

IRLANDA DA SILVA MATOS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO FUNDO  
ESTUARINO DA BAÍA DO PONTAL - ILHÉUS-BA, BRASIL**

FLORIANÓPOLIS/2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

IRLANDA DA SILVA MATOS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO FUNDO  
ESTUARINO DA BAÍA DO PONTAL - ILHÉUS-BA, BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho

Coorientador: Gil Marcelo Reuss-Strenzel

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Área de Concentração: Utilização e Conservação dos Recursos Naturais  
Linha de Pesquisa: Oceanografia Costeira e Geologia Marinha

FLORIANÓPOLIS/2017



IRLANDA DA SILVA MATOS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO FUNDO  
ESTUARINO DA BAÍA DO PONTAL  
ILHÉUS-BA, BRASIL.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia, área de Concentração Utilização e Conservação dos Recursos Naturais, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho  
Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Gil Marcelo Reuss-Stranzel

FLORIANÓPOLIS/2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Matos, Irlanda da Silva

Caraterização morfossedimentar do fundo estuarino da baía do Pontal em Ilhéus-Ba, Brasil. / Irlanda da Silva Matos ; orientador, Norberto Olmiro Horn Filho , coorientador, Gil Marcelo Reuss-Strenzel, 2017.

112 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Análise Granulométrica . 3. Batimetria. 4. Modelo Tridimensional . 5. Ilhéus. I. Horn Filho , Norberto Olmiro . II. Reuss Strenzel, Gil Marcelo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. IV. Título.

*“Se as sementes na terra escura se transformam em  
tão lindas rosas, em que se transformará o coração  
do homem que cultiva estrelas”*

MAX REUSS

*“Os planos de Deus são maiores que os meus.”*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço imensamente a Deus, por ter me dado forças em todos os momentos difíceis, em segundo, minha família, em especial minha mãe que sempre me incentivou a estudar, enfim, ser uma pessoa mais culta, íntegra e com melhores qualificações, e que mesmo sem entender direito o que eu estava estudando, nunca duvidou um segundo da minha capacidade. Agradeço ao meu namorado pelo amor e apoio incondicional nos momentos de distância. Agradeço as minhas tias e meus primos pela ajuda nos momentos que eu mais precisei. Agradeço também ao Professor Gil Marcelo Reuss-Strenzel, nada disso seria possível sem você, obrigada por me colocar no caminho da ciência e por me dar oportunidade desde os primeiros anos de faculdade. Agradeço ao meu orientador Professor Norberto Olmiro Horn Filho, por ter aberto as portas da Universidade Federal de Santa Catarina para duas baianas apaixonadas pela geologia. Agradeço as minhas amigas, que sempre viam o lado divertido de tudo, obrigada por tornarem os momentos mais leves. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos. Agradeço a todos que ajudaram diretamente na realização desse trabalho: Ao pessoal da Marina (Sid, Gordo e João) pela disponibilidade de querer ajudar, seja abrindo as portas às 5 horas da manhã ou facilitando de todas as maneiras a entrada e a saída da lancha da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Ao pessoal que auxiliou na coleta da maré: Thiago, Kamila, Dara, Endiaria e Juliana, obrigada, sem a ajuda vocês não daria nem para fazer os trabalhos de campo! Agradeço em especial a Thiago, que sempre muito solícito ajudou em todas as etapas de laboratório. Agradeço em especial ao meu querido amigo e colega Jonathas, que me ajudou muito nos dias de coleta. Agradeço também a “De menor” pelo grande auxílio e destreza com o amostrador *Van Veen*. Agradeço ao Professor Jarbas Bonetti Filho por ter cedido o Laboratório de Oceanografia Costeira e a Danae Erdosi pela ajuda nos dias das análises e as dicas dadas. Enfim, agradeço a Deus pela oportunidade de ter concluído mais essa etapa da minha vida.



## RESUMO

Os estuários são ambientes únicos, localizados entre a terra e o mar e entre a água doce e a água salgada constituindo um ecossistema extremamente sensível. O ambiente estuarino contém habitats importantes para a biodiversidade, além da preservação de inúmeras espécies oceânicas e terrestres. Entretanto a intensa ocupação do litoral, frequentemente em áreas sensíveis, tem causado um desequilíbrio na dinâmica dos processos costeiros. O crescente interesse científico pelos processos marinhos tem ajudado a compreender o funcionamento da dinâmica das zonas estuarinas. O presente trabalho tem como objetivo o mapeamento morfossedimentar do fundo estuarino da baía do Pontal-BA na Costa do Cacau, através de dados topográficos a laser, levantamento batimétrico e coleta sedimentar. O estuário da baía do Pontal situa-se no litoral Sul do estado da Bahia, ocupando uma extensão de 2km<sup>2</sup> e abriga uma pequena zona portuária de Ilhéus. Sob o ponto de vista batimétrico, o estuário da baía do Pontal caracteriza-se pela presença de um extenso canal de aproximadamente 5km de largura que percorre toda a baía, iniciando desde a desembocadura do rio Santana até foz da baía do Pontal. Adjacente a este canal principal situa-se um subcanal de aproximadamente 2km de extensão que possivelmente tem influência marinha. Além dessas feições morfológicas de fundo foi possível identificar um banco de formato alongado entre os dois canais, localizado no setor do Pontal. O levantamento batimétrico permitiu identificar, no setor da Sapetinga, baixas amplitudes batimétricas, que variam entre 0,6 até 8m de profundidade, indicando ambiente de baixa energia e alta taxa de deposição sedimentar. O levantamento faciológico permitiu identificar que os sedimentos que preenchem o canal estuarino, são predominantemente arenosos, variando de selecionados a bem selecionados, por vezes siltosos no setor do Pontal. Para o setor da Sapetinga foi possível identificar um menor grau de selecionamento, possuindo areias grossas a muito grossas. A sedimentação é controlada pelas condições hidrodinâmicas do ambiente, sendo reconhecidas dois importantes setores texturais importantes. A distribuição destas fácies texturais aparentemente oscila em função da dinâmica ambiental, sendo o setor da Sapetinga sob influência fluvial e o setor do Pontal sob influência marinha. Todos os dados acima mencionados foram integrados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir do qual foi gerado os mapas faciológico e morfológico para o estuário da baía do Pontal. A análise integrada desses dados foi essencial para entender a dinâmica que ocorre na área. Este estudo vem contribuir para o aumento

do conhecimento do meio estuarino e para um melhor gerenciamento do meio ambiente.

**PALAVRAS CHAVES: BATIMETRIA, GRANULOMETRIA, MODELO TRIDIMENSIONAL**

## **ABSTRACT**

The estuaries are unique environments, located between land and sea fresh water and salt water constituting an extremely sensitive ecosystem. The estuarine environment contains important habitats for biodiversity, in addition to the preservation of wild species, oceanic and terrestrial species. However, an intense occupation of the coast, in many sensitive areas, has caused an instability in the dynamics of coastal processes. The increasing scientific interest by the marine processes help to understand the dynamics of estuarine zones. The present work aims at the morpho-sedimentary mapping of the estuary bottom of the *Pontal-BA* bay in the *Costa do Cacau*, using Laser topographic survey, bathymetric survey and sedimentary collection. The *Pontal* bay estuary is located on the south coast of the state of Bahia, occupying an area of 2km<sup>2</sup> and shelter a small port area of *Ilhéus*. From a bathymetric point of view, the *Pontal* bay estuary is characterized by the presence of an extensive channel approximately 5km wide that runs along the entire bay. Starting from the mouth of the river *Santana* to the mouth of the bay of *Pontal*. Adjacent to this main channel situat a subchannel of approximately 2km that possibly have marine influence. In addition to these morphological features it's possible identification of elongated format bank between two channels, located in the *Pontal* sector. The bathymetric survey allowed identifying, in the *Sapetinga* area, low bathymetric amplitudes ranging from 0.6 to 8m depth, indicating a low energy environment and a high rate of sedimentary deposition. The faciological survey allowed to identify the sediments that fill the estuarine channel, are predominantly sandy and sometimes silty, ranging from selected to well selected in the *Pontal* sector. For the *Sapetinga* sector, it was possible to identify a lower degree of selection, having very coarse to very thick sands. Sedimentation is controlled by the hydrodynamic conditions of the environment, with two important textural sectors being recognized. The distribution of these textural facies apparently oscillates according to the environmental dynamics, being the *Sapetinga* sector under fluvial influence and the *Pontal* sector under marine influence. All the above data were integrated in a Geographic Information System (GIS), From which faciological and morphological maps were generated for the estuary of *Pontal* Bay. A data analysis is essential to understand and dynamics occurring in the area. This study the increase in knowledge of the estuarine environment and contribute to a better management of the environment.

**KEY WORDS: BATIMETRY, GRANULOMETRY, THREE-DIMENSIONAL MODEL**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Máximos transgressivos marinhos propostos para Ilhéus, extraído de Suguio (1999). -----	8
Figura 2: Representação esquemática das definições de estuário de acordo com Pritchard (1967); Fairbrige (1980); Kjerfve (1987) e Dalrymple et al. (1992) (Adaptado de FRAZÃO, 2003 e modificado pela autora).-----	12
Figura 3: Tipos fisiográficos de estuários (FAIRBRIDGE, 1980) retirado de Miranda et al. (2002).-----	14
Figura 4: Reconhecimento das zonas de um estuário influenciado pelas ondas: (a) A influência relativa do rio e do meio ambiente marinho, e (b) a morfologia característica (WOODROFFE, 2003) -----	16
Figura 5: Mapa de localização da área de estudo, identificando os principais pontos citados nessa pesquisa -----	18
Figura 6: Mapa geológico da área de estudo, elaborado pela autora, em base de dados de SEI (1998).-----	20
Figura 7: Mapa geomorfológico da área de estudo, elaborado pela autora, em base de dados de SEI (1998).-----	24
Figura 8: Mapa exemplificando condições de direção altura de ondas e intensidade de ventos frequentemente observados na área de estudo. Fonte: CPTCE/INPE/MCT (2016).-----	26
Figura 9: Equipamento utilizado para o levantamento topográfico à laser. Fotografia: Gil Marcelo Reuss-Strenzel. -----	29
Figura 10: Nuvem de pontos obtida como resultado do levantamento topográfico a laser. Os círculos em preto demarcam os oito locais onde o laser scanner foi instalado. -----	30
Figura 11: Fotografias das áreas escaneadas obtidas durante o levantamento topográfico à laser. Fotografia: Irlanda da Silva Matos 15/10/2015. -----	31
Figura 12: (A) Ecobatímetro utilizado no levantamento batimétrico. (B): Planejamento de campo para realização da batimetria. -----	32
Figura 13: Trabalho de campo realizado para o levantamento batimétrico à bordo da lancha Travessia 21.-----	33
Figura 14: (A): Imagem ilustrativa da coleta de dados da maré. (B): Planilha da correção de maré. (C): Correção da maré realizada no software Hypack MAX©. -----	34

Figura 15: (A): Planejamento da malha amostral para coleta de sedimentos sobre a carta náutica de Ilhéus, (B): Planejamento amostral; elaborado pela autora. -----	34
Figura 16: (A): Coleta de sedimentos superficiais com uso do amostrador Van Veen; (B): Amostra representativa superficial de fundo; (C): Acondicionamento da amostra in loco. -----	35
Figura 17: Malha de pontos de coleta das 69 amostras superficiais de sedimentos de fundo estuarino na baía do Pontal. -----	35
Figura 18: Preparação das amostras no laboratório. (A): Amostras sendo lavadas. B: Amostras queimando matéria orgânica. Fotografia: Irlanda da Silva Matos. -----	38
Figura 19: (A): Equipamento utilizado para análise granulométrica realizada no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC); (B): Resultado amostral da análise granulométrica. Fotografia: Irlanda da Silva Matos. -----	39
Figura 20: A: Distribuição de semivariogramas usadas para interpolação de uma localidade a partir de um subconjunto de 100 pontos amostrados. As semivariâncias empíricas são representadas pelas cruzeiras azuis, as linhas pontilhadas representam os quartis de 25% e 75% e a linha sólida vermelha a mediana. B: transformações em escala normal empírica efetuada para possibilitar a aplicação do semivariograma K-Bessel Detrended. -----	42
Figura 21: Diagramas de dispersão obtidos na validação cruzada. (A): valores previstos x valores medidos; (B): erro standard x valores medidos; (C): erro estandardizado x valores medidos; (D): erro estandardizado x distribuição normal. (E): mapa de erro standard previsto gerado pelo EBK. -----	47
Figura 22: MDT obtido por interpolação. Elaborado pela autora -----	48
Figura 23: Mapa de distribuição granulométrica com base à média do fundo estuarino da baía do Pontal. -----	53
Figura 24: Classes granulométricas de maior distribuição nos dois segmentos da baía do Pontal. -----	54
Figura 25: Gráficos apresentando o grau de distribuição granulométrica entre os segmentos da Sapetinga e do Pontal. -----	56
Figura 26: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base ao desvio padrão (grau de seleção). -----	57
Figura 27: Mapa representando as diferentes classes do grau de seleção das amostras de sedimentos superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal. -----	58

Figura 28: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base à assimetria.-----	59
Figura 29: Mapa representando as diferentes classes de assimetria das amostras superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal.-----	60
Figura 30: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base à curtose.-----	61
Figura 31: Mapa representando as diferentes classes de curtose das amostras de sedimentos superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal-----	62
Figura 32: Pluma sedimentar durante a cheia dos rios que deságuam no setor interno da baía do Pontal. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.-----	64
Figura 33: Formação do banco próximo a desembocadura da baía do Pontal. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.-----	64
Figura 34: Vetores de propagação dos fluxos fluviais e marinhos, formando a zona central estuarina com a ocorrência da zona de mistura (ZM) de massas d' água.-----	68
Figura 35: Domínio de influência fluvial e marinha no estuário da baía do Pontal.-----	69
Figura 36: (A): Fotografia área de Ilhéus de 1940; (B): Fotografia de Ilhéus de 2014, observando-se a intensa modificação na área da praia do Cristo após a instalação do porto de Ilhéus. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.-----	70
Figura 37: (A): Vegetação de restinga na praia da Avenida em Ilhéus; (B): Retirada da vegetação para facilitar acesso à praia. Acervo fotográfico de José Nazal-----	71
Figura 38: Foto do antigo porto de Ilhéus, localizado no interior do estuário da baía do Pontal. Fotografia: Acervo fotográfico de José Nazal.-----	71
Figura 39: Foto aérea de Ilhéus do ano de 1964, com destaque a formação do tómbolo em direção ao morro de Pernambuco (1), praia do Cristo (2), a construção da ponte Governador Lomanto Jr (3), o antigo porto de Ilhéus (4) e a construção do novo porto (5) Fonte: CEPLAC (1964).-----	73

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Relação geral das amostras superficiais de sedimentos coletadas no fundo estuarino da baía do Pontal. ....	36
Quadro 2: Dados texturais das amostras superficiais do fundo estuarino coletadas no segmento da Sapetinga. ....	51
Quadro 3: Dados texturais das amostras superficiais do fundo estuarino coletadas no segmento do Pontal.....	52

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Descrição dos parâmetros introduzidos no algoritmo de Krigagem Empírica Bayesiana (EBK) da extensão Geoestadistical Analyst do software ArcGis 10.3, para elaboração do MDT representando o relevo da baía do Pontal, a partir dos dados batimétricos. As descrições são fornecidas pela ESRI no próprio software. ....	42
Tabela 2: Parâmetros empregados nas interpolações das variáveis granulométricas.....	44
Tabela 3: Indicadores de erros observados entre os dados medidos e previstos pelo MDT, obtidos por validação cruzada. ....	46



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>OSCILAÇÕES EUSTÁTICAS DO NÍVEL DO MAR .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Evidências geológicas das flutuações do nível relativo do mar na área de estudo .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>MORFODINÂMICA DOS ESTUÁRIOS .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS ESTUÁRIOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO MORFODINÂMICO DOS ESTUÁRIOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO 17</b>	
<b>4.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>ASPECTOS CLIMÁTICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Geologia .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Geomorfologia .....</b>	<b>23</b>

4.4	ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS .....	25
5	ETAPAS METODOLÓGICAS .....	28
5.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	28
5.2	LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA .....	28
5.3	TRABALHOS DE CAMPO .....	28
5.3.1	Levantamento topográfico à <i>laser</i> .....	29
5.3.2	Levantamento batimétrico .....	31
5.3.3	Amostragem superficial de sedimentos do fundo estuarino	34
5.4	ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS .....	38
5.5	ATIVIDADES FINAIS DE GABINETE .....	39
5.5.1	Integração dos dados topográficos e batimétricos ...	39
5.5.2	Elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) ..	40
5.5.3	Mapeamento faciológico do fundo estuarino .....	44
6	RESULTADOS .....	46
6.1	FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DO RELEVO SUBMARINO.....	46
6.2	FEIÇÕES TEXTURAIS ASSOCIADAS.....	50
6.2.1	Classes granulométricas em base à média .....	50
6.2.2	Desvio padrão.....	57
6.2.3	Assimetria.....	59
6.2.4	Curtose.....	61

<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>DINÂMICA MORFOSEDIMENTAR .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Os estuários são áreas de transição, onde a água doce se mistura com a água salgada. Da perspectiva ecológica e biológica, a importância dos estuários é representada pela sua alta taxa de diversidade, abrigando uma relevante zona de reprodução e crescimento para inúmeras espécies, muitas das quais de interesse comercial. O estuário exerce uma função relevante no equilíbrio do meio ambiente por proporcionar condições ideais para a manutenção das cadeias tróficas, contribuindo consideravelmente para manutenção da vida nos mares e oceanos e, portanto, desempenhando um papel ecológico fundamental na manutenção destes ecossistemas (KJERFVE, 1989)

Os estuários podem ser divididos em três zonas distintas, considerando suas características morfodinâmicas: a “zona de maré do rio”, em que há oscilação do nível da água devido à maré, porém há pouca mistura com a água salgada, a “zona de mistura”, onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar e a “zona costeira”, correspondendo à região costeira adjacente que se estende até a frente que delimita a camada limite costeira (KJERFVE, 1989).

De acordo com Miranda *et al.* (2002) aproximadamente 60% de todos os grandes centros urbanos mundiais se desenvolveram ao redor de estuários. Isso ocorre em razão das peculiaridades desses ambientes, que por ser abrigado, favorece a navegação e instalação de portos.

Todas essas circunstâncias colaboram para que a ação antrópica, através do despejo de resíduos, insira substâncias no meio estuarino, que por vezes, atinge níveis de concentração preocupantes, chegando a provocar consequências negativas à biota, à saúde e às atividades humanas como navegação, pesca, aquicultura e recreação. Nessa perspectiva, a partícula lamosa dos sedimentos geralmente possui associação com substâncias que se agregam a essa fração sedimentar, como por exemplo: matéria orgânica, metais pesados e outros contaminantes oriundos do despejo de esgotos domésticos, industriais, agrícolas e de outras atividades que possam impactar este meio (JESUS *et al.*, 2004).

Estudos que visam identificar a morfologia e a distribuição sedimentar nos estuários são importantes para identificação de zonas de erosão e assoreamento, além de contribuir para o conhecimento dos sistemas estuarinos e do seu comportamento quanto à distribuição das características sedimentares e físicas. Para isso, a caracterização morfológica, sedimentar e o mapeamento de fundo são ferramentas importantes para a compreensão desses ambientes marinhos e costeiros

em geral (FOLK & WARD, 1957; AYRES NETO, 2000; QUARESMA *et al.*, 2000; CARMO, 2006; BASTOS *et al.*, 2007; PAOLO & MAHIQUES, 2008).

Neste contexto, a área externa do estuário do rio Cachoeira, denominada popularmente de “baía do Pontal”, já abrigou uma importante e estratégica rota de transporte comercial, o porto de Ilhéus, considerado uma plataforma fundamental para ascensão econômica do cacau no litoral Sul da Bahia através da exportação até a década de 70. Entretanto, com a inauguração do novo porto de Ilhéus em 1972, o antigo porto localizado no interior da baía, foi desativado. Contudo, com o avanço da vassoura-de-bruxa (fungo que destrói o fruto do cacau), as grandes fazendas exportadoras do cacau foram assoladas e logo o Novo Porto de Ilhéus, o qual foi construído essencialmente para o escoamento desse insumo, perdeu sua principal função e atualmente é utilizado como desembarque turístico de grandes cruzeiros. Atualmente o antigo porto deu lugar ao terminal pesqueiro de Ilhéus o qual é muito utilizado por pescadores de toda região do litoral Sul e extremo Sul da Bahia.

Nas últimas décadas, o estuário da baía do Pontal vem sofrendo um processo de degradação ambiental devido ao intenso processo de urbanização provocado pela ocupação descontrolada de seu entorno, muitas vezes associada a aterros, lançamento de esgotos não tratados e incremento do aporte de material sedimentar. Apesar da importância ambiental existem poucos trabalhos publicados em relação à morfologia de fundo da baía. Outro fato importante é que apesar de ser um entreposto pesqueiro importante para região, além de local de grande valor cultural e paisagístico para a cidade, não existe nenhum estudo com relação à sedimentologia local.

Com o intuito de contribuir para supressão dessa lacuna, esta pesquisa tem como objetivo identificar e analisar a distribuição sedimentar e sua relação com a morfologia e formas de fundo no estuário da baía do Pontal, inferindo processos e descrevendo parte deste sistema costeiro. A caracterização morfológica do fundo estuarino, aliada à descrição de aspectos sedimentológicos, é fundamental para a organização de um conjunto de dados que poderá possibilitar, através da integração destes, um melhor entendimento dos processos de erosão, transporte e deposição da carga sedimentar que ocorrem nesse estuário.

Os levantamentos que foram realizados são de crucial importância para futuras análises do comportamento hidrodinâmico deste ambiente marinho, visando acrescentar conhecimentos específicos da dinâmica sedimentar dessa área.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

- Realizar o mapeamento morfossedimentar de fundo estuarino e estudar o cenário morfológico e sedimentar na baía do Pontal para a compreensão de sua dinâmica ambiental.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Realizar o mapeamento das feições do relevo estuarino (até 19m de profundidade), através da elaboração de Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução espacial de 1m;
- Analisar e mapear os parâmetros texturais dos sedimentos superficiais do fundo estuarino;
- Classificar as diferentes unidades faciológicas quanto às suas características granulométricas.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo pretende estabelecer um arcabouço teórico sobre conceitos importantes para a pesquisa, assim como, abordar os aspectos mais relevantes quanto à caracterização morfológica do local. Visto que a área de estudo se encontra na planície costeira entendeu-se a necessidade de aprofundar os conceitos teóricos desde a margem continental até a morfologia de fundo estuarino.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

A geomorfologia da plataforma continental brasileira é abrangente. A plataforma mais larga é encontrada no setor Norte, com uma largura máxima de 320km, enquanto que nos setores Sudeste e Sul as médias variam em torno de 220km. Diferentemente do setor Nordeste, que apresenta plataforma continental estreita, variando geralmente de 20 a 50km e, raramente, apresentando mais que 90km de largura. Existem duas exceções com relação a este estreitamento na plataforma continental Leste: os bancos de *Royal Charlotte* e de Abrolhos onde a largura atinge um máximo de 240km. A plataforma continental mais estreita, com 8km, é encontrada ao largo de Salvador (BAPTISTA NETO & SILVA, 2004). De acordo com Billen *et al.* (1991) as águas das plataformas continentais sustentam mais de 30% da produção oceânica total. Tratam-se de ambientes com elevadas taxas de produção primária, devido à fertilização resultante do aporte de rios, além da ocorrência de ressurgências costeiras. As regiões de plataformas continentais tropicais onde ocorrem ressurgências e estuários de grandes rios estão entre as mais produtivas dos oceanos (BILLEN *et al.*, 1991).

Fundamentado nas descrições de Silveira (1964), Martins & Coutinho (1981) e Villwock (1994), pode-se compartimentar a costa brasileira em cinco grandes áreas: costa Norte (cabo Orange à baía de São Marcos); costa Nordeste (baía de São Marcos à baía de Todos os Santos); costa Leste ou Oriental (baía de Todos os Santos à cabo Frio); costa Sudeste (cabo Frio ao cabo de Santa Marta Grande); Costa Sul (cabo Santa Marta Grande ao arroio Chuí). Tudo isso baseado na morfologia da costa, clima, parâmetros oceanográficos, cobertura sedimentar e largura da plataforma (COUTINHO, 2005). A área de estudo encontra-se localizada na costa Leste.

### 3.2 OSCILAÇÕES EUSTÁTICAS DO NÍVEL DO MAR

As últimas retrações e avanços do nível médio do mar expuseram a superfície da plataforma continental à ação de processos atmosféricos e marinhos, que foram responsáveis pelas atuais características do relevo na planície costeira e plataforma continental. A estrutura base da margem continental brasileira foi construída durante a tectônica de rompimento que separou o Brasil da África. Desde então a plataforma continental, que estava tectonicamente estável, passou a sofrer os efeitos das oscilações do nível do mar, cuja causa principal eram as grandes glaciações continentais, sob a intervenção de processos de deposição e erosão, que atuavam de maneira muito menos abrangente, em relação aos processos ocorridos na época da estruturação (ZEMBRUSCKI, 1979).

Desde o Pleistoceno superior até o final do Holoceno, a plataforma continental brasileira foi palco de uma regressão e de uma transgressão que cobriram grandes áreas e determinaram a maior parte da fisiografia do relevo atual. Dentro dessa transgressão registram-se inúmeras regressões moderadas (CURRAY, 1960; FAIRBRIDGE, 1961), as quais deixaram efeitos morfológicos locais. Para Zembruscki (1979), a regressão então chamada Wisconsiniana expôs quase toda a plataforma continental, e no seu recuo máximo (16 Ka AP), o nível do mar recuou atingindo a cota batimétrica de 135m abaixo da linha de costa atual, aproximando-se muito do talude continental ou mesmo ultrapassando a área mais externa da plataforma continental. Este evento deixou exposta quase toda a plataforma continental da região Nordeste, tornando-a uma imensa planície costeira.

