



OCEANOGRÁFIA



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PERMEABILIDADE DA PRAIA DO CARIPI (BARCARENA – PA) A
EVENTUAIS DERRAMES DE DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS**

Trabalho apresentado por:

IVSON ROBERTO VIANA DA CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski (UFPA)

Coorientador: Prof. Msc. Amilcar Carvalho Mendes (MPEG)

BELÉM

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PERMEABILIDADE DA PRAIA DO CARIPI (BARCARENA – PA) A
EVENTUAIS DERRAMES DE DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS**

Trabalho apresentado por:

IVSON ROBERTO VIANA DA CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski (UFPA)

Coorientador: Prof. Msc. Amilcar Carvalho Mendes (MPEG)

BELÉM

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Cunha, Ivson Roberto Viana da, 1985 -

Permeabilidade da praia do Caripi (Barcarena – PA) a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos / Ivson Roberto Viana da Cunha. – 2017.

xiv, 57f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Estanislau Luczynski
Coorientador: Amilcar Carvalho Mendes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2017.

1. Praia do Caripi (Barcarena-PA). 2. Permeabilidade do solo. 3. Hidrocarbonetos. 4. Lençol freático. I. Título.

CDD 22 ed.: 551.457098115

Elaborada por
Lucia de Fátima Imbiriba de Sousa
CRB-2/652



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

**PERMEABILIDADE DA PRAIA DO CARIPI (BARCARENA – PA) A
EVENTUAIS DERRAMES DE DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS**

TRABALHO APRESENTADO POR:

IVSON ROBERTO VIANA DA CUNHA

**Em cumprimento às exigências para a obtenção do grau em Bacharel em
Oceanografia**

Data de Aprovação: 06 / 04 /2017

Banca Examinadora:

Prof. Estanislau Luczynski – Orientador
Doutor em Energia – UFPA

Prof. Amilcar Carvalho Mendes – Co-orientador
Mestre em Geologia e Geoquímica – MPEG

Prof. Carlos Emmerson Ferreira da Costa - Membro
Doutor em Química – UFPA

Artur Gustavo Oliveira de Miranda - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica – UFPA

Aos meus pais e minha irmã, principalmente minha mãe, que sempre me apoiou na realização dos meus sonhos. E a todos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que tem feito em minha vida.

Aos meus pais, Socorro e Roberto, por todo amor e carinho, e tudo que fizeram e fazem por mim. A chata da minha irmã Ingrid, pelo seu carinho e apoio. A Carlinha pelo seu carinho. A minha filha, Barbara, amo vocês.

Aos cachorros Ares, Flor e Malu por perturbarem bastante em casa com seus latidos.

Agradeço a tia Célia por toda ajuda que me deu. A Cacau, que é mais chata que a Ingrid. A Cassinha por ser muito mais legal que a Cacau.

A Simone Maciel (Mone) por todo amor que tem por mim. Por sempre me apoiar e ajudar (inclusive ajuda financeira) no que for possível.

E a todos da minha família pelo carinho e por torcerem por mim.

Agradeço a Adriana Pantoja por ser muito chata e pedir minha ajuda em algo sempre em cima da hora. Mas isso está tudo bem porque ela sempre prepara um lanche quando vou na casa dela.

Ao Governo do Estado do Pará, que através da Fundação Amazônica de Amparo à Estudos e Pesquisa (FAPESPA), fomentou financeiramente o desenvolvimento do projeto “Permeabilidade de praias arenosas amazônicas a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos”, ao qual deu suporte ao presente trabalho, assim como pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, a Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia pela oportunidade e infraestrutura para desenvolver trabalho.

Ao Prof. Amilcar Mendes pela disponibilidade de orientação, incentivo, ensinamentos, apoio, confiança e paciência que teve comigo. Sempre o terei como exemplo de pesquisador

Ao Prof. Estanislau Luczynski pela sua orientação e confiança no desenvolvimento do trabalho, pelos ensinamentos em sala de aula e, pela sua amizade, o meu muito obrigado.

Ao Artur Gustavo pela sua orientação ao longo do trabalho, ensinamentos e conversas compartilhadas comigo.

Ao Prof. Carlos Emmerson por fazer parte da banca de avaliação deste trabalho, por ter conseguido que fossem feitas as análises de viscosidade no Laboratório de Pesquisas e Análises de Combustíveis (LAPAC) da UFPA. Agradeço a Lorena Fernandes por ter disponibilizado seu tempo para realizar o teste de viscosidade.

Aos meus grandes amigos Ândrio por ser meu aluno no bilhar e sempre perder para mim, assim como nas partidas de futebol do Play 2 ou Xbox. A Carol pela sua amizade e

companheirismo, e por todas as vezes em que saímos juntos para tomar uma cerveja, assistir um jogo de futebol e jogar bilhar. A Stéfany por suas frases filosóficas e de grande impacto na vida, e também por estar junto tomando aquela cerveja. Espero ganhar descontos na Cabidê por isso que escrevi. Agradeço aos três pelos momentos divertidos que passamos juntos.

Aos meus amigos de laboratório (LIOG): Priscila, Gustavo, Fábio (Japa), Amanda, Caio, Andrey, Lidiane, Ellery (Jesus), Diego (Preto), Raiza. Em especial a Prof^a. Odete que sempre foi uma amiga e mãe, embora eu tenha convivido por pouco tempo ao seu lado.

A Prof. Sury por seus ensinamentos durante as aulas ou no laboratório, suas dicas de como escrever um trabalho científico, criar apresentações em PowerPoint e pelas celebrações de cada mês. Aos novos integrantes do LIOG/LAPMAR: Renata, Débora, Herbert, Matheus, Fabrício, Gabriela e Micaela. Renata por ser uma grande amiga, mesmo me pedindo para fazer vários gráficos. Herbert pela sua amizade e seus vídeos e memes engraçados da internet “Aqui tem coragi”. Matheus por ser companheiro de vadião, futebol. Micaela (minha linda) por sua companhia, carinho e pelos caramelos comprados e divididos no LIOG. Fabrício e Gabi (o casal) que sempre levam uns lanches gostosos para galera no LIOG. A Débora por ser uma ótima amiga e um colírio para os meus olhos.

Ao meu amigo Japa por sua ajuda na confecção de alguns mapas e por não ficar muito pilhado com os memes feitos com a foto dele, e ao David que é parceiro de zoação, de vadião, de cerveja.

Aos meus amigos de onda no Combú ou no Bar do Jorge: Malandro, Kleper, PV Magno, Alberto, Frejat.

Meus amigos da turma de 2011: Alysson e Denys (Cachalote Crew), Rodrigo (Gordinho), Ítalo (canelÍtalo), Tamyres, Thay, Juliana, Jéssica.

Aos meus amigos da turma de 2014: Lucas, João Pedro (Pedro Paulo), Yago, Felipe Branco, Gabriel (Suicida), Gabriel (Gabs), Patrícia, Jacqueline, Artur, Débora Souza.

“Eu escolhi esta vida.
Eu sei o que estou fazendo.
E, a qualquer momento, eu poderia parar.
Hoje, no entanto, não é o momento.
E amanhã também não será”.

Bruce Wayne

RESUMO

Poluição em áreas costeiras por derrames de petróleo e seus derivados ocorre por vazamentos em navios e portos. A penetração de derivados de petróleo em praias arenosas depende de vários fatores, entre eles, a permeabilidade do substrato, função das características granulométricas dos sedimentos, propriedades físicas do fluido e profundidade do lençol freático. O trabalho teve como objetivo avaliar a permeabilidade e as diferenças na percolação de derivados de hidrocarbonetos na matriz sedimentar da praia do Caripi (Barcarena - PA), de acordo com a sazonalidade climática. Foram realizados perfis topográficos praias, perfilagem de sísmica rasa (Ground-Penetration Radar), amostragem de sedimentos superficiais e testemunhagem pelo método de vibração, assim como ensaios de permeabilidade. A praia do Caripi foi classificada como uma praia estuarina, refletiva a intermediária, composta por sedimentos arenosos finos a médios, com grãos subangulosos a angulosos; o nível freático varia entre 1 m (mais chuvoso) e 2,2 m (menos chuvoso). A gasolina apresentou maior taxa de infiltração nos setores de pós-praia e intermaré, nos períodos de inverno. A maior taxa de infiltração do óleo diesel foi no período de verão, em ambos os setores (pós-praia e intermaré). A granulometria dos sedimentos variou conforme a sazonalidade climática, e a morfoscopia se manteve constante nas zonas estudadas. Em setembro, o óleo diesel apresentou coeficiente de permeabilidade anômalo no setor intermaré. O coeficiente de permeabilidade da gasolina foi sempre maior no pós-praia em todos os meses estudados. O lençol freático na praia do Caripi ficaria mais vulnerável a contaminação por derrames de derivados de hidrocarbonetos no período mais chuvoso.

Palavras-chave: Praia. Permeabilidade. Hidrocarbonetos. Lençol freático.

ABSTRACT

Pollution in coastal areas by oil spills and derivatives occurs for leaks in ships and ports. The entry of oil on sandy beaches it's dependent on several factors, such as, substrate permeability, granulometric of sediments characteristics, physical properties of the fluid and depth of the water table. The goal of this research is evaluate the permeability and the differences in the percolation of hydrocarbon derivatives at the sedimentary portion in Caripi beach (Barcarena - PA), according to climatic seasonality. Topographic profiles were performed, even as, near-surface profiling with Ground-Penetrating Radar, surface sediments sampling and sampling vibracore, and permeability test. The Caripi beach is classified as estuarine beach, reflective to intermediate, composed by sandy sediments with fine to medium granulometry, subangled to angular grains; the water table changing between 1 m (more rainy) and 2,2 m (less rainy). In the less rainy period, gas presented higher rate of infiltration in the backshore and foreshore, while diesel oil had higher rate of infiltration in the more rainy period. The granulometry of sediments had a variation with climatic seasonality, and the morphoscopy was constant in the studied zone. In september, in the foreshore sector, the diesel oil showed anomalous coefficient of permeability. The gas permeability of coefficient has always been higher at the backshore all months studied. The water table in Caripi beach becomes more vulnerable to contamination by spills of hydrocarbon derivatives in the more rainy.

Keywords: Beach. Permeability. Hydrocarbon. Water table.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática do perfil praia–duna.....	6
Figura 2 - Esquema de zonação da praia a partir da morfologia	7
Figura 3 – Zonação morfológica e hidrodinâmica de uma praia.....	8
Figura 4 – Estágios morfodinâmicos.....	11
Figura 5 - Morfotipos de praias de baixa energia.....	12
Figura 6 - Modelo esquemático da tendência de distribuição dos sedimentos.....	14
Figura 7 – Esquema do experimento desenvolvido por Henry Darcy em 1856.....	15
Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo.	17
Figura 9 – Vista lateral da praia do Caripi.....	18
Figura 10 - Modelos de quebra de onda	25
Figura 11 – Fluxograma metodológico.	27
Figura 12 – A - Permeâmetro artesanal, B – Ensaio de permeabilidade.....	28
Figura 13 - Nivelamento topográfico destacando a mira topográfica, régua escalonável e o tripé.....	28
Figura 14 - Coleta de dados altimétricos (perfil praial – linha contínua em vermelho): A – Perfil 1.	29
Figura 15 - Coleta da sequência sedimentar vertical com o amostrador à vibração (vibracorer)	30
Figura 16 – Coleta de sedimentos superficiais.	31
Figura 17 - A - Equipamento TerraSIRch SIR (Subsurface Interface Radar) System-3000, utilizado nos levantamentos de sísmica rasa; B - Perfilagem geofísica utilizando o GPR.	31
Figura 18- Analisador VH1-ISL. Fonte: pensalab.com.br	32
Figura 19 – Abertura dos testemunhos: A – corte do tubo com serra elétrica; B – corte longitudinal com corda de violão; C – descrição visual do pacote sedimentar; D – retirada de amostras em diferentes intervalos.....	33

Figura 20 - Procedimentos metodológicos para análise granulométrica: A - lavagem das amostras; B - secagem em estufa; C - quarteamento da amostra; D - pesagem; E - separação granulométrica via peneiramento.....	34
Figura 21 – Lupa binocular utilizada na análise morfoscópica dos grãos. Em destaque a visão ampliada dos grãos de quartzo na lâmina reticulada.	34
Figura 22 – Praia do Caripi destacando o perfil topográfico (linha vermelha) e o canal (linha azul) na parte leste da praia: A – praia do Caripi em 2007; B – praia do Caripi em 2010.	35
Figura 23 – Praia do Caripi: A – Visão lateral do banco de areia formado na praia do Caripi; B – Zoom do banco de areia.....	35
Figura 24 – Análise comparativa dos perfis topográficos da praia do Caripi.	36
Figura 25 – Distribuição granulométrica e morfoscópica em subsuperfície na praia do Caripi, destacando a predominância de grãos angulosos e subangulosos no pacote sedimentar.....	37
Figura 26 - Comportamento sazonal do lençol freático (linha vermelha) e corpos rochosos (linha azul) na praia do Caripi, destacando a baixa profundidade do lençol no inverno (fevereiro – até 1 m) e o rebaixamento do nível nos meses de setembro e novembro	38
Figura 27 – Análise morfoscópica dos grãos de quartzo presentes nos sedimentos da praia do Caripi, destacando a predominância de grãos angulosos e subangulosos.	40
Figura 28 – Distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais da praia do Caripi.	41
Figura 29 – Comportamento sazonal dos coeficientes de permeabilidade dos fluidos (água, gasolina e óleo diesel), nos setores de pós-praia e intermaré da praia do Caripi. .	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coluna estratigráfica da área estudada..	19
Tabela 2 – Nível altimétrico e formas de relevo da região de Barcarena – Pa.....	22
Tabela 3 – Grupos de óleo e principais características.....	29
Tabela 4 - Coeficientes de permeabilidade e viscosidade (óleo diesel).	42
Tabela 5 – Tempo de infiltração dos fluidos e profundidade do lençol freático.	44
Tabela 6 - Comparação dos dados sedimentológicos, coeficientes de permeabilidade e profundidade do lençol freático na praia do Caripi.	46

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1 ZONA COSTEIRA	5
3.2 AMBIENTE PRAIAL.....	6
3.2.1 Zonação Morfológica.....	6
3.2.2 Zonação Hidrodinâmica	7
3.2.3 Tipos de Praia	9
3.3 PERMEABILIDADE.....	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	18
4.2.1 Formação Pirabas	19
4.2.2 Grupo Barreiras	20
4.2.3 Pós-Barreiras.....	21
4.2.4 Sedimentos Recentes.....	22
4.2.5 Relevo.....	22
4.2.6 Solos.....	23
4.2.7 Vegetação	23
4.3 PARÂMETROS METEO-OCEANOGRÁFICOS	23
4.3.1 Clima	23

4.3.2	Vento	24
4.3.3	Ondas	24
4.3.4	Correntes e Marés	25
4.3.5	Hidrografia	26
4.4	AMOSTRAGEM	26
4.4.1	Ensaio de Permeabilidade	27
4.4.2	Topografia	28
4.4.3	Análise de Viscosidade	29
4.4.4	Testemunho por vibração	30
4.4.5	Coleta de sedimentos superficiais	30
4.4.6	Sísmica rasa com GPR	31
4.5	PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	32
4.5.1	Permeabilidade	32
4.5.2	Análise de Viscosidade	32
4.5.3	Abertura dos Testemunhos	33
4.5.4	Análise Granulométrica	33
4.5.5	Análise Morfoscópica	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	TOPOGRAFIA	35
5.2	SEDIMENTOLOGIA	37
5.3	SÍSMICA RASA COM GPR	37
5.4	SEDIMENTOS SUPERFICIAIS	39
5.5	PERMEABILIDADE	41
6	CONCLUSÃO	47
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo tem sido uma das mais importantes da contemporaneidade, uma vez que o petróleo encontra-se enraizado no cotidiano da sociedade, a ponto de torna-se alvo de embates político-territoriais e geoestratégicos (Matos & Lima-Guimarães, 2012).

Conforme Gluyas & Swarbrick, (2013), petróleo pode ser definido como uma mistura de moléculas de hidrocarbonetos e menores quantidades de outras moléculas orgânicas, incluindo tanto óleo quanto gás de hidrocarboneto. A Lei Federal 9966 de 28/04/2000 define o termo óleo como “qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borracha, resíduos de petróleo e produtos refinados” (Brasil, 2000).

O transporte de petróleo e seus derivados, bem como o armazenamento destes, são atividades de alto risco para o meio ambiente, principalmente em zonas costeiras que são consideradas áreas sensíveis. Acidentes podem provocar vazamentos e também grandes derramamentos, os quais atingem os ecossistemas ali existentes. O que se percebe, também, é que a movimentação deste tipo de carga vem aumentando ao longo dos últimos anos, seja através dos portos organizados, como também os terminais privados, não só no Brasil, mas também no exterior (Brasil, 2012).

A poluição por petróleo em regiões costeiras é oriunda principalmente ~~por~~ de navios através de efluentes da lavagem de tanques petroleiros, praças de máquinas, por operações em terminais portuários, despejo por refinarias e industriais, e eventuais acidentes (Ziulli, 2002).

Atualmente, no Brasil, grandes esforços estão sendo despendidos por parte de agências, órgãos e instituições, para regulamentar os Planos de Emergência Individuais, os Planos de Área e o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo, que envolvem desde a avaliação do volume passível de derramamento em uma instalação ou poço, até o planejamento das ações de resposta e determinação de recursos a serem disponibilizados (Brasil, 2004).

As fontes potenciais de poluição a respeito deste tipo de carga estão relacionadas à cadeia produtiva do petróleo, que se resume ao momento de prospecção e exploração, seu refino e modificação em outros produtos e transporte, que, levando em consideração a zona estuarina/costeira, se dá através do modal hidroviário (Viana, 2010).

Poluição significa a introdução pelo homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou energia no ambiente marinho que resultam em efeitos prejudiciais como: danos aos seres

vivos, perigos à saúde humana, obstrução às atividades marinhas (incluindo a pesca) e prejuízo à qualidade da água do mar, limitando o seu aproveitamento a usos menos nobres. Este é o conceito de poluição marinha apresentado pelo Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP) (Ferreira, 1995).

A permeabilidade é um dos fatores principais que determinam a sensibilidade ao óleo de um substrato durante derramamentos e, este parâmetro, determina a infiltração e, conseqüentemente, o tempo de permanência do óleo no substrato. De acordo com Stern (2007), quanto maior o tempo de permanência do óleo em um sítio, maior será sua interação com o meio, maior será o dano causado no ambiente e, conseqüentemente, mais difícil será sua recuperação.

