



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RAFAEL LUZ ESPINDOLA

**DESENVOLVIMENTO E TESTES DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA PREVISÃO DA MARÉ ASTRONÔMICA**

RECIFE
2012

RAFAEL LUZ ESPINDOLA

**DESENVOLVIMENTO E TESTES DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA PREVISÃO DA MARÉ ASTRONÔMICA**

Dissertação para apresentação ao programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
como requisito para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.

**RECIFE
2012**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- E77d Espindola, Rafael Luz.
Desenvolvimento e testes de uma ferramenta computacional para
previsão da maré astronômica / Rafael Luz Espindola. - Recife: O Autor,
2012.
143 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2012.
Inclui Referências Bibliográficas, Apêndices e Anexo.
1. Engenharia Mecânica. 2. Previsão. 3. Maré. 4. Interpolação. 5.
Temporal. 6. Espacial. I. Araújo, Alex Maurício. (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2012-211

“DESENVOLVIMENTO E TESTES DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA PREVISÃO DE MARÉ ASTRONÔMICA”

RAFAEL LUZ ESPINDOLA

ESSA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO
ORIENTADOR/PRESIDENTE

Prof. Dr. JORGE RECARTE HENRÍQUEZ GUERRERO
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO (UFPE)

Prof. Dr. CESAR AUGUSTO SALHUA MORENO (UFPE)

Prof. Dr. MANUEL DE JESUS FLORES MONTES (DOCEAN/UFPE)

AGRADECIMENTOS

Com forte torcida para não esquecer ninguém, é preciso citar alguns nomes.

Agradeço ao professor Alex Maurício Araújo pela sua orientação.

Aos professores César Augusto Salhua Moreno e Manuel de Jesus Flores Montes pelas suas opiniões que tanto engrandeceram este trabalho.

Aos colegas de laboratório que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho: Aig Asibor, Ana Lúcia Mineiro, Frederico Alvarez, Gilberto Martins, Graziela Gomes, Heles Pereira, Hermes Sousa, José Manuel, Lucas Mineiro, Marcos Lima, Marielle Harang, Marília Gabriella, Naevio Rezende, Oyama Douglas, Roberto Alécio e Valdemar Lopes.

Aos amigos Gilberto Miranda, Rodrigo Vieira, Lucy Torres, Janilson Barra e Paloma Gondim por me ajudarem a manter a minha sanidade.

Aos meus pais, Francisco de Assis Espindola Lima e Raimunda Luz Espindola, pela paciência, apoio, colaboração e carinho.

E por último, mas não menos importante, à Anna Ingrid Soares de Sousa, que leu por cima do meu ombro, sofreu comigo nos experimentos, aguentou os períodos de ausência e à falta de humor, sempre oferecendo seu carinho e apoio.

“Eu não posso dizer que não discordo com você.”

Groucho Marx

“Na sabedoria, nada mais odioso que julgar-se sábio.”

Sêneca

RESUMO

Este trabalho objetivou desenvolver uma ferramenta computacional de previsão da maré astronômica que simula os dados em locais onde há falta de informações oficiais disponíveis, assim como preenche os espaços temporais entre os dados fornecidos pela Marinha do Brasil. Foi utilizado no desenvolvimento da ferramenta dois tipos de interpolação: uma temporal, que utiliza interpolações hermitianas cúbicas; e outra espacial, que utiliza uma interpolação ponderada com o inverso da distância. Também se realizou neste trabalho testes comparativos, sendo 11 para validação da simulação temporal e 4 para validação da simulação espacial, utilizando para isso dados obtidos através do *software* SisBaHiA[®] e dados medidos *in loco*. Os resultados obtidos mostram que as simulações realizadas geram dados muito próximos aos usados na comparação. Para as chamadas simulações temporais a diferença média encontrada foi de no máximo 0,05 m. Já com relação às simulações espaciais a diferença média foi de no máximo 0,14 m para os locais simulados.

Palavras-chave: Previsão. Maré. Interpolação. Temporal. Espacial.

ABSTRACT

This study aimed to develop a computational tool for predicting the astronomical tide, which simulates the data in places where there is a lack of official information available, and fills the spaces between the temporal data provided by the Navy of Brazil. Two types of interpolation were used in the development of this tool: one temporal, which uses a Hermitian cubic interpolation; and another spatial, which uses an inverse weighted interpolation of the distance. Also this work was carried out comparative tests, 11 for validation of time simulation and 4 for validation of the space simulation, using data obtained using the *software* SisBaHiA[®] and data measured *in loco*. The results show that the simulations generate data very close to those used in the comparison. For the time simulation the average difference was found up to 0.05 m. Now with respect to the space simulation the average difference was at most 0.14 m to the places simulated.

Keywords: Prediction. Tides. Interpolation. Temporal. Spatial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Locais com dados de altura de maré disponíveis no Brasil	18
Figura 2 – Densidade de dados de maré nos EUA	20
Figura 3 – Sistema Terra-Lua	22
Figura 4 – Sistema Terra-Lua-Sol	23
Figura 5 – Força gravitacional.....	24
Figura 6 – Trajetória dos pontos da Terra	25
Figura 7 – Força centrífuga	26
Figura 8 – Esquema do sistema Terra-Lua.....	26
Figura 9 – Forças geradoras de maré.....	27
Figura 10 – Formação dos bulbos de maré.....	28
Figura 11 – Dia Lunar	30
Figura 12 – Órbita lunar	31
Figura 13 – Declinação da Lua.....	32
Figura 14 – Órbitas terrestre e lunar	32
Figura 15 – Precessão lunar.....	33
Figura 16 – Posição do plano lunar durante precessão.....	34
Figura 17 – Marés de sizígia e quadratura.....	35
Figura 18 – Mês sinótico	35
Figura 19 – Constituintes da maré	36
Figura 20 – Maré M_2 no Mediterrâneo	38
Figura 21 – Bulbos da maré devido a Lua.....	39
Figura 22 – Maré na Baía de Fundy	41
Figura 23 – Elementos das Marés.....	43
Figura 24 – Cartas de maré do modelo global FES99.....	44
Figura 25 – Sistema anfidrômico do Mar do Norte	45
Figura 26 – Tipos de Maré	46
Figura 27 – Variedade dos maregramas	47
Figura 28 – Mapa dos tipos de maré.....	48
Figura 29 – Tábua de Maré de St. Albans	49
Figura 30 – Almanaque de Brouscon	50
Figura 31 – Relógio de maré de King's Lynn	51

Figura 32 – Primeira máquina para previsão de maré	53
Figura 33 – Máquinas de previsão de maré americanas	53
Figura 34 – Outras máquinas de previsão de maré.....	54
Figura 35 – Malha do modelo FES94.1.....	57
Figura 36 – Tela Principal do SETMA.....	59
Figura 37 – Tela Maregrama do SETMA.....	60
Figura 38 – Interpolação temporal.....	64
Figura 39 – Exemplo de Tábua da Maré	67
Figura 40 – Exemplo de ficha catalográfica da FEMAR	68
Figura 41 – Fluxograma dos testes temporais	70
Figura 42 – Fluxograma dos testes espaciais.....	71
Figura 43 – Análise qualitativa das simulações temporais.....	74
Figura 44 – Análise de tendência das simulações temporais.....	77
Figura 45 – Análise qualitativa das simulações temporais após correção.....	79
Figura 46 – Análise de tendência das simulações temporais após correção	80
Figura 47 – Localização do Pontal de Maria Farinha.....	82
Figura 48 – Disposição das réguas linimétricas utilizadas no Pontal de Maria Farinha	83
Figura 49 – Bancos de areia de Maria Farinha	84
Figura 50 – Sistema de montagem das réguas para leitura contínua.....	84
Figura 51 – Maré medida no dia 16/02/2011 no Pontal de Maria Farinha/PE.....	85
Figura 52 – Localização da Praia de Tamandaré.....	86
Figura 53 – Dispositivo graduado para medição de maré	87
Figura 54 – Disposição dos dispositivos utilizados na Praia de Tamandaré.....	88
Figura 55 – Maré medida no dia 16/04/2012 na Praia de Tamandaré/PE.....	89
Figura 56 – Análise qualitativa das simulações espaciais	90
Figura 57 – Comparativo das simulações com os dados medidos em Maria Farinha.....	92
Figura 58 – Comparativo das simulações com os dados medidos em Tamandaré.....	92
Figura 59 – Análise de tendência das simulações espaciais.....	93
Figura 60 – Tela principal do <i>software</i> SETMA	122
Figura 61 – Janela Maregrama do <i>software</i> SETMA	124
Figura 62 – Janela Novo Porto	126
Figura 63 – Janela Tábua de Maré.....	126
Figura 64 – Detalhe dos menus da janela Principal	127
Figura 65 – Detalhe do menu da janela Maregrama.....	127

Figura 66 – Detalhe das opções do menu Arquivo.....	127
Figura 67 – Detalhe das opções do menu Opções	128
Figura 68 – Detalhe da opção do menu ajuda e a janela Sobre	128
Figura 69 – Detalhe do menu Opções da janela Maregrama.....	129
Figura 70 – Exemplo da formatação do banco de dados utilizado pelo SETMA	130
Figura 71 – Escolha do local desejado no campo Cidade	131
Figura 72 – Detalhe da área Data com os campos relativos a data e a hora preenchidos	131
Figura 73 – Detalhe do botão Calcular	131
Figura 74 – Detalhe da previsão na área Resultado.....	132
Figura 75 – Detalhe da área Tipo de Previsão	132
Figura 76 – Detalhe da Latitude e Longitude preenchidas na área Local	132
Figura 77 – Detalhes das áreas Data e Resultado, com a previsão.....	133
Figura 78 – Detalhe da escolha do local desejado no campo Cidade.....	133
Figura 79 – Detalhe da escolha do Mês e Ano da previsão.....	134
Figura 80 – Detalhe do botão Gerar Maregrama	134
Figura 81 – Janela Maregrama com a previsão para o mês de agosto de 2011 concluída	134
Figura 82 – Detalhe da opção Coordenadas	135
Figura 83 – Detalhe das áreas Local e Data preenchidos	135
Figura 84 – Janela Maregrama com a previsão para a Ilha de Itamaracá.....	136
Figura 85 – Exemplo de dados de simulação exportados para o Excel.....	137
Figura 86 – Erro por falta dos arquivos do banco de dados	137
Figura 87 – Detalhe dos campos Cidade, Mês e Ano preenchidos	138
Figura 88 – Site das Tábuas das Marés da DHN.....	138
Figura 89 – Detalhe da Janela Tábua de Maré	139
Figura 90 – Detalhamento do site com as previsões de maré.....	139
Figura 91 – Dados da altura de maré para o Porto de Recife no dia 31/08/2011	140
Figura 92 – Detalhe do preenchimento dos dados de maré do último dia do mês anterior....	140
Figura 93 – Detalhe da mudança do dia dos dados	140
Figura 94 – Destaque dos botões para navegação entre dias.....	140
Figura 95 – Ocorrência de só 3 valores de máximo ou mínimo da altura de maré	141
Figura 96 – Dados da altura do dia seguinte ao com apenas 3 dados de altura.....	141
Figura 97 – Detalhe da 4ª Medição preenchida.....	141
Figura 98 – Detalhe do botão Salvar!	142
Figura 99 – Exemplo da constituição do arquivo de dados.....	142

Figura 100 – Exemplo de cadastro de local.....	143
Figura 101 – Local incorporado ao programa	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de tábuas das marés disponíveis publicamente em alguns países	19
Tabela 2 – Características teóricas de alguns dos principais constituintes da maré.....	37
Tabela 3 – Classificação dos tipos de maré	46
Tabela 4 – Tipos de maré dos locais em estudo	73
Tabela 5 – Análise qualitativa no teste temporal.....	76
Tabela 6 – Análise de tendência no teste temporal	78
Tabela 7 – Diferença entre os níveis z_0 da DHN e da FEMAR.....	79
Tabela 8 – Análise de aderência no teste temporal	81
Tabela 9 – Resumo dos resultados das 3 análises.	81
Tabela 10 – Características dos métodos mais comumente usados para medição de maré	83
Tabela 11 – Maré medida no Pontal de Maria Farinha	85
Tabela 12 – Maré medida na Praia de Tamandaré	88
Tabela 13 – Análise qualitativa no teste espacial	89
Tabela 14 – Análise de tendência no teste espacial.....	93
Tabela 15 – Análise de aderência no teste espacial.....	94
Tabela 16 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Luís Correia	106
Tabela 17 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Natal	107
Tabela 18 – Tábua da maré de 03/2012 do Terminal Portuário do Pecém	108
Tabela 19 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Cabedelo	109
Tabela 20 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto do Recife	110
Tabela 21 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Suape	111
Tabela 22 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Maceió	112
Tabela 23 – Constituintes Harmônicas do Porto de Luís Correia utilizadas	113
Tabela 24 – Constituintes Harmônicas de Paracuru utilizadas.....	113
Tabela 25 – Constituintes Harmônicas do Porto do Pecém utilizadas	114
Tabela 26 – Constituintes Harmônicas do Porto de Natal utilizadas	114
Tabela 27 – Constituintes Harmônicas de Tibau do Sul utilizadas	115
Tabela 28 – Constituintes Harmônicas do Porto de Cabedelo utilizadas.....	115
Tabela 29 – Constituintes Harmônicas da Ilha de Itamaracá utilizadas	116
Tabela 30 – Constituintes Harmônicas do Porto do Recife utilizadas	116
Tabela 31 – Constituintes Harmônicas do Porto de Suape utilizadas	117

Tabela 32 – Constituintes Harmônicas de Tamandaré utilizadas.....	117
Tabela 33 – Constituintes Harmônicas do Porto de Maceió utilizadas	118
Tabela 34 – Lista dos locais cadastrados no campo Cidade.....	122

SUMÁRIO

1	Introdução	16
1.1	Objetivos	21
2	Teorias de Maré	22
2.1	Forças Atuantes.....	22
2.1.1	Força Gravitacional.....	24
2.1.2	Força Centrífuga	25
2.1.3	Forças Geradoras de Maré	27
2.2	Movimentos Celestiais e suas Consequências nas Marés	29
2.2.1	Rotação da Terra	30
2.2.2	Declinação da Lua e do Sol.....	31
2.2.3	Translação da Terra e da Lua	32
2.2.4	Precessão da Lua	33
2.3	Marés de Sizígia e Quadratura	34
2.4	Constituintes de Maré	36
2.5	Teorias da Formação das Marés.....	37
2.5.1	Teoria da Maré de Equilíbrio	39
2.5.2	Teoria Dinâmica da Maré	40
2.6	Comportamento Real das Marés	41
2.6.1	Elementos das Marés	42
2.6.2	Sistemas Anfidrômicos	43
2.6.3	Tipos de Maré	45
2.6.3.1	Marés Diurnas.....	47
2.6.3.2	Marés Semidiurnas.....	48
2.6.3.3	Marés Mistas	48
3	Previsões de maré	49

3.1.1	Método da Análise Harmônica	51
3.1.2	Modelos Globais de Maré	55
3.1.2.1	Modelos Hidrodinâmicos	56
3.1.2.2	Modelos Empíricos	57
3.1.2.3	Modelos por Assimilação	58
4	Desenvolvimento do SETMA	59
4.1	Metodologia	61
4.1.1	Interpolação Temporal	61
4.1.2	Interpolação Espacial	62
4.1.2.1	Cálculo da Distância entre Locais da Base e local Desejado.....	63
4.2	Funções	63
4.2.1	Função Interpolação Temporal	64
4.2.2	Função Interpolação Espacial	64
4.3	Previsões	65
4.3.1	Previsão por Localidade.....	65
4.3.2	Previsão por Coordenadas.....	65
5	Materias e Metodologia para Validação	66
5.1	Materiais	66
5.1.1	SisBaHiA®	66
5.1.2	Tábuas das Marés.....	67
5.1.3	Constituintes Harmônicas	68
5.2	Metodologia	69
5.2.1	Testes Temporais	69
5.2.2	Testes Espaciais	70
6	Estudos de Caso	72
6.1	Seleção dos Locais de Estudo	72
6.2	Estudos de Caso Temporal.....	73

6.3	Campanhas de Medição	81
6.3.1	Pontal de Maria Farinha	82
6.3.2	Praia de Tamandaré.....	86
6.4	Estudos de Caso Espacial.....	89
7	Conclusões e Recomendações	95
	Referências.....	97
	Apêndice A – Tábuas das Maré Utilizadas.....	106
	Apêndice B – Constituintes Harmônicas Utilizadas	113
	Apêndice C – Código Fonte das Funções de Interpolação do SETMA.....	119
	Anexo A – Manual do SETMA..	121

1 INTRODUÇÃO

Chamamos de marés as elevações e declinações que os oceanos sofrem diariamente e que podem ser notadas nas regiões costeiras, embora elas ocorram em toda a bacia oceânica (FLEMING, 2012, p. 23). O conhecimento da hora, da sua altura e extensão é importante em várias aplicações práticas, incluindo navegação de cabotagem; obras de engenharia costeira como: pontes, docas, quebra-mares, e canais profundos em baías e portos; pesca comercial; e navegação recreativa, além de ser fundamental para que se decida sobre o atracamento de navios. Os militares, em particular a Marinha, dependem da previsão das marés para planejar e executar operações em ambiente marinho (BLAIN, PRELLER e RIVERA, 2002, p. 77).

A influência das marés na profundidade do oceano produz correntes (SATO, 2010, p. 76), por isso na navegação a previsão dela permite: o conhecimento da possibilidade de se passar por local de pouco fundo em determinado horário; a determinação de datas, horários e velocidades convenientes para navegação nestes locais; a escolha do bordo de atracação, tipo de amarração e folgas adequadas das espias; e necessidade de parar motores e máquinas refrigeradas à água salgada, em determinados períodos, para evitar que as tomadas de água, por ficarem no fundo do casco, aspirem lama ou areia (MINGUENS, 1996, p. 234).

Por tudo isso, a capacidade de prever as elevações do oceano e as correntes forçadas devido às marés é claramente vantajosa (BLAIN, PRELLER e RIVERA, 2002, p. 77). Uma das maneiras de se realizar essa previsão da altura das marés é a partir de sua série histórica no local.

A Lua, devido a sua maior proximidade com a Terra, é a grande responsável pela formação das marés, exercendo quase 2,5 vezes mais influência que o Sol (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p.198). Como a Lua apresenta vários movimentos (translação, declinação, precessão), a sua posição relativa à Terra varia com o tempo. Em virtude do movimento mais longo da Lua ser o de precessão, que apresenta duração de 18,6 anos, o ideal para se realizar previsões seria dispor de 19 anos consecutivos de dados. Na prática, tal período muitas vezes não é possível. Dessa forma, tem sido adotado internacionalmente utilizar-se um ano de dados, o que já possibilita a identificação da maior parte das constituintes da maré (MARTINS, SERPA e REIS, 2005, p. 61).