Nas áreas mais elevadas do continente formaram-se planícies aluviais de erosão fluvial, nivelando e rebaixando essas áreas outrora costeiras, o que resultou no seu nivelamento com a própria plataforma continental. Nestes locais desenvolveram-se os atuais sistemas fluviais. A direção do declive e o entalhamento dos canais promoveram progradações sedimentares, que originaram todo o complexo topográfico totalmente interligado. Após essa regressão seguiu a chamada transgressão do Holoceno, aproximadamente há 6 Ka AP, na qual o nível do mar passou a oscilar, em torno dos valores atuais (MARINO, 2006).

Durante a transgressão, os processos marinhos modelaram o relevo da plataforma continental e afogaram a drenagem continental, estabelecendo a configuração da costa atual. No final dessa transgressão, o efeito produzido consistiu no condicionamento de um relevo de “ria” e retificações locais da costa nos setores cabo de São Tomé – cabo Frio e Embaiamento de São Paulo. Para o setor Nordeste, o relevo, mais baixo,

alargava o afogamento das planícies costeiras, com a formação de numerosos cordões praias e lagoas (ZEMBRUSCKI, 1979).

Nos últimos 2 Ka AP, o nível do mar, já estabilizado, amparou o afogamento da rede fluvial e definiu a configuração atual da costa. Segundo Zembruscki (1979), ocorreu um “primeiro declive” que margeava quase toda a costa da região Nordeste, em geral até a cota batimétrica de 20m. É o efeito produzido na topografia do fundo pelas ondas e correntes marinhas neste último estágio de mar.

Compreender as antigas flutuações relativas do nível do mar é de fundamental importância para entender os processos geológicos e geomorfológicos que ocorreram na zona costeira pretérita e que influenciam na modelagem da planície costeira atual. As flutuações relativas do nível do mar constituem um importante elemento modelador das zonas costeiras brasileiras, principalmente as ocorridas durante o Quaternário (HARTT, 1870; BRANNER, 1904; FREITAS, 1951; BIGARELLA, 1965; SUGUIO & MARTIN, 1978).

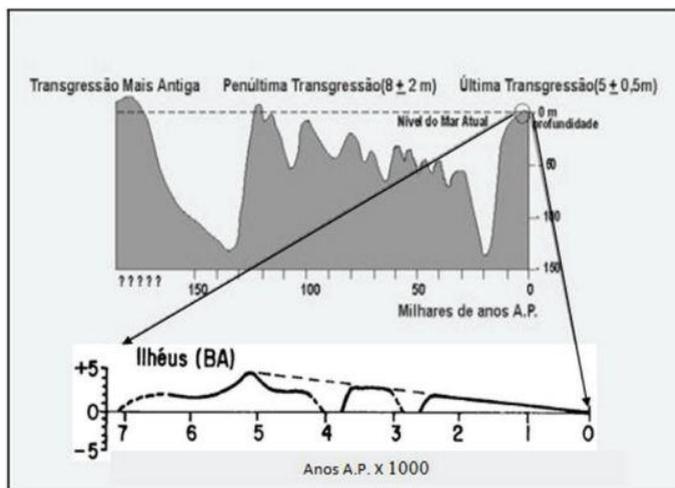
### **3.2.1 Evidências geológicas das flutuações do nível relativo do mar na área de estudo**

Durante o Quaternário ocorreram algumas flutuações do nível médio do mar (NMM) mais recentes. Esse período se estende desde aproximadamente 1,8 Ma AP até os dias atuais, sendo subdividido em Pleistoceno e Holoceno, esta época tendo seu início há aproximadamente 11 Ka AP. As oscilações paleoclimáticas, segundo Baptista Neto & Silva (2004), exerceram um papel preponderante, ora expondo grande parte das atuais plataformas continentais ora recobrando parcial ou totalmente as atuais planícies costeiras.

No Brasil, há 18 Ka AP, devido à pouca inclinação do fundo do mar, a regressão marinha chegou a 300km na foz do rio Amazonas, 20km em Natal-RN, 8km em Ilhéus-BA, 200km no Norte do Espírito Santo, 160km nas praias do Paraná e entre 75 e 112km no Rio Janeiro (FARIAS, 2005). Durante o Quaternário, ocorreram três principais oscilações do NMM no hemisfério Sul. Duas delas no Pleistoceno e a última no Holoceno. A última fase pleistocênica ocorreu há cerca de 120 Ka AP, quando o nível do mar atingiu  $8 \pm 2$  m acima do nível atual. A última transgressão (holocênica), denominada Transgressão Flandriana (ou Santos) (MIRANDA *et al.*, 2002), foi responsável pela inundação das planícies costeiras o que contribuiu para a formação de uma série de ambientes geológicos costeiros, dentre eles: estuários, enseadas, baías e lagoas.

Suguio *et al.* (1985) afirmaram que em Ilhéus é possível identificar a presença de três terraços arenosos, corroborando a existência de três períodos de níveis marinhos altos, situados, respectivamente, entre 5-4m; 4-3m; e 3-2 m acima do nível (Figura1).

Figura 1: Máximos transgressivos marinhos propostos para Ilhéus, extraído de Suguio (1999).



As pesquisas realizadas por Suguio *et al.* (1985) e Suguio *et al.* (1988), detectaram que em Ilhéus o mar atingiu à cota de aproximadamente 5m acima do nível atual (há 5 Ka AP), seguido por uma regressão crescente até os dias atuais. Essa regressão não foi totalmente contínua, mostrando pequenos picos transgressivos e regressivos, inclusive com valores negativos (abaixo do nível do mar atual), deixando indícios impressos na planície costeira como terraços marinhos e lagunares e corpos eólicos, todos de idade holocênica.

### 3.3 MORFODINÂMICA DOS ESTUÁRIOS

Um estuário é um ambiente dinâmico no qual ocorrem muitos processos geológicos. Fontes de sedimentos se combinam para influenciar as características do estuário. Um sistema estuarino inclui bacias hidrográficas, cuja drenagem ocorre para o interior do estuário, através de

rios e riachos (processos fluviais), e uma ligação entre a rede de drenagem fluvial e o sistema marinho (HUME & SWALES, 2003).

De acordo com Miranda *et al.* (2002), os estuários possuem idade geológica recente sendo formados no período Quaternário a menos de 5 Ka AP. Os estuários são áreas privilegiadas, onde ocorrem fenômenos de erosão e deposição de sedimentos que causam progressivamente a modificação da sua forma e em contrapartida, induz a dinâmica sedimentar do litoral (SOUSA, 2003).

A palavra estuário é derivada do latim “aestus” e significa maré, ou melhor, a invasão do mar continente adentro (WOODROFFE, 2003). A definição de estuário e delimitação da área têm sido abordadas por diversos autores, os quais possuem conceitos baseados em suas respectivas áreas de conhecimento. Para os oceanógrafos, geógrafos e ecologistas, a terminologia de estuário é aplicada para designar a região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro de águas fluviais com a do mar transportada pelas correntes da maré e pelas ondas. Alguns cientistas acrescentam a região da plataforma continental adjacente, que recebe a chamada pluma estuarina, como parte integrante do sistema estuarino (MIRANDA *et al.*, 2002).

Uma das definições mais conhecidas na oceanografia pertence à Pritchard (1967), que considera a salinidade da água como critério delimitador da zona estuarina, o autor descreveu: “Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce, oriunda da drenagem continental”. Pritchard afirmou ainda que a circulação dentro do estuário é influenciada diretamente pela sua geometria. A comunicação com o oceano tem que ser ampla o suficiente para permitir o livre e interrupto fluxo de maré e diluição da água do mar (DELGADO, 2011).

Contudo, esse conceito de estuário torna-se restrito por não reconhecer a variabilidade temporal da descarga fluvial e as possíveis alterações morfológicas que ocorrem na grande maioria das desembocaduras estuarinas. (DELGADO, 2011). Por exemplo, um estuário que passou por uma longa estação seca pode apresentar níveis maiores de salinidades ao longo de toda a sua extensão; em contrapartida, nos períodos de chuva, pode se tornar totalmente doce. A mesma situação ocorre em costas com altas taxas de transporte sedimentar, onde a foz é fechada temporariamente. (MIRANDA *et al.*, 2002)

Com o avanço das pesquisas sobre morfodinâmica estuarina, novas abordagens e conceitos têm surgido. Novas definições e critérios de classificação, com base na geomorfologia, características sedimentares e

hidrodinâmicas têm sido propostas, tornando os estuários estruturas complexas, dependendo quase sempre do ponto de vista sob o qual estão a ser analisados (SOUZA, 2004).

Com base no conceito definido por Dionne (1963), Pritchard (1967), e Fairbridge (1980) os estuários apresentam uma definição baseada essencialmente em critérios geomorfológicos, dividindo-os em três setores. Para os autores:

“Estuário é uma reentrância do mar, que atinge o vale de um rio até ao limite de influência da maré, sendo geralmente subdividido em três setores: 1) estuário inferior ou marinho (possui uma ligação aberta com o oceano); 2) estuário médio (sujeito à intensa mistura da água do mar com a água fluvial); e 3) estuário superior ou fluvial (caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré).”

Sendo assim, o estuário é considerado um sistema constituído pela região onde ocorre a diluição da água do mar e também a parte do rio que está sujeita à oscilação da maré (MIRANDA *et al.*, 2002). Ainda de acordo com os autores, os limites entre esses setores ao longo do estuário são variáveis e dependem da intensidade da descarga fluvial, da amplitude de maré e da influência do vento.

Kjerfve (1987), avaliando a gênese geológica, caracteriza os limites à jusante, conforme parâmetros sedimentológicos e hidrodinâmicos, de modo a expandir o limite do sistema estuarino até a frente da pluma estuarina, no ambiente marinho costeiro adjacente. De acordo com o autor:

“Estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente. Esses ambientes podem ser subdivididos em três zonas distintas: zona de maré do rio (ZR) – parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda 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 à frente da pluma estuarina que delimita a camada limite costeira”.

Colacionando esta definição com as anteriores verifica-se que ZR e ZM condizem aos setores denominados estuário superior e médio para o

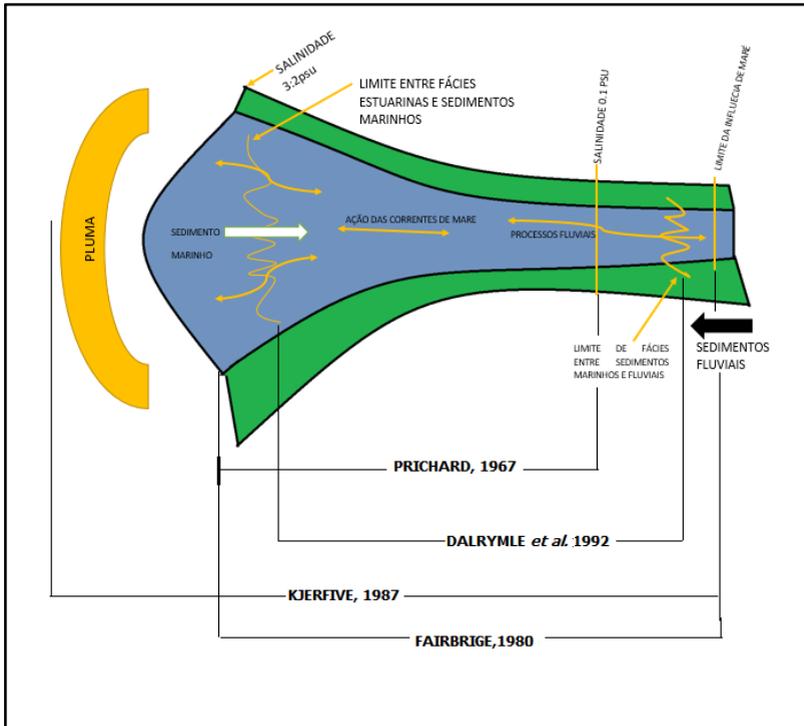
conceito de Dionne (1963) e Fairbridge (1980) ou ao estuário da definição de Pritchard (1967). A incorporação da zona costeira tende a destacar o fato de que é essa parcela da plataforma continental que está sob a influência direta da massa de água estuarina. (MIRANDA *et al.*, 2002) Kjerfve (1987) salientou a relevância do caráter dinâmico dos limites entre as três zonas, que pode variar no tempo em escala de horas a até milhares de anos. Todavia, este conceito ainda é inapropriado sob a perspectiva geológica, pois pode levar, erroneamente, a considerar um ambiente de sedimentação fluvial como estuarino, já que processos de transporte difusivos podem carrear sais até áreas onde a sedimentação é exclusivamente fluvial (exemplo: delta). Além do mais, o prolongamento do estuário até ao largo introduz um ambiente deposicional marinho clássico dentro do limite estuarino (MIRANDA *et al.*, 2002).

Por sua vez, Dalrymple *et al.* (1992) admitiram que para uma definição mais precisa destes sistemas ambientais é necessário considerar aspectos relacionados com o movimento sedimentar da desembocadura do estuário para montante. Os autores então conceituaram: “Estuário é a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados, o qual recebe sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, ondas e processos fluviais.” Considera-se que o estuário se estende desde o limite interno das fácies de maré, até ao limite oceânico das fácies costeiras de entrada.

A partir desta conjectura, Dalrymple *et al.* (1992), consideraram que o estuário ocuparia uma área desde a desembocadura do rio, com salinidade variando entre 30-35psu, até a parte à montante onde a salinidade da água atingisse cerca de 0,1psu. Os limites definidos por Dalrymple *et al.* (1992) apresentam variações temporais menos dramáticas, já que a migração das fácies sedimentares requer um maior período de tempo. Ocorre, porém, a necessidade da presença de uma fácies fluvial. É comum encontrarmos vales inundados por bacias de drenagem reduzidas ou localizados em regiões com pouca pluviosidade, onde os rios são intermitentes ou pouco competentes.

Nestas condições, a fácies fluvial torna-se pouco expressiva ou até mesmo inexistente, e o estuário pode apresentar apenas a fácies marinha (influenciada por marés e ondas) no registro sedimentológico. Como se percebe, os estuários são ambientes complexos e altamente dinâmicos, o que os torna difíceis de serem definidos segundo apenas um determinado critério. Por vezes, para a sua caracterização é necessário a combinação de mais de um critério (Figura 2) com base em suas particularidades morfológicas, sedimentológicas e hidrodinâmicas.

Figura 2: Representação esquemática das definições de estuário de acordo com Pritchard (1967); Fairbrige (1980); Kjerfve (1987) e Dalrymple *et al.* (1992) (Adaptado de FRAZÃO, 2003 e modificado pela autora).



Estas definições foram baseadas nos trabalhos publicados por Cardoso da Silva (2000), Miranda *et al.* (2002), Frazão (2003), Sousa (2003) e Souza (2004), o qual representam apenas algumas das já muitas existentes, reforçando a ideia da dificuldade de concordância da sua definição.

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DOS ESTUÁRIOS

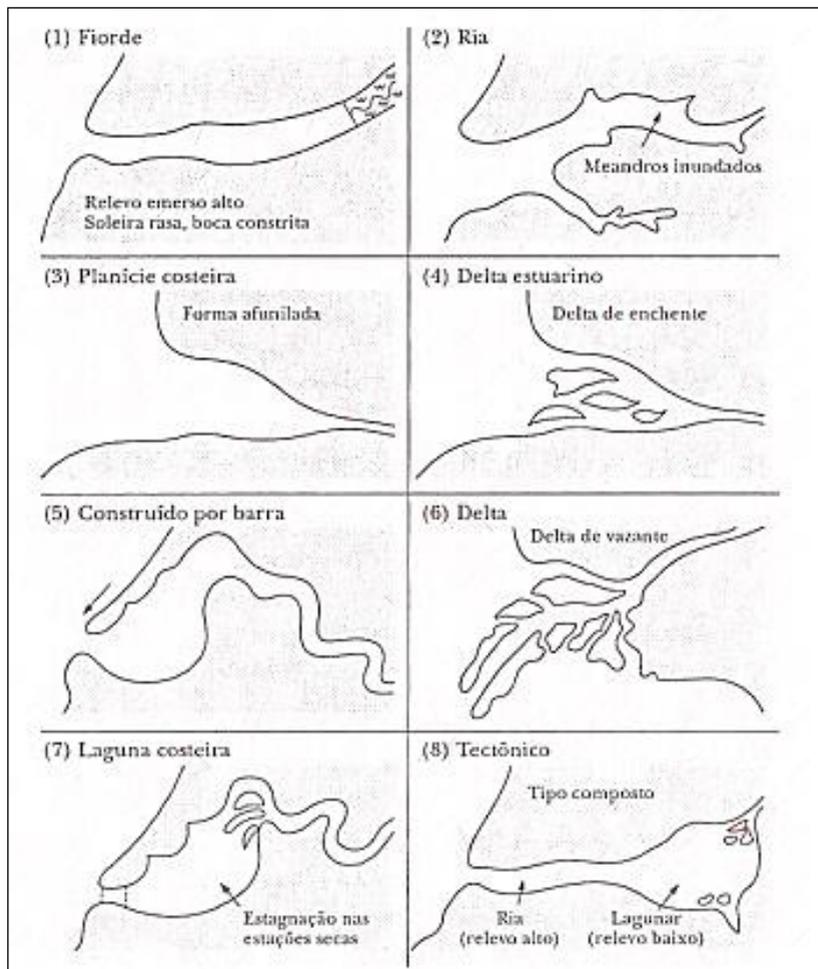
Nos sistemas estuarinos são encontrados qualquer condição climática e de maré, entretanto desenvolvem-se melhor nas planícies costeiras de médias latitudes, ao longo da plataforma continental (HUME & SWALES, 2003). Atualmente, com o aumento mais lento do nível médio do mar, o preenchimento dos estuários pelos sedimentos ocorre de

maneira mais rápida. Logo, a existência de ambientes estuarinos é função do balanço entre as flutuações do nível do mar e o volume de sedimentos transportados pelos rios (MIRANDA *et al.*, 2002).

A classificação geomorfológica de um estuário, baseada na sua origem, foi desenvolvida por Pritchard (1952). Este autor dividiu os estuários em quatro grupos diferentes (CARDOSO DA SILVA, 2000; MIRANDA *et al.*, 2002; FRAZÃO, 2003; ZACARIAS, 2007):

- Planície costeira (vide 3, Figura 3) – estão amplamente distribuídos em redor do mundo apresentando uma forma irregular. São típicos de regiões de planície costeira e formaram-se durante a elevação Holocênica, que inundou os vales dos rios. O ritmo da inundação foi mais acentuado do que a sedimentação tornando a sua forma atual muito semelhante ao vale do rio. Estes estuários são relativamente rasos, raramente excedendo 30 m de profundidade e orientam-se perpendicularmente à linha de costa;
- Fiorde (vide 1, Figura 3) – formaram-se durante o Pleistoceno por ações do gelo, devido à intensa escavação glacial na planície costeira ou próxima à plataforma continental. Apresentam como características principais a elevada profundidade média (em torno das centenas de metros) e um fundo rochoso, que atua como obstáculo à troca de água entre o estuário e o mar adjacente, favorecendo o desenvolvimento de condições anóxicas nas camadas de água mais profundas. São ambientes localizados em latitude altas e comuns no Alasca, na Noruega, no Chile e na Nova Zelândia;
- Construído por barra (vide 5, Figura 3) – estes estuários formaram-se durante a transgressão Flandriana. Os processos sedimentares ativos formaram barras arenosas na sua entrada. São sistemas associados a regiões costeiras que podem sofrer processos erosivos com facilidade, produzindo grande quantidade de sedimentos. Estes sistemas são, em geral, rasos, com profundidades não superiores a 20-30m, e podem apresentar canais e lagunas extensas no seu interior;
- Os estuários restantes (vide 2, 4, 6 e 8, Figura 3) – existem outros estuários que têm formação diferente e que não estão abrangidos nas classificações geomorfológicas propostas. Estes sistemas naturais são formados por outros processos, tais como: falha tectônica, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra. Nesta categoria também se incluem estuários que sofreram grandes alterações devido a processos sedimentares, como são exemplos os deltas e rias.

Figura 3: Tipos fisiográficos de estuários (FAIRBRIDGE, 1980) retirado de Miranda *et al.* (2002).



### 3.5 DESENVOLVIMENTO MORFODINÂMICO DOS ESTUÁRIOS

Fairbridge (1980) afirmou que cada estuário é um corpo costeiro único, sujeito à diferentes confinamentos físicos e, cada qual, marcado por diferentes períodos evolutivos. Se a evolução de cada estuário tivesse sido registrada em um filme, cada pedaço documentado desse filme tornaria evidente os diferentes estágios de desenvolvimento.

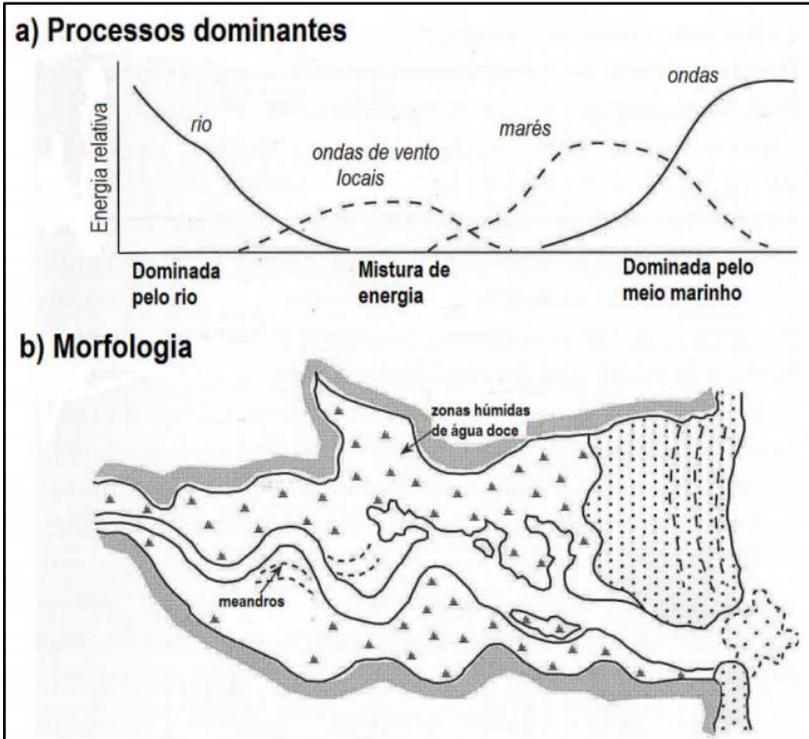
O sistema estuário por ser considerado um ambiente de transição, posicionado entre o oceano e o continente, sofrendo constantes intervenções da descarga fluvial, das ondas e da maré. Em consequência desse fato, os estuários possuem características distintas que resultam de uma maior influência dos diferentes agentes naturais (DELGADO, 2011). A Figura 3 representada anteriormente, exhibe as morfologias gerais dos estuários dominados pelos diferentes processos (caudal fluvial, ondas e marés). Este esquema é útil pois fornece um enquadramento para cada morfologia estuarina. No entanto, este conceito pode ser aplicado em várias escalas. Os estuários podem ser diferenciados em termos de domínio pelo rio, pela maré e pelas ondas, como demonstra a figura, mas mais frequentemente áreas específicas de um estuário podem ser individualmente caracterizadas como dominadas por um tipo destes processos e com graus de intensidades diferentes.

Delgado (2011) afirmou que os períodos transgressivos estão associados a uma sequência do aumento relativo do nível médio da água do mar, porém o regressivo nem sempre é uma sequência da diminuição do NMM. De acordo com o autor, a progradação da costa pode ocorrer onde a taxa de suprimento de sedimentos é constante o suficiente para permitir que a progressão da costa em relação ao mar, mesmo que haja elevação gradual do NMM.

Em zonas costeiras dominadas por ondas (

Figura 4), os estuários são geralmente fechados ou parcialmente fechados devido ao desenvolvimento de barreiras arenosas construídas pelas ondas. Estas barreiras arenosas são em geral eficazes em diminuir a energia das ondas quando estas penetram no estuário e também influenciam as características da salinidade no seu interior. A entrada que liga o rio ao mar pode fechar descontinuamente, assim ocorrendo uma transição gradual para uma lagoa costeira que pode estar permanentemente fechada ou intermitentemente aberta para o mar (WOODROFFE, 2003).

Figura 4: Reconhecimento das zonas de um estuário influenciado pelas ondas: (a) A influência relativa do rio e do meio ambiente marinho, e (b) a morfologia característica (WOODROFFE, 2003)



Ao longo do tempo, estes estuários sofrem uma diminuição da sua profundidade e da sua área de armazenamento de água em resposta a diversos processos deposicionais. Um exemplo é a descarga de sedimentos de origem marinha, causando aumento dos depósitos de areia; ou ainda pela acumulação de sedimentos finos na foz do rio. O tamanho e a forma destes estuários e a taxa de preenchimento depende de fatores geológicos, tais como a topografia do leito, o tipo e taxa de fornecimento de sedimentos fluviais da bacia hidrográfica e o equilíbrio relativo entre ondas, maré e descarga fluvial (WOODROFFE, 2003).

