



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



CARLOS AUGUSTO CORRÊA MENDES

ÁREAS DE BOTA-FORA DA BAÍA DE GUAJARÁ (PARÁ): EXTENSÃO,
EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL (MÉDIO PERÍODO) E PROPOSIÇÕES

BELÉM-PA
ABRIL/2019

CARLOS AUGUSTO CORRÊA MENDES

ÁREAS DE BOTA-FORA DA BAÍA DE GUAJARÁ (PARÁ): EXTENSÃO,
EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL (MÉDIO PERÍODO) E PROPOSIÇÕES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Naval.

Orientador: Dr. Maâmar El-Robrini

BELÉM-PA
ABRIL/2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C824a Corrêa Mendes, Carlos Augusto
Áreas de bota- fora da Baía de Guajará (Pará): extensão,
evolução multitemporal (médio período) e proposições / Carlos
Augusto Corrêa Mendes. — 2019.
135 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Maâmar El- Robrini
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Naval, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal
do Pará, Belém, 2019.

1. Baía de Guajará. 2. Dragagem. 3. Área de Bota-fora. 4.
Estuário. 5. Morfologia. I. Título.

CDD 386.8098115

CARLOS AUGUSTO CORRÊA MENDES
ÁREAS DE BOTA-FORA DA BAÍA DE GUAJARÁ (PARÁ): EXTENSÃO,
EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL (MÉDIO PERÍODO) E PROPOSIÇÕES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre em Engenharia Naval.

Belém, 16 de abril de 2019

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Maâmar El-Robrini- Orientador
Doutor em Geologia Marinha
Universidade Federal do Pará

Prof. Hito Braga de Moraes - Membro
Doutor em Engenharia Oceânica
Universidade Federal do Pará

Prof^a Maria de Lourdes Souza Santos - Membro
Doutora em Oceanografia
Universidade Federal Rural da Amazônia

À minha mãe
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à UFPA pelas estruturas e oportunidades dadas até aqui.

Ao Instituto de Tecnologia (ITEC) e ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Naval (PPGNAV) que foram meus locais de aula e troca de saberes.

Ao Instituto de Geociências (IG) onde passei toda a graduação e parte do mestrado, uma segunda casa. Ao Grupo de Estudos Marinhos & Costeiros (GEMC/CNPQ) e ao Laboratório de Geologia Oceânica, na pessoa do professor Maâmar.

Aos amigos do mestrado que foram muito importantes nessa caminhada: Sérgio Rigel e Marcelo Pinheiro. Ao Jackson que me ajudou na digitalização das cartas náuticas.

Aos amigos professores: Lucinice Belúcio, Renan Peixoto e Leilhanhe Ranieri pelos muitos ensinamentos e ajudas inestimáveis.

Aos meus amigos de laboratório e de profissão: Carolina Ramos, Thamires Salimos, Giselle Veiga, Annanda Santos, Marcus Coimbra, Luciana Reis.

Ao Msc. Gustavo Miranda que dedicou horas do tempo dele para direcionar minhas metodologias e discutir meus resultados e à MSc. Juliana Guerreiro minha única parceira de laboratório.

Os sinceros agradecimentos ao Coordenador Geral, Miguel Fortunato Gomes dos Santos e Osvaldo Boulhosa da Administração Hidroviária da Amazônia Oriental (AHIMOR) pela disponibilização de material de pesquisa ao Prof. Maamar El Robrini.

À minha família que sofreu e vibrou comigo a cada etapa, meu pai, minha mãe e meu irmão. À Vanessa noiva e amiga de todos os momentos, quem mais acreditou em mim mesmo nos momentos que até eu mesmo desacreditei.

Aos meus tios Antônio Costa, Marília Ferreira e Benedita Costa que são minhas inspirações profissionais e familiares.

Por fim, obrigado a todos que, de alguma forma, me ajudaram até aqui. Quero dizer que sou grato a cada um, que sempre que vocês precisarem estarei disponível e que tudo isso é somente o começo.

“Você não sabe o quanto caminhei pra chegar até aqui”

Cidade Negra

RESUMO

Nos últimos anos houve aumento no volume de sedimentos dragados em portos de todo o mundo, esse aumento é causado, além do processo natural de assoreamento nos estuários, pela necessidade de adequação dos portos para receber navios com capacidades de carga cada vez maiores. A maioria dos portos mundiais está localizada em estuários, que são áreas protegidas de ondas e fenômenos oceânicos, sensíveis às mudanças temporais, naturais e antrópicas. No Brasil, a regulamentação estabelece que os sedimentos dragados nos portos devam ser descartados em áreas de bota-fora nos próprios estuários. Uma análise multitemporal de 26 anos (1984-2010) foi desenvolvida para identificar alterações na morfologia e no volume de sedimentos de fundo antes (1984-1999) e depois (2010) da criação das áreas de bota-fora na Baía de Guajará que começaram a operar em 2000. A área de estudo é caracterizada por uma elevada hidrodinâmica: meso- maré (semi- diurna: 3,7 m), correntes de maré (2,10 m/s), altos índices de precipitação (600 mm/ mês no período chuvoso e 150 mm/ mês no período seco), ventos de 1,50 m/s, interferências hidrológicas e sedimentares diretas da baía de Marajó e dos rios Acará, Guamá, Mojú e Pará. Na Baía de Guajará, ocorrem canais de enchente (Canal do Meio) e de vazante (Canal da Ilha das Onças) bem definidos, intercalados por bancos de areia (Banco do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade). Para o estudo foram utilizadas as cartas náuticas do Porto de Belém (nº 320) dos anos de 1984, 1999 e 2010, onde foram identificadas as áreas de bota-fora nº 1, 2 e 3. As maiores profundidades da Baía de Guajará estão no Canal da Ilha das Onças ou próximas dele, podendo chegar a 25 m de profundidade, este canal é a feição mais importante da baía, com migração e aprofundamento constantes de seus limites, fator determinante na extensão e localização dos bancos de areia. Entre 1999 e 2000, foram despejados 1.250.000 m³ de sedimentos nas áreas de bota-fora nº 1 e 2. O primeiro período analisado no presente estudo (1984 a 1999) mostrou diversas áreas em processos de assoreamento e pontos de aprofundamento, já o segundo período (1999 a 2010) mostrou perda de sedimentos de fundo, com aumento de profundidade. O Canal da Ilha das Onças perdeu um volume de 94.084 m³/ano de sedimentos de 1984 para 2010, já os bancos nesse mesmo período perderam 3.023.441 m³/ano de sedimentos. Entre 1984 e 1999 o Canal da Ilha das Onças migrou para oeste, já entre 1999 e 2010 migrou para leste, deslocando os bancos nas mesmas direções. O volume batimétrico de 1984 foi de 241.981.891 m³, de 1999 foi de 245.812.221 m³ e em 2010 foi de 285.967.820 m³, indicando que a baía está em processo erosivo. A taxa de evolução da Baía de Guajará

para o período de 1984 a 1999 é de 0,10 cm/ano e para o período de 1999 a 2010 de 1,13 cm/ano. Os maiores índices de assoreamento nas áreas dos bancos de areia foram encontrados no período de 1984 a 1999. De 1999 para 2010 predominou erosão em toda a baía (bancos e canais) resultando em aumento de profundidade, evidenciando que os sedimentos ali depositados foram todos retrabalhados pela hidrodinâmica.

Palavras-chave: Baía de Guajará. Dragagem. Área de Bota-fora. Estuário. Morfologia.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in the volume of sediment dredged in ports around the world, this increase is caused, in addition to the natural process of sedimentation in the estuaries, by the need to adapt the ports to receive ships with increasing cargo capacities. Most of the world's ports are located in estuaries, which are protected by waves and ocean phenomena, sensitive to temporal, natural and anthropogenic changes. In Brazil, the regulations establish that sediment dredged in ports should be discarded in boot areas in estuaries. A multitemporal analysis of 26 years (1984-2010) was developed to identify changes in the morphology and volume of bottom sediments before (1984-1999) and after (2010) the creation of boot areas in Guajará Bay that began operating in 2000. The study area is characterized by high hydrodynamics: meso-tidal (semi-diurnal: 3.7 m), tidal currents (2.10 m / s), high precipitation rates (600 mm/ month in the rainy season and 150 mm/ month in the dry period), winds of 1.50 m/s, direct hydrological and sedimentary interferences of the Marajó Bay and the Acará, Guamá, Mojú and Pará Rivers. In the Guajará Bay, there are flood channels (Middle Channel) and ebb (Ilhas das Onças Channel) well interspersed by sand banks (do Meio, da Cidade e Sul Bank). For the study, the nautical charts of the Port of Belém (n° 320) of the years of 1984, 1999 and 2010 were used, where the boot areas outside 1, 2 and 3 were identified. The largest depths of Guajará Bay are in or near the Ilhas das Onças Channel, which can reach 25 m depth, this channel is the most important feature of the bay, with constant migration and deepening of its limits, a determining factor in the extension and location of the shoals. Between 1999 and 2000, 1,250,000 m³ of sediments were dumped in the boot areas n° 1 and 2. The first period analyzed in the present study (1984 to 1999) showed several areas in sedimentation processes and deepening points, while the second period (1999 to 2010) showed loss of bottom sediment, with increased depth. The Ilha das Onças Channel lost a volume of 94,084 m³/ year of sediments from 1984 to 2010, while the banks in the same period lost 3,023,441 m³/ year of sediments. Between 1984 and 1999 the Ilha das Onças Channel migrated towards the west, already between 1999 and 2010 it migrated to the east, displacing the banks in the same directions. The bathymetric volume of 1984 was 241,981,891 m³, 1999 was 245,812,221 m³ and in 2010 it was 285,967,820 m³, indicating that the bay is in an erosive process. The rate of evolution of Guajará Bay for the period 1984 to 1999 is 0, 10 cm/ year and for the period 1999 to 2010 of 1, 13 cm/ year. The highest sedimentation rates in the sandbank areas were found between 1984

and 1999. From 1999 to 2010, erosion predominates throughout the bay (banks and canals) resulting in increased depth, evidencing that the sediments deposited there were all reworked by hydrodynamics.

Keywords: Guajará Bay, Dredging. Estuary. Morphology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da área de estudo (Baía de Guajará).	222
Figura 2- Fluxograma da dissertação de mestrado.	266
Figura 3- Hidrografia da Baía de Guajará, com destaque para a sub-bacia Guamá-Moju.	288
Figura 4- Variações mensais de precipitação para a RMB referente ao ano de 2018. ...	29
Figura 5- Mapa geológico da cidade de Belém.	300
Figura 6- Coluna estratigráfica aplicada para a RMB e adjacências. As unidades estratigráficas encontradas na Baía de Guajará estão estruturadas de modo interdigitado, sem que as camadas apresentem, aparentemente grandes continuidades.	311
Figura 7- Baía de Guajará mostrando o contraste entre as duas margens. (a) margem esquerda com vegetação nativa; (b) margem direita com grandes construções e o Porto de Belém.	322
Figura 8- Mapa batimétrico mostrando as áreas profundas (Canal da ilha das Onças, Canal do rio Guamá, do Meio) e rasas (Bancos do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) na Baía de Guajará. As áreas de bota-fora n° 1, 2 ocorrem no Canal do Meio e n° 3 no Banco da Cidade.	333
Figura 9- Parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) para sedimentos de fundo da Baía de Guajará. O quadro (vermelho) refere-se à localização das áreas de bota fora.	377
Figura 10- Mapa de distribuição sedimentológica de acordo com o Diagrama triangular de Shepard (1954) na Baía de Guajará. O quadro (preto) mostra a localização das áreas de bota fora onde predominam sedimentos silte argiloso, areia e areia síltica.	388
Figura 11- Distribuição de Larsonneur (1977) aplicada à Baía de Guajará. O quadro (preto) mostra as áreas de bota-fora.	39

Figura 12- Maregrama da Baía de Guajará do mês de março.	400
Figura 13- Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na Baía de Guajará, para momento de implantação de enchente (aproximadamente 1h a 1: 30hs após a estofa da baixa-mar).	411
Figura 14- Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, durante a vazante (aprox. 2hrs. após a estofa da preamar).	422
Figura 15- Diagrama de Pejrup mostrando o grau da hidrodinâmica (baixa, moderada, alta, muito alta) na Baía de Guajará. O quadro (vermelho) representa a área de bota fora, região com predominância de hidrodinâmica moderada a alta..	433
Figura 16- Diagrama esquemático das zonas de ZR, ZM e ZC de um estuário. S equivale à salinidade e Qf à descarga de água doce..	50
Figura 17- Tipos geomorfológicos de estuários..	54
Figura 18- Opções de disposição em corpos hídricos. (a) Disposição irrestrita; (b) Capeamento pelo nível do fundo; (c) Disposição com contenção lateral; (d) Disposição confinada; (e) Disposição em cavas; (f) Disposição confinada em cavas.....	60
Figura 19- Mapa batimétrico e Áreas de bota fora nº 1, 2 e 3 do Porto de Belém e a origem dos sedimentos depositados em cada uma delas.....	65
Figura 20- Polígono de Disposição Oceânica (PDO), porto de Santos..	67
Figura 21- Localização do Porto de Itaqui e do Terminal do Cujupe na Baía de São Marcos no Maranhão..	68
Figura 22- Ilustração de CDFs: upland (planaltos), nearshore (próximo da costa), island (ilha).....	70
Figura 23- Um CDF na cidade de Chicago (USA).....	711
Figura 24- Uma draga do tipo Hopper lançando sedimentos dragados diretamente para um CDF, nos USA.	71

Figura 25- Localização das ADFIs no mapa dos USA.	72
Figura 26- Exemplos de locais de disposição de sedimentos dragados na Inglaterra..	777
Figura 27- CDF da Slufter na Holanda, um local de depósito confinado para material dragado contaminado.....	78
Figura 28- Carta Náutica da Baía de Guajará, sondagem do ano de 1984.....	80
Figura 29- Carta Náutica da Baía de Guajará, sondagem do ano de 1999.....	81
Figura 30- Carta Náutica da Baía de Guajará, sondagem do ano de 2010.....	82
Figura 31- Carta náutica da Baía de Guajará (2010): (a) carta náutica georreferenciada; (b) pontos de profundidade..	83
Figura 32- Área delimitada (quadro vermelho) da Baía de Guajará para análise multitemporal, dividida em setores de jusante para montante: superior, médio e inferior, utilizados para quantificação da migração dos fundos. No centro da baía estão as Áreas de Bota Fora n° 1, 2 e 3. ... Erro! Indicador não definido.	
Figura 33- Perfis batimétricos transversais (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) confeccionados na Baía de Guajará, incluindo as áreas de bota fora n°1, 2 e 3.	87
Figura 34- Mapa mostrando a área de trabalho (quadro em vermelho) indica, onde foi calculado o volume sedimentar de fundo das Área de Bota Fora na Baía de Guajará.....	88
Figura 35- (a) Trapiche construído por ribeirinhos na margem esquerda da Baía de Guajará, para embarque/desembarque e ancoragem de canoas; (b) vegetação abundante e poucas casas na margem oposta à Belém; (c) cais do Porto de Belém; (d) embarcações de diversos tamanhos trafegando diariamente pela baía. (e) vista do Portal da Amazônia. (f) mercado e feira do Ver-O-Peso. ...	90
Figura 36- Vista aérea do Porto de Belém.....	92
Figura 37- Vista aérea do Terminal Petroquímico de Miramar.....	945
Figura 38- Vista aérea do Terminal Portuário de Outeiro.	956

Figura 39- Evolução da movimentação no Porto de Belém e nos Terminais do Outeiro e.....	967
Figura 40- Participação dos Principais Produtos Movimentados no Complexo Portuário de Belém, em 2011 (Observada) e 2030 (Projetada).	978
Figura 41- Projeção da taxa média de movimentação de cargas dos Portos de Belém e de Vila do Conde.	978
Figura 42- Mapas batimétricos dos anos de 1984, 1999 e 2010, mostrando a evolução da morfologia dos fundos na Baía de Guajará (bancos: do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade; canais: da Ilha das Onças, do Meio).	989
Figura 43- Mapa da evolução batimétrica da Baía de Guajará nas áreas de bota-fora nº 1, 2 e 3. Os dois mapas representam os períodos de 1984 a 1999 (esquerda) e de 1999 a 2010 (direita), onde os valores positivos indicam assoreamento e negativo aprofundamento.....	1034
Figura 44- Comparação dos mapas batimétricos nos períodos de 1984-1999, 1984-2010 e 1999-2010, evidenciando as mudanças de fundo na Baía de Guajará. O quadro em vermelho representa os limites das Áreas de Bota Fora. As isóbatas em vermelho, azul e preta representam respectivamente os anos de 1984, 1999 e 2010.....	1045
Figura 45- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1984 (em vermelho) a 1999 (em azul).	1089
Figura 46- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1984 (em vermelho) e 2010 (em preto).	1101
Figura 47- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1999 (em azul) e 2010 (em preto).	1123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Áreas ocupadas pelos Bancos (Banco do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) e Canais (Canal da Ilha das Onças e Canal do Meio) na Baía de Guajará.	100
Tabela 2- Migração dos fundos da Baía de Guajará nas áreas de bota-fora entre os períodos de 1984 a 1999, 1984 a 2010 e 1999 a 2010.....	105
Tabela 3- Taxa de assoreamento em diversos estuários do mundo.	115
Tabela 4: Níveis de classificação de material dragado para a Baía de Guajará.	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm- Micrômetro
As- Arsênio
ADC- Área de Disposição Confinada
ADFI- Aquatic Disposal Field Investigations
AHIMOR- Administração Hidroviária da Amazônia Oriental
A11a- Areia siliciclástica com cascalho
A11b- areia siliciclástica com grânulos
AL1e- Areia siliciclástica grossa e muito grossa
ANA- Agência Nacional de Águas
Ca- Cálcio
CAD- Contained Aquatic Disposal
Cd- Cadmio
CDF- Confined Disposal Facility
CDP- Companhia de Docas do Pará
CEDA- Central Dredging Association
CNT- Confederação Nacional do Transporte
Co- Cobalto
CO₂- Dióxido de carbono
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA- Companhia de Saneamento do Pará
Cr- Cromo
CTCQA- Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental
Cu- Cobre
DHN- Diretoria de Hidrografia e Navegação
DMRP- Dredged Material Research Program
Eua- Estados Unidos da América
Fe- Ferro
HPAs- Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IADC- International Association of Dredging Companies
IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET- Índice de Estado Trófico
INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia
K- Potássio
LBC- Level Bottom Capping
LC-72- Convenção de Londres de 1972
LL1- Lamas Siliciclásticas Arenosas
Mg- Magnésio
Mn- Manganês
MPRSA- Marine Protection, Research, and Sanctuaries
Na- Sódio
Ni- Níquel
NORMAM- Normas da Autoridade Marítima
Nr- Nível de redução
Pb- Chumbo
PDO- Polígono de Disposição Oceânica
PEL- Probable Effect Level
pH- Potencial Hidrogeniônico
PND- Plano Nacional de Desenvolvimento
POM- Princeton Ocean Model
RMB- Região Metropolitana de Belém
SEMA- Secretaria de Estado do Meio Ambiente
Sw- Sudoeste
UNCTAD- Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
USACE- United States Army Corps of Engineers
USEPA- United States Environmental Protection Agency
Zc- Zona Costeira
Zm- Zona de Mistura
Zn- Zinco
Zr- Zona de Maré do Rio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação pessoal	22
1.2	Aspectos gerais do problema	23
1.3	Objetivos	24
1.3.1	Objetivo Geral	24
1.3.2	Objetivos Específicos	24
1.4	Estrutura do trabalho	24
1.5	Fluxograma da dissertação	25
2	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	27
2.1	Bacia hidrográfica e hidrologia	27
2.2	Clima e meteorologia	29
2.3	Geologia	30
2.4	Geomorfologia	31
2.4.1	Geomorfologia das margens	32
2.4.2	Geomorfologia do fundo	32
2.5	Sedimentação do fundo da Baía de Guajará	34
2.6	Condições oceanográficas	39
2.6.1	Amplitude de maré	39
2.6.2	Correntes de maré	40
2.6.3	Hidrodinâmica	43
2.6.4	Salinidade	44
3	REVISÃO DA LITERATURA	45
4	REFERENCIAL TEÓRICO	49
4.1	Estuários	49
4.1.1	Classificação dos estuários	51
4.1.2	Sedimentos e feições estuarinas	54

4.1.3	Transporte de sedimentos em estuários.....	56
4.2	Gerenciamento de sedimentos dragados	58
4.2.1	Gestão e leis regulatórias	60
4.2.2	Gestão de sedimentos dragados nos Estados Unidos da América (EUA)	68
4.2.3	Gestão de sedimentos dragados na Inglaterra	76
4.2.4	Gestão de sedimentos dragados na Holanda.....	77
5	METODOLOGIA.....	79
5.1	Aquisição de dados	79
5.2	Processamento dos dados	83
5.3	Análises multitemporais.....	85
5.4	Confecção de perfis batimétricos transversais.....	87
5.5	Cálculo do volume.....	88
6	CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA.....	89
6.1	Instalações portuárias na Baía de Guajará	91
6.1.1	Porto de Belém	91
6.1.2	Terminal Petroquímico de Miramar	94
6.1.3	Terminal Portuário de Outeiro.....	95
6.1.4	Movimentações portuárias	95
7	RESULTADO E DISCUSSÕES	98
7.1	Mudanças da morfologia dos fundos da Baía de Guajará.....	98
7.1.1	Evolução batimétrica das áreas de bota-fora	100
7.2	Mudanças espaciais dos fundos das áreas de Bota-Fora.....	103
7.2.1	Mudanças da morfologia antes da criação das áreas de bota-fora.....	105
7.2.2	Mudanças da morfologia depois da criação das áreas de bota-fora	106
7.3	Mudanças verticais	107
7.3.1	Período 1984-1999.....	107

7.3.2	Período 1984-2010.....	110
7.3.3	Período 1999-2010.....	112
7.3.4	Evolução das áreas de bota- fora e qualidade dos sedimentos de fundo.....	Erro!

Indicador não definido.

8	ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS DRAGADOS	118
9	CONCLUSÕES.....	121
	REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

As operações de dragagens são vitais para o desenvolvimento econômico e social, sendo essenciais para a construção e manutenção de parte importante da infraestrutura da qual depende a prosperidade econômica e bem-estar social (IADC, 2005; AARNINKHOF, 2008). O transporte marítimo, por sua vez, é a espinha dorsal do comércio internacional e da economia global (UNCTAD, 2018), onde 80% e 70% do comércio global em volume e em valor, respectivamente, são transportados por via marítima e geridos por portos em todo o mundo.

Os desenvolvimentos tecnológicos e a necessidade de melhorar a rentabilidade no transporte de cargas e pessoas resultam em uma busca por navios maiores e mais eficientes e a constante necessidade de ampliação ou aprofundamento de rios e canais para fornecer acesso adequado aos portos (IADC, 2005). Em todo o mundo, milhões de m^3 de sedimentos são dragados todos os anos para manutenção da profundidade necessária nos portos e canais de acesso (CARPENTER *et al.*, 2018).

Nos Estados Unidos da América (EUA), o Corpo de Engenheiros do Exército draga 274 milhões de m^3 /ano (WELCH *et al.*, 2016). Na Holanda (Porto de Roterdã), são dragados cerca de 20 milhões de m^3 /ano (SAZAKLI; LEOTSINIDIS, 2018). Na Turquia são dragados 3 milhões de m^3 /ano para manutenção de portos (Ozer-Erdogan *et al.*, 2016). Em Taiwan, de 2003 a 2012, o local de descarte de materiais dragados de Kaohsiung, localizado a sudoeste de Taiwan, descartou 500.000 t de sedimentos dragados do Porto de Kaohsiung (CHEN *et al.*, 2018). Em 2015, 82,89 milhões de m^3 estavam previstos para serem dragados em diversos portos brasileiros (PND, 2015). No Porto de Paranaguá foram dragados 14,2 milhões de m^3 de sedimentos em 2018 (CNT, 2018). No Porto de Santos, considerado o maior da América Latina (GIRELI *et al.*, 2017), para manutenção do calado de 15 m é necessário dragar um volume de 3,2 milhões de m^3 /ano (GIRELI; VENDRAME, 2012).

Estes sedimentos removidos nas dragagens precisam ser descartados em locais estratégicos que não comprometam a navegação. Eles podem ser lançados de volta ao corpo d'água, ao mar, em terra ou utilizados para fins benéficos, essa finalidade vai depender da legislação vigente no país onde é realizada a dragagem (GÓMEZ, 2015). Antigamente, os sedimentos oriundos de dragagem eram descartados no mar, já atualmente, com o desenvolvimento de novas políticas de conservação e uso de recursos

naturais para a sustentabilidade, junto à crescente conscientização social, transformam os materiais dragados em recursos aproveitáveis (GÓMEZ, 2015).

Para Miranda *et al.* (2012), seguindo a tendência de outros países, no Brasil atualmente, há uma crescente preocupação pela implantação de políticas e ações que possibilitem o desenvolvimento sustentável das regiões costeiras em geral e, em particular, dos estuários.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 454/2012 estabelece diretrizes e procedimentos para uso benéfico (obras de engenharia, criação e melhoria do terreno, recomposição, engorda artificial de praias, estabilização da linha de costa, uso na construção civil, indústria, agricultura, aquicultura) ou disposição em solo ou em águas sob jurisdição nacional.

O processo de dragagem e a disposição dos sedimentos dragados em estuários geram diversos impactos para o meio ambiente, como mudanças do habitat de organismos com alterações na comunidade bentônica (FANG *et al.*, 2013; SOTOLONGO; AMARGÓS, 2017), deterioração da qualidade da água com aumento da turbidez (KAREL, 1999; CHEN *et al.*, 2018; VAGGE *et al.*, 2018), erosão dos sedimentos de fundo (CHEN *et al.*, 2017; LEE *et al.*, 2010; SIMONINI *et al.*, 2005), modificações no padrão de transporte sedimentar e da morfologia (MONGE-GANUZAS *et al.*, 2013; MORRIS, 2007). Para Maren *et al.* (2015) a dragagem de manutenção e a disposição de sedimentos influenciam a distribuição espacial da concentração de sedimentos em suspensão nos estuários.

A disposição dos sedimentos dragados tem se tornado um problema pela falta de locais para criação de áreas de bota-fora dentro dos corpos d'água devido ao grande volume de sedimentos gerados. Diversos estudos buscam como alternativas, a utilização dos sedimentos dragados para diversos fins, como: confecção de materiais de construção, telhas, blocos de vedação e tijolos (CAPPUYNS *et al.*, 2015; OZER-ERDOGAN *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017), alimentação de praias em elevado processo erosivo (BAHGAT, 2018) e para cultivo de plantas ornamentais (MATTEI *et al.*, 2017).

Os estuários estão continuamente em evolução morfológica, com mudanças repentinas causadas por diversos fatores, entre eles, a dragagem (WANH, 1989). Desta forma, os estudos multitemporais são ferramentas poderosas que podem fornecer informações importantes das modificações sofridas pelos fundos estuarinos,

principalmente as causadas por dragagens e disposição de sedimentos em áreas de bota-fora.

Vários autores apresentaram modelos de estabilidade para estuários através de Sistema de Informações Geográficas (SIG), modelos de longo prazo: 1842-2006 (Wang *et al.*, 2013); médio prazo: 1955-2002 (JEUKEN; WANG, 2010) ou curto prazo: 1973-2003 (MONGE-GANUZAS *et al.*, 2013). Com essas ferramentas, El-Robrini (1992) analisou a evolução morfo- sedimentar da área do Porto de Itaquí (MA) e determinou a migração de bancos de areia a uma velocidade de 100 a 180 m/ano. Azevedo (2012) usando levantamentos batimétricos de cartas náuticas conseguiu avaliar processos sedimentares ocorridos ao longo de 64 anos na foz dos rios Anil e Bacanga. Odreski *et al.* (2003) ao correlacionarem dados antigos com novos nos portos organizados de Paranaguá e Antonina, determinaram uma taxa de assoreamento para as regiões de 2,6 cm/ano. Em relação à Baía de Guajará, estudos similares foram realizados por Miranda e Mendes (2007) e Bock (2010), mas não associados às obras de dragagem, somente a variação da geomorfologia estuarina.

Na área portuária de Belém, o primeiro serviço de dragagem data de 1882, antes da inauguração do Porto de Belém em 1909, quando o presidente da Província General Barão de Maracajá, autorizou a desobstrução da área portuária de Belém. Cumprindo essa determinação, em 1886, a draga “Maracujá” e a Alvarenga “Alfredo” iniciaram o serviço de dragagem da Baía de Guajará (Pinheiro, 1987). Porém, nada se sabe sobre o destino dos sedimentos dragados. De lá para cá são realizados procedimentos de dragagem para manutenção das profundidades dos canais de acesso, bacias de evolução e berços de atracação ao porto, e a partir de 2000 todo o sedimento dragado é disposto em áreas de bota- fora definidas dentro da baía.

Diversos estudos já foram realizados na região, como o de Pinheiro (1987) que estudou as características hidrodinâmicas e sedimentológicas da Baía de Guajará; Silveira (1989) estudou a morfologia e a influência das correntes de maré superficiais e de fundo na modelagem do leito da Baía de Guajará; Moura (2007) buscou determinar a capacidade da Baía de Guajará em dispersar contaminantes lançados por indústrias às margens da baía; Gregório (2008) caracterizou a dinâmica e a textura do substrato da Baía de Guajará; Gregório e Mendes (2009) mostraram as modificações morfológicas e batimétricas (multitemporais) da Baía de Guajará; Bock (2010) avaliou as variações da morfologia do fundo da Baía de Guajará, e determinou a influência destas alterações sobre o padrão de circulação local, entre outros.

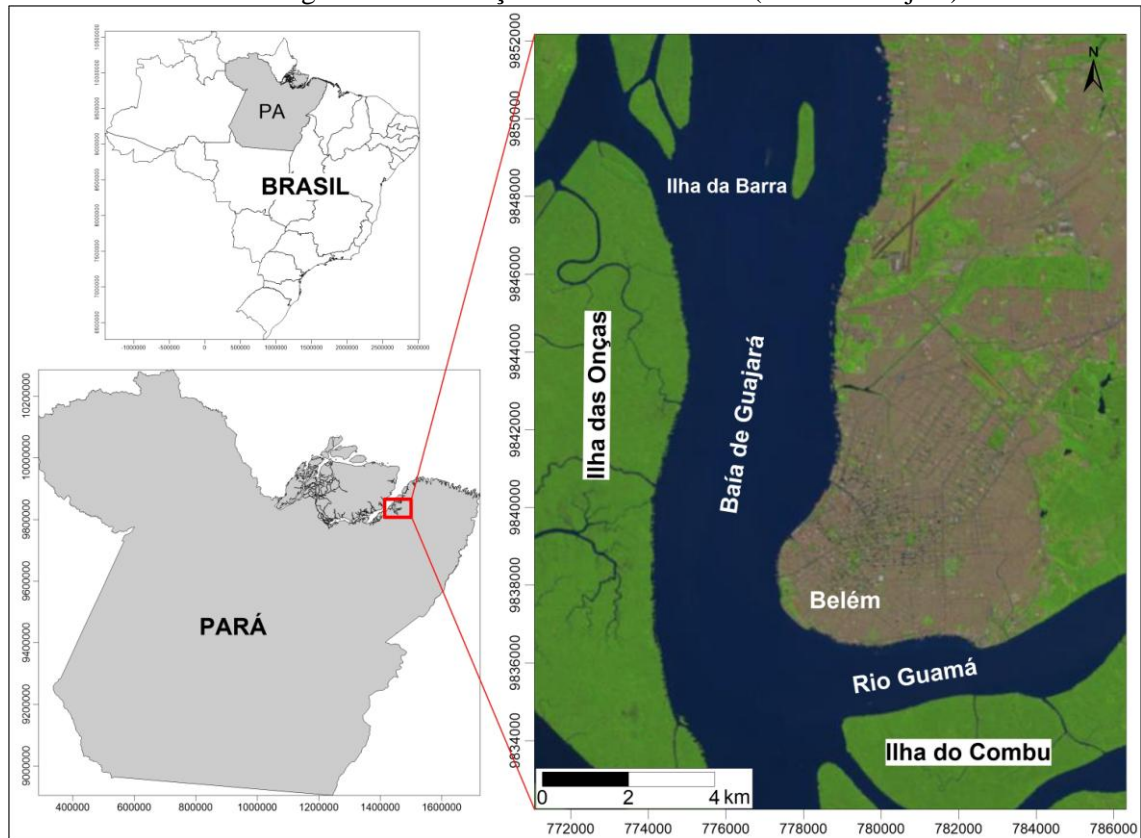
A Baía de Guajará é formada na confluência dos rios Acará e Guamá, a noroeste de Belém. Esta baía é margeada por numerosas ilhas e canais, principalmente na margem esquerda, com destaque para as Ilhas das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açu e Jutuba. Na sua margem direita está Belém, ao norte, separadas pelos “furos” do Maguari e das Marinhas, estão as ilhas do Outeiro e Mosqueiro (Pinheiro, 1987). As águas da Baía de Guajará são predominantes de um regime flúvio- marítimo, sendo em sua maioria de origem fluvial. Segundo Moura (2007) a mistura com a água salgada de origem marinha não modifica a coloração amarelada das águas turvas provenientes do rio Guamá. Ainda segundo a autora, as águas da Baía de Guajará apresentam elevada turbidez, são barrentas e de coloração amarelo-esverdeada, evidente nos sedimentos de furos e igarapés da região.

Esta baía sofre regimes de diferentes processos: (1) hidrológico- confluência dos rios Guamá e Acará; (2) hidrodinâmico- regime de mesomaré (amplitude de 3,1 m no Porto de Belém, (DHN, 2018)); (3) climático- do tipo Afí, Köppen; (4) antrópico - várias atividades industriais ocorrem nas suas margens, em particular à sua margem direita (município de Belém com 1.485.732 habitantes (IBGE, 2018)), que ocasionam altas quantidades de dejetos líquidos e sólidos não tratados, obras de aterro (por exemplo: Portal da Amazônia), inúmeros trapiches (cerca de 20), podendo provocar anteparos ao trânsito de sedimentos na coluna d’água e nos fundos e/ou redistribuição destes materiais na Baía de Guajará, vindo contribuir rapidamente com o assoreamento desta, e em particular nas áreas portuárias de Belém, Miramar, Base Naval, Sotave, e Canal de acesso.

Todos os estudos realizados na Baía de Guajará mostraram que a mesma vem se modificando ao longo do tempo, com criação e destruição de canais e bancos e sendo afetada por um processo mais acelerado de assoreamento, mesmo com sua elevada hidrodinâmica. Desta forma, se faz importante o conhecimento do comportamento dos sedimentos de fundo para um melhor gerenciamento de futuras dragagens. Uma vez que a dragagem é um processo caro e demanda estudos ambientais detalhados para execução da extração e para escolha das alternativas de disposição.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo central a análise do comportamento morfológico das áreas de bota- fora da Baía de Guajará (**Figura 1**) no período de 1984 a 2010 (26 anos) através da análise batimétrica de cartas náuticas do Porto de Belém disponibilizadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação).

Figura 1- Localização da área de estudo (Baía de Guajará).



Fonte: Autor.

1.1 Motivação pessoal

Decidiu-se verificar a evolução multitemporal (1984 a 2010- 26 anos) das áreas de bota- fora da Baía de Guajará, tais áreas são utilizadas para lançamento de sedimentos dragados do Complexo Portuário de Belém, Terminal Petroquímico de Miramar e Terminal de Outeiro, assim como do canal de acesso e bacia de manobra através de dados batimétricos. Esta técnica é utilizada em diversos estudos em várias partes do mundo e do Brasil na compreensão das transformações morfológicas de fundo.

A escolha do tema abordado nesta dissertação de mestrado foi baseada na ideia de integrar os conhecimentos oceanográficos no campo da engenharia naval. Tendo em vista que compreender a hidrodinâmica altamente complexa dos estuários amazônicos exige conhecimentos detalhados sobre o transporte de sedimentos e seus processos associados. Junto a isso está a necessidade de relacionar a evolução dos estuários à necessidade quase constante de processos de dragagem para manutenção de uma navegação segura e cada vez mais eficaz.

Outro ponto a destacar é a busca para diminuir as alterações e/ou impactos nos ambientes aquáticos, causadas por lançamento de sedimentos dragados. Isso significa novos métodos de descarte e alternativas de uso para os materiais dragados e uma das formas de avanço nesse sentido é a compreensão de como os sedimentos depositados no passado alteram os locais receptores.

1.2 Aspectos gerais do problema

Belém é construída sobre uma península sedimentar estuarina (PINHEIRO, 1987), com diversas indústrias de médio e grande porte, a cidade produz uma carga elevada de efluentes domésticos, lançados diretamente ou não no sistema hidrográfico nos cerca de 30 km de canais naturais, formados por baías, rios, furos e igarapés (SANTOS *et al.*, 2011). A hidrodinâmica local é fortemente influenciada pelas marés, com correntes em períodos de estiagem de 1,74 m/s (enchente na maré de sizígia) e 1,62 m/s (quadratura), 1,59 m/s (vazante na maré de sizígia) e 1,55 m/s (quadratura). No período chuvoso, as correntes de maré atingem 1,89 m/s (enchente na maré de sizígia) e 1,63 m/s (quadratura) (BOCK, 2010).

Foram autorizadas áreas de lançamento de sedimentos dragados (as áreas de bota- fora) na Baía de Guajará em 2000 (estudos feitos pela AHIMOR), até então, os sedimentos dragados eram despejados nas margens da baía ou utilizados para aterros em regiões portuárias. As áreas que receberam sedimentos dragados do canal de acesso ao Porto de Belém estão localizadas entre os Canais da Ilha das Onças e do Meio e sobrepostas em cima dos bancos do Meio e da Cidade, apesar do pouco tempo de uso destas áreas como bota- fora e da elevada dinâmica da baía, faz-se os seguintes questionamentos:

- 1) Os sedimentos oriundos das dragagens permanecem nas áreas de bota- fora?
- 2) Qual seria o volume de sedimentos, avaliado antes e depois da criação das Áreas de Bota Fora (1999)?
- 3) Quais as outras técnicas possíveis em receber e/ou aproveitar os sedimentos dragados?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento morfológico multitemporal (1984 a 2010- 26 anos) das áreas de Bota-Fora na Baía de Guajará, antes e depois de dragagens.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a morfologia das áreas de bota- fora na Baía de Guajará;
- Efetuar a análise multitemporal (1984 a 2010) da morfologia das áreas de bota- fora;
- Avaliar o balanço sedimentar de fundo nas áreas de bota- fora;
- Propor alternativas de destinação e uso de sedimentos removidos por dragagens, caso necessário.