Para propósitos de engenharia e em locais remotos, onde registradores automáticos não estão instalados, as marés podem ser previstas a partir do registro de um número limitado

de pelo menos 15 dias (DRONKERS, 1964, p. 90-91). Obviamente, quanto maior o tempo de registro mais constituintes podem ser identificadas e mais precisas se tornam as medições.

No Brasil as primeiras medições de níveis da maré ocorreram na Baía de Guanabara, localizada na cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 1781 a 1782, pelo astrônomo português Sanches Dorta, como tentativa de verificar a explicação feita por Newton para a força gravitacional cerca de 100 anos antes (MESQUITA, 2009, p. 2).

Medições com caráter mais prático só começaram a ser feitas em 1831, durante o Primeiro Império no porto do Rio de Janeiro, com o objetivo de estabelecer o nível médio do mar, que posteriormente veio a ser utilizado para se definir o limite legal entre as partes emersa e imersa da Nação ao longo de seu litoral. Medições organizadas e sistemáticas, entretanto, só começaram a ocorrer na República através das autoridades dos portos com objetivo de dar segurança ao tráfego de navios (MESQUITA, 2009, p. 2).

Para a cidade de Recife, há informações de que, com o intuito de se fazer uma melhoria dos portos, e estabelecimento de outras melhorias locais, recorreu-se a observações maregráficas que se iniciaram e tiveram certa regularidade a partir de 1874 (MESQUITA, 2000).

Em 1908 com Alix Correa Lemos e em 1912 com Luiz Lecoq d'Oliveira os primeiros trabalhos relativos à determinação das constantes harmônicas dessas marés medidas começaram a ser desenvolvidos no Brasil (MESQUITA, 2000).

Atualmente, no Brasil, as previsões utilizadas para se construir as tábuas das marés são elaboradas no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e geradas a partir das componentes harmônicas obtidas das medições de maré realizadas por diversas instituições, através do método de Análise Harmônica desenvolvido pelo Vice Almirante (Ref.) Alberto dos Santos Franco (FRANCO, 1988). Essas observações são fornecidas pelas seguintes instituições (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2012):

- PORTOBRÁS, ex-DNPVN - extinta Empresa de Portos Brasileiros;
- IAGS - Inter-American Geodetic Survey;
- CV - Companhia Vale;
- USCGS - United States Coast and Geodetic Survey;
- MBR - Minerações Brasileiras Reunidas;
- Consórcio Alumar;
- APPA - Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina;
- DHESP - Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo;

- INPH - Instituto de Pesquisas Hidroviárias;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S.A.;
- IEAPM - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira;
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação; e
- CHM - Centro de Hidrografia da Marinha.

Essas previsões elaboradas pela CHM são disponibilizadas ao público através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) por meio das chamadas Tábuas das Marés, onde constam os horários e as alturas das marés baixas e altas máximas do dia. As tábuas contêm as previsões para o ano corrente e são disponibilizadas para 54 locais da costa brasileira e antártica (Figura 1), sendo que para o Estado de Pernambuco esse tipo de informação esta disponível apenas para 2 locais, o Porto do Recife e o Porto de Suape.

Figura 1 – Locais com dados de altura de maré disponíveis no Brasil



Locais para onde são disponibilizados dados de maré pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).
Fonte: Adaptado de (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

Comparativamente a outros países de grande extensão litorânea, o Brasil disponibiliza poucas informações sobre o comportamento da maré no seu litoral. Países como Estados Unidos, Canadá e Austrália, por exemplo, disponibilizam dados para mais de 500 lugares cada um. A Tabela 1 mostra a quantidade de locais com dados disponíveis para outros 9

países além do Brasil, a extensão dos seus respectivos litorais de acordo com informações da *Central Intelligence Agency* (CIA) (2012) e a distância média entre cada um dos locais.

Tabela 1 – Número de tábuas das marés disponíveis publicamente em alguns países

País	Nº de tábuas de maré disponíveis	Extensão do litoral (km)	Distância média entre as tábuas (km)
Estados Unidos	2.808 ⁽¹⁾	19.924	7,10
Canadá	865	202.080	233,62
Austrália	537 ⁽²⁾	25.760	47,97
Japão	368	29.751	80,85
Nova Zelândia	315 ⁽³⁾	15.134	48,04
Alemanha	169	2.389	14,14
Irã	65	2.440	37,54
Brasil	54	7.491	138,72
Reino Unido	51	12.429	243,71
México	47	9.330	198,51

Fonte: Adaptado de (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2012), (CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE, 2012), (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2012), (JAPAN COAST GUARD, 2012), (LAND INFORMATION NEW ZEALAND, 2012), (BUDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, 2012), (NATIONAL CARTOGRAPHIC CENTER OF IRAN, 2012) (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011), (NATIONAL OCEANOGRAPHY CENTRE, 2012), (CICESE - CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, 2012) e (CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY, 2012).

⁽¹⁾Do total, 525 previsões são obtidas a partir de análise harmônica e 2283 são obtidas a partir dessas primeiras. ⁽²⁾Do total, 75 previsões são obtidas a partir de análise harmônica e 462 são obtidas a partir dessas primeiras. ⁽³⁾Do total, 15 previsões são obtidas a partir de análise harmônica e 299 são obtidas a partir dessas primeiras.

Como pode ser visto na Tabela 1, a distância média no Brasil entre cada local com dado é de 138,72 km. Porém, na prática, por não estarem igualmente espaçados, esses valores variam desde algumas centenas de metros em Paranaguá – PR, até quase 500 km entre o Porto do Rio Grande – RS, e o Porto de Imbituba – SC (Figura 1).

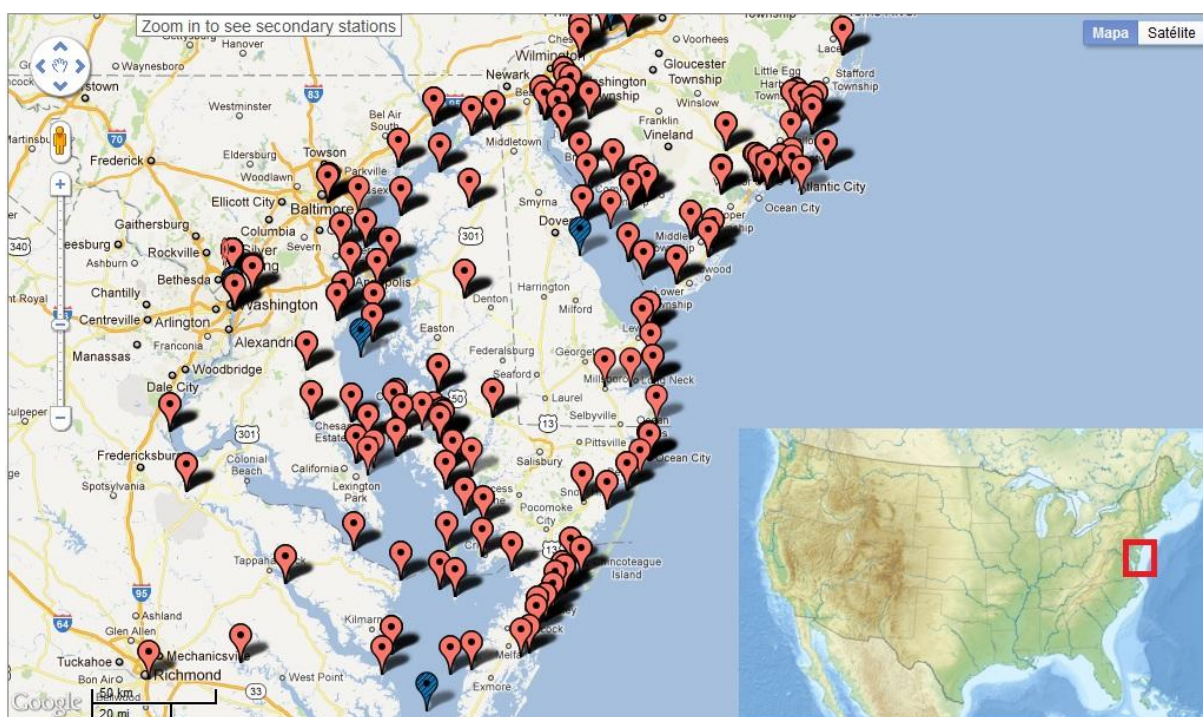
Essa baixa densidade de dados fica mais evidente quando comparada com a dos Estados Unidos, país onde há mais dados da altura da maré disponíveis, com média de 7,10 km entre os locais com informações disponíveis. A Figura 2 mostra a densidade de dados em um trecho de cerca de 300 km no litoral leste dos Estados Unidos como exemplo.

Além da pouca quantidade de locais com dados referentes à altura da maré disponíveis no Brasil, informações essenciais para a maioria dos métodos de previsão como as constituintes harmônicas sofrem do mesmo problema de escassez. A divulgação das constituintes não é feita pela DHN, e sim, pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR). No seu Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras constam as constituintes de maré de 281 locais, valor bem acima do apresentado pelas tábuas das marés. Para o Estado de Pernambuco

estão disponíveis informações de 5 locais: Itapessoca, Ilha de Itamaracá, Porto do Recife, Porto de Suape e Tamandaré.

Entretanto, apesar da quantidade razoável de dados, muitos deles são oriundos de períodos de medição muito curtos e antigos, como é o caso de Sarita, no Rio Grande do Sul, que apresenta constituintes provenientes da análise de 15 dias de medição realizadas no ano de 1967 (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009). Dessa forma, com esse tempo de medição, apenas as constituintes principais são determinadas, o que leva a previsões não tão exatas.

Figura 2 – Densidade de dados de maré nos EUA



Exemplo da densidade de dados de previsão de maré nos EUA. Fonte: Adaptado de (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2012).

A erosão, o assoreamento e obras portuárias podem alterar as características da maré local resultando na mudança do valor das constituintes (MARTINS, SERPA e REIS, 2005, p. 59), de maneira que a confiabilidade dessas constituintes obtidas de medições muito antigas pode ficar comprometida caso não haja um renovação periódica, ou sempre que forem realizadas obras que possam alterar as características da maré local.

1.1 Objetivos

Este trabalho visa o desenvolvimento conceitual e a implementação computacional de uma forma alternativa de previsão da maré astronômica, em qualquer instante e local, baseando-se nas informações de alturas de marés máximas e mínimas disponibilizadas em Tábuas das Marés, que no Brasil são fornecidas pela DHN.

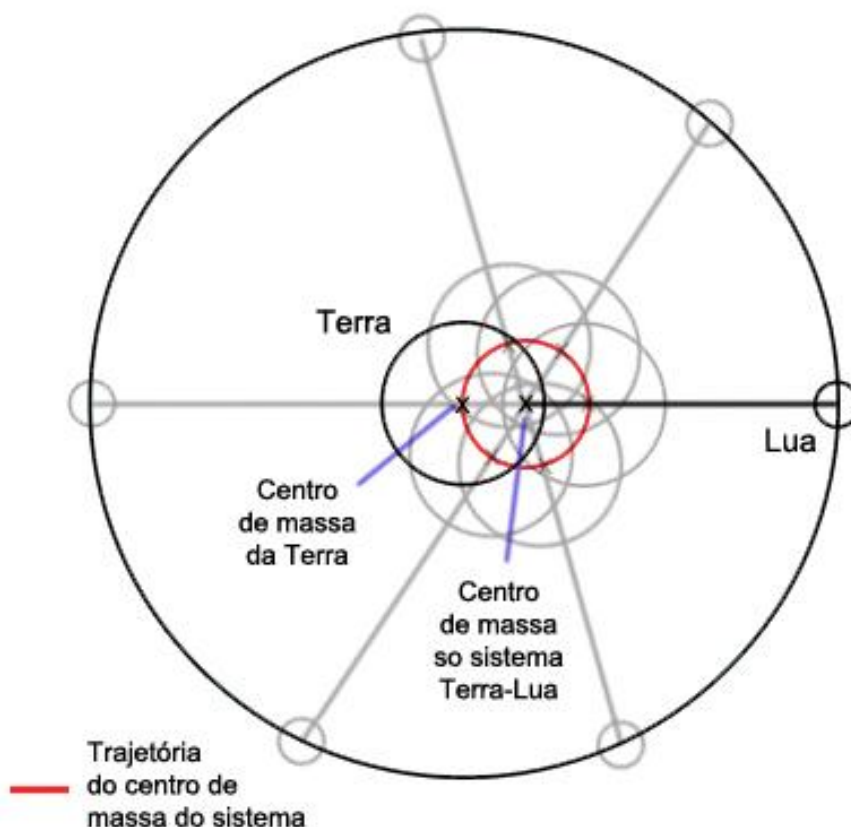
2 TEORIAS DE MARÉ

As marés são o reflexo de uma complexa interação entre a rotação do sistema Terra-Lua ao redor de seu centro de massa, a translação do sistema ao redor do Sol, a rotação da Terra ao redor do seu próprio eixo, e a topografia do fundo oceânico (SEIBOLD e BERGER, 1993, p. 132).

2.1 Forças Atuantes

Quando dois corpos celestes não conseguem fugir do campo de atração gravitacional um do outro, eles acabam por se mover de forma conjunta em órbitas elípticas, tendo o centro de massa do sistema num dos focos da trajetória de cada um (GODIN, 1972, p. 4). Esse fato ocorre entre a Lua e a Terra (Figura 3), assim como entre a Terra e o Sol (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 62).

Figura 3 – Sistema Terra-Lua

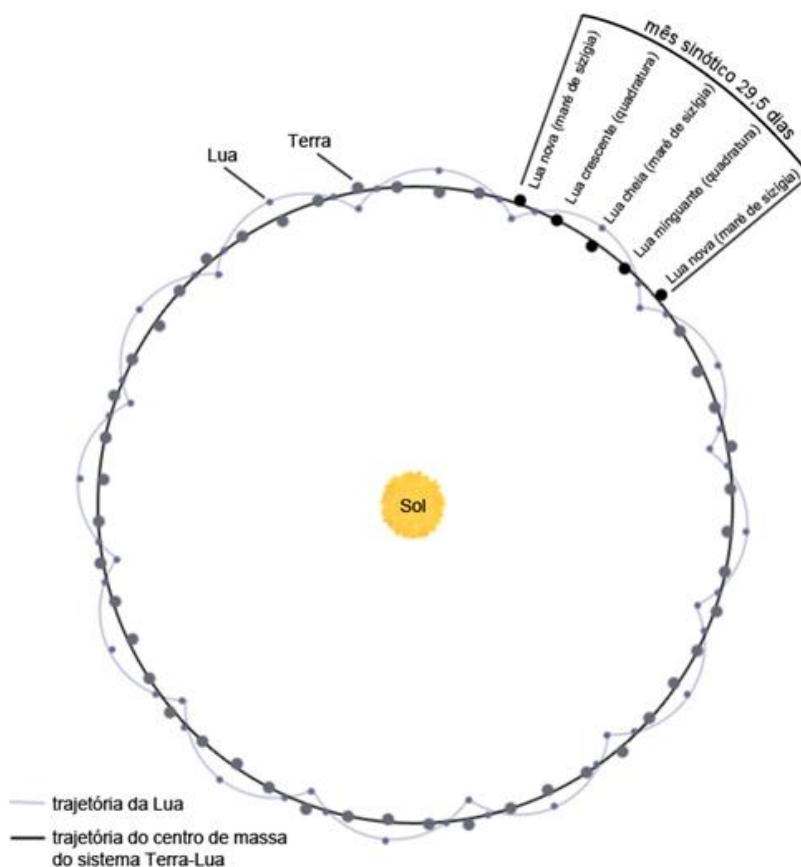


Trajetórias da Terra e da Lua tendo o centro de massa do sistema em um dos focos. Fonte: O autor.

Como o nosso planeta tem muito mais massa que a Lua, o centro de massa do sistema fica muito mais próximo da Terra, aproximadamente 4.700 km do seu centro, o que torna o movimento do planeta quase imperceptível, parecendo que apenas a Lua está se movimentando (GODIN, 1972, p. 4). De igual forma temos para o sistema Terra-Sol, onde o centro de massa está mais próximo do Sol e há a impressão que a Terra o orbita unicamente, quando na verdade ambos giram conjuntamente em torno do centro de massa do sistema.

Essa movimentação conjunta entre a Terra-Lua-Sol (Figura 4) é fundamental para a formação das marés, uma vez que as suas forças geradoras são resultantes da força centrífuga originada pela revolução da Terra ao redor do centro de massa comum do sistema, e pela atração gravitacional exercida pelo outro astro (ALFREDINI, 2005, p. 78).

Figura 4 – Sistema Terra-Lua-Sol



Trajétórias da Terra, Lua e do sistema formado por ambas ao redor do Sol. Fonte: Adaptado de (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 60).

Como dito, duas forças agem na geração das marés. A força gravitacional e a força centrífuga. Uma vez que o sistema está em equilíbrio, as resultantes de ambas as forças no centro de massa do planeta são de mesma intensidade. Caso contrário, teríamos a fuga ou o impacto da Lua com a Terra (DEFANT, 1958, p. 26). Porém, localmente, força gravitacional

e força centrífuga são diferentes, e é esta diferença responsável pela formação das marés (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 198).

2.1.1 Força Gravitacional

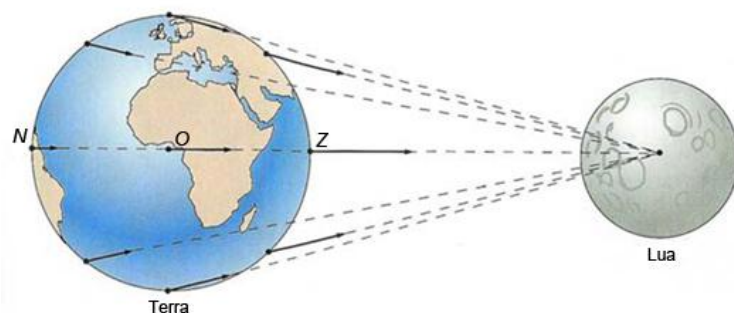
Da Lei da Gravitação Universal de Newton, nós temos que dois corpos se atraem em função das suas massas, M_1 e M_2 , e do inverso do quadrado da distância, r , entre eles na forma da Equação 1.

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (1)$$

onde G é a constante universal de gravitação que vale $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 74).

Dessa forma, observamos na Figura 5 que nos pontos N, O e Z as magnitudes da atração gravitacional variam de forma crescente devido as diferentes distâncias destes pontos em relação ao centro de massa da Lua. Como a atração gravitacional varia com o inverso do quadrado da distância, pequenas variações vão significar grandes mudanças na magnitude das forças.