## **4 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO**

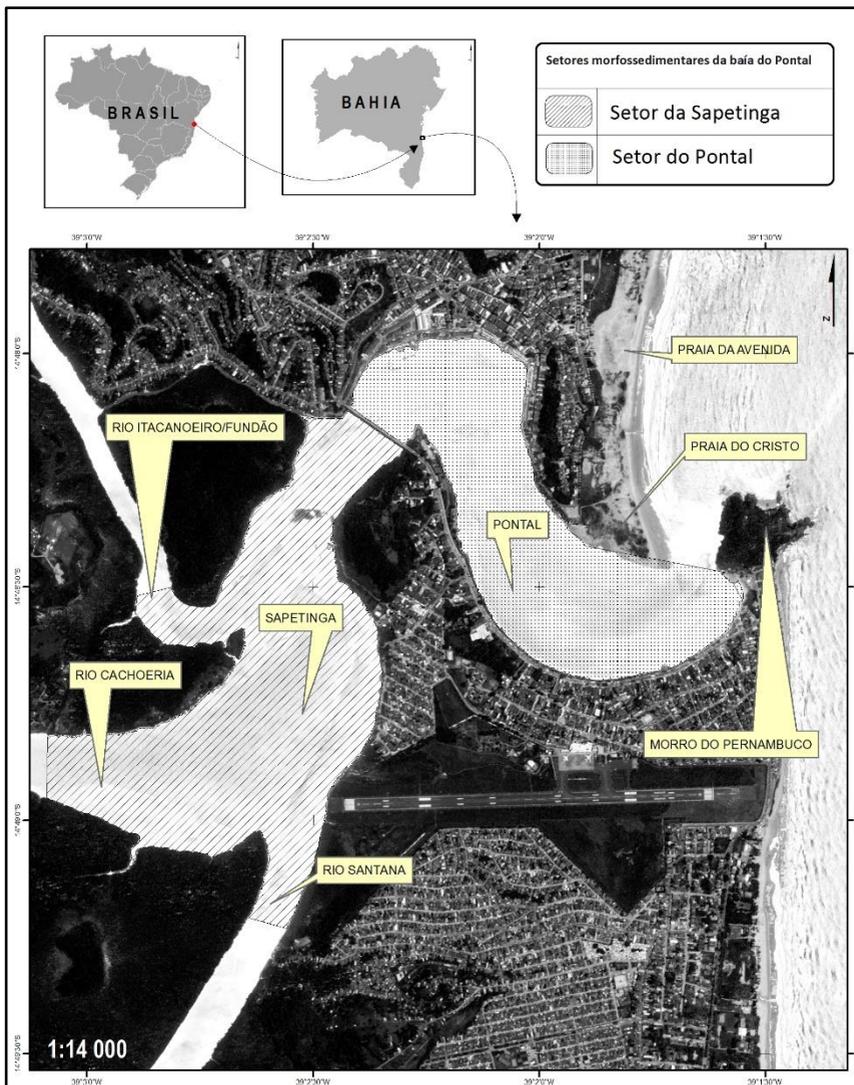
É apresentado a seguir um panorama da área de estudo, sendo descritos sucintamente sua localização geográfica, as evidências geológicas de flutuações do nível relativo do mar, bem como os aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e oceanográficos.

### **4.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

O município de Ilhéus localiza-se na região Sul da Bahia, distante cerca de 460km de Salvador, capital do estado da Bahia, fazendo parte da microrregião Ilhéus-Itabuna, entre as coordenadas geográficas 14°47'55''S. e 39°02'01''W. Segundo IBGE (2010), estima-se a população de Ilhéus em 184.231 habitantes, sendo que a população urbana representa aproximadamente 75% desse total. Na área urbana, Ilhéus é dividida em quatro zonas: Norte, Oeste, Centro e Sul. É um município de grande importância no contexto histórico-social do litoral Sul da Bahia e por sofrer recentes transformações no uso e ocupação do solo. Ao deixar de ser um município basicamente agrícola, a cidade passou a ser vista como um roteiro turístico e um parque industrial tecnológico, conseqüentemente o meio ambiente passa a sofrer grande pressão (ARAUJO, 2012).

A baía do Pontal apresenta área de aproximadamente 2km<sup>2</sup> e uma amplitude média de maré de 1,8m. Limita-se ao norte com a Avenida Dois de Julho (no centro de Ilhéus); ao sul com a Avenida Lomanto Junior (localizada no Bairro do Pontal); e a foz dos rios Cachoeira, Itacanoeira/Fundão e Santana; e a leste com o morro do Pernambuco e oceano Atlântico (Figura 5). Já no contexto econômico, a baía abrigou um importante porto para escoamento e exportação do cacau, sendo dragada diversas vezes para navios de grande porte adentrarem o local, em 1965 o Porto de Ilhéus foi inaugurado e o porto existe na baía foi desativado. A baía do Pontal foi setorizada para melhor compreensão da pesquisa. O setor da Sapetinga engloba a foz dos rios até a ponte Lomanto Jr. com área total de 1,18km<sup>2</sup>, com a maior influência fluvial. O setor do Pontal corresponde ao lado direito da ponte Lomanto Jr. até a desembocadura da baía do Pontal, totalizando a área de 0,82 km<sup>2</sup>, com maior influência marinha.

Figura 5: Mapa de localização da área de estudo, identificando os principais pontos citados nessa pesquisa



## 4.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O município de Ilhéus está posicionado na zona de baixa latitude ao sul do Equador, apresentando clima tropical com elevadas temperaturas e precipitações, influenciadas pela proximidade do mar (SEI, 1998).

A distribuição da pluviometria apresenta médias de chuvas de 1.750mm anuais, variando entre 2.000 e 2.200mm no litoral e entre 1.300 e 1.500mm no interior, essas diferenças pluviométricas acontecem, pois, Ilhéus é um município extenso, adentrando ao continente e saindo da zona costeira. Tais características climáticas são controladas pela ação de diferentes sistemas atmosféricos que atuam em toda região Nordeste do Brasil, entre eles: Vórtices Ciclônicos em Ar Superior, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Zona de Convergência Intertropical, Zona de Convergência do Atlântico Sul e os Sistemas Frontais (SILVA *et al.*, 2012).

A localização tropical associada à influência da maritimidade faz de Ilhéus um município de clima quente, condizente a categoria Af na classificação de Köppen, permanentemente úmido, sem estação seca definida (CEPLAC, 1975).

A evaporação pode atingir 1469,6mm/ano, o que gera um excedente hídrico médio de 247mm. A temperatura média anual é de 23,3°C, sendo a mínima de 19,4°C e a máxima de 28,5°C. A umidade relativa do ar oscila em torno de 85% (BAHIA, 2001).

A estação das chuvas ocorre durante o verão, o que corresponde ao período de maiores descargas para os rios que desaguam na zona costeira (DOMINGUEZ, 2006). A abundância de chuvas interfere diretamente no aporte sedimentar para a planície costeira, pois é um dos principais mecanismos dos processos de intemperismo e erosão.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), está associada às chuvas intensas nas regiões brasileiras do Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No entanto, a variação da sua posição média, pode ocasionar irregularidades na precipitação na porção Sul da região Nordeste (CHAVES & CAVALCANTI, 2001), apresentando índices mais elevados e velocidades de vento reduzidas (DOMINGUEZ, 2006).

Outro importante mecanismo de produção de chuva para o litoral sul da Bahia é a penetração de sistemas frontais. Analisando dados de 10 anos (1961-1970), Andrade (2003), observou maior frequência de frentes frias que atingem a região nos meses que correspondem ao outono, inverno e primavera. No verão, embora o número de passagem das frentes frias seja menos frequente, tais sistemas ou seus remanescentes, bem como a permanência da ZCIT exerce influência na precipitação nessa estação.

Dessa forma, existe uma tendência dos anos que possuem maiores índices pluviométricos corresponderem aos anos com maior número de passagem de frentes, que alteram significativamente a umidade, mas não apresentem grandes oscilações de temperatura nessa região.

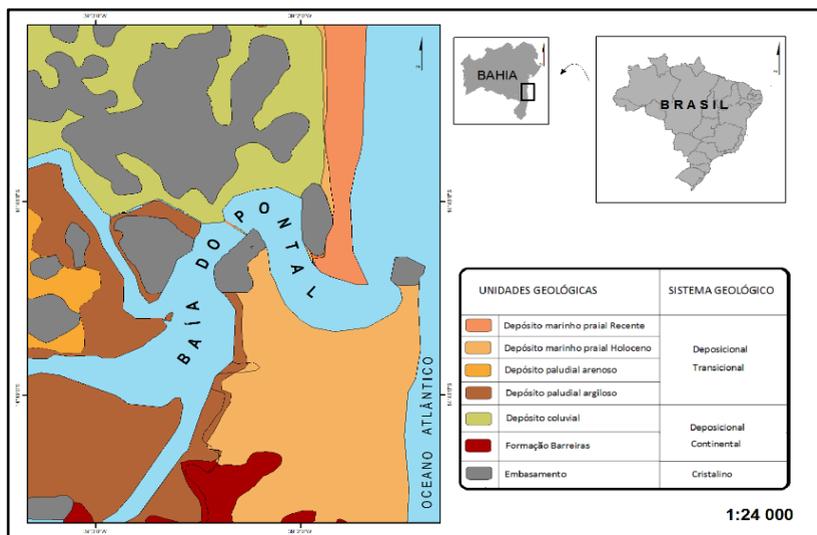
### 4.3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Neste item é apresentado uma breve descrição da geologia e geomorfologia que delimita a fronteira da área de estudo, abrangendo também a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, abordada em contexto regional. Tal abordagem se faz necessária, pois representam as principais fontes dos sedimentos que ocorrem na planície costeira e no estuário da baía do Pontal.

#### 4.3.1 Geologia

Na área de estudo afloram sete unidades geológicas, representadas pelo: Embasamento e pelos depósitos do sistema deposicional continental e transicional. Do sistema deposicional continental afloram a Formação Barreiras e o Depósito coluvial. Do sistema deposicional transicional afloram o Depósito paludial e Depósito marinho praiado (Figura 6).

Figura 6: Mapa geológico da área de estudo, elaborado pela autora, em base de dados de SEI (1998).



O Embasamento inserido no sistema geológico cristalino, está distribuído por toda a área de estudo, encontrando-se mais amplamente ao norte da baía do Pontal.

Aflora em quatro importantes locais adjacentes à baía do Pontal: (1) na desembocadura do rio Itacanoeira/Fundão, em contato geológico com o Depósito paludial arenoso; (2) em frente à ponte Lomanto Jr. na divisa dos setores da Sapetinga e o Pontal em contato geológico com o Depósito marinho praial holocênico e Depósito paludial arenoso; (3) a nordeste da ponte Lomanto Jr. no morro do Unhão, em contato geológico com o Depósito marinho praial Recente e do Holoceno; (4) no morro do Pernambuco junto à desembocadura da baía do Pontal. O Embasamento faz ainda contato direto com Depósito coluvial ao norte e a sudeste do setor da Sapetinga.

O Embasamento faz parte do Bloco ou Complexo Jequié, situado a leste do Bloco do Gavião. Esse bloco foi caracterizado, durante o Arqueano, por migmatitos heterogêneos com presença de supracrustais, com idades em torno de 3,0-2,9 Ga AP e, posteriormente, por intrusões múltiplas, graníticas-granodioríticas de baixo e alto teor de Ti e idade em torno de 2,8-2,7 Ga AP. Esses dois componentes representam o embasamento de bacias intercratônicas tipo *rifts*, onde se acumularam basaltos e andesitos basálticos, *cherts*, formações ferríferas bandadas, grafititos e kinzigitos (BARBOSA, 1997; BARBOSA & SABATÉ, 2003).

Durante o Paleoproterozoico esse conjunto de rochas supracrustais foi intensamente metamorfisados na fácies granulito. O metamorfismo de alto grau corresponde ao Ciclo Geotectônico Transamazônico, com idade de aproximadamente 2,0 Ga AP (INDA & BARBOSA, 1978), decorrente da sobreposição tectônica do Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá no Bloco Jequié e ambos no Bloco Gavião (MELPHI, 1963; BARBOSA & SABATÉ, 2003). Também ocorrem intrusões tardias de corpos charnockíticos enderbítico-charnockítico, cálcio-alcálico e alcálico, principalmente, na parte norte do Bloco Jequié (GOMES, 1996; BARBOSA, 1997).

Litologicamente, esse segmento consiste em rochas orto e paraderivadas, rochas enderbíticas, charnoenderbíticas, charnockíticas e gabro-anortosíticas (GONÇALVES, 1975; BARBOSA *et al.*, 2003; BARBOSA & SABATÉ, 2003). Tais litotipos possuem assembleias mineralógicas específicas de grande importância para formação e composição da sedimentação quaternária das áreas costeiras, a partir dos processos de intemperismo e erosão.

Segundo Barbosa *et al.* (2003) o conjunto mais expressivo corresponde as rochas que foram meteorizadas, destacando-se bandas de granulitos

básicos, kinzigitos e quartzitos com granada e ortopiroxênio. As bandas de granulitos básicos são formadas de plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, hornblenda marron-esverdeada e biotita vermelha titanífera, com altas concentrações de Ti, Fe, Cr, além da presença de charnockitoides ortoderivados com enclaves básicos e de supracrustais, e leucocharnockitos com granada e cordierita (MARINHO *et al.*, 1992; BARBOSA *et al.* 2003).

Em suma, o levantamento das características do substrato rochoso do embasamento cristalino identificou rochas ígneas e metamórficas proterozoicas e rochas sedimentares mesozoicas associadas.

O sistema deposicional continental da planície costeira da área de estudo é constituído de duas unidades geológicas: Formação Barreiras e Depósito coluvial.

A Formação Barreiras, localiza-se ao sul da baía do Pontal, em contato geológico com o Depósito marinho praiial holocênico. Segundo Martin *et al.* (1980), a Formação Barreiras corresponde a faixa costeira do sul da Bahia, sendo representada por uma sedimentação detrítica, constituída por sedimentos arenosos e argilosos, de idade pliocênica. Trata-se de uma deposição em lençol, em clima semiárido, formada por cones aluviais coalescentes.

De acordo com Lima *et al.* (2006) foram identificadas duas fases de deposição para a Formação Barreiras no litoral Sul da Bahia. Na primeira fase, foram depositados arenitos arcoseanos e argilitos claros, contendo abundantes gretas de contração. Essas características levam à interpretação de que houve o predomínio de canais entrelaçados e, mais raramente, fluxos de detritos em uma planície onde predominou o clima quente e seco. Pequenos lagos temporários teriam existido, tendo sido submetidos à exposição subaérea, originando as grandes gretas de contração observadas. A segunda fase deposicional é registrada por arenitos e argilitos espessos, que se intercalam. Os arenitos são predominantemente quartzosos e os argilitos, diferentemente dos depositados na primeira fase, não exibem gretas de contração. Nesta fase, apesar da ocorrência de canais menores, canais entrelaçados bem definidos, com até mais que 3m de profundidade e largura de algumas dezenas de metros, teriam existido.

O Depósito coluvial encontra-se localizado no sopé dos morros do Embasamento cristalino, tais depósitos estão restritos às encostas, representados no mapa geológico próximos à baía do Pontal. Esta unidade encontra-se localizada entre o Embasamento e os depósitos de origem transicional. Tal depósito é constituído por sedimentos semiconsolidados a inconsolidados, com grande variação textural, sem estratificação. Os

depósitos colúviais do município de Ilhéus apresentam formas de rampas colúviais e tálus, geralmente constituídos de alternância de níveis de deposição de cascalho, areia e argila, comumente mal selecionados, com a presença de seixos e blocos, os quais aparecem com mais frequência próximo às áreas fontes.

Os depósitos litorâneos ou transicionais encontram-se dispostos em áreas mais próximas à linha de costa atual, sendo constituídos por sedimentos quaternários essencialmente arenosos, típicos do ambiente marinho praiado, além de sedimentos siltosos e argilosos, contendo teores variados de matéria orgânica, característicos dos ambientes lagunar, flúvio-lagunar e paludial.

No que concerne ao sistema transicional da planície costeira, está sendo considerado quatro unidades geológicas. Nas margens do rio Cachoeira, Itacanoeira/Fundão e Santana ao sul, sudeste e noroeste da baía do Pontal, ocorrem os depósitos paludiais arenosos e argilosos, constituídos predominantemente por sedimentos ricos em matéria orgânica de coloração cinza-escuro e cobertos por vegetação típica de mangues. Na área de estudo, o Depósito paludial arenoso faz contato direto com a desembocadura dos rios, já o Depósito paludial argiloso sobrepõe essa unidade, fazendo contato com o Embasamento. (BARBOSA E DOMINGUES, 1996).

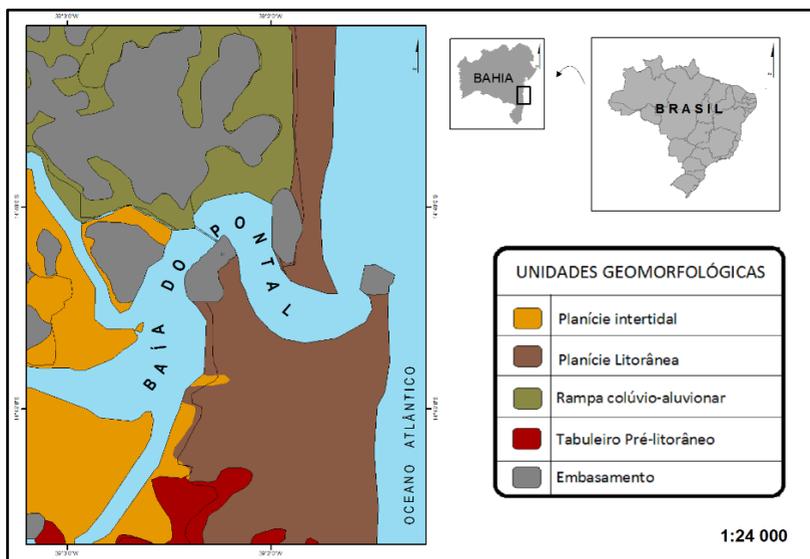
O Depósito marinho praiado holocênico encontra-se em contato geológico com a Formação Barreiras ao sul da baía do Pontal. Já o Depósito marinho praiado Recente representa as praias atuais da Avenida e do Cristo, se estendendo desde o nível de baixa mar média até a linha de vegetação permanente, que configura o limite superior das ondas de tempestade (SUGUIO, 2003). Esses depósitos sofrem influência dos processos de sedimentação marinha e são constituídos por areia de granulometria fina, retrabalhada pela dinâmica costeira.

#### **4.3.2 Geomorfologia**

As unidades geomorfológicas são definidas como um arranjo das formas e da fisionomia em seus diversos tipos de modelados, associados às unidades geológicas respeitando a estratigrafia da região. A geomorfogênese das formas pode ser explicada por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológica e estrutural. Para área de estudo os conjuntos de formas de relevo que compõem as unidades constituem compartimentos identificados como: embasamento, tabuleiro pré-litorâneo, rampa colúvio-aluvionar, planície litorânea e planície

intertidal (Figura 7). As feições morfológicas descritas a seguir foram classificadas em base ao IBGE (2009).

Figura 7: Mapa geomorfológico da área de estudo, elaborado pela autora, em base de dados de SEI (1998).



O embasamento, representado pelos domínios morfoestrutural dos cinturões moveis neoproterozoicos e dos mares de morros, apresentam morros com topos convexos marcados por modelados de dissecação fluvial. Tais formações sofrem marcante processo de urbanização em suas encostas, sendo que em períodos de chuvas mais intensas, é comum ocorrer movimentos de massa, configurando desastres ambientais e perdas humanas.

O tabuleiro pré-litorâneo é encontrado ao sul da baía do Pontal, apresentando duas classes de relevo, uma plana e outra suave ondulada. É constituído de camadas estratificadas de sedimentos argilosos e arenosos, que apresentam uma altitude média de 60m, fazendo contato direto com a planície litorânea. Possui formas tabulares com topos aplainados e estão associados à Formação Barreiras.

De acordo com Casseti (2005), rampa colúvio-aluvionar é definida pela forma originada do escoamento superficial e da ação da gravidade, nas encostas dos morros. Em geral, o talús corresponde aos materiais que descem a encosta, delimitada por superfícies de erosão marcadas às vezes

por linhas de pedra, sendo sua distinção também facilitada, em certos casos, pela variação de cor e textura. Esta unidade geomorfológica tem como uso predominantemente a área urbana, densamente edificada e impermeabilizada. Em Ilhéus essa formação geomorfológica encontra-se ao redor do embasamento, localizada ao norte da baía do Pontal. Como já referido acima, são nas encostas dos morros que devido a erosão pluvial ocorrem os deslizamentos.

As planícies litorâneas representam áreas planas resultantes de acumulação marinha, podendo comportar praias, cristas de praia e ilhas barreira. Ocorrem nas baixadas litorâneas sob a influência dos processos de agradação marinhos. Na área de estudo, as planícies litorâneas ocupam as zonas mais baixas, bordejando a linha de costa e formando um pontal arenoso em contato direto com o embasamento. De forma geral, essa unidade geomorfológica pode ser compartimentada em terraço de praia atual, terraço flúvio-lagunar e terraço marinho praiado mais interiorizado. Os sedimentos arenosos do terraço praia atual distribuem-se, praticamente, por toda a linha de costa do município, caracterizados por areias predominantemente quartzosas de textura média a fina e bem selecionadas, dispostas na praia da Avenida e na praia do Cristo na desembocadura da baía do Pontal (AMORIM *et al.*, 2010).

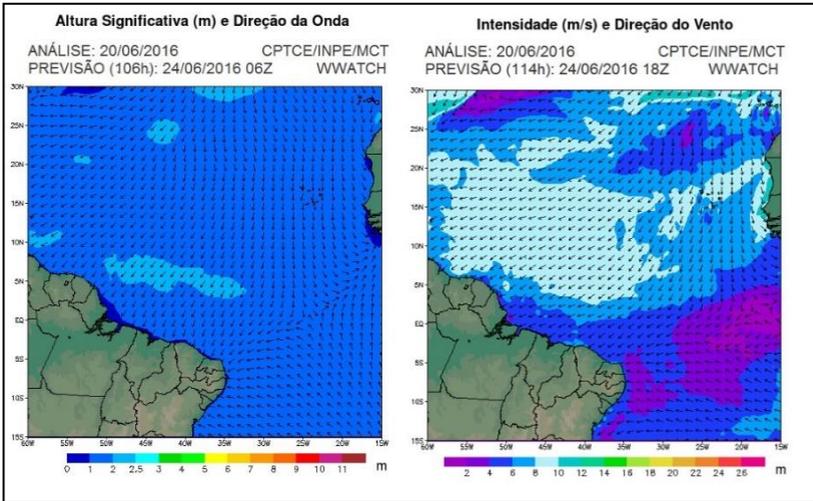
Por fim, a planície interdital representa áreas planas resultantes da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeita às inundações periódicas, podendo comportar canais fluviais, terraços paludiais e deltas. Ocorre próximo às desembocaduras fluviais. Sob a dinâmica dos movimentos das marés estuarinas entre a preamar e a baixamar das marés de quadratura, tal unidade geomorfológica tem predominantemente a presença de sedimentos argilosos a areno-argilosos advindos das áreas de planícies de maré e de planícies de inundação (CARVALHO, 1964). Na área de estudo, tais unidades encontram-se localizadas na desembocadura dos rios Cachoeira, Itacanoeira/Fundão e Santana, em alguns locais encontram-se em contato direto com o embasamento.

#### **4.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS**

O litoral da Bahia é influenciado diretamente pelo cinturão dos ventos alísios, originários da célula de alta pressão do Atlântico sul (Figura 8). Os deslocamentos sazonais desse sistema controlam a posição da Zona de Divergência (DZ) entre os ventos alísios (SE) e os ventos alísios de retorno (NE). Durante o inverno, na latitude 20°S., os ventos sopram

principalmente do leste-sudeste. Durante o verão a DZ migra para o norte e atinge latitudes em torno de 12° S. (BITTENCOURT *et al.*, 2000; LEÃO & DOMINGUEZ, 2000; DOMINGUEZ, 2006).

Figura 8: Mapa exemplificando condições de direção altura de ondas e intensidade de ventos frequentemente observados na área de estudo. Fonte: CPTCE/INPE/MCT (2016).



A ZD é responsável pela mudança de direção dos ventos alísios nas estações do ano. No inverno, a ZD se desloca para o sul, a aproximadamente 20°S., no verão, esses ventos migram para as proximidades da linha do Equador, posicionando-se a 13°S. Como consequência, o litoral de Ilhéus é controlado por esse modelo de circulação atmosférica. No verão, a frente de ondas é afetada pelos ventos alísios de nordeste (NE), que geram padrões de ondas de NE, já no inverno, a zona de divergência se move para o sul, gerando o avanço dos ventos alísios de sudeste (SE), formando padrões de ondas de SE.

Outro fator importante, destacado por Dominguez (2006), é a passagem das frentes frias, que se encontram ativas durante todo o ano, provenientes da trajetória para o norte de massas de ar polar. Nos períodos de inverno elas atingem latitudes de 10°S. Durante o verão estas frentes frias são geralmente mais fracas e assumem uma orientação sudeste-nordeste (SE-NE) sobre o oceano, raramente cruzando o trópico.

Esse cenário pode ser modificado em decorrência de fenômenos atmosféricos como o *El Niño*, que é capaz de reduzir a atuação dos ventos

de SSE e a precipitação na área de estudo. Também é importante mencionar que as ondas de leste predominam durante todo o ano, exceto no período de transição entre a primavera e o verão (APOLUCENO, 1998).

No entorno do município de Ilhéus, os ventos são constantes e sua direção varia conforme a estação do ano. Durante o inverno a direção predominante do vento é sudeste e algumas vezes leste, já no verão a direção muda para nordeste (DOMINGUEZ & BITTENCOURT, 2009). A circulação atmosférica também é a principal responsável pelo padrão de transporte de sedimentos observado na área de estudo, onde a deriva litorânea apresenta uma direção predominante de sul para o norte, assim como para todo litoral Sul do estado da Bahia (BITTENCOURT *et al.*, 2000; NASCIMENTO *et al.*, 2007).

O regime de marés na região de Ilhéus é semi-diurno. Para Davis & Hayes (1984), o regime de maré é do tipo meso-marés, onde a amplitude máxima pode alcançar até 2,4m nas marés de sizígia, as maiores amplitudes de marés são observadas nos meses de março e abril, além de agosto a outubro.