A penetração por derivados do 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). Variações sedimentológicas ocorrem ao longo de praias oceânicas, estuarinas e fluviais por causa das diferenças morfodinâmicas entre os compartimentos. Assim, o comportamento do óleo não é igual, sendo necessário o conhecimento detalhado desta variável em cada ambiente.

Segundo Tsouk *et. al*, (2005), as variações de permeabilidade, provocadas pelas mudanças sedimentológicas do ambiente ao longo do tempo, causam diferentes taxas de percolação do fluido, causando problemas quanto à limpeza dos mesmos.

Os efeitos do óleo no ambiente praial 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 (Oliveira, 2014).

Segundo Boulhosa & Mendes (2009), 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 do litoral paraense são potencialmente submetidas às ameaças de contaminação/poluição por derivados de petróleo e derivados, como é o caso da Praia do Caripi, localizada na margem direita do rio Pará, no Município de Barcarena.

Por se tratar de uma área sob influência direta e indireta das atividades portuárias e, conseqüentemente, estar sob risco permanente de acidentes envolvendo derivados de hidrocarbonetos, o presente estudo, realizado no âmbito do projeto “Permeabilidade de praias

fluviais, estuarinas e oceânicas frente a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos”, financiado pela FAPESPA, avaliou a permeabilidade superficial dos sedimentos praias e o comportamento da percolação de derivados de hidrocarbonetos (gasolina e óleo diesel) na matriz sedimentar, trazendo subsídios para análise da vulnerabilidade do aquífero a eventuais derrames de óleo e planos de contingência, em casos de acidentes (derrames).

2 OBJETIVOS

Avaliar a permeabilidade do substrato e diferenças no comportamento da percolação de derivados de hidrocarboneto na matriz sedimentar da praia do Caripi, levando em consideração a profundidade do lençol freático e a sazonalidade climática.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as mudanças morfológicas dos setores estudados (pós-praia e intermaré);
- Caracterizar a granulometria, morfoscopia e grau de seleção dos sedimentos superficiais e da coluna sedimentar da praia;
- Ponderar o tempo de infiltração de hidrocarboneto nos sedimentos, considerando a profundidade do lençol freático.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ZONA COSTEIRA

Geralmente as zonas costeiras constituem ecossistemas complexos e resultantes da relação entre os elementos terrestres, marinhos e atmosféricos. Rodríguez & Windevoxhel (1998) definem 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”.

No Brasil, as zonas costeiras compreendem as áreas que sofrem influência direta e indireta da dinâmica do mar. Conforme o Decreto Federal 5.300/2004¹ (art. 4º) são municípios costeiros aqueles:

- I. defrontantes com o mar, assim definidos em listagem estabelecida pelo IBGE;
- II. não defrontantes com o mar, localizados nas regiões metropolitanas litorâneas;
- III. não defrontantes com o mar, contíguos às capitais e às grandes cidades litorâneas, que apresentem conurbação;
- IV. não defrontantes com o mar, distantes até cinquenta quilômetros da linha da costa, que contemplem, em seu território, atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental na zona costeira ou ecossistemas costeiros de alta relevância;
- V. estuarino-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar;
- VI. não defrontantes com o mar, mas que tenham todos os seus limites com Municípios referidos nos incisos I a V; e
- VII. desmembrados daqueles já inseridos na zona costeira.

A zona costeira ganhou importância entre os séculos XVI e XX, pela posição estratégica ao desenvolvimento das atividades econômicas e industriais. A zona costeira brasileira é marcada por uma configuração por contrastes. De um lado há intenso desenvolvimento (urbanização, sistemas portuários, atividades turísticas, pesca, indústria de exploração de petróleo), que favorece o fluxo de pessoas e aumenta os impactos ambientais; por outro lado, há grandes áreas com baixa densidade populacional ecossistemas que ainda não sofrem com ações impactantes da sociedade (Szlafsztein, 2003).

A importância estratégica da zona costeira é evidenciada em vários aspectos, tanto pelos ecossistemas que abrigam uma grande biodiversidade, ou pelos interesses econômicos conflitantes, que estão associados a expansão urbana desordenada.

3.2 AMBIENTE PRAIAL

Existem diversos conceitos na literatura atual que são utilizados para definir o termo “praia”. Dentre eles, o caráter não coesivo dos sedimentos e a dominâncias dos fatores hidrodinâmicos, como as ondas, são as características mais evidentes. As praias arenosas atuam como zonas tampão, protegendo a costa da ação direta da energia do oceano, sendo esta uma das suas principais funções ambientais (Hoefel, 1998).

Vários autores elaboraram conceitos sobre o termo “praia”, onde se observa algumas diferenças entre eles e as definições dos ambientes de praia dificultam que haja um padrão de caracterização de praias. A definição de praia que será adotada neste trabalho, é a proposta por Tessler & de Mahiques (2000), que descreve a praia como ambientes sedimentares costeiros, formados por clastos e componentes siliciclásticos de granulometria variada e condicionados pela interação dos sistemas de ondas incidentes.

Tessler & de Mahiques (2000) apresentaram uma abordagem sobre as diferentes terminologias adotadas e afirmaram que os problemas de classificação dos ambientes de praia são originados da adaptação dos conceitos para a língua portuguesa. Apenas não existindo diferença quanto à utilização do termo pós-praia (backshore), que limita esse ambiente ao limite da crista da berma até a zona de vegetação permanente (Figura 1).

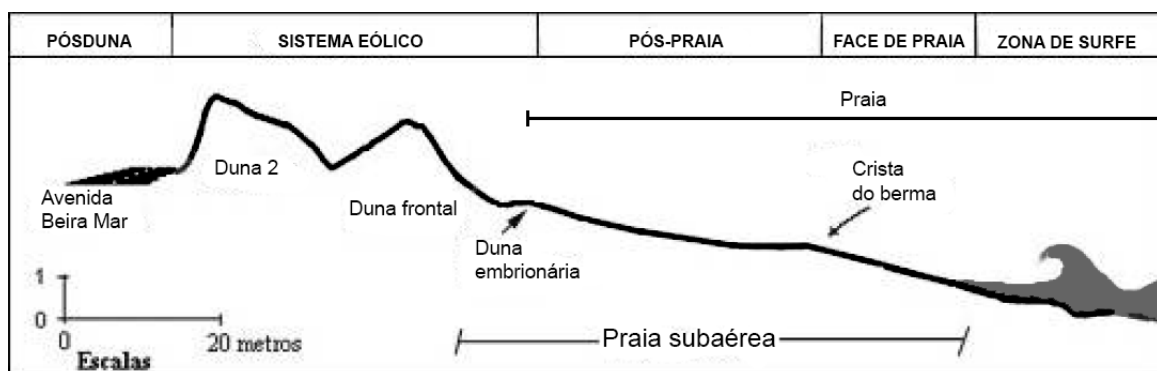


Figura 1 - Representação esquemática do perfil praia-duna.
Fonte: Tabajara *et al.* (2013).

3.2.1 Zonação Morfológica

Alves (2002 *apud* Saldanha, 2009), com base nas condições morfológicas, propõe o estabelecimento de três zonas no perfil praiial para regiões onde as variações de maré são influentes (Figura 2).

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.

Zona Intermaré ou Estirâncio: Região limitada pelo nível de maré alta e baixa, sendo a região em que o espraiamento é mais influente.

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.

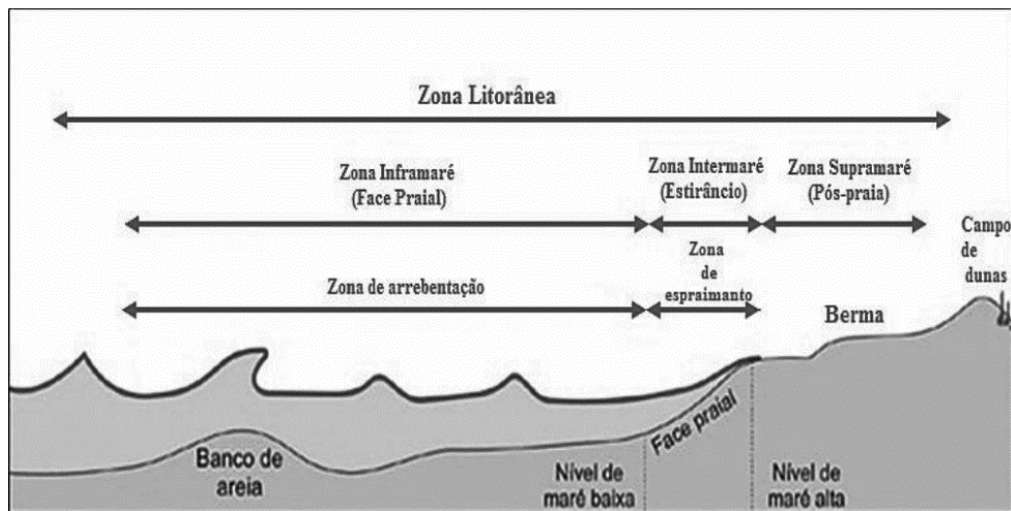


Figura 2 - Esquema de zonização da praia a partir da morfologia,
Fonte: Saldanha (2009).

3.2.2 Zonação Hidrodinâmica

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 dividido em três zonas como na Figura 3 (Horikawa 1988 *apud* Hoefel 1998).

Zona de Arrebenção (breaker zone): Caracterizada pelo processo da onda que ao chegar a águas mais rasas, perde sua estabilidade e entra em processo de quebra. Segundo Short (1999), podem ser definidos 4 tipos de quebra de onda: *a)* Deslizante: quebra gradual e deslizante; *b)* Mergulhante: a onda empina na posição vertical e quebra formando um tubo; *c)* Frontal: apenas a parte lenta frontal da onda se torna vertical; *d)* Ascendente: não chega a quebrar.

Zona de Surfe (surf zone): Segundo Hoefel (1998), a caracterização desta zona depende do tipo de quebra das ondas, por exemplo, a incidência de vagalhões em uma praia de baixa declividade. Para Horikawa (1988), em praias dissipativas, muitas vezes, a zona de surfe e de

arrebenção formam uma única zona.

Zona de Espreadimento (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).

As terminologias sugeridas por Short (2003), são descritas sucintamente a seguir:

Hoefel (1998) propõe a seguinte classificação para os subambientes praiiais:

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.

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 espraimento.

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.

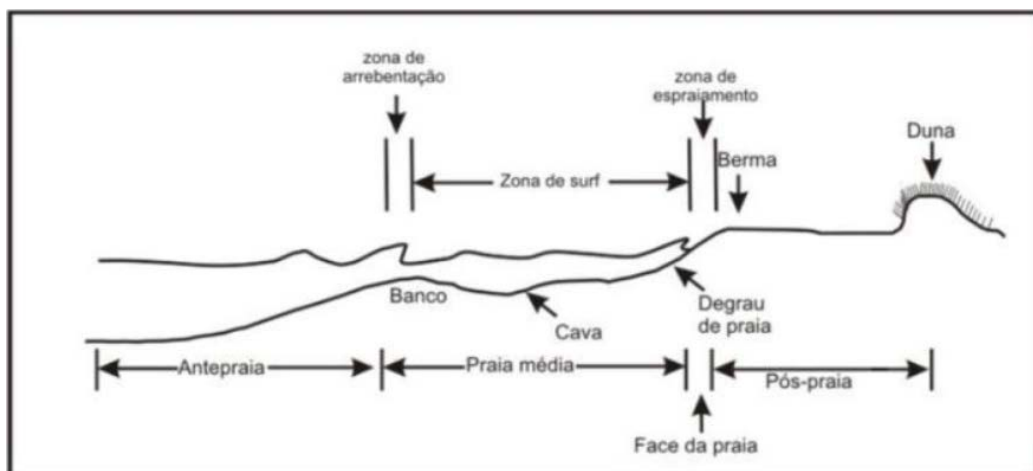


Figura 3 – Zonagem morfológica e hidrodinâmica de uma praia.
Fonte: Hoefel (1998).

3.2.3 Tipos de Praia

De acordo com Popp (2010), há 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.

Segundo Short (1999a), as praias arenosas como resultado da ação das ondas interagindo com sedimentos acomodados nas linhas de costa, sendo que a extensão e características destas são dependentes da variação de maré, altura de onda, período de onda, tamanho do grão e forma da praia em planta.

O ambiente praiial pode ser classificado com base na localização em oceânicas, estuarinas e fluviais. Segundo Hoefel (1998), praias oceânicas se caracterizam como sistemas altamente dinâmicos e sensíveis, que sofrem processos de retrabalhamento eólico, biológico e hidráulico, sendo o último, o mais importante, ocorrendo em escalas variadas.

Conforme Jackson & Nordstrom (1993), as praias estuarinas, inclusive aquelas localizadas em vales fluviais afogados, são consideradas como praias de baixa energia, ou seja, ocorrendo em locais protegidos, onde a ação das ondas é mínima. Neste tipo de praia o perfil dissipativo prevalece e modificações morfológicas somente ocorrem em porções mais íngremes do perfil. Fenster et al (2006), caracterizam as praias estuarinas com uma zona de pós-praia estreita (<10 m), com declividade praiial variando entre 6° e 9°, amplo e relativamente plano de terraço de baixamar.

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, observa-se 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.

Wright & Short (1984), identificaram e classificaram estágios morfodinâmicos distintos

associados a regimes hidrodinâmicos característicos para determinados trechos de costa. Segundo esta classificação, as praias podem ser do tipo dissipativas, refletivas e intermediárias (Figura 4).

Wright *et al.* (1985) relacionaram estes estágios ao parâmetro adimensional ômega, criado por Dean (1973). O parâmetro ômega (Ω) é calculado pela fórmula

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T}$$

Onde H_b = altura da quebra de onda (m), ω_s = velocidade de sedimentação das partículas (cm/s) e T = período de pico de onda (s), sendo considerado um parâmetro empírico e adimensional.

Praias dissipativas são caracterizadas pela alta energia de onda ($\omega > 6$), com zona de surfe larga, composta por dois ou mais bancos e tipos de onda deslizante (Figura 4). Possuem elevado estoque sedimentar na porção subaquosa da praia, com baixo gradiente topográfico e constituídas por areias de granulometria fina. Este tipo de praia tem grande aporte sedimentar, fazendo com que as ondas arrebentem longe da face praial, decaindo progressivamente em altura ao longo da arrebentação (Calliari *et al.*, 2003).

Conforme Calliari *et al.*, (2003), as praias refletivas ocorrem sob baixa energia de onda ($\omega < 1$), apresentando elevados gradientes na topografia, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe (Figura 4). O ponto de quebra das ondas ocorre praticamente na face praial na forma ascendente ou mergulhante. O estoque sedimentar é geralmente composto por areias de granulometria grossa, depositadas em sua maior parte na porção subaérea da praia. Apresentam pouco estoque sedimentar na porção subaquosa.

Praias intermediárias representam a transição do refletivo ao dissipativo, ou vice-versa, da condição da baixa a alta energia de onda ($1 < \omega < 6$) (Wright *et al.*, 1985). Segundo (Calliari *et al.*, 2003), estes estágios apresentam como característica, uma progressiva redução da largura da calha longitudinal, em decorrência da migração do banco submarino da zona de arrebentação em direção à praia, resultado da passagem da alta para a baixa energia de onda. Podem conter bancos longitudinais, rítmicos ou transversais, tipo de arrebentação mergulhante e/ou deslizante, correntes de retorno na zona de surfe e presença de areia fina a média. Apresentam uma variabilidade ao longo da linha de costa gerada pela alternância entre correntes de retorno e bancos, sendo responsáveis por erosão localizada junto ao embaiamento (Short, 1999b). Os estágios intermediários podem ser subdivididos em Banco e calha

Longitudinal (BCL) ($\omega=4,7 \pm 0,93$), Banco e Praia de Cúspides (BPC) ($\omega=3,5 \pm 0,76$), Bancos Transversais (BT) ($\omega=3,15 \pm 0,64$) e Terraço de Baixa-Mar (TBM) ($\omega=2,4 \pm 0,19$) (Figura 3).

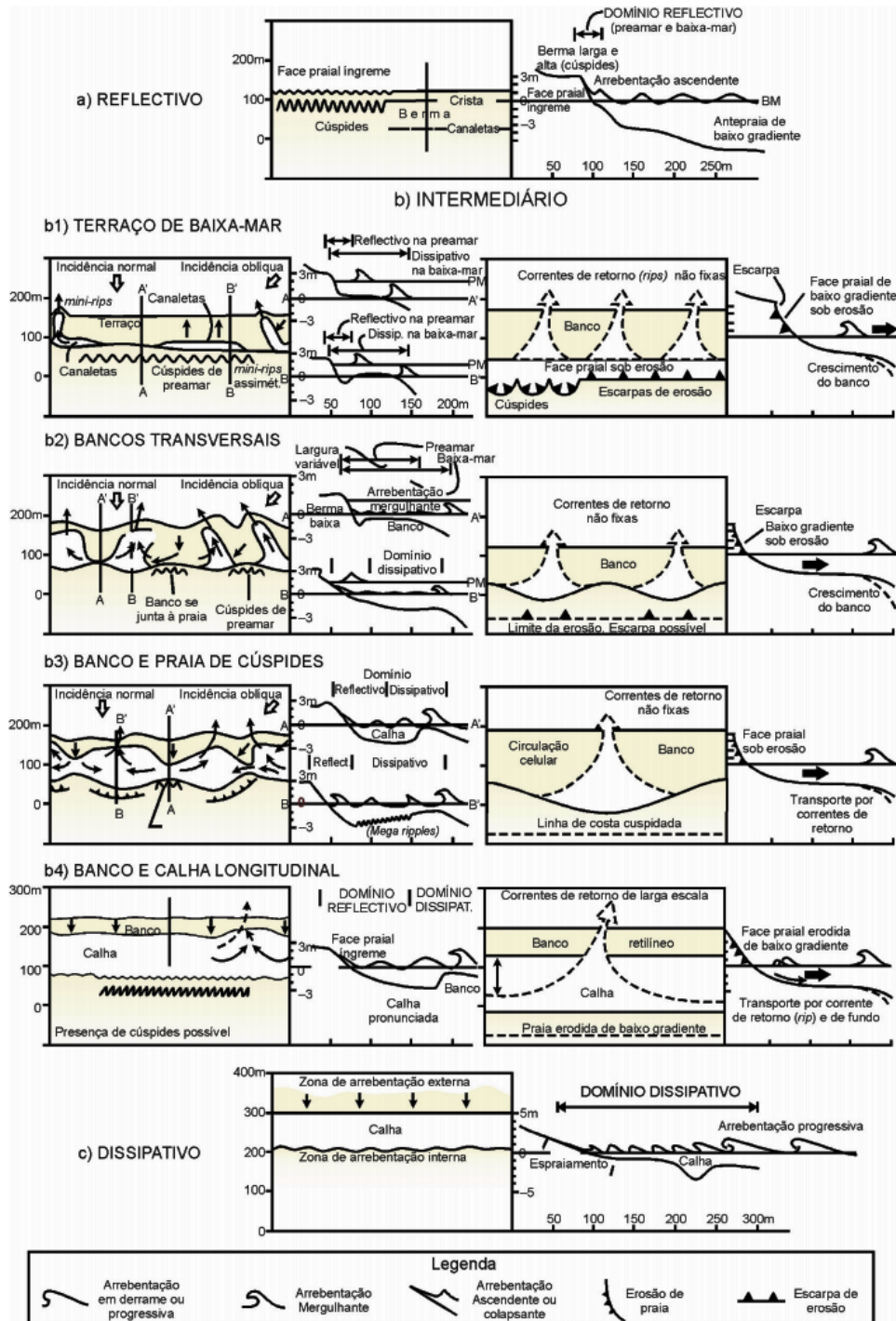


Figura 4 – Estágios morfodinâmicos propostos por Wright & Short (1984), modificado por Short (1999b) e adaptado por Calliari et al. (2003). Fonte: Calliari (2003).