1.4 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: A Introdução aborda os principais problemas ligados à necessidade de dragagens constantes em portos, bem como a necessidade da disposição correta dos sedimentos dragados que vem aumentando em volume ao longo dos tempos. Aborda trabalhos realizados no mundo sobre o referido tema e as perspectivas para gerenciamento dos sedimentos dragados;

Capítulo 2: Na Caracterização ambiental são descritas as principais características da área de estudo, começando pela bacia hidrográfica que compõe a Baía de Guajará, aspectos de clima/meteorologia, geologia, geomorfologia das margens e do fundo da baía, sedimentos de fundo da baía e parâmetros oceanográficos;

Capítulo 3: A Revisão da Literatura trata de estudos realizados na Baía de Guajará, dos mais antigos aos recentes, de diversas vertentes;

Capítulo 4: O Referencial teórico traz definições dos principais temas abordados na dissertação de mestrado, bem como apresentação de técnicas utilizadas para disposição de sedimentos dragados nas áreas de bota-fora em diversos portos brasileiros e de outros países;

Capítulo 5: Na Metodologia é descrito o passo a passo de cada etapa do trabalho até a obtenção dos resultados, desde os locais e órgãos que disponibilizaram as cartas náuticas aqui utilizadas, softwares e as ferramentas de cada um;

Capítulo 6: A Caracterização socioeconômica aborda itens importantes como a população da cidade de Belém do Pará, histórico e estruturas dos portos e trapiches localizados na Baía de Guajará;

Capítulo 7: Todos os resultados obtidos são apresentados aqui, bem como as discussões;

Capítulo 8: Alternativas para disposição de sedimentos dragados;

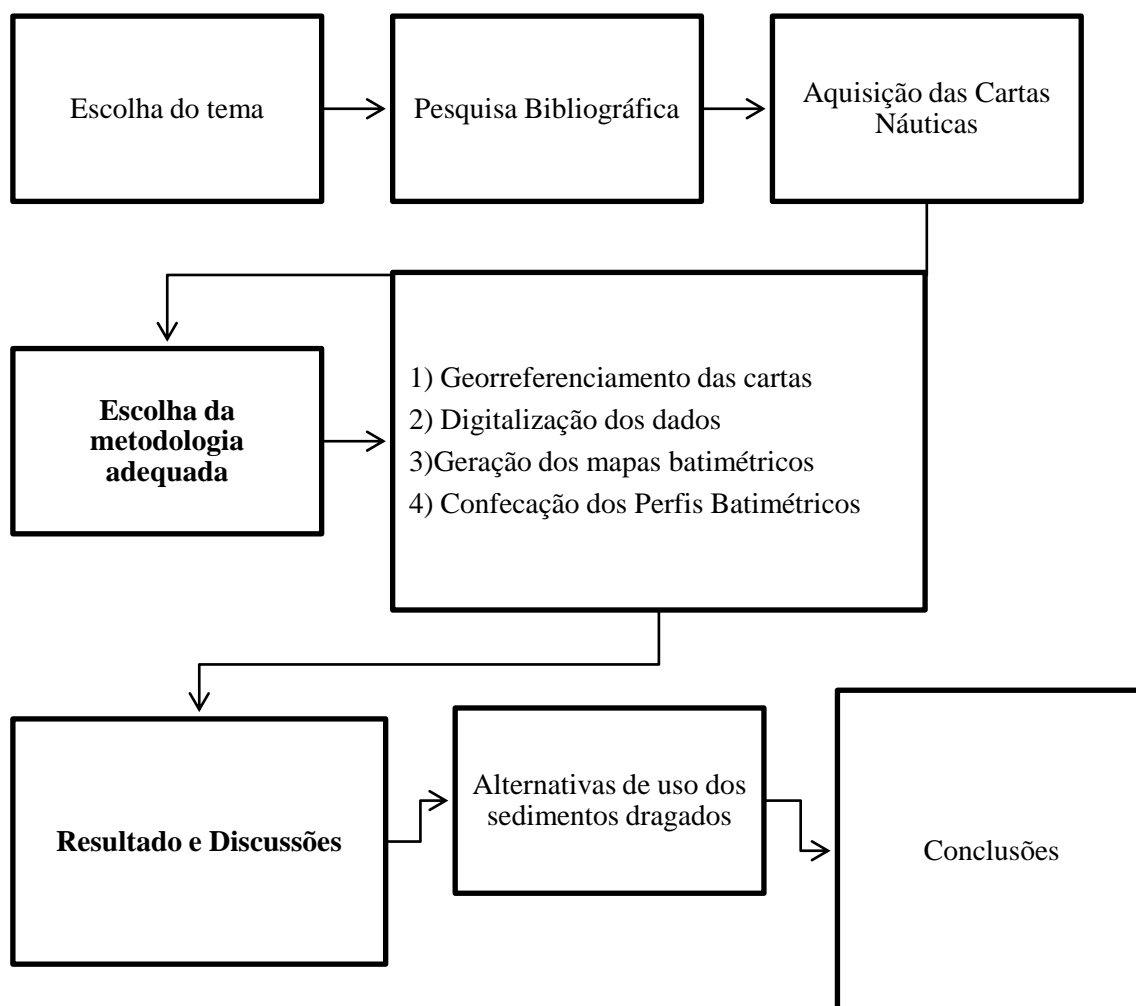
Capítulo 9: Nesse capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho a partir das análises dos resultados e com a literatura comparada;

Capítulo 10- Referências bibliográficas.

1.5 Fluxograma da dissertação

A **Figura 2** mostra os passos seguidos na construção da dissertação de mestrado, desde a escolha do tema a apresentação dos resultados no primeiro artigo, com as discussões e conclusão.

Figura 2- Fluxograma da dissertação de mestrado.



2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

2.1 Bacia hidrográfica e hidrologia

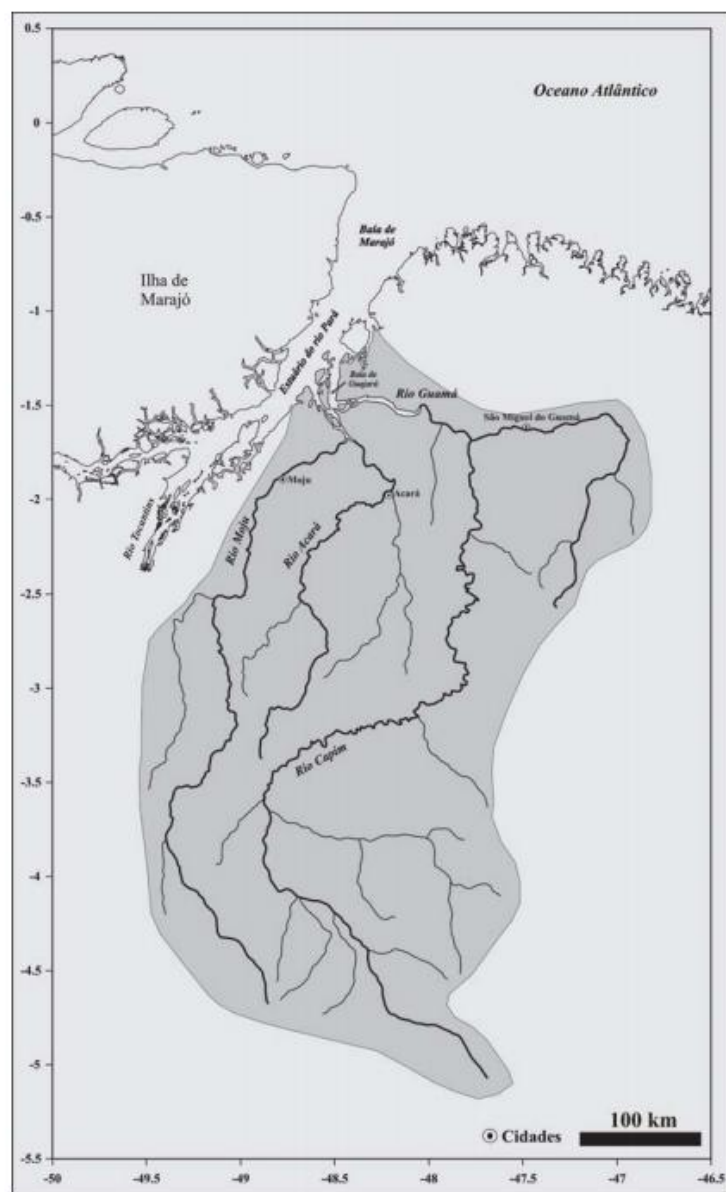
Na confluência dos rios Acará e Guamá forma-se a Baía do Guajará, localizada em frente à porção noroeste de Belém do Pará e prolongando-se até próximo da Ilha do Mosqueiro, onde se encontra com a Baía de Marajó, no rio Pará. Numerosas ilhas e canais compõem a margem esquerda da Baía do Guajará, sobressaindo-se a Ilha das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açu e Jutuba. Ao longo da margem direita segue-se a cidade de Belém e mais a norte, separadas pelos “furos” do Maguary e das Marinhas, as ilhas do Outeiro e do Mosqueiro, respectivamente (PINHEIRO, 1987).

Com relação aos canais que entrecortam estas ilhas, sobressai-se por sua importância para a navegação regional, o Canal do Carnapijó, um prolongamento do rio Acará em direção ao rio Pará, o Canal de Cotijuba, posicionado nas imediações da ilha de mesmo nome servindo de ligação entre a Baía do Guajará e o rio Pará, e o Canal do Piramanha que atravessa a Ilha das Onças desde confronte a Belém até o Canal do Carnapijó, em frente ao "Furo" do Arrozal.

O estuário do rio Guamá margeia a cidade de Belém ao sul e deságua na Baía de Guajará, possui águas pouco transparentes, com elevada quantidade de material argiloso em suspensão, proveniente da erosão das margens, tornando suas águas turvas de coloração amarelada. A hidrografia que compõe a Baía de Guajará é formada por duas grandes baías, a do Marajó e a do Guajará, pelos rios Acará, Guamá e Maguari, e por inúmeros igarapés, como o Aurá, Murutucu, etc (**Figura 3**).

A cidade de Belém ocupa uma área de 11.065 km², tendo grande porção insular (39 ilhas), corpos d'água volumosos, igarapés, furos e canais (Pereira, 2003). Várias bacias hidrográficas sofrem influência da Baía de Guajará dentre elas destacam-se as bacias Tamandaré, Comércio Reduto, Armas, Una, Val-de-cães, Cajé, Tapanã e do Paracuri.

Figura 3- Hidrografia da Baía de Guajará, com destaque para a sub-bacia Guamá-Moju.



Fonte: (GREGÓRIO; MENDES, 2009).

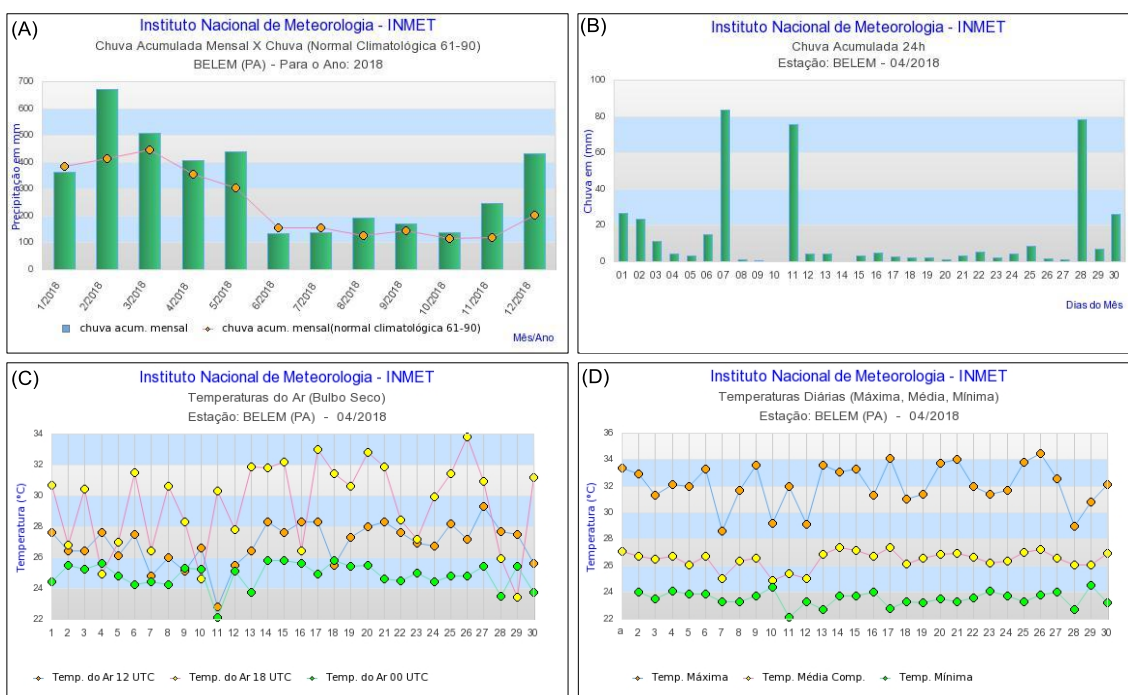
2.2 Clima e meteorologia

Na Região Metropolitana de Belém (RMB) o clima se caracteriza por uma especial isoterмия com amplitudes térmicas menores que 2°C. Não há distribuição regular das chuvas ao longo do ano. Existe uma redução no volume de chuvas entre os meses de junho a novembro, que é a estação “menos chuvosa“, ou verão, e aumento no volume de chuvas entre os meses de dezembro a maio, estação “chuvosa” ou inverno (PINHEIRO, 1987).

São comuns precipitações pluviométricas, de convecção, trazidas pelos ventos NE sobre a Baía de Guajará e ilhas adjacentes (BASTOS *et al.*, 2002). O regime das chuvas exerce uma grande influência sobre os sistemas hídricos da região (MORAES *et al.*, 2005). O regime de chuvas mostra oscilações consideráveis ao longo do ano, com os máximos ocorrendo nos meses de fevereiro, março e abril (> 600 mm) e os mínimos ocorrendo em julho e outubro (< 150 mm) para o ano de 2018 na Baía de Guajará (INMET, 2018).

A velocidade média do vento na região é de 1.50 m/s (Cunha, 2017). As temperaturas diárias mínimas chegam a 21° C e máximas a 34° C. A temperatura do ar oscila entre 23,8° C e 32° C (INMET, 2018) (**Figura 4**).

Figura 4- Variações mensais de precipitação para a RMB referente ao ano de 2018.



Fonte: (INMET, 2018).

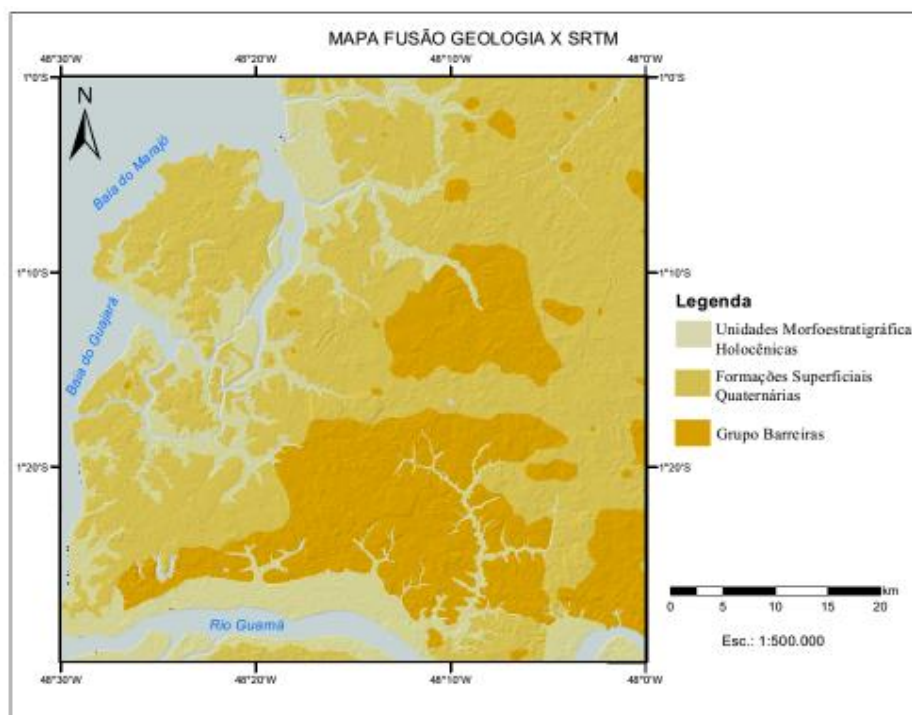
2.3 Geologia

Os terrenos da RMB e adjacências são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos inconsolidados do Grupo Pós-Barreiras. Encontram-se ainda a Formação do Grupo Barreiras (sedimentos continentais, Mioceno/Plioceno, de argilitos a conglomerados) e sedimentos atuais e subatuais (Holoceno) (PINHEIRO, 1987).

Predominam os terrenos sedimentares do Quaternário (Pleistoceno) nas zonas com cotas mais elevadas, consistindo de níveis de concreções ou carapaças ferruginizadas de areia ou argila. Algumas baixadas, com cotas de 4 m ou menos, na RMB, representam os terrenos fluviais inundáveis, sobretudo na época chuvosa ou durante a maré alta (PARÁ, 1995).

Para Pinheiro (1987), nas margens estuarinas da RMB, a cerca de 100-120 m da superfície encontram-se os sedimentos da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno) e, sobrepostos, em profundidades entre 100-150m encontram os sedimentos Terciários correlacionáveis ao Grupo Barreiras. Em seguida, o Quaternário, estaria repousando ao Pleistoceno/Holoceno Médio-Inferior, que poderia ser correlacionada aos sedimentos Pós-Barreiras, e, finalmente, no topo da seção, estariam os sedimentos Recentes (Figuras 5 e 6).

Figura 5- Mapa geológico da cidade de Belém.



Fonte: CPRM (2010).

Figura 6- Coluna estratigráfica aplicada para a RMB e adjacências. As unidades estratigráficas encontradas na Baía de Guajará estão estruturadas de modo interdigitado, sem que as camadas apresentem, aparentemente grandes continuidades.

UNIDADE	PROF.	IDADE		DESCRIÇÃO SUCINTA
Holoceno Superior ao Recente	0 à 40-50 m	Quaternário	10.000 a 4-5.000 anos A. P. ao recente.	Argilas siltosas e areias quartzosas com matéria orgânica
Holoceno Med.-inf.			10.000 à 16.000 anos A. P.	Siltos, argilas, areias finas a médias com siltos, siltos argilosos com grânulos e blocos de arenito ferruginoso.
Pleistoceno				
FORMAÇÃO BARREIRAS	0 à 100-150 m	Terciário Superior		Siltos argilosos com níveis de arenito ferruginoso, argila cinza clara, areias avermelhadas variadas e lateritas.
FORMAÇÃO PIRABAS	Entre 76 e 100 – 120 m.	Oligo-Mioceno		Areia argilosa cinza escura, grossa a muito grossa, sub-angular com grãos arredondados a subarredondados. Macro e microfósseis (foraminíferos), briozoários, moluscos, corais, fragmentos de ossos, etc.

Fonte: (PINHEIRO, 1987).

2.4 Geomorfologia

Na Baía de Guajará, 3 zonas morfológicas ocorrem nos fundos (PINHEIRO, 1987): Alto Fundo da baía (profundidade < 10 m, distribuída em toda a borda leste da baía, com bancos e canais rasos), Zona do Canal Principal (Canal da Ilha das Onças, profundidade entre 10 e 22 m) e a Barra do Guajará-Açu (extenso baixo, com profundidade < 5m).

Os setores mais profundos encontram-se nos canais da Ilha das Onças, às proximidades da Ponta de Porto Alegre (Ilha do Combu) (Gregório, 2008). As menores profundidades estão na região dos bancos do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade.

2.4.1 Geomorfologia das margens

Há um nítido contraste entre as duas margens da Baía de Guajará: do lado esquerdo, uma margem recoberta por vegetação, com comunidades ribeirinhas que vivem de subsistência e do lado direito, a cidade de Belém com uma margem urbanizada com portos e terminais hidroviários.

A **Figura 7** ilustra as duas margens da Baía de Guajará: a margem esquerda dominada por vegetação e casas de ribeirinhos, e a margem direita mais urbanizada (Belém).

Figura 7- Baía de Guajará mostrando o contraste entre as duas margens. (a) margem esquerda com vegetação nativa; (b) margem direita com grandes construções e o Porto de Belém.



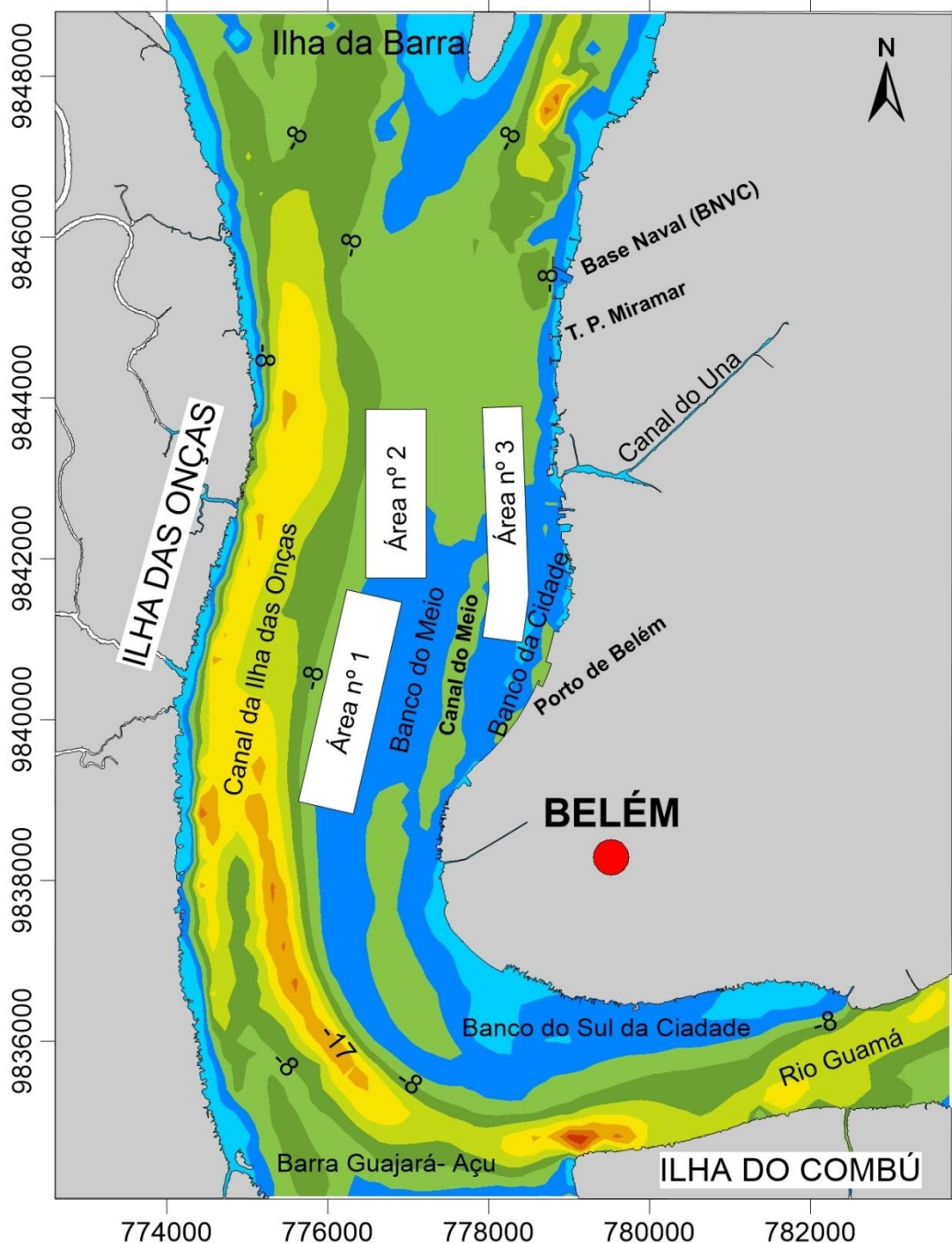
Fonte: Autor.

2.4.2 Geomorfologia do fundo

Os bancos de areia localizados na Baía de Guajará são: Banco do Meio, Banco da Cidade, Banco do Sul da Cidade e a Barra do Guajará- Açú. Os canais de maré são:

Canal da Ilha das Onças, Canal do Meio, Canal do Porto, Canal Oriental e do rio Guamá (Figura 8).

Figura 8- Mapa batimétrico mostrando as áreas profundas (Canal da ilha das Onças, Canal do rio Guamá, do Meio) e rasas (Bancos do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) na Baía de Guajará. As áreas de bota-fora nº 1, 2 ocorrem no Canal do Meio e nº 3 no Banco da Cidade.



O Banco do Meio possui 6 km de extensão e 1,4 km de largura, profundidade de 5 m. Este é o local das áreas de bota-fora nº 1 e 2, que receberam sedimentos dragados do Canal de Acesso e do Canal do Porto. Este banco correspondente a barras

longitudinais dispostas paralelamente ao eixo de maior comprimento da baía e é formado por sedimentos areno- lamosos (GREGÓRIO, 2008).

O Banco da Cidade possui 2,8 km de extensão e 768 m de largura. Sobre este banco está localizada a área de bota- fora nº 3; não foram encontrados registros de disposição de sedimentos dragados nesta área.

O Banco do Sul da Cidade está localizado na margem direita da Baía de Guajará, com 7,5 km de extensão, 521 m a 1,5 km de largura e profundidade entre 1 a 4 m. Este banco corresponde a uma extensa planície de maré lamosa, com alguns trechos de várzeas (GREGÓRIO, 2008). As correntes de maré de enchente se chocam com as correntes residuais de vazante, causando deposição de sedimentos trazidos pelos rios Guamá e Acará.

Os canais localizados na Baía de Guajará são: Canal Oriental que é utilizado como principal acesso ao Porto de Belém, com 80 m de largura e 6 m de profundidade e 3 km de comprimento. O Canal do Porto com 100 m de largura e profundidade de 6 m. O Canal da Ilha das Onças com 1,3 km de largura e 10 a 23 m de profundidade e o Canal do Meio com 280 m de largura e profundidade média de 5 m.

O canal principal caracteriza-se pelo Canal da Ilha das Onças (PINHEIRO, 1987). Ao longo da margem esquerda da baía, este canal apresenta forma assimétrica em V e na confluência com o rio Guamá tem formato em W (GREGÓRIO, 2008).

A Barra do Guajará-Açu, descrita inicialmente por Pinheiro (1987) e Silveira (1989) está localizada na confluência dos rios Guamá e Guajará-Açu, possui 1,6 km de extensão e 440 m de largura, formada por sedimentos provenientes do rio Acará que são depositados na região em virtude da perda de energia de transporte do rio ao atingir a zona de confluência (MIRANDA; MENDES, 2007).

Os bancos e canais presentes na Baía de Guajará possuem elevada dinâmica do aporte de sedimentos provenientes dos rios Acará, Guamá e Moju, retrabalhados na baía pela energia das marés e correntes associadas (BOCK, 2010).

2.5 Sedimentação de fundo na Baía de Guajará

Pinheiro (1987) encontrou diversos tipos texturais de substrato na Baía de Guajará, com predominância de areias puras e areias siltosas, algumas apresentando quantidade de silte acima de 50%. Ocorrendo, secundariamente, sedimentos síltico-

argilosos e argilo-siltosos, sendo menos comuns materiais siltosos e argilosos. O autor individualizou duas fácies texturais de maior relevância na região: a) Fácies Lamosa e b) Fácies Arenosa.

A fácies lamosa compõe-se de sedimentos silticos (>75% de silte) é predominante no rio Guamá, próximo à desembocadura do igarapé Tucunduba, nas adjacências do Furo da Paciência e na margem direita da Baía de Guajará. Os sedimentos com mais de 75% de argila podem ser encontrados no talvegue do rio Guamá e no Canal da Ilha das Onças, provenientes de camadas semi-consolidadas do substrato estuarino e erodidos pelas fortes correntes da vazante (PINHEIRO, 1987; SILVEIRA, 1989).

A fácies arenosa compreende sedimentos arenosos (>75% de areia) e areia siltosa. Abrange cerca de 70% da área submersa da Baía de Guajará, com ampla distribuição. Sedimentos com mais de 75% de areia ocorrem nos diversos bancos e preenchendo partes dos principais canais, enquanto sedimentos areno-siltosos podem ser encontrados amplamente dispersos, com quantidades variadas de silte, em todo eixo central do rio Guamá e Baía de Guajará.

Gregório (2008) de acordo com a distribuição textural de Folk e Ward (1957) classificou os sedimentos da Baía de Guajará como: 65% silte, 15% areia muito fina, areia fina 12%, areia média 6% e areia grossa 2%.

Os depósitos lamosos tendem a se distribuir no setor leste-sudeste da Baía de Guajará, que corresponde à orla de Belém. Já os sedimentos arenosos são encontrados na margem oeste, associados aos canais e/ou formando bancos de areia.

Na Baía de Guajará os sedimentos possuem assimetria aproximadamente simétrica. Amostras assimétricas no sentido dos finos (assimetria levemente positiva) estão distribuídas na zona do banco da Barra, no centro da baía. Amostras assimétricas no sentido dos grosseiros (assimetria levemente negativa) se distribuíram nas zonas onde sedimentos arenosos predominam (GREGÓRIO, 2008). Para o autor, nos setores onde a assimetria apresentou valores positivos (porção sul e central) ocorre a deposição de sedimentos, com regime hidrodinâmico calmo. Na área onde a hidrodinâmica é mais forte, a assimetria apresentou valores negativos (setor noroeste, sedimentos grosseiros).

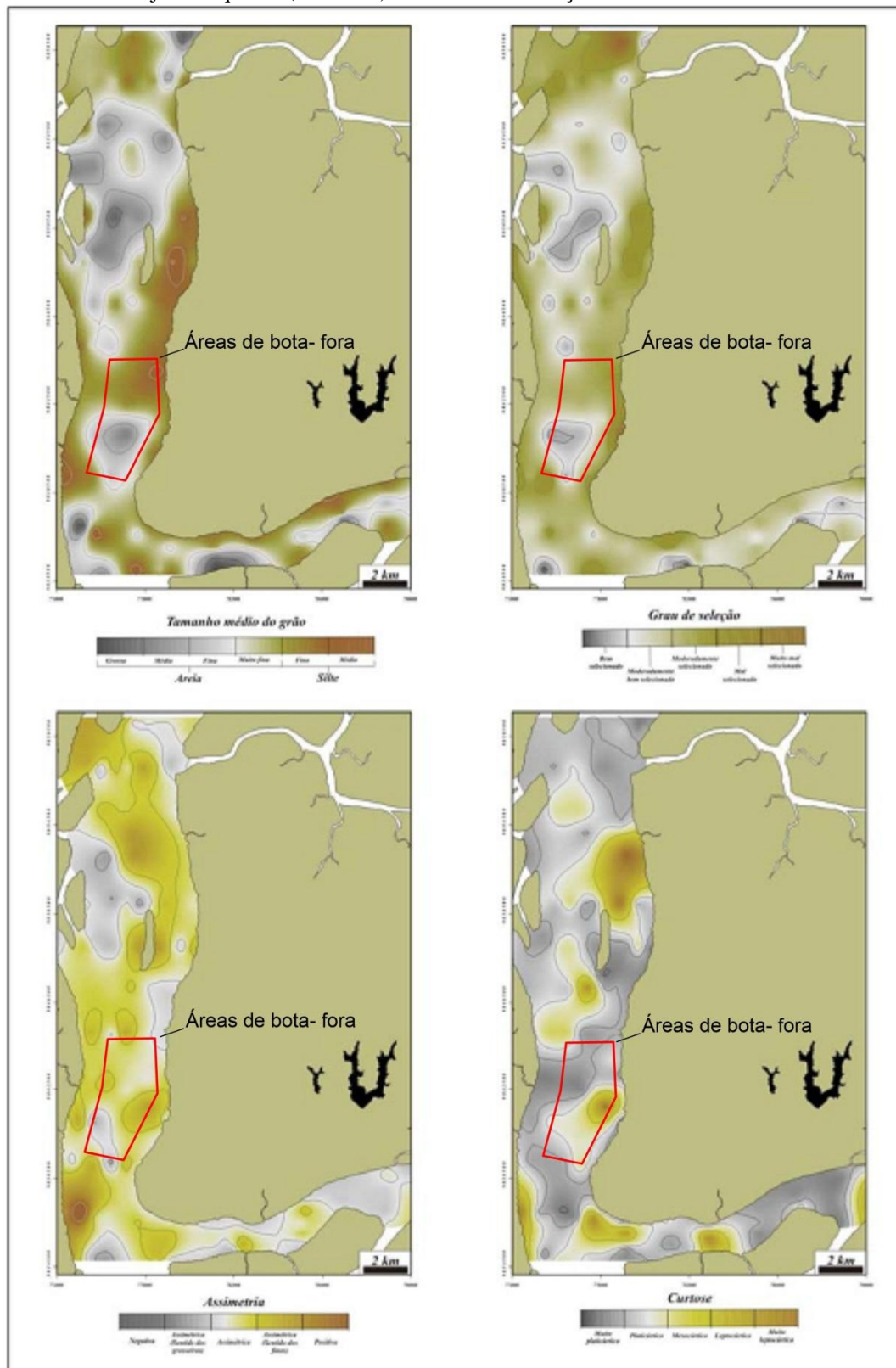
A curtose na Baía de Guajará foi o parâmetro que mais variou (Gregório, 2008). Na baía predominam sedimentos platicúrticos, seguidos de sedimentos mesocúrticos, não sendo observado um padrão. O domínio de sedimentos platicúrticos pode ser atribuído ao predomínio de uma única classe (silte).

De acordo com o desvio padrão (grau de seleção), os sedimentos são mal selecionados na Baía de Guajará, em quase toda a sua extensão. Sedimentos bem selecionados estão em zonas compostas por areia, enquanto sedimentos muito mal selecionados são encontrados na margem direita: limite norte e em alguns setores da margem leste, ambos os setores caracterizados pela presença de planícies de maré lamosas.

As áreas de lançamento dos sedimentos dragados na Baía de Guajará estão recobertos por sedimentos classificados pelo tamanho médio dos grãos como: médio a fino; pelo grau de seleção: bem selecionados e moderadamente selecionados; pela assimetria: assimétrica e assimétrica negativa; pela curtose: platicúrtica e mesocúrtica.

A **Figura 9** mostra os mapas da distribuição espacial dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) para sedimentos de fundo da Baía de Guajará (tamanho médio do grão, grau de seleção, assimetria e curtose).

Figura 9- Parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) para sedimentos de fundo da Baía de Guajará. O quadro (vermelho) refere-se à localização das áreas de bota-fora.

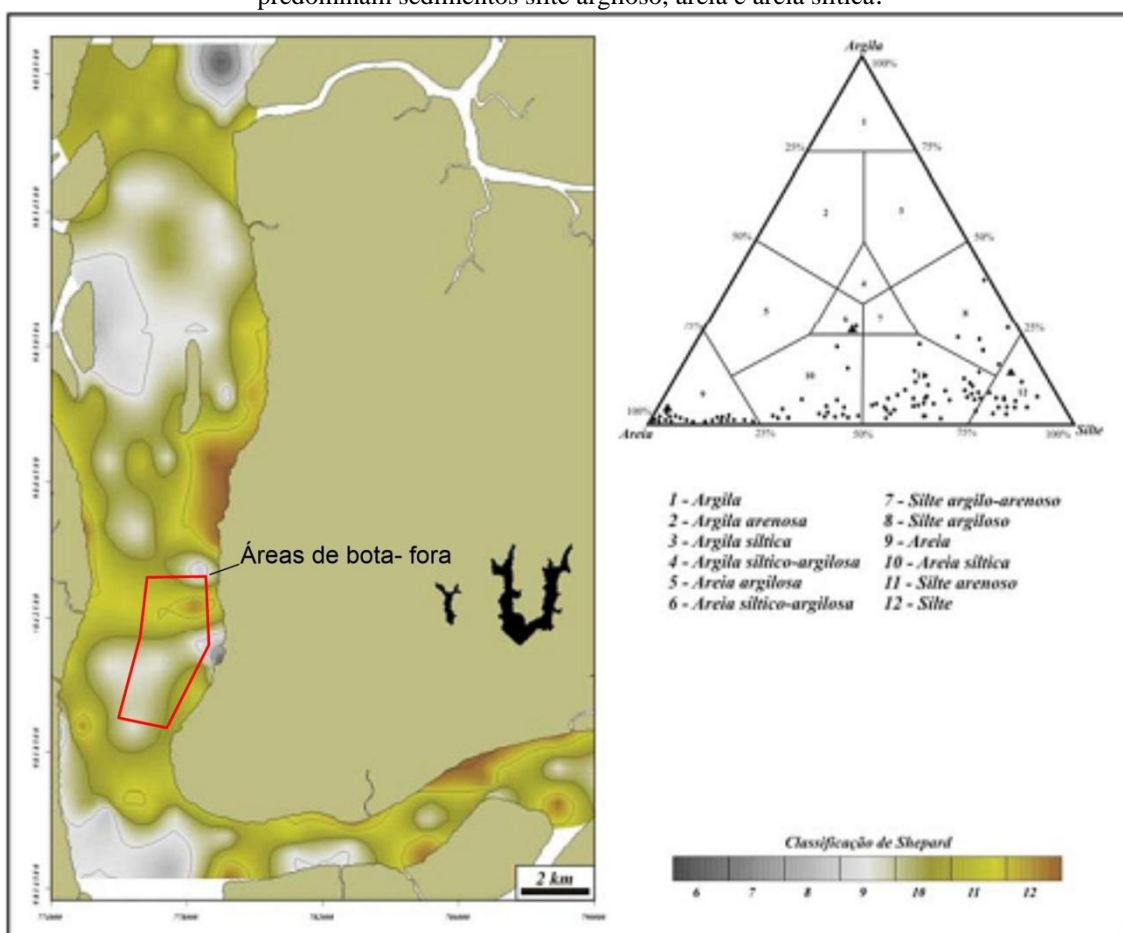


Fonte: Gregório (2008).

A distribuição espacial dos sedimentos de acordo com Shepard (1954) mostra os sedimentos classificados como silte arenoso principalmente no setor centro sul da Baía de Guajará. Na margem direita, as áreas de bota fora estão recobertos por sedimentos de silte, areia e areia siltica. Depósitos de areia siltica ocorrem no setor SW, no Canal da Ilha das Onças e nos bancos de lama (GREGÓRIO, 2008).

A **Figura 10** mostra o mapa de distribuição sedimentológica (Diagrama triangular de Shepard) da Baía de Guajará, com destaque para a localização das áreas de bota-fora.

Figura 10- Mapa de distribuição sedimentológica de acordo com o Diagrama triangular de Shepard (1954) na Baía de Guajará. O quadro (preto) mostra a localização das áreas de bota fora onde predominam sedimentos silte argiloso, areia e areia siltica.