Os parâmetros oceanográficos responsáveis pelo padrão geral de frentes de onda que atingem a área de estudo são os mesmos observados para toda costa do estado da Bahia, controlados, essencialmente, por dois principais sistemas atmosféricos: as frentes frias e os ventos alísios (DOMINGUEZ *et al.*, 1992; MARTIN *et al.*, 1998; BITTENCOURT *et al.*, 2000 e DOMINGUEZ, 2006).

O arranjo das ondas associado a frentes frias gera o *swell*. No inverno o mesmo é mais constante e provoca um aumento significativo do volume de sedimento suspenso, causando um maior aporte sedimentar e por consequência um maior nível de assoreamento no estuário da baía do Pontal (DOMINGUEZ, 2009).

Apesar de não existirem dados significativos do padrão de ondas rasas específicos para o litoral de Ilhéus, dados de ondas profundas, disponíveis para a costa da Bahia, mostram uma relação direta entre a direção e velocidade dos ventos alísios com a direção, altura e período das ondas incidentes. Durante o período de outono-inverno os ventos provenientes da SSE, associados ao avanço periódico da Frente Polar Atlântica, que reforçam os ventos alísios a partir de SE dominam a costa (MARTIN *et al.*, 1998), com ondas de 1,5m de altura e período de 6,5s. No período da primavera-verão predominam as ondas decorrentes do octante E e NE, com alturas de 1m e período de 5s. (NASCIMENTO *et al.*, 2007).

## **5 ETAPAS METODOLÓGICAS**

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada na dissertação, compreendendo as etapas: revisão bibliográfica, levantamento cartográfico e elaboração da base cartográfica, trabalhos de campo, análises granulométricas e atividades finais de gabinete.

### **5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A princípio foi efetuada uma ampla revisão bibliográfica no que diz respeito aos aspectos geológicos, geomorfológicos, oceanográficos e sedimentológicos, complementado por informações do meio físico inerentes à baía do Pontal e ao município de Ilhéus.

### **5.2 LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA**

Inicialmente foi elaborado um levantamento do material cartográfico existente sobre a área em diferentes escalas de trabalho (cartas náuticas, mapas topográficos, levantamentos aerofotográficos e imagens de satélites). A partir daí construiu-se uma base cartográfica em escala de detalhe em formato digital da área (1/1500). Os *softwares* utilizados para manipular essa base foram *ArcGis 10.3* e *Hypack MAX*©.

O componente central da base cartográfica da baía do Pontal foi um modelo numérico do terreno elaborado a partir de dados primários obtidos por levantamentos batimétrico e topográfico acoplados. Os dados topográficos foram levantados em outubro de 2015 em uma campanha de campo financiada pelo Núcleo da Mata Atlântica, vinculado ao Ministério Público Estadual da Bahia, Comarca de Ilhéus.

### **5.3 TRABALHOS DE CAMPO**

Os trabalhos de campo envolveram, em ordem cronológica, o levantamento topográfico altimétrico com utilização do *laser scanner*, o levantamento batimétrico e a amostragem de sedimentos superficiais do fundo estuarino. Os trabalhos a bordo foram realizados na lancha Travessia 21 cedida pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

### 5.3.1 Levantamento topográfico à *laser*

Com intuito de obter um melhor resultado no mapeamento da zona intermareal foi realizado um levantamento topográfico à *laser*, utilizando-se um equipamento de digitalização remota em 3D denominado *laser scanner*, capaz de armazenar, na forma de dados brutos, coordenadas XYZ, calculadas em tempo real a partir das medições lineares e angulares obtidas através de um feixe de raios *laser*.

O *laser scanner* utilizado foi fabricado pela *Riegl*, modelo VZ-1000 (Figura 9), tendo como principais características: alcance máximo de 1400m, precisão de 10mm até 100m, taxa de medição de até 11.000 pontos por segundo, base inclinatória, campo de visão de 360° horizontal e 80° vertical, compensador de até 10°, autonomia de 8 horas, bateria e câmara digital acoplada. O levantamento foi georreferenciado pelo sistema geodésico brasileiro, utilizando um par de receptores geodésicos da *Topcon*, modelo *Hiper Lite* (dupla frequência + RTK).

Figura 9: Equipamento utilizado para o levantamento topográfico à *laser*. Fotografia: Gil Marcelo Reuss-Strenzel.



De acordo com Vogel *et al.* (2011), o *laser scanner* produz como resultado uma nuvem de pontos, a qual é a união de todos os pontos medidos num único sistema de coordenadas. Além das coordenadas XYZ, também é obtida a intensidade de retorno do *laser* para cada ponto, o que ajuda bastante a identificar elementos em campo em função do material e da cor. Outro fator é que a densidade de pontos deve ser adequada com o objetivo do trabalho, sendo que a nuvem de pontos permite a obtenção de

informações e dimensões diretamente sobre ela. Ao interpretar uma nuvem de pontos é possível fazer, com grande precisão, o perfilamento dos elementos e identificar exatamente o que se está medindo (VOGEL *et. al.*, 2011).

Para realização do levantamento topográfico a *laser* foi necessária a instalação do equipamento em oito estações de trabalho, dispostas em diferentes locais da baía do Pontal (Figura 10), tendo sido obtidos durante o levantamento aproximadamente 180.000 pontos topográficos, após filtragem e classificação da nuvem de pontos bruta.

A Figura 11 mostra alguns exemplos de fotos da área obtidas do levantamento topográfico a *laser*

Figura 10: Nuvem de pontos obtida como resultado do levantamento topográfico a *laser*. Os círculos em preto demarcam os oito locais onde o *laser scanner* foi instalado

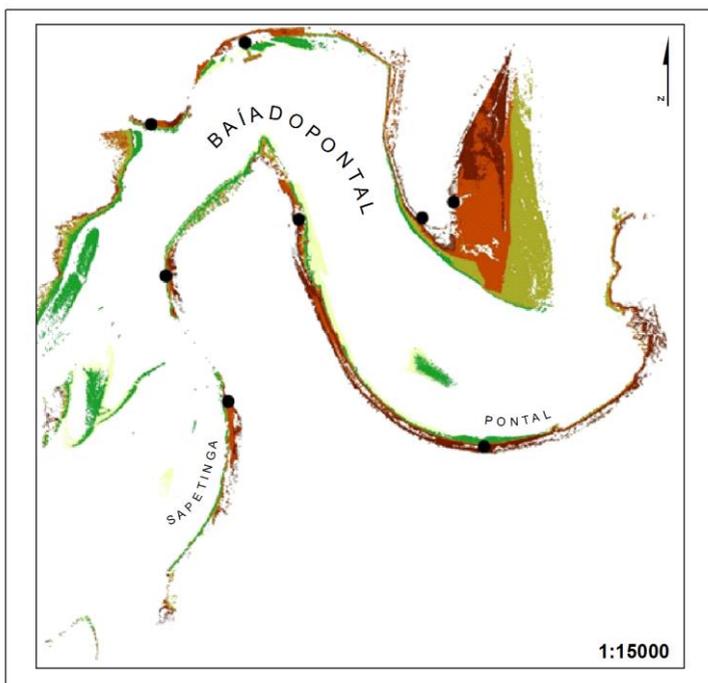


Figura 11: Fotografias das áreas escaneadas obtidas durante o levantamento topográfico à laser. Fotografia: Irlanda da Silva Matos 15/10/2015.



### 5.3.2 Levantamento batimétrico

O levantamento batimétrico foi precedido pelo nivelamento da régua de maré. As coordenadas geográficas e altitude ortométrica do ponto exato onde foi instalada a régua de maré foram medidas durante o levantamento topográfico com os receptores geodésicos de dupla frequência ( $RMS = 9\text{mm}$ ) e também pelo *laser scanner*. Esse procedimento garantiu que os dados topográficos e batimétricos pudessem ser transformados em cotas ortométricas, o que permitiu sua integração na mesma base de dados.

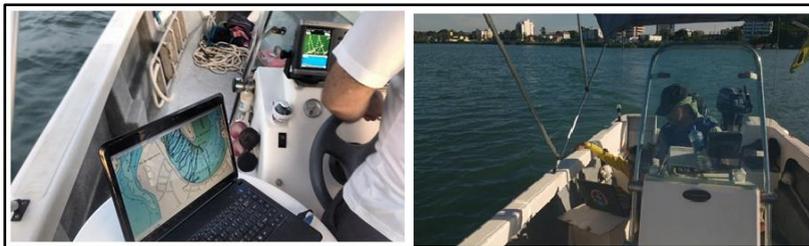
Para o levantamento batimétrico foi utilizado um método de cruzamento de informações em tempo real a partir do *software Hypack MAX*©, que permite uma conexão entre receptores de sinais obtidos por equipamentos como GPS/GLONAS e sondas batimétricas, de todos os modelos disponíveis no mercado. Essa gama de possibilidades é mediada pelo protocolo de transferência de dados Nmeia-183, que codifica informações sobre posição e profundidade, as quais são integradas em tempo real pelo *Hypack MAX*©.

Para o levantamento batimétrico foram empregados o ecobatímetro *Ocean Bathy 500* e um receptor de GPS diferencial DGPS Max cedido pelo Laboratório de Oceanografia Geológica da UESC. A precisão dos aparelhos gira em torno de 10 e 100cm, respectivamente. Os equipamentos foram instalados à bordo da lancha Travessia 21 e acoplados em tempo real pelo *software Hypack MAX*©, que simultaneamente captura a posição georreferenciada da antena do receptor de GPS e profundidade medida pela sonda ecobatimétrica (figuras 12 e 13).

Figura 12: (A) Ecobatímetro utilizado no levantamento batimétrico. (B): Planejamento de campo para realização da batimetria.



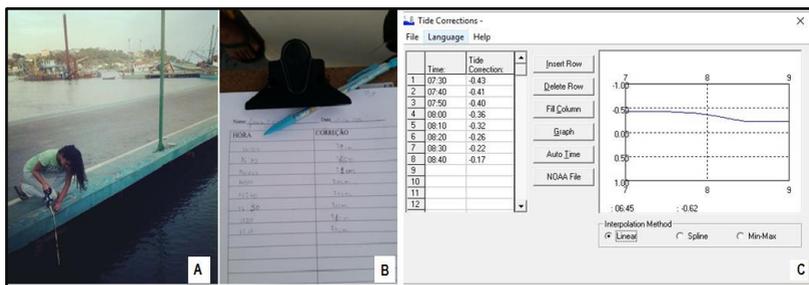
Figura 13: Trabalho de campo realizado para o levantamento batimétrico à bordo da lancha Travessia 21.



O levantamento batimétrico foi realizado no mês de junho de 2016. A malha amostral foi composta por aproximadamente 30.000 pontos, equidistantes em cerca de 10m e representativos de sessões transversais, abrangendo margem direita, canal e margem esquerda de toda a zona estuarina. Durante a tomada dos pontos batimétricos, a altura da maré era medida a cada 10 minutos pela régua de maré.

Após a coleta *in loco* o procedimento entrou na fase de processamento digital dos dados e correção de erros. Os arquivos primários de profundidade gerados em campo pelo *Hypack* passaram por correções da variação da maré e bolhas de ar (que falseiam a profundidade). A batimetria foi corrigida em relação à variação da maré utilizando-se duas equações de reta (regressão linear simples), uma representativa do período de preamar e a outra de baixamar, no próprio *software Hypack MAX*© (Figura 14). Após concluído esse processo, foi gerado um arquivo ASCII do tipo XYZ, que foi exportado para o *Arcgis 10.3* para finalização do trabalho em ambiente SIG. Feita a correção, os dados seguiram para a identificação do método de interpolação dos dados, considerando que, como a batimetria é um procedimento que gera arquivos de pontos, os espaços vazios entre os mesmos devem sofrer interpolação estatística para uma melhor representação da forma natural do canal principal.

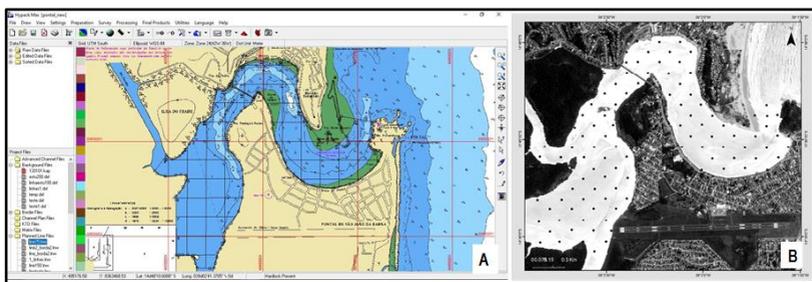
Figura 14: (A): Imagem ilustrativa da coleta de dados da maré. (B): Planilha da correção de maré. (C): Correção da maré realizada no *software Hypack MAX*®.



### 5.3.3 Amostragem superficial de sedimentos do fundo estuarino

A coleta superficial de sedimentos do fundo estuarino ocorreu no mês de julho de 2016, entre os dias 20 e 23. A malha amostral foi traçada inserindo-se transectos transversais e longitudinais distantes entre si cerca de 200m, sendo que na interseção desses transectos foram definidas as coordenadas geográficas dos pontos de coleta (Figura 15).

Figura 15: (A): Planejamento da malha amostral para coleta de sedimentos sobre a carta náutica de Ilhéus, (B): Planejamento amostral; elaborado pela autora.



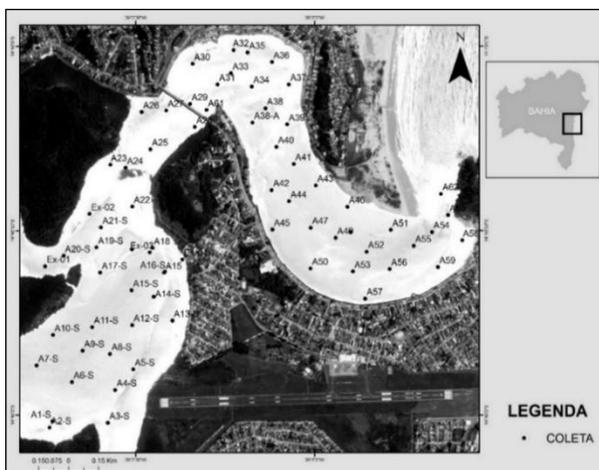
Desse modo foram coletadas 69 amostras superficiais de sedimentos do fundo da baía do Pontal (Figura 16). Com intuito de otimizar o tempo em campo foi utilizado um amostrador pontual de superfície do tipo busca-fundo (*Van Veen*).

Figura 16: (A): Coleta de sedimentos superficiais com uso do amostrador *Van Veen*; (B): Amostra representativa superficial de fundo; (C): Acondicionamento da amostra *in loco*.



À bordo, a localização geográfica e as características texturais de cada amostra foram anotadas para facilitar o reconhecimento em laboratório. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, datadas, etiquetadas e armazenadas no Laboratório de Oceanografia Geológica da UESC. A Figura 17 e o Quadro 1 mostram a distribuição da malha de pontos de coleta e as informações geográficas e profundidade das amostras superficiais do fundo estuarino na baía do Pontal.

Figura 17: Malha de pontos de coleta das 69 amostras superficiais de sedimentos de fundo estuarino na baía do Pontal.



Quadro 1: Relação geral das amostras superficiais de sedimentos coletadas no fundo estuarino da baía do Pontal.

AMOSTRA	W.	S.	PROFUNDIDADE (m)
Ex-01	497048,2	8363056,9	3,37
Ex-02	495062,4	8362695,0	0,67
Ex-03	495285,3	8362956,5	1,9
Ex-04	495586,9	8362764,2	7,12
A1-S	495099,8	8361920,3	0,47
A2-S	495085,2	8361888,4	0,36
A3-S	495377,7	8361912,8	0,67
A4-S	495414,1	8362076,8	1,37
A5-S	495504,3	8362179,8	1,25
A6-S	495198,0	8362116,8	1,38
A7-S	495019,8	8362198,7	2,24
A8-S	495388,1	8362257,1	1,23
A9-S	495251,0	8362273,3	2,07
A10-S	495101,5	8362351,6	1,67
A11-S	495299,6	8362391,0	2,11
A12-S	495499,5	8362401,0	1,88
A13-S	495701,2	8362423,2	4,04
A14-S	495607,1	8362542,7	1,86
A15-B	495496,5	8362574,6	4,93
A15-S	495496,5	8362574,6	1,97
A16-S	495664,2	8362666,9	2,15
A17-S	495338,7	8362663,8	0,5
A18-B	495600,7	8362786,2	1,53
A18-S	495498,0	8362780,0	1,85
A19-S	495320,8	8362789,0	1,05
A20-S	495155,1	8362747,5	3,75
A21-S	495342,9	8362889,2	0,37
A22-S	495500,1	8362993,5	8,36
A23-S	495389,9	8363202,0	4,44
A24-S	495466,2	8363187,5	5,86
A25-S	495591,0	8363280,3	3,69
A26-S	495546,9	8363466,1	9,06
A27-S	495670,3	8363473,7	9,86
A28-S	495813,3	8363390,8	2,21

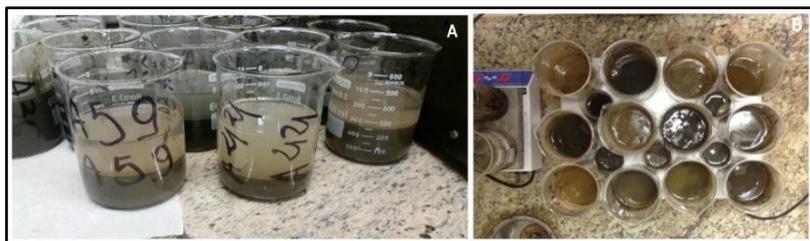
A29	495789,8	8363506,2	5,85
A30	495802,5	8363706,9	6,33
A31	495927,7	8363603,8	5,86
A32	496008,4	8363776,0	8,9
A33	495994,5	8363660,2	4,75
A34	496099,4	8363593,6	8,69
A35	496078,4	8363763,8	7,97
A36	496200,5	8363716,3	7,55
A37	496285,2	8363603,9	13,49
A38-B	496168,3	8363484,5	4,89
A38	496168,3	8363484,5	3,4
A39	496276,7	8363404,8	18,5
A40	496222,5	8363291,5	4,9
A41	496310,0	8363206,3	10,8
A42	496198,8	8363076,3	5,4
A43	496421,1	8363099,2	6,8
A44	496286,4	8363019,9	4
A45	496202,9	8362879,0	3,68
A46	496579,3	8362992,4	5
A47	496395,2	8362888,3	1,85
A48	496594,3	8362867,2	4,99
A49	496520,5	8362837,6	3
A50	496394,0	8362684,0	5
A51	496797,5	8362876,8	6,01
A52	496675,7	8362767,4	3,5
A53	496607,0	8362669,0	1,94
A54	497003,6	8362866,5	15,2
A55	496912,1	8362797,0	3
A56	496791,2	8362681,2	2,96
A57	496668,1	8362533,3	0,98
A58	497155,6	8362825,5	11,5
A59	497033,0	8362690,7	5,9
A60	497084,0	8362951,3	9,9
A61	495872,2	8363475,9	2,61
A62	497048,2	8363056,9	19

As amostras precedidas pela sigla Ex e sucedidas pela sigla S com exceção das amostras A15-B, A18-B, num total de 34 unidades, foram coletadas no domínio interno do pontal quando em cor azul e correspondem ao setor da Sapetinga. Todas as demais amostras, com exceção da amostra A38-B, num total de 35 unidades, foram coletadas no domínio externo do pontal e correspondem ao setor do Pontal quando em cor laranja.

## 5.4 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

Em laboratório as 69 amostras coletadas foram lavadas com água deionizada para retirada dos sais obedecendo ao seguinte esquema: 24 horas para sedimentos arenosos com duas lavagens e 48 horas para sedimentos finos com três lavagens. Para a secagem foi utilizada estufa à 60°C durante 24 a 48 horas (Figura 18). Após a secagem as amostras foram quarteadas, com objetivo de selecionar uma subamostra representativa de 40 a 60g. (DIAS, 2004).

Figura 18: Preparação das amostras no laboratório. (A): Amostras sendo lavadas. B: Amostras queimando matéria orgânica. Fotografia: Irlanda da Silva Matos.

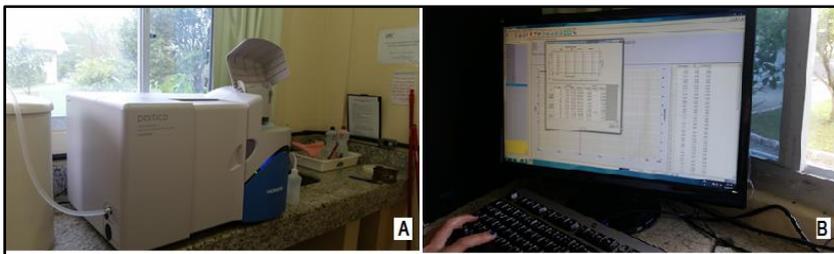


O sedimento foi homogeneizado em macerador de cerâmica e quarteado para retirada de subamostras de 30g. A partir desta massa inicial, eliminou-se a matéria orgânica e o carbonato biodetrítico, sendo posteriormente realizada a análise granulométrica seguindo as recomendações de Suguio (1973) e Coimbra *et al.* (1991).

Para análise da granulometria a técnica utilizada foi por difração a *laser*, utilizando o equipamento HORIBA, disponibilizado pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 19). A classificação granulométrica foi feita de acordo com a escala de Wentworth (1922) e os parâmetros estatísticos de Folk & Ward

(1957) foram obtidos através do programa “*GradistatV8*” (BLOTT & PYE, 2001).

Figura 19: (A): Equipamento utilizado para análise granulométrica realizada no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC); (B): Resultado amostral da análise granulométrica. Fotografia: Irlanda da Silva Matos.



## 5.5 ATIVIDADES FINAIS DE GABINETE

Neste parágrafo estão descritos os métodos realizados em gabinete para alcançar os objetivos específicos propostos na dissertação. Compreende a integração dos dados topográficos e batimétricos, a elaboração do Modelo Digital do Terreno e o mapeamento faciológico do fundo estuarino.

### 5.5.1 Integração dos dados topográficos e batimétricos

Para criação do Modelo Digital do Terreno (MDT) foi necessário efetuar a integração dos dados topográficos e batimétricos numa mesma base de dados. Para isso, a nuvem de pontos resultante do processamento dos dados obtidos pelo *laser scanner*, foi transformada num arquivo vetorial de pontos distribuídos ao longo de uma grade regular com 1m de separação entre pontos. Esta operação foi efetuada empregando-se as ferramentas *Las Dataset To Raster* e subsequentemente *Raster To Point* do *software ArcGis10.3*.

Em seguida, o arquivo de pontos foi generalizado para regularizar a densidade da malha de amostragem topográfica em relação à malha batimétrica (KAZUO & LANDIM, 2013). Com isso, somente 20% dos pontos presentes no arquivo original foram mantidos. Estes pontos foram,

então, combinados com o arquivo de pontos batimétricos por meio da ferramenta *Merge* do *ArcGis 10.3*.

### 5.5.2 Elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT)

Os dados batimétricos e topográficos, uma vez combinados, foram interpolados para construção do MDT com a extensão *Geoestadistical Analyst* do *ArcGis 10.3*, disponível no Laboratório de Geoprocessamento da UESC.

Segundo Kazuo & Landim (2013) há dois tipos de técnicas de predição de variáveis em pontos não amostrados a partir de pontos amostrados: determinística e probabilística. A abordagem determinística, como o Inverso da Potência das Distâncias (*Inverse Distance Weighting – IDW*) considera apenas a distância dos pontos conhecidos como função para determinação dos pontos desconhecidos. Os métodos geoestatísticos, como a Krigagem (*Krigin*), são probabilísticos e assumem um modelo estatístico (semivariograma) para simular a continuidade (dependência) espacial e inferir valores prováveis nos pontos não amostrados. Para que a inferência seja possível, porém, algumas premissas devem ser satisfeitas. A principal delas é a da estacionariedade (homogeneidade espacial), segundo a qual a média e o semivariograma são iguais em todos os setores da distribuição de dados (SOARES, 2006; KRIVORUCHKO, 2012; KAZUO & LANDIM, 2013).

No entanto, a base de dados empregada na elaboração do MDT da baía do Pontal viola esse princípio, pois reúne dados gerados por distintas fontes e engloba áreas sob influência de diferentes processos. Por isso, optou-se pelo método denominado *Empirical Bayesian Krigin (EBK)*, que se diferencia dos métodos tradicionais de krigagem por considerar a incerteza introduzida pela estimativa do semivariograma.

Os parâmetros do semivariograma em EBK são estimados por Máxima Verossimilhança Restrita (*Restricted Maximum Likelihood – REML*), empregando o seguinte algoritmo: (a) subconjuntos de pontos amostrados são definidos (20 a 100 pontos); (b) um semivariograma é estimado para cada subconjunto de pontos (caso necessário os dados são previamente transformados para se ajustar a uma distribuição gaussiana); (c) usando esse semivariograma são estimados novos valores para os pontos amostrados; (d) um novo semivariograma é estimado a partir dos valores simulados; (e) um peso é calculado para o semivariograma estimado empregando a “Regra de *Bayes*”, que mostra a probabilidade dos dados medidos serem gerados a partir deste semivariograma; (e) as etapas “c”,

“d” e “e” são repetidas até a obtenção de um espectro de semivariogramas, a partir do qual é escolhido o modelo mais provável para simular aquele conjunto de pontos (KRIVORUCHKO, 2012).

Como referido anteriormente, este método foi escolhido por ser aplicável a dados não-estacionários. Isso é possível uma vez que cada subconjunto de pontos processados pelo algoritmo gera uma distribuição de semivariogramas, a qual é usada na interpolação. Com isso cada subconjunto de dados utiliza modelos definidos em sua vizinhança, ao invés de serem influenciados por pontos distantes. Porém, quando combinados, os modelos criam entre eles um quadro completo (KRIVORUCHKO & GRIBOV, 2014).