Figura 5 – Força gravitacional



Forças gravitacionais devidas a Lua em diversos pontos da Terra. Fonte: Adaptado de (THURMAN e TRUJILLO, 1999, p. 279).

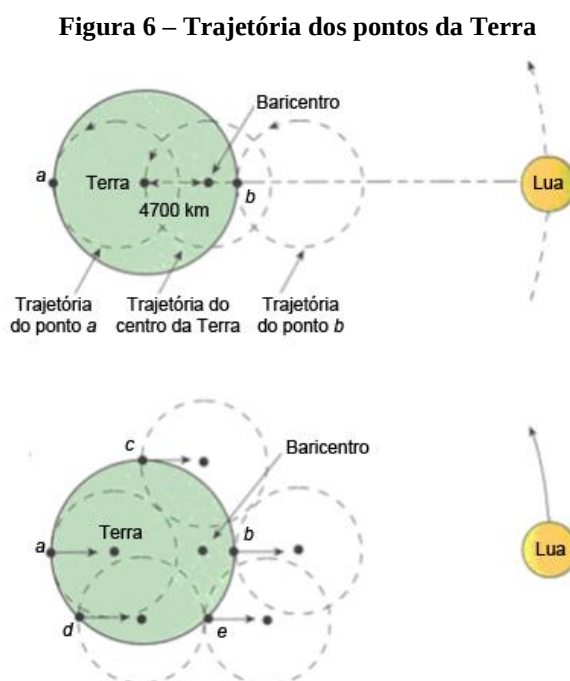
A partir da Figura 5 também é possível notar outra característica da força gravitacional que é, para cada partícula da Terra, ter o vetor apontando diretamente para o centro da Lua. Dessa forma, com exceção dos pontos localizados na linha de união dos centros dos dois astros, os vetores não estão paralelos a ela (ALFREDINI, 2005, p. 78). Vale lembrar que o ângulo dos vetores na Figura 5 está exagerado. Nos polos Norte e Sul, por exemplo, onde

ocorrem os maiores ângulos, na realidade eles medem cerca de 1° apenas (POND e PICKARD, 1983, p. 256).

De igual forma o Sol exerce força gravitacional na Terra, sendo esta força menor, uma vez que o Sol contribui, nos efeitos da maré, com cerca de 30% do seu total (SAWICKI, 1999).

2.1.2 Força Centrífuga

O centro da Terra gira numa órbita quase circular ao redor do centro de massa do sistema Terra-Lua. Desconsiderando-se a rotação do nosso planeta, pode-se afirmar que todas as partículas também descrevem uma trajetória quase circular de mesmo raio como mostra a Figura 6 (PUGH, 1987, p. 61).

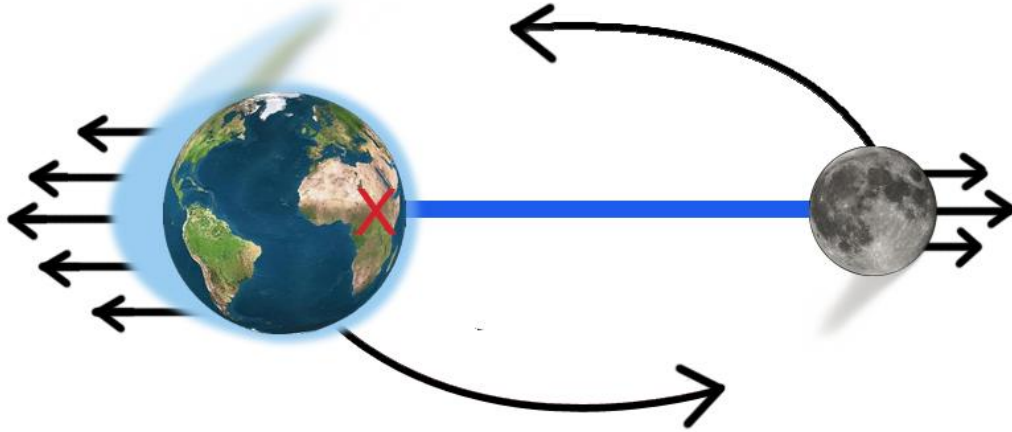


Órbitas circulares de mesmo raio para diversos pontos da Terra. Fonte: Adaptado de (THURMAN e TRUJILLO, 1999).

Devido a essa revolução há a geração de uma força centrífuga que tenta tirar o planeta da sua órbita, mas que é contrabalanceada pela atração gravitacional da Lua. Essa força centrífuga é proporcional ao raio de revolução, de cerca de 4700 km, e ao quadrado da velocidade angular da partícula (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 198). Todos os pontos da Terra estão sujeitos à mesma força centrífuga, tanto em magnitude, quanto em

sentido e direção, que no caso é a direção contrária a Lua, paralela à linha que liga o centro de ambos, como mostra a Figura 7 (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 53).

Figura 7 – Força centrífuga



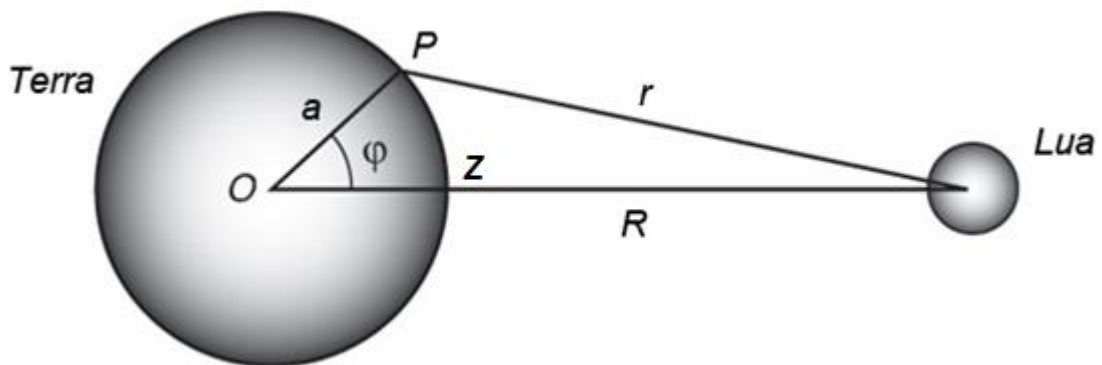
Forças centrífugas na Terra e na Lua resultantes da revolução do sistema. Fonte: O autor.

Como temos que no centro de massa da Terra as forças gravitacional e centrífuga são equivalentes, pois só assim se mantém o equilíbrio que sustenta o sistema Terra-Lua, podemos afirmar, utilizando a equação para Força Gravitacional entre Dois Corpos (Equação 2), que a força centrífuga no centro do planeta, e consequentemente em qualquer outro ponto, é equivalente a

$$F_C = G \frac{Mm}{R^2} \quad (2)$$

onde as notações de distância utilizadas podem ser visualizadas na Figura 8, e M e m representam, respectivamente, as massas da Terra e da Lua.

Figura 8 – Esquema do sistema Terra-Lua

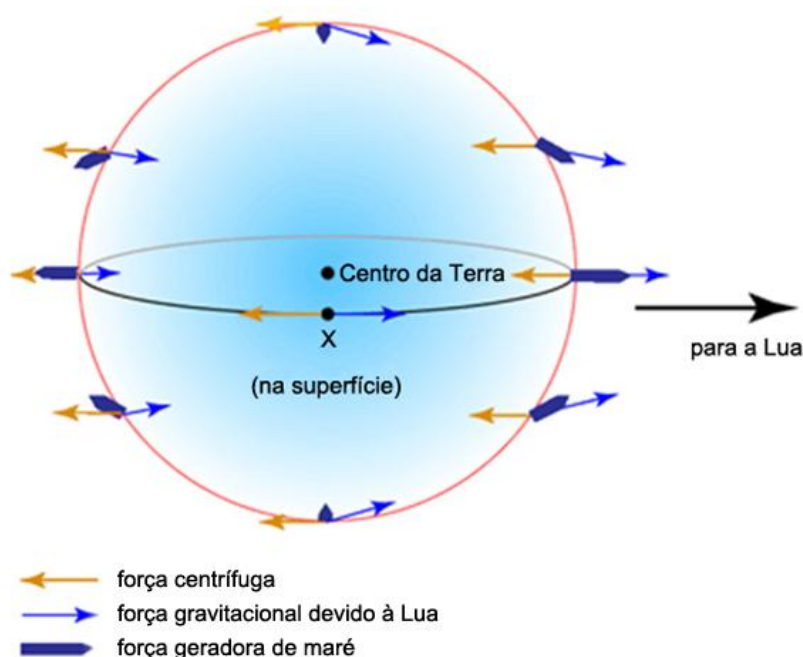


Fonte: Adaptado de (STEWART, 2008, p. 302).

2.1.3 Forças Geradoras de Maré

As resultantes do somatório das duas forças, centrífuga e gravitacional, são conhecidas como forças geradoras de maré. Dependendo da posição do ponto na superfície da Terra em relação à Lua essas forças podem ter direção voltada para dentro, para fora ou paralela à superfície como fica explícito na Figura 9 (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 53).

Figura 9 – Forças geradoras de maré

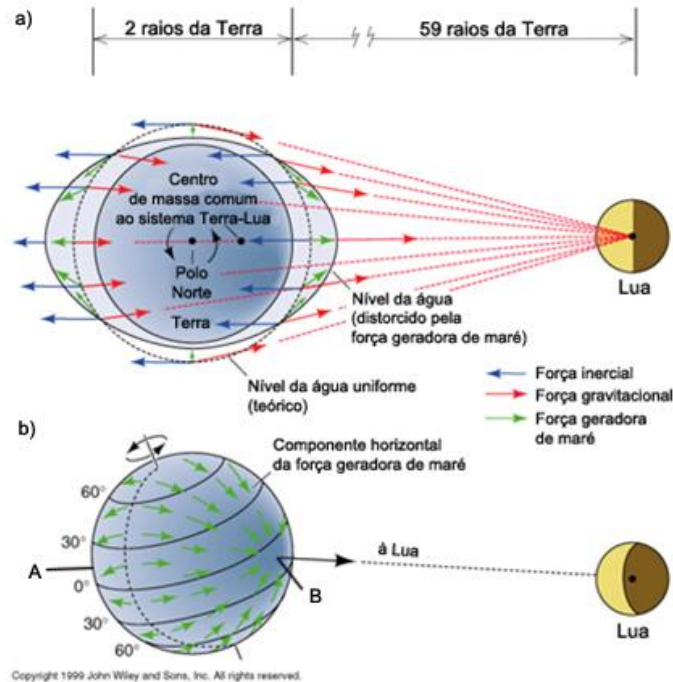


Distribuição das forças geradoras de maré. Fonte: Adaptado de (DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2005)

Dessas forças geradoras de maré, apenas as componentes horizontais, ou seja, tangentes à superfície terrestre, têm efeito significativo em sua propagação, sendo chamadas forças trativas (DRONKERS, 1964, p. 32). As componentes verticais não tem influência porque a gravidade da própria Terra é 9×10^6 vezes maior, anulando qualquer efeito que elas poderiam ter (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 55).

Essas componentes horizontais, como mostrado na Figura 10b, valem zero no meridiano que passa pelos polos e está perpendicular a linha que separa os centros de massa do sistema Terra-Lua, e nos pontos A e B. Já nos círculos a 45° elas são máximas (POND e PICKARD, 1983, p. 258). Elas tendem a movimentar as massas de água em direção aos pontos A e B gerando assim dois bulbos (Figura 10a). Um na direção da Lua e outro na direção oposta. Portanto, apesar dos pontos A e B apresentarem as menores forças trativas, eles são os pontos para aonde a água tende a fluir (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 56).

Figura 10 – Formação dos bulbos de maré



a) Forças atuantes na formação dos bulbos da maré, e b) as componentes horizontais das forças resultantes envolvidas no processo. Fonte: (UNIVERSITY OF VICTORIA, 2005)

Na prática, porém, esses bulbos não se formam da maneira mostrada, pois o planeta não é totalmente coberto de água e, portanto a água não pode se deslocar livremente ao redor do globo, com exceção das águas próximas à Antártida (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 209).

Caso não houvesse atrito entre os oceanos e a parte sólida do planeta, os bulbos acompanhariam a passagem da Lua pela Terra, ficando assim um sempre sob a Lua e outro na direção oposta do planeta. Mas, como existe esse atrito o ponto mais alto do bulbo é deslocado da sua posição. Uma consequência curiosa do atrito das massas de terra do planeta com os bulbos de maré é que, pela Terceira Lei de Newton, os bulbos da maré exercem uma força reativa nas terras do planeta. Assim, essa força reativa é responsável por um decréscimo na rotação da Terra da ordem de bilionésimos de segundo por dia (KOUPELIS, 2011, p. 159).

Para se determinar o valor da força geradora de maré em um ponto, como por exemplo, o Z da Figura 8, basta fazer a diferença entre as duas forças no local. Portanto, utilizando as Equações 1 e 2 temos que a força geradora de maré em Z é:

$$FGM_z = \frac{GMm}{(R-a)^2} - \frac{GMm}{R^2} = \frac{GMm(2R-a)}{R^2(R-a)^2} \quad (3)$$

Como o valor de a é muito pequeno comparado ao de R , podemos afirmar que:

$$(2R - a) \cong 2R \quad (4)$$

e

$$(R - a)^2 = R^2 \quad (5)$$

Assim, substituindo as Equações 4 e 5 na Equação 3 obtemos que a força geradora de maré no ponto Z pode ser simplificada para:

$$FGM_z = \frac{GMm2a}{R^3} \quad (6)$$

Portanto, vemos a partir da Equação 6 que as forças geradoras de maré são proporcionais ao inverso do cubo da distância entre os centros de massa.

Apesar de apenas a Lua estar sendo mencionada, o Sol de igual forma influencia a Terra, criando forças gravitacional e centrífuga, que vão resultar nas forças geradoras de maré. Porém, apesar da massa do Sol ser muito maior que a massa da Lua, como ele está muito mais afastado e, como as forças geradoras de maré variam com o inverso do cubo da distância como visto na Equação 6, ele gera apenas 46% do efeito que a Lua exerce sobre a Terra (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 198).

Vários corpos celestes interagem com a Terra, mas, devido as grandes distâncias, seus efeitos nas marés podem ser negligenciados. Assim apenas a Lua e o Sol são considerados na determinação das forças geradoras de maré (DRONKERS, 1964, p. 29).

Como os movimentos da Lua e do Sol são num todo periódicos, podemos esperar que os fenômenos de maré também o sejam (GODIN, 1972, p. 9). Assim, é possível expressar a resultante das forças geradoras de maré como o somatório de um número de harmônicas simples, ou seja, senos e cossenos, chamadas de constituintes harmônicas. Cada constituinte tem como características período, fase e amplitude constantes num local (POND e PICKARD, 1983, p. 259).

2.2 Movimentos Celestiais e suas Consequências nas Marés

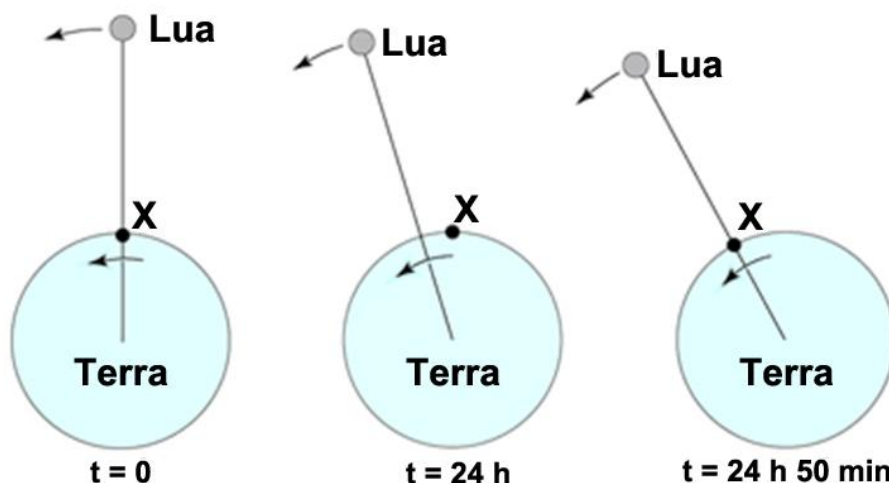
A Terra, a Lua e o Sol não mantêm as mesmas posições e orientações relativas entre si o tempo todo. Os três apresentam alguns movimentos que por hora aumentam ou diminuem o

afastamento entre eles. Essa variação na distância tem influência direta nas marés, aumentando ou diminuindo as suas alturas (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 59).

2.2.1 Rotação da Terra

A cada, aproximadamente, 24 horas a Terra dá uma volta em torno do seu eixo. Em compensação a Lua, em seu ciclo lunar, leva em torno de 27,3 dias para completar uma revolução em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua. Dessa forma, transcorridas 24 horas, um ponto que estivesse alinhado com a Lua no instante inicial, ao termino da rotação, não estará mais em perfeito alinhamento, e sim um pouco afastado, pois a Lua terá avançado 13° na sua revolução nesse período na mesma direção da rotação da Terra (SELIGMAN, 2011). Para que o ponto e a Lua fiquem alinhados novamente são necessários mais 50 min, perfazendo um total de 24 h 50 min como pode ser visto na Figura 11. Esse período de 24 h 50 min é conhecido como dia lunar (ALFREDINI, 2005, p. 78).

Figura 11 – Dia Lunar



Posição relativa da Lua em relação à Terra no instante inicial, 24 h e 24 h 50 min depois. Fonte: Adaptado de (DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2005).

Em decorrência do dia lunar temos que as marés altas em dois dias consecutivos não vão ocorrer no mesmo horário (DRONKERS, 1964, p. 49).

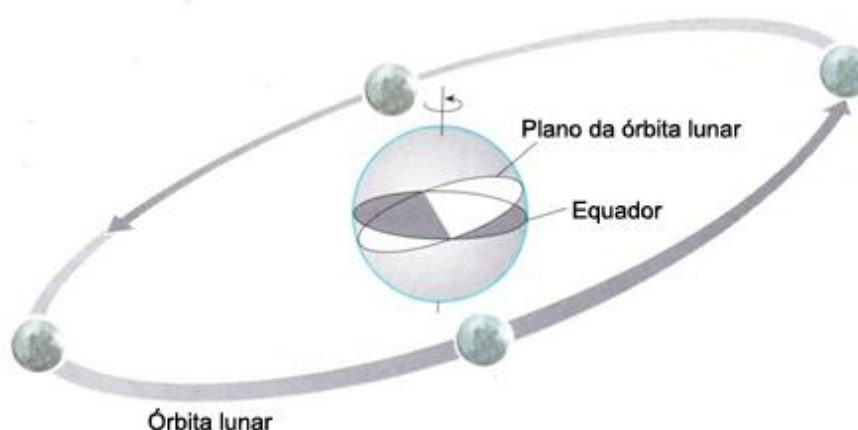
Outra consequência da rotação da Terra é a ocorrência do ciclo semidiurno da maré, ou seja, duas marés altas e duas marés baixas por dia (TUREKIAN, 1969, p. 109). Caso não houvesse esta rotação essas marés altas e baixas ocorreriam apenas duas vezes a cada ciclo lunar (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 199).