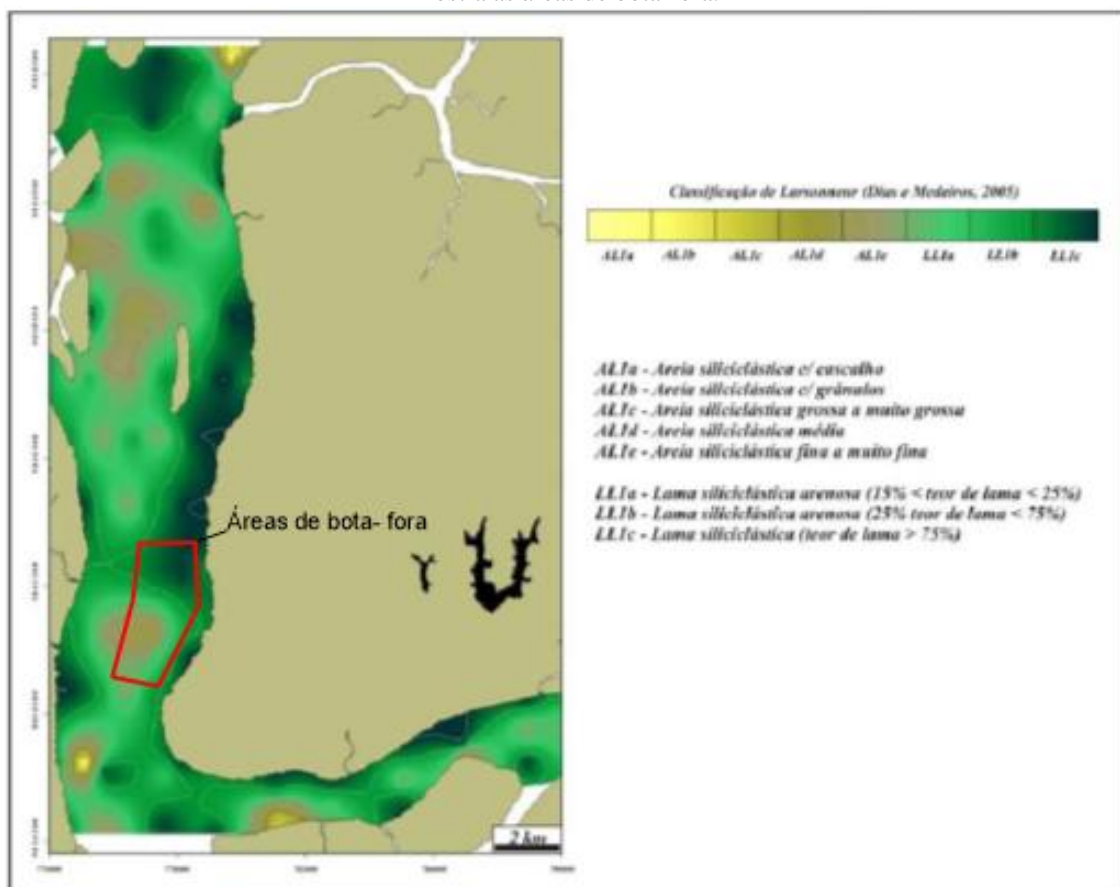
Fonte: Gregório (2008).

Na Baía de Guajará, 72% dos sedimentos são do tipo LL1 (Lamas Siliciclásticas Arenosas - $15\% < \text{teor de lama} < 75\%$). Na margem esquerda do rio Guamá e em

porções dos canais da Baía de Guajará ocorrem sedimentos classificados como A11a (Areia siliciclástica com cascalho) e A11b (areia siliciclástica com grânulos). Os depósitos arenosos no setor sul da área de estudo são classificados como do tipo AL1e (Areia siliciclástica grossa e muito grossa).

As áreas de bota fora estão recobertas por sedimentos de areia siliciclástica média a areia siliciclástica fina a muito fina (**Figura 11**).

Figura 11- Distribuição de Larsonneur (1977) aplicada à Baía de Guajará. O quadro (preto) mostra as áreas de bota-fora.



Fonte: Gregório (2008).

2.6 Condições oceanográficas

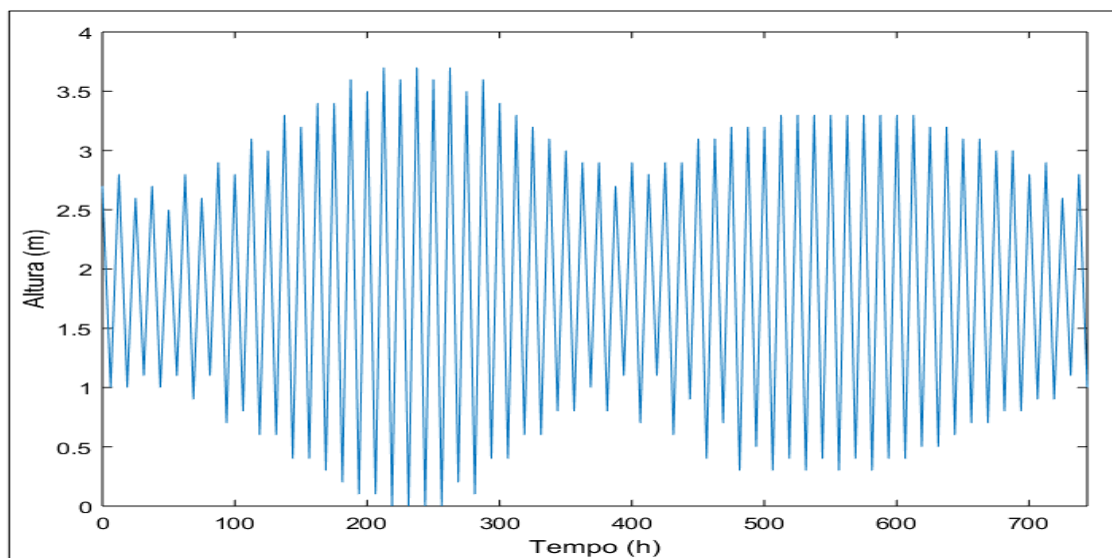
2.6.1 Amplitude de maré

Na Baía de Guajará, o regime de marés é semidiurno com variação de 2,1 m em preamar de quadratura, e 3,7 m em preamar de sizígia (DHN, 2018). Na Baía de Guajará durante as marés de sizígia e de quadratura, as correntes de enchente e de

vazante se implantam inicialmente no Canal do Porto e, somente cerca de 35 a 45 minutos após, passam a dominar nos canais do Meio e da Ilha das Onças.

Foram utilizados dados de previsão de maré da DHN (Porto de Belém) para confecção do maregrama da Baía de Guajará (**Figura 12**).

Figura 12- Maregrama da Baía de Guajará do mês de março.



Fonte: Autor.

2.6.2 Correntes de maré

A propagação da maré em estuários através das correntes de maré é muito importante para o transporte de sedimentos que promove, modelando os fundos e atuando em toda a coluna d'água como forçante do transporte de sedimentos em suspensão (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

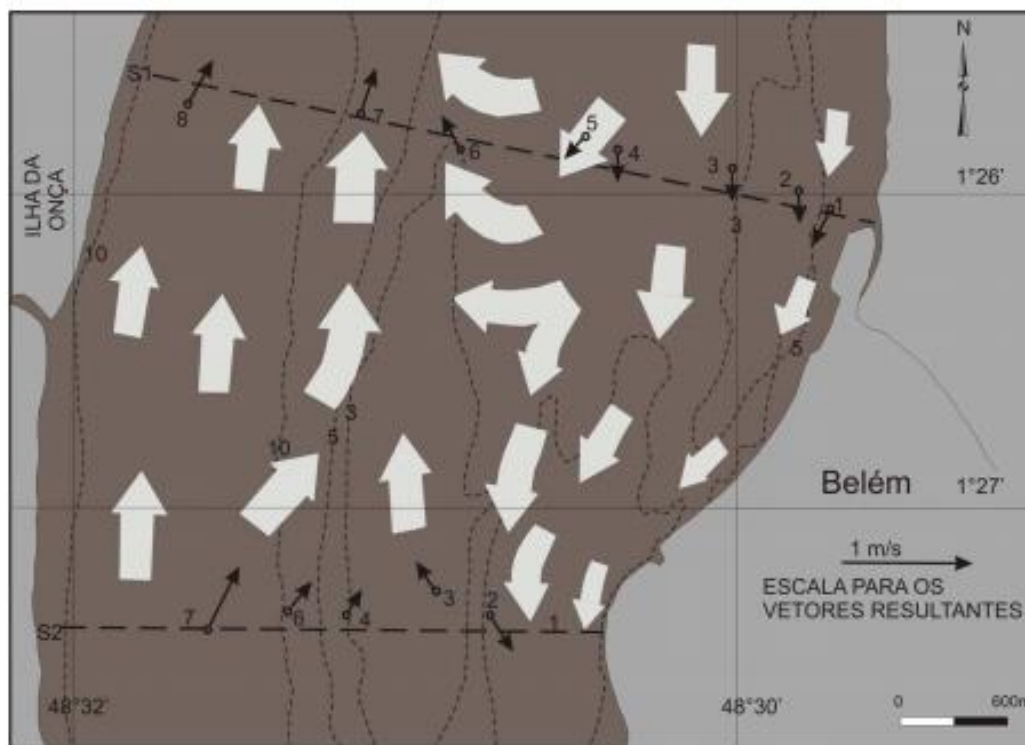
Para Gregório (2008), há uma contribuição de sedimentos arenosos da Baía do Marajó e do rio Pará para a Baía de Guajará através de correntes de marés, uma vez que nos setores que predominam areia existe uma série de canais e conexões.

As correntes de maré são formadas pelas oscilações de uma onda de maré. Possuem como característica básica a periodicidade e atingem toda a camada líquida, podendo ser giratórias (tomam todas as direções possíveis), alternativas (escoamento bidimensional-vazante e enchente) ou hidráulicas (em estreitos ou afunilamento) (IPPEN, 1966).

Na Baía de Guajará, as velocidades máximas ocorrem durante as marés de sizígia, na enchente, a 1 m da superfície da água, as velocidades médias mais baixas associam-se às marés de quadratura, na vazante, do mesmo modo a 1 m da superfície da água, a velocidade máxima absoluta ocorre nas marés de sizígia, sendo a máxima ocorrendo durante a vazante (1,74 m/s) e a enchente (2,10 m/s) (PINHEIRO, 1987).

Nas correntes de marés de sizígia nos canais de enchente (Canal do Porto e Canal do Meio) durante a enchente, as curvas de velocidade de correntes são aproximadamente simétricas. O tempo de atuação das correntes de vazante ultrapassa em cerca de 2 horas o da enchente. No Canal de Vazante (Canal da Ilha das Onças) as curvas são simétricas e agudas durante as enchentes e assimétricas para as vazantes (**Figura 13**). A duração das correntes de vazante ultrapassa o tempo de atuação das enchentes em pouco mais de 2 horas (PINHEIRO, 1987).

Figura 13- Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na Baía de Guajará, para momento de implantação de enchente (aproximadamente 1h a 1:30hs após a estofa da baixa-mar).



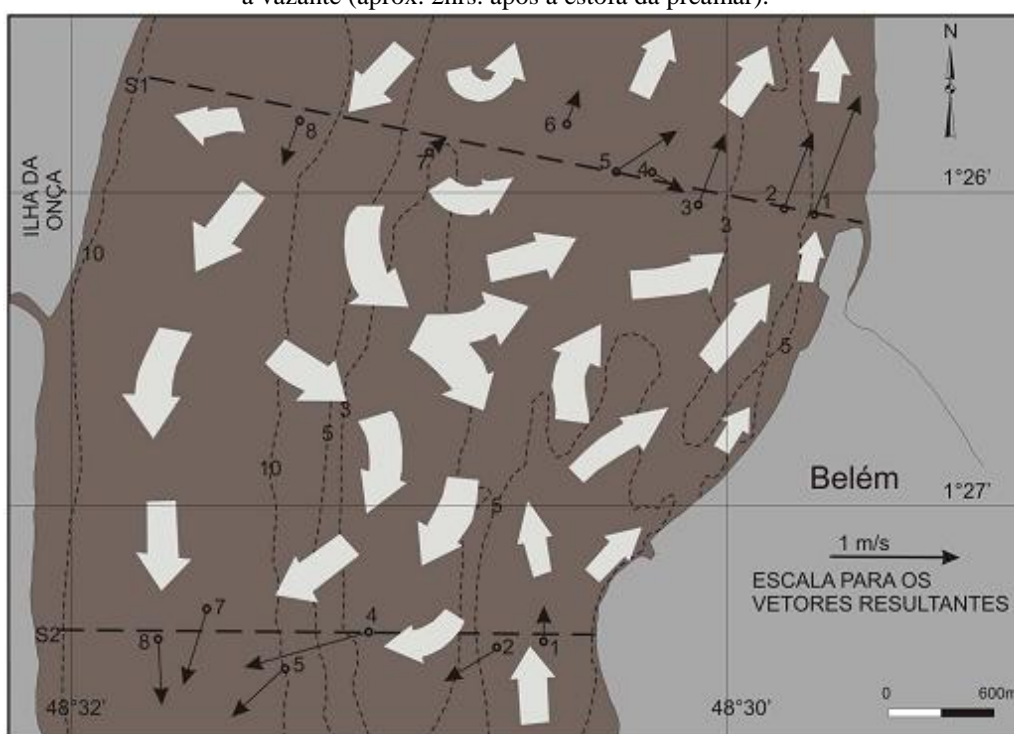
Fonte: (PINHEIRO, 1987).

Em alguns pontos as correntes de enchente sofrem deflexões refletindo uma mudança de direção a partir do fundo para a superfície. Na zona central da baía (onde estão localizadas as áreas de bota- fora) ocorre uma bifurcação no sentido das correntes,

com uma componente, buscando o sentido do fluxo de vazante dos canais do Meio e do Porto e outra acompanhando o fluxo de montante.

As correntes de enchente se implantam inicialmente nos canais de Porto e do Meio, avançando pela margem direita da baía, enquanto que no canal da Ilha das Onças predominam ainda as correntes de vazante (**Figura 14**). Na região mais larga da baía, as correntes de enchente que avançam pelo Canal do Meio sofrem deflexão em direção do Canal da Ilha das Onças acompanhando o sentido das correntes de vazante (PINHEIRO, 1987).

Figura 14- Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, durante a vazante (aprox. 2hrs. após a estofa da preamar).



Fonte: Pinheiro (1987).

No modelo implantado na Baía de Guajará por Bock (2010), os valores de correntes de maré foram semelhantes aos do Pinheiro (1997). A autora analisou 2 períodos (chuvoso e seco ou de estiagem) em 2 cenários (1962 e 2002).

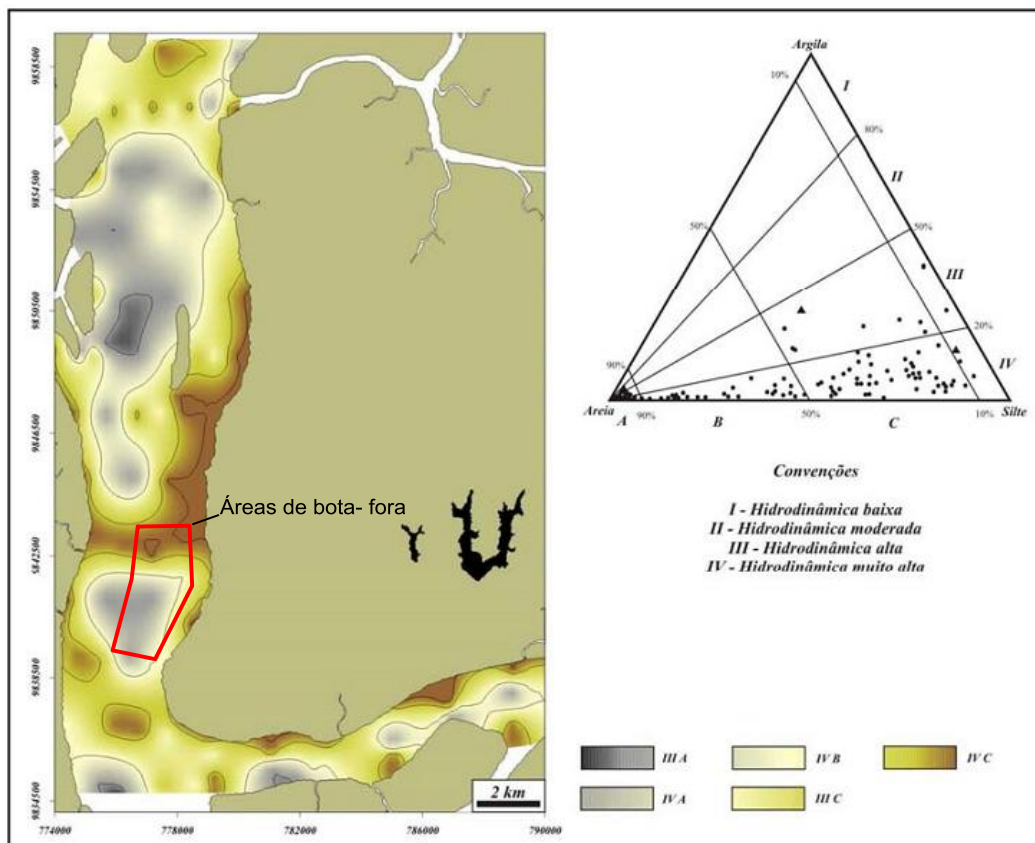
Em 1962, no período chuvoso, as correntes durante a enchente alcançaram 1,43 m/s na sizígia e 1,34 m/s na quadratura. Na maré vazante, 1,32 m/s na sizígia e 1,27 m/s na quadratura. Já no período de estiagem, durante a enchente as correntes atingiram 1,35 m/s na sizígia e 1,25 m/s na quadratura. Na vazante, 1,22 m/s na sizígia e 1,09 m/s na quadratura.

Em 2002, no período chuvoso, as correntes alcançaram 1,89 m/s na sizígia e 1,70 m/s na quadratura na maré enchente. Na vazante, 1,78 m/s na sizígia e 1,63 m/s na quadratura. No período de estiagem, as correntes durante a maré de enchente alcançaram 1,74 m/s na sizígia e 1,62 m/s na quadratura. Na vazante, 1,59 m/s na sizígia e 1,55 m/s na quadratura.

2.6.3 Hidrodinâmica

Na Baía de Guajará a hidrodinâmica é classificada como alta e muito alta (GREGÓRIO, 2008). A **Figura 15** mostra a distribuição da hidrodinâmica em toda a Baía de Guajará, com destaque para as áreas de bota-fora em vermelho, onde há uma predominância de uma hidrodinâmica alta a muito alta, porém mais moderada que o restante da baía.

Figura 15- Diagrama de Pejrup mostrando o grau da hidrodinâmica (baixa, moderada, alta, muito alta) na Baía de Guajará. O quadro (vermelho) representa a área de bota fora, região com predominância de hidrodinâmica moderada a alta.



Fonte: Gregório (2008).

2.6.4 Salinidade

O mecanismo de entrada da maré salina na Baía de Guajará se dá no período entre o final da vazante e o início da enchente, quando as águas provenientes dos rios Guamá e Guajará-Açu, com salinidade relativamente baixa (0,04- 0,12), ocupam todo o canal de vazante pela margem esquerda da baía (PINHEIRO, 1987).

Por outro lado, no canal de enchente, registram-se valores de salinidade variando entre 0,15-0,42, indicando a entrada das águas mais condutivas salobras e não fluviais. Os valores mais elevados de salinidade ocorrem próximo ao fundo, indicando a penetração da maré salina sob a forma de cunha que adentra o canal de enchente (PINHEIRO, 1987).

3 REVISÃO DA LITERATURA

O estuário de Guajará representa um ambiente de alta energia hidráulica, com fortes correntes de marés que interagem com a elevada energia fluvial dos rios Guamá e Acará. A fisiografia dos fundos estuarinos é sujeita a modificações periódicas relativamente rápidas (PINHEIRO, 1987). Este referido trabalho é pioneiro na Baía de Guajará e apresentou importantes características hidrodinâmicas, sedimentológicas e oceanográficas.

Silveira (1989) estudou a morfologia de fundo da Baía de Guajará, através da batimetria e sonografia. Esta autora levantou questões a respeito da influência antrópica na morfologia de fundo da Baía de Guajará, identificando dois tipos de interferências: a modificação direta e a indireta da geomorfologia da calha estuarina que é a construção do cais do porto de Belém e do cais de arrimo do campus universitário da UFPA, classificada como ação humana direta e a dragagem de manutenção dos canais de acesso do porto de Belém.

Batista (2005) criou um modelo de dispersão de poluentes na Baía de Guajará usando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica e o Método de Elementos Finitos.

Miranda e Mendes (2007), através de cartas náuticas estudaram a evolução batimétrica da Baía de Guajará. O estudo baseou-se nas cartas náuticas de 1962 e de 2003. Os resultados permitiram definir a dinâmica das modificações morfológicas e batimétricas na baía, como deslocamento de canais, progradação e migração de bancos e as alterações no relevo de fundo.

Moura (2007) estudou a capacidade da Baía de Guajará na dispersão de poluentes lançados por indústrias localizadas às margens da baía. Para isso, realizou 3 campanhas para coleta de amostras de água superficial no trecho entre os bairros de Val-de-Cans e Icoaraci, nos meses de maio, agosto e novembro. As amostras foram coletadas a 0, 50, 100, 200 e 400 m da margem do estuário, em frente às empresas de pescado, cervejaria e matadouro. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, material particulado em suspensão, oxigênio dissolvido, oxigênio consumido, CO₂ livre, nitrato, fosfato total, sulfato, alcalinidade total e cátions Na, K, Ca e Mg. Alguns parâmetros como pH, condutividade, cor, material particulado em suspensão, turbidez, CO₂ livre e alcalinidade não sofreram mudanças significativa nos valores em relação à sua distribuição espacial, já outros

parâmetros como oxigênio dissolvido e os nutrientes apresentaram mudanças ao longo dos 400 m da margem. Todos os parâmetros apresentaram modificações em relação à sazonalidade.

Saraiva (2007) avaliou a distribuição geoquímica dos metais de chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), zinco (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) em sedimentos de fundo e testemunhos da Baía de Guajará. Os pontos de coleta foram próximos da margem da Ilha das Onças, Jararaquinha, Mirim, Jutuba e do Canal Val-de-Cans. Foram realizadas análises sedimentológicas, mineralógicas e químicas em sedimentos superficiais de fundo e testemunhos de 50 cm de profundidade. Todas as concentrações obtidas dos metais foram abaixo de seus índices PEL- Probable Effect Level (Nível de efeito Limiar), que é um nível acima dos quais efeitos adversos ocorrem frequentemente. Os metais pesados de Pb, Cr, Ni e Mn apresentam valores máximos superiores aos índices TEL e sugerem influência antropogênica. Os resultados mostraram que a Baía de Guajará não apresenta, ainda, índices alarmantes de contaminação.

Costa (2008) caracterizou a composição fitoplanctônica na foz do rio Guamá, durante um ciclo anual, relacionando suas variações aos principais parâmetros hidrológicos. Os fatores hidrológicos não apresentaram variações relevantes entre as estações e os períodos sazonais. Foram identificadas 174 espécies distribuídas em diatomáceas, clorofíceas, cianofíceas, euglenofíceas, crisofíceas e dinoflagelados.

Gregório (2008) avaliou os potenciais impactos e riscos de acidentes ambientais na Baía de Guajará com base em dados batimétricos, sedimentológicos e nas características do uso e ocupação das margens. Os estudos batimétricos da Baía de Guajará e foz do rio Guamá mostraram extensas zonas de baixa profundidade (< 10 m), com as maiores profundidades nos canais de enchente e de vazante. Nas zonas de baixa profundidade se observaram bancos e depósitos sedimentares areno- lamosos e arenosos. A análise batimétrica mostrou o crescimento e erosão dos fundos com o aprofundamento do Canal da Ilha das Onças, a escavação dos Canais do Meio e Oriental. Ainda este autor classificou os sedimentos de fundo da baía por tamanho médio do grão (FOLK; WARD, 1957; WENTWORTH, 1922), pelo diagrama de Shepard (SHEPARD, 1954) e pela distribuição de Larssonneur (DIAS, 1996).

Gregório e Mendes (2009) caracterizaram os depósitos sedimentares da Baía de Guajará. Os resultados mostraram que a pouca presença de fração argila nos sedimentos

de fundo sugere que a Baía de Guajará funcione como uma zona de “by passing” de sedimentos.

Boock (2010) avaliou as variações da morfologia do fundo da Baía de Guajará para determinar a influência de alterações sobre o padrão de circulação local através da elaboração de um modelo hidrodinâmico. Para isso, foram construídas duas grades numéricas: uma baseada em uma carta náutica de 1962 e outra fundamentada em dados de um levantamento batimétrico realizado em 2002. O modelo numérico utilizado foi o Princeton Ocean Model (POM). Os resultados mostraram que a Baía de Guajará é marcada pela presença de bancos sedimentares e canais profundos, que influenciam fortemente a hidrodinâmica local. As análises comparativas entre as batimetrias de 1962 e 2002 caracterizaram grandes alterações apresentadas pela baía ao longo dos anos, com aprofundamento de muitas de suas áreas em 2002, principalmente o Canal da Ilha das Onças e a parte inferior do Canal Oriental. Os resultados obtidos apontam que a hidrodinâmica, em todos os cenários, é fortemente influenciada pelas marés e descarga fluvial dos rios Guamá e Acará-Moju e que as alterações na morfologia implicam em variações significativas no padrão de circulação.

Holanda (2010) estudou o comportamento geoquímico de metais nos sedimentos de fundo da Baía de Guajará, no rio Guamá e da Baía do Marajó, sendo duas regiões de características distintas. A Baía de Guajará tida como uma região de influência antrópica e a Baía do Marajó como referência. Foram determinadas concentrações químicas dos seguintes metais: Ba, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, V e Zn, além de teores de nitrogênio, carbono, matéria orgânica, o fósforo total e o fósforo ligado a compostos orgânicos.

Sodré (2014) desenvolveu, adaptou e implementou uma metodologia visando a determinação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em sedimentos, utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência. A autora avaliou a distribuição e a origem dos HPAs em sedimentos da orla da Baía de Guajará. A partir dos resultados obtidos classificou a Baía de Guajará como moderadamente impactada. A combustão constitui a fonte predominante de HPAs nos sedimentos da Baía de Guajará, seguida da combustão de biomassa vegetal e aporte de petróleo e derivados.

Blanco (2015) avaliou a hidrodinâmica da Baía do Guajará na região do aterro feito para a construção do Portal da Amazônia através de um modelo hidrodinâmico bidimensional de águas rasas de Saint-Venant. No modelo, as equações de conservação de massa e momento foram integradas ao longo da profundidade na direção vertical e

discretizadas no plano horizontal. Com os resultados obtidos, concluiu-se que os impactos das obras não alteram o fluxo global das marés e não são necessárias medidas de mitigação.

Andrew (2018) estudando as influências de fatores ambientais sobre a densidade e composição de Cladocera da área portuária da Região Metropolitana de Belém, classificou as águas superficiais da Baía do Guajará, de acordo com os cálculos do Índice de Estado Trófico (IET), como eutrófica e supereutrófica. O mesmo autor afirma que os processos de alterações ambientais na qualidade da água da região portuária podem provocar modificações na composição e densidade dos organismos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Estuários

O termo estuário vem do latim “aestuarium” usado inicialmente pelos romanos para designar parte de um rio influenciado pela maré (ELLIOTT; MCLUSKY, 2002). São lugares onde os rios encontram o mar (WANG, 1989). As definições existentes nunca serão adequadas para todas as necessidades, sendo necessária sempre uma abordagem diferente (TAGLIAPIETRA *et al.*, 2009).

Na definição moderna, o termo estuário é restrito ao curso inferior de um rio, onde os processos fluviais e marinhos interagem. Alguns autores restringem a parte estuarina ao limite da intrusão de água salgada, como Pritchard (1967), outros definem até o limite de alcance da maré no curso do rio como critério principal, como Dionne (1963), Fairbridge (1980), Perillo (1995).

A definição da influência marinha através da dinâmica das marés e da intrusão salina é a mais abrangente, porém esses limites não são estacionários, ambos oscilam ao longo do rio de acordo com os períodos do ano, ciclos da maré e volume da descarga do rio (FLEMMING, 2012).

Segundo Dyer (1997) “estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano, estendendo-se rio acima até o limite da influência das marés, sendo que em seu interior a água do mar é imensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Miranda *et al.* (2002) “estuário é uma reentrância do mar, que atinge o vale de um rio até o limite de influência da maré, subdividido em três setores: a) estuário inferior ou marinho, com ligação livre com o oceano aberto; b) estuário médio, sujeito à intensa mistura da água marinha com a água fluvial; c) estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré”.

Jackson (2013) afirma que os estuários são áreas onde a água oceânica se mistura com a água doce da drenagem continental.

Os estuários são alvos de intensa exploração, especialmente, pelo fato de ser local favorável a concentração urbana, de indústrias e pela facilidade do transporte hidroviário. Atualmente a maior parte da ocupação humana concentra-se nos litorais de todos os continentes, principalmente as margens de grandes estuários, comprometendo, a qualidade dos ambientes aquáticos (MIRANDA *et al.*, 2002).

Em geral, os estuários são rasos e com a variação do nível do mar sofrem mudanças drásticas na escala de tempo geológica (DYER, 1995). A morfologia dos estuários em todo o mundo é altamente variável e atribuída a fatores físicos como a variação climática (tropical, úmida e temperada), descarga fluvial (sazonal e episódica), energia das ondas (localmente, pelo oceano), regime de maré (micro, meso e macro) e disponibilidade e características dos sedimentos (propriedades texturais de tamanho e granulometria) de fontes de terras altas e marinhas (JACKSON, 2013).

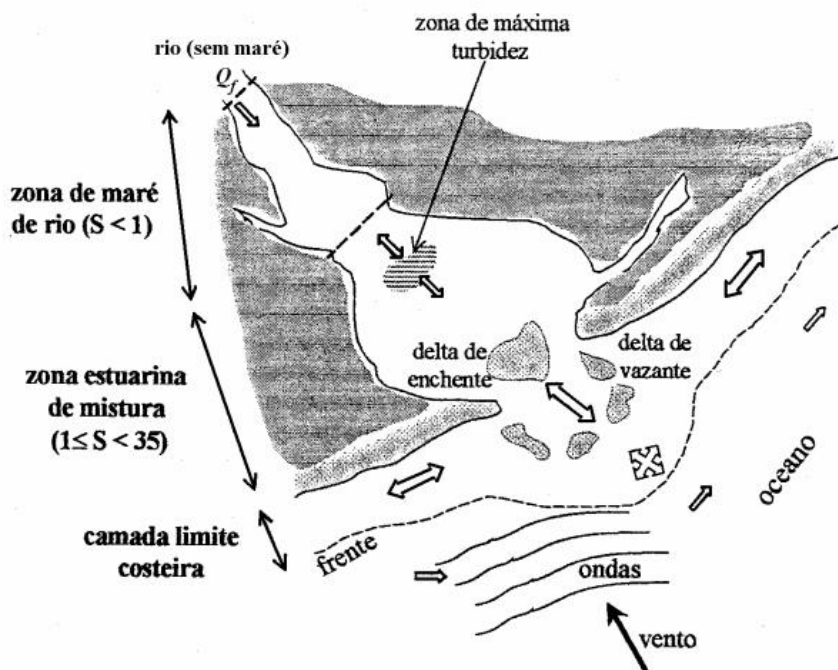
Kjerfve (1989) dividiu o estuário em três zonas, com base na interação entre o prisma de maré e a descarga fluvial, fatores responsáveis pela circulação e padrão de sedimentação (**Figura 16**):

Zona de Maré do Rio (ZR) - onde a salinidade da água é sempre menor que 1 (unidade prática de salinidade), mas o efeito da maré dinâmica ainda é observado na cabeceira do estuário, sendo o limite das correntes bidirecionais;

Zona de Mistura (ZM) - área que apresenta uma variação de salinidade entre 1 a 35, com correntes bidirecionais e onde uma zona de turbidez máxima pode ser observada;

Zona Costeira (ZC) - localizada na zona costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina, delimitando a camada limite costeira, onde a salinidade observada coincide com a salinidade oceânica.

Figura 16- Diagrama esquemático das zonas de ZR, ZM e ZC de um estuário. S equivale à salinidade e Q à descarga de água doce.



Fonte: (KJERFVE, 1989).

4.1.1 Classificação dos estuários

As classificações são convenções que podem ser desenvolvidas ou adaptadas às situações regionais ou locais, embora a aplicabilidade universal possa, em alguns casos, ser desejável por razões práticas (FLEMMING, 2011).

Os estuários podem ser classificados ou descritos com base em inúmeros critérios, mas alguns desses são mais importantes para a geomorfologia, como fisiologia e morfologia (PRITCHARD, 1967a, FAIRBRIDGE, 1980), estágio de desenvolvimento e grau de preenchimento (Roy, 1984) e evolução morfológica (DALRYMPLE *et al.*, 1992; COOPER, 1993).

Hayes (1975) classificou os estuários pela altura da maré como: (1) micromaré, com variação da altura inferior a 2m; (2) mesomaré, com variação da altura superior a 2 m e inferior a 4m; (3) macromaré, com variação da altura superior a 4 m e inferior a 6m.

A dinâmica dos estuários é considerada a mais complexa quando comparada com a dinâmica dos oceanos abertos e dos rios, há uma dificuldade para organizar e agrupar as características para classificação dos estuários similares em conjunto (MIRANDA *et al.*, 2002).

Stommel (1951) considera as causas físicas predominantes dos movimentos e da mistura de água nos estuários: maré, vento e descarga fluvial (MIRANDA *et al.*, 2002).

Do ponto de vista hidrológico, os estuários foram classificados pelos padrões de circulação produzidos pela interação entre a água do mar conduzida pela maré e a água doce da descarga fluvial (PRITCHARD, 1955; PRITCHARD; CARTER, 1971).

A Baía de Guajará, distante 120 km do oceano Atlântico, de acordo com a salinidade ocorrente no final de vazante e início de enchente (0,04 – 0,12) pode ser classificada como parcialmente misturado de acordo com Pritchard (1955), pelo regime de maré é do tipo meso-maré (altura da maré > 2 e < 4 m) de acordo com a classificação de Hayes (1975).

4.1.1.1 Classificação geomorfológica

Pritchard (1952) desenvolveu outro sistema de classificação, com base em características geomorfológicas (**Figura 17**), onde agrupou os estuários em: planície costeira (formada pelo afogamento da foz e vale de rios), fiordes, formado por barras, e os demais não classificados nos tipos precedentes.

A) Planície Costeira

São estuários típicos de regiões costeiras que se formaram durante a transgressão do mar, que inundou os vales dos rios no Holoceno. O processo de inundação foi muito mais acentuado do que o de sedimentação e a topografia atual tornou-se muito semelhante ao vale do rio. São estuários rasos, raramente excedendo 30m de profundidade. A área da seção transversal aumenta estuário abaixo, às vezes de forma exponencial, e a configuração geométrica da seção transversal tem a forma de V. A razão largura/profundidade, é grande, embora esteja na dependência do tipo de rocha em que o vale do rio foi escavado. O fundo é preenchido com lama e sedimentos finos na sua parte superior, tornando-se mais grossos em direção à entrada (MIRANDA *et al.*, 2002).

Este tipo de estuário está localizado em regiões tropicais e subtropicais, sendo comuns na costa Leste da América do Norte, como os estuários das baías de Chesapeake e Delaware. Também são muito comuns no Brasil, como os estuários dos rios São Francisco, das Contas e Potengi nos litorais Leste, Norte e Nordeste brasileiro.

B) Fiorde

Os fiordes formaram-se durante o Pleistoceno em regiões recobertas com calotas de gelo, devido à intensa escavação glacial na planície costeira ou próximo à plataforma continental. A pressão das calotas sobre os blocos continentais e os efeitos erosivos durante o descongelamento aprofundaram os vales dos rios primitivos deixando um alto fundo rochoso na entrada (MIRANDA *et al.*, 2002). Os fiordes ocorrem em latitudes altas e comuns no Alasca, na Noruega, no Chile e na Nova Zelândia. Por serem profundos, os fiordes apresentam a razão largura e profundidade relativamente pequena, quando comparada àquela dos estuários de planície costeira, e tem seção transversal

aproximadamente retangular. Os fiordes possuem um fundo rochoso, de sedimentação recente, baixa descarga fluvial, se comparada ao volume total do sistema, mas pode ser grande em relação ao prisma de maré. Nos meses de inverno a descarga fluvial nos fiordes é muito pequena ou ausente (MIRANDA *et al.*, 2002).

C) Construído por Barra

São estuários formados com inundação de vales primitivos de rios durante a transgressão marinha, mas a sedimentação recente ocasionou a formação de barras na foz. Estes estuários estão associados a regiões costeiras que podem sofrer processos erosivos com facilidade, produzindo grandes quantidades de sedimentos que são retrabalhados pelas ondas e transportados por correntes litorâneas (MIRANDA *et al.*, 2002).

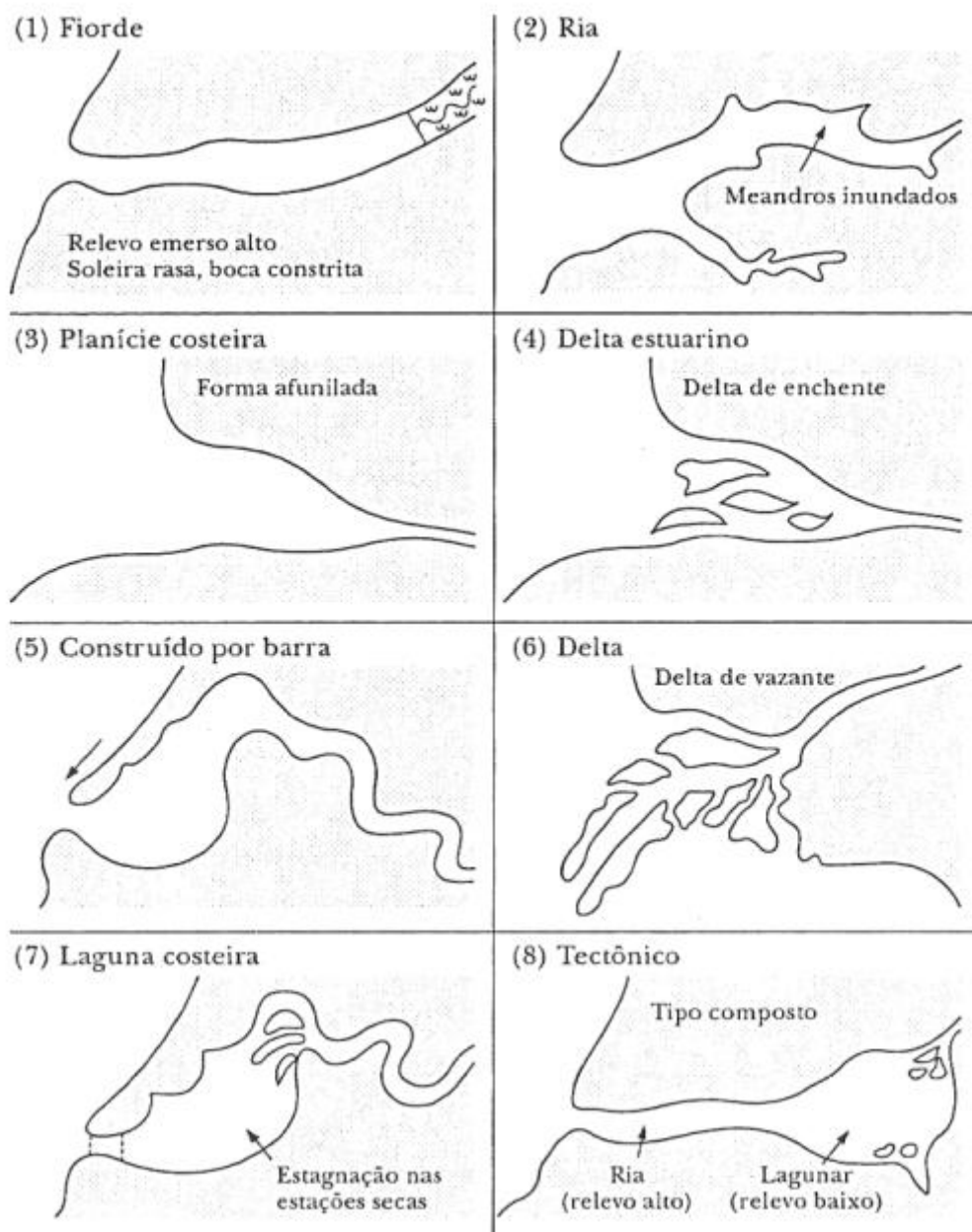
São estuários rasos, com profundidade não superior a 20- 30 m, e podem apresentar canais e lagunas extensas no seu interior. O rio ou conjunto de rios que alimenta esse tipo de estuário, além de apresentar descarga variável de acordo com a estação do ano, pode transportar grande concentração de sedimentos em suspensão, ocasionando alterações sazonais na geometria da entrada (MIRANDA *et al.*, 2002).