Apesar de possuir uma formalização matemática complexa, a implementação do EBK pela ferramenta *Geoestatistical Analyst* é relativamente simples, pois o método exige pouca interatividade, ao contrário de outros métodos geoestatísticos. Alguns tipos de semivariogramas são disponibilizados e cabe ao pesquisador investigar qual tipo de semivariograma produz um resultado com menor erro. Os erros de interpolação são estimados pelo próprio algoritmo, que é capaz de prever o Erro Padrão das Previsões (*Prediction Standart Error – PSE*), e também por validação cruzada, incluindo como estimativas: Erro Quadrático Médio (*Root-Mean-Square – RMS*); Erro Quadrático Médio Estandarizado (*Root-Mean-Square Standardized – RMSS*); Erro Estandar Médio (*Average Standard Error – SE*); Normal QQPlot.

Segundo documentação do *software*, a validação cruzada no *ArcGis* 10.3 utiliza todos os dados menos um para realizar uma previsão no local do ponto omitido. Com isso, o erro do ponto é estimado. Por exemplo: se existirem dez pontos conhecidos, a validação cruzada omite um ponto e calcula o valor neste local utilizando os nove pontos restantes. Os valores previstos e reais na localização do ponto omitido são comparados. Este procedimento é repetido para todos os pontos.

Os parâmetros introduzidos no algoritmo EBK para na interpolação do MDT são apresentados na Tabela 1. A Figura 20 mostra um exemplo de distribuição de semivariogramas e respectivas transformações empíricas para um subconjunto de dados, usados na interpolação.

Figura 20: A: Distribuição de semivariogramas usadas para interpolação de uma localidade a partir de um subconjunto de 100 pontos amostrados. As semivariâncias empíricas são representadas pelas cruces azuis, as linhas pontilhadas representam os quantis de 25% e 75% e a linha sólida vermelha a mediana. B: transformações em escala normal empírica efetuada para possibilitar a aplicação do semivariograma *K-Bessel Detrended*.

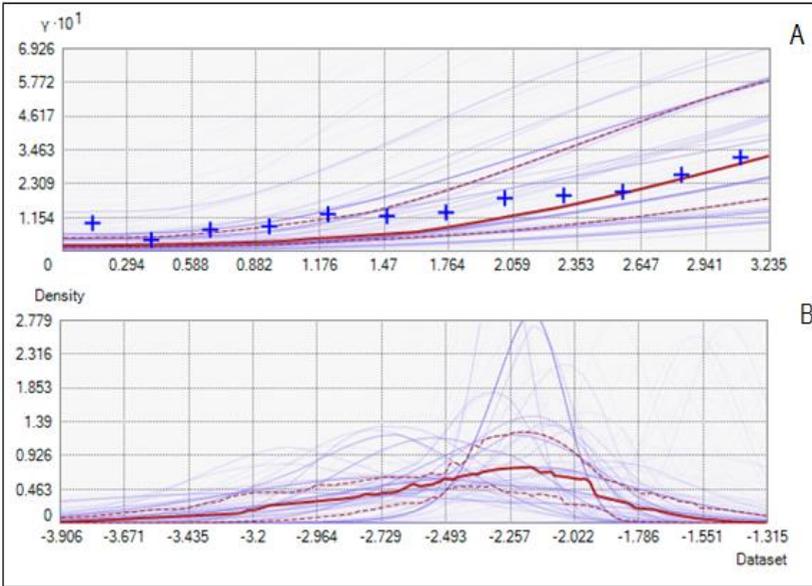


Tabela 1: Descrição dos parâmetros introduzidos no algoritmo de Krigagem Empírica Bayesiana (EBK) da extensão *Geostatistical Analyst* do *software ArcGis 10.3*, para elaboração do MDT representando o relevo da baía do Pontal, a partir dos dados batimétricos. As descrições são fornecidas pela ESRI no próprio *software*.

PARÂMETRO	INPUT	DESCRIÇÃO
Registros	78421	Número total de pontos na base de dados
Tamanho do Subconjunto	100	Número de pontos de cada subconjunto

Fator de sobreposição	de	2	Especifica o grau de sobreposição entre subconjuntos. Cada ponto de entrada pode cair em vários subconjuntos. O valor da sobreposição especifica o número médio de subconjuntos com que cada ponto será estimado. Um valor elevado do fator de sobreposição torna a superfície de saída mais suave, mas também aumenta o tempo de processamento
Número de simulações	de	100	Especifica o número de semivariogramas que serão simulados para cada subconjunto.
Tipo de superfície de saída	de	Predição	Indica que foi produzida uma superfície de predição
Transformação		Empírica	EBK fornece transformação do tipo Inclinação multiplicativa com base em duas funções: Empírica e Log-empírica
Tipo de semivariograma	de	<i>K-Bessel Detrended</i>	Especifica o tipo de semivariograma usado na simulação
Pesquisar vizinhança			Define as características da vizinhança para atribuição de pesos com base na distância do local de destino.
Tipo de vizinhança	de	<i>Standard Circular</i>	Tipo de vizinhança: circular padrão
Vizinhos máximos		8	O número máximo de pontos a serem incluídos em cada setor.
Vizinhos mínimos		8	O número mínimo de pontos a serem incluídos em cada setor.
Tipo de setor		8 Setores	Permite uma escolha de 1, 4, 4 com um deslocamento de 45°, ou 8 setores (nesse caso foram definidos 8 setores)
Ângulo		0	Ângulo de orientação do semieixo maior (em graus de Norte). Ângulos diferentes de zero giram os setores.
Raio		2,5	O comprimento do raio do círculo de busca
Valor previsto			Valor previsto do ponto definido pelas coordenadas X e Y
X		495156.25	Coordenada X do ponto previsto

Y	8362304.35	Coordenada Y do ponto previsto
Valor	2,24	Previsão da profundidade no ponto

---

### 5.5.3 Mapeamento faciológico do fundo estuarino

Os dados granulométricos, a exemplo dos dados batimétricos, foram interpolados por EBK para geração de modelos espaciais contínuos. O procedimento foi idêntico ao usado na interpolação do MDT. Os parâmetros usados encontram-se na Tabela 2. A opção de empregar técnica conhecida como Co-Krigagem para criação de modelos para as variáveis granulométricas com base no MDT precisou ser descartada. Durante a análise exploratória, verificou-se que os dados batimétricos e granulométricos eram pouco correlacionados, ao contrário do recomendado por Kazuo & Landim (2013). Além disso, os resultados da validação cruzada foram pouco animadores.

Os modelos contínuos obtidos para curtose, assimetria, seleção (desvio padrão) foram posteriormente reclassificados, conforme proposto por Folk & Ward (1957), empregando a ferramenta *Reclassify* da extensão *Spatial Analyst* do *ArcGis* 10.3 (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros empregados nas interpolações das variáveis granulométricas

	Cascalho	Areia	Silte	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
Registros	20	20	20	20	20	20	20
Tamanho do subconjunto	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fator de sobreposição	100	100	100	100	100	100	100
Número de simulações	Erro padrão de previsão						
Tipo de superfície de saída	Empírico	Empírico	Empírico	Nenhum	Empírico	Empírico	Empírico

Transformação	Exponencial	<i>Whittle</i>	<i>Whittle</i>	<i>Thin Plate Spline</i>	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Tipo de Semivariograma	Circular padrão	Circular padrão	Circular padrão	Circular padrão	Circular padrão	Circular padrão	Circular padrão
Pesquisar Vizinhaça	8	8	8	8	8	8	8
Tipo Vizinhaça	8	8	8	8	8	8	8
Vizinhos máximos	8 setores	8 setores	8 setores	8 setores	8 setores	8 setores	8 setores
Vizinhos mínimos	0	0	0	0	0	0	0
Tipo de setor	581,63	581,63	581,63	581,63	581,63	581,63	581,63
Ângulo	496346,05	496346,05	496346,05	496346,05	496346,05	496346,05	496346,05
Raio	8363174,93	8363174,93	8363174,93	8363174,93	8363174,93	8363174,93	8363174,93
Valor previsto (SE)	0,18	3,14	4,71	0,41	0,28	0,12	0,13

## 6 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da dissertação em base aos objetivos específicos e metodologia. Seguindo-se aos resultados, buscou-se uma integração destes através de análises e discussões baseadas nos resultados alcançados.

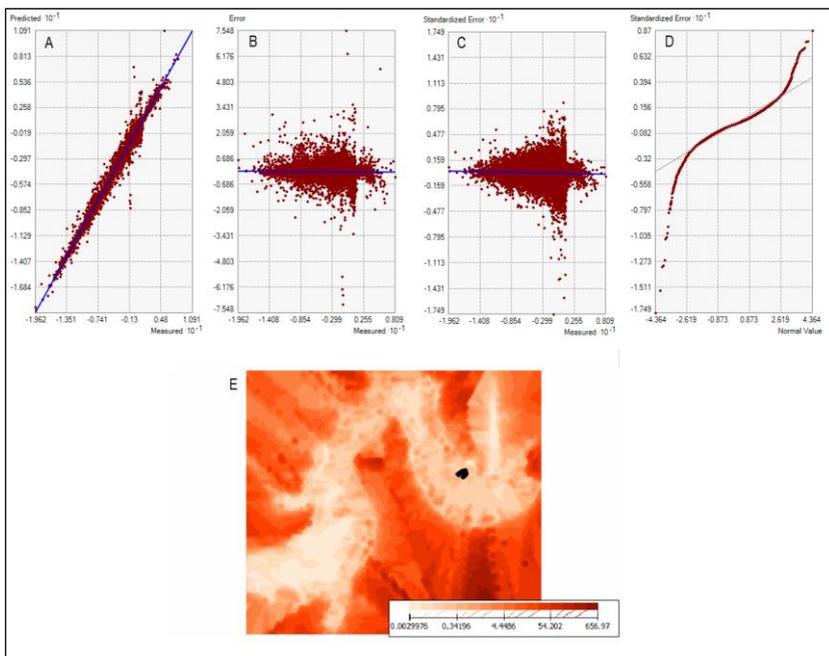
### 6.1 FEIÇÕES MORFOLÓGICAS DO RELEVO SUBMARINO

Os indicadores de erros obtidos na validação cruzada (Tabela 3/Figura 21) resultante da interpolação dos dados batimétricos e Erro Standard Previsto (PSE) indicam que o MDT pode ser considerado confiável. O mapa de PSE gerado pelo algoritmo EBK mostra que o erro nas áreas onde o levantamento batimétrico foi efetuado, não excede e varia entre 0,003 e 0,5.

Tabela 3: Indicadores de erros observados entre os dados medidos e previstos pelo MDT, obtidos por validação cruzada.

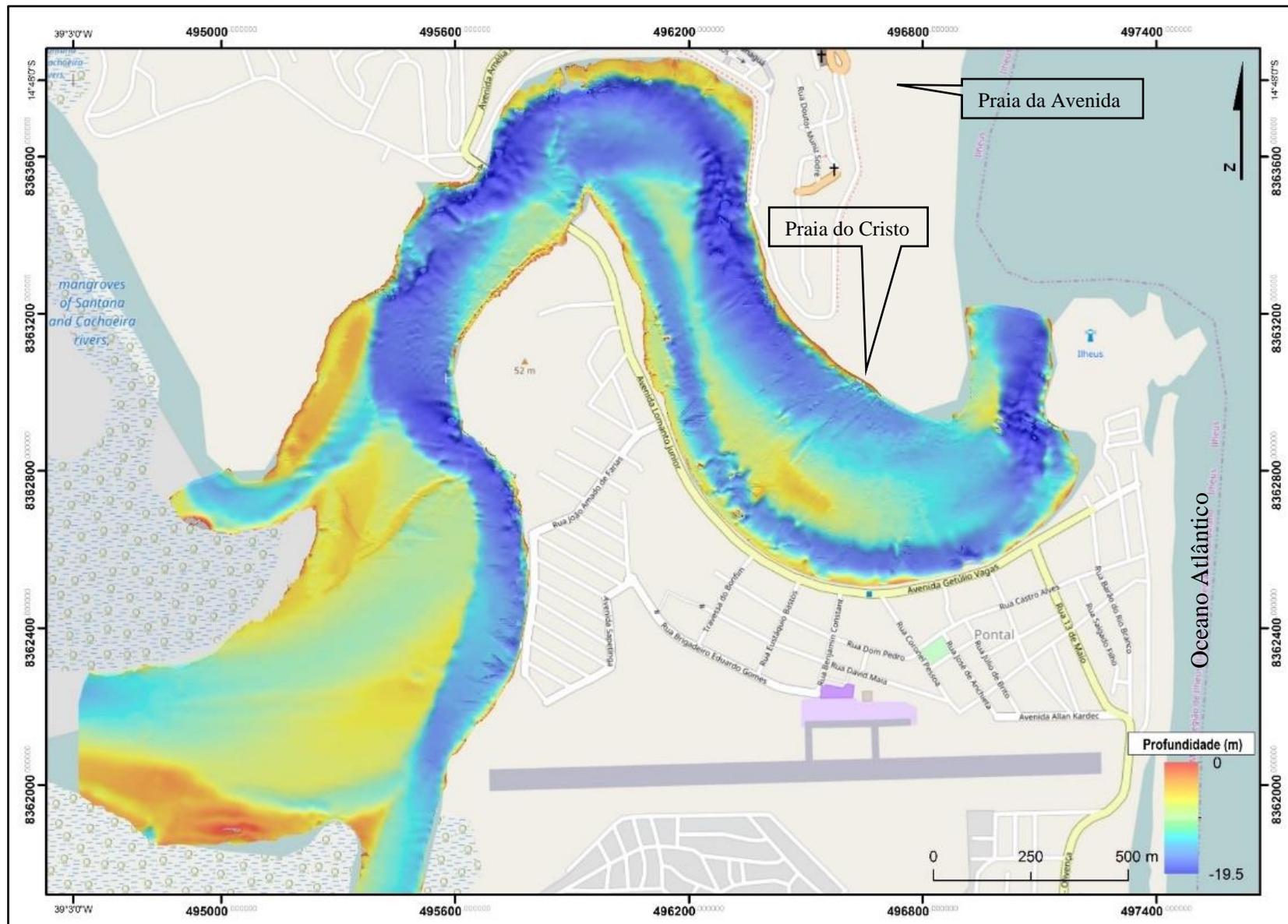
Indicador de Erro	
N	78972
Média	0,001
Erro Quadrático Médio	0,19
Média Padronizada	0,00
Erro Quadrático Médio Estandarizado	0,89
Erro padrão médio	0,24

Figura 21: Diagramas de dispersão obtidos na validação cruzada. (A): valores previstos x valores medidos; (B): erro *standard* x valores medidos; (C): erro estandardizado x valores medidos; (D): erro estandardizado x distribuição normal. (E): mapa de erro *standard* previsto gerado pelo EBK.



A análise do MDT (Figura 22) permitiu identificar feições como canais e bancos ao longo de toda baía do Pontal. Na parte externa da baía (setor do Pontal) há uma zona de deposição alongada, possivelmente originada pelo aporte sedimentar proveniente das praias do Cristo e da Avenida. Em ambos os lados desses bancos, junto às margens, há um canal de maré principal (norte) e um secundário (sul). Na parte interna da baía (setor da Sapetinga) percebe-se um canal principal associado ao rio Santana, ao sul, e um canal secundário, associado ao Itacanoeira/Fundão, a noroeste. A porção central é dominada por um delta de vazante de menor profundidade, associado ao rio Cachoeira.

Figura 22: MDT obtido por interpolação. Elaborado pela autora



As profundidades existentes no canal alcançam os 19,5m de profundidade no setor do Pontal. Na área interna da Sapetinga, por outro lado, a profundidade máxima alcançada é de 8m. Nas proximidades do rio Cachoeira a variação é de 4 a 0,6m de profundidade, o que reflete nas características granulométricas. As menores amplitudes batimétricas, indicam que existe uma menor hidrodinâmica, causando uma maior deposição sedimentar de finos.

No setor do Pontal, as amplitudes batimétricas variam entre 19,5 e 0,6m. Outra feição observada neste setor é uma extensa área com profundidades variando entre 2 e 0m, provavelmente indicando um banco (coroa) originado pelo constante assoreamento que acontece na baía do Pontal em decorrência dos sedimentos transportados das praias do Cristo e da Avenida.

O canal principal apresenta em média 4,3km de largura e compreende a área da desembocadura do rio Santana, passando pela margem direita do setor da Sapetinga, seguindo próximo a margem esquerda e continuando pela mesma margem no setor do Pontal próximo à avenida 2 de Julho. O canal principal continua avançando na margem esquerda junto a praia do Cristo chegando a sua desembocadura, onde em média as profundidades variam entre 4 e 19m. Pode ser observado no MDT, a existência de outro subcanal possivelmente de influência marinha em direção ao interior do setor do Pontal, este subcanal possui 2km de largura e profundidades que variam entre 4 a 8m. A região do canal principal de navegação permite o circulação de barcos de pequeno porte em todo estuário, entretanto na maré vazante, essa navegação é restrita devido a fácies assoreada do setor da Sapetinga.

Em resumo, pela análise do MDT observa-se que o setor do Pontal é mais profundo e erodido quando comparados ao setor da Sapetinga, que por sua vez é mais raso e assoreado.

## **6.2 FEIÇÕES TEXTURAIS ASSOCIADAS**

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises granulométricas tomando-se como base o valor do parâmetro médio.

### **6.2.1 Classes granulométricas em base à média**

A classificação granulométrica dos sedimentos superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal em base à média, apresentou 10 classes granulométricas denominadas de cascalho muito fino, areia muito grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte muito grosso, silte grosso, silte médio, silte fino e silte muito fino.

Considerando todas as 69 amostras dos sedimentos superficiais do fundo estuarino, foi encontrado a predominância das seguintes classes texturais: A classe areia foi dominante no fundo estuarino (86,63%) seguida da classe silte (12,88%) e da classe cascalho (0,49%). Em ordem decrescente a presença das classes corresponde: areia média (27,08%), areia grossa (22,6%), areia fina (21,17%), areia muito fina (9,3%), areia muito grossa (6,48%), silte muito grosso (5,1%), silte grosso (4,2%), silte médio (2,6%), cascalho muito fino (0,49%), silte fino (0,9%) e silte muito fino (0,08%). Em suma, a sedimentação do fundo estuarino da baía do Pontal é essencialmente areno siltosa.

O mapa de classificação textural dos sedimentos do fundo da baía do pontal (Figura 23) mostra a dominância do grupo de classes areia média/areia fina em grande parte da baía do Pontal (57,55%) seguidas dos grupos areia grossa/areia muito grossa (29,08%) no domínio interno do Pontal e de silte (13,37%), principalmente na face noroeste do estuário

Para uma melhor visualização de diferenciação textural, o estuário da baía do Pontal foi setorizado em dois segmentos distintos: (1) setor da Sapetinga (parte interna da baía) e (2) setor do Pontal (parte externa da baía). Os quadros 2 e 3 apresentam os dados texturais dos dois segmentos considerados.

Quadro 2: Dados texturais das amostras superficiais do fundo estuarino coletadas no segmento da Sapetinga.

AMOSTRA	CAS	A	S	TOTAL	AMG	AG	AM	AF	AMF	TOTAL	SMG	SG	SM	SF	SMF	TOTAL	M	Dp	SKi	Kg
A1-S	0,00	83,60	16,40	<b>100,00</b>	0,50	11,3	28,34	28,42	15,1	<b>83,61</b>	7,5	5,0	2,9	0,9	0,00	<b>16,39</b>	2,507	1,5	0,282	1,15
A2-S	2,00	74,35	23,73	<b>100,00</b>	8,42	12,0	22,32	20,11	11,5	<b>74,35</b>	8,7	8,6	5,1	1,2	0,00	<b>23,73</b>	2,541	2,11	0,201	1,01
A3-S	0,00	77,64	22,36	<b>100,00</b>	0,50	12,8	26,26	21,24	16,8	<b>77,64</b>	10,3	7,1	4,0	1,0	0,00	<b>22,36</b>	2,701	1,68	0,257	0,93
A4-S	0,00	72,03	27,97	<b>100,00</b>	0,48	13,0	27,11	16,27	15,2	<b>72,03</b>	12,5	9,0	4,9	1,5	0,00	<b>27,97</b>	2,857	1,82	0,277	0,82
A5-S	0,00	69,60	30,40	<b>100,00</b>	0,00	3,1	27,61	23,68	15,2	<b>69,60</b>	14,4	9,4	4,9	1,6	0,00	<b>30,40</b>	3,107	1,64	0,325	0,83
A6-S	0,00	64,67	35,33	<b>100,00</b>	0,00	5,2	20,20	20,19	19,1	<b>64,67</b>	17,6	10,8	5,5	1,5	0,00	<b>35,33</b>	3,303	1,69	-0,123	0,84
A7-S	0,41	94,11	5,47	<b>100,00</b>	20,62	56,4	13,09	2,74	1,3	<b>94,11</b>	1,0	1,5	2,1	0,9	0,00	<b>5,47</b>	0,54	1,1	0,44	2,32
A8-S	0,00	78,33	21,67	<b>100,00</b>	1,21	14,8	23,96	19,17	19,2	<b>78,33</b>	10,9	6,3	3,3	1,1	0,00	<b>21,67</b>	2,649	1,69	-0,173	0,92
A9-S	0,36	96,03	3,61	<b>100,00</b>	13,35	57,2	21,27	2,74	1,4	<b>96,03</b>	1,3	1,2	0,9	0,1	0,00	<b>3,61</b>	0,687	0,85	0,268	1,6
A10-S	0,01	94,53	5,46	<b>100,00</b>	12,89	62,9	16,49	1,23	1,1	<b>94,53</b>	2,0	2,0	1,3	0,1	0,00	<b>5,46</b>	0,627	0,98	0,358	2,45
A11-S	0,02	99,98	0,00	<b>100,00</b>	11,96	60,2	24,63	2,79	0,4	<b>99,98</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,67	0,61	0,065	1,08
A12-S	0,00	90,61	9,39	<b>100,00</b>	3,10	26,9	35,24	10,57	14,8	<b>90,61</b>	3,9	3,0	2,0	0,5	0,00	<b>9,39</b>	1,782	1,41	0,423	1,25
A13-S	0,01	89,28	10,70	<b>100,00</b>	7,84	26,3	30,94	17,26	6,9	<b>89,28</b>	4,4	3,7	2,1	0,5	0,00	<b>10,70</b>	1,684	1,54	0,311	1,31
A14-S	0,00	91,91	8,09	<b>100,00</b>	2,95	29,0	37,22	15,03	7,7	<b>91,91</b>	3,4	2,6	1,7	0,5	0,00	<b>8,09</b>	1,663	1,31	0,405	1,33
A15-B	0,00	73,45	26,55	<b>100,00</b>	1,12	17,0	23,40	16,90	15,1	<b>73,45</b>	11,7	8,7	4,3	1,7	0,15	<b>26,41</b>	2,769	1,87	0,244	0,82
A15-S	0,00	97,42	2,58	<b>100,00</b>	9,54	64,4	19,13	2,87	1,5	<b>97,42</b>	0,8	0,7	0,9	0,3	0,00	<b>2,58</b>	0,675	0,71	0,305	1,45
A16-S	0,00	87,15	12,85	<b>100,00</b>	0,00	2,5	22,09	43,88	18,7	<b>87,15</b>	4,9	4,0	2,9	1,1	0,00	<b>12,85</b>	2,667	1,17	0,286	1,55
A17-S	0,02	99,98	0,00	<b>100,00</b>	10,08	60,9	28,06	0,92	0,0	<b>99,98</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,698	0,55	-0,033	1,02
A18-B	0,35	99,65	0,00	<b>100,00</b>	16,59	73,7	9,31	0,08	0,0	<b>99,65</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,414	0,46	0,013	1,08
A18-S	4,60	91,26	4,14	<b>100,00</b>	6,96	13,1	38,85	25,57	6,8	<b>91,26</b>	2,1	1,2	0,8	0,0	0,00	<b>4,14</b>	1,622	1,26	-0,114	1,51
A19-S	0,00	84,92	15,08	<b>100,00</b>	0,00	4,8	29,44	35,90	14,7	<b>84,92</b>	5,7	4,8	3,1	1,3	0,11	<b>14,97</b>	2,595	1,34	0,357	1,37
A20-S	0,40	90,43	9,17	<b>100,00</b>	10,67	30,6	31,64	12,87	4,7	<b>90,43</b>	2,1	3,2	3,1	3,1	0,70	<b>11,57</b>	1,395	1,55	0,343	1,6
A21-S	0,00	94,87	5,13	<b>100,00</b>	4,61	25,9	43,15	17,18	4,0	<b>94,87</b>	1,7	1,9	1,3	0,3	0,00	<b>5,13</b>	1,475	1,07	0,193	1,39
A22-S	0,00	100,00	0,00	<b>100,00</b>	2,40	35,9	55,07	6,22	0,4	<b>100,00</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	1,149	0,56	-0,006	1,1
A23-S	0,00	72,83	27,17	<b>100,00</b>	0,00	1,4	16,10	32,78	22,6	<b>72,83</b>	12,9	8,0	4,7	1,5	0,00	<b>27,17</b>	3,256	1,45	0,304	1,04
A24-S	0,00	90,05	9,95	<b>100,00</b>	1,50	20,7	41,33	19,17	7,4	<b>90,05</b>	3,5	3,2	2,4	0,8	0,00	<b>9,95</b>	1,866	1,36	0,392	1,51
A25-S	0,00	100,00	0,00	<b>100,00</b>	6,96	78,4	14,53	0,12	0,0	<b>100,00</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,561	0,42	0,066	1,05
A26-S	0	86,02	13,98	<b>100,00</b>	0,00	4,2	24,49	35,64	21,7	<b>86,02</b>	6,8	4,0	2,6	0,7	0,00	<b>13,98</b>	2,676	1,24	0,212	1,25
A27-S	1,33	98,67	0,00	<b>100,00</b>	31,28	61,7	5,60	0,09	0,0	<b>98,67</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,21	0,49	0,018	1,11
A28-S	1,00	98,93	0,07	<b>100,00</b>	16,06	50,3	21,25	8,37	3,0	<b>98,93</b>	0,1	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,07</b>	0,751	0,91	0,236	1,27
Ex-01	0,00	89,50	10,50	<b>100,00</b>	4,28	23,1	35,20	18,64	8,3	<b>89,50</b>	4,1	3,6	2,2	0,5	0,00	<b>10,50</b>	1,834	1,47	0,334	1,34
Ex-02	0,55	99,45	0,00	<b>100,00</b>	26,21	63,6	9,19	0,45	0,0	<b>99,45</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	4,08	1,71	0,241	0,81
Ex-03	0,55	99,45	0,00	<b>100,00</b>	26,21	63,6	9,19	0,45	0,0	<b>99,45</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	<b>0,00</b>	0,305	0,52	0,07	1,08
Ex-04	0,00	62,21	37,79	<b>100,00</b>	0,04	6,7	17,52	20,14	17,8	<b>62,21</b>	15,2	12,3	7,8	2,4	0,00	<b>37,79</b>	3,434	1,86	0,154	0,84

Legenda: CAS: Porcentagem geral de cascalho; A: Porcentagem geral da classe areia; S: Porcentagem geral da classe silte; AMG: Porcentagem de areia muito grossa; AG: Porcentagem de areia grossa; AM: Porcentagem de areia média; AF: Porcentagem de areia fina; AMF: Porcentagem de areia muito fina; SMG: Porcentagem de silte muito grosso; SG: Porcentagem de silte grosso; SM: Porcentagem de silte médio; SM: Porcentagem de silte fino; SMF: Porcentagem de silte muito fino; M: Média; Dp; Desvio padrão; SKi: Assimetria e Kg: Curtose.