A rotação da Terra também é responsável pela geração da força de Coriolis (DEFANT, 1958, p. 71). Essa força é uma das responsáveis pela real movimentação das marés ao redor da Terra.

2.2.2 Declinação da Lua e do Sol

A órbita da Lua não está no mesmo plano do equador terrestre e sim, inclinada $28,5^\circ$ (Figura 12). Durante um ciclo lunar, a Lua varia sua posição em relação ao equador esses $28,5^\circ$ para cima e para baixo. Esse movimento em relação ao equador é conhecido como declinação (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 59).

Figura 12 – Órbita lunar

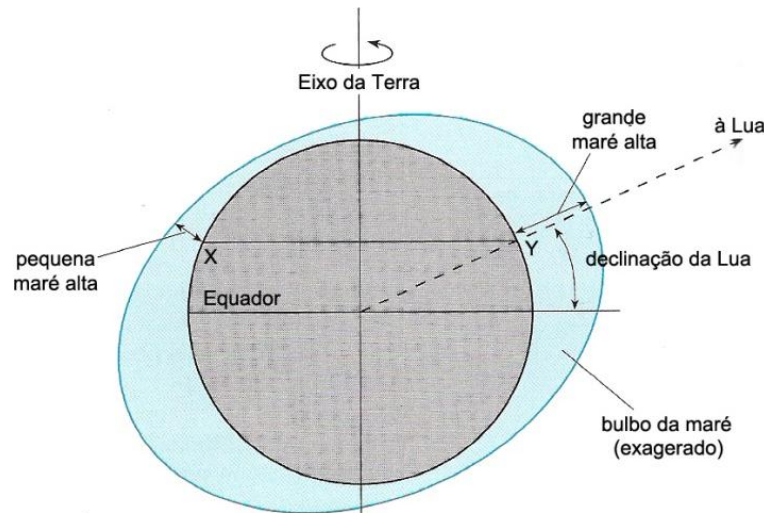


Inclinação de $28,5^\circ$ da órbita da Lua em relação ao Equador da Terra. Adaptado de: (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 59).

A declinação da Lua tem papel importante na amplitude de maré diária. Quando a Lua está na sua declinação máxima, o bulbo não se forma mais na altura do equador, e sim em torno dos trópicos. Dessa forma, como mostra a Figura 13 temos que as duas amplitudes de maré do dia serão diferentes (marés tropicais). Já quando a Lua está com declinação zero, o bulbo volta a se formar no equador, portanto, não há mais desigualdade diurna, fazendo com que as duas amplitudes do dia sejam iguais (marés equatoriais) (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 76).

De forma semelhante à Lua, a órbita da Terra em relação ao Sol também apresenta uma inclinação. Neste caso a inclinação é de cerca de 23° , e de igual forma produz desigualdades diurna nas componentes da maré induzidas pelo Sol (ALFREDINI, 2005, p. 79).

Figura 13 – Declinação da Lua



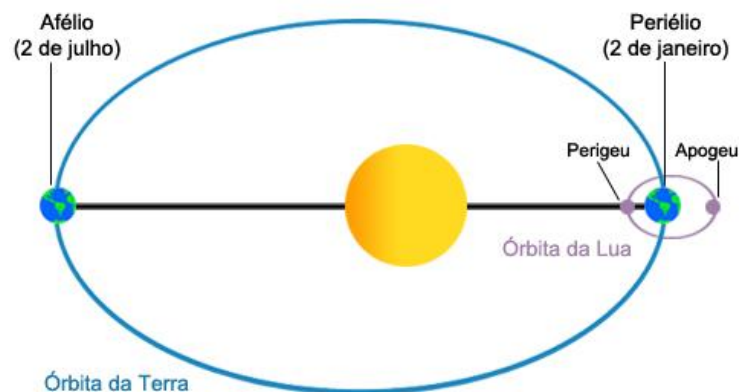
Desigualdade diurna da maré provocada pela declinação da Lua. Fonte: Adaptado de (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 60).

2.2.3 Translação da Terra e da Lua

As órbitas da Terra e da Lua não são circulares e sim elípticas, dessa forma, ao longo de um ciclo as distâncias entre a Terra e o Sol, e a Terra e a Lua variam em torno de 4% e 13%, respectivamente (ALFREDINI, 2005, p. 79).

Devido a essa variação de distância temos que as forças geradoras de maré, induzidas pela Lua, também variam. Nos pontos da órbita onde ocorrem as maiores e menores distâncias, chamados, respectivamente, de apogeu e perigeu (Figura 14), as forças geradoras de maré variam 20% em relação ao valor médio (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 60).

Figura 14 – Órbitas terrestre e lunar



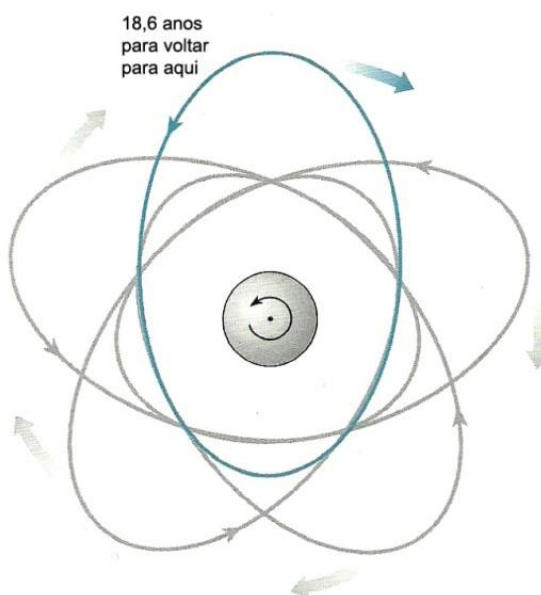
Órbitas elípticas da Terra e da Lua, e seus pontos de maior e menor distância. Fonte: Adaptado de (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2008)

Com relação ao Sol, também ocorrem diferenças entre as forças induzidas em decorrência da variação da distância devido à órbita. Os maiores valores serão encontrados quando a Terra está mais próxima do Sol (periélio), e os menores quando estiver mais afastada (afélio) (Figura 14) (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 62).

2.2.4 Precessão da Lua

Outro movimento da Lua é o movimento de precessão, onde sua órbita gira em torno da Terra (Figura 15). Esse movimento é longo, levando 18,6 anos para ser concluído. Entretanto ele influencia as marés (PINTO, 2005, p. 30).

Figura 15 – Precessão lunar

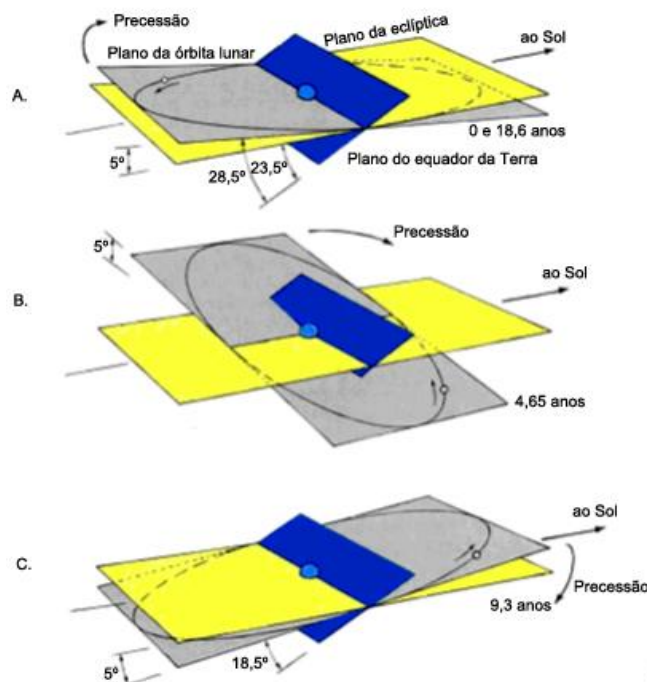


Variação da órbita da Lua em torno da Terra devido à precessão lunar. Fonte: Adaptado de (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 61).

Apesar de longa, essa movimentação acarreta variações das amplitudes de maré. Como pode ser vista na Figura 16, a órbita da Lua faz um ângulo de cerca de 5° com a órbita da Terra, a eclíptica. Devido à precessão, durante o ciclo de 18,6 anos a inclinação dessa órbita pode variar entre $28,5^\circ$ e $18,5^\circ$ (PINTO, 2005, p. 30).

A Terra também apresenta um movimento de precessão em torno do Sol, mas, apesar de influenciar as marés, por levar dezenas de milhares de anos para ser completado, normalmente ele não é considerado (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 62).

Figura 16 – Posição do plano lunar durante precessão



Variação da declinação da Lua devido ao movimento de precessão da órbita lunar. Fonte: Adaptado de (PINTO, 2005, p. 30 *apud* THURMAN e TRUJILLO, 1997).

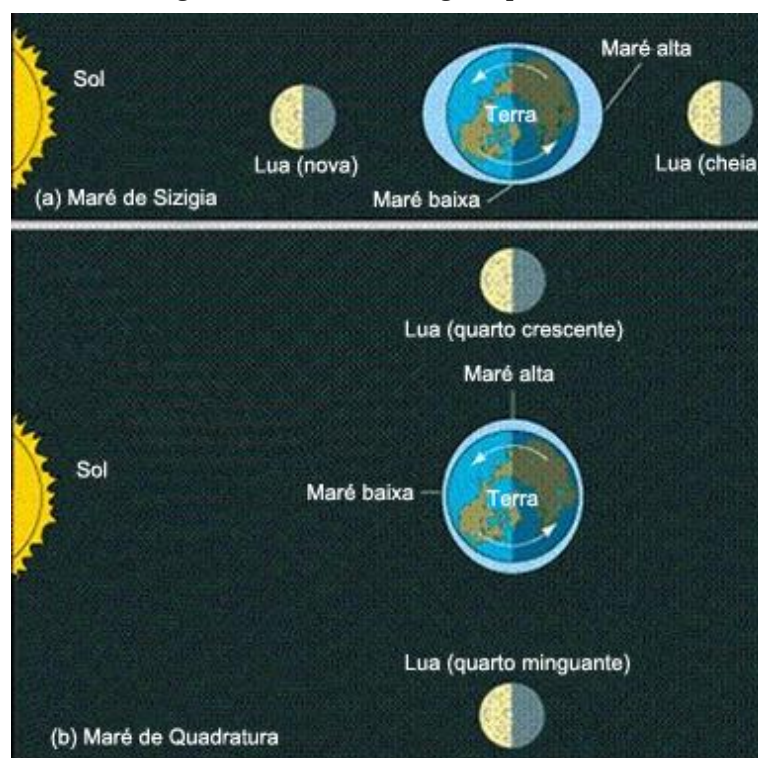
2.3 Marés de Sizígia e Quadratura

Como visto, a Lua e o Sol são os grandes responsáveis pela geração das marés. Porém, a posição relativa desses dois astros e do Sol varia ao longo do tempo devido aos diversos movimentos listados anteriormente. Assim, dependendo da posição relativa entre os três astros haverá configurações diferentes nas amplitudes de maré. Duas dessas configurações (Figura 17) recebem nomes especiais: maré de sizígia (ou maré viva) e maré de quadratura (ou maré morta).

Quando a Lua, a Terra e o Sol estão alinhados, como acontece nas luas cheia e nova, temos que os efeitos de maré de ambas são somados gerando assim as maiores marés altas e as menores marés baixas. Essas marés são chamadas de marés de sizígia (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 200).

Já nos quartos crescente e minguante da Lua, teremos que os três astros formam entre si um ângulo de 90° . Assim, os efeitos de maré dos dois ao invés de se somar, como no caso das marés de sizígia, são reduzidos nessa configuração que chamamos de maré de quadratura (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 200).

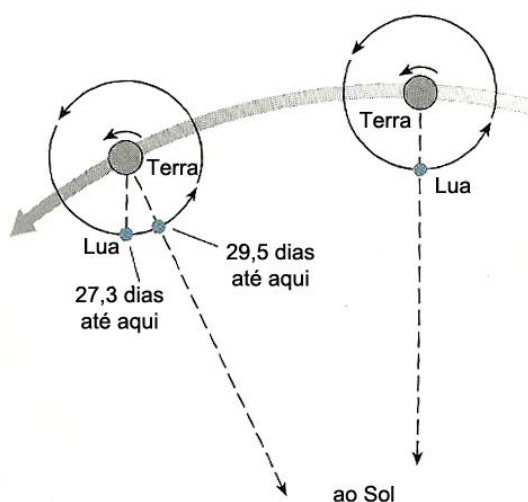
Figura 17 – Marés de sizígia e quadratura



Fonte: Adaptado de: (HERIOT WATT UNIVERSITY, 2012).

Apesar de a Lua levar 27,3 dias para completar uma revolução ao redor da Terra, o ciclo completo de marés de sizígia e quadratura leva 29,5 dias. Isso ocorre por razões semelhantes às da duração de um dia lunar ter 50 min a mais que um dia terrestre. Como o sistema Terra-Lua orbita o Sol, para a Lua voltar para a mesma posição relativa a ambos, Terra e Sol, ela necessita de 2,2 dias extras como ilustra a Figura 18 (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 63).

Figura 18 – Mês sinótico



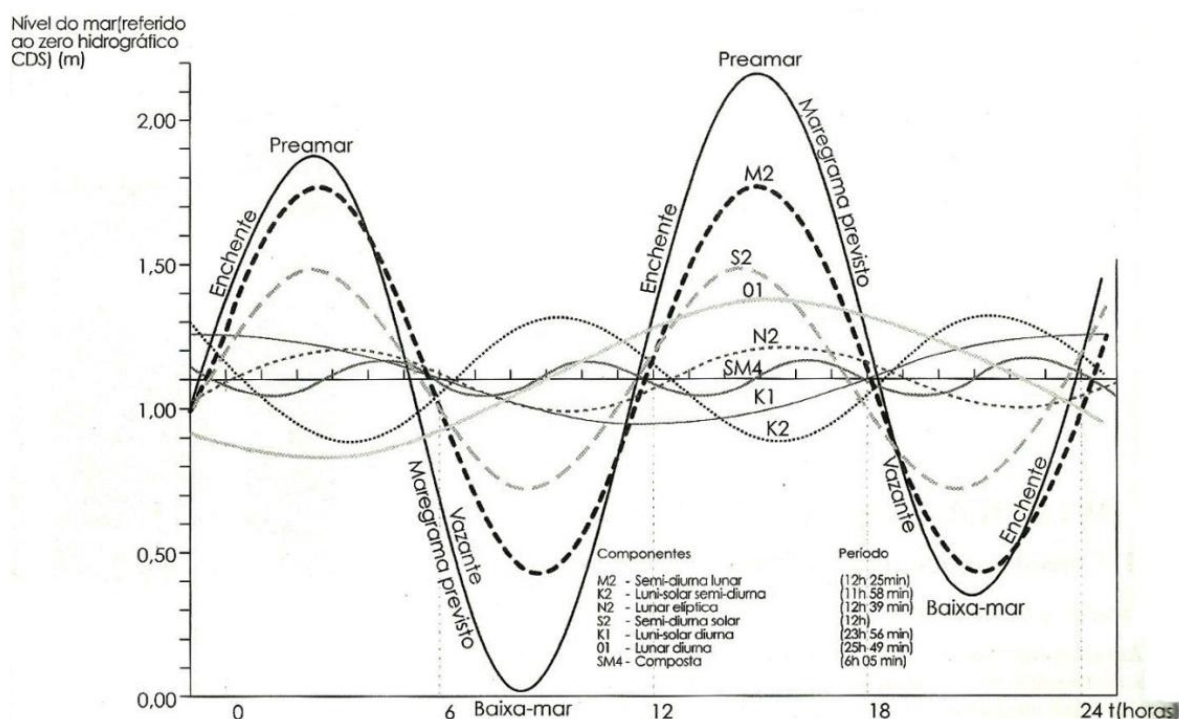
Tempo necessário para a Lua transladar a Terra e voltar a ficar alinhada com a Terra e o Sol. Fonte: Adaptado de (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 65).

Quando uma maré de sizígia coincide com a Lua e o Sol nos pontos mais próximos da Terra, e ainda com a declinação zero destes astros, ocorrem as maiores alturas de maré possíveis. Em Newlyn, Grã Bretanha, por exemplo, quando isso acontece, a maré chega a 6 m, enquanto que a maré normal é de 3,5 m e a de sizígia 5 m (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 65). Entretanto, a combinação desses fatores só irá acontecer agora no ano de 6581 (PUGH, 1987, p. 84).

2.4 Constituintes de Maré

A altura da maré em um determinado local é resultado da soma das diversas constituintes harmônicas que lá atuam (Figura 19). Cada constituinte representa um movimento astronômico relacionado com a Terra, a Lua, e/ou o Sol, e pode ter desde uma periodicidade semidiurna até, por exemplo, um período de 18,6 anos correspondente ao movimento de precessão da Lua (MARTINS e REIS, 2007, p. 1).

Figura 19 – Constituintes da maré



Fonte: (ALFREDINI, 2005, p. 76).

As constituintes, de acordo com sua periodicidade, são divididas em três tipos: semidiurna, com período de meio dia; diurna, com período de um dia; e de longo período, com periodicidade maior que um dia (POND e PICKARD, 1983, p. 259).

A presença dos continentes e alguns efeitos locais acabam por alterar o tamanho relativo de várias das constituintes em um determinado local (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 76). Assim, a amplitude e a fase das constituintes harmônicas são características que variam de local para local. Entretanto, a periodicidade, por estar relacionada aos astros, é constante independente do local (MARTINS e REIS, 2007, p. 2).

São conhecidas, atualmente, cerca de 400 constituintes de maré (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 76). Destas, a Tabela 2 apresenta as principais, suas periodicidades e suas contribuições teóricas para a altura da maré.