Perfis característicos de praias arenosas de baixa energia inclui estirâncios estreitos íngremes, planos e sem pós-praia. A largura horizontal do estirâncio é estreito, apesar da largura de praias de baixa energia com granulometria de areia fina poder ser comparada com

praias de alta energia de granulometria de areia mais grosseira. Em direção ao mar o estirâncio frequentemente é chamado de “terraço de maré baixa”, é geralmente presente e pode ter quilômetros, podem ser vegetados e ter marcas de bioturbações. Sob condições de energia relativamente alta, mobilização dos sedimentos pode ocorrer sobre o perfil inteiro. (Armbruster, 1997).

Na praia do Caripi ocorre influência da maré dinâmica, contudo, não há registros de intrusão salina. Deste modo, a praia do Caripi é classificada como uma praia estuarina, segundo a classificação de Harleman (1971) que considera um estuário constituído por duas regiões: a de intrusão de salinidade (estuário médio) e a de maré do rio (estuário superior).

Outra definição levando em conta não somente a gênese geológica, mas também os processos regionais, como fatores climáticos, sedimentação recente e forçantes dinâmicas, foi apresentada por Kjerfve (1987), onde define um estuário como um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Esse ambiente é subdividido em três zonas: *Zona de Maré de Rio (ZR)* – parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas sujeita à influência da maré; *Zona de Mistura (ZM)* – região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar; *Zona Costeira (ZC)* - região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina e delimita a Camada Costeira (CLC).

Hegge *et al.* (1996) desenvolveram uma classificação de perfis baseados em 15 locais de baixa energia no sudoeste da costa da Austrália. Foram identificados 4 morfotipos de baixa energia derivados de 52 perfis (Figura 5). Esses morfotipos foram caracterizados por suas dimensões, declividade, curvatura, granulometria e incluem (1) côncavo; (2) moderadamente côncavo; (3) moderadamente íngreme; (4) íngreme. Os diferentes morfotipos revelaram o tamanho dos grãos como um forte controlador morfológico. As características morfodinâmicas atribuídas as praias refletivas e dissipativas em ambientes de alta energia frequentemente faltam em ambientes de baixa energia.

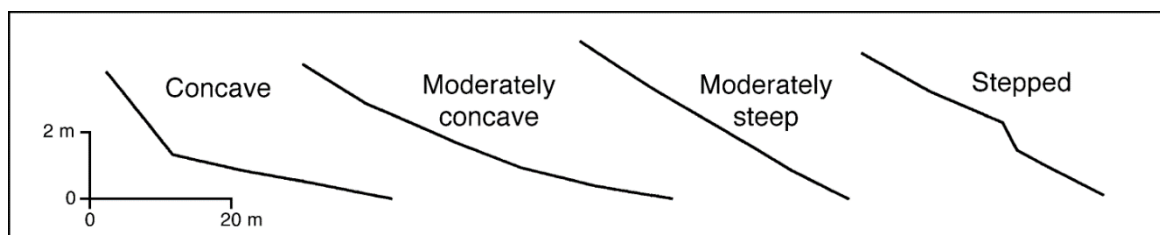


Figura 5 - Morfotipos de praias de baixa energia (Hegge *et al.* 1996). Fonte: Jackson *et al.* (2002).

Segundo Grant (1948), a posição do lençol freático sob a superfície da praia é um fator importante na erosão e deposição das praias. Assim, um lençol freático mais próximo a superfície acelera a erosão e, inversamente, um lençol freático mais profundo pode resultar em agradação pronunciada da costa. A água ao transgredir acima da interseção do lençol freático com a superfície, rapidamente percola na areia e, esta redução do volume de água é acompanhada por uma diminuição na velocidade, bem como a deposição de sedimentos transportados na zona de swash. Deste modo, uma praia seca facilita a deposição na parte superior da margem até que o equilíbrio da inclinação seja gradualmente atingido e a velocidade de backwash mais acréscimo líquido. Embora a deposição ocorra na margem superior, a margem inferior, estando abaixo da interseção do lençol freático com a superfície, pode ficar sujeita a erosão, ou a deposição e erosão podem contrabalancear umas às outras. Esta zona é chamada de “zona de efluente” e, ainda segundo o autor, independente da fonte de água, quando a costa está saturada, a ação de backwash das ondas, e vez de ser reduzido em velocidade, é acelerado pela adição de água infiltrando para a superfície em toda a zona de efluente (Figura 6).

Conforme Duncan Jr (1964), durante as marés de inundação, são depositadas lentes convexas de areia na zona de swash-backwash. Essas lentes ficam mais curtas e espessas quando a ação de swash deposita sua carga sobre a areia não saturada. Além disso, à medida que a maré sobe, a deposição das lentes progride em direção ao ponto mais alto da zona de swash-backwash e, a erosão começa a ocorrer na zona de surfe. A maior parte do sedimento transportado e depositado pela ação das ondas, não é recolhido porque uma quantidade considerável de água percola através da areia não saturada, e o backwash com baixa velocidade resultante não pode transportar o sedimento de volta para baixo para preencher a área de swash.

Quando a maré começa a vazar, as lentes depositadas começam a expandir e diminuir, refletindo o efluente do lençol freático da maré vazante. Enquanto a maré continua a descer, a deposição ocorre perto do limite da zona de surfe. Aparentemente, a maior parte do material que é transportado em direção a praia é transportado de volta para o mar pelo backwash cuja velocidade aumenta devido a adição de água da zona efluente. Ocorre deposição no lado da zona de mistura máxima das duas correntes opostas (Figura 6).

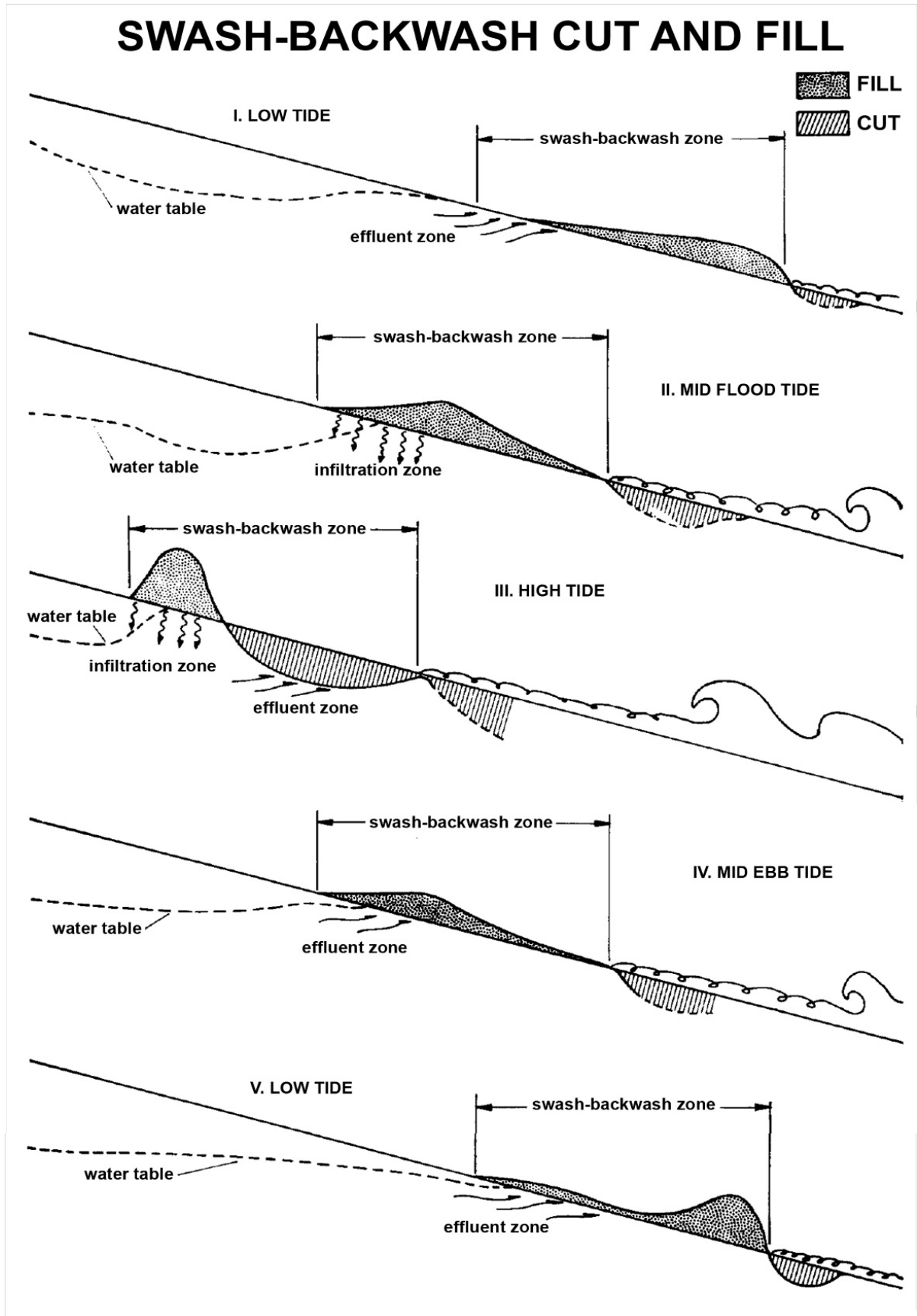


Figura 6 - Modelo esquemático da tendência de distribuição dos sedimentos. Fonte: Duncan Jr (1964).

3.3 PERMEABILIDADE

De acordo com McLachlan (1990), grandes volumes de água são filtrados por praias arenosas, e, aquelas do tipo dissipativa e compostas por sedimentos finos, apresentam baixa capacidade de infiltração e alto tempo de residência, enquanto que praias do tipo refletivas, compostas por sedimentos mais grossos apresentam alta taxa de infiltração e pequeno tempo de residência de fluidos.

Geralmente, os solos apresentam vários poros conectados entre si, além de apresentarem caminhos preferenciais pelos quais os fluidos circulam. A capacidade de escoamento de um fluido através de uma matriz sedimentar porosa é conhecida como permeabilidade. A permeabilidade pode ser quantificada pelo coeficiente de permeabilidade (K), também chamado de coeficiente hidráulico. Cabral *et al.*, (2000) afirmam que esse coeficiente 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.

O coeficiente de permeabilidade é determinado pela Lei de Darcy, desenvolvida em 1856, pelo engenheiro francês Henry Darcy, que verificou como diversos fatores geométricos influenciavam a vazão da água e a velocidade da percolação do fluido (Caputo, 1980). O experimento feito por Darcy (Figura 7) constituiu 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 diferença entre as alturas (h).

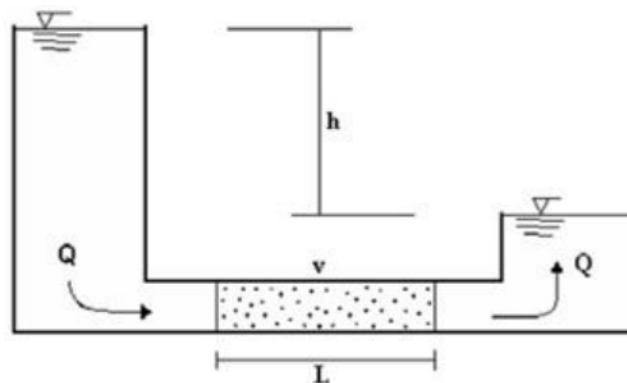


Figura 7 – Esquema do experimento desenvolvido por Henry Darcy em 1856.

Darcy constatou que a velocidade de percolação da água é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, ou seja, a perda de carga hidráulica por comprimento de amostra. Em

termos matemáticos, essa relação foi descrita a partir da equação:

$$Q = A.K.i,$$

onde:

Q - vazão em m³/s;

K - coeficiente de permeabilidade do solo em m/s;

A - área transversal ao escoamento em m²;

i - gradiente hidráulico dado pela razão h/L.

O coeficiente de permeabilidade tem grande importância, pois mostra a qualidade do solo, isto porque está relacionada com a geometria e a continuidade dos poros preenchidos com água.

A permeabilidade do substrato tem relação direta com a infiltração potencial, logo, com a permanência óleo. Quanto maior for o diâmetro dos sedimentos, sua esfericidade e uniformidade, mais profunda será a infiltração do óleo. Quanto maior for o tempo que o óleo permanece em um sítio, maior será sua interação com o meio, mais difícil será sua remoção e maiores serão os danos gerados.

Conforme Pryor (1973 apud Suguio, 1980), sedimentos mais finos possuem poros menores, e a alta atração capilar das paredes dos poros inibe o fluxo fluido. Outras características do solo como a compactação, relação finos/arenosos, composição química, presença de argila, matéria orgânica e espessura dos horizontes, também influenciam no tempo de atenuação, e permite a atuação de mecanismos como, troca iônica, sorção, diluição, etc, podendo diminuir a concentração do contaminante do solo (Domenico & Schwartz, 1990).

O nível do lençol freático também é um fator determinante na permeabilidade do sedimento de praia. Assim, em períodos de maré vazante, o nível do lençol freático fica acima do nível do mar e essa sobrelevação aumenta quanto maior for a amplitude da maré, exposição ao espriamento das ondas e mais fino for o sedimento (Turner et al, 1997).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Situado na meso região metropolitana de Belém, o município de Barcarena se limita ao norte pela Baía de Guajará e município de Belém, ao sul pelos municípios de Moju e Abaetetuba, a leste pelo município de Acará e a oeste pela Baía do Marajó. A área está situada entre os paralelos $1^{\circ}17' S$ e $1^{\circ}40' S$ e os meridianos $48^{\circ}49' W$ e $48^{\circ}33' W$ (Lopes; Freitas, 2009) (Figura 8).

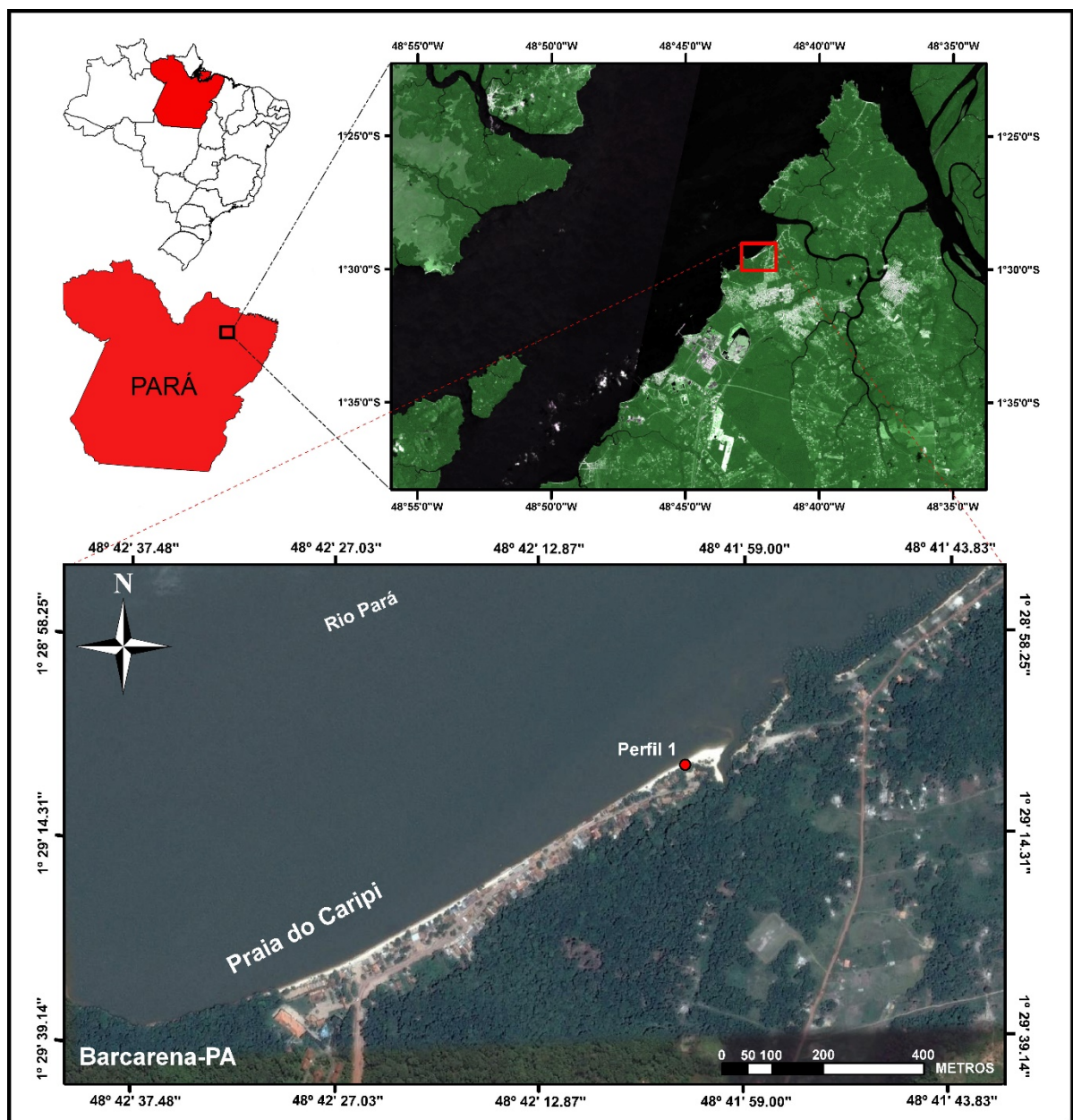


Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo.