D) Outros estuários

Os estuários também podem ser formados por processos erosivos, através da ativação de falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra (MIRANDA *et al.*, 2002). Nesta categoria, estão também os estuários cuja morfologia foi muito alterada por processos de sedimentação recente nos últimos milênios, como os deltas e as rias.

Na Baía de Guajará, as baixas profundidades e o atrito de fundo produzem uma acentuada assimetria nas curvas de marés, a subida do nível d'água leva cerca de 5 horas, já a descida dura, em média, 7 horas, notadamente nas marés de sizígia (Pinheiro, 1987). Dessa forma, pode-se classificar a Baía de Guajará como do tipo planície costeira de acordo com Pritchard (1952).

Figura 17- Tipos geomorfológicos de estuários.



Fonte: (FAIRBRIDGE, 1980).

4.1.2 Sedimentos e feições estuarinas

A maioria dos sedimentos encontrados nos estuários é coesiva e composta por frações finas (argila e silte), matéria orgânica (natureza diversa), água salgada ou salobra, e em alguns casos, areias finas (CUSTÓDIO, 2016). Os sedimentos com partículas de diâmetro $> 63\mu\text{m}$ são considerados frações grossas, as partículas $< 63\mu\text{m}$

são os finos. Os sedimentos finos são divididos em silte grosso (20 a 63 μ m), silte médio (6 a 20 μ m), silte fino (2 a 6 μ m) e argilas (<2 μ m).

A estrutura dos fundos dos estuários formados por materiais coesivos varia com o tempo (PINHO, 2005). As suas espessuras ativas têm entre 0,01 e 1 m e podem ser divididas em zona superficial e consolidadas (COSTA, 1995).

Comuns em estuários, os bancos de areia são corpos costeiros arenosos que formam uma sobre-elevação no leito, com um contorno batimétrico fechado. São encontrados nos estuários e áreas costeiras, locais com abundância de sedimentos arenosos e regime hidrodinâmico com capacidade de transporte (AZEVEDO, 2012).

Dyer e Huntley (1999) estabeleceram uma classificação baseada em uma relação genérica entre diferentes bancos em função de sua origem e desenvolvimento, com três tipos principais de bancos e vários subtipos.

Bancos de plataforma (*open shelf ridges*): com até 80 km de extensão, 13 km de largura média e dezenas de metros de altura. São orientados a um ângulo com relação ao escoamento, são assimétricos e parecem migrar em direção de sua face mais íngreme.

Bancos de foz larga (*wide mouth ridges*) são formados na foz de estuários largos, estando alinhados com o escoamento e migrando no sentido contrário a face mais íngreme.

Bancos de foz estreita (*narrow mouth ridges*) ocorrem em estuários de foz estreita, as correntes de maré são fortes o suficiente para fechar a embocadura, enquanto as ondas são dominantes.

Bancos de foz estreita com recessão-deltas de maré vazante (*with recession-ebb tidal deltas*) são formados próximos à foz como deltas de vazante e enchente.

Bancos de foz estreita sem recessão-bancos conectados à costa (*without recession-shoreface connected ridges*) ocorrem quando a costa está se retraíndo, quando o delta de vazante forma uma fonte primária de areia para a região próxima à costa, a qual pode ser modificada por tempestades e originar bancos conectados à costa.

Bancos associados a promontórios (*headland associated banks*): (1) banner banks-promontório sem recessão (*banner banks-nonrecessional headland*) esses bancos podem ser gerados através de vórtices de marés produzidos por cabos; (2) bancos alternados (ou "en-echelon") ocorrem quando o cabo está se retraíndo, onde estes tendem a ficar isolados da costa conforme ele regride.

4.1.3 Transporte de sedimentos em estuários

Os estuários são rotas de sedimentos transportados pelos rios em direção ao mar (Dyer, 1995). Esses sedimentos ao serem transportados pelos rios tem a distribuição do tamanho dos grãos do sedimento alterada pela contínua erosão, transporte e deposição.

Os sedimentos exibem três formas nos rios: dissolvidos, em suspensão e de fundo (CHRISTOFOLETTI, 1981). A granulometria dos sedimentos nos estuários, em sua grande maioria, é composta por sedimentos finos, resultado do processo de retrabalhamento ao longo dos rios, aonde as frações maiores vão se depositando primeiro.

De acordo com Dyer (1995), três tipos de transporte de sedimentos podem ocorrer nos estuários: a carga de lavagem (*wash load*) corresponde ao movimento do sedimento fino que se move verticalmente sob qualquer velocidade da corrente incidente, é difícil de depositar, a suspensão (*suspension*) descreve o movimento do sedimento que foi erodido no fundo e colocado em suspensão, e a carga de fundo (*bed load*) depende da granulometria do sedimento.

No caso dos sedimentos finos, o transporte acontece como lama fluída, que tem sua origem relacionada à floculação e à deposição de sedimentos finos no núcleo de turbidez máxima (COSTA, 2014). As propriedades texturais dos sedimentos disponíveis para serem arrastadas e transportadas são um fator de controle na probabilidade de ocorrer erosão ou deposição (JACKSON, 2013).

Uma vez arrastados, os sedimentos transportados pelo fluxo do rio podem exibir uma granulometria bimodal com sedimentos grosseiros e finos, o sedimento mais grosso será transportado pelo fundo do leito e os sedimentos mais finos serão transportados em suspensão (JACKSON, 2013). Já nos estuários, a fração mais fina pode ser agregada por floculação que influenciará a velocidade de decantação e a deposição no leito.

O processo de arraste, transporte e de deposição de sedimentos em um estuário é resultado de um conjunto complexo de processos de rios, marés e ondas que operam em diferentes escalas temporais (NICHOLS; BIGGS, 1985; BOVI *et al.*, 2017). A circulação gravitacional estuarina e assimetria das marés influenciam diretamente no processo de transporte de sedimentos finos em suspensão (SHI *et al.*, 2004).

Como as concentrações de sedimentos suspensos em estuários são altas, as partículas são finas, coesivas, propensas à floculação e ricas em matéria orgânica.

Afetadas pelos ciclos de maré, as partículas frequentemente sofrem processos físicos como erosão, transporte e deposição, e químicos, como, por exemplo, absorção e adsorção a outros elementos. Assim, mesmo quando existe o aporte apenas de sedimento fino, pode ocorrer o assoreamento de canais de navegação, restringindo a operação portuária (DYER, 1995).

Nos estuários de meso e macro-maré, existe um máximo de turbidez, uma zona onde as concentrações de sedimentos em suspensão são maiores que as que ocorrem no fluxo do rio. A alta descarga do rio move a zona para o mar e, em prazos mais curtos, a zona mudará em resposta ao aumento e à queda da maré (DYER, 1995).

O desenvolvimento e a manutenção do máximo de turbidez foram explicados pela circulação residual em estuários parcialmente misturados que retornam sedimentos finos para os alcances superiores do estuário. Nos estuários de macro-maré, o máximo de turbidez foi atribuído às assimetrias de marés que aumentam o potencial de transporte de sedimentos em direção à cabeceira do estuário (DYER, 1995).

Um dos principais fatores que diferencia a hidrodinâmica dos estuários da dos rios é a maré, que ao receber a descarga fluvial gera processo de turbulência. Apenas entre o período de subida e descida da maré que se tem um momento de turbulência mínima. Neste intervalo de tempo, os sedimentos mais pesados depositam-se no fundo. O movimento das correntes quando aumenta, suspende os sedimentos na coluna d'água, porém, ao contrário do rio que tem fluxo contínuo na camada superior, as partículas estão agora na camada mais baixa da circulação estuarina, onde o movimento médio da água é a do oceano em direção a montante (TOMCZAK, 2000).

O desenvolvimento de portos na região dos estuários pode afetar a dinâmica estuarina, causando mudanças hidrodinâmicas que podem afetar os padrões de transporte de sedimentos (Prumm e Iglesias, 2016). Para estabelecer a influência das atividades portuárias de dragagens são necessárias análises temporais e da resposta morfodinâmica do estuário aos eventos de retirada e disposição de sedimentos dragados (MONGE-GANUZAS *et al.*, 2013).

4.2 Gerenciamento de sedimentos dragados

O serviço de dragagem consiste na escavação e remoção (retirada, transporte e deposição) de solo, rochas decompostas ou desmontadas (derrocamento) submersos em qualquer profundidade e por diversos tipos de equipamentos em mares, estuários, rios etc., (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

A dragagem se faz necessária não somente para implantação, aprofundamento ou manutenção, mas também para a remediação, que tem como propósito limpar e recuperar áreas com sedimentos contaminados (GOES FILHO, 2004).

Os trabalhos de dragagem (ampliação e aprofundamento dos canais de acesso, a obtenção de profundidades adequadas ao longo das instalações da orla, etc.) são necessários para realizar atividades de manutenção em muitos portos em todo o mundo. Durante esses trabalhos, podem ocorrer impactos ambientais relacionados ao processo de extração. Considerando os enormes volumes de sedimentos gerados pela dragagem, algumas diretrizes desenvolvidas em nível de políticas nacionais e internacionais podem garantir o melhor desempenho das atividades de dragagem (JONGE *et al.*, 2014; REYES-MERLO *et al.*, 2017).

A maneira pela qual o material dragado é descartado tornou-se talvez o aspecto mais difícil, e também incompreendido, da dragagem (IADC/CEDA, 1997). A decisão de descartar o material, em vez de usá-lo, é baseada em considerações principalmente, econômicas (IADC/CEDA, 1997).

A eliminação de sedimentos no mar tornou-se o foco de considerável atenção nos últimos anos, principalmente quando se trata de dragagens costeiras, porém, este método pode ter uma grande variedade de impactos no meio marinho. As alternativas de manejo para o material dragado podem ser agrupadas nas 5 categorias principais (IADC, 2005):

- a) Realocação sustentável: os sedimentos marinhos e/ou fluviais contribuem para a sustentabilidade dos ecossistemas naturais. Por isso, na avaliação ambiental, a realocação no ambiente natural deve ser considerada como primeira opção,
- b) Uso benéfico: o material dragado é cada vez mais considerado como um recurso e não um desperdício,
- c) Descarte em águas abertas: eliminação em águas abertas significa a disposição do material dragado em locais designados em oceanos, estuários, rios e lagos, não sendo isolado das águas adjacentes durante a colocação. Esse lançamento é

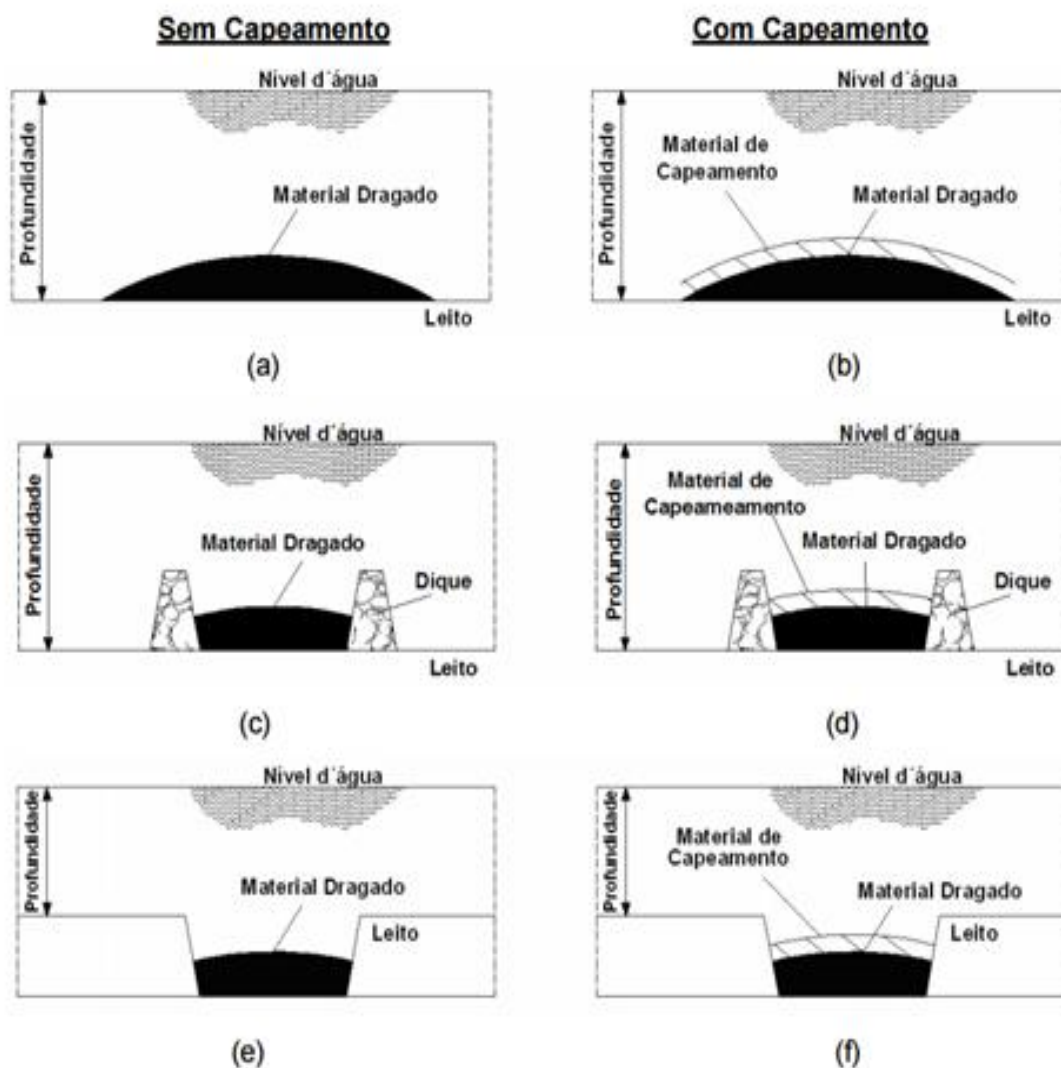
via tubulações ou barcaças. Os locais de águas abertas podem ser dispersivos ou não dispersivos (retentivos) dependendo se o sedimento é transportado para fora do local ou se permanece dentro dos limites estabelecidos. Os sedimentos comumente descartados em águas abertas são os limpos ou levemente contaminados, embora o descarte dos altamente contaminados também possa ser considerado com medidas de controle apropriadas,

- d) Eliminação confinada: significa que o material dragado é colocado em uma estrutura de contenção projetada, ou seja, dentro de diques ou porções, em poços naturais ou construídos, ou cedidos. O material é isolado das águas ou solos adjacentes durante e após a colocação,
- e) Tratamento: é definido como o processamento de material dragado contaminado para reduzir sua quantidade ou sua contaminação. Os métodos de tratamento variam desde técnicas de separação, nas quais a lama contaminada é separada da areia relativamente limpa até a incineração.

O grau de contaminação dos sedimentos dragados é um fator chave para a decisão quanto ao despejo mais apropriado e quais as precauções especiais a serem tomadas para minimizar o efeito da contaminação no meio ambiente (BRAY *et al.*, 1996). O corpo hídrico também pode receber material com um grau de contaminação mais elevado desde que se utilizem as medidas de controle apropriadas (Goes Filho, 2004). Este tipo de medida inclui o capeamento do material depositado e a disposição realizada em fossas ou cavas com contenção lateral natural (**Figura 18**).

À técnica de capeamento sem contenção natural dá-se o nome de Capeamento do Nível do Fundo ou LBC (Level Bottom Capping) e à técnica de disposição em depressões dá-se o nome de Disposição Aquática Contida ou CAD (Contained Aquatic Disposal), que pode ou não levar capeamento. Existe, ainda, a ADC (Área de Disposição Confinada) ou CDF (Confined Disposal Facility) que consiste na disposição do material dragado em recintos especialmente projetados para o confinamento do mesmo, isolando o material das águas ao redor depois de efetuada a disposição, técnicas utilizadas em diversos países como Estados Unidos da América e Holanda para disposição de materiais contaminados (GOES FILHO, 2004).

Figura 18- Opções de disposição em corpos hídricos. (a) Disposição irrestrita; (b) Capeamento pelo nível do fundo; (c) Disposição com contenção lateral; (d) Disposição confinada; (e) Disposição em cavas; (f) Disposição confinada em cavas.



(Fonte: IADC/CEDA, 1997).

4.2.1 Gestão e leis regulatórias brasileiras

Tanto as dragagens como a disposição de sedimentos são cuidadosamente regulamentadas (IACD, 2005). Com legislação de políticas nacionais e regionais e a Convenção de Londres de 1972 (LC-72), que abrange as águas marinhas de todo o mundo. Há também convenções de Oslo e Paris, de Helsinque e a de Barcelona.

A avaliação do material e a seleção de alternativas de disposição são regulamentadas na legislação brasileira pela NORMAM 11/DPC (Norma da Marinha do Brasil). Em 2004 o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) aprovou a primeira regulamentação brasileira sobre os procedimentos para a avaliação de material oriundo de dragagem, a resolução CONAMA nº 344/2004.

Como o país não possuía séries históricas sobre contaminação de sedimentos relativos à dragagem, a definição dos valores orientadores de qualidade teve como referência as publicações canadenses e norte-americanas. A resolução CONAMA nº 344/2004 previu uma revisão em até 5 anos de sua publicação, que teria como objetivo o estabelecimento de valores orientadores nacionais para classificação do material a ser dragado (FROHLICH *et al.*, 2015).

A resolução CONAMA nº 421/2010 revogou o artigo 9º da resolução nº 344/2004 e determinou que a Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental (CTCQA) do CONAMA apresentasse ao Plenário do referido conselho, no prazo de 24 meses, uma proposta de revisão parcial ou total da resolução CONAMA nº 344/04 (FROHLICH *et al.*, 2015).

A resolução nº 454/2012 foi publicada em 8 de novembro de 2012, estabelecendo as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e revogando as resoluções CONAMA nº 344/04 e nº 421/10.

O artigo 3 da resolução nº 454/2012 estabelece que, para caracterizar as intervenções e os processos de dragagem, o empreendedor deverá apresentar ao órgão licenciador:

- I- Levantamento batimétrico da área a ser dragada;
- II- Apresentação das cotas pretendidas e cotas de eventual projeto anterior;
- III- Delimitação da área a ser dragada com coordenadas georreferenciadas;
- IV- Volume de sedimentos a ser dragado;
- V - Delimitação das áreas de disposição propostas, como suas coordenadas georreferenciadas;
- VI- Cronograma de execução;
- VII- Características dos equipamentos de dragagem.

No caso de dragagens em águas salinas e salobras não resultantes de situações de emergência ou de calamidade pública, decretadas ou declaradas oficialmente, o órgão licenciador poderá ainda solicitar o levantamento batimétrico das áreas de disposição propostas e, quando oportuno, a descrição do sistema de rastreamento dos equipamentos de dragagem.

Ainda na resolução CONAMA nº 454/2012, fica dispensado de caracterização ambiental prévia o material a ser dragado, que atenda a pelo menos uma das seguintes condições:

I- quando a dragagem ocorrer no atendimento a casos de emergência ou calamidade pública, decretadas ou declaradas oficialmente;

II- proveniente de áreas com monitoramento regular do sedimento de acordo com os critérios definidos pelo órgão ambiental licenciador, com base nesta resolução;

III- proveniente de áreas que não apresentem histórico de contaminação, considerando o uso e ocupação do solo ou comprovados por dados representativos de caracterização do sedimento, a critério do órgão ambiental licenciador;

IV- oriundo de “terras caídas”; ou

V- oriundo de dragagem de manutenção e sujeito a programa de monitoramento da área a dragar, aprovado e acompanhado pelo órgão ambiental licenciador.

De acordo ainda com a resolução CONAMA nº 454/12, o Plano de Amostragem deverá apresentar documento que contenha planejamento detalhado da amostragem do material a ser dragado, explicitando a metodologia de coleta; o número de amostras, incluindo as de controle de qualidade, a localização dos pontos de coleta em planta georreferenciada e no perfil vertical da camada de sedimentos a dragar (profundidade da amostra); as metodologias analíticas adotadas; as formas de identificação, de armazenamento e preservação e transporte das amostras, a data de realização das amostragens; a equipe técnica e os equipamentos utilizados na coleta, incluindo os de medição *in situ*.

O artigo 12 desta resolução afirma que deverão ser realizados ensaios de ecotoxicidade, conforme 3ª etapa do anexo da mesma resolução, para disposição em águas sob jurisdição nacional, na hipótese do material a ser dragado indicar ocorrência das condições a seguir:

II- a concentração de HAPs do Grupo A, arsênio, cádmio, chumbo ou mercúrio for > Nível 1;

II- a concentração de HAPs do Grupo B estiver entre os Níveis 1 e 2, desde que a soma das concentrações individuais de todos os HAPs (Grupos A e B) presentes na amostra seja maior que o valor orientador para o HAP total (Tabela III anexa na resolução);

III- a concentração de qualquer substância (Tabela III anexa na resolução) for >Nível 2.

Serão apresentados a seguir alguns exemplos de gerenciamento de sedimentos dragados em portos brasileiros Belém (PA), Santos (SP) e Itaquí (MA).

4.2.1.1 Porto de Belém

O método utilizado para disposição de sedimentos dragados na Baía de Guajará é considerado o mais simples, que é a disposição subaquática diretamente nos corpos hídricos e a conseqüente formação do monte de sedimentos sem que o material seja isolado das águas adjacentes, são escolhidas áreas com circulação de correntes favoráveis à disposição dos sedimentos lançados na coluna d'água. Essa técnica é aplicada a materiais limpos ou moderadamente contaminados (CASTIGLIA, 2006).

Em 1998 a Administração Hidroviária da Amazônia Oriental (AHIMOR) apresentou um estudo com diagnóstico do transporte de sedimentos na Baía de Guajará, das marés e correntes locais e da caracterização dos materiais de dragagem para escolha dos locais para lançamento dos sedimentos dragados do Complexo portuário de Belém, desde então essas áreas escolhidas são licenciadas como áreas de bota- fora na Baía de Guajará. Os locais dragados cujos sedimentos serão lançados nessas áreas são:

- a) Bacia de Manobra: situada na extremidade de montante do Canal do Porto, em frente ao mercado do Ver-O-Peso e ao Forte do Castelo, em Belém, o formato da Bacia de Manobra é quadrado, com 500 m de largura, seguido de uma transição que une ao Canal do Porto, com 500 m de comprimento. A dragagem buscava aumentar a profundidade da região de 5 m para 7,50 m, um aumento de 2,5 m. O volume total de sedimentos dragados da bacia de manobra foi estimado em 1.600.00 m³;
- b) Canal de Acesso ao Porto: está situado entre as estacas 1 e 30, entre a extremidade do Canal do Porto, onde estão os armazéns da Ocrim (estaca 1) e o terminal da Petroamazon (estaca 30). O canal possui 80 m de largura, 6,0 m de profundidade e 3.000 m de comprimento. A dragagem objetivava rebaixar o fundo do canal em 1,50 m, aumentando a profundidade mínima do canal para 7,50 m em relação ao nível de redução (NR);
- c) Canal do Tapanã: está situado entre o continente e a Ilha da Barra, entre Tapanã e Icoaraci (entre as estacas 110 e 150). O comprimento do canal é de 4.000 m, com largura de 80 m e profundidade mínima de 6,50 m em relação ao NR. As dragagens previstas buscavam assegurar uma profundidade mínima de 7,50 m no trecho. Não foram informados os volumes de sedimentos a serem retirados.

Os estudos de caracterização dos materiais de dragagem foram desenvolvidos a partir das amostras de rejeitos de dragagens do canal de acesso ao Porto de Belém,

decorrentes de dragagens realizadas no trecho próximo à COSANPA, pela Companhia de Docas do Pará (CDP), em associação com a AHIMOR.

Foram coletadas 11 amostras, em 6 pontos diferentes da área de lançamento, com profundidades de 0 a 20 cm e 20 cm a 40 cm em cada ponto, à exceção do caso da amostra 01, coletada apenas entre 0 e 20 cm. Observou-se que o material sedimentado na área de lançamento é relativamente homogêneo, basicamente composto de silte e areia fina e não plásticos. O material fino lançado (argila) retorna ao canal de onde foi retirado, permanecendo na área de lançamento as frações mais pesadas, que são silte e areia fina.

Quanto ao local de disposição dos sedimentos dragados: os rejeitos de dragagem da Bacia de Manobra foram despejados na Área de Lançamento nº 1 localizada no Banco do Meio. Esses sedimentos deverão ser rapidamente dispersos, em função das fortes correntes de maré e lentamente carregados para fora do estuário, pois o canal é dominado pelas correntes de vazante. A área de despejo dos rejeitos de dragagem não oferece risco de retorno dos materiais dragados e localiza-se a 1,5 km da área a ser dragada.

Os sedimentos dragados no Canal do Porto foram depositados nas áreas de bota-fora nº 1 e 2. Os materiais lançados nessas áreas deverão ser dispersos e transportados, em sua grande parte, para a área de jusante do estuário, devido ao domínio das correntes de vazante. Os sedimentos eventualmente trazidos de volta pelas correntes de enchente poderão se depositar no Banco da Cidade e no Canal do Meio.

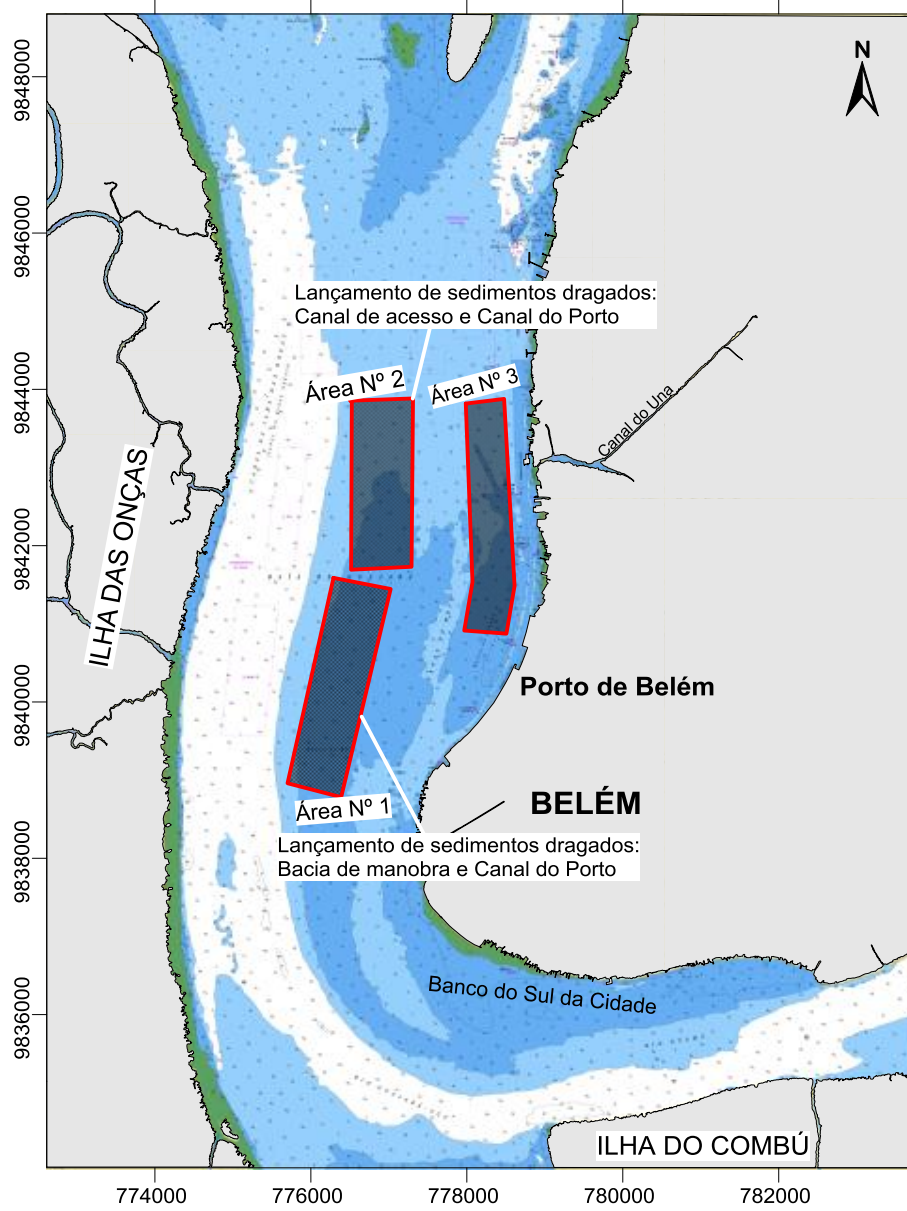
Os sedimentos do Canal de acesso foram lançados na área de bota-fora nº 2. A área de despejo dos rejeitos de dragagem em questão não oferece riscos de retorno de materiais lançados nas áreas de dragagem. A área de bota-fora nº 2 localiza-se a 2 km das áreas de dragagem do Canal de Acesso ao Porto.

A área de bota-fora nº 3 localiza-se a 0,75 km do Canal do Cais, à jusante do Canal do Meio, próximo ao Banco da Cidade, e só receberá sedimentos dragados caso não se tenha condições propícias para disposição nas áreas de bota-fora nº 1 e 2.

Os sedimentos do Canal do Tapanã foram lançados na área de bota-fora nº 4, localizada no canal situado além da Ilha da Barra, dominada pelas correntes de vazante. A área de despejo dos rejeitos de dragagem fica a 1,5 km da área a ser dragada.

A **Figura 19** mostra a localização das áreas de bota-fora na Baía de Guajará e os locais de origem dos sedimentos lançados nestas áreas.

Figura 19- Mapa batimétrico e Áreas de bota fora nº 1, 2 e 3 do Porto de Belém e a origem dos sedimentos depositados em cada uma delas.



Fonte: Autor, através da base da carta náutica (2010).

4.2.1.2 Porto de Santos

O Porto de Santos está localizado na Região Metropolitana da Baixada Santista, distante 70 km de São Paulo, entrou em operação em 1892. O porto abriga 55 terminais marítimos e retroportuários e 65 berços de atracação, sendo 14 terminais privados, suas atividades ocorrem nas duas margens do estuário de Santos (MEROLA, 2017). Atualmente é administrado pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP).

Considerado o maior do Brasil e um dos maiores da América Latina, o Porto de Santos é um porto concentrador de cargas e passageiros e responde pela movimentação de quase um terço das trocas comerciais brasileiras (Porto de Santos, 2019). Segundo Merola (2017) o Porto de Santos operou por muito tempo sem grandes compromissos ambientais, mas com a melhora na legislação ambiental, em 2004, foi regularizado o processo ambiental e emitida a Licença Ambiental de Operação pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), dando início a execução de 25 programas de monitoramento e controle ambientais.

Os sedimentos dragados para manutenção dos canais de acesso são lançados em Polígono de Disposição Oceânica (PDO). A área consiste em um formato retangular com 4 km por 10 km, totalizando uma área de 40 km². Compõe-se de 10 quadrículas de 2,0 km (PORTO DE SANTOS, 2019).

Foi proposta uma área para a disposição oceânica de sedimentos dragados, onde as correntes pudessem garantir o transporte e o espalhamento do material disposto na coluna d'água, de forma a impedir sua acumulação no fundo do oceano e o seu retorno à costa. A partir de estudos de hidrodinâmica na baía de Santos, delimitou-se um polígono onde as condições de circulação de correntes eram favoráveis à dispersão dos sedimentos lançados na coluna d'água (PORTO DE SANTOS, 2019).

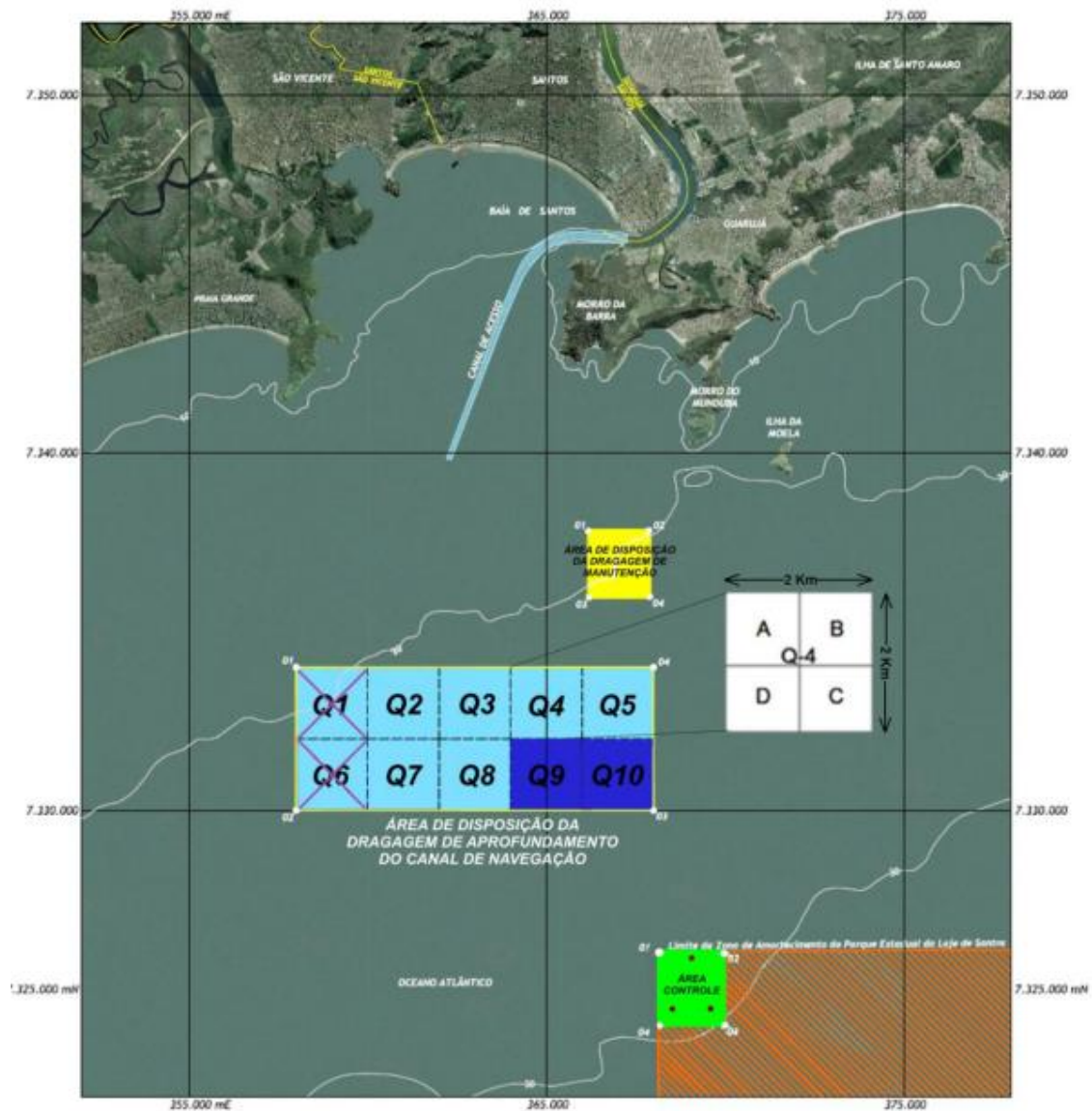
As quadrículas são identificadas pelo número sequencial precedido da letra "Q". Cada quadrícula é dividida em 4 quadrantes de 1 km de lado, nos quais os materiais devem ser lançados em volumes equivalentes ao longo de períodos mensais, de forma a favorecer sua dispersão pelas correntes marinhas. Os quadrantes foram assim denominados: Q-A, Q-B, Q-C e Q-D, no sentido horário.

Para uma melhor distribuição espacial e temporal do material descartado em cada quadrícula, visando evitar acúmulos pontuais de sedimentos e potenciais contaminantes, as dragas efetuam o descarte do material dragado em esquema de rodízio de quadrantes. A abertura da cisterna deverá ser realizada em áreas diferentes do

quadrante em relação às viagens anteriores. Os sedimentos contaminados lançados no PDO são norteados por níveis propostos na resolução CONAMA nº 454/2012.

A **Figura 20** mostra a localização do Polígono de Disposição Oceânica (PDO) do porto de Santos.

Figura 20- Polígono de Disposição Oceânica (PDO), porto de Santos.



Fonte: FUNDESA (2010).

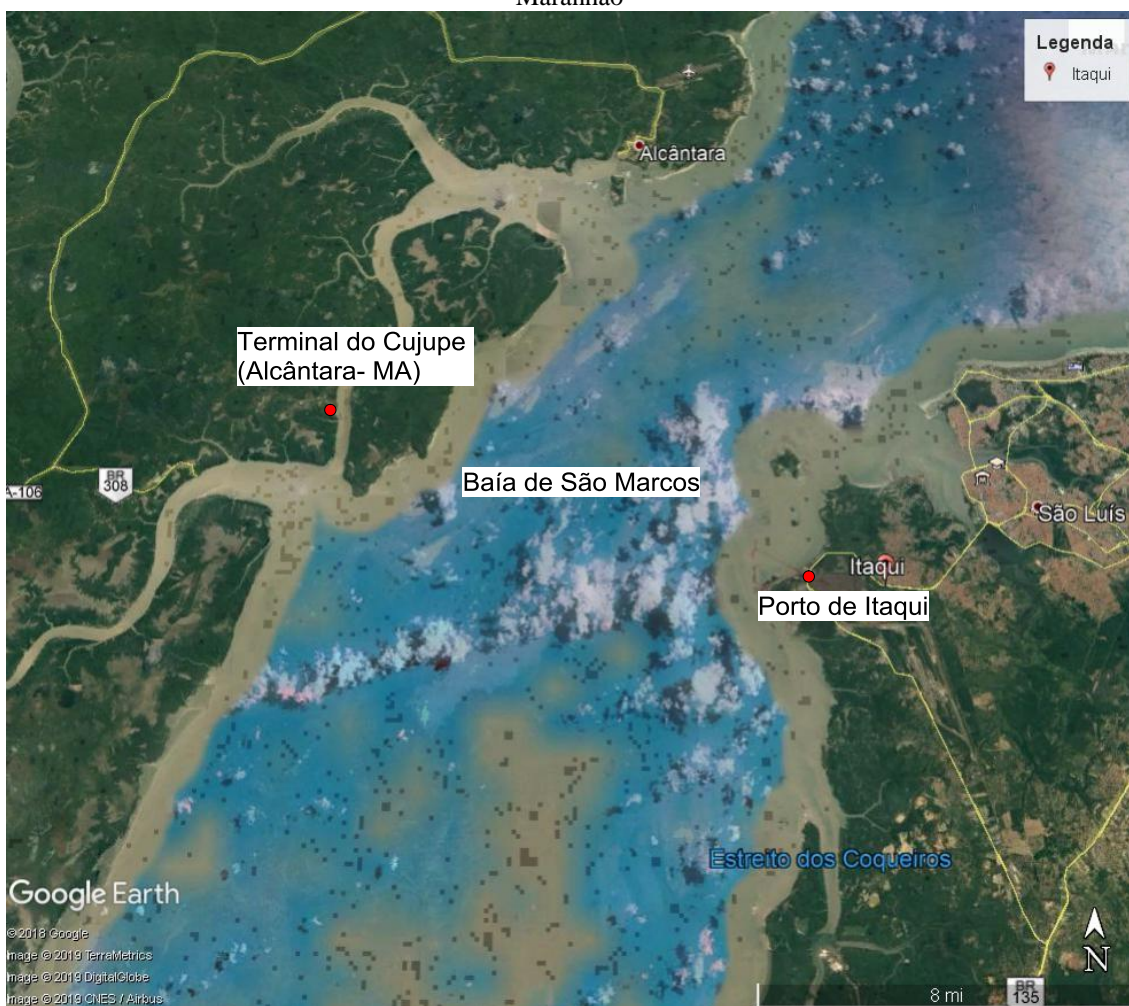
4.2.1.3 Porto de Itaqui

O Porto de Itaqui (**Figura 21**) está localizado no município de São Luís (Maranhão), na Baía de São Marcos, distante 11 km do centro da capital maranhense, com extensão de 1.936 m (PORTO DE ITAQUI, 2015). O Porto dispõe de cais

acostável de 1.936 m, com profundidade variando de 9,50 m a 19,00 distribuídos em 8 trechos distintos.