Tabela 2 – Características teóricas de alguns dos principais constituintes da maré

Modo e Nome	Símbolo	Período (h)	Tamanho Relativo
Maré semidiurna			
Lunar principal	M_2	12,42	100
Solar principal	S_2	12,00	47
Lunar elíptico	N_2	12,66	19
Declinação lunar-solar	K_2	11,97	13
Maré diurna			
Declinação lunar-solar	K_1	23,93	58
Lunar principal	O_1	25,82	42
Solar principal	P_1	24,07	19
Lunar elíptico	Q_1	26,87	8
Maré de longo período			
Lunar de 14 dias	M_f	327,9	17
Lunar mensal	M_m	661,3	9
Semianual solar	S_{sa}	4383,0	8

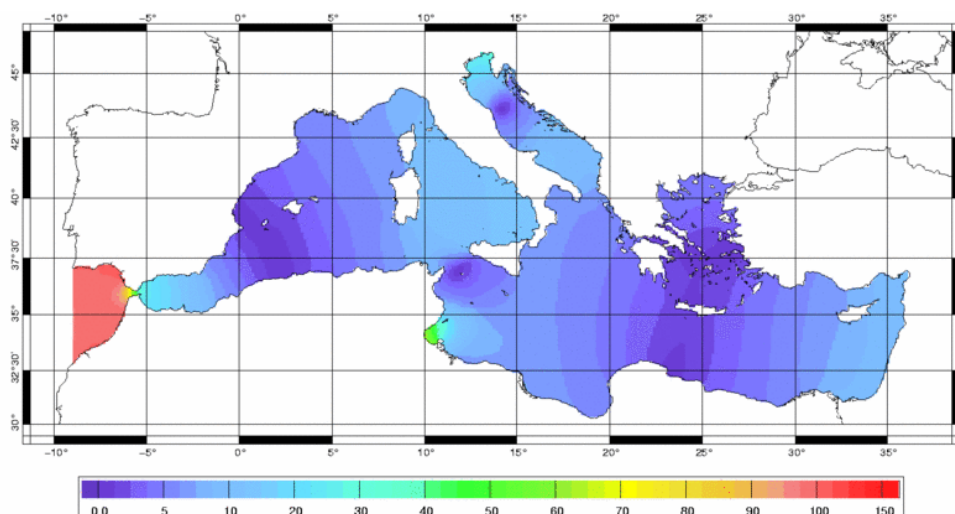
Fonte: Adaptado de (POND e PICKARD, 1983, p. 260).

Fenômenos como erosão, assoreamento e obras portuárias podem alterar as características da maré, por isso, é importante a renovação, sempre que possível, das constituintes harmônicas (MARTINS, SERPA e REIS, 2005, p. 59).

2.5 Teorias da Formação das Marés

Atualmente, o fenômeno das marés é conhecido e até certo ponto bem entendido. Porém, na antiguidade os navegadores gregos e romanos o desconheciam, pois as marés na região do Mediterrâneo são de pequena amplitude, como mostra a Figura 20. Apenas quando eles se aventuraram para além do estreito de Gibraltar em direção ao Atlântico é que tomaram conhecimento da sua magnitude (WEYL, 1970, p. 238).

Figura 20 – Maré M_2 no Mediterrâneo



Amplitude em cm da constituinte da maré de maior magnitude, no Mediterrâneo. Fonte: (LABORATOIRE D'ETUDES EN GÉOPHYSIQUE ET OCÉANOGRAPHIE SPATIALES, 2000).

Entretanto, apesar de desconhecida para gregos e romanos, evidências arqueológicas sugerem que em 2300 a.C., na Índia, já se conhecia o fenômeno e ele era utilizado em um sistema de docas de maré. Este sistema permitia a entrada de barcos na maré cheia e, através de comportas, a água era aprisionada e os barcos podiam descarregar e carregar tranquilamente mesmo na maré baixa (WOOLF e MADDOCKS, 2005, p. 741).

Até o século XVII, quando se começou a encontrar explicações científicas para o fenômeno das marés, diversas teorias e lendas foram criadas tentando elucidar o porquê das águas se elevarem e recuarem periodicamente. Pensadores chineses acreditavam que os oceanos eram o sangue da Terra e as marés seriam um reflexo da pulsação terrestre. Árabes creditavam as marés a raios originários da Lua que refletiam no fundo oceânico. Esses raios aqueceriam e expandiriam a água que se deslocaria em forma de onda até a costa (PUGH, 1987, p. 3). Outras explicações mais poéticas também foram produzidas. Uma afirmava que as marés eram provocadas por um anjo que mergulhava seus dedos no Mar da China e depois os retirava. Outra dizia que a causa seria o ciclo respiratório de uma baleia gigante (WEYL, 1970, p. 238).

Apesar de não se ter uma explicação científica até o século XVII, muitas observações já associavam as marés com a passagem da Lua. O geógrafo e explorador grego Píteas foi um dos primeiros a fazer essa ligação (EMERY e THOMSON, 2004, p. 55). Em sua viagem marítima até as Ilhas Britânicas ele pôde observar marés de grande amplitude. Além de associá-las com a Lua, ele pode observar as variações de amplitude que ocorriam durante um mês. Como as maiores amplitudes se davam nas luas cheia e nova, ele relacionou esse fato com o ciclo das fases lunar (PUGH, 1987, p. 2).

Na metade do século XVII algumas teorias foram seriamente consideradas. Galileu propôs que os movimentos da Terra ao redor do Sol e em torno do seu próprio eixo induziriam a movimentação dos oceanos. E estes seriam modificados pela forma do leito marinho gerando as marés (MARICONDA, 1999, p. 48-49). O francês Descartes sugeriu que o espaço era preenchido por uma matéria invisível, o éter. À medida que a Lua orbitava a Terra, ela comprimia esse éter. Ele por sua vez transmitia essa pressão para o oceano, provocando as marés (CARTWRIGHT, 1999, p. 32). Já a teoria proposta por Kepler para corroborar com a sua teoria da gravidade, dizia que a Lua exercia uma força gravitacional sobre os oceanos, fazendo a água se deslocar para o ponto sob ela (PUGH, 2004, p. 3).

Porém, somente a partir de Newton, e da sua Lei da Atração Gravitacional, que começou a se desenhar uma teoria que conseguisse realmente explicar o fenômeno.

2.5.1 Teoria da Maré de Equilíbrio

Introduzida por Newton, a Teoria da Maré de Equilíbrio foi o primeiro estudo a discutir a origem das marés sob um ponto de vista matemático (DRONKERS, 1964, p. 4). Nesta teoria, é assumido que a Terra inteira é coberta com água de mesma densidade e mesma profundidade (SATO, 2010, p. 81). Assim, utilizando as suas leis da atração gravitacional, Newton conseguiu mostrar que a superfície de água formaria um esferoide como resultado da atração da Lua ou do Sol (Figura 21), e com isso conseguiu explicar o porquê da ocorrência, duas vezes ao dia, para a maioria dos lugares, do fluxo e refluxo da maré à medida que a Terra rotaciona (DRONKERS, 1964, p. 4-5).

Figura 21 – Bulbos da maré devido a Lua



Esferoide produzido pelas águas da Terra graças à atração gravitacional da Lua. Fonte: Adaptado de (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2008).

Além da periodicidade semidiurna (duas vezes ao dia) da maré, a teoria também foi capaz de explicar o porquê da variação da amplitude no decorrer das fases da Lua, a razão das

amplitudes nos equinócios serem normalmente maiores que as dos solstícios, e o motivo das marés com periodicidade diária ocorrerem quando a declinação da Lua está no seu máximo (PUGH, 1987, p. 4). Porém, apesar de elucidar algumas questões que ainda não tinham encontrado uma explicação convincente à época, ela é claramente uma teoria artificial pelas considerações assumidas (POND e PICKARD, 1983, p. 260).

Além disso, ela é falha em alguns pontos, como por exemplo, a previsão de marés menores que as reais, e a velocidade irreal de propagação da maré. Pela teoria a velocidade deveria ser de 400 m/s no Equador, valor muito maior que o limite teórico de 200 m/s que a maré pode obter, uma vez que ela se comporta como uma onda de água rasa e, portanto depende diretamente da profundidade. (SATO, 2010, p. 85-86).

Devido a essas inconsistências, cerca de 200 anos depois, de modo a diminuir as diferenças registradas entre as observações e as previsões, o matemático Laplace desenvolveu a Teoria Dinâmica das Marés onde se encarava a maré como uma onda (MARTINS, SERPA e REIS, 2005, p. 59).

2.5.2 Teoria Dinâmica da Maré

Durante o século XVIII, Laplace trabalhou na Teoria Dinâmica da Maré que tentava explicá-la considerando fatores que foram deixados de fora por Newton. Assim, esta teoria tentava explicar como a profundidade e a configuração dos oceanos, a força de Coriolis, a inércia, e as forças de atrito influenciariam o movimento das massas de água devido aos astros (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 67). Nesta teoria, as marés não seriam mais bulbos de água e sim ondas de marés com período correspondente ao dos seus forçantes (DEFANT, 1958, p. 42).

Como consequência dos muitos fatores envolvidos, esta teoria é intrincada e soluções para suas equações são complexas. Porém, com os avanços computacionais de já há algumas décadas, as soluções encontradas estão cada vez mais próximas das marés observadas (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 67).

Laplace sugeriu também que as marés poderiam ser representadas como uma série de oscilações harmônicas (EHRET, 2008, p. 41). Partindo desse princípio, Thomson (Lord Kelvin), a partir de 1868, desenvolveu o método da análise harmônica para previsão das marés (DRONKERS, 1964, p. 5).

2.6 Comportamento Real das Marés

Quando Newton, no século XVII, desenvolveu sua Teoria da Maré de Equilíbrio, ele assumiu que a Terra era inteiramente coberta de água com profundidade e densidade uniforme, e que forças trativas tenderiam a criar dois bulbos em lados opostos da Terra que acompanhariam a movimentação da Lua (POND e PICKARD, 1983, p. 260). Entretanto, apesar de várias previsões se mostrarem corretas, como por exemplo, as marés de sizígia e quadratura estarem relacionadas com as fases da Lua, e a desigualdade diurna estar relacionada com a declinação lunar, outras se mostraram não condizentes com a realidade observada (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 66).

Por essa teoria, a elevação da maré deveria variar entre 0,20 m e 0,50 m. Mas, na prática, tem-se que esse valor é bem maior do que os valores previstos (SATO, 2010, p. 85). Em alguns lugares, como por exemplo, na Baía de Fundy no Canadá (Figura 22), no Canal de Bristol na Grã-Bretanha e na Baía do Monte Saint-Michel na França, a elevação da maré pode atingir mais de 10 metros (PUGH, 1987, p. 142).

Figura 22 – Maré na Baía de Fundy



Marés alta e baixa na Baía de Fundy, Canadá. A amplitude de maré pode chegar a até 15 m nesse local. Fonte: (WANTMAN, 1972).

Além desse, existem outros fatores que tornam a Teoria da Maré de Equilíbrio não condizente com a realidade, alguns até já comentados anteriormente, como por exemplo, a presença de massas de terra que impedem os bulbos de circum-navegar o globo, com exceção

da região da Antártida; a existência da força de Coriolis que deflete as correntes de água em sentido horário no hemisfério Norte e em sentido anti-horário no hemisfério Sul; a existência de atrasos em relação ao horário previsto pela teoria para a maré ocorrer e a em que ela realmente ocorre, devido à inércia das massas de água e ao atrito com o leito oceânico; etc. (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 66).

Devido a essas inconsistências, Laplace, no século XVIII, desenvolveu a Teoria Dinâmica da Maré. Nessa teoria, as periódicas forças trativas irão gerar ondas com períodos correspondentes as constituintes harmônicas (POND e PICKARD, 1983, p. 261), ou seja, nessa teoria as marés são vistas como ondas forçadas, as chamadas ondas de maré e, são do tipo onda de água rasa, pois seu período de aproximadamente 20.000 km (aproximadamente meia circunferência da Terra) é muito maior que a profundidade média dos oceanos, 4 km. Portanto, tal como qualquer outra onda, ela está sujeita a refletir, refratar, interferir com outras ondas, sentir o fundo, desacelerar, se elevar e até quebrar (SATO, 2010, p. 86).

Pela Teoria Dinâmica a compreensão do fenômeno em determinada região deve levar em consideração a profundidade local, a configuração da bacia oceânica, a força de Coriolis, a força de inércia e as forças friccionais, fatores estes que influenciam diretamente no comportamento do fluido (PASSOS, 2008, p. 23).

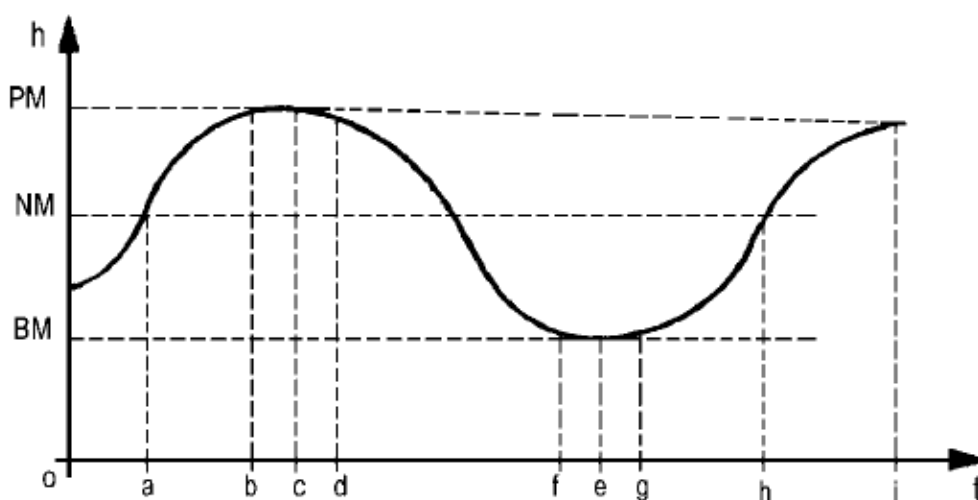
2.6.1 Elementos das Marés

Por se comportar como uma onda, a maré é uma função periódica do tempo e pode ser representada segundo dois eixos ortogonais, onde o eixo vertical indica a altura da maré (h) e o eixo horizontal o instante (t) em que essa altura ocorre (MINGUENS, 1996, p. 231-232). Além disso, a partir do gráfico da maré (Figura 23) podem-se definir os seguintes elementos:

- Preamar (PM) – Maior altura que alcançam as águas em uma elevação da maré (Ocorre nos instantes c e i).
- Baixa-Mar (BM) – Menor altura que alcançam as águas em uma declinação da maré (Ocorre no instante e).
- Amplitude da maré – Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas.
- Nível médio – Valor médio em torno do qual a maré oscila.
- Enchente – Intervalo de tempo durante o qual o nível do mar se eleva (Ocorre no intervalo entre e e i).

- Vazante – Intervalo de tempo durante o qual o nível do mar baixa (Ocorre no intervalo entre *c* e *e*).
- Nível de redução (NR) – Nível a que são referidas as alturas das águas. O NR adotado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) é normalmente o nível médio das baixa-mares de sizígia (MLWS – *Mean Low Water Spring*).
- Ciclo da maré – Período de tempo entre uma PM e a BM que lhe segue.
- Altura da maré – Distância vertical entre o nível do mar em um determinado instante e o nível de redução.

Figura 23 – Elementos das Marés

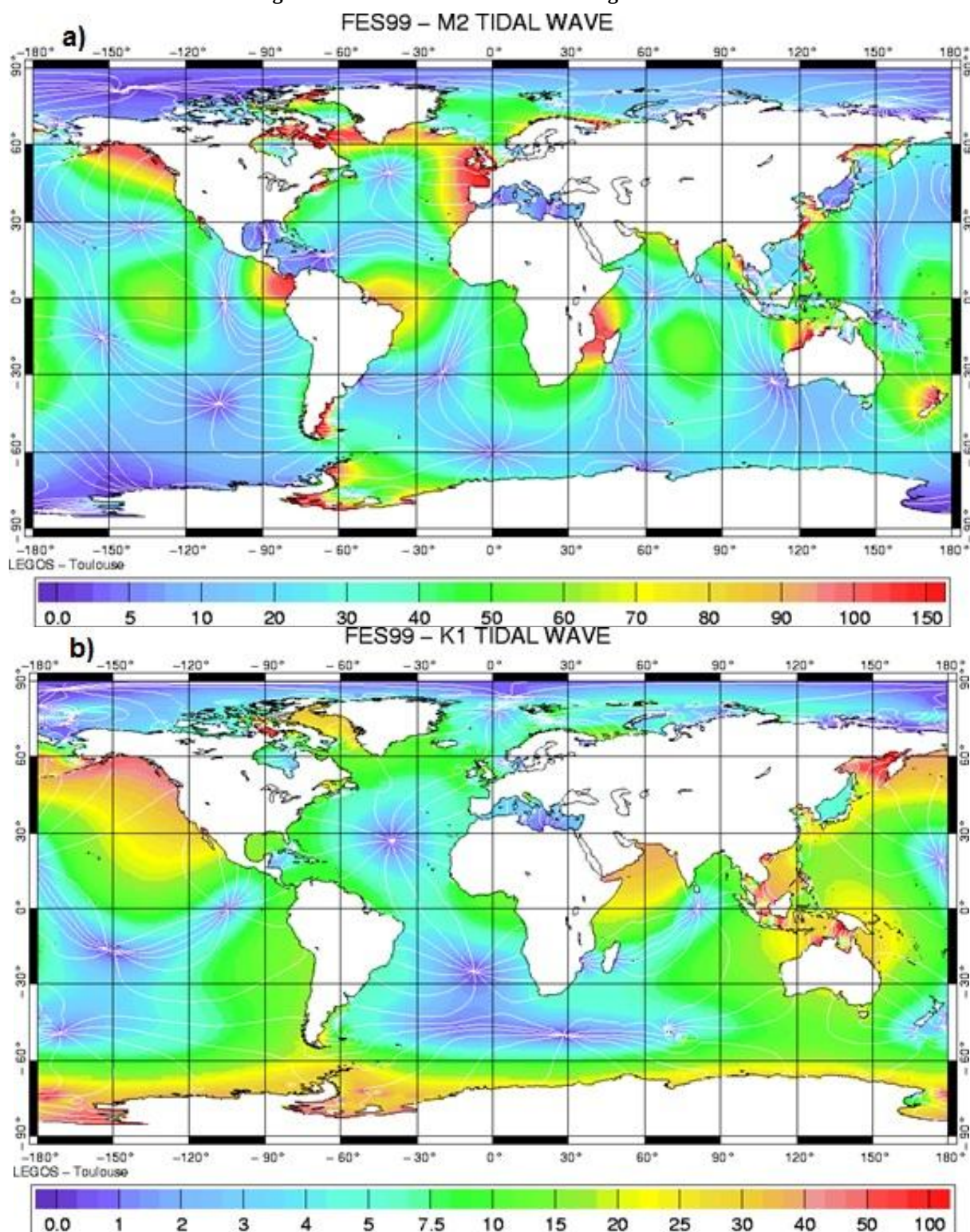


Fonte: (MINGUENS, 1996).

