCLACHLAN, A. & ERASMUS, T. 1983. *Sandy Beaches as Ecosystems*. 1st. Ed. The Hague, Dr. Junk Publishers. 756 p.

MCLACHLAN, A. 1990. Dissipative Beaches and Macrofauna Communities on exposed Intertidal Sands. *Journal of Coastal Research* 6(1): 57-71.

MENDES, J. C., 1992. *Elementos de Estratigrafia*. São Paulo, T.A. QUEIROZ Editor Ltda. 394 p.

MENDES, R. L. R; VERMA, O. P. Perfilagem geofísica de poço e seu aplicados a delimitação de aquíferos. *1st Joint World Congress on Groundwater*. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: cartas SAO. Brasília, 2002. 107 p.

MOURA, E.M. Mapeamento do Halo de Dispersão Formado por Efluentes Industriais Lançados na Baía do Guajará no Trecho Compreendido entre o Bairro de Val-De-Cães e o Distrito de Icoaraci. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

NASCIMENTO, Paulo A. M. do. Dimensões da Problemática Socioambiental em Barcarena: Gestão Pública X Gestão Privada. 2004. 68 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental). Núcleo de Meio Ambiente - NUMA, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2004.

OLIVEIRA, F. A. M.; VINZON, S.B. Dinâmica do Escoamento da Face da Praia. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife, PE, Brasil, 2003.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, v. 1, p. 624.

PEREIRA, P. S. Variabilidade da Orla Oceânica do Rio Grande do Sul e suas Implicações na Elaboração de Planos de Contingencia: Aspectos morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos. 2005. 160 f. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2005.

PETERSON, C.H.; Rice, S.D.; Short, J.W.; Esler, D.; Bodkin, J.L.; Ballanchey, B.E.; Irons, D.B. Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science*, 2003. n.302. p.2082-2086.

PINHEIRO, R.V.L. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém/PA. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, 1987. 164 f.

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos com exercícios resolvidos, 2ª. Edição, Ed. Oficina de Textos, 2006.

RODRIGUES, J. E. C. Risco Tecnológico: Uma análise do Porto de Vila do Conde como área potencial de ameaça ao vazamento de óleo para comunidades em situação de vulnerabilidade. Dissertação (Programa de pós-graduação em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade federal do Pará, 2008. 96 f.

RODRÍGUEZ, J.J. & WINDEVOXHEL, N.J. 1998. *Análisis Regional de la Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana*. Banco Inter-Americano de Desenvolvimento -BID. Washington, D.C. No. ENV – 121.

ROSSETI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudos paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, 1989. n.1. p. 25-74.

SALDANHA, D. S. Variabilidade morfosedimentar das praias estuarinas de Caripi e Itupanema (Barcarena, Pará). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009. 112 f.

SHORT, A. D. 2003. Australia beach system – the morphodynamic of wave through tide-dominated beach-dune systems. *Journal of Coastal Research*, SI 35(Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazard and Management), Itajaí, SC – Brazil: 07-20.

SILVA, A. M.; MENDES, A. C.; ROCHA, N. C. V. Mapeamento preliminar dos índices de sensibilidade ambiental da faixa litorânea da Ilha de Caratateua, Belém – PA. *X Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*. 2012.

SUGUIO, K. 1980. *Rochas sedimentares*. São Paulo, Edgard Blucher – Edusp. 500p.

SZLAFSZTEIN, C.F. Indefinições e Obstáculos no gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil. *Revista Gestão Costeira Integrada*, 9 (2): 47-58, 2009.

TESSLER, M.G. & MAHIQUES, M.M. 2000. Por uma terminologia brasileira para o ambiente praias. In: *Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Itajaí. Anais*. V.1. p 68 – 69.

TURNER, I. L. e Nielsen, P. 1997. Rapid water table fluctuations within the beach face: implications for swash zone sediment. *Coastal Engineering* 32: 45-59.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Propriedades da água. Disponível em <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Agua02.html>> Acesso em 10 de Dezembro. 2013.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia, *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. 1983. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 35–64.

ZIOLLI, R. L. Aspectos ambientais envolvidos na poluição marinha por petróleo. *Revista saúde e ambiente*, v.3, n. 2, p. 32-41. 2002.