O material dragado no Porto de Itaqui é despejado em 2 áreas da Baía de São Marcos que foram previamente autorizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado do Maranhão (SEMA). A primeira área fica a 4,5 km do Porto de Itaqui e a segunda nas proximidades do Terminal de Cujupe (município de Alcântara).

Figura 21- Localização do Porto de Itaqui e do Terminal do Cujupe na Baía de São Marcos no Maranhão



Fonte: Google Earth (2019).

4.2.2 Gestão de sedimentos dragados nos Estados Unidos da América (EUA)

O gerenciamento de material dragado nos EUA é regulado por um conjunto de estatutos e regulamentações, cujo objetivo é a proteção dos recursos naturais críticos e minimizar os potenciais impactos adversos aos locais de disposição oceânica (SIMÕES, 2009).

O MPRSA (Marine Protection, Research, and Sanctuaries Act, 1972) é o principal estatuto que regula a disposição de material dragado no oceano e implementa algumas normas e critérios da Convenção de Londres (GOES FILHO, 2004).

Dois órgãos compartilham a responsabilidade pelo gerenciamento da disposição de material dragado nos EUA. Estes órgãos são respectivamente a USEPA (US Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América) e o USACE (US Army Corps of Engineers - Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos da América).

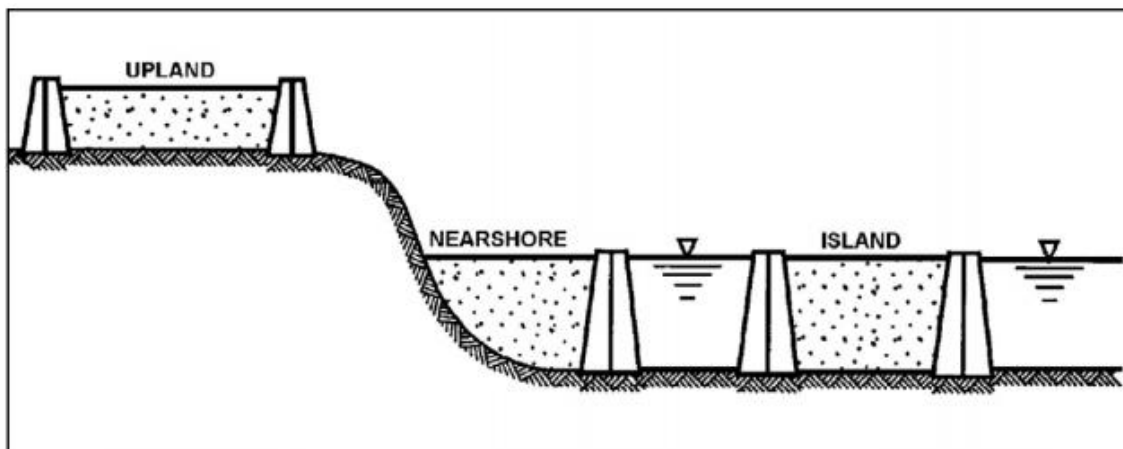
Com atribuições distintas, sendo a USEPA responsável pela determinação dos locais de disposição oceânica, enquanto que o USACE é responsável pela emissão de permissões para o transporte e disposição do material dragado. Algumas responsabilidades são compartilhadas com os dois órgãos, como o desenvolvimento e execução de planos de controle dos locais de disposição e programas de monitoramento (GOES FILHO, 2004).

Outros órgãos federais e estaduais também participam das decisões, funcionando como fonte de informações e referência para que se possa garantir a efetividade do processo com respectiva proteção ambiental e segurança na navegação. Estes órgãos são: o Serviço Norte Americano de Pesca e Vida Selvagem, o Serviço Nacional de Zonas Pesqueiras, os Órgãos Estaduais de Preservação Histórica e as Agências Estaduais de Gerenciamento Costeiro.

Aproximadamente 274 milhões de m³ de sedimentos são dragados de canais e portos para manutenção e melhora do sistema de navegação dos Estados Unidos da América (WELCH *et al.*, 2016), sendo 5 a 10% desse material, inutilizável devido à contaminação. O USACE avalia as alternativas para o gerenciamento da disposição do material dragado do ponto de vista da aceitabilidade ambiental, viabilidade técnica e econômica.

Na **Figura 22** são ilustrados os tipos de CDFs utilizados para disposição de sedimentos dragados nos Estados Unidos da América.

Figura 22- Ilustração de CDFs: upland (planaltos), nearshore (próximo da costa), island (ilha).



Fonte: (USACE, 2015).

Para o manejo do material dragado são consideradas três alternativas: disposição em águas abertas, em local confinado confined disposal facility (CDF) e confined placement facility (CPF) e uso benéfico. “Colocação Confinada” é a colocação de material dragado dentro de CDFs perto da costa ou de planaltos através de meios hidráulicos ou mecânicos. Um CDF é uma estrutura projetada para contenção de material dragado.

Embora os volumes variem de ano para ano, da ordem de 35% do volume total de material dragado nos Estados Unidos da América é colocado em CDFs. Muitos desses locais foram construídos em áreas adjacentes a estuários ou rios afluentes próximos aos canais de navegação.

A **Figura 23** mostra um exemplo de CDF na cidade de Chicago (USA) e a **Figura 24** uma draga do tipo Hopper lançando sedimentos dragados diretamente para um CDF nos USA.

Figura 23- Um CDF na cidade de Chicago (USA).



Fonte: (USACE, 2015).

Figura 24- Uma draga do tipo Hopper lançando sedimentos dragados diretamente para um CDF, nos USA.



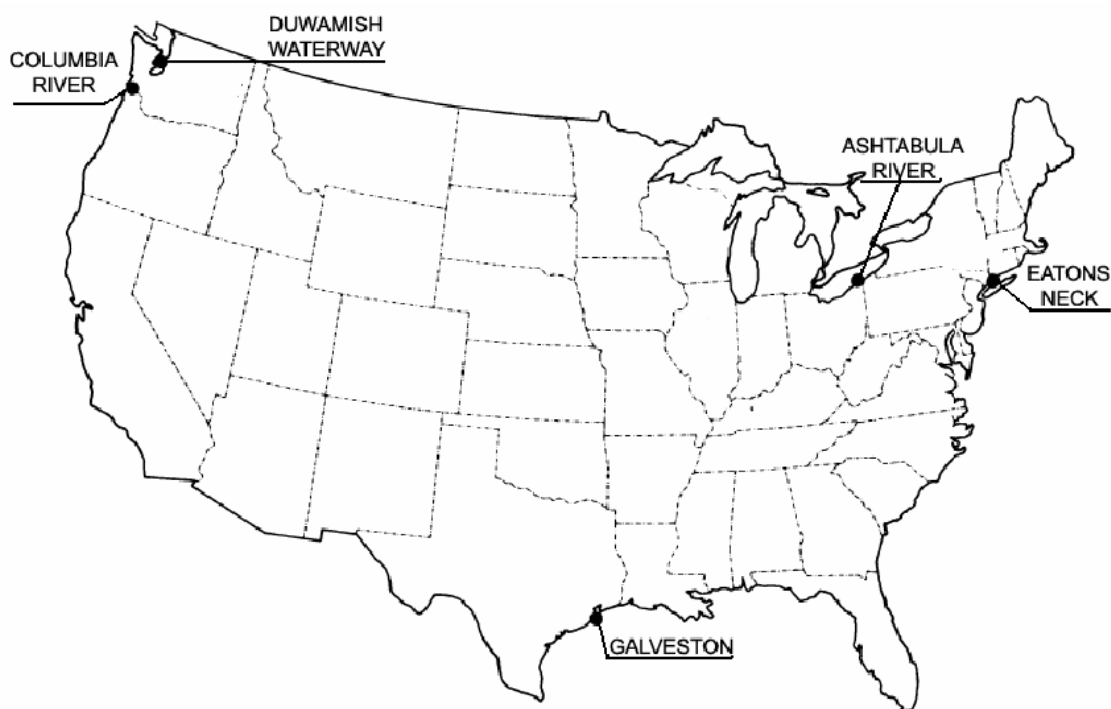
Fonte: (USACE, 2015).

Entre os anos de 1973 e 1978, foi desenvolvido nos EUA um programa de pesquisa para materiais dragados - DMRP (Dredged Material Research Program-

Programa de Pesquisa de Material Dragado) - administrado pelo USACE (CASTIGLIA, 2006).

Foi realizado um estudo chamado ADFI (Aquatic Disposal Field Investigations- Investigações de Campo de Disposição Aquática), para avaliar os impactos no ambiente natural, associados a essa forma de disposição. As investigações foram conduzidas em 5 locais, que representam variedades no tipo de material, no estuário e nas práticas de dragagem e disposição. Todas as áreas não contaram com qualquer tipo de proteção ou isolamento para separar os sedimentos depositados do ambiente ao redor (**Figura 25**). Parte deste estudo é baseada no trabalho de Castiglia (2006).

Figura 25- Localização das ADFIs no mapa dos USA



. Fonte: (CASTIGLIA, 2006).

4.2.2.1 Área de disposição em Eatons Neck

A área de disposição em Eatons Neck (Nova York) foi usada para disposição de materiais finos de dragagem durante um período de 75 anos. Realizaram-se investigações físicas no período de 1974 e 1976 que incluíram levantamentos batimétricos, fotografias do fundo, medições de correntes, ondas e observações meteorológicas. Investigações químicas foram realizadas também neste período, através de análise de parâmetros físicos (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido) e

químicos (nutrientes e metais pesados) em amostras de água e de sedimentos. As investigações biológicas foram realizadas entre os anos de 1974 e 1975, com a coleta de amostras de organismos bentônicos, plâncton, peixes e crustáceos importantes para a atividade de pesca e as posteriores análises de metais pesados e coliformes fecais.

Os resultados físicos mostraram que em 2 anos os depósitos de sedimentos se modificaram pouco, por se tratar de um ambiente dispersivo, adequado, pelo menos fisicamente, para disposição de materiais dragados.

Os resultados químicos mostraram que as taxas de amônio, carbono orgânico e nitrogênio orgânico são ligeiramente maiores nos sedimentos e na coluna d'água da área de disposição do que da área usada como referência.

Não foram observadas diferenças em relação à abundância ou tipos de espécies dos organismos bentônicos entre o local de disposição e o de referência. Foram encontradas mais lagostas na área de disposição do que na área de referência, o que foi justificado pela presença de entulhos que criam substratos adequados para esses seres.

Concluiu-se que a área de Eaton Neck, após 4 anos que foram cessadas as atividades de 75 anos de disposição de material dragado, apresentava poucas diferenças químicas e biológicas em relação à área de referência, apesar dos montes de sedimentos ainda estarem evidentes (WRIGHT, 1978; CASTIGLIA, 2006).

4.2.2.2 Área de Disposição do Rio Columbia

A área de Disposição do Rio Columbia é uma área de disposição oceânica próxima à foz do Rio Columbia (Oregon), sendo navegável e de acesso a uma grande área portuária. O material é dragado de áreas próximas à costa e do fundo do Rio Columbia. O local de disposição é um ambiente dinâmico, onde as correntes superficiais correm a partir do norte e as correntes de fundo se movem em direção ao norte. Além disso, as descargas do rio e as marés o influenciam bastante. Adjacente ao rio, existe uma região bastante ativa para a pesca de caranguejos.

A operação de investigação consistiu de 4 fases: um estudo piloto; o estudo de base anterior à disposição; o monitoramento da disposição e o estudo posterior à disposição. As duas primeiras fases foram realizadas em 1974 e 1975. A operação de disposição foi conduzida em junho e julho de 1975 e o monitoramento após esta fase continuou até julho de 1976.

Foi disposto um volume de 459.000 m³ de sedimentos, num raio de 460 m, que se preservou durante todo o tempo de monitoramento. Este material se movimentou para noroeste, havendo ressuspensão e transporte do material mais fino, sendo que o material granular (predominante) foi preservado.

Esta área de disposição apresentou mínimos impactos químicos nos sedimentos e na coluna d'água, porém provocou impactos significativos sobre os organismos bentônicos e peixes. Os impactos sobre os primeiros se mostraram mais severos. Devem ter ocorridos impactos e alterações químicas nos sedimentos que não foram detectados nas investigações porque foram ocultados por modificações naturais locais (WRIGHT, 1978; CASTIGLIA, 2006).

4.2.2.3 Área de Disposição do Lago Erie

A área de disposição fica do Lago Erie (Ohio), ao norte da entrada do Porto de Ashtabula e inteiramente em água doce. É uma grande área portuária, altamente industrializada e com um grande número de fontes de contaminação potenciais ao seu redor. Os sedimentos dispostos são dragados da parte mais estreita do rio Ashtabula e consistem de partes aproximadamente iguais de areia e silte com argila.

As investigações nesta área ocorreram entre 1975 e 1977 e podem ser divididas em 4 fases: uma pesquisa piloto (1975); amostragens antes da disposição (1975 e 1976); operação de disposição (1975 e 1976) e amostragens após a disposição. Para verificar a variação natural dos parâmetros, as amostras foram retiradas da área de disposição e de uma área adjacente para servir como referência.

Os aspectos físicos observados incluíram as correntes, batimetria, ondas, perfis de fundo, sedimentação e hidrologia da região.

A disposição dos sedimentos não resultou na formação de um único monte de material, mas sim na formação de alguns depósitos de alturas que variaram entre 30 e 50 cm. Esta operação criou um pequeno aumento de temperatura (< 2°) na coluna d'água, que desapareceu nos meses seguintes. Observou-se erosão dos montes e transporte de sedimentos, ambos provocados pelas tempestades de outono e inverno.

A erosão espalhou o material dragado, de forma que as mudanças observadas na fauna também se espalharam por uma área maior, mas não o suficiente para detectar impactos (WRIGHT, 1978; CASTIGLIA, 2006).

4.2.2.4 Área de Disposição do Golfo do México

A área de disposição do Golfo do México (Texas), próxima à entrada do canal, que permite acesso ao Porto de Galveston, às cidades de Texas e Houston e ainda conecta as Baías de Galveston, Trinity e East. O material é dragado dos portos e canais da região, na qual existem fontes potenciais de contaminação. Este material consiste de areia variando de fina a média.

A investigação consistiu de um estudo piloto e das fases antes, durante e após a disposição. No interior da área destinada à disposição dos sedimentos, foram tomados 3 locais para disposição experimental e 2 para servir como referência. Todo o material disposto nestes locais foi classificado como não contaminado. Mais um local foi selecionado, porém este para a disposição de um pequeno montante de material contaminado por nutrientes e metais pesados.

Para investigação física foram verificadas as correntes, ondas, turbidez, batimetria, suspensão e transporte dos sedimentos, mineralogia e tamanho dos grãos. A disposição de 800.000 m³ de material resultou em acúmulos discretos de sedimentos. Observou-se erosão dos montes e transporte de sedimentos, principalmente para sudoeste, devido à ação de ondas e correntes na região.

Admitiu-se que se tratava de um ambiente dinâmico altamente variável, com perturbações naturais nos aspectos químicos e físicos e com uma enorme biota, e estas características poderiam ocultar os impactos associados às atividades de disposição dos sedimentos dragados (WRIGHT, 1978; CASTIGLIA, 2006).

4.2.2.5 Área de Disposição do Rio Duwamish

A Área de Disposição do Rio Duwamish fica localizada em um estuário no interior da Baía de Elliott. Os sedimentos são dragados do Rio Duwamish (Washington), um canal de navegação e também principal rota de migração de salmão e truta.

Também foram utilizadas áreas de referência. As investigações tiveram início em 1975 e foram concluídas em 1976. A disposição de 114.000 m³ de material resultou em montes com 2 a 3 m de altura e raio máximo de 200 m. O monitoramento posterior à disposição (de 6 a 9 meses após) mostrou que os montes se espalharam gradativamente. Este movimento foi ocasionado pelas correntes, mas verificou-se também que estas não

eram fortes o suficiente para carregar o material para fora da área de disposição (WRIGHT, 1978; CASTIGLIA, 2006).

4.2.3 Gestão de sedimentos dragados na Inglaterra

O despejo marítimo de material dragado na Inglaterra é comum desde o advento da draga a vapor no final do século XVIII (CEFAS, 2003). Os locais de descarte foram selecionados, primeiramente, por conveniência em termos de proximidade com a área da atividade de dragagem, juntamente com um local considerado suficientemente profundo para que qualquer depósito acumulado não causasse interferência na navegação. Mais tarde, sob a Lei de Proteção ao Meio Ambiente, de 1985, outros locais foram designados para o descarte de material dragado, levando em conta o impacto ambiental potencial de seu uso, e alguns dos locais anteriores foram fechados (CEFAS, 2017).

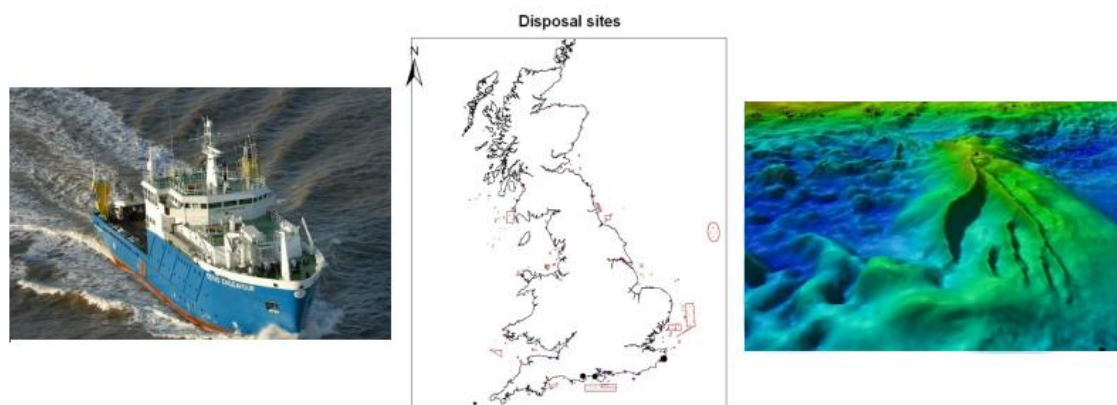
No ano 2000, 10 locais de áreas de bota- fora no mar do Reino Unido receberam mais de 1 milhão de toneladas de material dragado. 24 receberam entre 100.000 e 1 milhão de toneladas e 40 entre 10.000 e 100.000 toneladas. Cerca de 21 locais, no entanto, receberam menos de 10.000 toneladas no mesmo ano. Deve-se ressaltar que nem todo material dragado é despejado no mar, toneladas significativas são colocadas em terra em lagunas, áreas de terras e aterros sanitários (CEFAS, 2017).

A disposição em terra é usada para preenchimento de terrenos em desenvolvimento, para proteção costeira e quando o depósito estiver contaminado com materiais perigosos. Há um uso de material dragado para benefício ambiental, por exemplo, na regeneração de pântanos salgados para conservação da natureza e benefícios de proteção costeira. Porém, a maioria dos sedimentos dragados na Inglaterra continua a ser descartado no mar, com menos de 1% sendo usado para fins benéficos (BOLAM; WHOMERSLEY, 2005).

Existem 155 locais designados para a disposição de sedimentos dragados ao redor da costa da Inglaterra. Muito destes locais estão localizados na região costeira, próximo de um porto importante ou da entrada de um estuário (BOLAM *et al.*, 2006; BOLAM *et al.*, 2016).

Na **Figura 26** são mostrados alguns locais de disposição de sedimentos dragados na Inglaterra, desde o transporte dos sedimentos, localização das áreas de lançamento e a batimetria do local de lançamento dos sedimentos.

Figura 26- Exemplos de locais de disposição de sedimentos dragados na Inglaterra



Fonte: CEFAS (2017).

4.2.4 Gestão de sedimentos dragados na Holanda

A Holanda obedece à Lei de Poluição da Água do Mar, que incorpora parte dos procedimentos prescritos na Convenção de Londres (GOES FILHO, 2004). O princípio geral dessa lei consiste na regulação da disposição de material conforme às condições estipuladas nos artigos IV (I) (a) e IV (I) (b) da Convenção de Londres.

Em complementação aos procedimentos estabelecidos pela Convenção de Londres, os holandeses adotam, ainda: a construção de áreas confinadas de armazenamento para o material dragado; técnicas de tratamento e o uso benéfico do material dragado, sempre que possível; medições de níveis de concentração do material dragado, a fim de permitir a decisão quanto à disposição apropriada (GOES FILHO, 2004).

A regulamentação ambiental prioriza a reutilização ou uso benéfico, após tratamento adequado. Aproximadamente 90% do material dragado são provenientes de sedimentos marinhos e é despejado ao mar devido à sua baixa poluição. São dragados anualmente 20 a 30 milhões de m³ de sedimentos na Holanda para manutenção dos portos (STRONKHORST *et al.*, 2001). Somente no porto de Roterdã, o maior da Europa, são dragados cerca de 15 a 20 milhões de m³/ano para manutenção da navegação do porto.

O material dragado é despejado em rios, no mar ou em terra, para uso de proteção costeira, na agricultura, etc. (GANDRASS; SALOMONS, 2001; SAZAKLI; LEOTSINIDIS, 2018).

O destino dos sedimentos não contaminados dragados no Porto de Rotterdam e o despejo no mar do Norte são regulamentados por um conjunto de critérios químicos. O material que excede os limites é despejado em local confinado, o Slufter. Construído e operando desde 1987, o Slufter possui uma área de 250 hectares, está a 28 m abaixo do nível do mar, o dique ao redor, esta 24 m acima, com capacidade para 100 milhões de m³.

O material dragado no canal de acesso e nas imediações da embocadura- constituído em sua maioria, de sedimentos marinhos, portanto, limpos para serem lançados no mar; material dragado na região do estuário- composto por uma mistura de sedimentos fluviais e marinhos, e devido ao elevado índice de contaminação o material é confinado no Slufter, que opera desde 1987; material dragado no trecho fluvial do porto- composto de sedimentos com 90% de origem fluvial, também devido ao grau de contaminação, é depositado no Slufter; material com alto grau de contaminação- independentemente do local onde seja dragado, todo material contendo altos níveis de metais pesados ou HPA, provocados por fontes locais, deverá ser depositado em áreas do porto. No caso de Rotterdam, foi criada uma área confinada denominada Papegaaiebek (Bico de Papagaio) (GOES FILHO, 2004).

A **Figura 27** mostra um Slufter, local de lançamento de sedimentos dragados com alto índice de contaminação na Holanda.

Figura 27- CDF da Slufter na Holanda, um local de depósito confinado para material dragado contaminado.



Fonte: (GANDRASS; SALOMONS, 2001).

5 METODOLOGIA

O levantamento e aquisição dos dados foram realizados pela internet, através dos sites de órgãos competentes no assunto, como o da Marinha do Brasil (Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN), Agência Nacional de Águas (HidroWeb-ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), site de periódicos da CAPES, etc.

5.1 Aquisição de dados

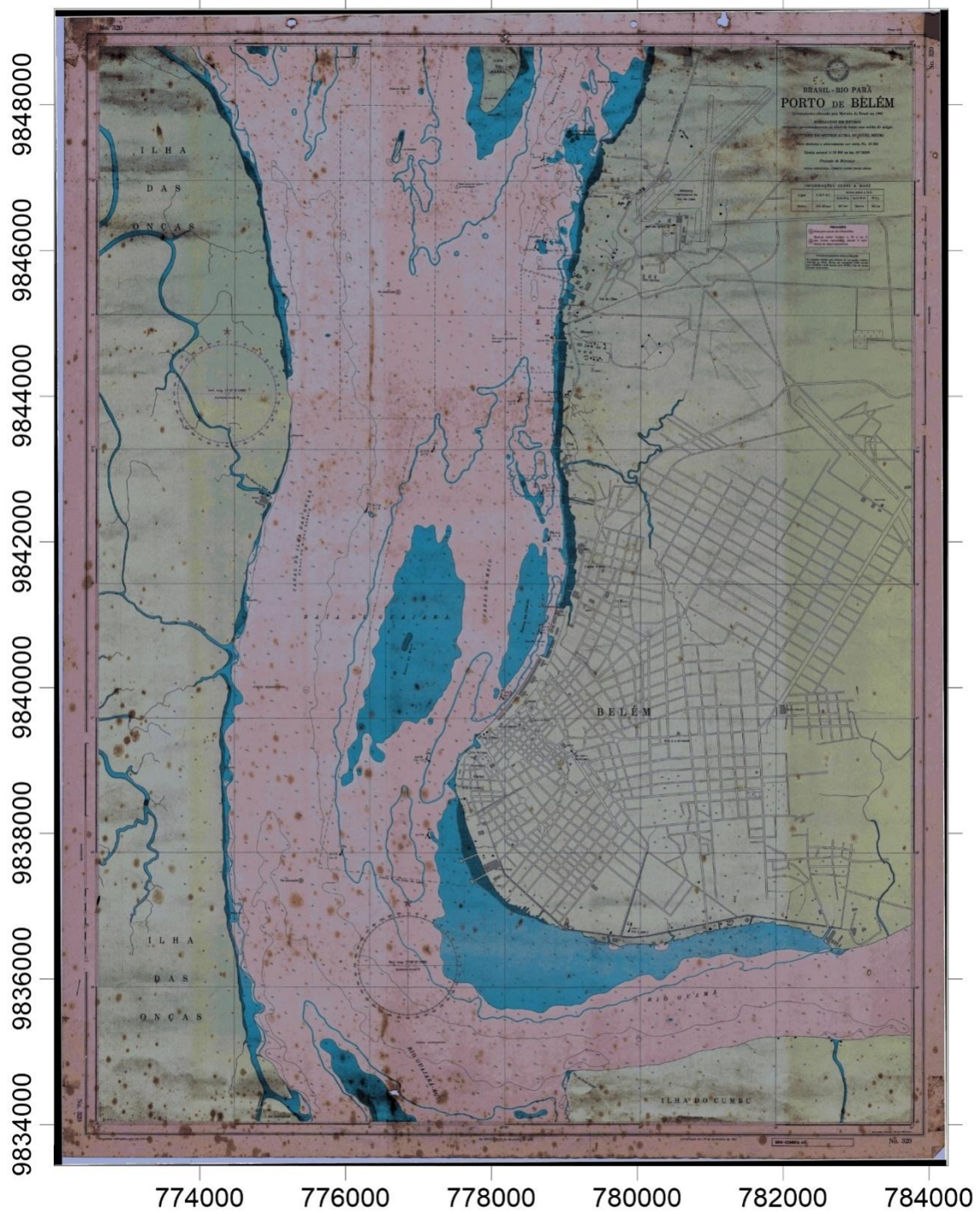
Para geração dos mapas batimétricos foram utilizadas cartas náuticas do Porto de Belém (Cartas Náuticas nº 320) confeccionadas e disponibilizadas pela Marinha do Brasil, através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

As cartas náuticas referentes aos anos de 1984 (1ª edição - 19 de dezembro de 1961 e atualizada em 13 de dezembro de 1984), 1999 (1ª edição em 1991 e atualizada em 1999) e 2010 (1ª edição em 1991 e atualizada em 2010) foram adquiridas na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e no Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

No porto de Belém, Terminal Petroquímico de Miramar e Terminal de Outeiro o nível de referência é o zero hidrográfico da Companhia Docas do Pará (CDP), onde o mesmo está localizado a 0,4565 m acima do nível de redução da DHN, que corresponde ao nível médio das baixa-mares de sizígia.

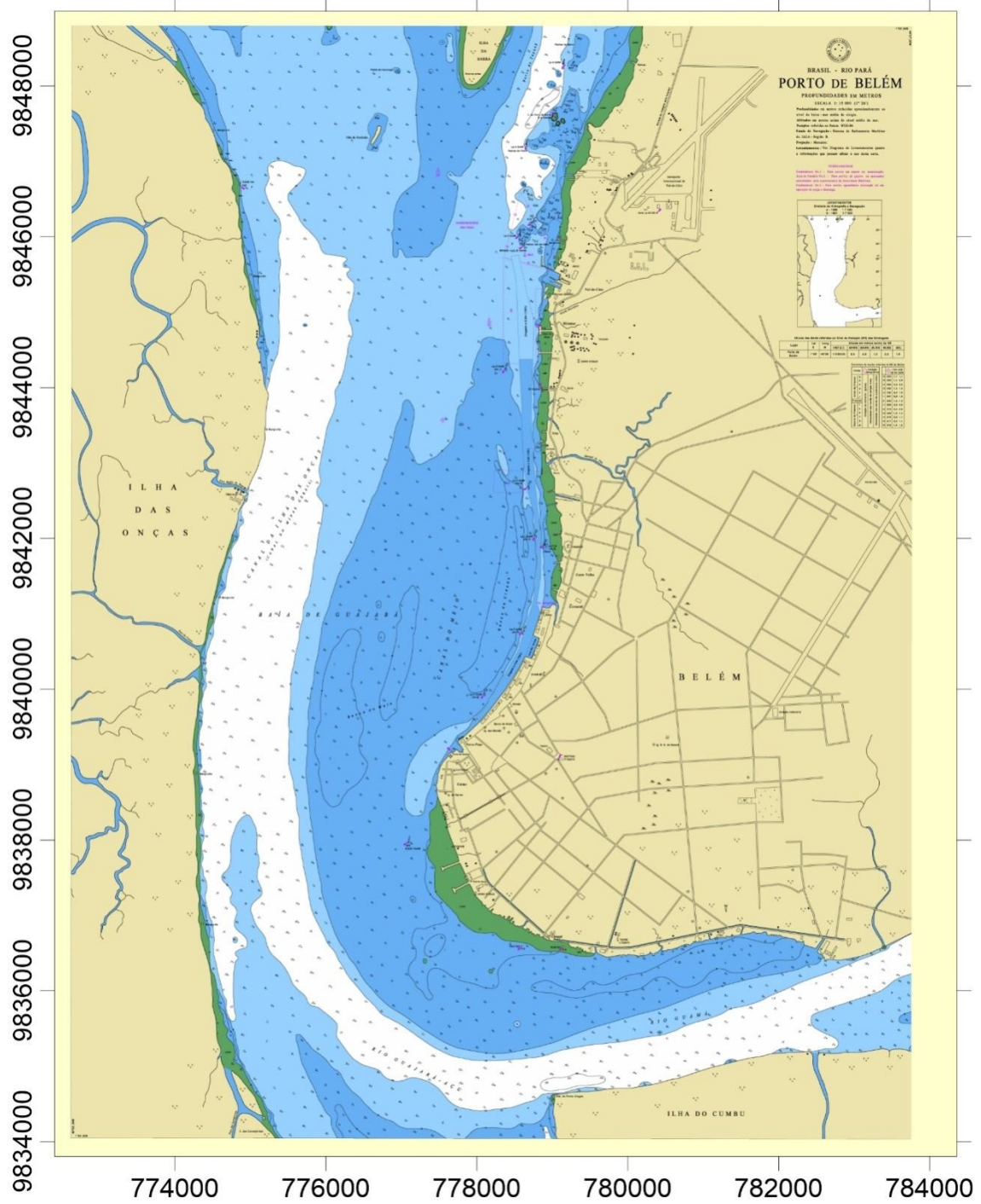
As **Figuras 28, 29 e 30** mostram respectivamente a Carta Náutica Porto de Belém nº 320 de 1984 da DHN- escala 1:15 000 (1° 26'), Carta Náutica Porto de Belém nº 320 de 1999 da DHN- escala 1:15 000 (1° 26') e Carta Náutica Porto de Belém nº 320 de 2010 da DHN- escala 1:15 000 (1° 26').

Figura 28- Carta Náutica da Baía de Guajará, sondagem do ano de 1984.



Fonte: (DHN, 1984).

Figura 29- Carta Náutica da Baía de Guajará, sondagem do ano de 1999.



Fonte: (DHN, 1999).

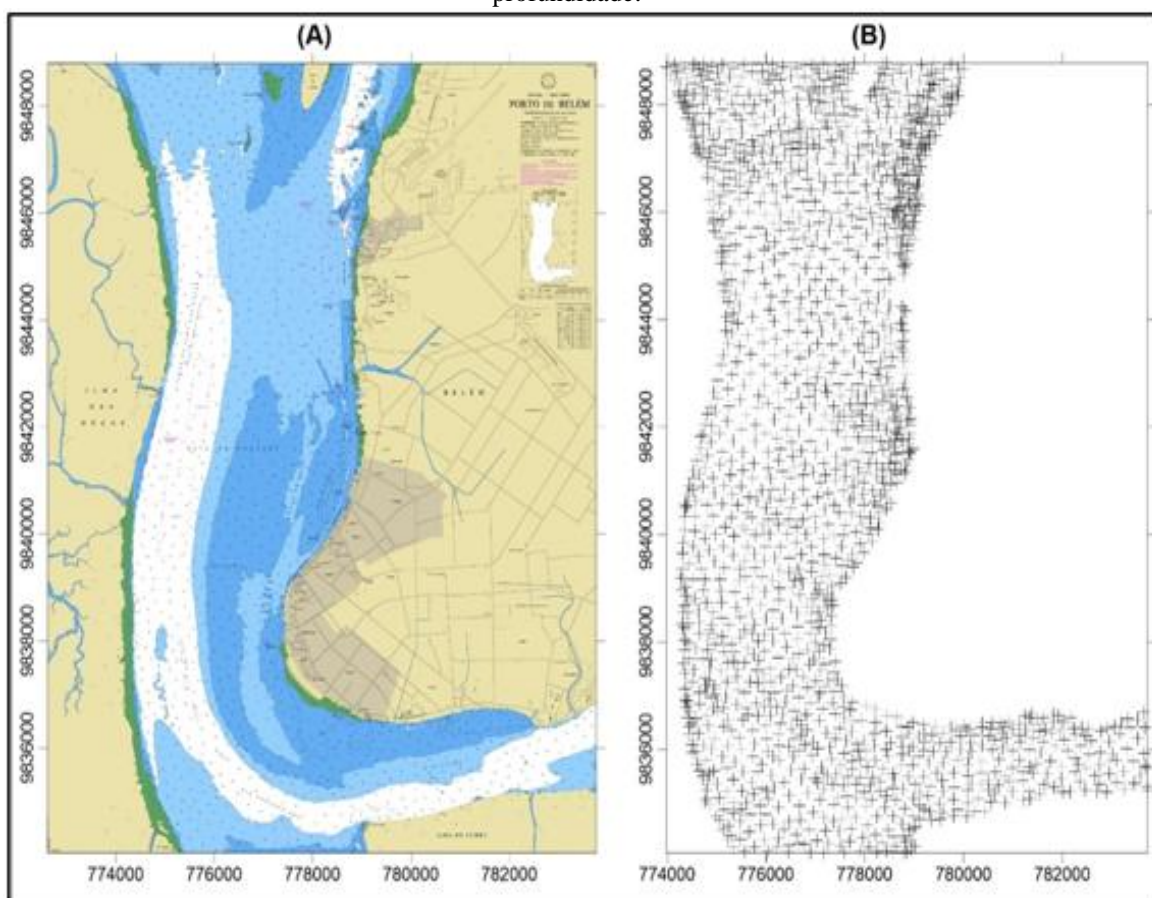
5.2 Processamento dos dados

Os mapas batimétricos foram gerados a partir de dados de profundidade contidos nas cartas náuticas. O processo de digitalização das cartas náuticas da DHN na escala 1:15.000, nº 320 do Porto de Belém foi realizado mediante o uso do *software* Surfer 11. A digitalização consistiu na conversão de dados espaciais do meio analógico para o digital (interpolação).

As cartas em formatos digitais (GeoTiff) foram georreferenciadas no sistema de projeção UTM, datum WGS-84, através dos *softwares* ArcGis 10.2.2 e Global Mapper 11.

A **Figura 31** mostra: (a) a carta náutica após ser georreferenciada para as coordenadas UTM com as cotas de profundidade e, (b) os pontos de profundidade disponíveis na carta digitalizados.

Figura 31- Carta náutica da Baía de Guajará: (a) carta náutica georreferenciada; (b) pontos de profundidade.



Fonte: Autor, base da carta náutica (2010).

A interpolação estima valores desconhecidos através de valores conhecidos. O uso de uma determinada técnica interpoladora irá depender do conhecimento dos dados de entrada e das características do interpolador a ser utilizado na geração das imagens, os mais usados são a Krigagem, a mínima Curvatura e o Bidirecional (SANTOS *et al.*, 2016).

Este método é considerado de estimativa indireto, uma vez que os contornos são obtidos a partir de dados, porém, são estimados para os nós da grade. Após a reticulação, um algoritmo de interpolação deve ser usado para ajustar uma superfície através dos dados estimados para os nós (LANDIM, 2003).

Os pontos com os dados de profundidade, contidos nas cartas náuticas foram digitalizados através da ferramenta *digitalize* contida no Surfer, gerando uma sequência de dados contendo as seguintes informações: latitude, longitude e profundidade (eixos x, y e z), sendo o eixo z, de profundidade, inserido manualmente e negativo, por se tratar de uma bacia sedimentar abaixo do nível da água. Foram plotados 1355 pontos na carta de 1984, 1327 pontos na carta de 1999 e 1645 pontos na carta de 2010.

Os dados digitalizados geram uma única planilha com informações de latitude, longitude e a quantidade de pontos coletados em cada coluna. Em seguida foi gerado um *grid* para interpolar estes pontos e gerar os mapas batimétricos, o método de interpolação utilizado foi o de krigagem (*kriging*) do Surfer 11. Esse processo foi repetido em todos os mapas. Para as áreas de continente foram feitos polígonos (shapes), sendo acrescentados junto ao mapa batimétrico.

O método de interpolação utilizado, o de krigagem foi originalmente desenvolvido para uso em geologia por um professor da Universidade de Witwatersrand (África do Sul), na década de 1950 (DRESSLER, 2009). A krigagem se diferencia de outros métodos de interpolação pela estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Segundo Yang (2012), a krigagem é capaz de expressar melhor as tendências sugeridas pelos dados, de forma que valores de picos podem ser conectados ao longo de uma crista, em vez de ficarem isolados caracterizando o efeito indesejado em imageamento por interpolação conhecido como “bull’s eye”. Para Santos *et al.* (2016) a escolha do método para cada tipo de dado e também célula usada deve ocorrer de

acordo com a necessidade do operador em ter determinado quesito qualificado em detrimento de outro.