Quadro 3: Dados texturais das amostras superficiais do fundo estuarino coletadas no segmento do Pontal.

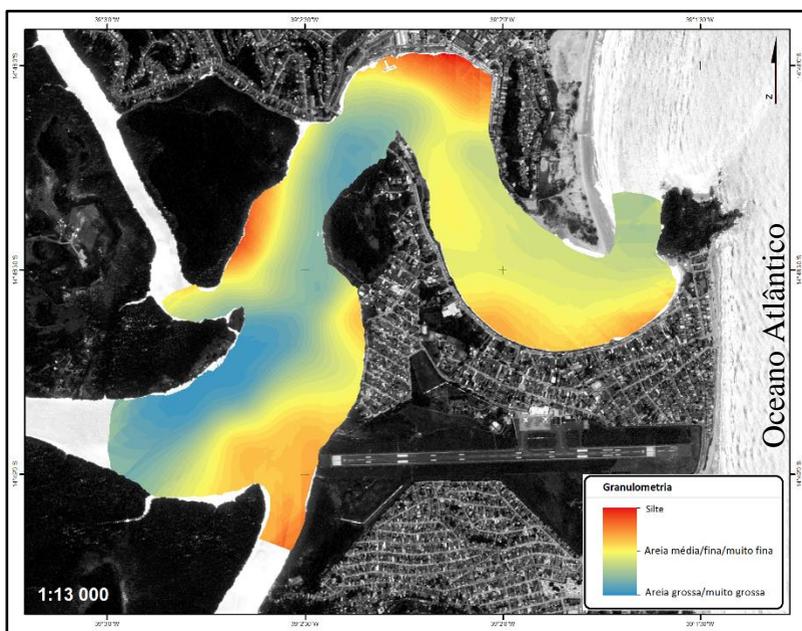
AMOSTRA	CAS	A	S	TOTAL	AMG	AG	AM	AF	AMF	TOTAL	SMG	SG	SM	SF	SMF	TOTAL	M	Dp	SKi	Kg
A29	0,00	100,00	0,00	<b>100,00</b>	4,48	40,15	48,18	6,74	0,45	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	1,08	0,63	0,00	1,06
A30	0,01	83,25	16,73	<b>100,00</b>	8,01	27,53	26,12	13,20	8,39	<b>83,25</b>	5,01	5,98	4,69	1,06	0,00	<b>16,73</b>	1,99	1,90	0,45	1,11
A31	0,00	97,31	2,69	<b>100,00</b>	2,18	33,28	49,11	10,47	2,27	<b>97,31</b>	1,17	0,96	0,56	0,00	0,00	<b>2,69</b>	1,28	0,76	0,18	1,27
A32	0,00	47,76	52,24	<b>100,00</b>	0,00	0,09	7,81	18,26	21,59	<b>47,76</b>	20,06	17,31	8,85	4,50	1,53	<b>52,24</b>	4,17	1,68	0,10	0,91
A33	0,97	98,60	0,43	<b>100,00</b>	13,53	36,60	39,82	7,76	0,89	<b>98,60</b>	0,00	0,08	0,35	0,00	0,00	<b>0,43</b>	0,92	0,85	-0,09	1,01
A34	3,94	96,06	0,00	<b>100,00</b>	7,11	21,65	45,79	19,85	1,66	<b>96,06</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	1,30	0,98	-0,23	1,22
A35	0,00	57,84	42,16	<b>100,00</b>	3,70	7,34	13,00	17,79	16,01	<b>57,84</b>	16,01	10,50	6,72	7,00	1,93	<b>42,16</b>	3,65	1,92	-0,05	1,02
A36	0,00	46,29	53,71	<b>100,00</b>	0,00	0,00	4,46	18,45	23,37	<b>46,29</b>	18,24	19,93	11,94	3,43	0,17	<b>53,71</b>	4,28	1,55	0,10	0,80
A37	0,00	58,89	41,11	<b>100,00</b>	0,00	0,77	15,36	26,85	15,91	<b>58,89</b>	13,57	14,88	9,90	2,76	0,00	<b>41,11</b>	3,70	1,73	0,29	0,75
A38	0,00	87,52	12,48	<b>100,00</b>	0,00	0,62	16,32	55,14	15,45	<b>87,52</b>	3,48	3,69	3,57	1,63	0,11	<b>12,48</b>	2,69	1,08	0,39	1,97
A38-B	0,00	63,91	36,09	<b>100,00</b>	0,05	8,81	24,46	17,92	12,66	<b>63,91</b>	12,51	13,03	7,66	2,76	0,13	<b>36,09</b>	3,25	1,95	0,25	0,75
A39	2,21	97,79	0,00	<b>100,00</b>	45,55	49,48	2,68	0,08	0,00	<b>97,79</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,03	0,49	0,00	1,08
A40	0,00	82,93	17,07	<b>100,00</b>	0,00	0,13	13,81	54,00	14,99	<b>82,93</b>	4,81	5,90	4,70	1,66	0,00	<b>17,07</b>	2,96	1,24	0,51	1,86
A41	0,00	99,19	0,81	<b>100,00</b>	0,00	7,39	39,28	44,98	7,54	<b>99,19</b>	0,39	0,19	0,23	0,00	0,00	<b>0,81</b>	2,04	0,71	-0,04	1,01
A42	0,00	80,48	19,52	<b>100,00</b>	0,00	4,50	35,70	31,35	8,93	<b>80,48</b>	5,96	6,62	4,78	2,01	0,15	<b>19,52</b>	2,75	1,57	0,55	1,34
A43	0,00	99,65	0,35	<b>100,00</b>	0,00	8,10	45,52	40,90	5,13	<b>99,65</b>	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,35</b>	1,93	0,67	-0,01	1,03
A44	0,00	86,68	13,32	<b>100,00</b>	0,00	0,10	10,54	58,72	17,32	<b>86,68</b>	3,85	4,61	3,84	1,03	0,00	<b>13,32</b>	2,81	1,01	0,42	2,03
A45	0,00	93,25	6,75	<b>100,00</b>	2,33	19,46	42,12	24,93	4,40	<b>93,25</b>	2,00	2,53	1,75	0,47	0,00	<b>6,75</b>	1,71	1,16	0,22	1,56
A46	0,00	99,36	0,64	<b>100,00</b>	0,62	16,61	47,13	26,59	8,41	<b>99,36</b>	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	<b>0,64</b>	1,77	0,84	0,17	0,96
A47	0,00	99,94	0,06	<b>100,00</b>	0,00	3,31	48,52	45,31	2,81	<b>99,94</b>	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,06</b>	1,97	0,51	-0,02	1,08
A48	0,00	99,94	0,06	<b>100,00</b>	0,00	4,37	39,15	51,29	5,13	<b>99,94</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	<b>0,06</b>	2,08	0,59	-0,05	1,06
A49	0,00	100,00	0,00	<b>100,00</b>	0,06	9,39	51,57	36,69	2,29	<b>100,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	1,82	0,60	-0,07	1,03
A50	0,00	59,88	40,12	<b>100,00</b>	0,13	10,06	28,05	21,64	15,02	<b>74,90</b>	13,53	8,96	2,60	0,00	0,00	<b>25,10</b>	3,78	1,61	0,30	0,83
A51	0,00	99,95	0,05	<b>100,00</b>	0,00	4,44	40,46	50,96	4,10	<b>99,95</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	<b>0,05</b>	2,05	0,58	-0,07	1,04
A52	0,00	99,96	0,05	<b>100,00</b>	0,00	6,81	55,81	35,56	1,77	<b>99,96</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,05</b>	1,82	0,54	-0,05	1,06
A53	0,00	84,72	15,28	<b>100,00</b>	0,00	1,34	23,51	48,71	11,15	<b>84,72</b>	4,40	4,96	4,03	1,77	0,13	<b>15,28</b>	2,70	1,25	0,48	1,84
A54	0,01	99,99	0,00	<b>100,00</b>	6,94	45,92	41,82	5,11	0,19	<b>99,99</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,95	0,64	-0,01	1,06
A55	0,00	99,42	0,58	<b>100,00</b>	0,00	4,70	42,53	46,36	5,83	<b>99,42</b>	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,58</b>	2,04	0,62	0,01	1,10
A56	0,00	89,78	10,22	<b>100,00</b>	0,48	10,80	30,66	32,35	15,49	<b>89,78</b>	5,06	3,27	1,63	0,27	0,00	<b>10,22</b>	2,30	1,25	0,18	1,18
A57	0,00	89,78	10,22	<b>100,00</b>	0,48	10,80	30,66	32,35	15,49	<b>89,78</b>	5,06	3,27	1,63	0,27	0,00	<b>10,22</b>	2,30	1,25	0,18	1,18
A58	0,00	63,21	36,79	<b>100,00</b>	0,00	0,66	12,19	28,18	22,18	<b>63,21</b>	14,70	12,07	7,79	2,24	0,00	<b>36,79</b>	3,64	1,60	0,30	0,89
A59	0,00	57,84	42,16	<b>100,00</b>	0,00	0,00	4,41	23,21	30,22	<b>57,84</b>	16,95	13,40	8,23	3,21	0,37	<b>42,16</b>	3,99	1,48	0,29	0,92
A60	13,98	86,02	0,00	<b>100,00</b>	55,60	15,32	8,81	5,75	0,55	<b>86,02</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	-0,17	0,98	0,48	1,32
A61	2,83	97,17	0,00	<b>100,00</b>	37,61	46,32	9,53	3,06	0,66	<b>97,17</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,20	0,72	0,18	1,27
A62	0,00	99,93	0,07	<b>100,00</b>	0,06	9,82	56,36	31,69	2,00	<b>99,93</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	<b>0,07</b>	1,76	0,58	-0,04	1,03

Legenda: CAS: Porcentagem geral de cascalho; A: Porcentagem geral da classe areia; S: Porcentagem geral da classe silte; AMG: Porcentagem de areia muito grossa; AG: Porcentagem de areia grossa; AM: Porcentagem de areia média; AF: Porcentagem de areia fina; AMF: Porcentagem de areia muito fina; SMG: Porcentagem de silte muito grosso; SG: Porcentagem de silte grosso; SM: Porcentagem de silte médio; SM: Porcentagem de silte fino; SMF: Porcentagem de silte muito fino; M: Média; Dp; Desvio padrão; SKi: Assimetria e Kg: Curtose.

No segmento da Sapetinga foram coletadas 34 amostras de sedimentos superficiais, que também apresentaram as mesmas classes granulométricas com as médias em ordem decrescente: areia grossa (31%), areia média (24,30%), areia fina (15,51%), silte (14,09%), areia muito fina (8,01%), areia muito grossa (6,80%) e cascalho (0,29%).

No segmento do Pontal foram coletadas 35 amostras de sedimentos superficiais e verificada a presença de sete classes granulométricas com as seguintes médias em ordem decrescente: areia média (29,79%), areia fina (29,40%), silte (12,94%), areia muito fina (12,34%), areia grossa (9,67%), areia muito grossa (5,23%) e cascalho (0,63%).

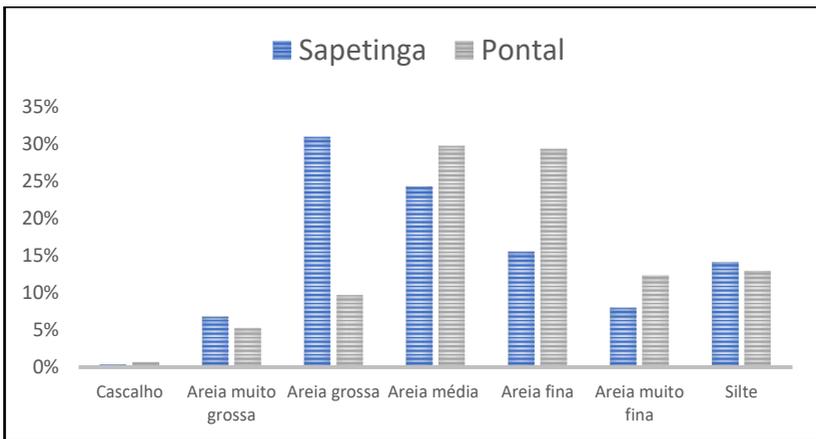
Figura 23: Mapa de distribuição granulométrica com base à média do fundo estuarino da baía do Pontal.



No setor da Sapetinga, existe uma heterogeneidade granulométrica (Figura 24), o que pode ser explicada provavelmente pela multiplicidade de áreas fonte, e pela influência fluvial, considerando que os rios que deságuam nesse setor drenam bacias hidrográficas com diferentes características e distintos graus de alteração. Além disso, nessa área encontram-se trechos onde a mata ciliar está totalmente degradada pela

intensa urbanização. As deficiências na vegetação das margens do rio tendem a aumentar a diferença no tamanho das partículas entre amostras de um mesmo perfil. Nestes casos a degradação da mata ciliar é o fator preponderante na contaminação do rio por sedimentos que, no geral não são transportados pelas correntes e sim provenientes da lixiviação das margens.

Figura 24: Classes granulométricas de maior distribuição nos dois segmentos da baía do Pontal.



Observa-se ainda que nesse setor, a presença de areias grossas e muito grossas indica que pode haver eventualmente alta energia na deposição, corroborando com os outros parâmetros estatísticos, demonstrando que há uma tendência a granulometria mais grossa e menos distribuída. Além disso, o setor é dominado pelo delta de vazante do rio Cachoeira, o qual atravessa áreas íngremes e sujeitas à erosão, além de possuir um regime de descarga extremamente variável, em função da pluviosidade local. Essas características o tornam potencialmente capaz de trazer sedimentos pouco selecionados, incluindo os mais encontrados no estuário.

Já no setor do Pontal, existe uma maior homogeneidade granulométrica, motivada pela influência marinha e pouca diversidade da área fonte adjacente a plataforma continental interna. Próximo à desembocadura da baía do Pontal os sedimentos são tipicamente bem selecionados e com presença de areia fina, areia muito fina e areia média.

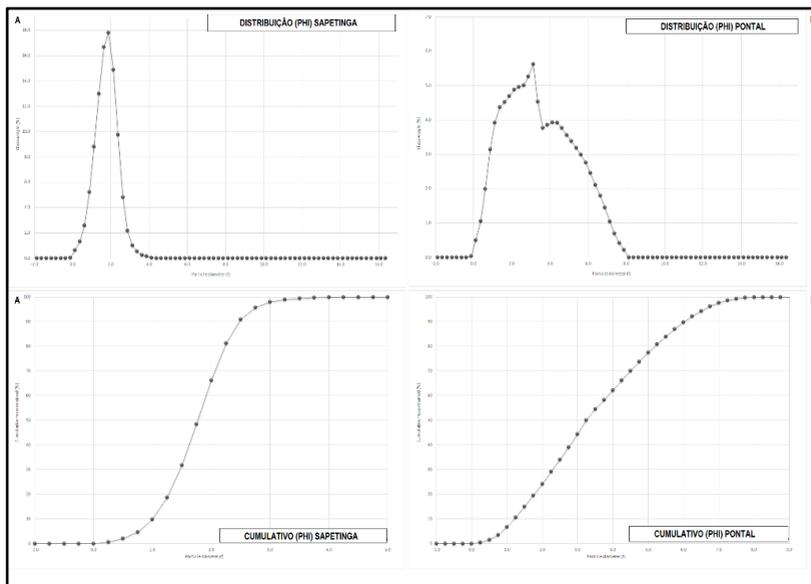
A fácies arenosa representa a principal fácies encontrada no estuário da baía do Pontal, entre a Ponte Lomanto Jr. e sua desembocadura. As áreas

mais profundas do canal estuarino estão capeadas com sedimentos mal selecionados, com mistura de areia grossa, areia média e areia fina. No estuário da baía do Pontal, os sedimentos siltosos são encontrados somente próximo às margens, onde as intensidades das correntes são menores.

Um fato importante observado é que as classes cascalho muito fino e de silte muito grosso até silte muito fino não variam muito nos dois setores. A Figura 23 apresenta as maiores variações entre as classes areia grossa para o segmento da Sapetinga em comparação com a porcentagem representativa de areia fina para segmento do Pontal.

Os gráficos produzidos no programa “*GradstatisV8*”, considerando o total de 69 amostras obtidas em ambos os setores, exemplificam de maneira clara a diferença de distribuição granulométrica entre os dois ambientes (Figura 25). É possível observar que no segmento da Sapetinga, as menores frequências de diâmetros das partículas variam entre  $-1.0$  até  $9 \Phi$  (cascalho fino até argila). Por outro lado, as maiores frequências ocorrem entre as classes de tamanho  $-1.0$  até  $5.0 \Phi$ , indicando ambientes que possuem desde cascalho até silte, sendo mal distribuídas. No segmento do Pontal, os diâmetros das partículas também variam entre  $-1.0$  até  $9 \Phi$ , entretanto a distribuição entre as classes é maior. Foram registrados grãos de todos os diâmetros nas maiorias das amostras. Isso é evidente na Figura 25 quando comparados a distribuição do setor da Sapetinga e do Pontal. A curva de frequência cumulativa corrobora com as informações descritas acima, mostrando que as distribuições entre as classes granulométricas no setor do Pontal são mais homogêneas que as encontradas nas amostras do setor da Sapetinga.

Figura 25: Gráficos apresentando o grau de distribuição granulométrica entre os segmentos da Sapetinga e do Pontal.

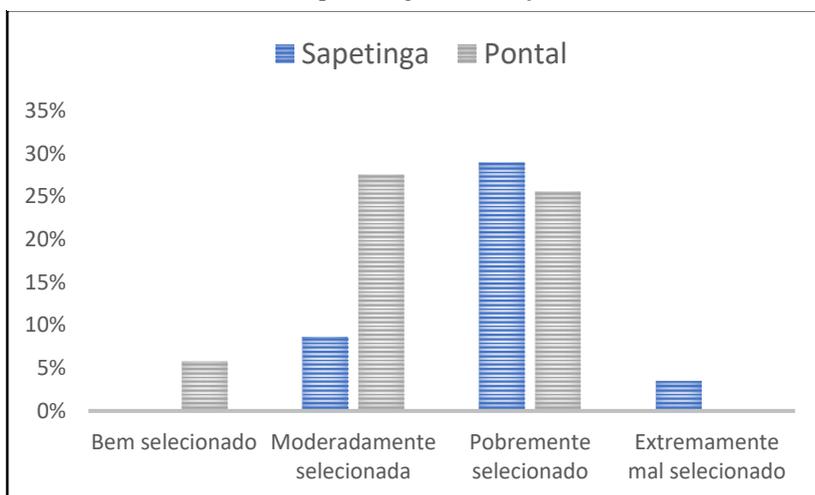


A seguir são apresentados distintamente resultados concernentes às medidas de dispersão (desvio padrão, assimetria e curtose).

### 6.2.2 Desvio padrão

Do ponto de vista do desvio padrão, as amostras do fundo estuarino foram classificadas em ordem decrescente como: pobremente selecionado (54,52%), moderadamente selecionado (36,19%), bem selecionado (5,79%) e extremamente mal selecionado (3,50%). Os sedimentos classificados como bem selecionados aparecem somente nas amostras pertencentes ao segmento do Pontal, sempre relacionados com areia fina (figuras 26 e 27).

Figura 26: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base ao desvio padrão (grau de seleção).

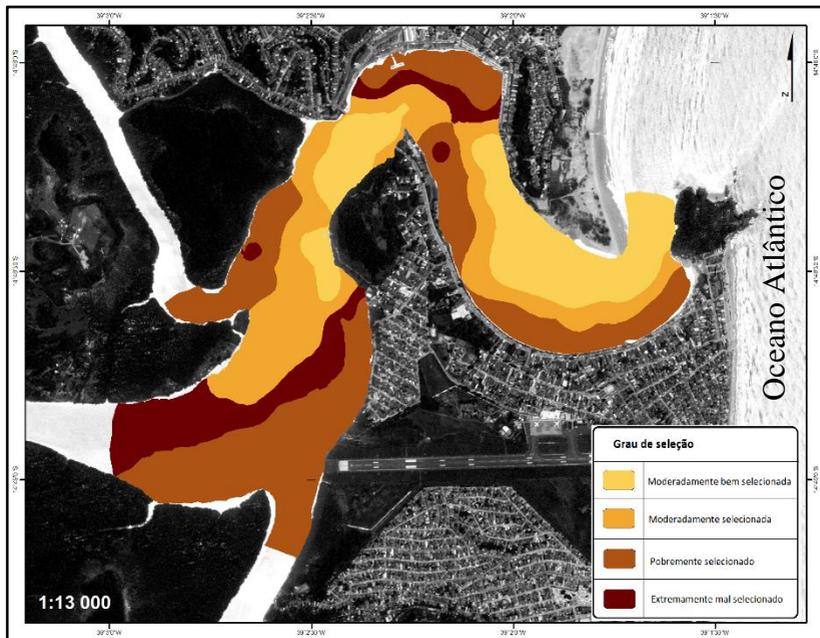


No setor da Sapetinga as áreas que estão associadas a sedimentos extremamente mal selecionados estão relacionadas ao delta de vazante do rio Cachoeira, enquanto as áreas pobremente selecionadas estão correlatadas aos canais dos rios no interior do estuário. A amostras classificadas como moderadamente selecionadas aparecem na área sujeita à ação de ondas, onde pode haver seleção ao longo do percurso.

No segmento do Pontal, a classe extremamente mal selecionada é influenciada pelo aporte de material fino de origem antropogênica. Os locais que possuem amostras pobremente selecionadas e moderadamente

selecionadas estão associados aos canais. A distribuição do grau de seleção pode ser visualizada no mapa, deixando evidenciado suas classes.

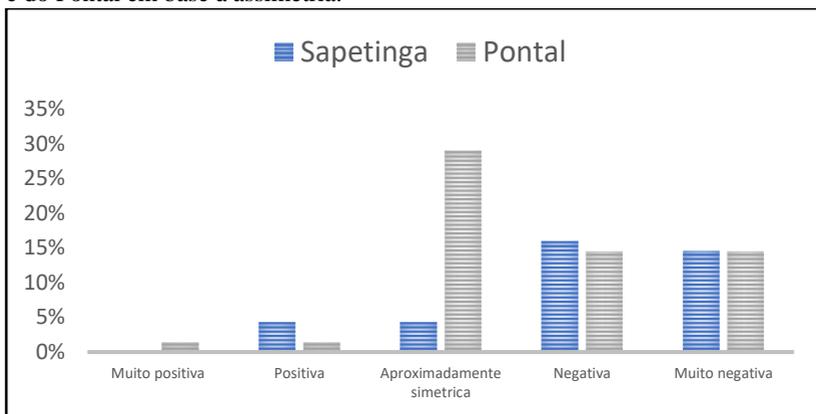
Figura 27: Mapa representando as diferentes classes do grau de seleção das amostras de sedimentos superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal.



### 6.2.3 Assimetria

Considerando todas as amostras dos sedimentos superficiais da baía do Pontal, houve a predominância da assimetria aproximadamente simétrica (33,5%) seguida da assimetria negativa (30,6%), muito negativa (28,8%), positiva (5,7%) e muito positiva (1,4%) (Figura 28).

Figura 28: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base à assimetria.



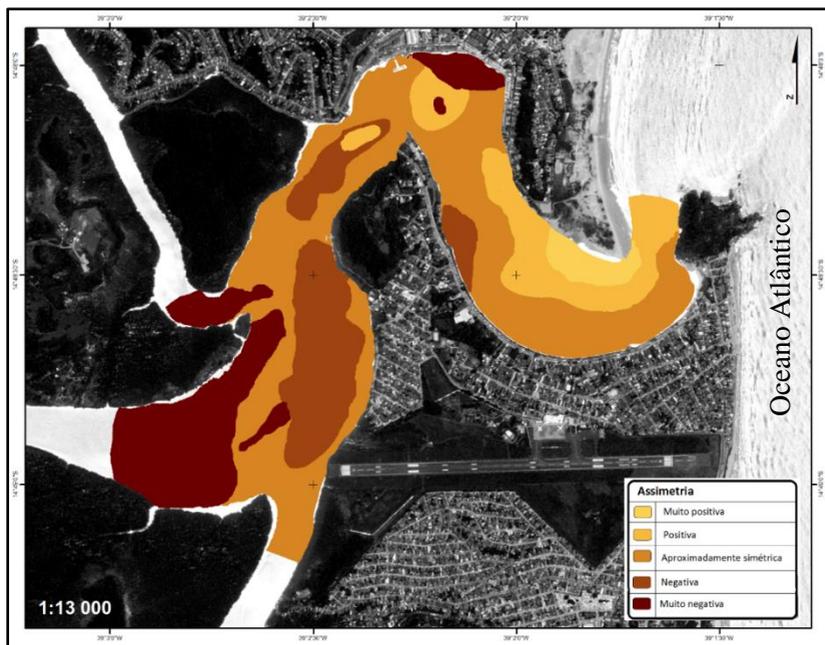
Na desembocadura da baía do Pontal, nas adjacências da praia do Cristo encontra-se o único local de todo o estuário em que foi mapeada a assimetria muito positiva, corroborando com os dados de grau de seleção, evidenciando no local a presença de sedimentos superficiais muito bem selecionados. No entorno da desembocadura, a classe positiva indica um maior grau de selecionamento quando comparado a toda baía do Pontal.