O município de Barcarena 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).

O acesso a Barcarena, a partir da cidade de Belém, ocorre através de barcos regulares ou balsas que atravessam o complexo hídrico Guamá/Acará e aportam nos portos de Araparí e São Francisco, ambos no município de Barcarena, seguido de ônibus ou carro pela PA – 151 e PA – 483. Tendo também como outra forma de acesso, a utilização do complexo rodoviário da Alça Viária.

A praia do Caripi (Figuras 8 e 9) está localizada no município de Barcarena, e inserida no Setor Continental Estuarino, sob influência do rio Pará e com características de praia reflectiva a intermediária (Saldanha, 2009). A praia é fortemente influenciada por correntes de maré e ondas baixas (altura <1 m), provindas de NE (Rocha, 2013 *apud* Oliveira, 2014).



Figura 9 – Vista lateral da praia do Caripi.

4.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

No nordeste do Estado do Pará ocorrem unidades do Pré-Cambriano, Eo-Paleozóico e Cenozóico. O Pré-Cambriano agrupa rochas do Complexo Maracaçumé, formações Santa Luzia, Tromaí, Gurupi, Viseu e Igarapé de Areia e Granito Cantão, seguindo-se a Formação Piriá, posicionada no Eo-Paleozóico. O Cenozóico é representado pelas Formações do Pirabas (Oligo-Mioceno) e do Grupo Barreiras (Mio-Plioceno) (Arai *et al.*, 1988; Rossetti, 1990; Costa *et al.*, 1991).

A geologia do município (Tabela 1) é pouco variável, construída, como em toda a microrregião, por sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. Os primeiros estão presentes, sobretudo, na porção continental do município, enquanto trechos quaternários estão localizados nas margens dos rios, constituindo a porção insular do município, onde predominam sobre a sedimentação da Formação Barreiras.

Tabela 1 – Coluna estratigráfica da área estudada. Fonte: Saldanha (2009).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE GEOLÓGICA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	Holoceno	Sedimentos Recentes	Sedimentos inconsolidados constituídos por areias quartzosas, às vezes, contendo matéria orgânica; argilas, argilas orgânicas e siltes intercalados, distribuídos nos leitos dos igarapés.
		Pleistoceno	Formação Pós-Barreiras	Sedimentos inconsolidados areno-argilosos a argilo-arenosos, coloração amarelada a avermelhada, granulação variando de fina a média, com grânulos de quartzo e blocos de arenitos ferruginosos.
	TERCIÁRIO	Mioceno/Pleistoceno	Grupo Barreiras	Sedimentos siliciclásticos representados por argilas, siltes arenitos, leitos conglomeráticos, com baixo grau de compactação e coloração variegada. Podem apresentar nódulos e concreções ferruginosas.
		Mioceno/Oligoceno	Formação Pirabas	Calcário, argila e areia com leitos alternados, sendo às vezes muito fossilífero. Algumas fácies com argilas negras apresentando vegetais piritizados e carcinólitos. Outras fácies com calcários puros e compactados com teores elevados de SiO ₂ e MgO.

4.2.1 Formação Pirabas

Insera-se no que faz parte do quadro geológico da região nordeste do estado do Pará, mas ocorre também nas faixas da costa dos estados do Maranhão e Piauí. No nordeste do estado do Pará, apesar de grande extensão em subsuperfície, aflora descontinuamente no litoral (Zona Fisiográfica do Salgado) e no interior do continente (Zona Bragantina). O afloramento de maior expressão está localizado na Ilha de Fortaleza, no município de São João de Pirabas. Essa formação representa uma importante unidade litoestratigráfica do cenozóico brasileiro (Maury, 1925; Ferreira, 1966, 1977, 1982).

Esta formação, de idade miocênica, é constituída por calcários, com intercalações de margas, arenitos e folhelhos (Almaraz e Formoso, 1971; Almaraz, 1979; Ferreira, 1982; Truckenbrodt, 1981). A divisão desta unidade é feita em três fácies: Castelo (basal),

Capanema (intermediária) e Baunilha Grande (no topo). A primeira é representada por calcários fossilíferos com grãos de quartzo disseminados; na fácies Capanema predominam calcários dolomíticos argilosos, enquanto que a fácies Baunilha Grande é representada por argilas cinza-escuro com restos de vegetais piritizados (Ferreira, 1966; Truckenbrodt, 1981).

O mineral mais abundante nos calcários é a calcita com baixo teor de magnésio, enquanto que a dolomita ocorre em menor proporção (Almaraz, 1979; Truckenbrodt, 1981). O arranjo dos depósitos da Formação Pirabas evidencia padrão geral prográdacional, revelado pela superposição de fácies de plataforma aberta por fácies progressivamente mais costeiras, associadas a sistema deposicional contendo ilhas-barreiras (Góes *et al.*, 1990).

Conforme Matta (2002), esta unidade ocorre, na região de Belém e Ananindeua, em profundidade abaixo de 80 a 100 m. Entretanto, na região de Barcarena e adjacências, essa formação não se encontra a profundidades menores que 250 metros, devido à mesma estar situada, provavelmente, no Graben de Mexiana. Todavia, deve ser considerada neste trabalho, uma vez que é possível que a mesma ocorra a profundidades superiores a 300 metros (IPT, 1984).

4.2.2 Grupo Barreiras

Constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (Arai, 2006), de idade miocênica a pleistocênica inferior (Suguió; Nogueira, 1999; Vilas Boas; Sampaio; Pereira, 2001). Segundo Bezerra (2001), os sedimentos Barreiras se constituem na última rocha sedimentar terciária do Nordeste do Brasil, formada na história da abertura do Atlântico, representada pela sequência sedimentar ao longo de mais de 4.000 km do litoral.

O Grupo Barreiras é composto por uma sequência de sedimentos detríticos, siliciclásticos, de origem fluvial e marinha (Arai, 2006), pouco ou não consolidados, mal selecionados, de cores variegadas (Vilas Boas, 1996; Vilas Boas; Sampaio; Pereira, 2001), variando de areias finas a grossas, predominando grãos angulosos, argilas cinza-avermelhadas, com matriz caulínica e ocorrência escassa de estruturas sedimentares (Mabessone *et al.*, 1972; Bigarella, 1975; Lima, 2002). Observa-se, ainda, níveis descontínuos de um arenito ferruginoso conhecido como (Grês do Pará) em blocos soltos, irregulares e de tamanhos variados (Mabessone, 1987).

Através de furos de sondagem realizados por IPT (1984), na área da ALBRAS, não foram encontrados ocorrências de níveis carbonáticos em poços até 250 m, o que reforça a idéia contida no relatório da ALBRAS (1984), de que nesta região, no passado, foi depositada um

pacote sedimentar constituído por um conjunto de aluviões e sedimentos Barreiras com espessura superior a 300 m. A porção norte e nordeste de Barcarena é caracterizada por sedimentos argilo-arenosos de cor geralmente amarela e avermelhada nas porções inferiores, com pouca ou nenhuma estrutura primária. Sedimentos aluvionares estão distribuídos na porção noroeste, ou seja, sedimentos compostos por argila branca e avermelhada, areia branca inconsolidada, de granulacão fina a média, localizada nas zonas de praia e estirâncios, além de domínios das várzeas, periodicamente inundadas por rios, igarapés e furos (Melo-Junior, 2002).

Boulhosa & Mendes (2009) descrevem a unidade de paisagem “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.

O afloramento mais expressivo do Grupo Barreiras na área está representado nos terraços da Vila do Conde, onde se percebe uma superposição de sedimentos e níveis de concreções ferruginosas, indicando uma sucessão de fases distintas de acumulação de detritos e alterações químicas (Saraiva, 2002).

4.2.3 Pós-Barreiras

O termo “Pós-Barreiras” foi designado por Silva & Lowenstein (1968) para caracterizar os sedimentos amarelados, inconsolidados e apresentando uma coloração amarelada, sobrepostos às camadas do Grupo Barreiras. Consistem em sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregados, compostos, sobretudo, por grãos de quartzo, com leitos pouco espessos de seixos e blocos rolados ou pouco movimentados de arenitos ferruginosos (Farias *et al.* 1992).

Rossetti *et al.* (1989) descreveram os sedimentos Pós-Barreiras como uma fácies areno-argilosa, maciça, separados dos sedimentos Barreiras por superfície erosiva, acompanhada ou não por níveis detríticos. Os autores constataram que as características deposicionais dos sedimentos Pós-Barreiras são sugestivas da atuação de movimentos gravitacionais, além da contribuição de processos dissipativos de dunas eólicas.

4.2.4 Sedimentos Recentes

Segundo Saldanha (2009), nas margens estuarinas e dos rios ocorrem os sedimentos recentes como depósitos aluvionares recentes (planícies de maré, pântanos, praias e cordões litorâneos atuais. São compostos por areias, siltes e argilas intercaladas. Sua espessura é variada, podendo chegar, no máximo, a 50 m (Costa *et al.*, 1991).

4.2.5 Relevo

O relevo reflete a geologia, estando presentes áreas de várzeas, terraços e tabuleiros, que constituem, regionalmente, um setor da unidade morfoestrutural, Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas) (IBGE, 2007). O município apresenta níveis topográficos divididos em cinco planos altimétricos, de acordo com o padrão regional, o qual caracteriza-se por um relevo suavemente ondulado a plano (ALBRAS/ALUNORTE, 1984) (Tabela 2).

As várzeas são representadas pelos terrenos baixos e relativamente planos que se encontram junto às margens dos rios. Na região, as várzeas altas são compostas por restingas, diques e cordões arenosos, com níveis altimétricos variando entre 3 a 12 m, enquanto várzeas baixas são representadas por igapós e lagos, com níveis altimétricos variando de 0 a 3 m. A drenagem é composta por rios que sofrem constante influência das marés (ALBRAS/ALUNORTE, 1984).

Segundo ALBRAS/ALUNORTE, 1984 os terraços são elevações que ficam fora do alcance das águas, por ocasiões das inundações. Apresentam níveis altimétricos variando de 5 a 12 m. São os terraços ou níveis baixos associados à planície quaternária. A drenagem é caracterizada por rios e retrabalhamento dos terraços. As Terras Firmes são representadas pelos terrenos de baixo Planalto Amazônico, que estão fora da ação das águas dos rios e das marés. Nestas áreas, o nível altimétrico varia entre 10 a 30 m. São os platôs terciários, com drenagem superficial relativamente inexistente.

Tabela 2 – Nível altimétrico e formas de relevo da região de Barcarena–Pa. Fonte: ALBRAS/ALUNORTE (1984).

NÍVEL ALTIMÉTRICO	DESCRIÇÃO
0 – 3	Várzea Baixa
3 – 5	Várzea Alta
5 – 12	Terraços (Tesos)
12 – 15	Falésia do Rio Pará
10 - 14	Terras Firmes

4.2.6 Solos

Segundo Melo-Junior (2002), na porção continental do município de Barcarena, o solo predominante é o latossolo amarelo distrófico, textura média, desenvolvido sobre as rochas do Grupo Barreiras, formado em relevo plano sob floresta densa. Encontra-se muito espesso, maduro, com textura média muito argilosa, alta capacidade de troca iônica. Tem-se também o solo concrecionário laterítico indiscriminado, formado em superfícies planas ou suavemente ondulado, sob floresta densa. São solos argilosos ou argilo-arenosos contendo concreções ferruginosas, medianamente espessas. Nas ilhas, estão presentes os solos hidromórficos gleisados, como o gley pouco húmico e aluvial, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada (SEPOF, 2006). Os solos arenosos são mais úteis na condução da água de infiltração até os mananciais subterrâneos, em detrimento dos solos muito ricos em argilas que possuem menor porosidade relativa. Nesse contexto os solos Podzol Hidromórficos são os mais favoráveis à infiltração hídrica na área (RADAM, 1974). Ocorre também o podzol hidromórfico, o qual não apresenta cores neutras cinzentas devido ao material originário ser de natureza areno-quartzosa e desprovido totalmente de qualquer material argiloso (Guerra & Cunha, 2003).

4.2.7 Vegetação

De acordo com (IBGE, 2007), a cobertura vegetal primitiva de Floresta Densa dos Baixos Platôs Pará/Maranhão foi quase totalmente substituída pela ação dos desmatamentos, para o plantio de espécies agrícolas de subsistência, caracterizando, portanto, diferentes estágios de desenvolvimento de Floresta Secundária. Há também uma vegetação de várzea típica de áreas inundáveis, sobretudo palmeiras, tais como açaí, Buriti, entre outras (Melo-Junior, 2002). Ao longo das margens dos rios e igarapés, predominam as florestas Ciliares e de várzeas nos trechos sob influência de inundações, ocorrendo, também, o mangue e a siriúba, margeando os grandes rios e as ilhas do município (SEPOF-PA 2006).

4.3 PARÂMETROS METEO-OCEANOGRÁFICOS

4.3.1 Clima

Segundo Martins (2010) o clima do litoral paraense é caracterizado como quente e

úmido, Af pela classificação de Koppen. 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). 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 (Boulhosa, 2006).

A região continental estuarina não apresenta uma estação seca definida, apenas observando-se os períodos “*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 (Pinheiro, 1987).

4.3.2 Vento

Segundo Alves (1999), os ventos alísios ENE são responsáveis pela formação das ondas no litoral paraense. As marés exercem uma função extremamente importante no transporte de sedimentos no litoral paraense (Alves, *op cit.*). Ao penetrar na região estuarina, as marés provenientes do Oceano Atlântico, tem sua amplitude aumentada devido a pouca profundidade do fundo marinho da costa brasileira (Franco, 1978 *apud* Pinheiro, 1987).

A magnitude dos ventos, nos períodos chuvoso e menos chuvosos, apresentam valores entre 0,5 e 2,5 m/s, sendo mais acentuados no período menos chuvoso. A direção predominante do quadrante nordeste da 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 do Guajará é caracterizada como um sistema relativamente agitado, definindo claramente um regime de fluxo turbulento (Moura, 2007).

As ondulações podem chegar a 1 metro de altura. Aquelas com mais de 1 m de altura significativa podem ocorrer com a associação entre vento terral e o período de vazante, produzindo uma corrente superficial no sentido norte-nordeste 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).

4.3.3 Ondas

O principal agente modificador do ambiente praiar é o clima de ondas, seguido das correntes transversais e longitudinais e, em alguns casos, as marés. As ondulações formadas em eventos extremos são as principais responsáveis pelas modificações na zona costeira,

sendo a altura da onda, ligada à sua energia, o processo hidrodinâmico de maior importância nas variações da morfologia praial (Short, 1999).

As ondas, ao atingirem águas progressivamente mais rasas, ficam instáveis e quebram. O ponto de quebra da onda ocorre em função de suas características e da profundidade, dependendo da altura e período da onda.

Galvin (1968, *apud* Hoefel, 1998) diz que a partir da declividade praial, altura e comprimento de onda é possível classificar modos de quebra de ondas em progressiva ou deslizante (baixa declividade); mergulhante (declividade moderada à alta); ascendente (declividade muito baixa, não chega a quebrar) ou frontal (alta declividade, intermediária entre mergulhante e ascendente) (Figura 10).

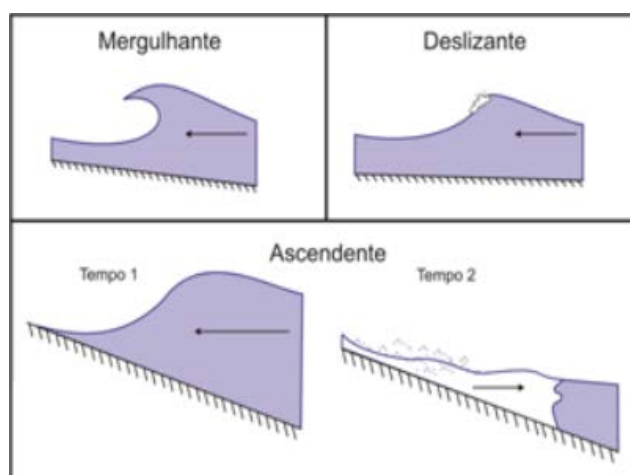


Figura 10 – Modelos de quebra de onda. Fonte: Lima (2008).

4.3.4 Correntes e Marés

Segundo Martins (2010), descreve a região dominada por marés semidiurnas, ou seja, com duas preamares e duas baixamares no período de um dia lunar, correspondente a 24 horas e 50 minutos. 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.

No estuário Guajará e no rio Pará, o comportamento das marés reflete assimetria 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 5 horas, em contraste com a descida, que dura, em média, 7 horas, em marés de sizígia (Pinheiro, 1987). Ainda segundo o autor, 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.

4.3.5 Hidrografia

A hidrografia de Barcarena é composta pelos rios Arienga, Arapiranga, Barcarena, Itaporanga, Murucupi e Dendê, e pelos igarapés Cujarí, Tauá, Japinzinho, Água Boa, Arumandeua, Água verde, Guajará, Icarau, Turui, Mucuripe, Pau Amarelo Bacuri, São Felipe, Tucumandeua e Maçarapo, assim como os “furos” do Arrozal, Cafezal, Araquiça e Arapari, sendo que a maioria destas águas deságuam na Baía do Marajó, que possui elevada turbidez devido à ocorrência de grandes quantidades de argila em suspensão e, no período de estiagem (julho a novembro) suas águas tornam-se salobras devido à penetração das águas oceânicas (Junior, 2003).

O principal “acidente hidrográfico” de Barcarena é a Baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara” (SEPOF, 2006). Além desses dois elementos alguns “furos” separam a porção continental da porção insular do município, entre os quais o “furo” do Arrozal, que separa a Ilha de Carnapijó e recebe o rio Barcarena e o rio Itaporanga, que nasce ao sul do município de Acará. A sudoeste, o rio Uruenga limita com o município de Abaetetuba e, a sudeste, o limite com o município de Moju é feito através do igarapé Cabresto (SEPOF, 2006).

4.4 AMOSTRAGEM

A metodologia do trabalho foi baseada em levantamento de dados bibliográficos, trabalhos de campo (ensaios de permeabilidade com água, gasolina e óleo diesel, nivelamento topográfico, coleta de sedimentos e levantamentos de sísmica rasa com GPR) em um ponto a nordeste da praia nos meses de fevereiro, junho, setembro, novembro de 2015 e março de 2016 nas zonas de pós-praia e intermaré. Após essa etapa, foi realizada análises em laboratório e interpretação de dados (Figura 11).