5.3 Análises multitemporais

Para determinação da área a ser estudada através das análises multitemporais, as áreas de bota-fora foram plotadas nos mapas batimétricos para identificação e conhecimento de seus respectivos tamanhos, sendo tratadas nesta dissertação de mestrado como Área 1 (2,7 km de comprimento e 685 m de largura), Área 2 (2,08 km de comprimento e 750 m de largura) e Área 3 (2,8 km de comprimento e 480 m de largura) ficando localizadas próximas ao mercado de peixe do Ver-O-Peso no centro da baía. A área do estudo foi limitada à região da baía onde estão localizadas as áreas de bota- fora n° 1, 2 e 3.

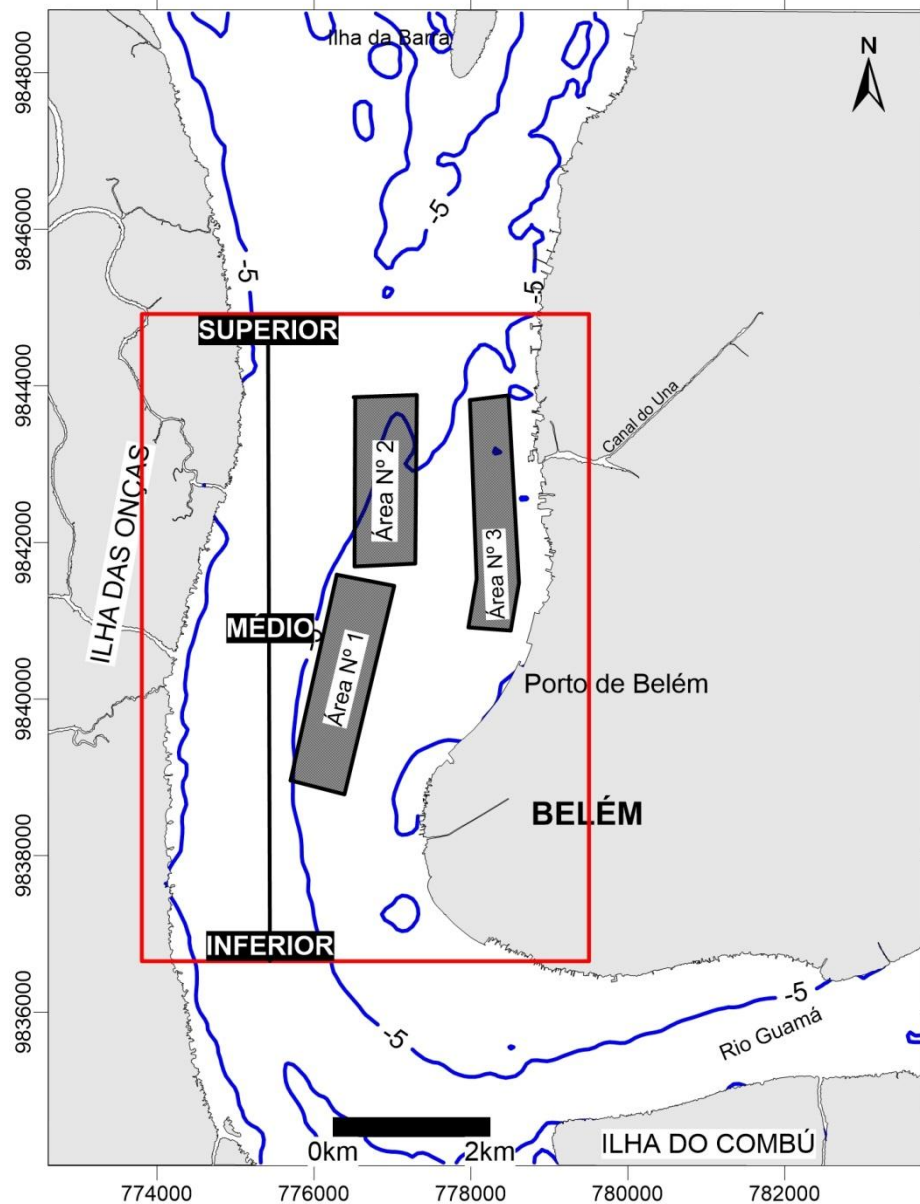
As transformações morfológicas dos fundos da Baía de Guajará e, sobretudo das áreas de bota- fora foram observadas através dos mapas de evolução multitemporal, onde as batimetrias antigas são utilizadas como referência (background) nos períodos de 1984-1999, 1984-2010 e 1999-2010.

Foi estabelecido como limite a isóbata de 5 m, utilizada na análise multitemporal em todos os mapas. Além de abranger as áreas de bota- fora, nesta isóbata estão os principais bancos e canais da Baía de Guajará: Banco do Meio, Banco da Cidade e Canal do Meio que possuem, em alguns anos, como limite a isóbata de 3 m, parte do Banco do Sul da Cidade também foi inserido na análise.

Para quantificar a migração ou crescimento das formas de fundo foi realizada a mensuração (em metros) da diferença entre as isóbatas de mesmo valor comparadas entre os anos. Para isso os eixos da isóbata foram divididos em: inferior, médio e superior, de jusante para montante. Os valores encontrados foram divididos pela diferença de ano entre as duas análises para estimar uma tendência de crescimento em m/ano.

A **Figura 32** mostra o limite da área estudada na Baía de Guajará, que abrange o Porto de Belém ao norte e a Universidade Federal do Pará ao sul. Divididos de montante para jusante em superior, médio e inferior.

Figura 32- Área delimitada (quadro vermelho) da Baía de Guajará para análise multitemporal, dividida em setores de jusante para montante: superior, médio e inferior, utilizados para quantificação da migração dos fundos. No centro da baía estão as Áreas de Bota Fora nº 1, 2 e 3.



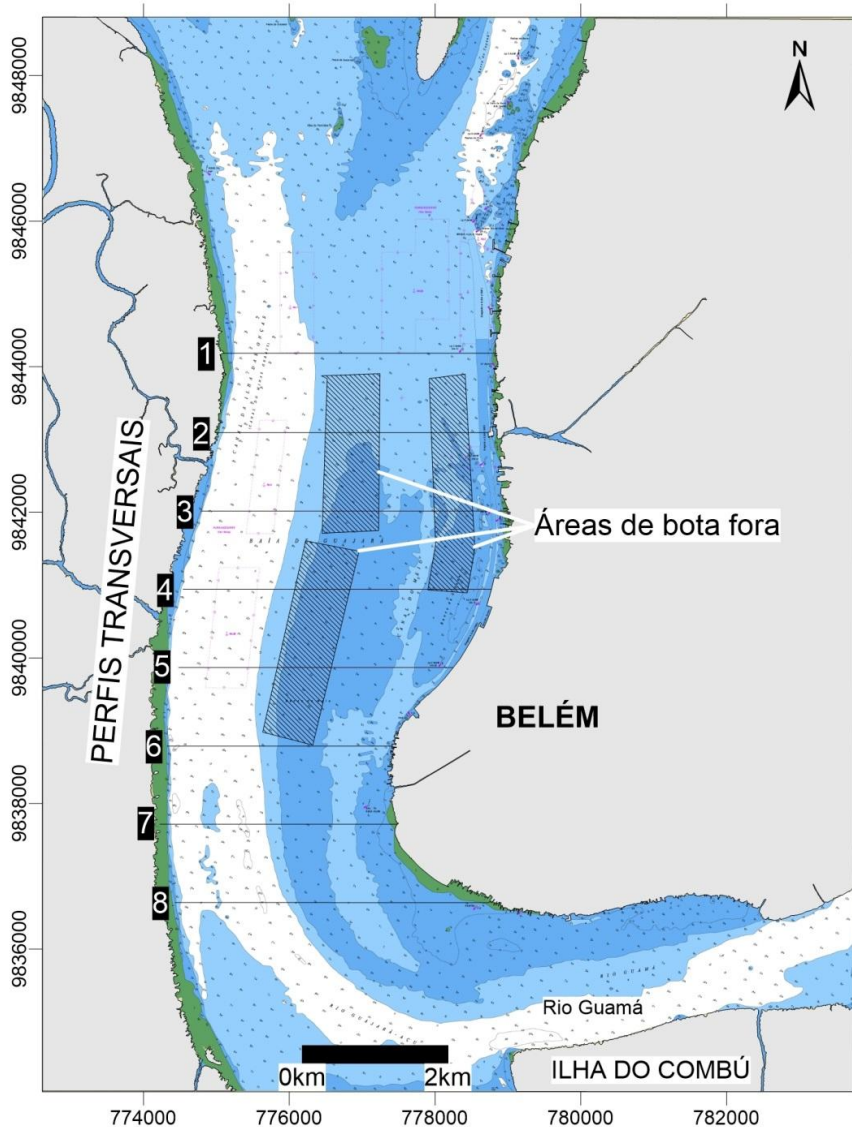
Fonte: Autor.

5.4 Confeção de perfis batimétricos transversais

A confecção dos perfis batimétricos transversais permitiu a identificação das áreas de aprofundamento e/ou de assoreamento nas áreas de bota-fora na Baía de Guajará.

Foram gerados 8 perfis batimétricos (transectos), com equidistância de 1 km na baía. Dispostos de jusante para montante, o primeiro perfil foi gerado a norte, próximo ao Terminal Petroquímico de Miramar, e o oitavo perfil foi gerado após o Ver-O-Peso, ao sul da baía (**Figura 33**).

Figura 33- Perfis batimétricos transversais (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) confeccionados na Baía de Guajará, incluindo as áreas de bota fora n°1, 2 e 3.

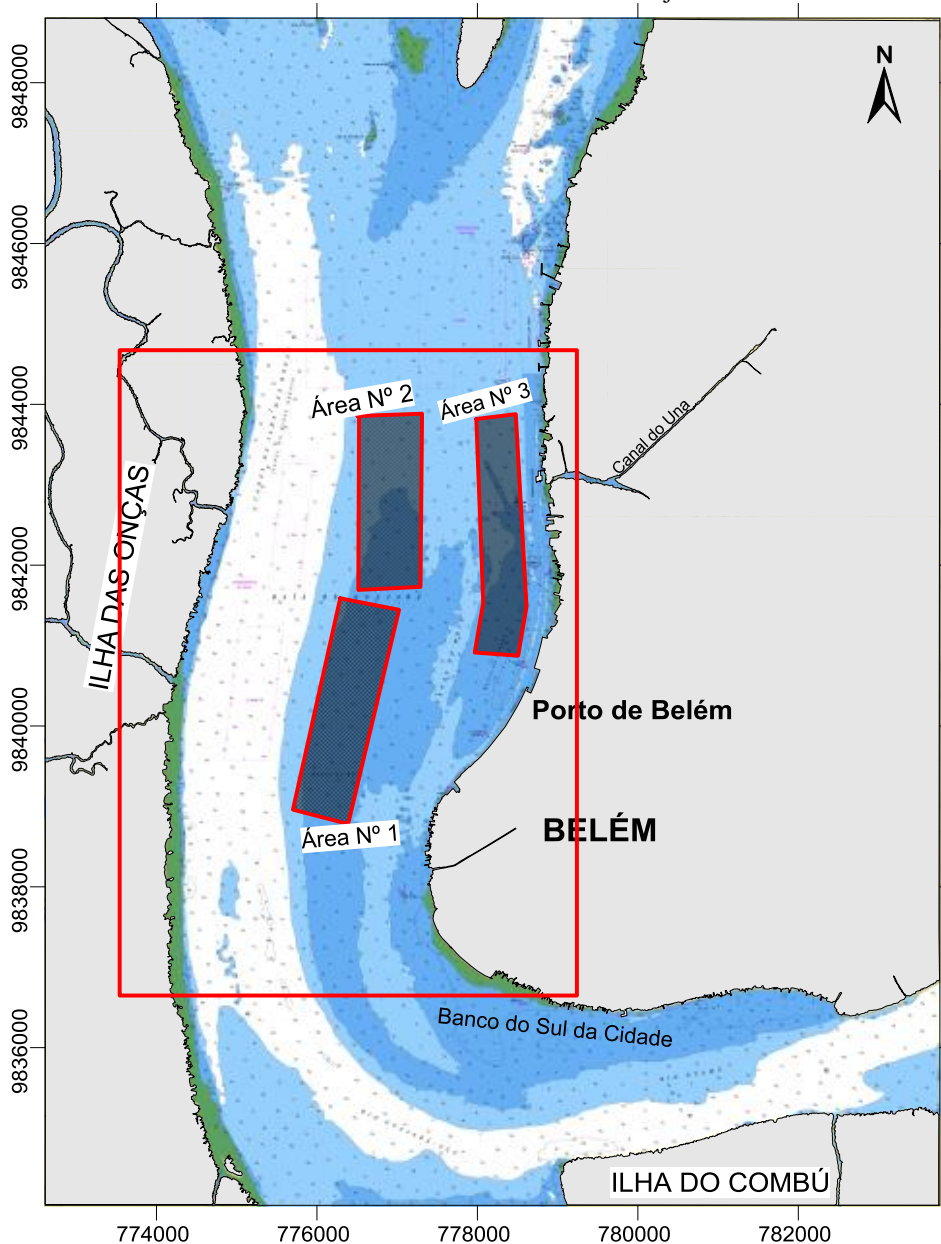


Fonte: Autor.

5.5 Cálculo do volume

O volume foi obtido através do Surfer 11, com uso da ferramenta chamada *Volume* disponível no software. A ferramenta calcula o volume com base na batimetria, do nível de referência para o pacote sedimentar de fundo, indicando áreas que sofreram erosão e assoreamento conforme alterações na coluna d'água. Cada ano (1984, 1999 e 2010) teve uma mesma extensão delimitada para cálculo do volume (em m³). A **Figura 34** mostra a área demarcada (quadrado grande em vermelho) para cálculo do volume.

Figura 34- Mapa mostrando a área de trabalho (quadro em vermelho) indica, onde foi calculado o volume sedimentar de fundo das Áreas de Bota Fora na Baía de Guajará.



Fonte: Autor (2019).

6 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

A Baía de Guajará tem localizada em sua margem direita, a cidade de Belém, fazendo contraste com a margem esquerda dominada por ilhas com vegetação abundante e pequenos trapiches utilizados por ribeirinhos para locomoção e transporte de pessoas e pequenas cargas.

No entanto, nem sempre foi assim, a orla de Belém, quando a chegada de Francisco Caldeira Castello Branco em 1615, era formada por praias, igarapés, rios e florestas, onde moravam os índios Tupinambás, desembocavam em alguns pontos dessas praias, as águas de vários igarapés (ARRUDA, 2003).

Atualmente a cidade de Belém possui uma população estimada de 1.485.732 hab. (IBGE, 2018). Um dos primeiros sítios da capital do Estado do Pará, o Porto de Belém integra a estrutura urbana da cidade.

Nas imediações do Porto de Belém estão presentes outros portos, terminais e trapiches para atracação de embarcações de diversos tamanhos, destinos e finalidades, desde canoas, lanchas particulares, barcos de pesca, navios de passageiros, balsas, navios de carga, etc.

Às margens da Baía de Guajará também está a Base Naval de Val de Cães, localizada próximo à Rodovia Arthur Bernardes, a base conta com intensa movimentação de navios e também sofre com o assoreamento em suas dependências por conta da perda de energia hidrodinâmica que favorece a deposição de sedimentos finos.

A concentração de barcos pesqueiros na Baía de Guajará está localizada próxima à feira do Ver-O-Peso, às margens da baía. Essas embarcações de pesca chegam e atracam neste local, pois é a região do mercado de peixe e uma área protegida de ondas e com baixa energia. É uma zona de correntes relativamente mais fracas a moderadas, com predominância de sedimentos das classes de areias finas a silicosas (PINHEIRO, 1987).

Obra que merece destaque pelo volume de aterro lançado para a Baía de Guajará é o portal da Amazônia, iniciada em 2005 pela Prefeitura Municipal de Belém (PMB), em cooperação com os governos estadual e federal. Além do aumento das velocidades durante as enchentes em abril, esta obra resulta em um aumento de velocidade das correntes próximo à margem, porém, não altera o fluxo da região (BLANCO *et al.*, 2015).

A **Figura 35** mostra as margens da Baía de Guajará, com presença de pequenas construções de ribeirinhos na margem esquerda e grandes prédios na margem direita, além de alguns tipos de embarcações que passam pela baía diariamente.

Figura 35- (a) Trapiche construído por ribeirinhos na margem esquerda da Baía de Guajará, para embarque/desembarque e ancoragem de canoas; (b) vegetação abundante e poucas casas na margem oposta à Belém; (c) cais do Porto de Belém; (d) embarcações de diversos tamanhos trafegando diariamente pela baía. (e) vista do Portal da Amazônia. (f) mercado e feira do Ver-O-Peso.



Fonte: Autor.

6.1 Instalações portuárias na Baía de Guajará

O Porto de Belém, inaugurado em 1909, fica localizado na Baía do Guajará e com acesso pelas Avenidas Boulevard Castilhos França e Marechal Hermes, na orla continental do município de Belém e fronteiro aos bairros do Comércio e do Reduto, é o mais antigo porto do Complexo Portuário do rio Pará e da Amazônia, o complexo é o seu entorno e sistema portuário (ARRUDA, 2003). A especificidade e quantidade das cargas movimentadas fizeram surgir outros terminais que se integram como um sistema, como os Terminais Petroquímico de Miramar e de Outeiro.

6.1.1 Porto de Belém

Segundo Arruda (2003) o Porto de Belém foi implantado como porto tradicional (carga solta), com sequência de berços (**Figura 36**). Posteriormente, atendendo ao aumento de demanda e desenvolvimento da tecnologia de transporte e de movimentação de cargas começou a operar com um berço para trigos em grãos (granéis sólidos), sendo, na contemporaneidade, qualificado como múltiplo uso.

Antes de serem cedidas partes das instalações do Porto de Belém ao governo do Estado do Pará, através de um convênio, o cais do Porto de Belém possuía 1.935 m de instalações de acostagem, construídas no período de 1909 a 1913. Os armazéns A-1, A-2 e A-3, assim como a urbanização da área onde se situava o galpão Mosqueiro e Soure, o qual funcionava como estação de passageiros, transformada em grande centro de lazer, cultura e turismo, denominado de “Estação das Docas” (CDP, 2017).

A estrutura do cais tem forma de um molhe contínuo côncavo com 75 m nas faces laterais e 300 m de comprimento (CDP, 2017). Neste perímetro encontra-se o berço de atracação 101, destinando-se às atracações de passageiros, embarcações regionais, tráfego interno do porto, navios da Marinha do Brasil e de carga geral.

As obras da construção do Porto de Belém tiveram início com a edição do Decreto nº 5.978, de 18 de abril de 1906, que autorizou a implantação do projeto, e do Decreto nº 6.283, de 20 de dezembro de 1906, que definiu o funcionamento da Port of Pará Co., de capital privado, como concessionária do porto. O primeiro trecho de cais, com 120 m, e um armazém para carga geral, com 2.000 m², foram inaugurados em 2 de outubro de 1909 (ARRUDA, 2003).

Em 2 de outubro de 1909, foram inaugurados os primeiros 120 m do porto, um armazém e o canal dragado. Ainda no mesmo ano, mais 142 m; em 1910, outros 265 m; em 1911, novos 496 m; em 1912, mais 708 m; em 1913, atingiu o total de 1.860 m, com a entrega de mais 120 m.

Em 1882, o presidente da Província, general Barão de “Maracajá” e a Alvarenga “Alfredo” iniciaram o primeiro serviço que se tem registro de dragagem da Baía de Guajará (CRUZ, 1973 *apud* PINHEIRO, 1987). A partir de então, essa operação se repetiria com frequência, ocorrendo de modo mais intensivo após a construção, concluída em 1913, do atual cais do Porto.

O calado do Porto de Belém é limitado pela Barra do Tapanã, com 7,92 m na preamar e 6,00 m na baixamar.

Figura 36- Vista aérea do Porto de Belém.



Fonte: (CDP, 2018).

O Porto possui estruturas para armazenagem, com Armazéns, Pátios, Silos e outras formas de armazenamento, Terminal de Passageiros, Terminal de Granel Sólido (trigo) da OCRIM e também berços para movimentação de arroz (granéis sólidos).

O novo Terminal Hidroviário do Porto de Belém “Luiz Rebelo Neto” foi inaugurado no dia 23 de maio de 2014, está instalado no galpão 9 da CDP e tem como objetivo incrementar o principal modal hidroviário de entrada e saída da capital paraense, que tem o transporte hidroviário como principal meio de comunicação.

O empreendimento ocupa uma área construída de 4,8 mil m², dividida em dois pavimentos. No térreo funciona o terminal, com os guichês de passagem, salas de embarque e desembarque, lojas de conveniência, farmácias, praça de alimentação, duas lanchonetes e dois flutuantes com rampas articuladas.

No que se refere às instalações de armazenagem, o Cais do Porto de Belém dispõe de sete armazéns de primeira linha identificados por uma numeração sequencial, do armazém nº 4 ao 8, 11 e 12. Esses armazéns têm áreas de 2.000 m² cada, com dimensões de 100 m x 20 m.

Os armazéns nº 9 e 10, de dois pavimentos, utilizados para atender os passageiros do terminal fluvial e escritórios de diversas empresas e entidades, têm área de 4.800 m² e dimensões de 120m x 20 m.

O pátio do cais do porto de Belém é composto pelo pátio de contêineres, que ocupa, atualmente, o espaço localizado logo atrás dos armazéns nº 11 e 12, na retaguarda dos berços 411 e 412. Este pátio é pavimentado em placas de concreto armado e ocupa uma área de 10.412 m², medindo 236 m de frente por 56 m pelo lado norte e 30m pelo lado sul.

O porto dispõe de bateria de silos próprios para estocagem de trigo em grão, localizadas na retaguarda do berço 421. Os silos de concreto armado são compostos de 30 células com capacidade de 310 t cada e 16 células de 94 t totalizando 10.804t de trigo em grão. São também disponíveis 5 silos metálicos de 2.000 t, cada um, totalizando a capacidade estática de cerca de 20.800 t de trigo em grão.

Para movimentação com contêineres no porto de Belém, são utilizados os equipamentos da própria embarcação, já as operações de granéis sólidos podem ser utilizados equipamentos do porto.

6.1.1.1 Projeto Belém Porto do Futuro

O projeto Belém Porto do Futuro tem como objetivo revitalizar toda a área retroportuária de Belém com investimento de R\$ 31,5 bilhões da Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional (SDR). Além de prevenir enchentes na região, a obra transformará o local em um polo de desenvolvimento por meio da recuperação da infraestrutura, atração de investimentos e ampliação da oferta de serviços. O empreendimento promoverá a integração do Porto com a cidade, como já foi feito, por

exemplo, no Porto Maravilha, no Rio de Janeiro, ou no Puerto Madero, em Buenos Aires (Argentina).

O projeto prevê a implantação de uma bacia de escoamento das águas pluviais do rio no local para evitar alagamentos em época de chuvas fortes.

6.1.2 Terminal Petroquímico de Miramar

O Terminal Petroquímico de Miramar, denominado Nicolau Bentes Gomes, está localizado à margem direita da baía de Guajará a uma distância fluvial de 4,5 km a jusante do Porto de Belém, sendo uma extensão do porto organizado de Belém, é especializado em derivados de petróleo, álcool hidratado, soda cáustica, gás liquefeito de petróleo e demais granéis líquidos inflamáveis. O calado do Terminal Petroquímico de Miramar é de 7,6 m.

Este terminal é responsável pelo abastecimento de derivados de petróleo do Estado do Pará e de cidades do Amazonas, Amapá e Maranhão.

O Terminal de Miramar movimentava granéis líquidos-combustíveis. Possui dois píeres ligados à sua retro- área (onde são armazenados os combustíveis em depósitos das distribuidoras de derivados de petróleo) por ponte (tubovias) e por ela circulam também veículos para os serviços (Arruda, 2003). Nos 2 berços internos dos píeres, atracam as barcas/tanques que, carregadas, abastecem o interior, e na parte externa dos píeres, existe berço para navios petroleiros (**Figura 37**).

Figura 37- Vista aérea do Terminal Petroquímico de Miramar



Fonte: (CDP, 2017).

6.1.3 Terminal Portuário de Outeiro

O Terminal Portuário de Outeiro é uma extensão do porto organizado de Belém, situado na Ponta do Redentor, na Ilha de Caratateua ou Outeiro (Distrito de Belém), à margem direita da baía do Guajará a uma distância de 19 km do Porto de Belém (**Figura 38**).

É limitado pela passagem à jusante da ilha Jutuba, com 12,50 m na preamar e 10,50 m na baixamar. Permite o acostamento de navios de até 50.000 t e tem um calado de 16 m. Para a utilização de navios do tipo Panamax para a adequada movimentação de grãos, é desejável melhorar o acesso por dragagem e trecho relativamente curto, entre as ilhas do Outeiro e Mosqueiro e próximo ao terminal. Este terminal é composto por pontes e píeres, sendo as pontes divididas em 2 trechos e os píeres para atracação de barcaças (ARRUDA, 2003).

Figura 38- Vista aérea do Terminal Portuário de Outeiro.



Fonte: (CDP, 2017).

6.1.4 Movimentações portuárias

As principais cargas movimentadas no Porto de Belém em 2017 e 2018 foram cargas gerais conteneirizadas e não conteneirizadas, e granéis sólidos e líquidos, em

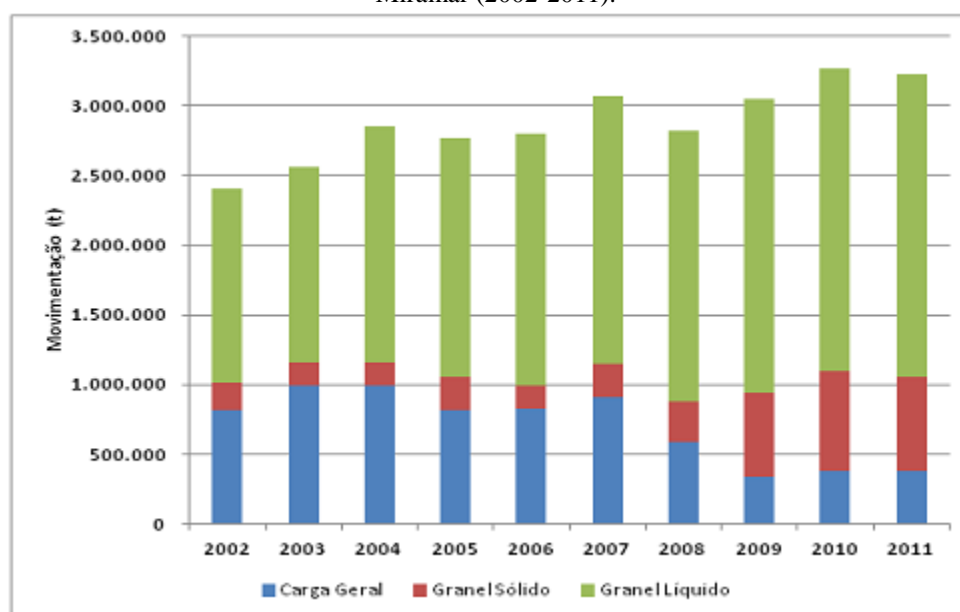
navegações do tipo longo curso, cabotagem, interior, apoio marítimo e portuário (CDP, 2018).

As principais cargas movimentadas no Terminal Portuário de Outeiro em 2017 e 2018 foram cargas gerais conteneirizadas e não conteneirizadas, e granéis sólidos e líquidos, em navegações do tipo longo curso, cabotagem, interior, apoio marítimo e portuário (CDP, 2018).

As principais cargas movimentadas no Terminal Petroquímico de Miramar em 2017 e 2018 foram cargas gerais conteneirizadas e não conteneirizadas, e granéis sólidos e líquidos, em navegações do tipo longo curso, cabotagem, interior, apoio marítimo e portuário (CDP, 2018).

De acordo com a Companhia Docas do Pará (CDP), em 2011 o Porto de Belém e os Terminais de Miramar e de Outeiro movimentaram em conjunto 3.223.323 t de carga (**Figura 39**), sendo 2.170.859 t de granéis líquidos, 674.302 t de granéis sólidos e 378.162 t de carga geral (LABTRANS, 2013).

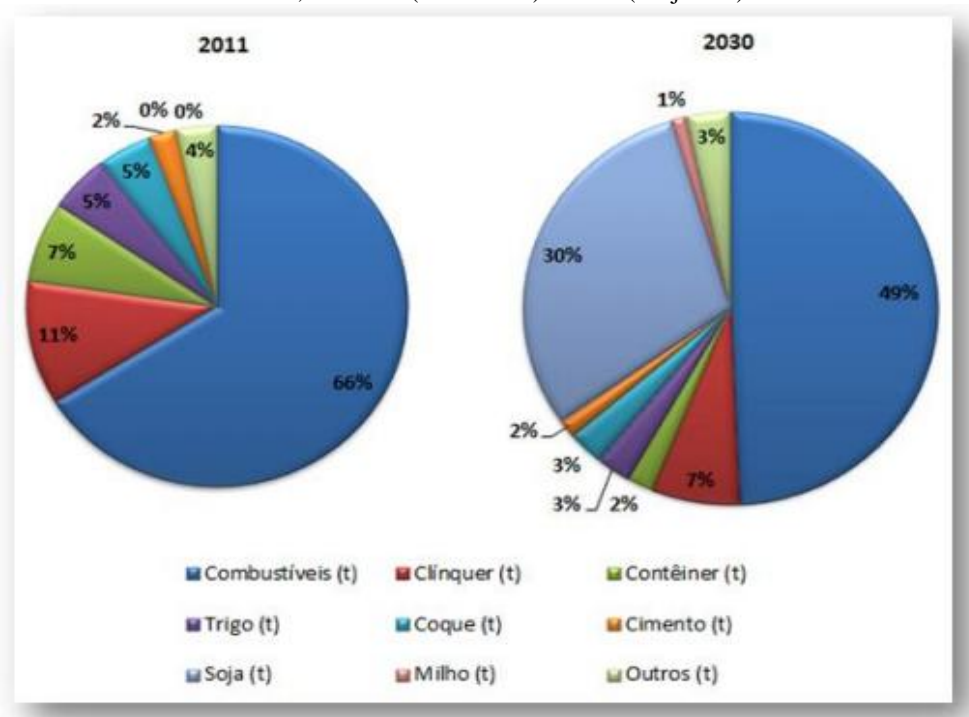
Figura 39- Evolução da movimentação no Porto de Belém e nos Terminais do Outeiro e de Miramar (2002-2011).



Fonte: LabTrans (2013).

Em 2011, o Complexo Portuário de Belém movimentou 3,2 milhões de toneladas. Espera-se que até 2030 a demanda cresça, em média, 5,3% ao ano. Isso significa que, em 2030, o porto deverá movimentar 7,7 milhões de toneladas, um crescimento total de 139,8% em relação a 2011 (**Figura 40**) (LABTRANS, 2013).

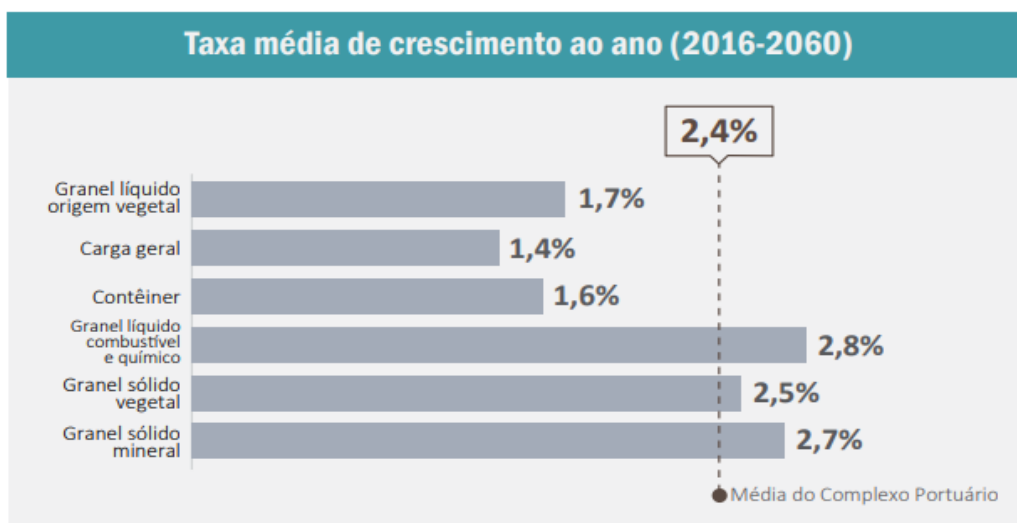
Figura 40- Participação dos Principais Produtos Movimentados no Complexo Portuário de Belém, em 2011 (Observada) e 2030 (Projetada).



Fonte: LabTrans (2013).

Segundo a Secretária Nacional de Portos (2017) até 2060, espera-se que a demanda para o Complexo (Belém e Vila do Conde) cresça em média 2,4% ao ano, alcançando um total de 98,3 milhões de toneladas. No final desse período, espera-se que os graneis sólidos vegetais passem a ser a principal natureza de carga movimentada no Complexo (correspondendo a 54% do total projetado) (**Figura 41**).

Figura 41- Projeção da taxa média de movimentação de cargas dos Portos de Belém e de Vila do Conde.



Fonte: Plano Mestre do Complexo Portuário de Belém e Vila do Conde (2017).

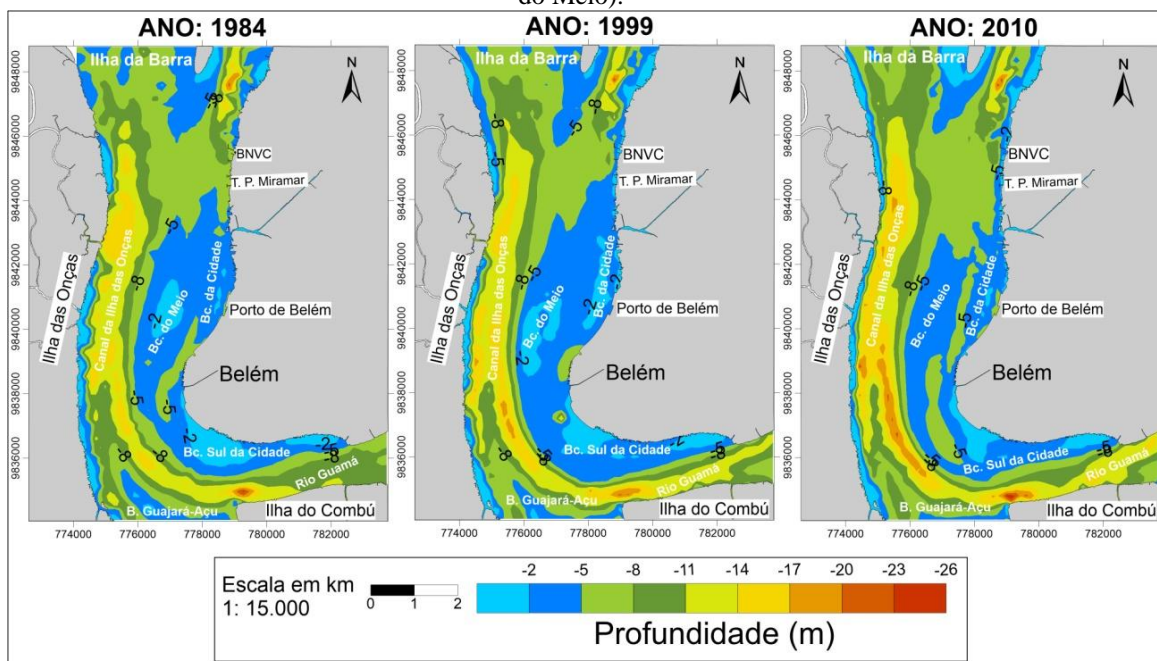
7 RESULTADO E DISCUSSÕES

7.1 Mudanças da morfologia dos fundos da Baía de Guajará

Ao comparar as batimetrias dos anos de 1984, 1999 e 2010 foi possível identificar uma série de modificações (aprofundamento e assoreamento) nos fundos que resultaram em variações na profundidade da Baía de Guajará (**Figura 42**). Nesse cenário, duas grandes feições se destacam: (1) os canais e (2) os bancos que se modificam constantemente ao longo do tempo.

Houve entre 1984 e 2010 uma diminuição na dimensão dos bancos, com aumento de profundidade nessas regiões, principalmente nos bancos de areia do Meio e da Cidade. A barra localizada à jusante do rio Guamá (Barra do Guajará-Açu) também sofreu erosão ao longo desses 26 anos, resultando em uma maior largura do Canal da Ilha das Onças. Esta barra, em 1984, tinha 2 km de extensão com 526 m de largura, em 2010 ela encontra-se com 326 m de extensão e somente 222 m de largura.

Figura 42- Mapas batimétricos dos anos de 1984, 1999 e 2010, mostrando a evolução da morfologia dos fundos na Baía de Guajará (bancos: do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade; canais: da Ilha das Onças, do Meio).



O Canal da Ilha das Onças tem como limite lateral a isóbata de 10 m. Entre 1984 e 1999, este canal apresentava migração em direção à margem esquerda da Baía de Guajará, isso resultou em um avanço dos bancos na mesma direção. De 1984 a 2010 o Canal da Ilha das Onças volta a sua migração em direção à margem direita da Baía de Guajará resultando na diminuição dos limites dos bancos. Os limites do canal em 1984 e em 2010 são próximos, ou seja, o canal migrou em 1999 para a esquerda e em 2010 retoma para os limites observados 1984.

Próximo às áreas de bota- fora a profundidade máxima encontrada no Canal da Ilha das Onças foi de 18 m em 1984, aumentando para 22 m em 1999, em 2010 a profundidade máxima se manteve em 22 m. As maiores profundidades são encontradas fora dessa região, próximo ao canal do rio Guamá a profundidade é de 25 m. Na região dos bancos do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade em 1984 a cota mais baixa era de 1 m, em 1999 alguns pontos chegaram a atingir 0 m (lamina d'água), já em 2010 a mínima foi de 1 m próximo ao Banco do Sul da Cidade, entretanto, a máxima foi de 6 m em todos os anos, com avanço da isóbata na direção do Canal da Ilha das Onças em 1999.

Para determinar a área ocupada pelo canal e a área de bota- fora foi utilizada a isóbata de 10 m como divisória. Ao lado esquerdo desta isóbata está o canal e ao lado direito está a área de bota- fora ou que viria a ser, considerando os anos anteriores a 2000, quando as áreas de bota- fora ainda não estavam operando (1984 e 1999).

Assim, em 1984 a área de canal ocupava $16.407.551\text{m}^2$, representando 40,20% da área de estudo, e a área de bota-fora ocupava uma área de $24.413.356\text{ m}^2$, representando 59,80% da área. Em 1999, algumas modificações foram observadas, a área de canal diminuiu para $14.831.541\text{m}^2$, representando 36,83% da área total e com redução de 3,37% em relação ao ano de 1984, já a área de bota- fora aumentou para $25.440.804\text{ m}^2$, ou 63,17% da área, aumentando 3,57% em relação ao ano de 1984. Em 2010, a área do canal aumentou para $15.998.327\text{ m}^2$, ou 38,42% da área de estudo, e a área de bota- fora $25.647.184\text{ m}^2$, ou 61,58% da baía, com redução de 1,59 % em relação a 1999 (**Tabela 1**).

Tabela 1- Áreas ocupadas pelos Bancos (Banco do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) e Canais (Canal da Ilha das Onças e Canal do Meio) na Baía de Guajará.