Na desembocadura do rio Cachoeira e Itacanoeira/Fundão encontra-se a classe de assimetria muito negativa, associada a sedimentos mal selecionados. Ainda bordejando a avenida 2 de Julho, na margem esquerda, também é identificada a classe muito negativa, cuja granulometria varia entre silte, areia média a areia grossa.

A assimetria muito negativa e negativa é típica do segmento da Sapetinga, devido ao alto grau de assoreamento existente no local. Nesse setor é evidente a má distribuição granulométrica quando comparada ao segmento do Pontal, sugerindo a relação deste parâmetro estatístico com o ambiente deposicional possivelmente associado a floculação de finos, que num segundo momento podem ser exportados.

No segmento do Pontal existe uma maior distribuição entre as classes de assimetria indicando um ambiente com tendências erosivas quando equiparados ao setor da Sapetinga. No setor do Pontal existe uma tendência de predomínio da classe de assimetria positiva, indicando assim uma maior homogeneidade entre as classes, melhor distribuição granulométrica e um ambiente deposicional mais turbulento (Figura 29).

Figura 29: Mapa representando as diferentes classes de assimetria das amostras superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal.

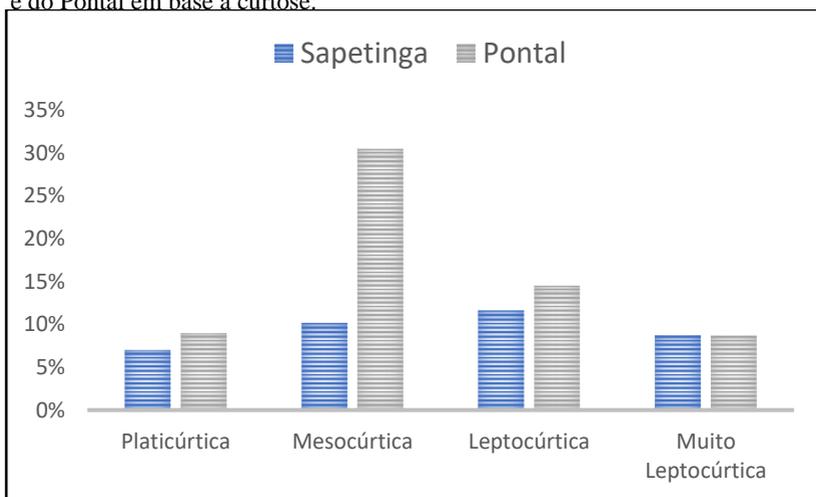


## 6.2.4 Curtose

A distribuição das classes de curtose no fundo estuarino da baía do Pontal ocorre em ordem decrescente com as seguintes classes: mesocúrtica (40,5%) leptocúrtica (26,3%) muito leptocúrtica (17,3%) e platicúrtica (15,9%). Nos dois setores considerados a curtose variou entre 0,75 e 2,45, ou seja, platicúrtica a muito leptocúrtica.

Na Figura 30 é possível perceber uma distribuição homogênea das classes de curtose para o setor da Sapetinga, variando em média de 10 à 15% de cada classe de curtose. Nas amostras localizadas no segmento do Pontal houve uma maior distribuição entre as classes, sendo a classe mesocúrtica mais representativa.

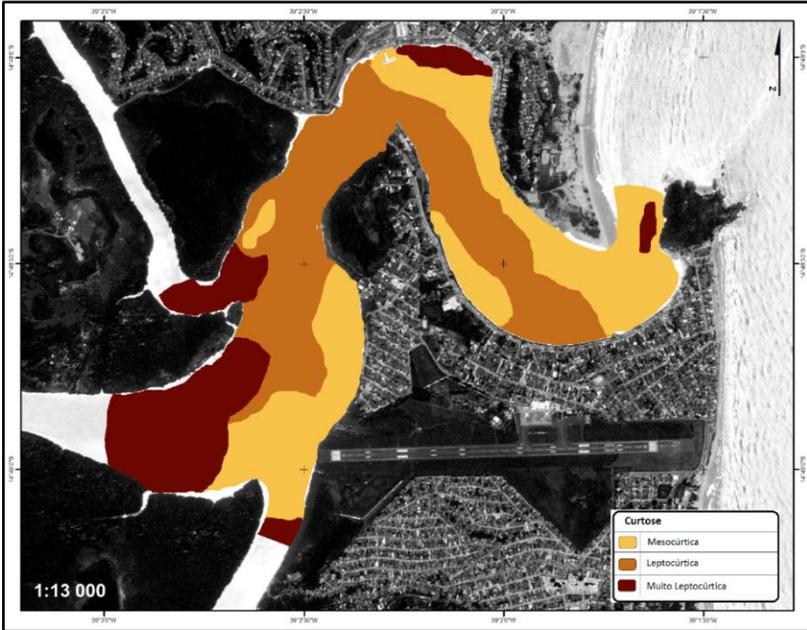
Figura 30: Classificação dos sedimentos superficiais dos segmentos da Sapetinga e do Pontal em base à curtose.



O mapa da Figura 31 representa as três classes predominantes de curtose, entretanto pode ter ocorrido uma subestimação no modelo de curtose, por isso a classe platicúrtica não aparece representada no modelo.

No setor da Sapetinga, a maior distribuição entre as classes de curtose ocorreu devido a presença dos grãos de todos os tamanhos, desde cascalho até silte. Já no setor do Pontal, a classe que mais se destaca é mesocúrtica seguida da leptocúrtica e muito leptocúrtica.

Figura 31: Mapa representando as diferentes classes de curtose das amostras de sedimentos superficiais do fundo estuarino da baía do Pontal



No setor da Sapetinga, na desembocadura dos rios Cachoeira, Itacanoeira/Fundão e Santana, a curtose é muito leptocúrtica, devido ao mal selecionamento granulométrico das amostras superficiais do fundo estuarino.

No segmento do Pontal, ocorrem locais com a presença da classe muito leptocúrtica, próximo à avenida 2 de julho na margem esquerda do setor e na foz da baía do Pontal adjacente ao morro do Pernambuco, esses ambientes, no geral, possuem baixo grau de selecionamento. A categoria mesocúrtica é representada ao longo da praia do Cristo e na margem direita do setor. No segmento do Pontal é visível uma maior distribuição entre as classes mesocúrtica e leptocúrtica indicando ambientes com maior grau de seleção.

## 7 DISCUSSÃO

Uma mudança na composição do sedimento superficial (porcentagem de lama, areia e cascalho) fornece um indicador dos padrões de sedimentação dentro de um estuário, além de informações sobre insumos relativos de fontes marinhas e terrestres. Por exemplo, um aumento no teor de lama em uma amostra de sedimento em comparação com uma amostra anterior indica que houve aumento da deposição de sedimento fino (silte/argila). A falta de sedimentos finos na amostra pode indicar que as velocidades atuais são suficientemente fortes para afastar esse tamanho de grão (EASTON, 2002). No segmento do Pontal é possível observar essa característica, pois um bom número de amostras superficiais não apresenta partículas siltosas, já no setor da Sapetinga, a presença do silte nas amostras é constante.

A principal origem de sedimentos de um estuário é proveniente de material terrígeno originado da rocha fonte e transportando pela bacia até o ambiente marinho (DAVIS & FITZGERALD, 2004). No segmento da Sapetinga as características texturais dos sedimentos são tipicamente associadas aos locais com influência continental, já que as bacias hidrográficas arrastam o material particulado até a sua foz, nesse setor os sedimentos são mais grossos e mal selecionados, podendo inferir sua origem continental.

Um estuário associa-se com a costa de três maneiras: (1) os sedimentos da bacia hidrográfica podem atravessar o estuário diretamente para a costa, por exemplo, durante um evento de tempestade, quando grande parte do sedimento fino permanece suspenso na coluna d'água até ser depositado na costa; (2) os sedimentos oriundos das bacias hidrográficas podem permanecer dentro do estuário por um período de tempo, até que a ação das correntes de maré o re-suspendam, de modo a ser transportado e depositado ao longo da costa ou do delta de maré, ou ainda longe da costa; (3), no caso de um estuário fazer parte de um extenso sistema costeiro aberto, os sedimentos oriundos da deriva litorânea (geralmente areia) podem ser retidos no interior do estuário, provocando o surgimento de bancos de areia perto desembocadura (USACE, 1975). O estuário da baía do Pontal apresenta os três pontos marcantes. Durante época de cheia nas bacias hidrográficas que deságuam no estuário, os rios impõem a força fluvial não somente no setor da Sapetinga, mas em toda a baía do Pontal, os sedimentos finos são arrastados diretamente para foz apresentando uma extensa pluma sedimentar adjacente a foz da baía do Pontal (Figura 32). Entretanto naturalmente os sedimentos oriundos do

setor interno da baía do Pontal permanecem estacionados até que as correntes de maré o re-suspendam e o transporte até a foz, contudo esse processo é mais lento, quando comparados.

Figura 32: Pluma sedimentar durante a cheia dos rios que deságuam no setor interno da baía do Pontal. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.



No terceiro processo os sedimentos estacionados na praia da Avenida, através das forçantes meteo-oceanográficas, estacionam no setor externo da baía do Pontal acarretando a formação de um extenso banco, cuja formação pode ser visualizada no MDT (Figura 33).

Figura 33: Formação do banco próximo a desembocadura da baía do Pontal. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.



De acordo com Allen (1973), o sedimento pode ser transportado para fora do estuário e depositado ao longo da costa ou permanecer dentro do

estuário se a corrente de maré vazante não for forte o suficiente para realizar o transporte. Os sedimentos do estuário podem sofrer transporte interno devido às correntes de maré. Os estuários tendem a ser mais influenciados pelo fluxo de corrente uniforme das marés enchente e vazante. A turbulência, causada pela ação da variação da maré pode re-suspender sedimentos na coluna de água (ALLEN, 1973). Tais processos são visualizados na baía do Pontal. As correntes, então, transportam o sedimento, até que sua velocidade diminua o suficiente para permitir que o sedimento volte ao fundo. As barreiras físicas como bancos de areia e vegetação, alargamento do canal, fazem com que a força das correntes diminua, o que permite que os sedimentos arrastados na coluna de água se assentem no fundo mais rapidamente (TURNER & RIDDLE, 2001). Três importantes fontes de energia desempenham um papel importante na movimentação de sedimentos dentro de um estuário: marés, ondas e drenagem (BELL *et al.*, 2000). De acordo com estes autores, as correntes de maré proporcionam uma fonte constante de energia para os sedimentos que podem se deslocar para dentro e para fora do estuário. Especialmente durante eventos de tempestade, quando ondas e *swell* na desembocadura da baía do Pontal podem agitar grandes quantidades de sedimento, podendo então ser movido para dentro do segmento do Pontal durante a maré cheia. A água doce do rio que deságuas no segmento da Sapetinga é menos densa do que a água do mar e flutua sobre a água salgada. Portanto, quando o sedimento fino entra no segmento da Sapetinga através da drenagem fluvial, ele pode permanecer em suspensão podendo ser expelido para o mar muito rapidamente. Os autores ainda ressaltaram que as partículas mais grossas se depositam mais rapidamente no fundo à medida que o fluxo de água doce encontra água salgada. Esta é a razão pela qual a deposição de sedimentos é maior perto da parte interna do setor da Sapetinga.

Isso é corroborado através do mapa de faciologia do estuário da baía do Ponta que evidencia a maior presença de areias grossas a muito grossas na área de desembocadura do rio Cachoeira. O processo de floculação, que resulta num aumento da velocidade de decantação das partículas finas, pode gerar depósitos siltosos durante períodos em que a turbulência é reduzida. Ainda assim, sedimentos finos tendem a se mover em suspensão e seguir o fluxo de água. A deposição desses sedimentos pode ocorrer em períodos de “folga” da água, ou locais onde há diminuição do fluxo, como por exemplo situações onde há alargamento de canal (DYER, 1979).

Segundo Payne *et al.* (2003), na maré cheia, o material particulado trazido pelo mar se deposita no estuário, devido a ação das ondas que re-suspende

o sedimento e correntes de maré que carregam as partículas para o interior. Assim, entende-se que os sedimentos da deriva litorânea, que estão estacionados na praia da Avenida devido ao espigão do porto de Ilhéus também podem entrar no estuário. Ainda de acordo com os autores, uma vez que as correntes atravessam a desembocadura do estuário, a velocidade pode diminuir à medida que se espalha e parte do sedimento se deposita no leito do estuário, formando um extenso depósito arenoso. Durante a maré de vazante a água tende a fluir em torno das partes externas desse depósito, causando sua erosão (PAYNE *et al.*, 2003). Este processo pode ser observado na área central da baía do Pontal. Além disso, como referido anteriormente, o transporte a partir da praia da Avenida, também pode exercer um importante papel no aporte sedimentar para o interior do estuário.

Ainda de acordo com Payne *et al.* (2003), à medida que a água atravessa a desembocadura durante a maré de vazante, ocorre um processo semelhante, porém no sentido inverso. A corrente desacelera enquanto a água avança para fora, encontrando a corrente de deriva litorânea, e parte do sedimento em suspensão é depositado, formando um “delta de vazante”. Esse processo ocorre no estuário da baía do Pontal, na praia do Cristo, e na desembocadura do rio Cachoeira e no segmento da Sapetinga.

Os deltas de vazante (ou deltas de maré de refluxo) são expostos à ação das ondas. Isto lhes imprime uma forma semelhante à asa de um morcego, como é possível observar na desembocadura do rio Cachoeira com o MDT. A capacidade do estuário para manter as características descritas depende do volume de água que flui através da desembocadura de entrada (HICKS & HUME, 1996).

Conforme Turner & Riddle (2001) os processos mencionados acima desempenham um papel importante no controle das taxas de deposição e erosão estuarina. É importante perceber que se trata de um processo, na maioria das vezes, natural. No entanto, uma taxa acelerada de preenchimento é frequentemente causada por influência humana. A taxa de enchimento estuarino é controlada por uma série de processos diferentes, incluindo:

- A disponibilidade do sedimento;
- A eficiência dos processos que fornecem o sedimento;
- A capacidade do estuário na retenção ou descarga do sedimento (TURNER & RIDDLE, 2001).

A sedimentação dos estuários acima das taxas naturais deve-se principalmente à modificação das bacias hidrográficas sob a forma de desmatamento, agricultura, silvicultura e urbanização. Isto aumenta a

disponibilidade do sedimento, bem como a disponibilidade de água nos sistemas fluviais (TURNER & RIDDLE, 2001). Tal fato pode ser ratificado através do MDT, a deposição sedimentar no segmento da Sapetinga que devido as modificações antrópicas ao longo das bacias hidrográficas do rio Cachoeira, Santana e Itacanoiera/Fundão fornecem uma alta taxa sedimentar para o setor interno da baía do Pontal, ocasionando menores profundidades na desembocadura desses rios.

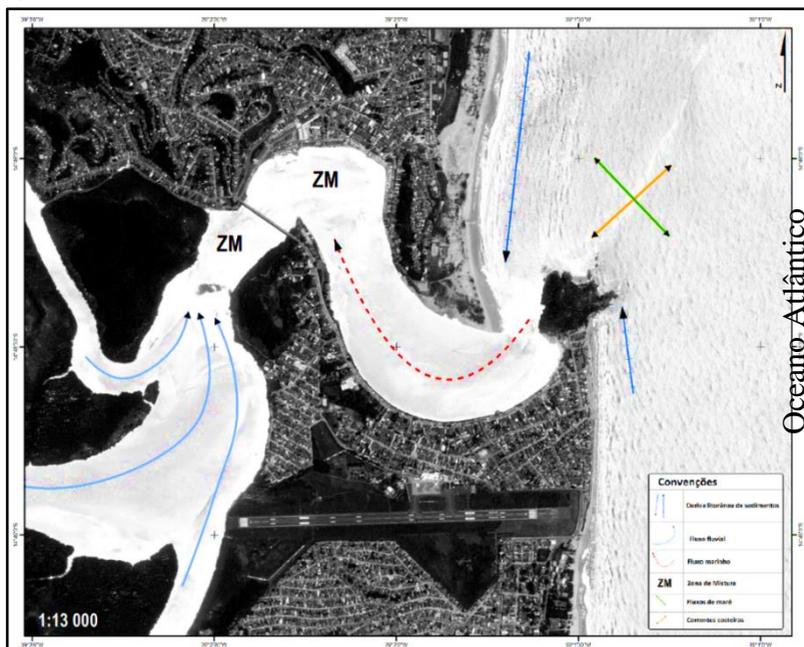
## **7.1 DINÂMICA MORFOSEDIMENTAR**

De acordo com o proposto por Fairbridge (1980) pode-se inferir que a baía do Pontal se encaixa em no tipo fisiográfico de estuário de planície costeira devido a sua formação geológica, baixa amplitude batimétrica e orientação em relação à linha de costa. Os sedimentos superficiais e forma da baía do Pontal refletem a interação entre a energia hidrodinâmica atuante no ambiente, além do aporte sedimentar, provenientes em grande parte das bacias hidrográficas que deságuam no segmento da Sapetinga. As conjunções destes fatores conferem as diferentes fácies sedimentares observadas neste trabalho.

Os sedimentos de fundo existentes na baía do Pontal especialmente, no segmento da Sapetinga são originados da ação erosiva continental configurando o domínio fluvial do estuário. Os sedimentos encontrados para o segmento do Pontal importados pelo estuário pelos processos meteo-oceanográficos (ação de ondas e marés) são constituídos principalmente de fragmentos de quartzo, bem arredondados, devido à ação do transporte litorâneo, configurando o domínio marinho. Por fim, a zona próxima à ponte Lomanto Jr., é marcada pela variação sedimentar, tendo influência tanto fluvial quanto marinha, no contato entre os setores da Sapetinga e do Pontal.

A Figura 34 apresenta uma proposta para um diagrama hidráulico da baía do Pontal, com os fluxos fluviais e marinhos que condicionam e modelam a deposição de sedimentos. Na zona central, na região da ponte Lomanto Jr. ocorre de forma mais eficiente a zona de mistura de massas d'água, o que condiciona uma área de deposição sedimentar mais heterogênea, que indica um ambiente marcado por sedimentos mal selecionados com partículas de todas as classes, desde silte até areia grossa.

Figura 34: Vetores de propagação dos fluxos fluviais e marinhos, formando a zona central estuarina com a ocorrência da zona de mistura (ZM) de massas d' água.



Através das delimitações dessas áreas é possível correlacionar com as definições propostas por Dionne (1963), Pritchard (1967), Fairbridge (1980) e Kjerfve (1987) que definem uma zona de influência fluvial e marinha e uma zona de mistura para o estuário, que variam ao longo do tempo e na escala. Com base nesses autores, o estuário da baía da Pontal é influenciado por um domínio fluvial que engloba a desembocadura dos rios Cachoeira, Santana e Itacanoeira/Fundão até próximo a ponte Lomanto Jr. Essa delimitação pode ser corroborada através da faciologia, pois tal domínio apresenta características texturais condizentes com a influência fluvial, com presença de areia grossas a muito grossas. Já a zona de mistura contém variados tamanhos de partículas e corresponde a área adjacente a ponte Lomanto Jr. A zona do domínio marinho possui partículas arenosas mais finas condizentes à ambientes de influência marinha (Figura 35).

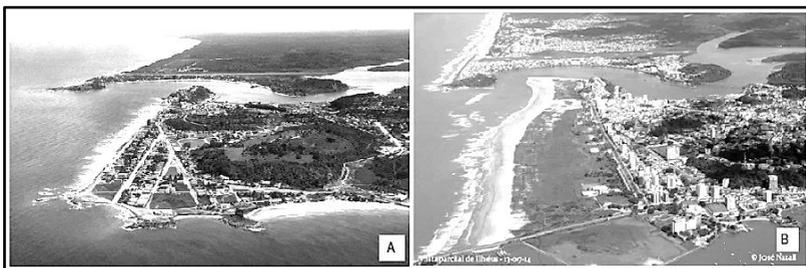
Figura 35: Domínio de influência fluvial e marinha no estuário da baía do Pontal.



As alterações na dinâmica morfossedimentar do estuário da baía do Pontal foram ocasionadas por fatores como: as mudanças ocorridas nos padrões de uso da terra nas bacias hidrográficas dos rios que deságuam no estuário (rios Cachoeira, Santana e Itacanoeira/Fundão), simultaneamente com modificações em padrões oceanográficos, agravados pela construção do porto de Ilhéus, na enseada do Pontal no bairro do Malhado, interrompendo o fluxo norte da deriva litorânea, o que provocou a progradação da praia adjacente à desembocadura do estuário (praia do Cristo) (Figura 36).

Da perspectiva geomorfológica, existem dois processos que caracterizam a atual morfologia do estuário da baía do Pontal: a progradação da praia da Avenida e do Cristo e o assoreamento, que é perceptível devido as formações arenosas presentes na foz dos rios que desaguam no estuário (setor da Sapetinga) e de uma formação arenosa no centro da área de estudo (SILVA, 2015).

Figura 36: (A): Fotografia área de Ilhéus de 1940; (B): Fotografia de Ilhéus de 2014, observando-se a intensa modificação na área da praia do Cristo após a instalação do porto de Ilhéus. Fonte: Acervo fotográfico de José Nazal.



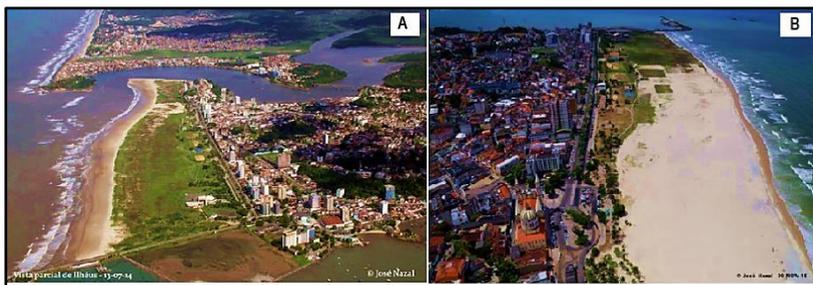
De acordo com Apoluceno (1998) a construção do porto de Ilhéus, na enseada do Pontal, fez com que houvessem modificações na deriva litorânea, ocasionando um aumento de 220.000m<sup>3</sup>/ano de sedimentos depositados na praia da Avenida e, conseqüentemente, provocando a progradação da praia do Cristo.

Paralelo a esse processo, a aceleração do assoreamento dos rios tributários causou a diminuição do fluxo de água destes que, associada, à diminuição da ação marinha no interior da baía, propiciou o aumento do aporte sedimentar na foz dos rios e as mudanças na dinâmica de circulação estuarina.

Os sedimentos oriundos da deriva litorânea estacionam na praia da Avenida e são transportados para o interior da baía por correntes de maré e pela ação do vento nordeste. Esse padrão de aporte sedimentar alimenta a feição alongada no leito da baía do Pontal, observada no MDT. Em períodos de baixamar esse banco de areia chega a aflorar, dificultando a passagem de embarcações.

Outro fator que agrava o transporte eólico é a retirada da vegetação de restinga que estabiliza esses sedimentos nas praias do Cristo e da Avenida. Entretanto, de acordo com a Prefeitura Municipal de Ilhéus, a retirada da vegetação é para a melhorar o acesso à praia (Figura 37).

Figura 37: (A): Vegetação de restinga na praia da Avenida em Ilhéus; (B): Retirada da vegetação para facilitar acesso à praia. Acervo fotográfico de José Nazal



De acordo com Silva (2015) entre as décadas de 1950 e 1960 a baía do Pontal era muito movimentada em virtude do grande movimento de embarcações ocasionado pela exportação do cacau. Em consequência houveram alguns naufrágios que ficaram registrados na história como, por exemplo, o do navio Nossa Senhora de Lourdes em 1957; o do Urubatan em 1959; e o do Jangadeiro em 1975.

Segundo Andrade (2003), ainda em consequência do trânsito náutico (Figura 38) inúmeras dificuldades eram enfrentadas para atracar embarcações maiores no antigo porto devido ao assoreamento natural existente na baía do Pontal. Esses obstáculos começaram a interferir na economia local, já que, na época, Ilhéus era um grande produtor e exportador de cacau. Por isso, em 1958, o Departamento Nacional de Portos iniciou os estudos sobre a dinâmica costeira de Ilhéus para estabelecer a localização do novo porto que veio a ser chamado “Porto do Malhado”, inaugurado em 1972.

Figura 38: Foto do antigo porto de Ilhéus, localizado no interior do estuário da baía do Pontal. Fotografia: Acervo fotográfico de José Nazal.