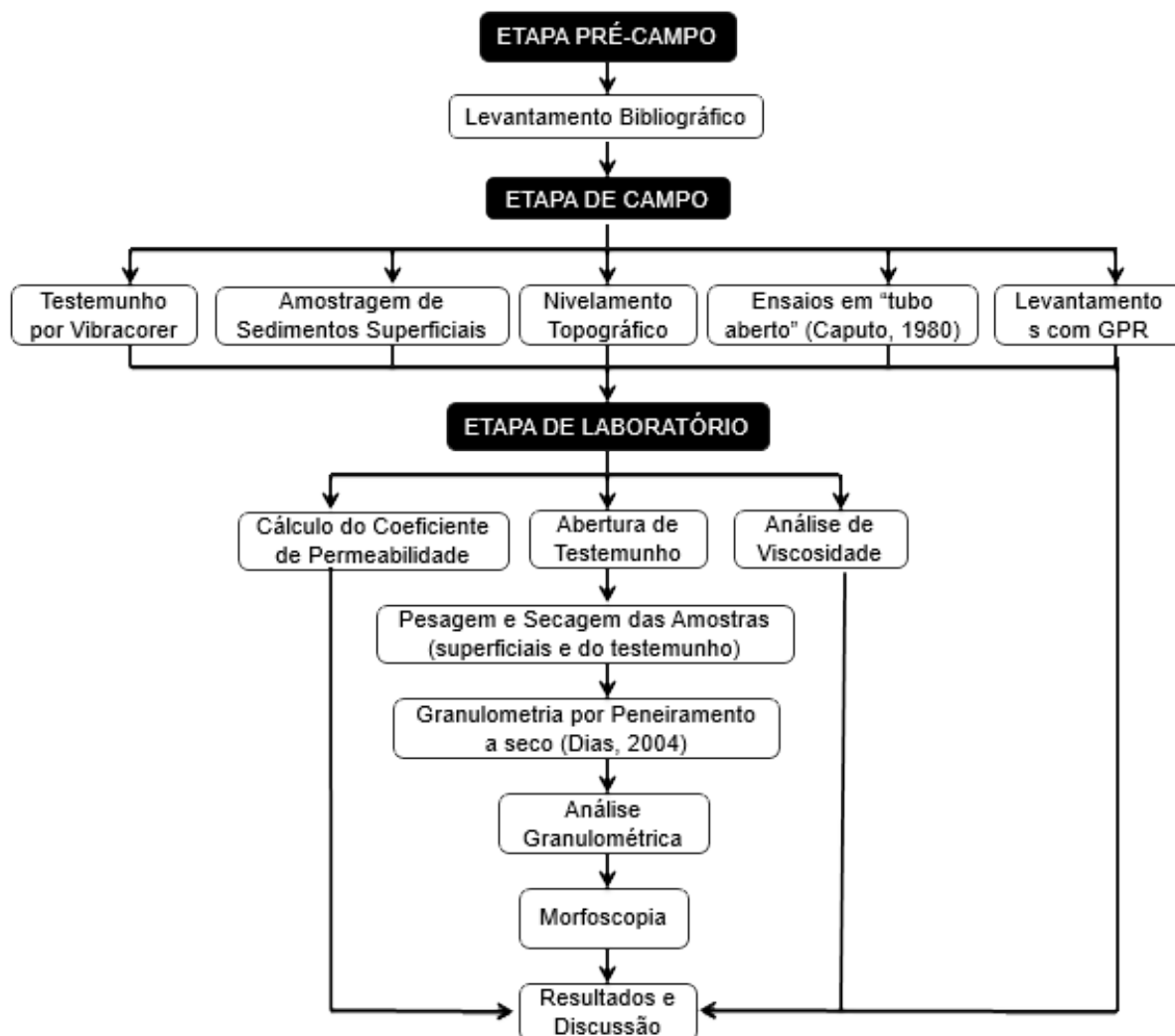


Figura 11 – Fluxograma metodológico.

4.4.1 Ensaio de Permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade foram feitos nas zonas de pós-praia e intermaré, utilizando um permeâmetro de PVC (Figura 12A), segundo o método descrito por Caputo (1980). Durante os ensaios de permeabilidade o permeâmetro foi enterrado na areia a uma profundidade de 5 cm e preenchido com os fluidos até o topo. A partir do ponto zero, foi cronometrado o tempo em que o fluido levava para percorrer o intervalo de 5 cm e 10 cm entre os níveis pré-determinados (Figura 12B). O tubo foi preenchido por 3 vezes, com a finalidade de verificar a variação média da permeabilidade com o grau de saturação do sedimento nos setores de pós-praia e intermaré.

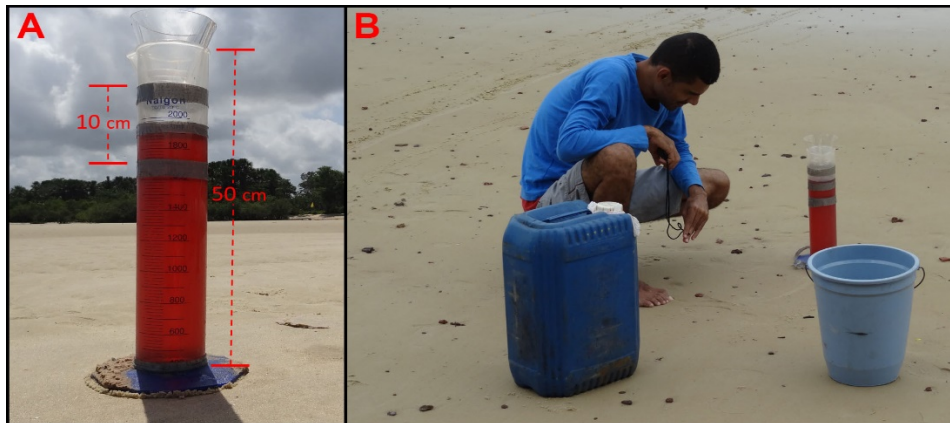


Figura 12 – **A** - Permeâmetro artesanal, **B** - Ensaio de permeabilidade.

4.4.2 Topografia

A morfologia praial foi realizada utilizando um teodolito, um tripé e régua de leitura, de acordo com o método de nivelamento expedito (Figura 13) proposto por Birkemeier, (1981). O perfil realizado fica localizado no setor nordeste da praia, próximo a duas barracas que ainda utilizam água de poços no local (Figura 14).

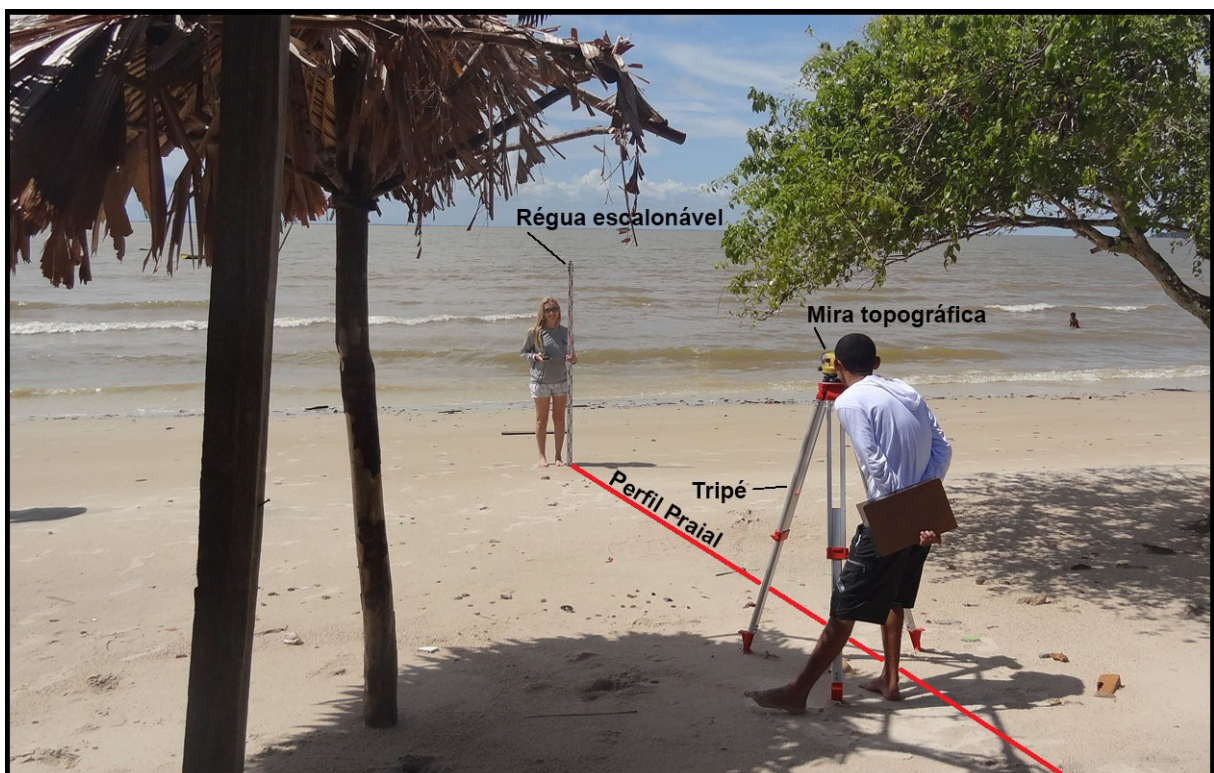


Figura 13 - Nivelamento topográfico destacando a mira topográfica, régua escalonável e o tripé.

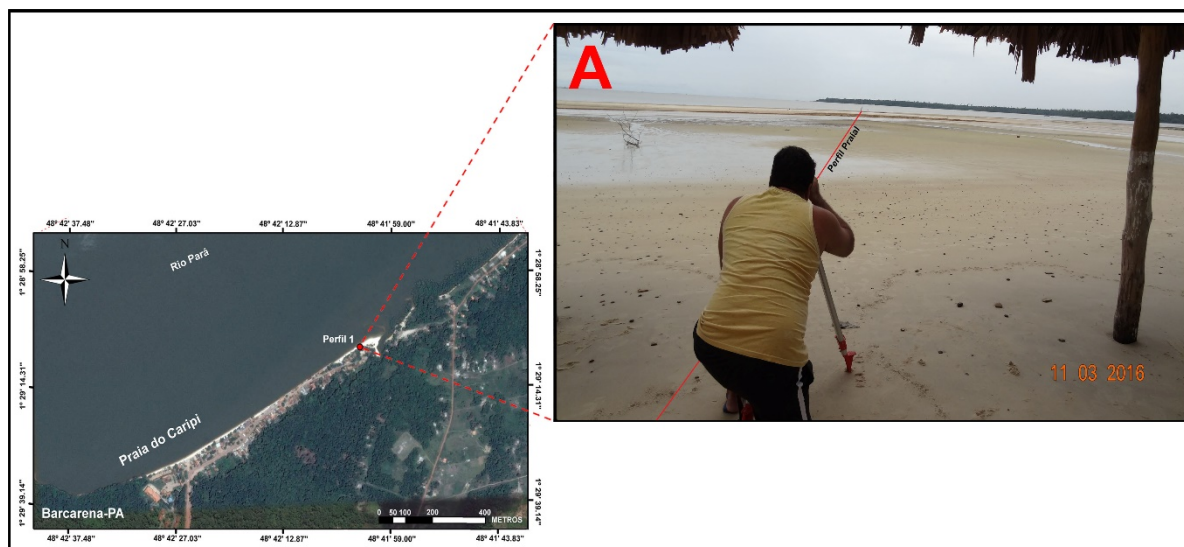


Figura 14 - Coleta de dados altimétricos (perfil praial – linha contínua em vermelho): A – Perfil.

4.4.3 Análise de Viscosidade

A viscosidade é a propriedade de resistir ao escoamento. Esta depende da temperatura ambiente e dos teores de componentes leves do óleo (concentração de componentes aromáticos).

A persistência ou meia vida é o tempo de degradação de 50% do óleo na superfície do mar. Podem ser divididos em não-persistentes (Grupo I) e persistentes (Grupos II, III, IV).

A Lei Federal 9966 de 28/04/2000 define o termo óleo como “qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borracha, resíduos de petróleo e produtos refinados” (Brasil, 2000).

O óleo é dividido em quatro grupos de acordo com suas propriedades físico-químicas, incluindo a densidade relativa (ou gravidade específica), persistência (ou meia vida) e a viscosidade (Tabela 3).

Tabela 3 – Grupos de óleo e principais características. Fonte: CETESB (2007).

GRUPOS DE ÓLEOS E SUAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS				
Grupo	Densidade Relativa	°API	Meia Vida	Viscosidade (15°C)
Grupo I	< 0,8	> 45	24 h	0,5 – 2,0
Grupo II	0,80 < 0,85	35 a 45	24 h	4
Grupo III	0,85 < 0,95	17,5 a 35	48 h	8
Grupo IV	> 0,95	< 17,5	72 h	1500

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

Conhecer as características de cada grupo torna-se essencial para entender o comportamento do produto, sua toxicidade ou persistência no ambiente, visto que estratégias de resposta em casos de derrames de óleo, serão atribuídas, em grande parte, pelo comportamento do óleo derramado.

4.4.4 Testemunho por vibração

Para verificar a coluna de sedimentos da praia, foi utilizada a técnica de testemunhagem por vibração, mediante utilização do sistema Vibracorer (Figura 15), onde tubos de alumínio penetram o substrato através de vibrações, que desagregam a areia, aderindo à parede do tubo e mantendo a sequência de deposição dos sedimentos do ambiente praial.



Figura 15 - Coleta da sequência sedimentar vertical com o amostrador à vibração (vibracorer).

4.4.5 Coleta de sedimentos superficiais

A coleta de sedimentos foi realizada na zona de pós-praia e intermaré. As amostras foram retiradas manualmente, perfazendo uma quantidade de 500 gramas e armazenadas em sacos plásticos com identificação para posterior análise granulométrica (Figura 16).



Figura 16 – Coleta de sedimentos superficiais.

4.4.6 Sísmica rasa com GPR

A profundidade do lençol freático foi determinada através do método eletromagnético “Ground Penetrating Radar (GPR)” que utiliza ondas eletromagnéticas em frequências pré-definidas para localizar estruturas, feições geológicas ou objetos enterrados em subsuperfície (Figura 17A). O método de aquisição de dados consistiu em executar perfis de reflexão, orientados perpendicularmente à linha de preamar. Na execução do perfil, foi percorrida uma linha de 60 m demarcada sobre o terreno (abrangendo os setores de pós-praia e intermaré), deslocando as antenas do GPR ao longo desta linha, e executando leituras em pontos equidistantes (Figura 17B). A frequência de operação é selecionada conectando as antenas apropriadas ao registrador. Todos os outros parâmetros de operação necessários foram ajustados através do microcomputador mediante software específico.

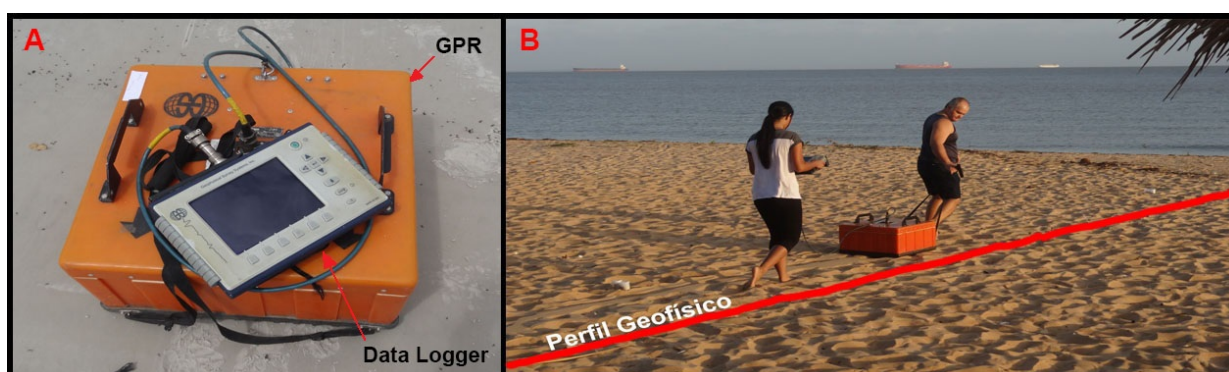


Figura 17 - A - Equipamento TerraSIRch SIR (Subsurface Interface Radar) System-3000, utilizado nos levantamentos de sísmica rasa; B - Perfilagem geofísica utilizando o GPR.

4.5 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

4.5.1 Permeabilidade

Com os dados da variação do tempo obtidos em campo nos ensaios de permeabilidade, foi feita a média desse tempo e calculados os coeficientes de permeabilidade para cada fluido (Tabelas 3) através da equação desenvolvida por CAPUTO (1980), com base na equação experimental de Darcy.

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

Onde:

r – raio do tubo PVC

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)

4.5.2 Análise de Viscosidade

A viscosidade dos fluidos utilizados nos ensaios foi definida de acordo com o método ASTM D445, utilizando um analisador automático de viscosidade, modelo VH1 (Figura 18). Este método de ensaio especifica um processo para a determinação da viscosidade cinemática (ν), de produtos líquidos de petróleo, tanto transparentes e opacos, por medição do tempo para um volume de líquido que flui por ação da gravidade através de um viscosímetro capilar de vidro calibrado. A viscosidade dinâmica (η) pode ser obtida multiplicando a viscosidade cinemática (ν), pela densidade (ρ), do líquido.



Figura 18- Analisador VH1-ISM. Fonte: pensalab.com.br

4.5.3 Abertura dos Testemunhos

Os testemunhos vibracorer foram abertos no Laboratório de Oceanografia Geológica e Geofísica Marinha (LIOG) da Universidade Federal do Pará – UFPA. No processo de abertura dos testemunhos foi utilizada uma serra elétrica para fazer um corte longitudinal no tubo, identificando o topo e base. Posteriormente foi realizada a descrição visual da granulometria e a mancha de infiltração. Em seguida, foram retiradas amostras de sedimentos em diferentes intervalos do testemunho para análise granulométrica (Figura 19).



Figura 19 – Abertura dos testemunhos: **A** – corte do tubo com serra elétrica; **B** – corte longitudinal com corda de violão; **C** – descrição visual do pacote sedimentar; **D** – retirada de amostras em diferentes intervalos.