Anos	Canais (em m²)	%	Bancos (em m²)	%
1984	16.407.551	40,20	24.413.356	59,80
1999	14.831.541	36,83	25.440.804	63,17
2010	15.998.327	38,42	25.647.184	61,58

7.1.1 Evolução geomorfológica das áreas de bota- fora

As “áreas do bota-fora” são conhecidas como locais onde são despejados sedimentos oriundos das atividades de dragagens, em que possam permanecer por tempo indeterminado, em seu estado natural ou transformado, de forma que não prejudiquem a segurança da navegação e nem causem danos ao meio ambiente ou à saúde humana (MARINHA DO BRASIL- NORMAM 11, 2003).

Na Baía de Guajará, os sedimentos dragados nos portos da região antes de 2000 eram lançados na margem esquerda da baía, ao lado do Canal da Ilha das Onças, onde a hidrodinâmica se encarregava da distribuição dos sedimentos, ou nas áreas portuárias, contribuindo como aterros. A partir de 2000, após estudos coordenados pela AHIMOR iniciou-se a disposição dos sedimentos dragados nas áreas de bota-fora n° 1, 2 e 3. Ainda tem a área de bota- fora n° 4 (localizada próximo à Ilha da Barra).

No período entre 1984 e 1999, os bancos de areia da baía de Guajará mostravam tendência de migração para oeste, acompanhando a migração do Canal da Ilha das Onças, considerado a feição mais importante da baía (Pinheiro, 1987; Silveira, 1989). De 1999 para 2010, a migração do canal passou para a direção leste, no sentido da margem direita da baía, ou seja, uma migração inversa do período anterior, retomando os limites antigos, com a isóbata de 5 m dos anos de 1984 e 2010 quase sobrepostas e os bancos acompanhando essa mudança. Entre 1999 e 2010 houve intenso processo erosivo, resultando na perda dos sedimentos despejados nas áreas de bota-fora pela hidrodinâmica local.

Gregório (2008) destacou o aprofundamento do Canal da Ilha das Onças, a escavação dos Canais do Meio e Oriental e a criação de uma zona de deposição de sedimentos junto à margem sul de Belém na Baía de Guajará, tais tendências de evoluções são corroboradas nesta dissertação de mestrado. O trabalho de Bock (2010)

também evidenciou o aprofundamento dos canais da baía, afirmando que as alterações na morfologia implicam em variações significativas no padrão de circulação.

7.1.1.1 Balanço sedimentar

Analisando o balanço sedimentar da Baía de Guajará a partir de dados de volume notou-se que no primeiro período (1984-1999) houve assoreamento nos bancos com perda de profundidade, tendência observada nos bancos e nos canais, já no segundo período (1999-2010) predominou aprofundamento.

Em 1984 o volume sedimentar na área dos bancos de areia era de 108.944.765 m³ e em 1999 foi de 108.386.247 m³, houve uma diminuição de 558.518 m³ entre esses anos, ou -37.234 m³/ano. Como esses dados medem o volume da coluna d'água e não do pacote sedimentar de fundo, significa que houve diminuição na profundidade da baía, ou seja, assoreamento nos bancos.

Já no Canal da Ilha das Onças em 1984 possuía 185.108.024 m³ e em 1999 o volume baixou para 178.847.018 m³, com perda de 6.261.006 m³, equivalente a -569.182 m³/ano, indicando assoreamento também nessa região, pois a profundidade da coluna d'água diminuiu e o pacote sedimentar de fundo aumentou. Esse assoreamento não é no talvegue do canal, onde a erosão é processo constante e sim em suas margens.

Entre 1999 e 2010 os bancos de areia na Baía de Guajará perderam cerca de 79.167.984 m³ em volume (1999: 108.386.247 m³ e 2010: 187.554.231 m³), ou seja, houve erosão com uma taxa de 7.197.089 m³/ano.

Na região do canal que em 1999 possuía um volume de 178.847.018 m³ e 187.554.231 m³ em 2010, teve um aumento de 8.707.213 m³ no volume, igual aos bancos houve predominância de erosão com taxa de 791.564 m³/ano.

Com os dados de profundidade extraídos das cartas náuticas de cada ano gerou-se um mapa de evolução batimétrica para a Baía de Guajará, de forma que pudesse identificar os pontos de aprofundamento (erosão) e deposição (assoreamento) em diversas áreas específicas da baía, bem como nas áreas de bota-fora e no Canal da Ilha das Onças.

Para melhor entendimento das mudanças ocorridas no fundo da Baía de Guajará e correlacionar essas mudanças com projetos de dragagens na área portuária, a evolução batimétrica foi dividida em dois períodos, o primeiro entre os anos de 1984 e 1999 e o segundo entre os anos de 1999 e 2010. Na escala, os valores positivos indicam

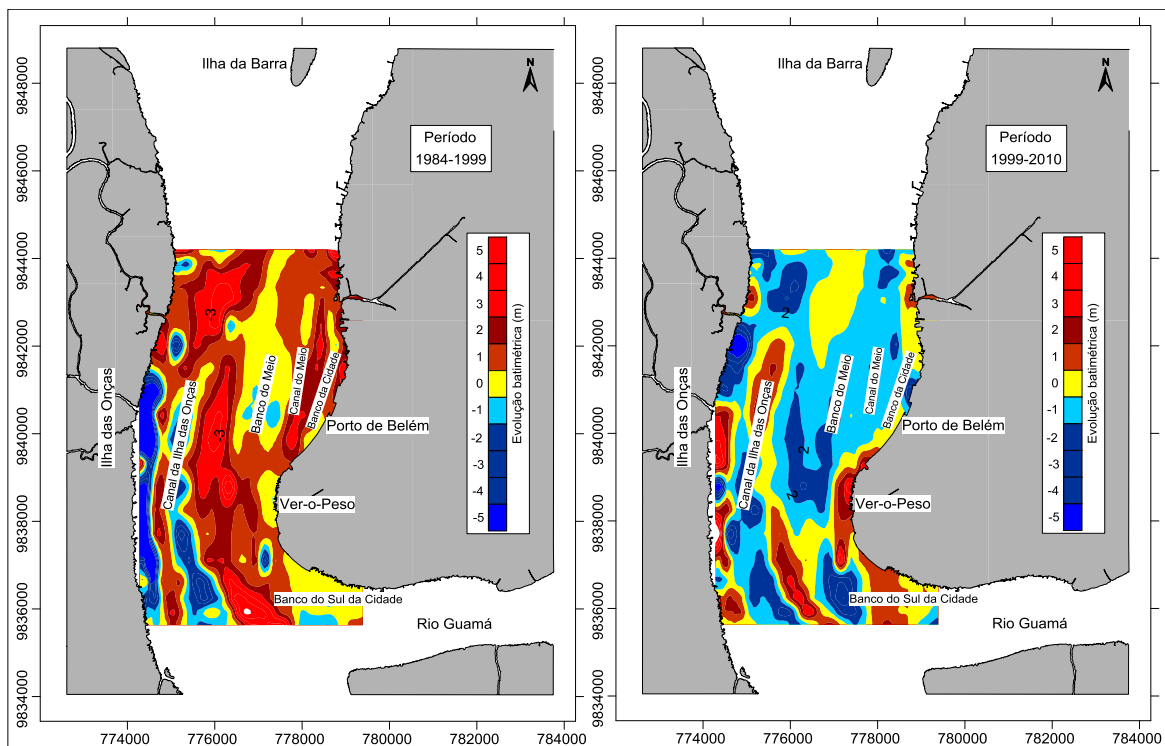
assoreamento, os negativos representam aprofundamento e zero são as áreas que não sofreram modificações nesses períodos (**Figura 43**).

Os resultados mostram que no primeiro período tem-se as maiores ocorrências de assoreamento nas áreas de bota-fora (nº 1, 2 e 3) e em outras regiões da baía, os pontos de aprofundamentos mais acentuados foram identificados no Canal da Ilha das Onças onde o aumento de profundidade variou de 1 a 4 m, resultado do intenso processo erosivo. Sobre o Banco do Meio quase não houve alterações, já no Banco da Cidade houve assoreamento, identificado pela perda de profundidade nesta região, o que significa maiores volumes de sedimentos depositando nesta região.

O mapa da evolução temporal para o segundo período (1999- 2010) comprova as análises de volume sedimentar obtidos para a área de bancos e canal da Baía de Guajará, onde foram constatadas diminuições no volume de sedimentos de fundo dessas regiões. Entre 1999 - período que antecede a dragagem, e 2010 - período de 10 anos após o lançamento dos sedimentos nas áreas de bota-fora, houve predominância de aprofundamento nas áreas de bota-fora e em maior parte da Baía de Guajará, resultado da retirada de grande parte dos sedimentos de fundo dessas áreas (erosão). Poucos pontos de assoreamento foram identificados, estes estão localizados na região entre o Canal da Ilha das Onças e do Banco do Meio e no Banco do Sul da Cidade onde houve perda de profundidade de 1 a 3 m.

Os dois períodos mostraram que mesmo com a identificação de alguns pontos de assoreamento o predomínio é de erosão, com aumento de profundidade, nos bancos e principalmente nos canais. Em 2010, nas áreas de bota-fora, não há mais registros dos sedimentos ali depositados em 2000, ou seja, todos os sedimentos foram retirados pela hidrodinâmica local.

Figura 43- Mapa da evolução batimétrica da Baía de Guajará nas áreas de bota-fora nº 1, 2 e 3. Os dois mapas representam os períodos de 1984 a 1999 (esquerda) e de 1999 a 2010 (direita), onde os valores positivos indicam assoreamento e negativo aprofundamento.



7.2 Mudanças espaciais dos fundos das áreas de bota- fora

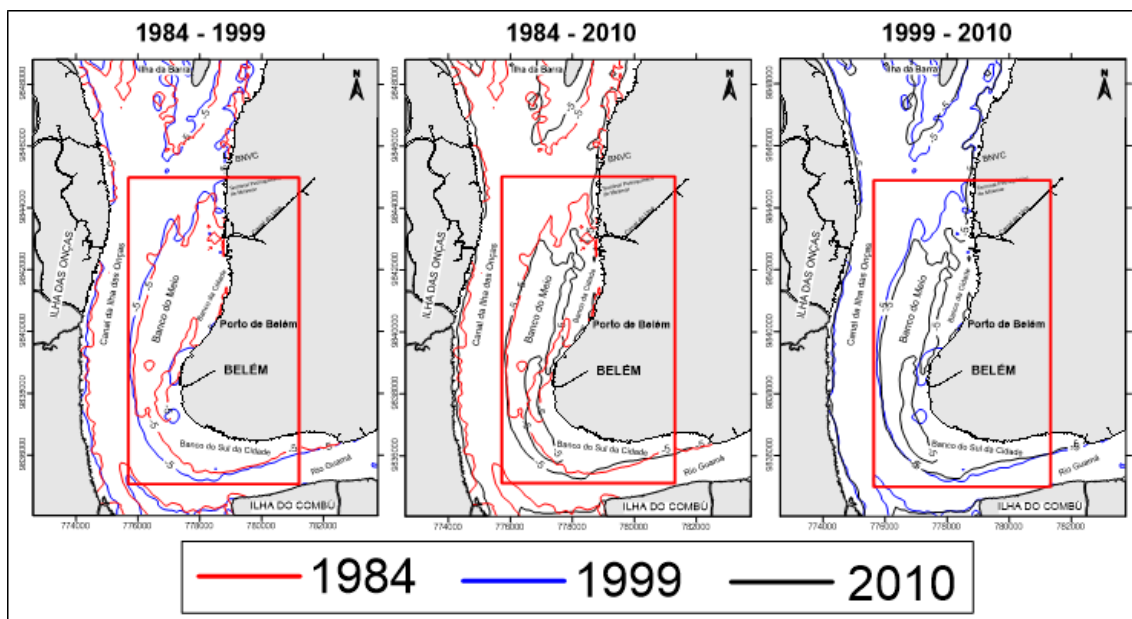
As mudanças espaciais dos fundos das áreas de bota- fora foram analisadas nos períodos de 1984-1999, 1984-2010 e 1999-2010. Uma das principais mudanças observadas foi a migração do Canal da Ilha das Onças, primeiro em direção à margem esquerda da Baía de Guajará e depois retomando seus limites em direção à margem direita, deslocando os Banco do Meio e da Cidade consigo (**Figura 44**).

No período de 1984 e 1999 (15 anos) diversas mudanças na morfologia de fundo das áreas de bota-fora foram observadas. O Canal da Ilha das Onças migrou para oeste, em direção à margem esquerda da Baía de Guajará, essa migração é constante e natural, resultando no deslocamento dos bancos do Meio e da Cidade, conforme os limites do canal se alteram.

As mudanças observadas sobre os bancos de areia mostraram, primeiro na parte superior, próximo ao Terminal Petroquímico de Miramar, migração para oeste, no mesmo sentido da migração do canal, com 207,99 m ou 13,86 m/ano. Lateralmente, na porção média, os bancos do Meio e da Cidade migraram 234,33 m, crescendo a uma

taxa de 15,62 m/ano. Na porção inferior, já ao sul da baía, a migração para sudoeste alcançou 463 50 m, ou seja, 30,09 m/ano.

Figura 44- Comparação dos mapas batimétricos nos períodos de 1984-1999, 1984-2010 e 1999-2010, evidenciando as mudanças de fundo na Baía de Guajará. O quadro em vermelho representa os limites das Áreas de Bota Fora. As isóbatas, em vermelho, azul e preta representam respectivamente os anos de 1984, 1999 e 2010.



No período total das análises multitemporais, de 1984-2010 (26 anos), a dinâmica dos fundos evidenciou perda de sedimentos na região dos bancos de areia da Baía de Guajará. Na porção norte todo o sedimento foi retirado, ficando ali somente os limites representados pela isóbata de 1984, de 2010 só há registros de sedimentos na porção sul.

Na porção superior, a migração entre os dois anos, alcançou 585, 00 m, ou 22,5 m/ano. As mudanças laterais foram poucas, com 121, 62 m, ou 4,67 m/ano. Na porção inferior, próximo ao Banco do Sul da Cidade a migração foi de 485, 87 m, um crescimento de 18,68 m/ano.

No período de 1999- 2010 (11 anos) houve perda de sedimentos em todo o setor das áreas de bota- fora, onde os limites da isóbata de 2010 ficaram dentro dos de 1999, evidenciando a retirado de sedimentos nesse período. Na parte superior a migração alcançou 809,85 m, com tendência de crescimento de 73,06 m/ano, a maior observada na baía comparando todos os períodos. Lateralmente a migração alcançou 218,57 m, ou

19,87 m/ano para leste, na porção inferior houve migração de 181,78 m, que equivale a 16,52 m/ano.

Tabela 2- Migração dos fundos da Baía de Guajará nas áreas de bota-fora entre os períodos de 1984 a 1999, 1984 a 2010 e 1999 a 2010.

SETORES	PERÍODOS		
	1984-1999	1984-2010	1999-2010
SUPERIOR	Migração para oeste	Migração para sul	Migração para sul
	207,99 m	585,00	809,85m
	13,86 m/ano	22, 5 m/ano	73, 06 m/ano
MÉDIO	Migração para oeste	Migração para oeste	Migração para leste
	234,33 m	121,62 m	218,57 m
	15,62 m/ano	4,67 m/ano	19,87 m/ano
INFERIOR	Migração para sudoeste	Migração para oeste	Migração para norte
	463,50 m	485,87 m	181,78 m
	30,09 m/ano	18,68 m/ano	16,52 m/ano

7.2.1 Mudanças da morfologia antes da criação das áreas de bota-fora

No período de 1984 a 1999 (15 anos) não há registros de lançamentos de sedimentos dragados na região dos bancos na Baía de Guajará, assim, as mudanças morfológicas ocorridas decorrem de condições naturais, no caso foram registrados altos índices de assoreamento nesse período.

Nesse período foi notada uma expansão das áreas dos bancos do Meio e da Cidade pelo processo de migração do Canal da Ilha das Onças para oeste. Tantos os mapas batimétricos como os perfis transversais mostram assoreamento na região, com perdas significativas de profundidade.

Ao analisar a batimetria de 1999, as áreas que apresentaram maiores índices de assoreamento foram próximas aos Bancos do Meio e do Sul da Cidade e às margens do Canal da Ilha das Onças. A direção de transporte dos sedimentos de fundo era para norte, a mesma das correntes de maré de vazante com 1,74m/s (Pinheiro, 1987) e lateralmente para oeste.

7.2.2 Mudanças da morfologia depois da criação das áreas de bota-fora

A análise do período de 1999 e 2010 (11 anos) é a mais importante, tendo em vista que é nesse intervalo que as áreas de bota-fora n° 1, 2 e 3 foram criadas e autorizadas pelo órgão de meio ambiente estadual para receber os sedimentos oriundos das dragagens dos portos da região.

Entre os anos de 1999 e 2003 foram dragadas as seguintes áreas: Canal de acesso ao Porto de Belém, no trecho desde o Forte do Castelo até o Terminal Petroquímico de Miramar (2000- 2001); do canal de acesso ao Porto de Belém, no trecho desde Petrobrás, bairro de Tapanã até Icoaraci (2000-2001); do canal de acesso ao Porto de Belém, no trecho desde o Forte do Castelo até o Terminal Petroquímico de Miramar (2001- 2002); do canal de acesso ao Porto de Belém, no trecho desde Petrobrás no Bairro do Tapanã até Icoaraci (1999- 2001) produziu um volume de 1.250.000 m³ de sedimentos, que foram lançados nas áreas de bota-fora n° 1, 2.

Considerando o período todo (1984-2010) o que ocorreu foi erosão em quase toda a extensão da Baía de Guajará, porém, os estudos de Miranda e Mendes (2007) mostraram que a Baía de Guajará, entre os anos de 1962 e 2003, vinha sofrendo processo de assoreamento, principalmente na região dos bancos do Meio e do Sul da Cidade, esse estudo evidencia a influência da disposição dos sedimentos nas áreas de bota- fora sobre a morfologia dos bancos de areia da Baía de Guajará.

Para Alves (2018) a variação da maré e da descarga fluvial são parâmetros que influenciam na hidrodinâmica e balanço sedimentar de um estuário. Já Monge-Ganuzas *et al.* (2013) afirmam que durante um ciclo de maré, as correntes de maré redistribuem os sedimentos arenosos, introduzidos nos estuários através da entrada por ondas e correntes de maré. Para melhor compreender as mudanças morfológicas de fundo da Baía de Guajará, sofridas pela disposição de sedimentos dragados, serão necessários levantamentos batimétricos dos locais em períodos após o lançamento, pois em 10 anos a hidrodinâmica da Baía de Guajará já alterou todos os sedimentos depositados nas áreas de bota-fora.

Chernetsky *et al.* (2010) ao aplicarem um modelo para investigar mudanças nas marés e dinâmica dos sedimentos no estuário do rio Ems (Alemanha), verificaram que alterações antropogênicas (obras de dragagens, principalmente) alteraram significativamente os locais de movimentação de água e retenção de sedimentos de

1980 a 2005, diminuindo a capacidade do estuário e aumentando a retenção de sedimentos em alguns pontos.

Pode-se afirmar que a disposição de sedimentos dragados alterou a dinâmica de transporte dos sedimentos de fundo da Baía de Guajará, intensificando o processo de erosão. No período de 1984-1999, a saída de sedimentos dos bancos era pouco evidenciada, já de 1999-2010 essa tendência de transporte para norte (jusante) se intensifica, direção que predominam as correntes de enchente com 2,10m/s (PINHEIRO, 1987). No entanto, é preciso levar em consideração outras fontes de sedimentos para a baía, como os aterros para construção de orla, no caso do Portal da Amazônia, que podem influenciar na direção de transporte dos sedimentos de fundo da baía.

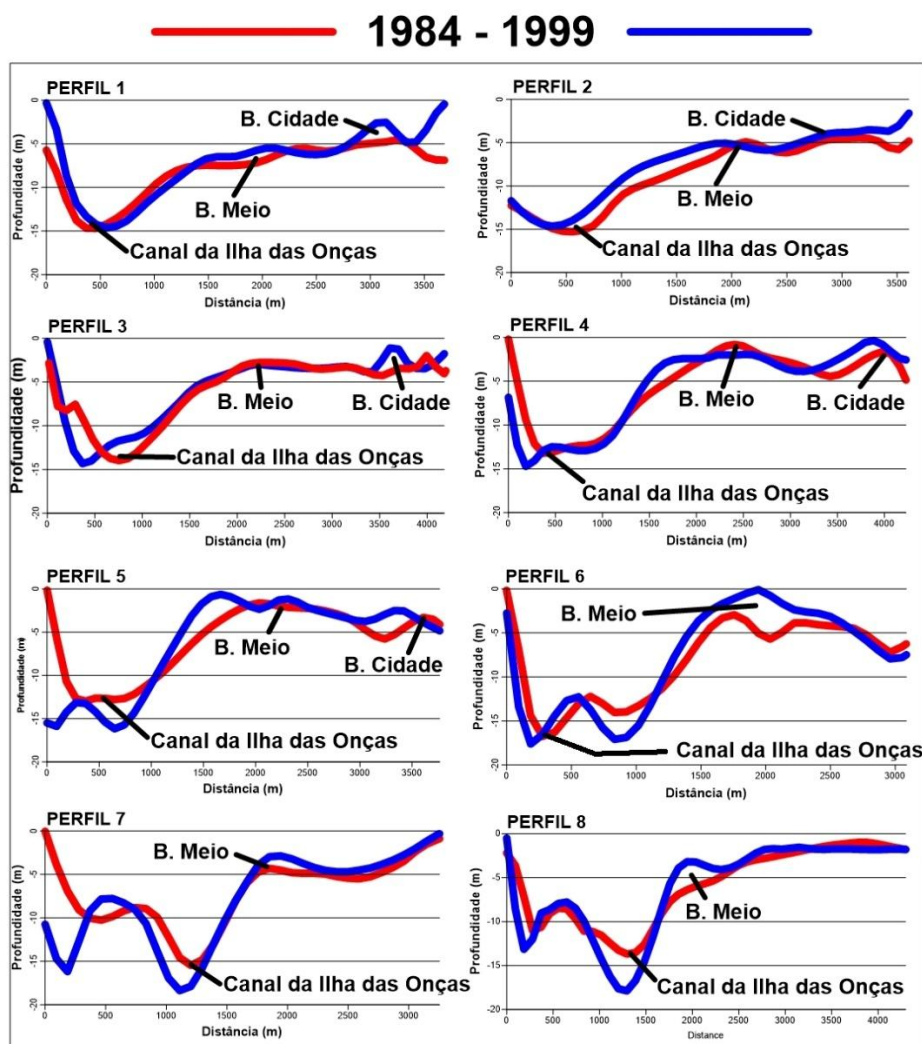
7.3 Mudanças verticais

Os perfis batimétricos gerados transversais à Baía de Guajará, de jusante para montante, mostram as variações sofridas pelos fundos das áreas de bota- fora em três períodos distintos: 1984-1999, 1999-2010 e 1984-2010.

7.3.1 Período 1984-1999

O primeiro período analisado foi entre 1984 e 1999 (15 anos) e mostrou assoreamento em diversos pontos, bem como a migração do Canal da Ilha das Onças em direção à margem esquerda da Baía de Guajará (**Figura 45**).

Figura 45- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1984 (em vermelho) a 1999 (em azul).



Perfil 1: trecho com 3 km de largura. Esse perfil evidencia a migração do Canal da Ilha das Onças para esquerda com uma leve diminuição de profundidade, passando 14,8 m (1984) para 14,9 m (1999). Sobre o Banco do Meio houve deposição de sedimentos causando assoreamento da região, o Canal do Meio aprofundou (de 6 m em 1984 para 7 em 1999), o Banco da Cidade sofreu assoreamento, chegando a 3 m de profundidade em 2010.

Perfil 2: trecho com 3,5 km de largura, mostrando predomínio de assoreamento nas duas margens da Baía de Guajará. Houve um intenso assoreamento na margem direita do Canal da Ilha das Onças, com alguns trechos do canal alcançando 8 m de

profundidade, nos bancos também ocorreu assoreamento, principalmente no Banco da Cidade com profundidade indo de 4 m em 1984 para 3 m em 1999.

Perfil 3: trecho com 4 km de largura, mostra migração para esquerda do Canal da Ilha das Onças, com pequeno aumento da profundidade (< 1 m comparando as profundidades dos dois anos). Na área de bota-fora nº 2, onde ocorre o Banco do Meio não foram observadas grandes mudanças, já onde está localizada a área de bota-fora nº 3 ficou evidente o crescimento do Banco da Cidade, evidenciado pelo elevado assoreamento, com a profundidade em 1999 em 2 m.

Perfil 4: trecho com 4 km de largura, mostra pequeno aprofundamento na margem esquerda do Canal da Ilha das Onças (de 13 m em 1984 para 15 m em 1999). As áreas de assoreamento identificadas na margem direita da Baía de Guajará correspondem aos bancos do Meio e da Cidade, respectivamente. Nesse perfil, o Banco do Meio sofreu aprofundamento (de 2 m em 1984 para 3 m em 1999) e o Banco da Cidade assoreamento (4 m em 1984 e 1,5 m em 1999), os dois estão separados pelo Canal do Meio que migrou em direção ao Banco do Meio.

Perfil 5: trecho com 3,5 km de largura mostra aprofundamento, bifurcação e formação de uma barra no Canal da Ilha das Onças. O assoreamento na região dos bancos do Meio e da Cidade é evidente, com perda significativa de profundidade (3 m em 1984 para 1 m em 1999), no Canal do Meio poucas alterações foram observadas, o Banco da Cidade também assoreou, perdendo profundidade (6 m em 1984 para 3 m em 1999).

Perfil 6: trecho com 3 km de largura, mostra a divisão do Canal da Ilha das Onças em “W” bem mais evidente, com migração para esquerda e aprofundamento (de 16 m em 1984 para 17 m em 1999). A extensão do Banco da Cidade não é a mesma do Banco do Meio, uma vez que somente o do Meio é visível neste perfil, apresentando a profundidade crítica (0 m), declinando em seguida para a direita com profundidade > 5 m.

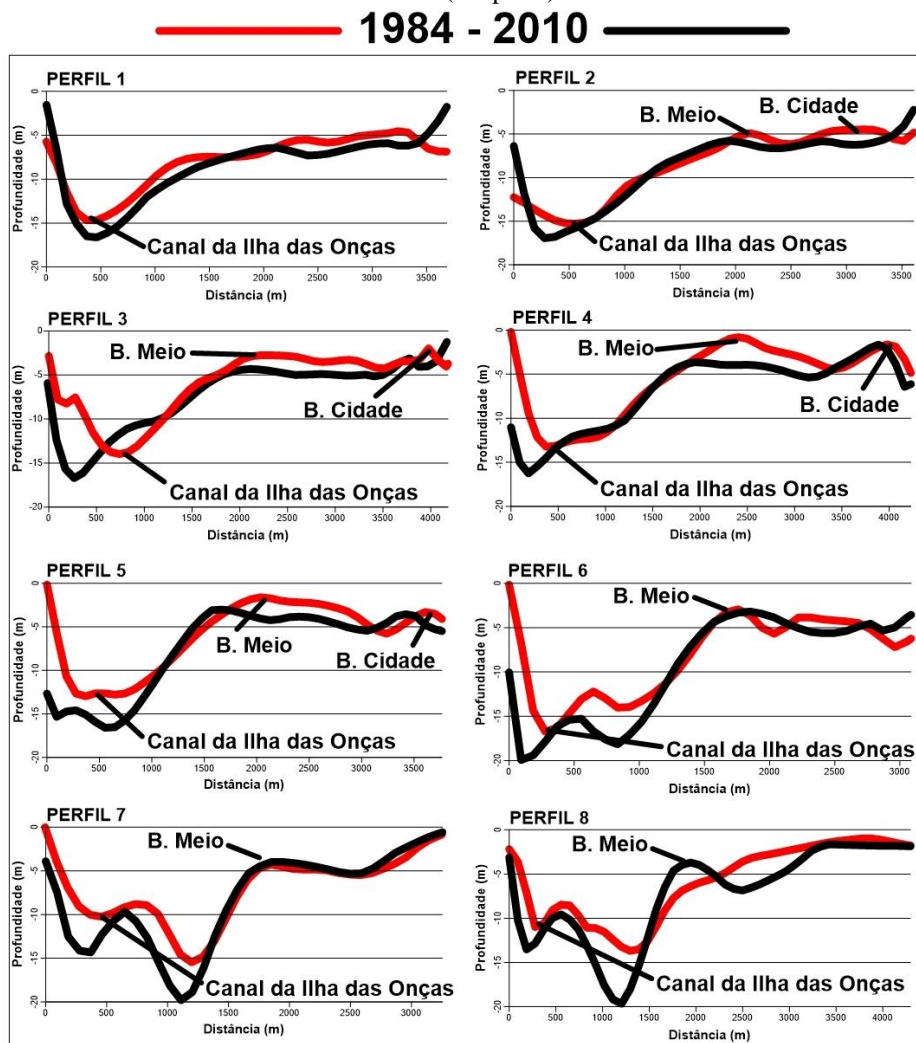
Perfil 7: trecho com 3 km de largura, mostra que a divisão do Canal da Ilha das Onças é bem mais evidente em 1999 que em 1984. Houve predomínio de aprofundamento passando de 10 m em 1984 para 17 m em 1999, ainda na parte central da Baía de Guajará houve aprofundamento, de 15 m para 19 m. Na margem direita da baía houve assoreamento com diminuição da profundidade, de 5 m em 1984 para 3 m em 1999.

Perfil 8: trecho com 4 km de largura. Além da bifurcação do Canal da Ilha das Onças, houve expressivo aumento de profundidade, chegando a 18 m em 1999. Ao lado do Canal da Ilha das Onças ainda é possível identificar o banco do Meio, evidenciado pela baixa profundidade (3 m), em direção à margem direita há alternância em aprofundamento e assoreamento no Banco do Sul da Cidade.

7.3.2 Período 1984-2010

Foram analisadas as mudanças ocorridas no período completo de análise, ou seja, entre 1984 e 2010, e os resultados mostram significativo aumento de profundidade nesse período (**Figura 46**).

Figura 46- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1984 (em vermelho) e 2010 (em preto).



Perfil 1: trecho com 3 km de largura. No Canal da Ilha das Onças notou-se erosão na margem direita em relação a 1984 e na margem esquerda do canal os limites entre os dois anos coincidem, ou seja, não houve alterações morfológicas significativas. A profundidade no canal passou de 15 m (1984) para 17 m (2010). Próxima à margem direita, em cima dos bancos do Meio e da Cidade, houve aprofundamento de 5 m (1984) para 7 m (2010).

Perfil 2: trecho com 3,5 km de largura aprofundou de 15,5 m (1984) para 17,5 m (2010) no Canal da Ilha das Onças. Nas áreas dos bancos houve aprofundamento 4,6 m em 1984, aumentou para 7 m em 2010.

Perfil 3: trecho com 4 km de largura, o Canal da Ilha das Onças passou de 14 m (1984), para 17 m (2010), migrando lateralmente para a margem esquerda da Baía de Guajará. No Banco da Cidade a profundidade aumentou de 3 m em 1984 para 5 m em 2010, o Banco da Cidade apresentou aprofundamento (4,5 m em 1984 para 3 m em 2010).

Perfil 4: trecho com 4 km de largura, o Canal da Ilha das Onças se aprofundou de 13 m (1999) para 17 m (2010). Em direção ao Porto de Belém houve aprofundamento do Banco do Meio passando de 1 m (1984) para 6 m (2010). Esta área representa o início da área de bota-fora n° 1.

Perfil 5: trecho com 3,5 km de largura, o Canal da Ilha das Onças se aprofundou, de 12,5 m (1984) para 17 m (2010). O Banco do Meio aumentou sua profundidade, de 3 m (1984) para 4,5 m (2010).

Perfil 6: trecho com 3 km de largura, o Canal da Ilha das Onças se aprofundou de 17 m (1984) para 20 m (2010). O Banco do Meio sofreu poucas alterações, mas com pontos de assoreamento. O Canal do Meio se aprofundou de 4 m em 1984 para 5,2 m em 2010.

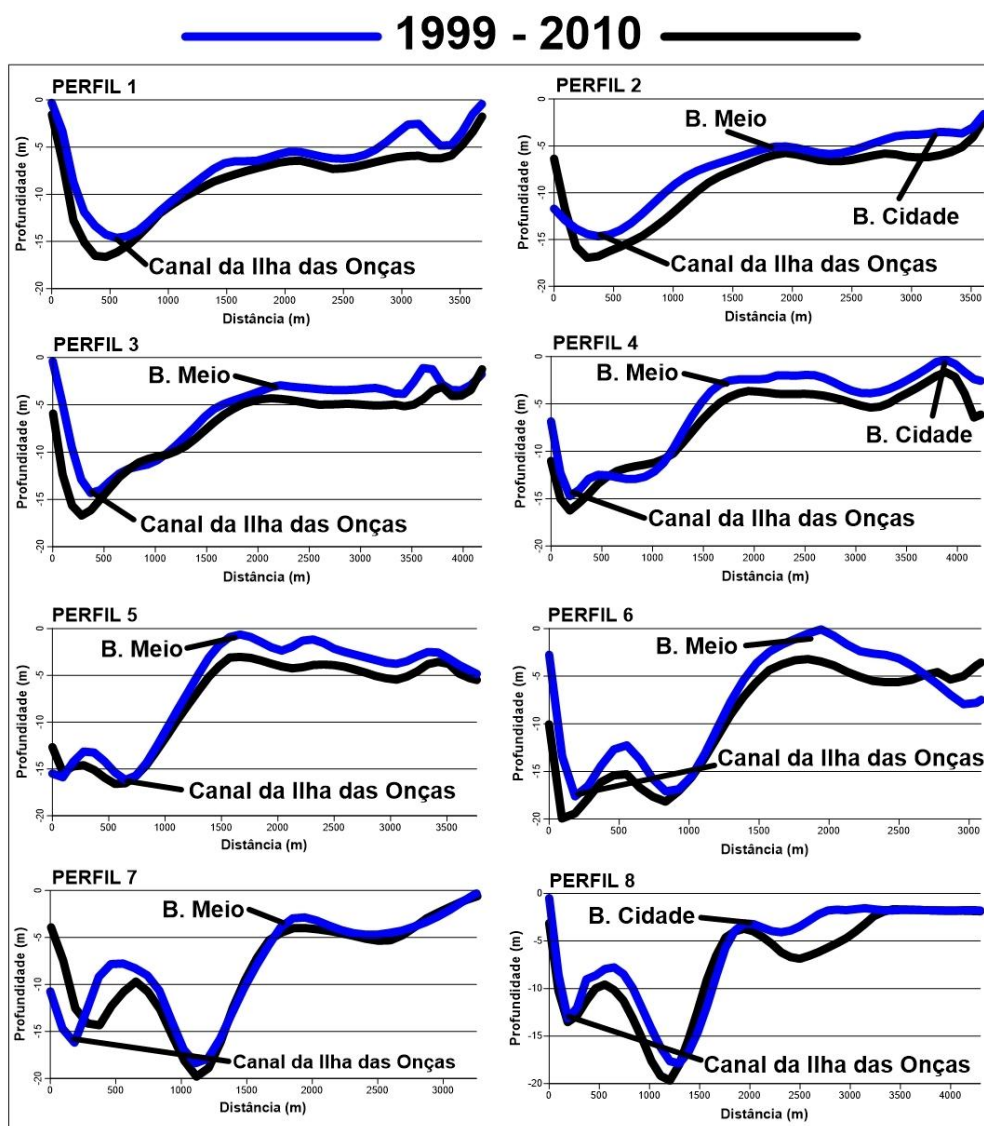
Perfil 7: trecho com 3 km de largura. O Canal da Ilha das Onças se aprofundou, de 10 m (1984) para 20 m (2010). Em direção a margem direita houve pequena diminuição de profundidade de 5m em 1984 para 4 m em 2010.

Perfil 8: trecho com 4 km de largura. O Canal da Ilha das Onças se aprofundou de 14 m (1984) para 20 m (2010). O Banco do Meio assoreou (7 m em 1984 para 4 m em 2010). O canal que separa os Bancos do Meio e do Sul da Cidade aprofundou, de 4 m em 1984 para 7 m em 2010.

7.3.3 Período 1999-2010

O período entre 1999 e 2010 representa o antes e depois da disposição de sedimentos dragados na Baía de Guajará, especificamente nas áreas de bota-fora aqui estudadas. Os perfis mostraram um alto processo erosivo nesse período e aumento de profundidade, seja nos canais ou nos bancos (**Figura 47**).

Figura 47- Perfis transversais nas áreas de bota-fora da Baía de Guajará. Período de 1999 (em azul) e 2010 (em preto).



Perfil 1: trecho com 3,5 km de largura. Não há nenhuma área de lançamento de sedimentos no trecho do perfil. Em todo o perfil houve aumento de profundidade (de 3

m em 1999 para 7 m em 2010) na área dos bancos e de 15 m (1999) para 16 m (2010) no Canal da Ilha das Onças.

Perfil 2: trecho com 3,5 km de largura. Em cima das áreas de bota-fora n° 2 e 3, o perfil apresentou aprofundamento em toda sua extensão, no Canal da Ilha das Onças aumentou de 15 m em 1999 para 17 m em 2010, nos bancos aumentou de 4 m para 7 m.

Perfil 3: trecho com 4 km de largura, abrange as áreas de bota-fora n° 2 e 3 e predominou aumento de profundidade. No canal da Ilha das Onças aumentou de 14 m em 1999 para 16 m em 2010, também nos bancos houve aprofundamento de 2 m para 5 m no mesmo período.

Perfil 4: trecho com 4 km de largura, com a presença da área de bota-fora n° 1. Pontos de assoreamento foram identificados somente na margem direita do Canal da Ilha das Onças, onde a profundidade passou de 13 m em 1999 para 12 m em 2010, na outra margem houve aumento de profundidade de 15 m para 16,5 m no mesmo período. Nos bancos a profundidade aumentou de 3 m para 6 m nesse intervalo de tempo.

Perfil 5: trecho com 3,5 km de largura, houve aprofundamento no Canal da Ilha das Onças, de 13 m (1999) para 16,5 m (2010). Em cima do Banco do Meio também houve aprofundamento, de 2 m (1999) para 4 m (2010), o Canal do Meio e o Banco da Cidade seguiram a mesma tendência de aprofundamento.

Perfil 6: trecho com 3 km de largura, houve aprofundamento significativo em todo o perfil. O Canal da Ilha das Onças aumentou de 17 m (1999) para 20 m (2010). Nos bancos a profundidade aumentou de 1 m para 6m no mesmo período.

Perfil 7: trecho com 3 km de largura. O Canal da Ilha das Onças aumentou de profundidade, de 14 m (1999), para 16 m (2010) em um trecho próximo à margem esquerda da Baía de Guajará, na margem direita do canal a profundidade nesse período aumentou de 18 m para 20 m. Nos bancos houve aprofundamento de 4 m em 1999 para 3 m em 2010.

Perfil 8: trecho com 4 m de largura, o Canal da Ilha das Onças se aprofundou de 17 m (1999) para 20 m (2010). Na margem direita, houve aprofundamento entre os Bancos do Meio e do Sul da Cidade de 4 m para 7 m no mesmo período.

7.3.4 Evolução das áreas de bota- fora e qualidade dos sedimentos de fundo

Os mapas e os perfis batimétricos mostraram aumento de profundidade em diversos pontos na Baía de Guajará de 1984 para 2010, a mesma tendência foi

encontrada nas áreas de bota- fora. Esse aumento na lamina d'água foi consequência da perda de sedimentos de fundo por processos de erosão controlados pela hidrodinâmica local.