2.6.2 Sistemas Anfidrômicos

Como consequência dos limites impostos pela geometria das bacias oceânicas e da força de Coriolis, há a formação de sistemas anfidrômicos nos oceanos (PASSOS, 2008, p. 23). Nesses sistemas as cristas da onda de maré se movem ao redor de um ponto, o ponto anfidrômico, durante cada período. A altura da maré é zero no ponto anfidrômico e aumenta com o afastamento (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 67). Cada constituinte tem seu próprio sistema anfidrômico, e os pontos anfidrômicos das diversas constituintes não tem necessariamente que coincidir entre si como mostra a Figura 24 (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 72).

Figura 24 – Cartas de maré do modelo global FES99

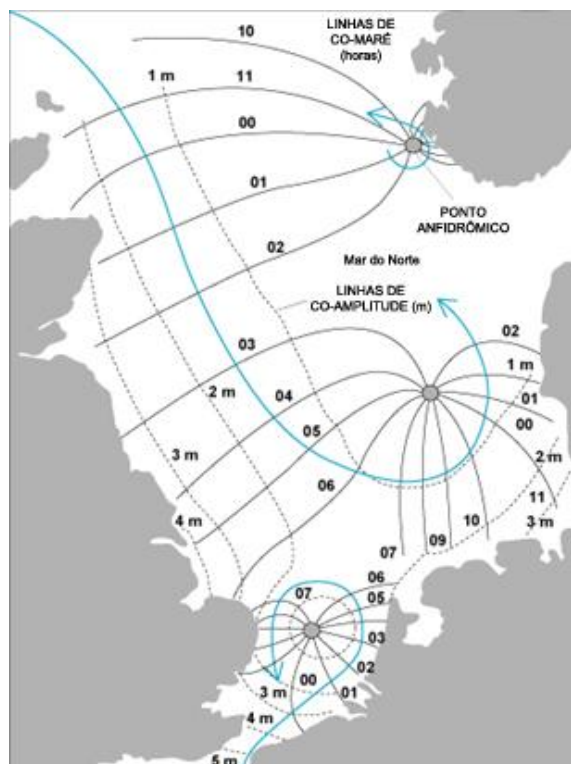


Modelos globais com a) o sistema anfidrômico da constituinte M_2 e b) o sistema anfidrômico da constituinte K_1 . A escala de cor representa a amplitude das constituintes em centímetros. Fonte: Adaptado de (LABORATOIRE D'ETUDES EN GÉOPHYSIQUE ET OCÉANOGRAPHIE SPATIALES, 2000).

Para cada sistema anfidrômico também são definidas linhas de co-maré (Figura 25). Essas linhas ligam pontos com a mesma fase em cada ciclo. E existem ainda as linhas de co-

amplitude (Figura 25) que, como o nome sugere, apresentam a mesma amplitude de maré e são, aproximadamente, círculos concêntricos ao ponto anfidrômico (PUGH, 1987, p. 152).

Figura 25 – Sistema anfidrômico do Mar do Norte



Pontos anfidrômicos, co-marés, co-amplitudes e sentidos de movimentação da maré. Os números em cada co-maré indicam a quantidade de horas, após a passagem da Lua pelo meridiano de Greenwich, que leva para a crista da onda assumir aquela posição. Adaptado de: (DALRYMPLE, 1992)

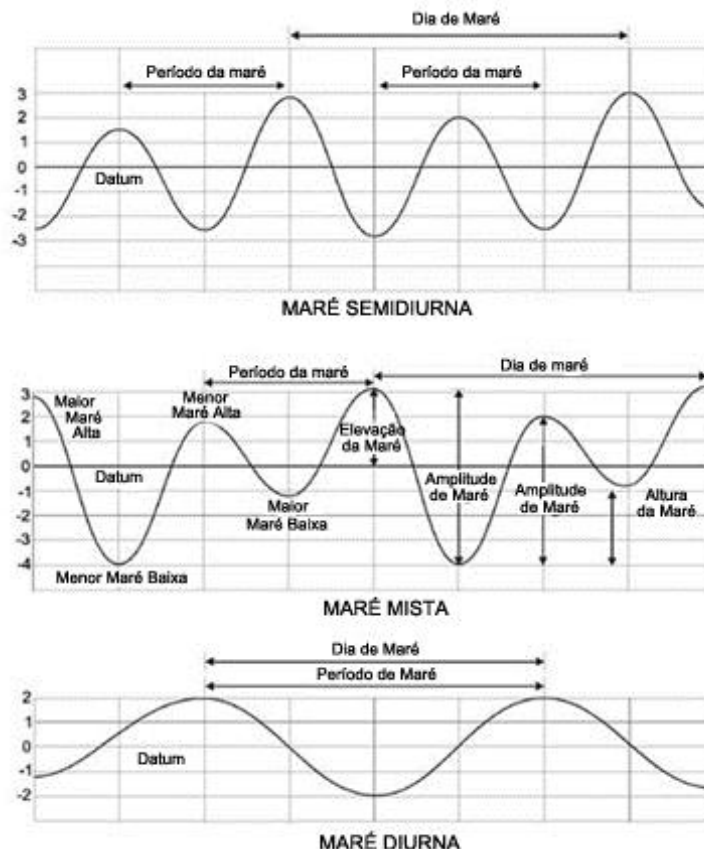
As ondas de maré, devido à força de Coriolis, no hemisfério Norte tendem a rotacionar no sentido anti-horário, enquanto que no hemisfério Sul elas tendem a girar no sentido horário (FENTON, 2010, p. 18). Porém, existem algumas exceções em relação ao sentido de giro das ondas de maré. A maré, ao redor dos pontos anfidrômicos localizados no Atlântico Sul (20° S 15° O), médio-Pacífico (20° S 130° O) e no Pacífico Norte (25° N 155° O), gira no sentido oposto ao previsto (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 69).

2.6.3 Tipos de Maré

Caso a Terra fosse coberta por uma camada uniforme de água teríamos sempre marés semidiurnas em todos os cantos do planeta. Porém, na realidade isso não acontece (SATO, 2010, p. 85). Na prática temos três tipos diferentes de maré: marés semidiurnas, mistas e diurnas (Figura 26). O tipo de maré de um local vai depender muito do formato da bacia onde

ela se forma (SATO, 2010, p. 83), pois as variações locais afetam as constituintes de maré, como já foi falado anteriormente.

Figura 26 – Tipos de Maré



Fonte: Adaptado de (DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2005)

Uma maneira de se verificar o tipo de maré em um determinado lugar é através do número de forma F , que é dado pela expressão:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (7)$$

onde K_1 , O_1 , M_2 e S_2 são as amplitudes das constituintes presentes na Tabela 2, para o local onde se está calculando (POND e PICKARD, 1983, p. 266). O valor encontrado para F , de acordo com a Tabela 3, indicará qual o tipo de maré no local.

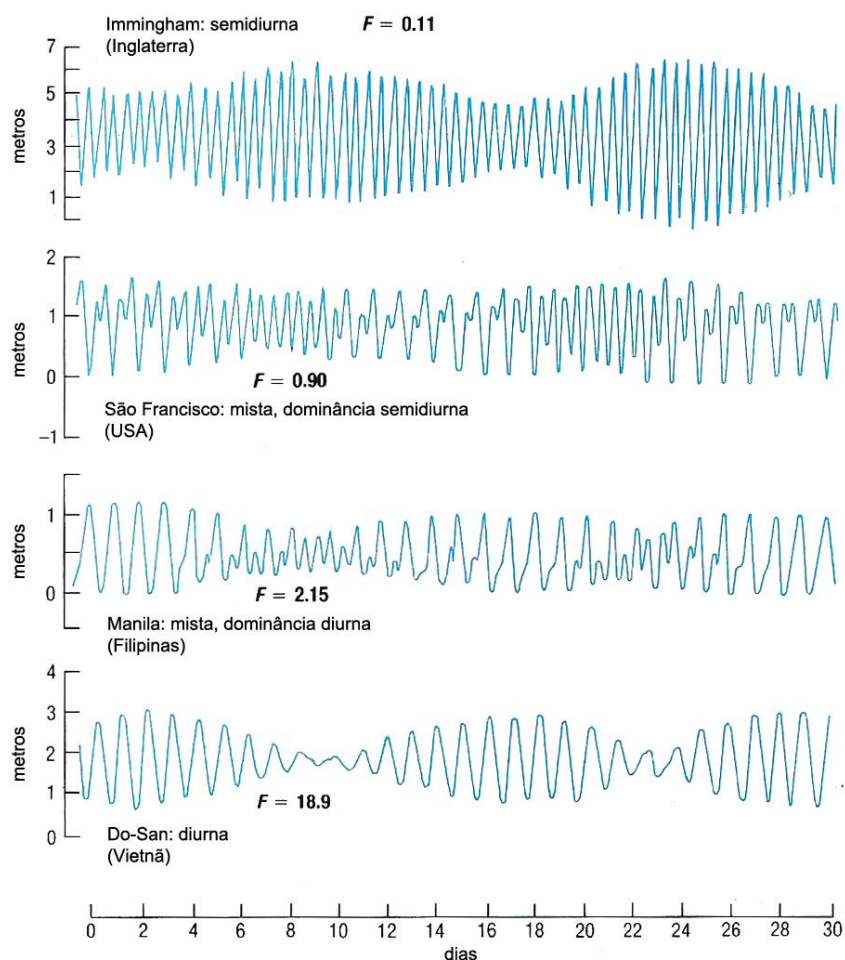
Tabela 3 – Classificação dos tipos de maré

Número de forma F	Tipo de Maré
0,00 - 0,25	Semidiurna
0,25 - 1,50	Mista (semidiurna dominante)
1,50 - 3,00	Mista (diurna dominante)
> 3,00	Diurna

Fonte: Adaptado de (POND e PICKARD, 1983, p. 267).

A Figura 27 mostra os registros mensais para quatro locais diferentes, cada um apresentando um dos tipos de maré mostrados na Tabela 3. Esses registros mensais em forma de gráficos são chamados de maregramas.

Figura 27 – Variedade dos maregramas



Maregramas dos 4 tipos de maré possíveis. Fonte: Adaptado de (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 74).

2.6.3.1 Marés Diurnas

As marés desse tipo apresentam período igual ao do dia lunar, ou seja, 24h50min. E assim, apresentam apenas uma maré alta e uma maré baixa por dia (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201). Elas são consequência, principalmente, das declinações solar e lunar, e estão relacionados às desigualdades diurnas provocadas por esses movimentos (PUGH, 1987, p. 81). O Golfo do México é um exemplo de local onde esse tipo de maré ocorre (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 73).

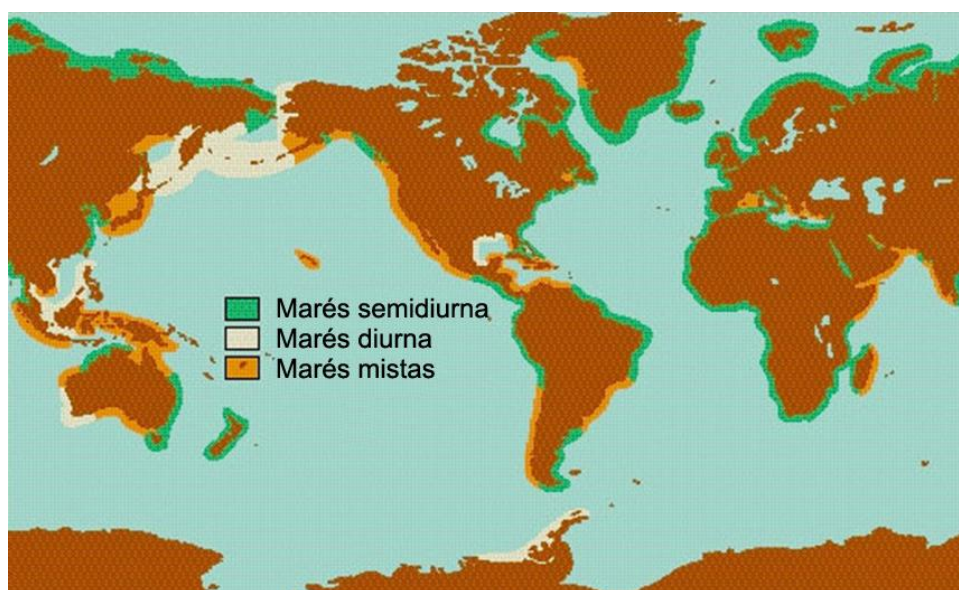
2.6.3.2 Marés Semidiurnas

São marés que apresentam período de 12h25min e cujas marés altas e marés baixas do mesmo dia apresentam alturas aproximadamente iguais. As constituintes M_2 e S_2 são as mais importantes na formação desse tipo de maré porque controlam o ciclo das marés de sizígia e quadratura (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 72). Marés desse tipo podem ser encontradas em boa parte das costas banhadas pelo Oceano Atlântico (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201).

2.6.3.3 Marés Mistas

As marés mistas normalmente apresentam períodos de 12h25min como as marés semidiurnas. Mas, ao contrário delas, que apresentam as marés altas e as marés baixas do dia com alturas semelhantes, as marés deste tipo apresentam as duas marés altas e/ou as duas marés baixas diferentes uma da outra (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201). Em alguns lugares, entretanto, durante as marés de quadratura a maré no local se torna diurna, como mostra a maré mista de dominância diurna na Figura 27 (POND e PICKARD, 1983, p. 266). São comuns em boa parte das áreas banhadas pelo Oceano Pacífico conforme ilustra a Figura 28 (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201).

Figura 28 – Mapa dos tipos de maré



Localização dos tipos de maré ao redor do mundo. Fonte: Adaptado de (TEXAS A&M UNIVERSITY, 2012)

3 PREVISÕES DE MARÉ

Antes mesmo de Lord Kelvin desenvolver o método da análise harmônica para previsão de marés, em alguns lugares ao redor do mundo, de forma empírica, já se tentava construir tabelas que conseguissem prever as marés.

A primeira tábua para se prever maré de que se tem notícia é originária da China e data de 1056. Seu objetivo principal era prever as “pororocas” (*tidal bores*) de até 9 m do rio Tsien Tang, localizado no leste do país (WOOLF e MADDOCKS, 2005, p. 741).

Na Europa, a primeira tábua de que se tem notícia foi a da Ponte de Londres, desenvolvida por John Wallingford, abade de St, Albans, Inglaterra, no século XIII (Figura 29). Sua construção baseava-se em observações que mostravam a maré cheia na ponte ocorrendo sempre 48 minutos mais tarde do que no dia anterior. Na Figura 29, que mostra uma reprodução da tábua, a coluna da esquerda representa a hora em que ocorreria a maré cheia, começando um dia antes da Lua Cheia e se estendendo até a Lua Nova; e a coluna da direita representava o número de horas visíveis da Lua no período da noite (HUGHES, 2006, p. 447). Apesar de acontecerem duas marés cheias por dia as colunas só mostram um horário devido ao sistema inglês utilizar *A.M.* e *P.M.* (respectivamente abreviações de *Ante Meridium*, antes do meio-dia, e *Post Meridume*, após meio-dia) e a diferença entre preamares na época ser considerada de 12 horas, ficando desnecessária a repetição dos horários.

Figura 29 – Tábua de Maré de St. Albans

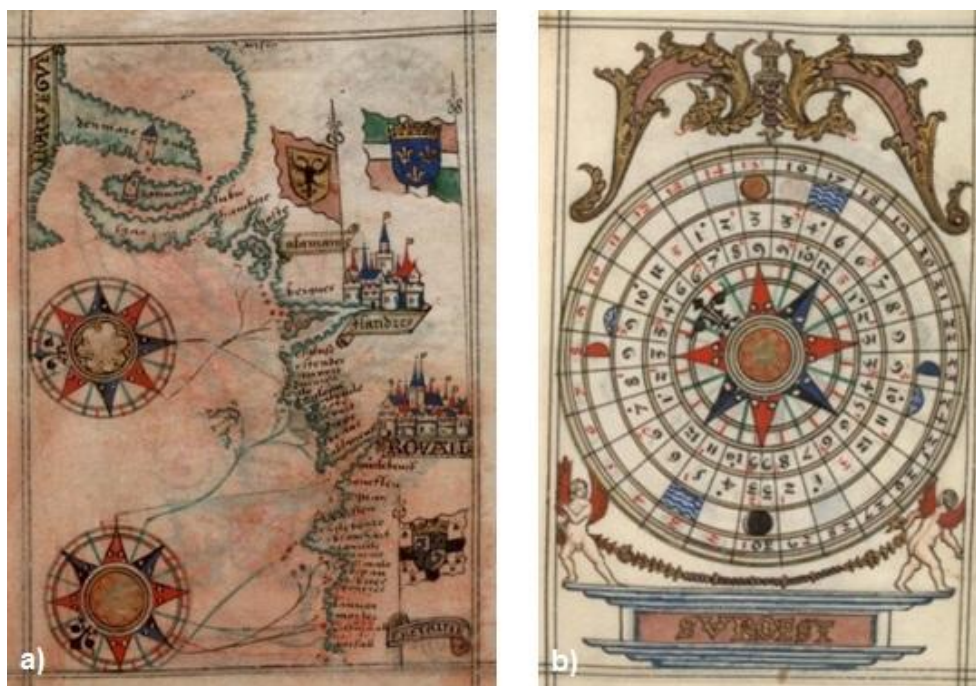
Junij	Horas de Maré Cheia (A.M.)	Horas de Maré Baixa (P.M.)
1	12	12
2	1	1
3	2	2
4	3	3
5	4	4
6	5	5
7	6	6
8	7	7
9	8	8
10	9	9
11	10	10
12	11	11
13	12	12
14	1	1
15	2	2
16	3	3
17	4	4
18	5	5
19	6	6
20	7	7
21	8	8
22	9	9
23	10	10
24	11	11
25	12	12
26	1	1
27	2	2
28	3	3
29	4	4
30	5	5

Reprodução da tábua de maré para a Ponte de Londres, criada por John Wallingford, abade de St, Albans, Inglaterra, no século XIII. Fonte: (HUGHES, 2006).

Durante o espaço de tempo entre estas primeiras tábuas e o desenvolvimento da análise harmônica, surgiram pela Europa atlas e almanaques que continham métodos para previsão da hora da maré cheia nos principais portos europeus. Podemos citar como exemplos: o Atlas Catalão de 1375; o Atlas de Haia confeccionado em algum momento entre 1541 e 1547; o Almanaque Brouscon de 1543 e o Atlas de Waghenauer de 1583 (HOWSE, 1985, p. 366-382).