4.5.4 Análise Granulométrica

As amostras de sedimentos foram lavadas e secas na estufa a 50 °C e posteriormente pesadas em balança digital. Em seguida, foi realizado o peneiramento pelo método descrito por Suguio (1982), que consiste no quarteamento da amostra total para uma retirada de 100g. Essa alíquota foi submetida ao peneiramento por aproximadamente 10 minutos, em uma coluna de peneira empilhadas em intervalos de $\frac{1}{2} \phi$ (ϕ), utilizando a escala de Wentworth (1922) (Figura 20).

Com base no percentual de cada fração granulométrica, foram calculados os parâmetros estatísticos de distribuição (mediana, média, grau de selecionamento, assimetria e curtose) e classificação textural, de acordo com o sistema proposto por Folk e Ward (1957), que

considera a classificação, selecionamento, achatamento e tendência, com base nas curvas de frequência simples e acumulada. Parâmetros como média, grau de seleção (desvio padrão), assimetria e curtose foram calculados através do software Sysgran.



Figura 20 - Procedimentos metodológicos para análise granulométrica: **A** - lavagem das amostras; **B** - secagem em estufa; **C** - quarteamento da amostra; **D** - pesagem; **E** - separação granulométrica via peneiramento.

4.5.5 Análise Morfoscópica

Para a observação dos grãos, foi utilizada as frações de areia média (250 μm), onde foram observados grãos de quartzo, dada a sua ampla distribuição nos sedimentos praias. Essa fração de areia foi disposta em lâmina reticulada, com fundo preto e fosco para análise em uma lupa binocular com iluminação por reflexão dirigida a 45° e zoom óptico de 0,75x (Figura 21). Em cada amostra foram observados 100 grãos. Evidentemente que a observação de um número maior de grãos ampliaria o rigor estatístico da análise, mas não conduz a melhoria significativa dos resultados.

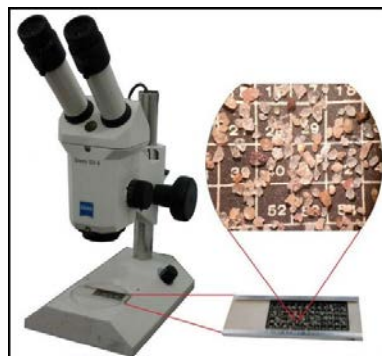


Figura 21 – Lupa binocular utilizada na análise morfoscópica dos grãos. Em destaque a visão ampliada dos grãos de quartzo na lâmina reticulada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TOPOGRAFIA

No perfil 1 foi observado que no setor entre 50 m e 90 m (intermaré), houve remoção de sedimentos, nos meses de setembro e novembro, quando comparado ao mês de junho. Esse processo foi decorrente da ação das ondas, normalmente maiores nesse período do ano. A partir de 100 m ocorre alternância entre cristas e calhas, causada pela remoção e deposição de sedimentos, sendo este, também, um processo natural. No mês de março houve acresção de sedimentos, provavelmente em decorrência da dinâmica sedimentar de um canal que deságua na praia (Figura 22). No período mais chuvoso (fevereiro-março) esse canal sofreu mudança no seu curso, fazendo com que o mesmo funcionasse como um anteparo hídrico para os sedimentos transportados pelo rio Pará que chegam à praia (Figura 23). Deste modo, ocorreu deposição de sedimentos, possivelmente, do rio Pará quanto do referido canal, proporcionando a formação de um banco de areia, como é possível observar na análise comparativa dos perfis (Figura 24).



Figura 22 – Praia do Caripi destacando o perfil topográfico (linha vermelha) e o canal (linha azul) na parte leste da praia: **A** – praia do Caripi em 2007; **B** – praia do Caripi em 2010. Fonte Google Earth.

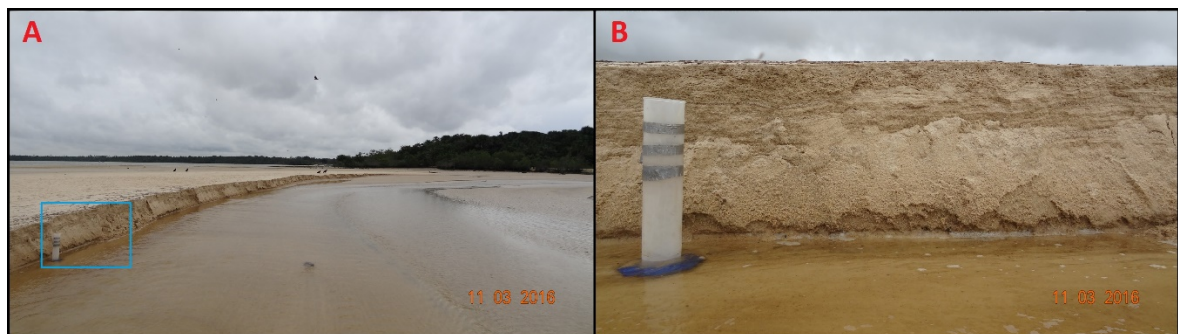


Figura 23 – Praia do Caripi: **A** – Visão lateral do banco de areia formado na praia do Caripi; **B** – Zoom do banco de areia.

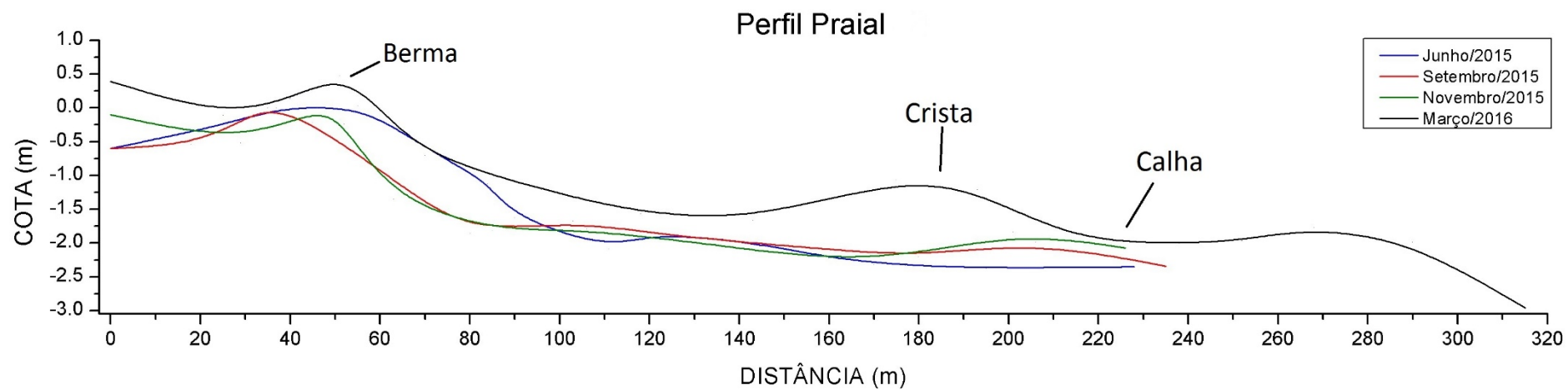


Figura 24 – Análise comparativa dos perfis topográficos da praia do Caripi.

5.2 SEDIMENTOLOGIA

A análise realizada nas amostras retiradas dos testemunhos evidencia que o setor de pós-praia é constituído por areia fina a média, com grãos angulosos, moderadamente a pobremente selecionados, enquanto no setor intermaré predomina areia muito fina a grossa com uma lente de cascalho, e grãos muito angulosos a subangulosos, moderadamente a bem selecionados (Figura 25).

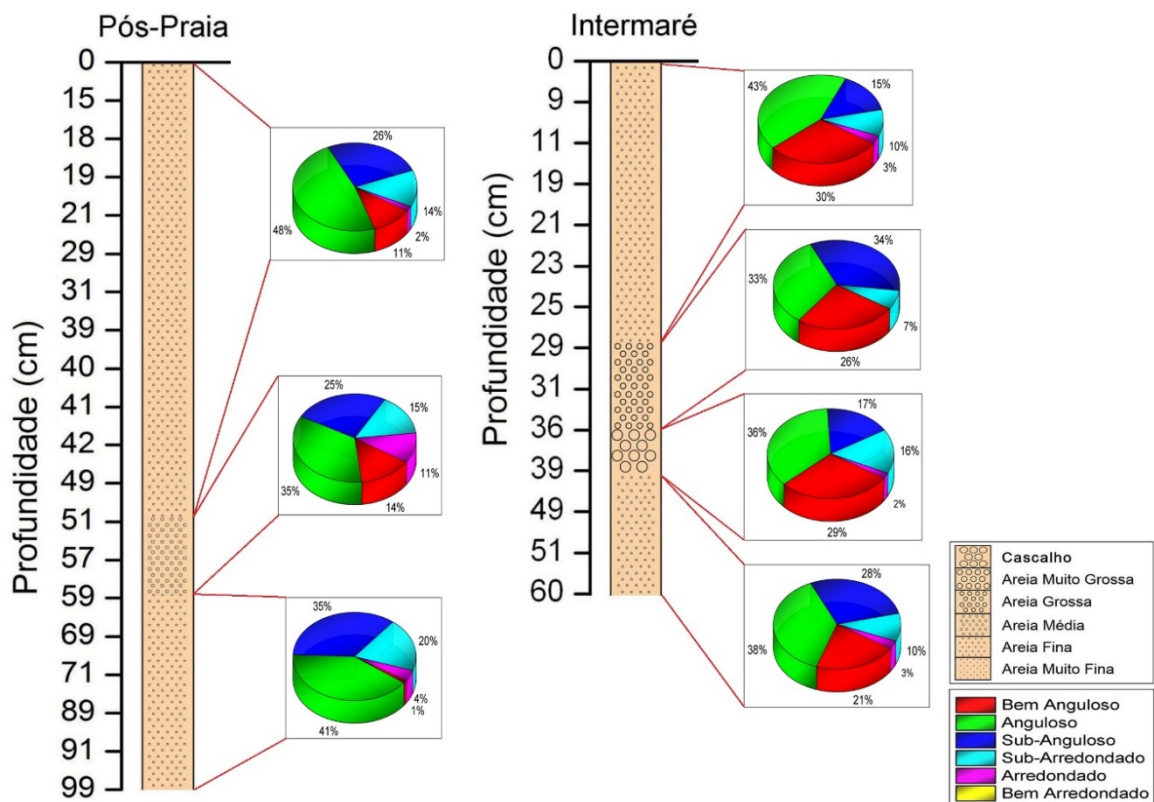


Figura 25 – Distribuição granulométrica e morfoscópica em subsuperfície na praia do Caripi, destacando a predominância de grãos angulosos e subangulosos no pacote sedimentar.

5.3 SÍSMICA RASA COM GPR

Segundo Correia (2017), os dados adquiridos com o GPR mostram o nível d'água variando entre 1 e 1,5 m de profundidade no período mais chuvoso (Figuras 26A, 26B e 26E). No período menos chuvoso, o lençol freático estava entre 1,7 a 2,2 m de profundidade, como mostrado na Figura 26C e 26D. Em todos os perfis foram registradas zonas de atenuação do sinal, provavelmente associadas a rochas presentes em profundidade. Assim como a análise do testemunho mostrou uma variação da granulometria no perfil estratigráfico, os radargramas mostraram que não há somente mudança no tamanho dos sedimentos com a

profundidade, mas que também existe a presença de rochas, podendo estes corpos rochosos, dependendo de sua natureza, aumentar ou diminuir o tempo de infiltração do fluido.

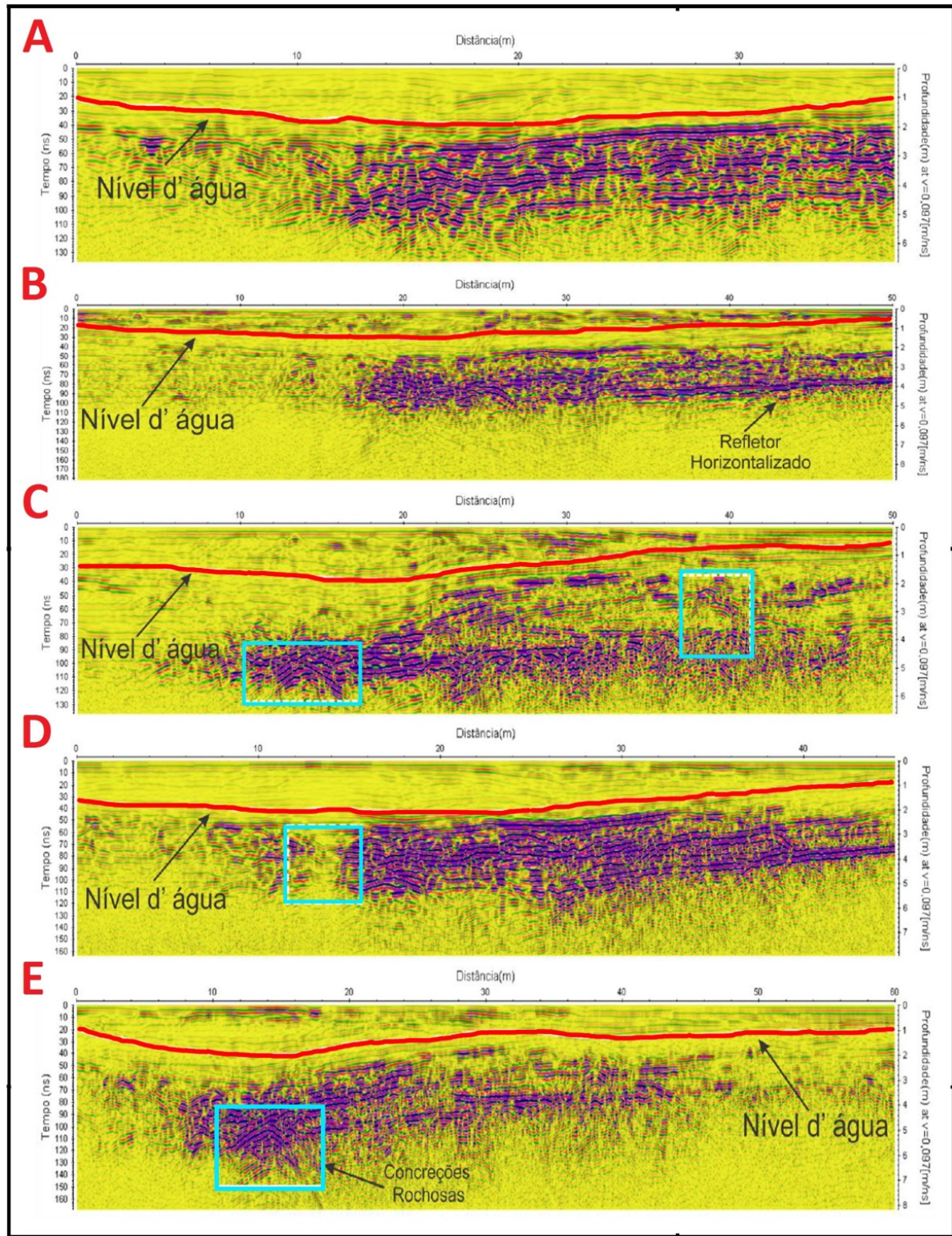


Figura 26 – comportamento sazonal do lençol freático (linha vermelha) e corpos rochosos (linha azul) na praia do Caripi, destacando a baixa profundidade do lençol no inverno (fevereiro – até 1 m) e o rebaixamento do nível nos meses de setembro e novembro. Fonte: Correia, 2017.

As águas subterrâneas nas praias são consideradas como aquíferos costeiros não confinados, dinâmicos, onde o fluxo ocorre nos sedimentos saturados e não saturados e são controlados pela maré, ondas, espraiamento, evaporação e precipitação. A influência da variação diária da maré e da morfodinâmica sazonal das praias na região costeira paraense modifica a elevação da superfície freática. Nos períodos mais chuvosos o nível do lençol freático é influenciado pelas condições pluviométricas e marés de sizígia na região elevando a profundidade do lençol. Entretanto, em períodos menos chuvosos, pode dizer que o nível do lençol freático é determinado pela variação da maré e espraiamento das zonas estudadas, deixando a profundidade do lençol mais baixa.

5.4 SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

Na área da praia estudada, os grãos são subangulosos no pós-praia e angulosos no intermaré. O grau de arredondamento dos grãos torna a acomodação dos grãos descontínuas, e permite que haja ocupação dos interstícios por sedimentos com granulometria menor. Houve mudança na granulometria nos setores de pós-praia e intermaré, no período mais chuvoso (fevereiro – março) e menos chuvoso (junho a novembro). Contudo a morfoscopia permaneceu a mesma tanto nos sedimentos superficiais quanto nas amostras retiradas dos testemunhos, durante todos os meses estudados (Figura 27).

A predominância de alguns tipos de minerais tem grande influência sobre os resultados da permeabilidade, e a matriz sedimentar da praia do Caripi é composta principalmente por materiais silicosos (Oliveira, 2014). Os sedimentos superficiais coletados na praia do Caripi foram classificados como areia fina (pós-praia) e areia média a fina (intermaré) (Figura 28), com algumas variações de areia grossa, como também foi visto por Oliveira (2014). Ambas as zonas apresentaram lentes de areia grossa, mostrando heterogeneidade do ambiente.