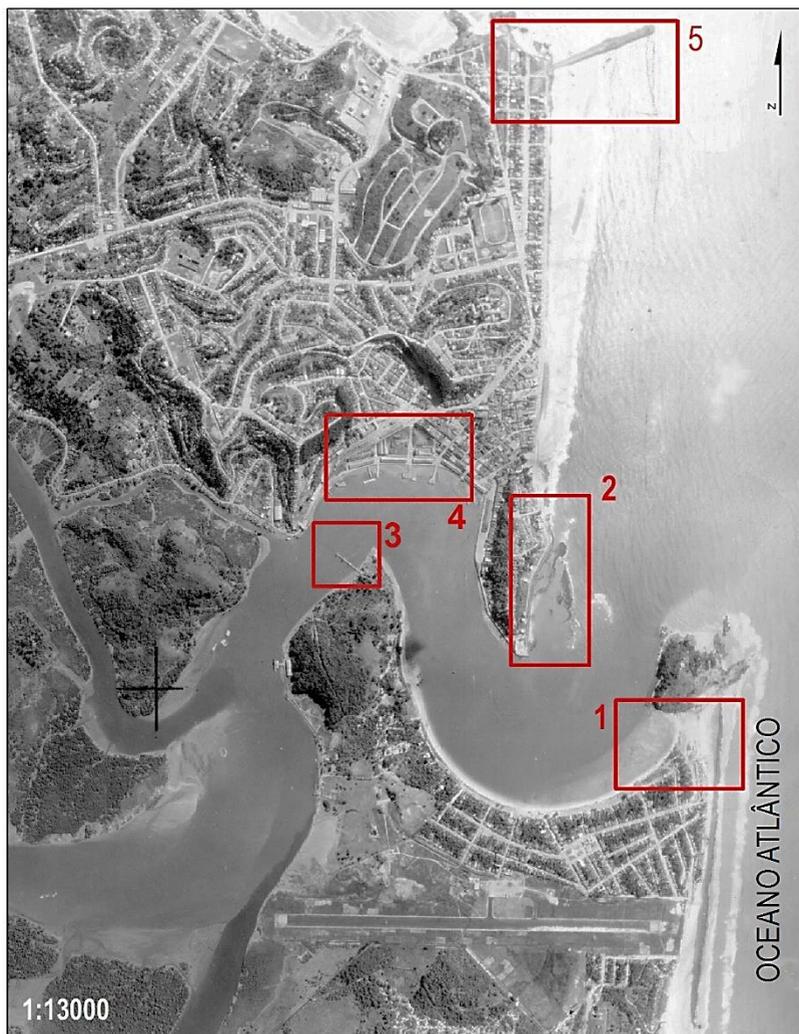


Franco *et al.* (2006) realizaram uma comparação da batimetria (1941 e 1976) a partir de dados secundários fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), identificando a ocorrência de bancos de areia com profundidade inferior a 1m. A partir dos resultados obtidos foi possível identificar mudanças marcantes.

A uniformidade na morfologia de fundo e a pouca delimitação do canal da baía do Pontal em 1941 é justificada pelas contínuas dragagens realizadas em 1925, 1927, 1929, 1935, 1936 e 1938, uma vez que o antigo porto de Ilhéus se localizava no interior da baía do Pontal (NUNES, 1999). As últimas dragagens realizadas na baía do Pontal foram em 1953 e 1955, e deixaram vestígios perceptíveis no mapa batimétrico de 1976, uma vez que existiam profundidades superiores a 8,7m em locais afastados do canal. Esta morfologia diferenciada ocorreu devido a permanência da draga no mesmo ponto. Porquanto esta estrutura de assoalho irregular, com depressões acentuadas em pontos isolados, é comum em áreas que se utilizam dragas para desobstrução (NUNES, 1999).

Diante de uma fotografia aérea de 1964 (Figura 39) é possível observar o início da construção da ponte e a instalação do porto do Malhado que provocou uma mudança brusca na fisiografia costeira de Ilhéus. O bloqueio da deriva litorânea de sedimentos no sentido sul-norte promoveu o “engordamento” da praia da Avenida, a formação da praia do Cristo, e o avanço costeiro nas praias de São Miguel e São Domingos (ADDAD & DUPONT, 1997). Além disso, percebeu-se a grande influência sedimentar do rio Santana e sua força na escavação do canal atual existente no segmento da Sapetinga observado na fotografia aérea e na batimetria realizada em 2016.

Figura 39: Foto aérea de Ilhéus do ano de 1964, com destaque a formação do tómbolo em direção ao morro de Pernambuco (1), praia do Cristo (2), a construção da ponte Governador Lomanto Jr (3), o antigo porto de Ilhéus (4) e a construção do novo porto (5) Fonte: CEPLAC (1964).



## 8 CONCLUSÕES

A metodologia empregada no desenvolvimento da presente pesquisa e os resultados obtidos permitiram alcançar o conjunto de conclusões ora apresentadas. Os mapas texturais e as visualizações 3D do Modelo Digital do Terreno (MDT) obtidos para o estuário da baía do Pontal demonstraram um ótimo desempenho como recurso visual na interpretação de dados batimétricos. Ficaram muito bem ressaltadas, através destes produtos, as particularidades morfológicas da área.

Em relação à granulometria, observou-se a predominância de areia grossa na área do segmento da Sapetinga e areia média à fina na área do segmento do Pontal. Também é possível observar que há uma tendência de acúmulo de sedimentos finos nas áreas de canal. É possível supor que esses sedimentos finos são oriundos das descargas de resíduos de esgoto, já que esses locais mais profundos se encontram em zonas urbanizadas.

Na desembocadura do rio Santana também há maiores concentrações de sedimentos finos. Entretanto os processos deposicionais que ocorrem no local são diferentes comparado ao setor do Pontal, já que o rio Santana possui ao longo do seu curso, uma mata ciliar bem conservada e manguezais bem preservados, favorecendo a retenção e acúmulo e exportação de matéria orgânica e sedimentos finos.

A desembocadura do rio Cachoeira possui granulometria composta por areia média a grossa. Pode-se inferir que no setor da Sapetinga há o processo de assoreamento de origem continental, devido a presença do delta de vazante do rio Cachoeira agravado pelo processo de ocupação de toda a sua bacia hidrográfica. O trecho do rio que corta a cidade de Ilhéus possui a mata ciliar em avançado estágio de degradação, o que favorece a erosão das suas margens e liberação de sedimentos mais grossos. Uma parcela desses sedimentos se deposita ao longo do leito do rio. Outra parcela, no entanto, acaba sendo depositada quando o fluxo fluvial perde velocidade, ao encontrar um corpo d'água mais largo, como no setor da Sapetinga. Os sedimentos finos, que demoram mais para assentar no leito, são transportados mais eficientemente para áreas distantes da desembocadura, permanecendo no local sedimentos mal selecionados, com seleção pobremente mal selecionada e curtose leptocúrtica à mesocúrtica.

O processo mais preocupante, no entanto, ocorre na porção costeira da baía do Pontal, pois coloca em risco a comunicação do porto pesqueiro, localizado no setor do Pontal, com o oceano Atlântico. Ao contrário do que ocorre no interior, o assoreamento nesse setor da baía tem origem marinha. No setor do Pontal, predominam sedimentos com características

de ambientes marinhos, bem selecionados e moderadamente selecionados, distribuição aproximadamente simétrica e curtose do tipo mesocúrtica.

Com base nos resultados alcançados, conclui-se que o estuário da baía do Pontal como um todo, possui predominância de areias moderadamente selecionadas. Nas áreas de menor profundidade e com topografia mais plana encontram-se sedimentos melhor selecionados e nas áreas com maior profundidade encontram-se os sedimentos moderadamente ou pobremente selecionados. Conclui-se, portanto, que, é nesse ambiente que se depositam os sedimentos com uma textura mais grossa, o que leva a crer que hidrodinâmica local é relativamente mais intensa que em áreas mais rasas. Este fato também pode ser justificado pelas intensas descargas de resíduos diretamente no canal, como observado nos mapas.

Conforme identificado no mapa batimétrico pode-se observar um intenso assoreamento na parte central da área no setor externo do estuário (setor do Pontal). Isso ocorre principalmente porque, durante eventos de marés mais altas, ou ainda devido a ação dos ventos de nordeste, há transporte de sedimentos marinhos para o interior da baía do Pontal ocasionando um intenso processo de acreção.

Esses fatos têm intensificado as forças naturais, que refletem em alterações na fisiografia da área. Em virtude dessa conjuntura, a baía do Pontal tende a evoluir para processos de profundas transformações provocadas pelo assoreamento, o que coloca em risco o sistema estuarino e o potencial turístico desse ambiente.

Conclui-se, portanto, que a pesquisa, através de estudos morfológicos e sedimentológicos integrados, é uma aliada de grande valia no entendimento morfodinâmico de áreas como o estuário da baía do Pontal. Finalizando, espera-se que este trabalho seja tomado como base para auxiliar futuros projetos com interesse no estudo de morfologia de fundo e caracterização sedimentar na região, já que existe uma grande lacuna nessa área do conhecimento. Espera-se também que o conjunto de informações geradas para a área, seja integrado no futuro ao banco de dados da cidade de Ilhéus, de modo a auxiliar na tomada de decisões para futuros empreendimentos como, instalação de pontes e portos e outras construções.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDAD, J. E. & DUPONT, H. S. J.B. 1997. Erosão costeira: a dança das praias. **Revista Ciência Hoje**, 22(128): 42-51.

ALLEN, J.R.L. 1973: Physical processes of sedimentation – an introduction. George Allen and Unwin Ltd. UK.

AMORIM, R. R. MOREAU, A. M. S. S.; MOREAU, M. S.; FONTES, E. O.; COSTA, L. M. 2010. Estratificação de ambientes como ferramenta no estudo das unidades de paisagem: o cenário do município de Ilhéus-Bahia. **Caminhos de Geografia**, 11(35): 140-157.

ANDRADE, M. P. 2003. **Ilhéus: passado e presente**. 2ªEd. Revista e Ampliada. Ilhéus, BA:Editus, 144p.

APOLUCENO, D. M. 1998. **A influência do porto de Ilhéus – BA nos processos de acreção/erosão desenvolvidos após sua instalação**. Salvador. 132f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia.

ARAUJO, I.C.B. 2012. **Zoneamento agroecológico do município de Ilhéus, Bahia**. Campinas. 99f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual de Campinas.

AYRES NETO, A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, 18(3): 241-256.

BAHIA. 2001. **Diagnóstico das bacias hidrográficas dos rios Cachoeira e Almada: caracterização climatológica**. Governo do Estado da Bahia: SEINFRA. Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Salvador. v. I, Tomo III. 86p.

BAPTISTA NETO, J. & SILVA, C. G. 2004. **Introdução à Geologia Marinha**. Capítulo 2. Rio de Janeiro: Interciência, p.37–46.

BARBOSA, J., DOMINGUEZ, J. 1996, Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Salvador: SGM. (Convênio CBPM/UFBA/SGM/FAPEX)

BARBOSA, J.S. F.1997. Síntese do conhecimento sobre a evolução geotectônica das rochas metamórficas arqueanas e paleoproterozóicas do embasamento do Cráton do São Francisco na Bahia. **Revista Brasileira de Geociências** 27(3):241-256.

BARBOSA, J. S. F.; GOMES, L. C. C.; MARINHO, M. M.; SILVA, F. A. 2003. Geologia do Segmento Sul do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá. **Revista Brasileira de Geociências, Brasília**, 33(1): 33-48.

BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. 2003. Colagem Paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, 33(1-Suplemento):7-14.

BARBOSA, J.S. F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M. M. 2003. O Cráton do São Francisco na Bahia: Uma síntese. **Revista Brasileira de Geociências**, 33(1): 3-6.

BARBOSA, J.S.F. 1997 **O Embasamento Arqueano e Proterozóico Inferior do estado da Bahia**. In: BARBOSA, J.S.F., DOMINGUEZ, J.M. Geologia da Bahia. Texto Explicativo. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Governo do Estado da Bahia. p.63-83.

BASTOS A.C., QUARESMA V.S., DALMASCHIO R.G., CARMO D.A., SOUZA P.M., LIMA B & POZZI F. 2007. Dinâmica sedimentar e morfologia de fundo do sistema estuarino de Vitória, ES. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11., 2007, Belém. **Anais...** Belém: ABEQUA, 2007. CD-ROM.

BELL, R., GREEN, M., HUME, T., GORMAN, R. 2000: What Regulates Sedimentation in Estuaries? NIWA. **Water and Atmosphere**. 8 (4) 2000.

BIGARELLA, J. J. 1965. Subsídios para o estudo das variações do nível oceânico no Quaternário Brasileiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 37 (suplemento): 263-278.

BILLEN, G.; LANCELOT, C.; MEYBECK, M. N. P. 1991.Retention along the aquatic continuum from land to ocean. In: Bloomfield e Sanders (eds.); **Ocean Margin Processes in Global Change**. New York:Plenum Press, p. 19-44.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L; MARTIN, L. & SILVA, I.R. 2000. Patterns of sediment dispersion coastwise the state of Bahia – Brazil. *Academia Brasileira de Ciências*, **72(2)**: 271-287.

BLOTT, S.J. & PYE, K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, **26**. pp 1237-1248

BRANNER, J.C. 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations. **Bulletin of the Museum of Comparative Zoology**, **44(7)**.

COIMBRA, A.M.; GÓES, A.M.; YAMAMOTO, J.K. 1991. Análise Granulométrica de Sedimentos. *In*: Apontamentos de Sedimentologia. Universidade de São Paulo.

CARDOSO DA SILVA, M. 2000. Estuários-critérios para uma classificação ambiental. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, (5) 1: 25-35

CARMO, D.A. 2006. **Aplicação do modelo de tendências granulométricas (GSTA) para determinação do padrão de transporte de sedimentos na baía do Espírito Santo, Vitória - ES**. Vitória. 62 p. Monografia, Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo.

CARVALHO, K. W. B. 1964. Geologia da bacia sedimentar do rio Almada. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 18º, Poços de Caldas, Brasil. S.l., s.p.

CASSETI, V. 2005. **Geomorfologia**. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2016

CEPLAC. 1964. **Levantamento aerofotogramétrico: Ilhéus**. Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro do Sul. Escala 1:25.000.

CEPLAC. 1975. **Recursos florestais: Ilhéus**. CEPLAC/IICA. Diagnóstico Socioeconômico da Região Cacaueira. 280p.

CHAVES, R. R.; CAVALCANTI, I. F. A. 2001. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, **129(10)**: 2614-2626.

COUTINHO, P. N. 2005. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil**. Relatório do Programa REVIZEE (1995-2000), Oceanografia Geológica. Brasília, DF.: FEMAR/SECIRM/MMA, 2005. 138 p.

CURRAY, J. T. 1960. Sediments and history of Holocene transgression. Continental shelf. Northwes Gulf of Mexico. In "Recent Sedimentation North West Gulf of Mexico" (F. P. Shepard, Ed.). **American Association of Petroleum Geologists**. Tulsa. Okla.

DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A., BOYD, R. 1992. Estuaries facies models: conceptual basis and stratigraphics implications. **Journal of Sedimentary Petrology**, **62**: 1130-1146.

DAVIS J.R., R. A. & FITZGERALD, D. M. 2004. **Beaches and Coasts**. Blackwell Publishing. UK. 419p.

DAVIS, R. A., & HAYES, M. O. 1984. What is a wave-dominated coast?. **Marine Geology**. **60**. 257p.

DELGADO, A.L.S.A.P. 2011. **caracterização hidrodinâmica e sedimentar do estuário do rio minho**. Porto, Portugal. 127f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

DIAS, J.A. 2004. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: uma introdução à Oceanografia Geológica II – Análise textural**. Disponível em [http://w3.ualg.pt/jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimA\\_AT.pdf](http://w3.ualg.pt/jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimA_AT.pdf).

DIONNE, J.C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. Zeitschr. F. **Geomorphology**, **7(1)**: 36–44.

DOMINGUEZ, J. M. L. 2006. The coastal zone of Brazilian overview. **Journal of Coastal Research**, **SI 39**: 16-20.

DOMINGUEZ, J. M. L. 2009. **The coastal zone of Brazil**. *In: Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. 2009. Geologia da baía de Todos os Santos. *In: HATGE, V. & ANDRADE, J.B. (Orgs.). Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos*. Salvador - Bahia: EDUFBA, 2009, p.25-66.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. & MARTIN, L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. **Sedimentary Geology**, **80**: 213-232.

DYER, K.R. 1979: Estuarine hydrography and sedimentation. *In: DYER, K.R. (Ed.) Cambridge University Press*, UK.

EASTON, H.R. 2002. Coastal erosion and sedimentation of Pukehina beach and Waihi estuary. Master of Science Thesis, University of Waikato. p122.

FAIRBRIDGE, R. W. 1961. Eustatic changes in sea level. *In "Physics and Chemistry of the Earth"* (L. H. Ahrens, F. Press, K. Rankema. and S. K. Runcorn. Eds.). Vol. 4. pp. 99-185. **Pergamon**. Oxford.

FAIRBRIDGE, R.W. 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. *In: OLAUSSON E, CATO I. (Eds.). Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. New York, **John Wiley and Sons**, p. 1-35.

FARIAS, A. P. 2005. Eustasia Global E A Realidade Do Litoral Brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, (6)2.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, **27(1)**: 3-26.

FRANCO, G. B.; LAVENÈRE-WANDERLEY, A. A. O.; MOREAU, M. S. 2006. Estudo comparativo da batimetria (1941-1976) da baía do Pontal, em Ilhéus – Bahia. **Caminhos de Geografia**, **7(18)**: 37-46.

FRAZÃO, E.P. 2003. **Caracterização hidrodinâmica e morfossedimentar do estuário pontengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarboneto**.

Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FREITAS, R.O. 1951. Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**,130. 120p.

GOMES, L.C.C.1996. **Províncias de diques máficos do estado da Bahia**. Salvador: SGM. 144p

GONÇALVES, E. 1975. **Geologia econômica e recursos naturais**. Ilhéus, CEPLAC/IICA. 142p. (Diagnóstico Sócio Econômico da Região Cacaueira, 6).

HARTT, C.F. 1870. **Geology and Physical Geography of Brazil**. Boston Fields, Osgood & Co., 620p.

HUME, T.M.; SWALES, A. 2003: how estuaries grow old. NIWA. **Water and Atmosphere.1 (1)** 2003.

HICKS, D.M. HUME, T.M. 1996: Morphology and size of ebb tidal deltas at natural inlets on open-sea and pocket-bay coasts, North Island, New Zealand. **Journal of Coastal Research. 12(1)** 47-63.

IBGE, 2009. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, 182p.

IBGE, 2010. **Censo Demográfico**.

INDA, H.A.; BARBOSA, J.F. 1978. Texto explicativo para o mapa geológico do estado da Bahia. Escala 1:1.000.000. Salvador: SME/COM, 137p. CARVALHO, K. W. B. 1964. Geologia da Bacia Sedimentar do Rio Almada. *In*:CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 18º, **Anais** do Congresso Brasileiro. Poços de Caldas, Brasil. S.l., s.p.

JESUS, H. C.; COSTA, E.; MENDONCA, A. S. F; ZANDONADE, E. 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. **Quím. Nova, 27(3)**: p. 378-386.

KAZUO, Y; LANDIM, P. M. B. 2013.**Geoestatística: conceitos e aplicações**. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 241p.

KJERFVE, B. 1987. Comparative oceanography of coastal lagoons. *In*: WOLFE DA (Ed.). Estuarine variability. New York, **Academic Press**. p. 63–81

KJERFVE, B. 1989. **Estuarine geomorphology and physical oceanography**. *In*: J.W. DAY JR.; C.A.S. HALL; W.M. KEMP; A. YAÑES-ARANCIBIA [Eds.], Estuarine ecology. New York, John Wiley & Sons.

KRIVORUCHKO K. 2012. Empirical Bayesian Kriging: implemented in ArcGis Geostatistical Analyst., **ArcUser Fall**.

KRIVORUCHKO K.; GRIBOV A. 2014. Pragmatic Bayesian kriging for non-stationary and moderately non-Gaussian data. *Mathematics of Planet Earth*. **Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences**. Springer, pp. 61-64.

LEÃO, Z. M. A. N & DOMINGUEZ, J.M.L. 2000. Tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, **41**: 112–122.

LIMA, C. C. U.; VILAS BOAS, G. S.; BEZERRA, F. H. R. 2006. Faciologia e análise tectônica preliminar da Formação Barreiras no litoral Sul do estado da Bahia. *Geologia USP. Série Científica*, **6(2)**: 71-80.

MARINHO, M.M.; VIDAL, PH.; ALIBERT, C; BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P. 1992. Geochronology of the Jequié-Itabuna granulitic belt and the Contendas-Mirante Volcano-Sedimentary belt. *In*: A.PEDREIRA, (org.). ed. **Petrologic and Geochronologic Evolution of the Oldest segments of the São Francisco Craton, Brazil**. IUGS/UNESCO,IGCP 280.CBPM . Salvador, p. 29-55.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOURT, A.C.S.P. 1998. Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode. **Academia Brasileira de Ciências**, **70(2)**: 249-266.

MARTIN, L; BITTENCOURT, A. C. S. P; VILAS BOAS, G. S.; FLEXOR, J. M. 1980. **Mapa geológico do Quaternário costeiro da Bahia- 1:250.000- Texto Explicativo**. Salvador: Secretaria de Minas e Energia/CPM, 60p.

MARTINS, J. R. S. & CARNEIRO, C. D. R. 2012. Plataforma Continental Jurídica, recursos do pré-sal e ensino de Geociências. **TERRÆ** 9:61-109.

MARTINS, L. R. & COUTINHO, P. N. 1981. The Brazilian continental margin. **Earth Science Reviews**. (17): 87-107.

MELPHI, A. 1963. **Principais rochas da região cacauceira da Bahia**. s.l., s.e. 5p. 8

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; SANTOS, A. N.; DOMINGUEZ, J. M. L. 2007. Deriva litorânea ao longo da costa do Cacau, Bahia: repercussões na geomorfologia costeira. **Pesquisas em Geociências**, 34: 45-56.

NUNES, M. C. 1999. **História portuária de Ilhéus (1912-1942)**. Ilhéus. 54f. Monografia do Curso de Geografia. Universidade Estadual de Santa Cruz.

PAOLO, F.S. & MAHIQUES, M.M. 2008. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(2): 211-225.

PAYNE, G., STEPHENS, S., BRYAN, K., HESP, P., GIBBERD, B., SMITH, K. 2003. **New Zealand's Sandy Coasts** (CD-ROM). NIWA.

PRITCHARD, D. W. 1952. Estuarine hydrography. **Advances in Geophysics** 1: 243 - 280

PRITCHARD, D.W. 1967. What is an estuary: physical viewpoint, *In*: Lauff GH (Ed.), *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Washington DC, pp. 3-5.

QUARESMA, V.S., DIAS, G.T.M. & BAPTISTA NETO, J.A. 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da baía de Guanabara - RJ. **Revista Brasileira de Geofísica**, 18(2): 201-214.

SEI. 1998. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Diagnóstico socioambiental do litoral Sul da Bahia**. Salvador: SEI.

SHEPARD, F. P. 1973. **Submarine geology**. New York: Harper & Row Pub, 517 p.

SILVA, E. B. 2015. Caracterização do ambiente no município de Ilhéus (BA): o caso da baía do Pontal. **Boletim Goiano de Geografia**, **15(35)**.

SILVA, V.P.R.; PEREIRA, E.R.R.; ALMEIDA, R.S.R. 2012 Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, **27**: p.163-172.

SILVEIRA, J. D. 1964. **Morfologia do litoral**. In: AZEVEDO, A. de. Editora Brasil: A Terra e o homem (vol. 1: As bases físicas). Companhia Editora Nacional, 253-305.

SOARES, A. 2006. **Geostatística para as ciências da Terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico. 214p.

SOUSA, R. G. 2003. **Estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos presentes no estuário do rio Lima**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar.

SOUZA, F.E.S. 2004. **Evolução morfodinâmica da região de influência estuarina do rio Curimataú/RN, com ênfase nas alterações do ambiente deposicional de manguezal e a integração de geodados em SIG**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blücher, Editora da Universidade de São Paulo, 317p.

SUGUIO, K. 1999. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)**. São Paulo, SP: Paulo's Editora, 366p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M. 1988. Quaternary sea-levels of the Brazilian coast: recent progress. **Episodes**, **11**: 203-208.

SUGUIO, K.& MARTIN, L. 1978. **Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Publicação Especial, pp.1-55.

SUGUIO K., MARTIN L., BITTENCOURT, A. C. S. P., DOMINGUEZ, J. M. L., FLEXOR, J.M., AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, 15(4):273-286.

SUGUIO, K. 2003. **Tópicos de Geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas**. Geol. USP, Sér. didát. [online]. vol.2, pp. 1-40. ISSN 1677-7549.

TURNER, S; RIDDLE, B. 2001: Estuarine sedimentation and vegetation – management issues and monitoring priorities. **Environment Waikato Internal Series 2001/05**. Document #: 686944.

United States Army Corp of Engineers (USACE). 1975. **Shore Protection Manual**. Volume 1.

VILLWOCK, J. A., 1994. A costa brasileira: geologia e evolução. **Notas Técnicas**, (7):38-49.

VOGEL, E., MARQUES F. M., ROCHA I. R., OLIVEIRA R. C., SARAIVA C. C. S. 2011. Estudo de caso de um levantamento topográfico altimétrico realizado com estação total e laser scanning terrestre. Editora MundoGEO. **Revista InfoGNSS**. 27, 40 p.

WENTWORTH, C. A. 1992 Scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**. 30. p. 377.

WOODROFFE, C.D. 2003. Coasts – form, process and evolution. Cambridge University.press, **Cambridge**.

ZACARIAS, N.G.R. 2007. **Influência da batimetria e do caudal fluvial na propagação da maré no estuário do rio Minho**. Evora, 130f. Licenciatura em Ciências do Ambiente Ramo Qualidade do Ambiente. Universidade de Évora.

ZEMBRUSKY, S. G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. *In*: Projeto REMAC- Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. **PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC, (7):129-177.

ZEMBRUSCKY, S. G., BARRETTO, H. T., PALMA, J. C. & MILLIMAN, J. D., 1972. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. **Anais XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, Belém. (2):187-209.