O almanaque de maré de Brouscon, diferentemente de outros meios de previsão de maré da época, não era um item de luxo, e sim um almanaque produzido para ser utilizado pelos homens nas embarcações. Por conter previsões para portos da Inglaterra e França e visar um público normalmente iletrado, o almanaque utilizava-se bastante de símbolos e cores pra facilitar sua compreensão (HOWSE, 1985, p. 372). A Figura 30 reproduz duas páginas do almanaque. A Figura 30a apresenta a carta para a costa da França, Flanders e Alemanha, onde o marinheiro deveria localizar o porto que desejasse e verificar na bússola, com a flor-de-lis indicando o norte, qual diagrama circular utilizar. Já a Figura 30b mostra o diagrama circular de maré que apresentava de fora pra dentro os dias passados desde a última Lua Nova, as fases da Lua e as ocorrências de marés de sizígia e quadratura, o horário das marés cheias e por fim a hora das marés baixas (PARKER, 2010).

Figura 30 – Almanaque de Brouscon



Detalhe a) da carta e b) de um dos diagramas circulares do almanaque de Brouscon, 1543, para a costa da França, Flanders e Alemanha. Fonte: adaptado de (PARKER, 2010).

Outro aparato curioso que surgiu nesse ínterim foi um relógio que indicava a hora em que ocorreriam as marés cheias do dia (Figura 31). Instalado em 1681 numa das torres da

igreja de Saint Margaret, Inglaterra, ele auxiliava os marujos que trabalhavam no porto (WOOLF e MADDOCKS, 2005, p. 742).

Figura 31 – Relógio de maré de King's Lynn



Reprodução feita no século XX do relógio de maré de 1681 instalado na torre da igreja de Saint Margaret, King's Lynn, Inglaterra. As letras formam a frase LYNN HIGH TIDE (Maré cheia em Lynn, numa tradução livre) e indicam a hora em que a maré cheia do dia ocorre. Fonte: (BARFIELD, 2011).

Uma característica que está presente em todos esses diferentes meios de previsão é a base puramente empírica com propósito unicamente de auxiliar a navegação (DRONKERS, 1964, p. 88). Outra característica é a previsão apenas do horário de ocorrência das marés e não da sua altura. Isso viria a mudar depois do desenvolvimento de teorias para a maré com bases matemáticas.

3.1.1 Método da Análise Harmônica

Uma consequência importante da Teoria de Equilíbrio das Marés, que foi fundamental para o desenvolvimento do Método da Análise Harmônica, foi a ideia de potencial de maré. Por esse conceito, baseado nas posições entre o centro da Lua ou do Sol, o centro da Terra e um determinado local na superfície do planeta, seria possível calcular o potencial de geração de maré naquele ponto. Esse potencial seria a diferença entre a força de atração exercida pelo astro e a força centrífuga sentida na Terra pelo movimento conjunto em relação ao centro de massa do sistema (DRONKERS, 1964, p. 33-37).

O método desenvolvido por Thomson para prever as marés baseou-se também no princípio descoberto por Eudoxas, em 356 a.C. ao explicar o aparente movimento irregular dos planetas, que diz que todo movimento ou oscilação periódico sempre pode ser explicado

pela soma de uma série de harmônicas simples (NOAA - NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2012). Aproveitando-se do desenvolvimento do potencial de marés e do trabalho iniciado por Laplace, ele desenvolveu o método das harmônicas (DRONKERS, 1964, p. 88). Dessa forma, de acordo com Brown, Colling, *et al.* (1999, p. 70), esse método é uma aplicação prática da Teoria Dinâmica da Maré e ainda é o melhor método para previsão das alturas da maré.

O potencial de maré depende da posição relativa entre a Terra, a Lua e o Sol, e os seus bem conhecidos movimentos - a rotação diária da Terra em torno do Sol (24 horas – o dia solar); a rotação da Terra em relação à Lua (24 horas e 50 minutos – o dia lunar); a translação da Lua ao redor da Terra (29,5 dias – o mês lunar); a translação da Terra ao redor do Sol (365,25 dias – o ano solar); e diversos outros com períodos que variam de algumas horas a vários meses. Dessa forma, foi possível a Thomson e outros pesquisadores que o seguiram, associar variações na maré a mudanças na posição relativa dos astros que apresentavam a mesma frequência (EHRET, 2008, p. 42).

A análise das marés permitiu representar as mudanças observadas em forma de senos, cada um com o período do movimento da Terra, da Lua, ou do Sol ao qual ele estava relacionado, e com a amplitude igual à contribuição do movimento em particular para aquele local. Cada curva dessas recebeu o nome de constituintes harmônicas e a maré, em um determinado local, poderia ser prevista pelo somatório das constituintes que lá ocorressem (EHRET, 2008, p. 42).

Este método permitiu a Thomson descrever matematicamente a maré em qualquer ponto da superfície terrestre. A partir disso, ele desenvolveu um equipamento que poderia automaticamente prever a maré, caso as constituintes do local fossem conhecidas. (DRONKERS, 1964, p. 88).

Esse primeiro aparato (Figura 32) utilizava a característica das curvas senos de apresentar período e amplitude bem definidos para representa-las através de cames e polias. Cada came era montada de forma que tivesse o mesmo período que uma harmônica, enquanto que um pino era responsável por representar a amplitude. Tudo isso era ligado por correia a uma caneta que ficava responsável por desenhar a curva da maré à medida que as engrenagens giravam. O equipamento foi produzido em Londres entre 1872-73 e permitia a inclusão de até 10 constituintes (EHRET, 2008, p. 42).

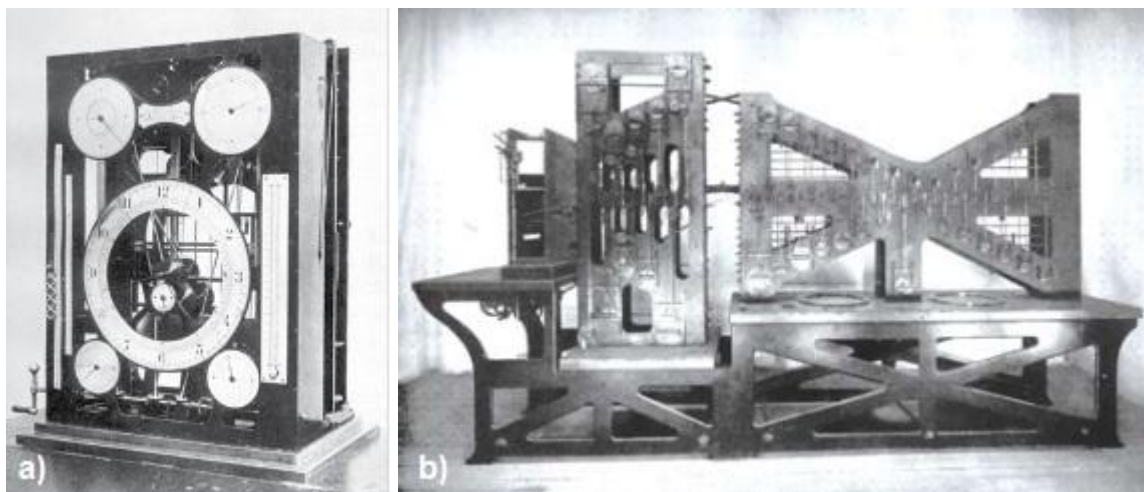
Figura 32 – Primeira máquina para previsão de maré



Máquina de previsão de maré de 10 constituintes idealizada por Thomson e desenvolvida em conjunto com colaboradores em 1872-73, atualmente no Science Museum, South Kensington, Londres. Fonte: (TARANTOLA, 2011).

Nos anos que se seguiram, várias outras máquinas com o mesmo intuito, mas permitindo a previsão através de mais constituintes, foram sendo construídas. Dentre elas, a U.S. Coast and Geodetic Survey Tide-Predicting Machine nº 1 e a U.S. Coast and Geodetic Survey Tide-Predicting Machine nº 2, com, respectivamente, 19 e 37 constituintes (Figura 33) (EHRET, 2008, p. 42-43).

Figura 33 – Máquinas de previsão de maré americanas

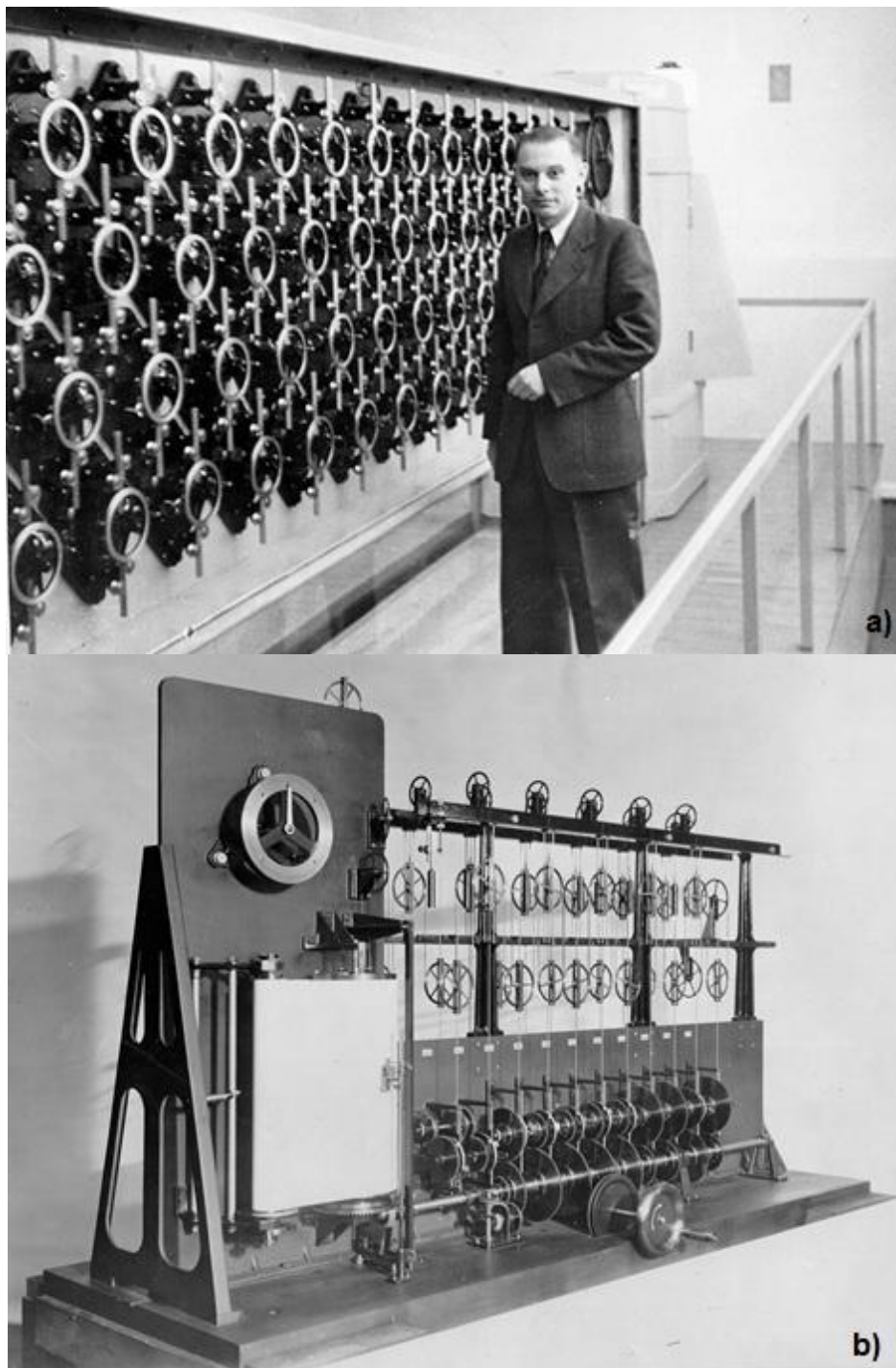


a) U.S. Coast and Geodetic Survey Tide-Predicting Machine nº 1 e b) U.S. Coast and Geodetic Survey Tide-Predicting Machine nº 2. Fonte: (EHRET, 2008).

Outros dois equipamentos desse tipo que merecem destaque são: a máquina com maior número de constituintes permitidos construída, utilizada no Deustches Hydrografisches Institute em Harbugo com seus incríveis 61 constituintes (Figura 34a), e a utilizada aqui no

Brasil, no Observatório Nacional, localizado no Rio de Janeiro (Figura 34b) (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2012 e DRONKERS, 1964, p. 89).

Figura 34 – Outras máquinas de previsão de maré



a) Máquina de previsão de maré de 61 componentes, Alemanha, por volta de 1950, e b) Máquina de previsão de maré utilizada a partir de 1912 no Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: (NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2012).

Do trabalho de vários autores que vieram depois de Thomson, como Darwin (1892 e 1898), Doodson (1928), Franco (1988) e outros, surgiram vários métodos de análise harmônica da maré. Cada método apresenta características próprias, sendo uma bastante importante o intervalo de tempo de dados utilizados para a análise. Métodos como o *Admiralty Method of Analysis of Tides*, por exemplo, são capazes de fazer previsões com 15 ou 30 dias de dados. Para outros, entretanto, há a necessidade de séries anuais (DRONKERS, 1964, p. 89-90).

Os métodos clássicos de análise de maré usam o bem conhecido potencial de maré astronômica, combinado com as observações de um dado local, a fim de decompor o sinal do nível do mar em tanto quanto possíveis frequências de maré já conhecidas. O método dos mínimos quadrados, por exemplo, faz isso solucionando as correspondentes n equações para encontrar n constituintes da maré. Já o método das harmônicas trabalha com um sistema onde há mais equações que constituintes, sendo a solução no domínio do tempo, normalmente, os picos espectrais obtidos via Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*) ou outros algoritmos (*Watts, Direct Fourier Transform*, etc) (MARONE, 1991 *apud* MARONE e MOSETTI, 2011).

3.1.2 Modelos Globais de Maré

Uma forma alternativa de se prever a maré é a utilização de modelos globais de maré (D'ONOFRIO, OREIRO e FIORE, 2011, p. 1). Estes modelos podem ser alimentados com medições atualizadas de batimetria e incluir efeitos meteorológicos transientes como vento e pressão atmosférica. Além disso, as densidades temporal e espacial das previsões podem ser ajustadas facilmente às aplicações e necessidades (BLAIN, PRELLER e RIVERA, 2002, p. 77).

No final da década de 60, com os trabalhos de Bogdanov e Magarik (1969) e Pekeris e Accad (1969) começaram os esforços na área de modelagem numérica da maré oceânica global. Estes primeiros trabalhos eram baseados nas equações de maré de Laplace acrescidos da dissipação de energia pelo atrito com o fundo marinho (LE PROVOST e LYARD, 2003, p. 1).

Nos início dos anos 80 o desenvolvimento dos computadores permitiu, pela primeira vez, a geração de modelos globais realísticos das marés (LE PROVOST e LYARD, 2003, p. 2). A geração desses modelos nos anos que se seguiram se dividiram em 3 abordagens

diferentes: a chamada abordagem por modelagem, baseada em modelos hidrodinâmicos; a abordagem empírica, baseada em séries longas de dados da altura do nível oceânico; e a abordagem por assimilação, baseada na resolução de equações hidrodinâmicas assimilando dados obtidos através de altimetria por satélite e marégrafos (LYARD, LEFEVRE, *et al.*, 2006, p. 394).

Os modelos globais, apesar de apresentarem boa acurácia em águas profundas, chegando a valores entre $\pm 0,2$ e $\pm 0,3$ m de acordo com Shum, Woodworth, *et al.* (1997) e Shum, Yu e Charles (2001), em águas rasas eles continuam insatisfatórios, devido ao número limitado de constituintes harmônicas que os alimentam (MARONE, RAICICH e MOSETTI, 2010).

3.1.2.1 Modelos Hidrodinâmicos

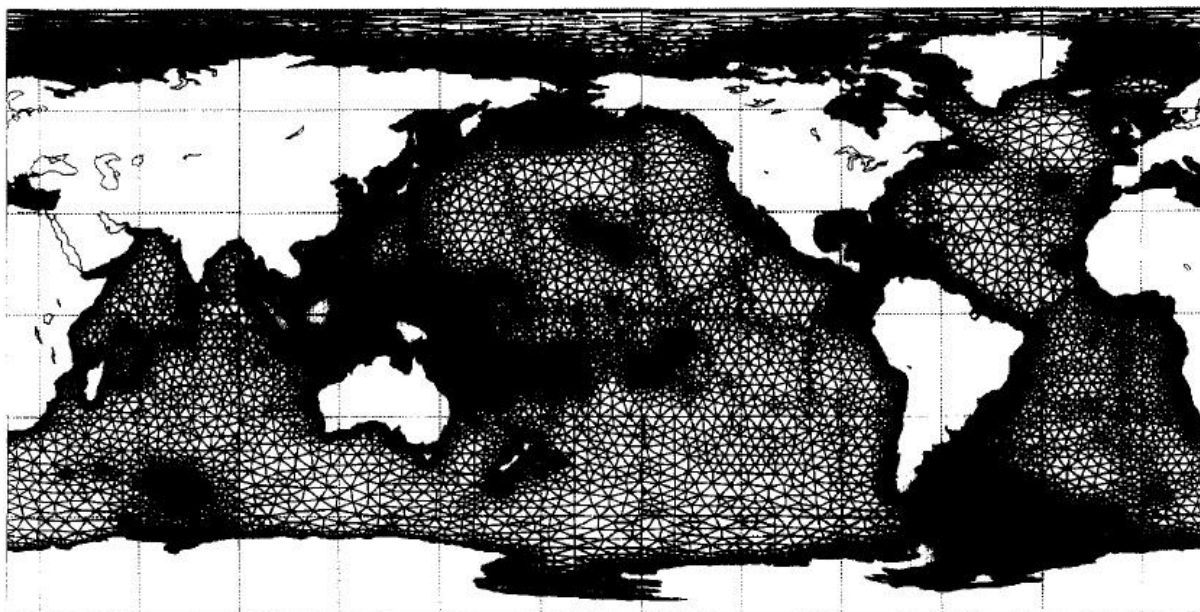
Os modelos hidrodinâmicos são construídos a partir da solução das equações de maré de Laplace, tendo a batimetria como condição de contorno. Nesse tipo de modelo a dissipação causada pelo atrito com o fundo oceânico é crítica (WANG, 2004, p. 19).