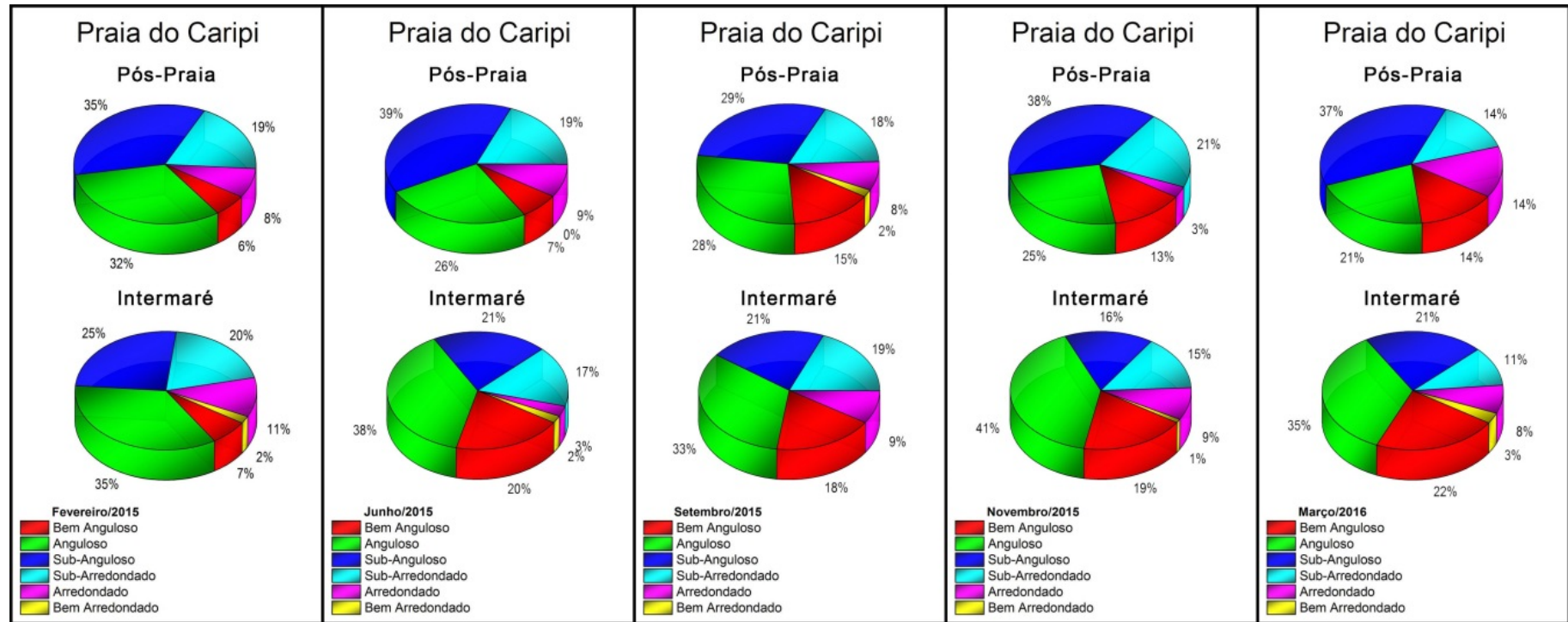


Figura 27 – Análise morfoscóptica dos grãos de quartzo presentes nos sedimentos da praia do Caripi, destacando a predominância de grãos angulosos e subangulosos.

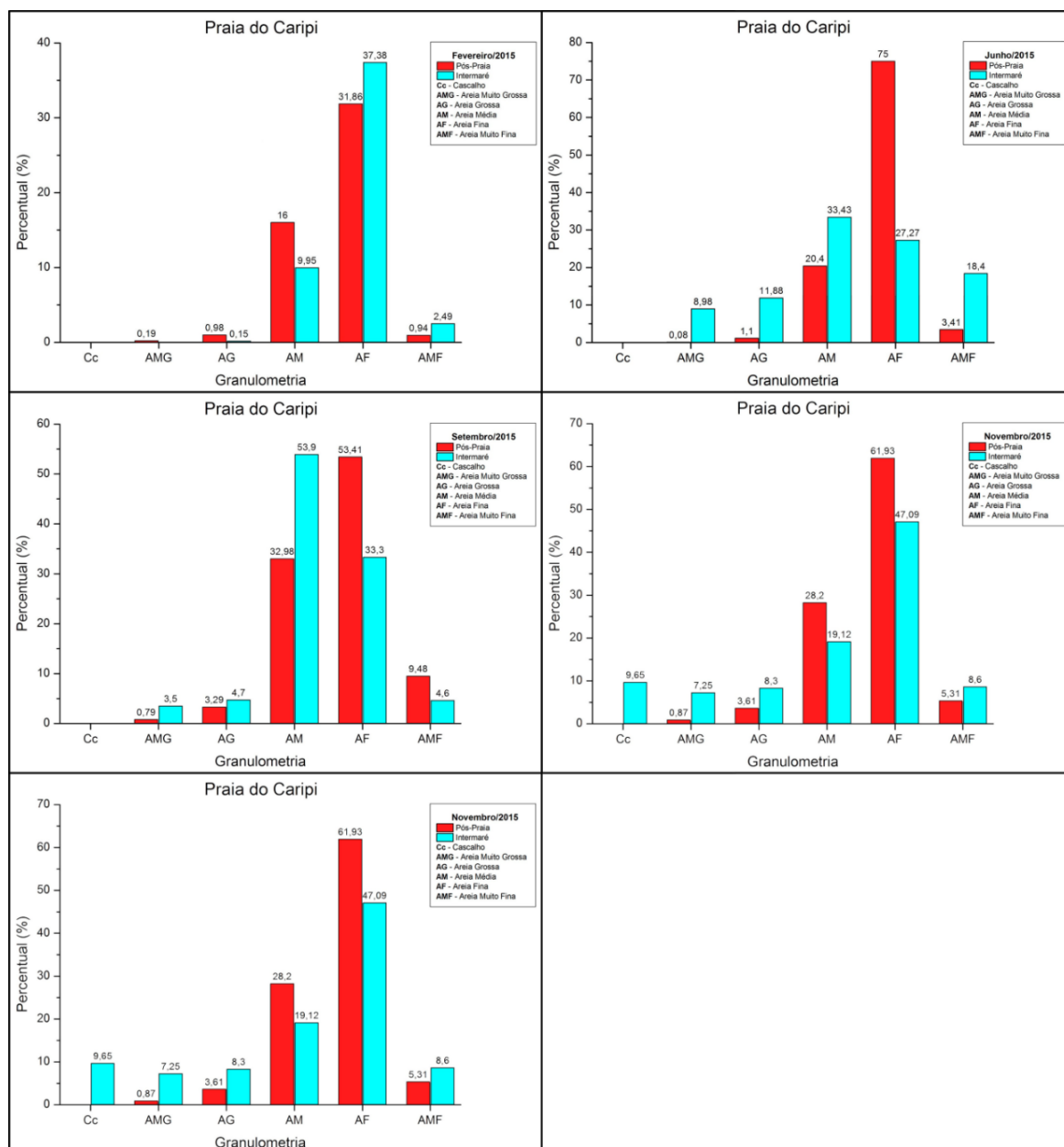


Figura 28 – Distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais da praia do Caripi.

5.5 PERMEABILIDADE

Os resultados da viscosidade do óleo diesel e dos ensaios de permeabilidade mostraram algumas diferenças nas zonas de pós-praia e intermaré, quanto aos valores do coeficiente de permeabilidade (K) mostrados na Tabela 4. Com relação à viscosidade dos fluidos, foram realizados testes apenas para o óleo diesel, uma vez que a gasolina se apresenta como uma mistura complexa de vários hidrocarbonetos, fazendo necessário utilizar misturas menos complexas para representar as características químicas desta em testes. A viscosidade do óleo diesel utilizado nos ensaios de permeabilidade foi maior nos meses de fevereiro e junho. Nos

setores pós-praia e intermaré, a gasolina apresentou maior taxa de infiltração ao longo do período estudado, com valores máximos registrados no período mais chuvoso (fevereiro e março). Para o óleo diesel o comportamento é similar, embora os valores absolutos sejam menores do que os registrados para a gasolina (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes de permeabilidade e viscosidade (óleo diesel).

PRAIA DO CARIPI					
Mês/2015	Zona	$K_{\text{água}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	$K_{\text{gasolina}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	$K_{\text{diesel}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	Viscosidade (mm ² /s)
Fevereiro	Pós-Praia	4,2	5,7	1,5	2,9005
	Intermaré	4,7	3,4	0,9	
Junho	Pós-Praia	3,7	3,5	1	2,9005
	Intermaré	2,4	1,5	0,2	
Setembro	Pós-Praia	2,9	3,4	1,5	2,8031
	Intermaré	4,6	1	1,4	
Novembro	Pós-Praia	2,7	2,5	0,5	2,8031
	Intermaré	2,5	1,8	0,9	
Março/2016	Pós-Praia	2,7	6,3	0,9	2,8031
	Intermaré	3,7	0,6	0,2	

Na Figura 29, observamos que a gasolina manteve um padrão semelhante para a taxa de infiltração, tanto no pós-praia quanto no setor intermaré, mesmo com a diferença na granulometria durante a sazonalidade climática (mais chuvoso – menos chuvoso). O óleo diesel manteve curvas de tendência semelhantes em ambos os setores (pós-praia e intermaré), exceto no mês de setembro, no setor intermaré (Figura 29C), decorrente do grau de umidade do sedimento durante a realização do ensaio. Este fator influenciou o tempo de percolação do óleo diesel no substrato. Podemos observar ainda, que os gráficos A, B e D são semelhantes, porém nos gráficos C e E, há uma mudança no setor de intermaré comparado aos anteriores. A mudança mais expressiva é em relação ao óleo diesel, onde seu coeficiente de permeabilidade foi maior no mês de setembro, devido à alta umidade do local no momento em que foi realizado o ensaio.

Com relação ao tempo de infiltração na matriz sedimentar, a gasolina mostrou maior velocidade de infiltração (4,87 e 8,16 horas, no pós-praia e intermaré) no mês de fevereiro (inverno), mesmo o coeficiente de permeabilidade da gasolina sendo maior no mês de março

($6,3 \times 10^{-3}$ cm/s). Neste caso, a profundidade do lençol freático determinou o tempo de infiltração, pois ele é menor no período mais chuvoso. O mesmo ocorre com o comportamento do óleo diesel, embora em valor absoluto menor (18,51 e 30,86 horas, no pós-praia e intermaré) do que o da gasolina. No período menos chuvoso, a gasolina infiltra mais rapidamente na matriz sedimentar no mês de setembro e junho, nos setores de pós-praia e intermaré, respectivamente. Para o óleo diesel, o menor tempo de infiltração ocorre no mês de junho e setembro, no pós-praia e intermaré, respectivamente (Tabela 5).

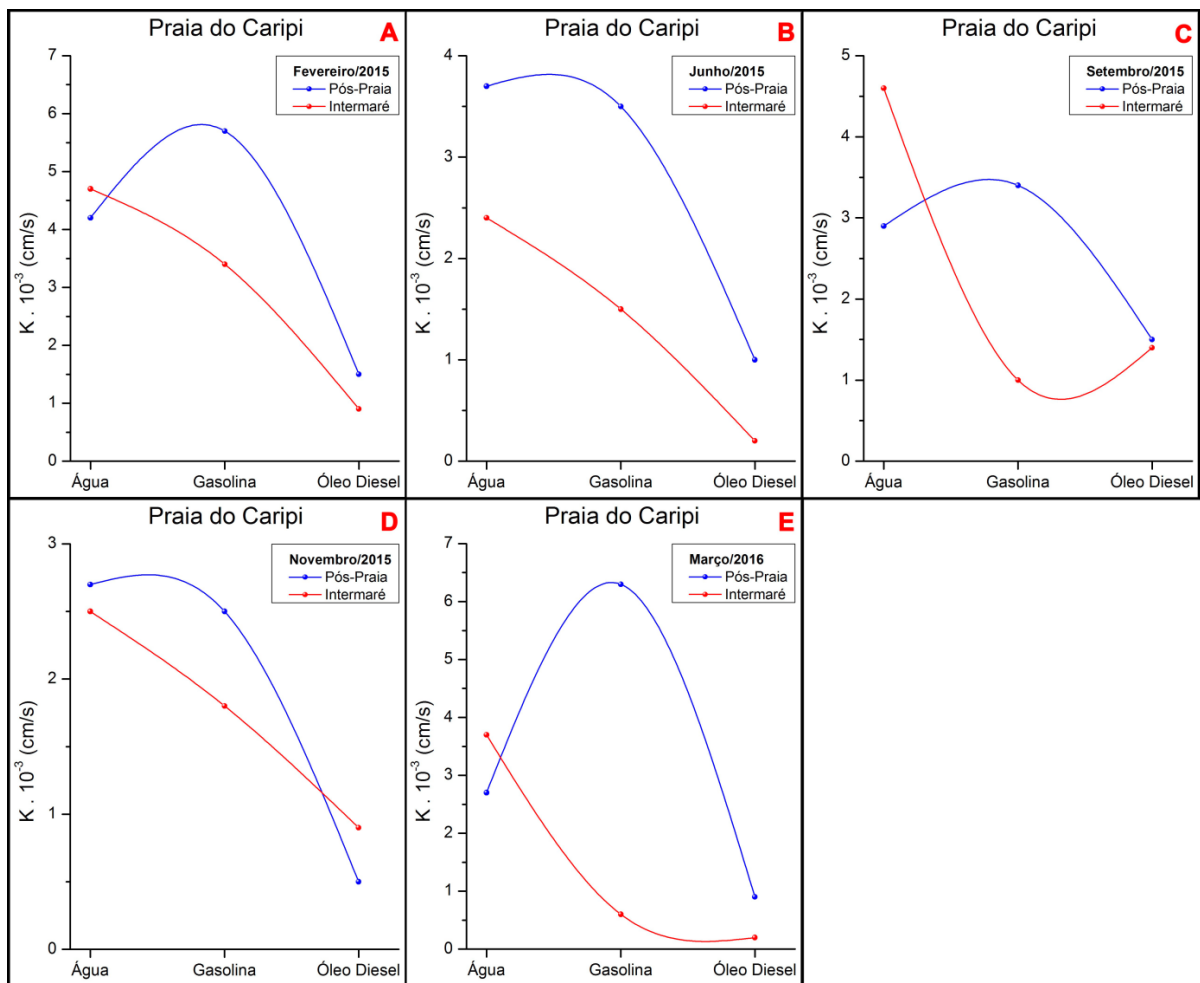


Figura 29 – Comportamento sazonal dos coeficientes de permeabilidade dos fluidos (água, gasolina e óleo diesel), nos setores de pós-praia e intermaré da praia do Caripi.

Tabela 5 – Tempo de infiltração dos fluidos e profundidade do lençol freático.

PRAIA DO CARIPI				
Mês/2015	Zona	Infiltração (horas)		Lençol Freático (m)
		Gasolina	Óleo Diesel	
Fevereiro	Pós-Praia	4,87	18,51	1
	Intermaré	8,16	30,86	
Junho	Pós-Praia	22,67	38,88	1,4
	Intermaré	25,92	194,44	
Setembro	Pós-Praia	17,97	40,74	2,2
	Intermaré	61,11	43,65	
Novembro	Pós-Praia	18,88	94,44	1,7
	Intermaré	26,23	52,46	
Março/2016	Pós-Praia	6,61	46,29	1,5
	Intermaré	69,44	208,33	

Os resultados foram agrupados em uma tabela para uma melhor sistematização e discussão (Tabela 6). A velocidade de percolação da gasolina é muito semelhante a da água, ou seja, uma determinada carga de gasolina leva quase o mesmo tempo que uma carga de água para se infiltrar no sedimento praial, enquanto que a do óleo diesel é cerca de 3 a 5,5 vezes maior.

Observa-se que no mês de março a gasolina tem o maior coeficiente de permeabilidade ($6,3 \times 10^{-3}$ cm/s), mesmo com granulometria de areia fina, pois esse fator diminui a infiltração devido o empacotamento dos grãos. Este é um período chuvoso, os ventos são mais fracos, as marés tornam-se mais efetivas, predominando neste período, principalmente quando há as marés de sizígias. Contudo, o fator de maior influência neste caso é a morfoscopia dos grãos, que com o aumento da angulosidade, os espaços dos poros tendem a aumentar, com isso, aumenta a permeabilidade do local. Porém o tempo de infiltração é menor (4,87 horas) no mês de fevereiro, na zona do pós-praia, devido a profundidade do lençol freático (Tabela 5).

O óleo diesel apresentou maior valor do coeficiente de permeabilidade ($1,5 \times 10^{-3}$ cm/s) nos meses de fevereiro e setembro, com granulometria, morfoscopia e grau de seleção iguais. Contudo, o óleo diesel teve viscosidades diferentes nos meses de estudo. No período mais chuvoso (fevereiro), no pós-praia, a viscosidade do óleo foi maior ($2,9005 \text{ mm}^2/\text{s}$), e esta propriedade interfere na infiltração do fluido, diminuindo o tempo de percolação no substrato. Neste período, o lençol freático está a 1 metro de profundidade e a viscosidade do óleo diesel não tem muita influência. Assim, a infiltração desse óleo até o lençol freático é rápida (18,51

horas). No período menos chuvoso (setembro), com coeficiente de permeabilidade alto no pós-praia e intermaré ($1,5 \times 10^{-3}$ cm/s e $1,4 \times 10^{-3}$ cm/s, respectivamente), a viscosidade do óleo diesel foi $2,8031 \text{ mm}^2/\text{s}$. O tempo de infiltração tanto no pós-praia quanto no intermaré é maior (40,74 e 43,65 horas, respectivamente), pois a profundidade do lençol freático é 2,2 metros. Dentre todos os fatores, aquele que mais influencia o tempo de percolação do fluido para este caso, é a umidade. Isto já foi observado por Adams (2007), que determina o teor de umidade como fator secundário, restringindo a profundidade de infiltração do óleo, em vista que a insolubilidade do óleo na água faz que este encontre dificuldade em penetrar na matriz sedimentar, ficando restrito aos primeiros centímetros do solo.

Tabela 6 – Comparação dos dados sedimentológicos, coeficientes de permeabilidade e profundidade do lençol freático na praia do Caripi.

PRAIA DO CARIPI									
Mês/2015	Zona	Granulometria	Morfoscopia	Grau de Seleção	$K_{\text{água}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	$K_{\text{gasolina}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	$K_{\text{diesel}} \times 10^{-3}$ (cm/s)	Viscosidade (mm ² /s)	Lençol Freático (m)
Fevereiro	Pós-Praia	Areia Fina	Sub-anguloso	Moderado	4,2	5,7	1,5	2,9005	1
	Intermaré	Areia Fina	Anguloso	Moderado	4,7	3,4	0,9		
Junho	Pós-Praia	Areia Fina	Sub-anguloso	Moderado	3,7	3,5	1	2,9005	1,4
	Intermaré	Areia Média	Anguloso	Pobre	2,4	1,5	0,2		
Setembro	Pós-Praia	Areia Fina	Sub-anguloso	Moderado	2,9	3,4	1,5	2,8031	2,2
	Intermaré	Areia Média	Anguloso	Moderado	4,6	1	1,4		
Novembro	Pós-Praia	Areia Fina	Sub-anguloso	Moderado	2,7	2,5	0,5	2,8031	1,7
	Intermaré	Areia Média	Anguloso	Pobre	2,5	1,8	0,9		
Março/2016	Pós-Praia	Areia Fina	Sub-anguloso	Moderado	2,7	6,3	0,9	2,8031	1,5
	Intermaré	Areia Fina	Anguloso	Pobre	3,7	0,6	0,2		

6 CONCLUSÃO

De uma forma geral a permeabilidade do óleo diesel foi mais lenta do que a da gasolina e a da água. A alta viscosidade do óleo diesel em relação a dos outros fluidos já indicava esse comportamento. Obstante, a diferença encontrada entre os coeficientes de permeabilidade dos fluidos nas praias estudadas remetem a três parâmetros/ fatores geoambientais no controle da permeabilidade: características granulométricas/texturais dos sedimentos (tamanho, seleção, grau de arredondamento dos grãos) que constituem as praias, o estágio morfodinâmico das mesmas e a profundidade do lençol freático/teor de umidade nos sedimentos.