Com base nas informações fornecidas pelo volume das batimetrias, verificou-se que o volume sedimentar de fundo da Baía de Guajará diminuiu. As áreas de bota- fora perderam alto volume de sedimentos de 1984 a 2010. O primeiro período que é de 1984 a 1999 já houve uma perda de sedimentos, mesmo com processo de assoreamento identificado em algumas áreas da baía. De 1999 para 2010 o processo de perda de sedimentos de fundo acelerou-se, resultando em um aumento significativo da profundidade nesse período.

Em 1984 o volume batimétrico era de 241.981.891 m³, sendo esta data a mais antiga em relação ao começo do uso das áreas de bota- fora, configurando como um dos períodos pré-dragagem, tendo em vista que não havia áreas de bota- fora demarcadas na Baía de Guajará nesse período.

Em 1999, ano que antecede a criação das áreas de bota- fora na Baía de Guajará pela Companhia das Docas do Pará, o volume era de 245.812.221 m³, com aumento de 1,6 % em relação a 1984. Em 2010, 10 anos após o lançamento dos sedimentos nas áreas de bota- fora, o volume sedimentar chegou a 285.967.820 m³, com aumento de 16,3% em relação a 1999.

Em relação ao pacote sedimentar de fundo, essas variações do volume de massa d'água representam perda de sedimentos, indicando aumento de profundidade ano a ano. No período entre 1984 e 1999 (15 anos) o volume batimétrico nas áreas de bota- fora aumentou 3.830.330 m³, ou seja, houve uma retirada de sedimentos de fundo equivalente a 255.355 m³/ano, já de 1999 para 2010 (11 anos), o volume batimétrico aumentou 40.155.599 m³, ou seja, equivalente a 3.650.509 m³/ano de sedimentos retirados do fundo.

Para chegar a uma tendência anual de evolução da Baía de Guajará a diferença de volume entre os períodos foi dividida pela área de estudo (35.495.954 m²), chegando a uma taxa de 0,10 cm/ano para o primeiro período (1984 a 1999) e 1,13 cm/ano para o segundo período (de 1999 a 2010). Este valor deve refletir o caráter natural do comportamento da sedimentação adicionado ao antrópico, no caso da deposição dos sedimentos oriundos da dragagem nas áreas de bota- fora n° 1, 2 e 3.

Diante disso, o valor foi inferior a diversos estuários (**Tabela 3**), como de Cananéia com 0.98 cm/ano Saito *et al.* (2001), de Santos com 0.16 a 0.54 cm/ano

Figueira *et al.* (2004), da Baía de Guanabara com 0.89 cm/ano Oliveira *et al.* (2004), da Baía de San Simón na Espanha com 0.60 cm/ano Martínez *et al.* (2011), Baía de Chesapeake nos Estados Unidos da América com 0.8 cm/ano Officer *et al.* (1984), mas com valores próximos. A taxa estimada para a Baía de Guajará foi muito menor se comparada com outros sistemas, como a taxa encontrada na Baía de São Marcos com 1.6 cm/ano Azevedo *et al.* (2013) e na Baía de Antonina com 2.6 cm/ano Odreski *et al.* (2003).

Tabela 3- Taxa de assoreamento em diversos estuários do mundo.

Taxa de assoreamento a níveis mundiais		
Local	Taxa (cm/ano)	Autor
Baía de Antonina	2.6 cm/ano	Odreski <i>et al.</i> (2003)
Estuário de Cananéia-Iguape	0.98 cm/ano	Saito <i>et al.</i> (2001)
Estuário de Santos	0.16 a 0.54 cm/ano	Figueira <i>et al.</i> (2004)
Baía de Guanabara	0.89 cm/ano	Oliveira <i>et al.</i> (2004)
Baía de San Simón (Espanha)	0.60 cm/ano	Martínez <i>et al.</i> (2011)
Chesapeake Bay (costa Leste dos USA)	0.8 cm/ano	Officer <i>et al.</i> (1984)
Baía de São Marcos (Maranhão)	1.6 cm/ano	Azevedo <i>et al.</i> (2003)
Baía de Guajará (Pará)	0,10 a 1,3 cm/ano	Mendes (2019)

Wang *et al.* (2013) afirmam que os canais estuarinos se desenvolvem para garantir que as correntes de água tenham resistência mínima à topografia e, portanto, a deposição dentro de um canal é menos provável de ocorrer. Destacam que não somente as influências antropogênicas têm impactos significativos na evolução geomorfológica dos estuários, além desses efeitos o fluxo de água doce, descargas de sedimentos, propagação da maré e a força de Coríolis desempenham papéis importantes no desenvolvimento de canais dentro dos estuários.

A interferência antropogênica, através do descarte de sedimentos dragados na Baía de Guajará pode ter influência nas alterações ocorridas na morfologia de fundo do estuário, resultando em maior erosão de bancos e canais, com aumento de profundidade

em diversos pontos da baía. No entanto, vale destacar que os canais estuarinos estão em mudanças constantes resultado tanto de processos naturais como antropogênicos que atuam na mudança morfológica, assim nunca estarão em equilíbrio (JEUKEN; WANG, 2010).

Estudos como o de Moura (2007) mostram a influência de esgotos urbanos na composição da água e dos sedimentos de fundo da Baía de Guajará, com valores de pH (7,39), baixos valores de oxigênio dissolvido (3 mg/l) e de nitrato (0,77 mg/L). A maioria dos esgotos despejados nas águas da Baía de Guajará é originária de indústrias adjacentes.

Esta baía se mostra como um bom sistema de dispersão de poluentes pela sua elevada hidrodinâmica, como constatado por Moura (2007), em que as análises feitas a 400 m longe do foco de despejo já foram encontrados valores esperados para um ambiente estuarino, mas a baía perde essa capacidade na medida em que a urbanização avança em suas orlas, o que pode em pouco tempo afetar a qualidade dos sedimentos de fundo.

Segundo Holanda (2010) os teores de nitrogênio e fósforo mantêm-se constantes e de carbono estão aumentando na Baía de Guajará. Os sedimentos de granulometria mais fina (silte e argila) presentes na Baía de Guajará são provenientes dos rios que deságuam na baía (rio Guamá e Acará), com contribuição de outros sistemas como o rio Pará (GREGÓRIO, 2008). Em menor escala são encontrados sedimentos de granulometria maior (areia), e estão restritos em alguns setores específicos da baía, como a foz do rio Guamá (GREGÓRIO, 2008). Ainda segundo Holanda (2010) os metais pesados na Baía de Guajará tem uma leve tendência de se concentrar onde existe a fração granulométrica mais fina.

Os índices de diversos metais pesados nos sedimentos de fundo da Baía tem aumentado nos últimos anos, como os de Cromo e de Vanádio (HOLANDA, 2010). No mesmo estudo o autor relata que os índices de níquel que estavam baixos voltaram a aumentar, as concentrações de chumbo e zinco diminuíram por conta na diminuição de lançamentos desses metais e a de cobre vem se mantendo constante.

Com base na resolução CONAMA nº 454/ 2012 que trata sobre gerenciamento de sedimentos dragados, a utilização do material dragado para uso benéfico pode ocorrer, no todo ou em parte, como recurso material em processos produtivos que resultem em benefícios ambientais, econômicos ou sociais, desde que não gerem

degradação ambiental, como alternativa à disposição direta em solo ou em corpos d'água.

Ainda segundo esta resolução, no que se refere à escolha de lançamento dos sedimentos em terra, os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores nacionais estabelecidos para solos pela Resolução do CONAMA nº 420/2009 ou norma estadual vigente. Já para a disposição em águas, os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo da Resolução e classificados em dois níveis:

a) Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;

b) Nível 2- limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Os valores encontrados na literatura para a Baía de Guajará mostram índices elevados para diversos metais pesados contidos nos sedimentos de fundo da baía, principalmente nos estudos de Holanda (2010), onde foram encontrados valores elevados de cromo e níquel, superiores aos níveis de referência do CONAMA para sedimentos dragados. A Tabela 4 mostra a relação de estudos realizados na Baía de Guajará em relação à qualidade de sedimentos de fundo, onde os valores de cada estudo são comparados com os níveis determinados pelo órgão de controle de dragados, a resolução CONAMA 454 de 2012.

Tabela 4: Níveis de classificação de material dragado para a Baía de Guajará.

Substâncias	CONAMA		Pereira (2001)	Carvalho (2002)	Saraiva (2007)	Holanda (2010)	
	Nível 1	Nível 2					
Metais	Arsênio (As)	5,9	17	-	-	-	
	Cadmio (Cd)	0,6	3,5	-	-	-	
	Chumbo (Pb)	35,7	197	38	59	33	28
	Cobre (Cu)	35,7	197	16	16	18	21
	Cromo (Cr)	37,3	90	65	66	60	103
	Mercúrio (Hg)	0,17	0,486	-	-	-	-
	Níquel (Ni)	18	35,9	39	24	19	40
Zinco (Zn)	123	315	74	70	74	85	

- valores não encontrados para a Baía de Guajará.

8 ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS DRAGADOS

Os resultados mostram que a Baía de Guajará não está com a sua capacidade de disposição sedimentar (recebimento de sedimentos oriundos de dragagens) comprometida. No entanto, a ausência de sedimentos dragados nas áreas de bota- fora em um período relativamente curto e o elevado grau de contaminação nos sedimentos de fundo desqualificam essas áreas para recebimento de sedimentos dragados, ou seja, o estudo para escolha de áreas certas para áreas de bota- fora precisam ser mais detalhados. Sendo assim, são necessárias alternativas para o destino dos sedimentos de futuras dragagens na baía.

Estudos mostram que mais de 90% dos sedimentos dragados em todo o mundo compreendem sedimentos não poluídos, naturais e não perturbados, que são considerados aceitáveis para reciclagem em uma ampla gama de usos benéficos (IADC, 2005).

Goes Filho (2004) destaca sobre o uso do termo “uso benéfico”, uma vez que esse termo foi criado para aproveitamento de sedimentos dragados visando benefícios ao meio ambiente, muito mais que para o homem. Destacando inclusive, alguns usos que podem ser questionados quando à proposta inicial, onde o uso dos sedimentos dragados gera impactos negativos para o meio ambiente, com a construção de estruturas para contenção de erosão praial.

Assim, o uso benéfico pode ser definido como “qualquer uso que não considere o material dragado com um desperdício”. Principais opções para uso de sedimentos dragados:

- Proteção costeira (por exemplo: alimentação de praias);
- Agricultura, horticultura, silvicultura;
- Desenvolvimento ou melhoria de habitat (por exemplo: aquáticos e de aves);
- Desenvolvimento e melhoria de paisagismo;
- Aterro de terras baixas;
- Recuperação de terras, como para o desenvolvimento industrial, habitação, infraestrutura;
- Produção de material de construção, como tijolos e agregados.

No Brasil ainda há poucos estudos sobre uso benéfico de sedimentos dragados. Simões Neto *et al.* (2017) em estudos de sedimentos dragados no Porto de Paranaguá e

Antonina (Paraná) mostram que estes, tem condições de uso em recuperação de praias com problemas de erosão. Esse uso não se aplica aos sedimentos da Baía de Guajará, onde há predominância de sedimentos finos (silte e argila).

Sedimentos dragados em portos brasileiros estão sendo testados também para uso na construção civil. Este exemplo é mostrado nos estudos de Mymrin *et al.* (2017). De acordo com estes autores, foram desenvolvidos materiais compostos para construção civil utilizando sedimentos dragados contaminados para atingir propriedades mecânicas dentro das normas brasileiras (NBR). O objetivo era produzir materiais de construção tecnicamente, economicamente e ambientalmente atraente que pudessem diminuir a poluição no oceano Atlântico com sedimentos dragados dos portos marítimos brasileiros. Para eles, esses compostos podem substituir os tradicionais usados nas construções que são caros e que requerem extração de recursos naturais pela indústria e causam destruições irreversíveis em pedreiras naturais.

Santos *et al.* (2017) propuseram o uso de sedimentos dragados em canais fluviais na Bahia para substituir argila em massas de cerâmica estrutural, na fabricação de blocos e telhas. Embora o estudo não seja com sedimentos estuarinos, são com sedimentos de granulometria fina (silte/ argila). Os resultados mostraram que a mistura do sedimento proveniente dos canais fluviais com argila, na proporção de 10% e 90% em massa, respectivamente, não promoveu variações significativas das propriedades do produto final, se comparada com a argila pura.

Os estudos de uso de sedimentos dragados fora do Brasil, em sua maioria, também são voltados para uso destes como materiais de construção, principalmente por apresentar técnicas que não exigem gastos elevados. Cappuyns *et al.* (2015) afirmam que sedimentos dragados podem ser usados como recurso para materiais de construção, desde que cumpram certos critérios. Esses critérios consistem em valores limites em relação ao teor máximo admissível de contaminantes nos sedimentos.

Ozer-Erdogan *et al.* (2016) descrevem na Turquia o uso potencial de material dragado não tratado e tratado como agregados para concretos. Atualmente, diversos trabalhos estão trazendo para a sociedade a discussão sobre os sedimentos dragados e suas alternativas de uso, mostrando a confiabilidade e eficiência dos materiais gerados, algo que a maioria dos estudos antigos não aborda (LIMEIRA, 2011).

O artigo 15 da resolução CONAMA nº 454/ 2012 afirma que a decisão sobre a disposição e à possibilidade da utilização benéfica do material dragado é de acordo com sua caracterização e classificação, bem como a avaliação ambiental e a análise da

viabilidade econômica e operacional das opções de disposição atendida às regulamentações específicas e pertinentes.

9 CONCLUSÕES

O uso de cartas náuticas para monitoramento de estuários se mostrou uma ferramenta importante na análise da variação da morfologia dos fundos modificados por ações antrópicas, como obras de dragagens e disposição de sedimentos dragados.

Sobre as mudanças ocorridas nas áreas de bota- fora da Baía de Guajará n° 1, 2 e 3 no período de 1984 a 2010, não se pode afirmar que foram causadas somente pela disposição de sedimentos dragados, uma vez que existem outras fontes de sedimentos, bem como outras obras que geraram elevado aporte de sedimentos para a baía nesse período e que podem ter contribuído para ocorrência de alterações na dinâmica deposicional local.

Em termos de transporte de sedimentos, os fundos da Baía de Guajará se modificaram bastante, com elevada perda de sedimentos de fundo, transportados em direção à jusante da baía. Os maiores índices de assoreamento foram observados nas áreas dos bancos da Baía de Guajará entre 1984 e 1999. De 1999 para 2010 tanto nos bancos (Banco do Meio e da Cidade) como nos canais (Canal da Ilha das Onças e do Meio) houve aumento de profundidade, resultado da perda de sedimentos de fundo. Os maiores índices de deposição de sedimentos de fundo (assoreamento) são encontrados nas margens da baía, locais de energias mais fracas para remoção dos sedimentos o que favorece a deposição.

O Canal da Ilha das Onças mostrou alto índice de migração no período aqui estudado (1984 a 2010), resultando em um aumento de profundidade contínuo do mesmo, evidenciando as fortes correntes de maré locais. Os bancos do Meio e da Cidade tiveram seus limites alterados conforme o canal se “movimentava”.

De acordo com os resultados obtidos, os fundos da Baía de Guajará sofreram intenso processo de erosão. Em 1999 já era possível notar uma diminuição no volume do pacote sedimentar de fundo, com consequente aumento de profundidade, porém, ainda foram identificados diversos pontos de assoreamento. Esses focos de assoreamento identificados na Baía de Guajará justificam a dragagem realizada no ano seguinte (2000), sendo nesse período criadas as áreas de bota- fora para lançamento dos sedimentos dragados.

O último ano que se tem registros de disposição de sedimentos dragados nas áreas de bota- fora da Baía de Guajará foi em 2003. E em 2010, ano da última carta náutica analisada, chegou-se a conclusão que todos os sedimentos ali depositados

havia sido removidos, mesmo nos bancos de areia a erosão foi presente e a profundidade aumentou significativamente. Localizadas próximas ao Canal da Ilha das Onças que possui uma elevada hidrodinâmica atuante sobre os sedimentos em suspensão e de fundo, as áreas de bota- fora não foram capazes de reter os sedimentos dragados por muito tempo, no entanto, a criação delas na margem do referido canal era justamente para evitar que os sedimentos fossem transportados para montante da baía, em direção aos portos.

A retirada total dos sedimentos das áreas de bota- fora mostra que a Baía de Guajará não está apta para continuar recebendo sedimentos de dragagem, uma vez que a hidrodinâmica é muito elevada, impossibilitando a permanência dos sedimentos nos locais lançados. Outro fator determinante para o não lançamento direto dos sedimentos dragados no centro da Baía de Guajará é o elevado nível de contaminação nos sedimentos de fundo por metais pesados que vem aumentando ao longo dos anos, causado principalmente pelo despejo de esgotos domésticos e industriais nas águas da baía.

O uso benéfico dos sedimentos da Baía de Guajará é uma alternativa para futuras dragagens, mas são necessárias análises da qualidade dos sedimentos e testes de acordo com as normas vigentes. O uso mais recomendado é para materiais na construção civil, como tijolos, argamassas ou telhas por serem mais viáveis economicamente e pela alta demanda por estes produtos na sociedade.

REFERÊNCIAS

AARNINKHOF, S. G. J. The day after we stop dredging: a world without sediment plumes? *Terra et Aqua.*, n. 110, p. 15-25, mar. 2008.

AHNDREW, L. M. S. *Variação espaço-temporal de Cladocera (Crustacea-Branchiopoda) em uma região portaria amazônica (Brasil)*. 2018. 72f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2018.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Hidráulica estuarina - princípios. *In: ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Obras e gestão de portos e costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*. São Paulo: Edgard Blücher, 2009a. Parte 1, p. 85-247.

ARRUDA, E. S. *Porto de Belém do Pará: Origens, Concessão e Contemporaneidade*. 2003. 237f. Dissertação (mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

AZEVEDO, J. W. J. *Assoreamento em ambientes costeiros e seus efeitos sobre a sustentabilidade ambiental: estudo de caso da embocadura estuarina de São Luís- MA*. 2012. 124f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, 2012.

BAHGAT, M. Optimum use of dredged materials for sustainable shoreline management in Nile Delta. *Water Science*. v. 32, Issue 1, p.115- 128, Apr. 2018.

BATISTA, A. G. *Construção de um modelo de dispersão de poluentes na Baía de Guajará*. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2005

BLANCO, C.; SENA, M.; MESQUITA, A.; MANOEL FILHO; SECRETAN, Y. Hydrodynamic evaluation of a flood embankment in the Amazon estuary region, Brazil. *Proceedings Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, v. 166, Issue 6, p. 49-55, 2015.

BOCK, C. S. *Influencia da morfologia do fundo na hidrodinâmica da Baía de Guajará (Pará)*. 2010. 115f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

BOVI, R. C.; SILVA, L. F. S.; ZENERO, M. D. O.; CARVALHO, C. C.; COOPER, M. Sediment morphology, distribution, and recent transport dynamics in a reforested fragment. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 41, e0160454, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v41/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20160454.pdf>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA): RESOLUÇÃO Nº 454, de 01 de novembro de 2012. 2012.

BRAY, R. N.; LAND, J. M.; BATES, A. D. *Dredging: handbook for Engineers*. Jon Wiley and Sons, New York, 1996.

- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. *Geoprocessamento para projetos ambientais*. 2ª. ed. revisada e ampliada. São José dos Campos, SP: INPE, Maio. 1998.
- CAPPUYNS, V.; DEWEIRT, V.; ROUSSEAU, S. Dredged sediments as a resource for brick production: possibilities and barriers from a consumers' perspective. *Waste Management*, v. 38, p. 372-380, 2015.
- CARPENTER, A.; LOZANO, R.; SAMMALISTO, K.; ASTNER, L. Securing a port's future through Circular Economy: Experiences from the Port of Gavle in contributing to sustainability. *Marine Pollution Bulletin*, v. 128, p. 539- 547, 2018.
- CARVALHO, Z. L. *Caracterização Geoquímica de Sedimento de Fundo nas Proximidades do Distrito de Icoaraci – PA*. 75f. 2002, Dissertação (Mestrado) Programa de Pós- Graduação em Geologia e Geoquímica– Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA. 2002.
- CASTIGLIA, M. C. C. P. *Disposição subaquática de rejeitos de dragagem: o caso do complexo lagunar de Jacarepaguá*. 2005. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- CHEN, C. F., CHEN, C. W., CHEN, T. M., JU, Y. R., CHANG, Y. K., DONG, C. D. Phthalate ester distributions and its potential-biodegradation microbes in the sediments of Kaohsiung Ocean Dredged material disposal site, Taiwan. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, v.124, p. 233-242, 2017.
- CHEN, C. F.; CHEN, C. W.; JU, Y. R.; KAO, C. M.; DONG, C. D. Impact of disposal of dredged material on sediment quality in the Kaohsiung Ocean Dredged material disposal site, Taiwan. *Chemosphere* , v. 191, p. 555-565, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). *Dragagem amplia capacidade de movimentação de cargas em Paranaguá*. Disponível em: <http://www.cnt.org.br>. Acessado dia 20 de Dezembro de 2018.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE COMÉRCIO E DESENVOLVIMENTO (UNCTAD). *Review of maritime transport*. 2018. Disponível em: <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer>. Acessado em 02 de Janeiro de 2019. 2018.
- COOPER, J. A. G. Sedimentation in a river-dominated estuary. *Sedimentology*, v. 40, p. 979–1017, 1993.
- COSTA, M. S. *Aporte hídrico e de material particulado em suspensão para a Baía do Marajó: contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins*. 2014. xii, 71f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2014.
- COSTA, S. D. *Variação espaço-temporal do microfitoplâncton na região da foz do rio Guamá (estuário amazônico), Belém-Pa*. 2008. 60f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2008.
- CRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. Edição. São Paulo: Edgard Blucher. 1980.

CRUZ, E. História de Belém. 1973. Col. Amazônica, Série José Veríssimo. 1º vol. Ed. Comemorativa do sesquicentenário da Adesão do Pará à Independência Política do Brasil- UFPA, Belém, PA, 342, 1973.

CUSTÓDIO, A. L. G. *Deposição e erosão de sedimentos finos (estudo em canal Anular)*. 2016. xii, 69f. Dissertação (Mestrado) - Técnico de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2016.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual models and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.62, p. 1130–1146, 1992.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). Cartas Raster. 1999. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster>. Acessado em: 10 de junho de 2018.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). Tábuas de maré para o Porto de Belém (Estado do Pará). 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acessado em 13 de maio de 2018.

DYER, K. R. *Estuaries: a physical introduction*, 2ª ed. London: John Wiley, 1997. 195p.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. *In: PERILLO, Gerardo (ed.). Geomorphology and sedimentology of estuaries*. [S.l.]: Elsevier Science, 1995. p. 423-449. (Developments in Sedimentology, v. 53).

DYER, K.; HUNTLEY, D. A. The origin, classification and modeling of sand banks and ridges. *Continental Shelf Research*, v.19, p. 1285– 1330, 1999.

ELLIOTT, M.; MSLUSKY, D. S. The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Scienc.* 55, 815–827. 2002.

EL-ROBRINI, M. *Évolution rapide des fonds d'une zone estuarine: le secteur d'itaqui-baie São Marcos- Maranhão (Brésil)*. 1992. Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/37522.pdf. Acesso em: 20 de dezembro de 2018.

FAIRBRIDGE, R. W. The estuary: its definition and geochemical role. *In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (eds). Chemistry and geochemistry of estuaries*. New York : John Wiley, 1980. p. 1–35.

FANG, L.S.; CHOU, W. R.; DONG, C. D. How does marine benthic ecology is influenced by dredged sediments disposal? *In: OCEAN ENGINEERING CONFERENCE IN TAIWAN, 35th.*, 2013, Local. *Proceedings...* Local: National Sun Yat-sen University, 2013. D6.

FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M.; FUKUMOTO, M. M.; GOYA, S. C. Sedimentação recente e níveis de metais pesados em testemunhos do estuário santista, São Paulo, Brasil. *Anais do IV Congresso de Pesquisas Ambientais e Saúde*, Santos, SP: p. 73 – 76, 2004.

FLEMMING, B. W. Geology, morphology, and sedimentology of estuaries and coasts. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, v. 3, p. 7–38, 2011.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazas river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary petrology*, 27: 3- 26. 1957.

FROHLICH, M. F.; NASPOLINI, B. N.; VOLSCHAN JR, I. A evolução do processo de avaliação e gerenciamento de material relacionado às atividades de dragagem no Brasil: uma análise comparativa entre as Resoluções CONAMA nº 344/04 e nº 454/12. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 20, p. 131-140, 2015.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PEQUISAS AQUÁTICAS (FUNDESPA). Dragagem Porto de Santos. 2010. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Dragagem/Dragagem>. Acesso em: 20 de dezembro de 2018.

GIRELI, T. Z.; GARCIA, P. D.; PEREIRA, A. H. S. D. G. Avaliação da eficiência de molhes guia- corrente curvos na Baía de Santos, São Paulo: modelagem física. *Eng. Sanit Ambient*, v. 23, n. 6, p. 1185- 1198, 2018.

GIRELI, T. Z.; VENDRAME, R. Aprofundamento do Porto de Santos: Uma análise crítica. RBRH – *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 17, p. 49- 59, n.3. Jul/Set 2012,

GOES-FILHO. H. de A. *Dragagem e gestão dos sedimentos*. 2004. 174f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GÓMEZ, F. R. *Sedimentos dragados como recurso en construcción: descontaminación electrocinética y viabilidad de reutilización*. Madrid. 2015. 204f. Tesis (Doctoral) - Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, 2015.

GANDRASS, J.; SALOMONS, W. Dredged material in the Porto of Rotterdam-Interface between the Rhine catchment and North Sea. GKSS Report, p 342, 2001.

GREGÓRIO, A. M. S. *Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará- Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. 2008. 127f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS. 2008.

GREGÓRIO, A. M. S; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. 53. *Amazônia: Ci. & Desenv.*, Belém, v. 5, n. 9, jul./dez. 2009.

HAYES, M. O. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. In: CRONIN, L. Eugene. *Estuarine research: geology and engineering*. [S.l.]: Academic Press, 1975. v.2, p. 3-22.

HOLANDA, N. S. *Comportamento de metais pesados e nutrientes nos sedimentos de fundo da Baía do Guajará e Baía do Marajó*. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Pará. Programa de Pós- Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, PA. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acessado em 04 de setembro de 2018.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA (INMET). *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. 2018. Disponível em: <http://inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnkgraficos>. Acessado em: Dezembro de 2018.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DREDGING COMPANIES (IADC) . Central Dredging Association (CEDA). *Environmental aspects of dredging*, Guide 5: Reuse. The Netherlands: Recycle or Relocate, Delft, 1997.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DREDGING COMPANIES (IADC). *Dredging: the facts*. 2005.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DREDGING COMPANIES (IADC)/ International Association of Ports and Harbors (IAPH). *Dredging for development*. 2010.

IPPEN, A. T. Estuary and coastline hydrodynamics. New York: McGraw- Hill, 744p., 1966.

JACKSON, N. L. Estuaries. In: SHRODER, J.; SHERMAN, D.J. (eds.). *Treatise on geomorphology, coastal geomorphology*. San Diego, CA: Academic Press, v. 10. p. 308-327, 2013.

JEUKEN, M. C. J. L.; WANG, Z. B. Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. *Coastal Engineering*, v. 57, p. 553–566, 2010.

JONGE, V. N.; SCHUTTELAARS, H. M.; VAN BEUSEKOM, J. E. E.; TALKE, S. A.; SWART, H. E. The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 10.1016/j.ecss.2013.12.030, 2014.

KAREL, E. Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation*, v. 5, p. 69-80, 1999.

KJERFVE, B. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In: DAY JR, J. W.; HALL, C. A. S. *Estuarie ecology*. N.Y.: John Wiley and Sons, 1989. p. 47-48.

LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA – Labtrans. Cooperação técnica para apoio à SEP/PR no planejamento do setor portuário brasileiro e na implantação dos projetos de inteligência logística portuária. Plano Mestre, Porto de Belém, Florianópolis, SC, 2013. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/images/arquivos-poligonais-portos/belem/pm06.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. 2ª. ed. São Paulo : Editora da UNESP, 2003. 253 p.

LARSONNEUR, C. La cartographie des depots meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. *Journal de Recherches Océanographiques*, 2, p. 34- 39. 1977.

LEE, D. I.; EOM, K. H.; KIM, G. Y.; BAECK, G. W. Scoping the effective marine environmental assessment of dredging and ocean disposal of coastal sediments in Korea. *Marine Policy*, v. 34, Issue 5, p. 1082-1092, Sep. 2010.

LIMEIRA, J.; ETXEBERRIA, L.; AGULLÓ, L.; MOLINA, D. Mechanical and durability properties of concrete made with dredged marine sand. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 11, p. 4165-4174, 2011.

MARINHA DO BRASIL- Diretoria de Portos e Costas: “Normas da autoridade marítima para dragagens, pesquisa e lavra de minerais sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras- Normam- DPC- 11”. 2003.

MARTÍNEZ, G. M.; PÉREZ-ARLUCEA, M.; GONZÁLEZ- VILLANUEVA, R.; CAMPOS, A. O. Anthropogenic influence on the Holocene sedimentation process along the Atlantic coast of Galicia (NW Iberian Peninsula). *J. Coastal. Res.*, v. 64, p. 1788-1792, 2011.

MATTEI, P.; D’ACQUI, L. P.; NICESE, F. P.; LAZZERINI, G.; MASCIANDARO, G.; MACCI, C.; DONI, S.; SARTESCHI, F.; GIAGNONI, L.; RENELLA, G. Use of phytoremediated sediments dredged in maritime port as plant nursery growing media. *Journal of Environmental Management*, v. 186, p. 225- 232, 2017.

MEROLA, V. F. M. Os portos na nova economia global: uma proposta de gestão ambiental estratégica para a promoção da sustentabilidade e saúde em cidades portuárias. 2017. 259f. Tese (doutorado), Programa de Pós- Graduação Saúde Global e Sustentabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2017.

MIRANDA, A. G. O.; MENDES, A. C. Evolução batimétrica da Baía de Guajará. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO*, 11., 2007, Belém. [Anais...]. Belém: ABEQUA, 2007.. p. 1-60.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Edusp, 2012. 414p.

MONGE-GANUZAS, M.; CEARRETA, A.; EVANS, G. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). *Ocean & Coastal Management* 77. 40 e 49. 2013.

MORRIS, R. A nature conservation perspective of port- related dredging. *Maritime Engineering*. V. 160, p. 19 e 23. 2007.

MOURA, E. M. *Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na Baía do Guajará no trecho comprometido entre o bairro de Val-de-Cães e o distrito de Icoaraci*. 2007. vi, 73f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 2007.

NICHOLS, M. M.; BIGGS, R. B. Estuaries. *In: DAVIS JR. R. A. (ed.). Coastal sedimentary environments, seconded*. New York, NY: Springer, 1985. p.77–186.

ODRESKI, L. L. R.; SOARES, C. R.; ÂNGULO, R. J.; ZEM, R. C. Taxas de assoreamento e a influência antrópica no controle da sedimentação da Baía de

Antonina- Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Editora UFPR, n. 53, p. 7-12, 2003.

OFFICER, C. B.; BIGGS, R. B.; TAFT, J. L.; CRONIN, L. E.; TYLER, M. A.; BOYNTON, W. R. Chesapeake Bay Anoxia: origin, development, and significance. *Science*. v. 223, p. 22-27, 1984.

OLIVEIRA, G. H. R.; PATCHINEELAM, T. C. S.; PATCHINEELAM, S. M. Validação do método de geocronologia de ²¹⁰Pb por espectrometria gama utilizando o detector coaxial de GE ultrapuro do Departamento de Geoquímica da UFF. Anais do II Simposio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo. Resumos do II Simposio Brasileiro de Oceanografia, cd-rom. 2004.

OZER-ERDOGAN, P.; BASAR, H. M.; ERDEN, I.; TOLUN, L. Beneficial use of marine dredged materials as a fine aggregate in ready-mixed concrete: Turkey example. *Construction and Building Materials*, v. 124, p. 690–704, 2016.

PARÁ. Secretaria de Estado de Indústria Comércio e Mineração. Plano diretor de mineração em áreas urbanas, região metropolitana de Belém e adjacências: Projeto estudo do meio ambiente, em sítios de extração de minerais de construção da região de Belém- PA. Belém: CEICOM- Pa, p. 157. 1995.

PEREIRA, J. A. R. Saneamento ambiental em áreas urbanas. Belém: Biblioteca do Numa (EDUFPA), 2003.

PEREIRA, K. R. *Caracterização Geoquímica de sedimentos e águas superficiais da orla de Belém entre o canal do Una e o Val de Cans (PA)*. 2001. 81p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, centro de Geociências, Belém-PA, 2001.

PERILLO, G. M. E. Geomorphology and sedimentology of estuaries: an introduction. *Developments in Sedimentology*, v. 53, p. 1-16, 1995.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (Pará)*. 1987. 185f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 1987.

PINHO, J. L. S. Modelação da hidrodinâmica e dinâmica no estuário do rio Cávado. *Engenharia civil*, n. 24, 2005.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary: a physical viewpoint. *American Association for the Advancement of Science* 83, 3–5. 1967.

PRITCHARD, D. W., CARTER, H. H. Estuarine circulation patterns. In: SCHUBEL, J.R. (ed.). *The estuarine environment*. Washington, DC : American Geological Institute, 1971. p. 1–17.

PRITCHARD, D.W. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. *Journal of Marine Research*, v. 11, p. 106–123, 1952.

REYES-MERLO, M, A.; SANCHEZ, M, O.; DÍEZ-MINGUITO, M.; LOSADA, M, A. Efficient dredging strategy in a tidal inlet based on a energetic approach. *Ocean & Coastal Management*, v. 146, p. 157- 169, 2017.

- ROY, P. S. New South Wales estuaries– their origin and evolution. *In*: THOM, B.G. (ed.). *Developments in coastal geomorphology in Australia*. New York, NY: Academic Press, 1984. p. 99–121.
- SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; CUNHA, I. I. L. ^{210}Pb and ^{137}Cs geochronologies in the Cananea- Iguape Estuary (São Paulo, Brazil) *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 249, n. 1, p. 257- 261, 2001.
- SANTOS, H. S.; CUNHA, G. N.; CASTRO, J. R. Avaliação qualitativa das técnicas de interpolação de Mínima Curvatura, Krigagem e Bidirecional na formação de imagens. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana*, n. 4, p. 2-16, 2016.
- SANTOS, O. C.; BREITENBACH, S. B.; COELHO, R. E.; ANDRADE, J. C. S.; SALES JR., J. C. C.; PASKOCIMAS, C. A.; MARTINELLI, A. E.; NASCIMENTO, R. M. Caracterização de sedimento proveniente de dragagem de canais pluviais do município de Salvador- BA visando sua utilização em cerâmica estrutural. *Cerâmica*, vol. 63 n. 365, São Paulo. 2017.
- SANTOS, S. N.; LAFON, J. M.; CORRÊA, J. A. M. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém- PA). *Quim. Nova*, v. 35, n. 2, p. 249-256, 2011.
- SARAIVA, A. L. L. *Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na Baía de Guajará- Belém (PA)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, PA. 2007.
- SAZAKLI, D. P.; LEOTSINIDIS, M. Dredges' management: comparison of regulatory frameworks, legal gaps and recommendations. *Global NEST Journal*, v. 20, n. 1, p 88-95, 2018.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM. Mapa geológico. Folha Belém. 2010.
- SHEPARD, F. P. Sediments on Continental Shelves. **Geol. Soc. Am. Bull.**, v. 43, p. 1017-34, 1954.
- SHI, Z. Behaviour of fine suspended sediment at the North passage of the Changjiang estuary, China. *Journal of Hydrology* v. 293, n.1-4, p. 180–190, 2004.
- SILVEIRA, O. F. M. *Estudo batimétrico/sonográfico do Estuário Guajará, Belém-PA. 1989. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 1989.*
- SIMÕES NETO, J. A.; SOUZA, M. C.; TRZASKOS, B.; ÂNGULO, R. J.; BESSER, M. L. Possibilidade de aproveitamento dos sedimentos de dragagem do Porto de Paranaguá. *Quaternary and Environmental Geosciences*. V. 8, n. 2, 2017.
- SIMÕES, M. H. *Sistematização dos aspectos ambientais de dragagens portuárias marítimas no Brasil*. 2009, 141f. Dissertação (mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.
- SIMONI, R.; ANSALONI, I.; CAVALLINI, F.; GRAZIOSI, F.; IOTTI, M.; MASSAMBA N'SIALA, G.; MAURI, M.; MONTANARI, G.; PRETI, M.; PREVEDELLI, D. Effects of long-term dumping of harbor-dredged material on macrozoobenthos at four disposal sites along the Emilia-Romagnacoast (Northern Adriatic Sea, Italy). *Mar. Pollut. Bull.* v. 50, p. 1595- 1605, 2005.

- SODRÉ, S. S. V. *Desenvolvimento metodológico e avaliação de contaminação por HPas em sedimentos da Baía de Guajará, Belém-PA*. 2014. 110f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2014.
- SOTOLONGO, L. B. D.; AMARGÓS, F. P. Efecto del dragado de um canal de comunicación al mar (estero) sobre la asociación de peces em la Laguna Larga, Cayo Coco, Cuba. *Rev. Mar. Cost.*, v. 9, n. 2, p. 29-50, 2017. ISSN 1659-455X.
- STOMMEL, H.M. "The flushing estuaries". Proc. Of the colloquium on the flushing estuaries. Woods Hole: W.H Oceanographic Institution. 1950.
- TAGLIAPIETRA, D.; SIGOVINI, M.; GHIRARDINI, A. V. A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. *Marine and Freshwater Research*, 60, 497–509. 2009.
- TOMCZAK, M. *Tides in shallow seas and estuaries*. Disponível em: <http://gyre.umeoce.maine.edu/physicalocean/Tomczak/ShelfCoast/notes/chapter05.htm>. Acessado em: 20 de Janeiro de 2019. 2000.
- VAGGE, G.; CUTRONEO, L.; CASTELLANO, M.; CANEPA, G.; BERTOLOTTI, R. M.; CAPELLO, M. The effects of dredging and environmental conditions on concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water column. *Marine Pollution Bulletin*, v. 135, p. 704-713, 2018.
- VAN MAREN, D. S.; VAN KESSEL, T. K.; CRONIN, L. S. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research* 95 (2015) 1–14. 2015.
- WANG, Y.; DONG, P.; OGUCHI, T.; CHEN, S.; SHEN, H. Long-term (1842-2006) morphological change and equilibrium state of the Changjiang (Yangtze) Estuary, China. *Continental Shelf Research*, v.56, p. 71–81, 2013.
- WANG, Z. B. *Mathematical modeling of morphological processes in estuaries*. 1989. viii, 210f. Thesis - Communications on hydraulic and geotechnical engineering of the faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Report nr. 89-1, 1989.
- WELCH, M.; MOGREN, E. T.; BEENEY, L. A literature of the beneficial use of dredged material and sediment management plans and strategies. Portland State University. Hatfield School of Government. Center for Public Service. 2016.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of geology*. Marine Geology, 56: 93- 118. 1922.
- WRIGHT, T. D. *Aquatic Dredged Material Disposal Impacts*, Technical Report DS-78-1; for US-Army, Vicksburg, Miss. 1978.
- YANG, C. S.; KAO, S. P.; LEE, F. B.; HUNG, P. S. Twelve different interpolation methods: a case study of surfer 8.0. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 35., Congress. 2012. Disponível em: <https://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm2/papers/231.pdf>. Acesso em: 14 de novembro de 2018.