A diferença encontrada entre os coeficientes de permeabilidade é em função dos aspectos da granulometria, morfoscopia, umidade dos sedimentos constituintes da praia do Caripi, e a viscosidade do fluido. O coeficiente de permeabilidade demonstrou relação quanto ao tamanho dos grãos, tendo o óleo diesel o menor coeficiente de permeabilidade entre os fluidos utilizados. Esse coeficiente foi ainda menor no mês de março (mais chuvoso) na zona de intermaré, mas seu tempo de infiltração foi maior, isto devido à umidade do local. Porém, no mês de setembro (menos chuvoso), com o aumento da granulometria e grãos angulosos, o coeficiente de permeabilidade do óleo diesel foi maior. O coeficiente de permeabilidade da gasolina foi maior no mês de fevereiro, nos setores de pós-praia e intermaré devido aos grãos subangulosos e angulosos. Sendo estes fatores, os que têm grande influência no tempo de infiltração do fluido na matriz sedimentar. Entretanto, no mês de março, o coeficiente de permeabilidade foi menor, e isto ocorreu devido a umidade do local.

Os resultados apresentados tornam evidente que a penetração dos fluidos na praia estudada é principalmente controlada pela morfoscopia dos grãos e pelo grau de seleção do sedimento. Detecta-se claramente a correlação negativa entre a penetração da gasolina com o teor de umidade dos sedimentos e a profundidade do lençol freático, sobretudo no setor intermaré, onde a tendência é ocorrer menores penetrações em decorrência da menor profundidade do lençol.

Em casos de eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos que atinjam a praia do Caripi, o lençol freático estaria mais vulnerável à contaminação durante os meses de inverno (fevereiro e março), sobretudo para a gasolina, que apresentou os maiores valores de taxa de infiltração. Essa condição estaria fortemente condicionada, em ordem de importância, pelo teor de umidade nos sedimentos, menor profundidade do lençol freático e à morfoscopia dos grãos dos sedimentos. Essa vulnerabilidade seria mais acentuada para o setor intermaré, dada

a predominância de sedimentos mais grossos, responsáveis pelo aumento na permeabilidade dos sedimentos, causando impactos ao ambiente e ao uso e ocupação da mesma.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Do ponto de vista operacional, durante a elaboração de planos de contingência e limpeza de praia, as informações geradas no âmbito do presente trabalho, são de grande valia para a mitigação de impactos/riscos causados por eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos, otimizando, assim, tempo, recursos financeiros, infraestrutura e esforços operacionais.
- As penetrações observadas constituem-se em uma simplificação da realidade, pois os derivados de hidrocarbonetos passarão por processos de intemperismo e chegarão à linha de costa misturados com água e ar, em diferentes fases de mistura. Ainda assim, estão dentro da amplitude de valores para sedimentos arenosos observados pela NOAA (1997). São valores válidos para os momentos que imediatamente seguem a chegada da mancha na praia, apontados como o momento correto para a realização de medidas de contingência.
- Dada a comprovação que o teor de umidade funciona como uma barreira à percolação de fluidos derivados de hidrocarbonetos, poder-se-ia aventar a possibilidade de utilizar a saturação do sedimento praial, sobretudo no setor pós-praia como ação de contingência em acidentes com derrame de derivados de hidrocarbonetos em ambiente praial.
- Muito embora as praias apresentem baixo índice de sensibilidade ambiental a derrame de óleo, caracterizam-se por alta permeabilidade, por serem constituídas principalmente por sedimento arenoso que, dependendo de sua granulometria, seleção, grau de angulosidade dos grãos, estágio morfodinâmico, teor de umidade nos sedimentos favorece a infiltração do óleo e derivados, interferindo no tempo de permanência do impacto/dano ambiental, dificultando a sua remoção e, sobretudo, oferecendo riscos de contaminação ao lençol freático e tornando a praia temporariamente imprópria para as atividades econômicas e de lazer. Nesse contexto, apresenta-se a sugestão de que o desvio padrão, a profundidade do lençol freático e o teor de umidade intersticial dos sedimentos sejam levados em consideração no refinamento dos índices de sensibilidade de praias.

- A título de aprofundamento da pesquisa, tornam-se necessários estudos para o entendimento das variações naturais do lençol freático na praia estudada e suas variações no espaço e no tempo, de acordo com os processos hidrodinâmicos. Além disso, torna-se necessário analisar o comportamento de percolação e permeabilidade dos derivados de hidrocarbonetos, levando-se em consideração a interação das diferentes fases (água, derivados de hidrocarbonetos, ar).

REFERÊNCIAS

- Adams R. B. 2007. *Identification of essential oil components by gas chromatograph/mass spectrometry*. Allured, Carol Stream. 804p.
- ALBRAS – ALUNORTE. 1984. *Relatório de impacto ambiental*. Belém. 86p.
- Almaraz J. S. U. & Formoso M. L. F. 1971. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas - mineralogia das argilas. *In: SBG, 25º Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo. *Anais...* v.2, p. 247-265.
- Almaraz J. S. U. 1979. *Aspectos geoquímicos ambientais dos calcários da Formação Pirabas, estado do Pará*. TS Doutorado em Geociências, UFRGS, Porto Alegre. 186p.
- ALUNORTE. 1994. *Relatório de impacto ao meio ambiente (RIMA)*. Belém, PA.
- Alves, M. A. M. S. 1999. Caracterização sedimentológica e geomorfológica da plataforma e parte superior do talude continental do estado do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém. 114p.
- Armbruster C. C. K. 1997. Morphologic response of a low-energy, micro-tidal beach to winter cold front passages: north shore Santa Rosa Island, Florida. MS Thesis, Department of Geography and Anthropology, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- Arai M., Vesugui, N., Rosseti, D. de F., Góes, A. M. 1988. Considerações sobre a idade do grupo Barreiras no Nordeste do estado do Pará. 35º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém. *Anais...* SBG, v.2, p.738-752.
- Arai M. 2006. A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, **6**(2): 1-6.
- Bezerra F. H. R. *et al.* 2001. Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences. Amsterdam*, **14**: 61-75.
- Bigarella J. J. 1975. The Barreiras group in northeastern Brazil. *Separata de Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v. 47 p. 365-393.
- Boulhosa M. B. M. 2006. 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. TS em Geologia e Geoquímica, UFPA, Belém.
- Birkemeier W. A. 1981. *Fast, accurate two-person beach survey*. Vicksburg, Mississippi, Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center. 22p.

Boulhosa M. B. M., Mendes A. C. Mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo através de imagens SPOT 5, na região portuária de Vila do Conde - Barcarena - Pará. *In: SBSR, 14º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais...* 2009. p. 3597-3603,.

BRASIL. Lei No 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República 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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de Óleo. Brasília, DF, 2004. 107p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Zona Costeira e Marinha. Disponível em: <<http://homologw.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=31>>. Acesso em: 10 Jul. 2015.

Cabral J., Koide S. & Simões S. (2000). Recursos Hídrico Subterrâneos. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. JB D. Piava, Paiva, EMCD. Santa Maria, RS.

Calliari L. J., Muehe D., Hoefel F. G. & Toldo Jr. E. E. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v.50 p63-78.

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

CETESB 2007. Ambientes Costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza. Manual de orientação. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. p. 120.

Correia K. A. 2017. Método GPR aplicado para delinear o lençol freático em praias estuarinas e fluviais. *In: 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF. Submitted.*

Costa M. L., Angélica R. S., Avelar J. O. G. 1991. Outeiro e Mosqueiro: Exemplos de evolução laterítica imatura. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia 3*. Belém, 1991, SBG/NN. p.479-494.

Davis JR R. A. 1978. Coastal sedimentary environments. New York: Springer-Verlag. 420p.

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

Dean R. G. 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. *In: Conference on Engineering Dynamics in the surf zone*. Sydney. *Proceedings*. p. 208-214.

Domenico P. A. & Schwartz F. W. 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons. EUA. 822p.

Duncan JR J. R. 1964. The Effects of Water Table and Tide Cycle on Swash-Backwash Sediment Distribution and Beach Profile Development. Department of Geology, University of Southern California, Los Angeles, California. (U.S.A.).

El-Robrini M. *et al.* 2006. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do estado do Pará – região Amazônica: áreas oceânicas estuarinas. In: Muehe D. (org.). *Atlas de erosão e progradação da zona costeira brasileira*. 1ed. São Paulo, p. 1-34.

Farias D. R. *et al.* Variabilidade morfo-sedimentar das praias estuarinas da ilha de Caratateua - PA. In: AOCEANO, 1º Congresso Brasileiro de Oceanografia & 16º Semana Nacional de Oceanografia. Itajaí. *Anais...* p. 307.

Fenster M.S., Knisley C.B., Reed C.T. 2006. Habitat preference and the effects of beach nourishment on the federally threatened Northeastern beach tiger beetle, *Cicindela dorsalis*: Western shore, Chesapeake Bay, Virginia. *Journal Coastal. Research*. **22**(5): 1133– 1144.

Ferreira, C. S. 1966. Características litopaleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará Avulsos Divisão Geologia e Mineralogia, 41: 101-111.

Ferreira C. S. 1966. Contribuição à Paleontologia do estado do Pará. A presença da espécie atual *Miltha childreni* (Gray, 1824), na Formação Pirabas. Resumos do Congresso Brasileiro de Geologia 20: 79.

Ferreira C. S. 1977. Fácies da Formação Pirabas (Mioceno Inferior): Novos conceitos e ampliações. (Projeto específicos ABC. FINEP). In. *Acad. Bras. Ciênc.* **49**(2): p353.

Ferreira C. S. 1982. Notas Estratigráficas sobre o Cenozoico marinho do Estado do Pará. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, *Anais...* v.1. p84-88.

Ferreira H. O. 1995. Aporte de hidrocarbonetos de petróleo para a Baía de Guanabara – RJ. TS Mestrado – UFF, Niterói.

Galvin C. J. 1968. Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysical Research*, [S.1.], v.73, p.3651-3659.

Gluyas J. G. & Swarbrick, R. E. 2013. *Petroleum Geoscience*. Ed. John Wiley & Sons.

Góes A. M., Rossetti D. F., Nogueira A. C. R., Toledo P. M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra* 2: 3-15.

Guerra A. J. T. & Cunha S. B. 2003. *Geomorfologia e meio ambiente*. 4 ed. Rio de Janeiro. BERTRAND.

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

Harleman D. R. F. 1971. "One-Dimensional Models". *In*: Ward Jr. G. H. & Espey Jr. W. H. (eds.). *Estuarine Modelling: An Assessment Capabilities and Limitations for Resource Management and pollution Control*. Austin, Tracor, pp. 34-89.

Hegge B., Eliot, I., Hsu J. 1996. Sheltered sandy beaches of southwestern Australia. *Journal of Coastal Research* v.12, p748 – 760.

Hoefel F. G. 1998. *Morfodinâmica de Praias Arenosas: Uma Revisão Bibliográfica*. Itajaí, Editora da Univali. 92p.

Horikawa K. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal processes*. 1sted. [S.1.]: University of Tokoyo. Press, 522p.

IBGE. Cadastro Central de Empresas 2004. Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro.

IPT – Instituto de Pesquisa e Tecnologia. 1984. Estudo hidrogeológico para a definição da possibilidade de captação de águas subterrâneas na Usina de Alumínio da Albrás em Barcarena/PA. Relatório n°213 81p.

Jackson N. L., Nordstrom K. F. 1993. Depth of activation of sediment by plunging breakers on a steep sand beach. *Marine Geology*. 115. 143–151.

Kjerfve B. 1970. Description of a Georgia estuary. M. S. Essay. Seattle, Dept. of Oceanography, University of Washington. 43p.

Komar P. D. 1976. *Beach, process and sedimentation*. Englewood cliffs; New Jersey: Prentice-Hall. 429p.

Komar P. D. 1998. *Beach processes and Sedimentation*. New Jersey, Pretice Hall, 50 Englewood Cliffs, Second edition.

Lima C. C. U. de. 2002. Caracterização sedimentológica e aspectos do Grupo Barreiras no litoral sul do estado da Bahia. TS de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 141p.

Mabesoone J. M., Campos E., Silva A., Beurlen K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 2, p. 173-190.

Mabessone J. M. 1987. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, e do seu Embasamento. UFPE, FINEP/PADCT, Relatório Interno.

Matos M. P. & Lima-Guimarães S. T. 2012. A percepção ambiental em planos de emergência: uma proposta para os estudos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo. *In*: Guimarães S. T. L. *et al* (Orgs). *Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais*. 1^a edição. IGCE/UNESP/Rio Claro. Rio Claro. p. 121-150.

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

Martins S. E. M. 2010. Geomorfologia E Sedimentologia Dos Depósitos Sedimentares Recentes Da Porção Superior Do Estuário Do Rio Pará (Baía De Marajó, Amazônia). TS de Mestrado em Geologia Marinha, UFRGS. Porto Alegre, RS.

Maury C. J. 1925. Fósseis Terciários do Brasil com descrição de novas formas Cretáceas: 1-665. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (Monografia 4), Rio de Janeiro.

Melo-Junior H. R. 2002. Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação como instrumento de proteção das águas subterrâneas em áreas industriais: Caso da Albrás, Barcarena-Pa. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia – Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém. 150p.

Mendes J. C., 1992. Elementos de Estratigrafia. São Paulo. Queiroz T. A. Editor Ltda. p. 394.

Moura E. M. 2007. 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. TS em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém.

Muehe D. 2004. Definição de limites e tipologias morfodinâmico e evolutivo. *In: Ministério do Meio Ambiente. Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão.* Brasília: MMA e MPO. p13-32.

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

Oliveira F. A. M. & Vinzon S. B. 2003. Dinâmica do Escoamento da Face da Praia. *In: 9º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife, PE, Brasil.*

Pinheiro R. V. L. 1987. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará, Belém/PA. TS Mestrado em Geologia - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém. 164p.

Popp J. H. 2010. Geologia Geral. Rio de Janeiro, LTC.

Rodrigues J. E. C. 2008. 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. TS em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade federal do Pará. 96p.

Rodríguez J. J. & Windevoxlhel 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.

Rossetti D. F., Truckenbrodt W., Góes A. M. 1989. Estudo 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). v.1. p25-74.

Rossetti D. F. 1990. Caracterização faciológica e diagenética da formação Barro Duro – Bacia de Barreirinhas. TS em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém. 191p.

Saldanha D. S. 2009. 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. 112p.

Saraiva A. L. 2002. Estudo experimental do comportamento do flúor na zona não saturada nas proximidades dos depósitos de rejeito da fábrica de alumínio ALBRAS, Barcarena-PA. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará. 58p.

Secretaria Executiva de Estado de Planejamento Orçamento e Finanças (SEPOF). 2006. Estatística Municipal. 44p.

Shepard F. P. 1973. Submarine Geology. 3 Ed. New York; Harper e Row. 517p.

Short A. D. 1999. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Book Ed. John Wiley & Sons Ltd. England. 379 p.

Short A. D. 1999a. Beaches. *In*: Short A. D. (Ed.). Handbook of beach and shoreface morphodynamics Chichester. p.1-20

Short A. D. 1999b. Wave-Dominated beaches. *In*: Short A. D. (Ed.). Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Chichester. p.173-203.

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: p7-20.

Silva G. M. 2000. Estudo do Padrão de distribuição dos sedimentos das Praias arenosas do Litoral Centro-Norte de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia – CTTMAR. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 102p.

Silva O. F. & Lowenstein P. 1968. Contribuição à geologia da Folha São Luíz (SA.23), no Estado do Pará – novas localidades e razão magnésio-cálcio do calcário Pirabas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. 13: p1 – 17.

Soares J. A. C. 1999. Vulnerabilidade natural dos aquíferos livres da região de Barcarena-PA. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia – Universidade Federal do Pará. Belém.

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

- Suguio K. 1980. *Rochas sedimentares*. São Paulo, Edgard Blucher – Edusp. 500p.
- Suguio K., 1992. *Dicionário de Geologia Marinha*. São Paulo. Editora Queiroz T. A. 171p.
- Suguio K., Nogueira A. C. R. 1999. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. *Revista Geociências*, São Paulo, v. 18, n. 2, p.461-479.
- Szlafsztein C. 2003. Vulnerability and response measures to natural hazard and sea level rise impacts: long-term coastal zone management, NE of the State of Pará, Brazil. *ZMT - Contributions*, University of Bremen, v. 17. p. 1-192.
- Tabajara L. L. C. A. *et al.* 2013. Critérios para a classificação de Costa Arenosa Dominada por Ondas e com Intensa Ocupação Urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* **13**(4): p409-431.
- 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.
- Truckenbrodt W. 1981. Contribuição a Mineralogia e a Geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)*, Belém, v. 25, p. 1-26.
- Tsouk E., Amir S. & Goldsmith V. 1985. Natural self-cleaning of oil pollute beaches by waves. *Marine Pollution Bulletin*. **16**(1): p11- 19
- Turner I. L. & Nielsen P. 1997. Rapid water table fluctuations within the beach face: implications for swash zone sediment. *Coastal Engineering* **32**. p45-59.
- Viana M. A. 2010. Navegando pelas ondas do desenvolvimento: Baixada santista em busca de porto seguro. Desenvolvimento, metropolizações e os (des)compassos da gestão urbano-regional em múltiplos olhares sociais. TS de Doutorado. Ciências Sociais/PUC-USP. São Paulo. 446p.
- Vilas Boas G. S. 1996. Sedimentos terciários e quaternários do interior. *In: Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia*. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais.
- Vilas Boas G. S., Sampaio F. J., Pereira A. M. S. 2001. The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.73, n.3. p417-427.
- Wentworth C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* **30**: p377-392.
- Wright L. D. & Short A. D. 1984. Morphodynamics variability of surf zones in Australia. *In: Komar P.D (Ed.). Handbook of coastal processes and erosion*. CRC Press, Boca Raton, Flórida. p35-64.

Wright L. D., Short A. D., Green M. O. 1985. Short terms changes in the morphodynamic states of beach and surf zones. *Marine Geology*. 62: p339-364.

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