As principais abordagens para simulação de marés incluem o método de diferenças finitas, o método dos elementos finitos e o método dos volumes finitos. Estes métodos são baseados na resolução de sistemas de equações por diferentes técnicas computacionais. Entretanto, o método dos elementos finitos é o modelo numérico mais popular por se adaptar facilmente a problemas de grande complexidade e geometria não usual (WANG, 2008, p. 13).

Como exemplo de modelo hidrodinâmicos pode-se citar: o modelo desenvolvido por Schwiderski (1980 e 1983), baseado na solução das equações hidrodinâmicas de marés restritas (LYARD, LEFEVRE, *et al.*, 2006, p. 394). Ele foi o primeiro modelo construído utilizando-se recursos computacionais, e as suas soluções foram consideradas as melhores durante quase uma década. Porém, a qualidade dessas soluções dependia dos dados de observações utilizados, apresentando assim, deficiência nas áreas onde não havia dados disponíveis (LE PROVOST e LYARD, 2003, p. 2).

Outro modelo é o FES94.1 (LE PROVOST, GENCO, *et al.*, 1994). Este método, baseado em soluções através de elementos finitos (FES), é um modelo puramente hidrodinâmico, ou seja, não utiliza nenhum tipo de dado medido. A utilização de elementos finitos permitiu o uso de malhas muito mais refinadas (Figura 35), gerando resultados muito próximos do real em algumas áreas (LE PROVOST e LYARD, 2003, p. 2).

Figura 35 – Malha do modelo FES94.1



Malha de elementos finitos utilizada para calcular as soluções do modelo FES94.1. Fonte: (LE PROVOST e LYARD, 1997, p. 39).

Modelos hidrodinâmicos possuem a vantagem de apresentarem resultados com continuidade espacial, entretanto eles são sensíveis à batimetria que alimenta o modelo e nem sempre são suficientemente bem resolvidos para descrever a maré em águas muito rasas (TURNER, ILIFFE, *et al.*, 2010, p. 606).

3.1.2.2 Modelos Empíricos

Os Modelos Empíricos são construídos a partir dos sinais de maré extraídos dos dados coletados pelos satélites de altimetria e devem seu sucesso à grande precisão destes. O primeiro modelo desse tipo foi construído por Cartwright e Ray (1990 e 1991) e era baseado na análise de 2,5 anos de dados do satélite de altimetria Geosat. Desde o lançamento do satélite ERS-1 em 1991 e, principalmente, do TOPEX/POSEIDON (T/P) em 1992, mais de 20 modelos desse tipo foram desenvolvidos (WANG, 2004, p. 20).

Desses mais de 20 modelos existentes podemos citar: o DW95 (DESAI e WAHR, 1995 e DESAI, WAHR e CHAO, 1997) que utiliza dados da missão T/P e é o mais exclusivamente empírico de todos os modelos por não utilizar nenhuma informação da dinâmica das marés na correção dos dados (WANG, 2004, p. 20); e o GOT4.7 (RAY, 1999) que é baseado em seis anos de medição do T/P, apresenta solução para 10 constituintes e se

utiliza de modelos dinâmicos para fazer as correções (D'ONOFRIO, OREIRO e FIORE, 2011, p. 2).

Ao contrário dos modelos hidrodinâmicos, os modelos empíricos não exigem o conhecimento da batimetria, muito menos da geometria da costa. Também não necessitam da utilização das leis de dissipação, do conhecimento dos coeficientes de atrito com o fundo, e nem de como solucionar as equações hidrodinâmicas. Porém, esse tipo de modelo apresenta alguns pontos fracos devido a baixa cobertura espacial e temporal dos dados dos satélites de altimetria (WANG, 2004, p. 21).

3.1.2.3 Modelos por Assimilação

O modelo por assimilação tenta aproveitar as qualidades dos modelos hidrodinâmico e empírico. Assim, ele busca resolver as equações hidrodinâmicas assimilando dados medidos através de marégrafos ou de satélites (WANG, 2004, p. 22).

Como exemplos de modelos desse tipo têm-se: o TPXO7.2 (EGBERT, BENNETT e FOREMAN, 1994 e EGBERT e EROFEEVA, 2002) que assimila dados de altimetria de diversos satélites para melhorar a precisão dos resultados obtidos através de modelo hidrodinâmico (D'ONOFRIO, OREIRO e FIORE, 2011, p. 2); e o FES99 que assimila dados de aproximadamente 700 marégrafos, e 687 pontos provenientes do T/P para cruzar com o dados do modelo hidrodinâmico e melhorar a sua acurácia (WANG, 2004, p. 22).

4 DESENVOLVIMENTO DO SETMA

O SETMA é uma ferramenta computacional, desenvolvida em C++ com auxílio do *software* comercial C++ Builder®, que tem como função principal simular a maré astronômica. Nestas simulações não é levada em consideração a influência das condições atmosféricas (vento, pressão atmosférica, etc.).

Para realizar as simulações a ferramenta utiliza apenas dados dos extremos diários da maré, que podem ser obtidos, por exemplo, nas Tábuas das Marés da DHN, dispensando ao usuário a posse de longas séries de dados ou das constituintes harmônicas.

O *software*, além de realizar previsões para horários escolhidos arbitrariamente (Figura 36), é capaz de plotar a curva da maré, para um determinado mês escolhido (Figura 37). Além disso, ele pode prever a maré de duas formas: utilizando-se os locais cadastrados no programa como ponto para a previsão, desde que a ferramenta tenha sido alimentada com a base de dados dos respectivos locais; e através das coordenadas geográficas de um local não cadastrado, sendo que esta segunda opção só funciona se o ponto escolhido estiver entre dois locais cadastrados e que estejam alimentados com dados o programa. Os locais cadastrados na ferramenta recebem o nome de locais de base por serem responsáveis pela base de dados utilizada.

Informações mais detalhadas sobre utilização e componentes do SETMA podem ser obtidas no (Anexo A).

Figura 36 – Tela Principal do SETMA

Fonte: O autor.

Figura 37 – Tela Maregrama do SETMA

The screenshot displays the 'Maregrama' application window. The main area is a large plot titled 'Opções' with a vertical axis labeled 'Altura de Maré (m)' and a horizontal axis labeled '00:00 Dia'. The plot area is currently empty, with dashed lines indicating the axes. Below the plot, there are several control panels:

- Local:** Includes a 'Cidade:' dropdown menu, and 'Latitude:' and 'Longitude:' fields, each with degree, minute, and second input boxes.
- Data:** Includes 'Mês:' and 'Ano:' dropdown menus.
- Portos Secundários:** Includes 'Porto Superior:' and 'Porto Inferior:' dropdown menus, and 'Distância:' and 'Distância Vertical:' input fields.
- Opções:** Includes checkboxes for 'Coordenadas', 'Gerar Tábua', 'Salvar Maregrama Automaticamente', and 'Selecionar Portos Sec. Manualmente'.
- Progresso:** Includes a progress bar from 0% to 100%, and labels for 'Tempo Total Estimado (hh:mm:ss)', 'Tempo Transcorrido (hh:mm:ss)', and 'Tempo Restante (hh:mm:ss)'.

At the bottom right, there are four buttons: 'Gerar Maregrama', 'Limpar', 'Salvar Imagem', and 'Fechar'.

Fonte: O autor.

Uma restrição da ferramenta, pela maneira como ela lê os dados de entrada, é a obrigatoriedade dos locais de base apresentarem maré do tipo semidiurna.

A entrada dos dados no *software* é realizada via arquivos no formato *.txt que podem ser gerados diretamente nele, ou editados usando a formatação necessária para o programa lê-lo. Informações sobre utilização do SETMA podem ser encontradas no Manual (Anexo A).

4.1 Metodologia

Como mencionado, a ferramenta é capaz de realizar previsões tanto pelos de locais de base como pelas coordenadas. Dependendo do tipo selecionado, o método de cálculo varia. Na primeira forma apenas uma interpolação temporal entre os dados utilizados é realizada. Já na segunda forma, são calculadas, de forma conjunta, uma interpolação temporal e uma interpolação espacial.

4.1.1 Interpolação Temporal

Para a interpolação temporal nos locais de base, o SETMA utiliza um método testado com sucesso por Gopalakrishnan e Ra'ad (1986), que possibilita a previsão da elevação da maré em horários diferentes aos extremos presentes em uma Tábua das Marés. Este método assume a hipótese de que a curva da maré astronômica no local varia de modo aproximado a uma função cúbica, e baseia-se em interpolações hermitianas cúbicas que usam o valor da variável η (elevação da maré) e de seus gradientes locais $\eta' = \partial\eta/\partial t$ em valores fornecidos da variável independente t (tempo). Em sua representação é dada pela Equação 8:

$$\eta = N_1\eta_1 + N_2\eta'_1 + N_3\eta_2 + N_4\eta'_2 \quad (8)$$

onde N_1 , N_2 , N_3 e N_4 são as funções:

$$N_1 = 1 - 3\left(\frac{t}{T}\right)^2 + 2\left(\frac{t}{T}\right)^3 \quad (9)$$

$$N_2 = t + T \left[\left(\frac{t}{T} \right)^3 - 2 \left(\frac{t}{T} \right)^2 \right] \quad (10)$$

$$N_3 = 3 \left(\frac{t}{T} \right)^2 - 2 \left(\frac{t}{T} \right)^3 \quad (11)$$

$$N_4 = t + T \left[\left(\frac{t}{T} \right)^3 - 2 \left(\frac{t}{T} \right)^2 \right] \quad (12)$$

e η_1 e η_2 são os valores extremos de elevação em um período T da onda de maré, ou seja, as elevações da maré alta e baixa, e η_1' e η_2' são os gradientes de η . Como η_1 e η_2 são pontos de inflexão, os gradientes η_1' e η_2' são iguais a zero, e a Equação 8 torna-se:

$$\eta = N_1\eta_1 + N_3\eta_2 \quad (13)$$

A partir da Equação 13, para um mesmo instante, o programa pode calcular a elevação da maré no local escolhido.

4.1.2 Interpolação Espacial

A interpolação espacial utilizada para a previsão da elevação da maré no local de interesse baseia-se numa ponderação inversa com as distâncias entre a base (os dois locais extremos ao ponto escolhido para simulação) e o local escolhido (Equação 14) (MAZZINI e SCHETTINI, 2009 e BARROSO JUNIOR, 2009). Este método permite que a influência dos dois locais tomados como base decline com o seu afastamento em relação ao ponto de estudo.

$$\eta_L = \frac{\eta_{P1}x_{P2} + \eta_{P2}x_{P1}}{x_{P1} + x_{P2}} \quad (14)$$

onde η_L é a elevação da maré no local desejado; η_{L1} é a elevação da maré no local 1 da base; η_{L2} é a elevação da maré no local 2 da base; x_{L1} é a distância do local 1 da base ao local desejado; e x_{P2} é a distância do local 2 da base ao local desejado.

Este processo de interpolação, naturalmente, apresenta maiores chances de fornecer bons resultados em casos onde não ocorrem importantes variações na morfologia costeira e

plataforma marinha na região da base escolhida, por conta da potencial influência desses fatores na propagação do sinal da maré astronômica.

4.1.2.1 Cálculo da Distância entre Locais da Base e local Desejado

A distância entre a base e o local desejado, no *software* SETMA, é obtida baseada nas coordenadas geográficas deles. Para este cálculo, considera-se a Terra como uma esfera aproximadamente perfeita e se usa um método para estimativa da distância decorrente da trigonometria esférica (Equação 15) (URRUTIA, 2006).

$$x_p = \cos^{-1}(\cos A \cdot \cos B + \sin A \cdot \sin B \cdot \cos C) R_M \quad (15)$$

onde A, B e C são os termos:

$$A = \frac{90 - Lat_1}{180\pi} \quad (16)$$

$$B = \frac{90 - Lat_2}{180\pi} \quad (17)$$

$$C = \frac{Lon_1 - Lon_2}{180\pi} \quad (18)$$

e Lat_1 e Lat_2 , representam as latitudes dos pontos em que está se calculando a distância. Assim como, Lon_1 e Lon_2 representam suas longitudes. O termo R_M é uma constante que indica o raio médio da Terra, sendo o valor utilizado no programa de 6371,004 m.

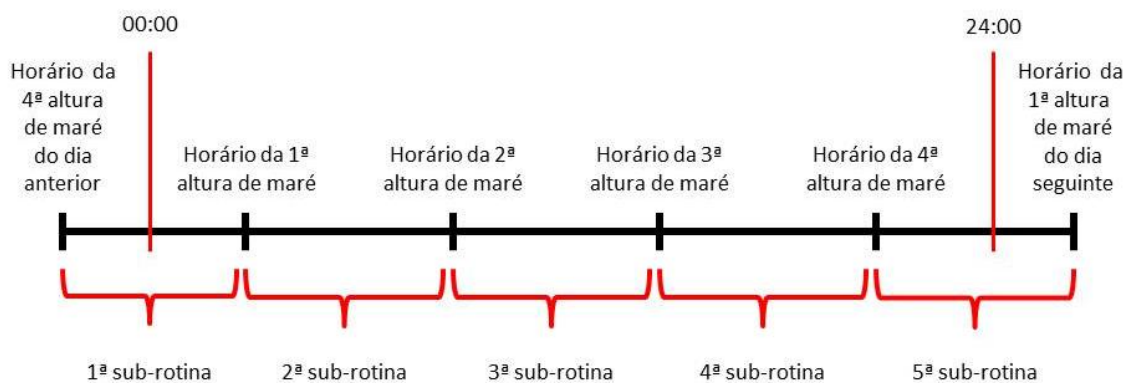
4.2 Funções

A ferramenta apresenta duas funções principais que são responsáveis pela previsão de maré. Para programar e construir a parte gráfica da ferramenta foi utilizado o *software* comercial C++ *Builder*® 2010.

4.2.1 Função Interpolação Temporal

A função que realiza a interpolação temporal tem o nome de *altMare*, e é dividida em 5 sub-rotinas, independentes entre si, que são utilizadas de acordo com o horário da previsão em relação aos da base, como mostra a Figura 38.

Figura 38 – Interpolação temporal



Esquema representando qual sub-rotina será utilizada dependendo em que intervalo cair o horário da previsão desejado. Fonte: O autor.

Essa função tem como entrada, respectivamente: o horário da previsão, o horário do último extremo de maré no dia anterior ao da previsão, o horário do primeiro extremo de maré no dia seguinte ao da previsão, a altura do último extremo de maré do dia anterior, a altura do primeiro extremo de maré do dia seguinte, os horários dos 4 extremos de maré no dia da previsão e as alturas nesses 4 extremos de maré. E ela retorna a altura da maré prevista para o horário escolhido.

O código fonte dessa função pode ser visto no Apêndice C.

4.2.2 Função Interpolação Espacial

A função que realiza a interpolação espacial recebe o nome de *alturaIE* e tem como entrada a altura de maré dos locais da base no instante em que se deseja fazer a previsão, e as distâncias entre esses locais e o ponto para onde a previsão está sendo feita.

O código fonte desta função pode ser visto no Apêndice C.

4.3 Previsões

O SETMA realiza dois tipos de previsão: por localidade e por coordenada.

4.3.1 Previsão por Localidade

Nesse tipo de simulação, o *software*, a partir da data e do horário desejado, utiliza os dados dos extremos de maré para realizar uma interpolação temporal, gerando, através da função *altMare*, a previsão para o local e horário escolhido.

4.3.2 Previsão por Coordenadas

Na previsão por coordenadas o primeiro passo realizado pela ferramenta é determinar os locais que serão utilizados na interpolação espacial. O SETMA, baseado nas coordenadas introduzidas pelo usuário, determina automaticamente os locais imediatamente acima e abaixo que estão cadastrados na base de dados.

Determinada a base, ele realiza uma interpolação temporal utilizando a função *altMare* em ambos os locais selecionados para encontrar a altura de maré em cada um deles. Em seguida, com as alturas determinadas, ele calcula a distância entre esses locais e o local da previsão, para em seguida realizar a interpolação espacial pela função *alturaIE*.

5 MATERIAS E METODOLOGIA PARA VALIDAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada para a validação do software SETMA. Buscou-se utilizar materiais de fácil acesso, sendo todos disponíveis gratuitamente via *Internet*. Esse fato, entretanto, não impede que sejam utilizados materiais de outras fontes, desde que apresentem a mesma funcionalidade.

5.1 Materiais

Para a realização dos testes de validação do SETMA, foram utilizados os seguintes materiais: o *software* SisBaHiA[®], as Tábuas das Marés fornecidas pela DHN e as constituintes de maré fornecidas pela FEMAR.

5.1.1 SisBaHiA[®]

O SisBaHiA[®] (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), é um sistema profissional de modelos computacionais registrado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa do COPPE/UFRJ - Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2007).

A versão utilizada apresenta vários módulos, como por exemplo, Modelo Hidrodinâmico, Modelo de Transporte Euleriano, Modelo de Propagação de Ondas e Módulo de Análise & Previsão de Marés, sendo este último, mais especificamente a parte de previsão de maré, o módulo utilizado na presente metodologia.

Através do módulo de Previsão, fornecendo-se as constituintes harmônicas de níveis ou de correntes, fazem-se previsões de valores em séries temporais a intervalos definidos pelo usuário. Os algoritmos de Análise e Previsão adotados são os mesmos empregados pelo *The Global Sea Level Observing System* (GLOSS), que é um projeto internacional patrocinado pela *Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology* (JCOMM), *World Meteorological Organization* (WMO) e pela *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2007).

5.1.2 Tábuas das Marés

No Brasil os dados de elevação da maré são divulgados pela Marinha do Brasil através da DHN. Esses dados são disponibilizados através de tábuas onde são apresentados os valores de máximos e de mínimos da altura de maré (Figura 39). Atualmente, a DHN divulga as previsões para 43 portos nacionais, 2 ilhas oceânicas, 2 ilhas costeiras, 4 barras, 1 fundeadouro, 1 atracadouro da costa do Brasil e 1 fundeadouro na Estação Antártica Comandante Ferraz, totalizando 54 locais (Tabela 1) (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2012).

Figura 39 – Exemplo de Tábua da Maré

PORTO DO RECIFE (ESTADO DE PERNAMBUCO)			
Latitude: 08°03,4'S Instituição: DHN	Longitude: 034°52,1'W 15 Componentes	Fuso: +03.0 Nível Médio: 128.22	Ano: 2012 Carta: 00902
Lua	Dia	Hora	Alt.(m)
	QUI 01/03/2012	03:09	1.0
		09:39	1.7
		16:08	0.9
		22:26	1.6
	SEX 02/03/2012	04:51	1.0
		11:00	1.7
		17:45	0.9
		23:53	1.7
	SÁB 03/03/2012	06:15	0.9
		12:13	1.8
		18:53	0.7
	DOM 04/03/2012	00:54	1.8
		07:09	0.7
		13:09	2.0
		19:39	0.5
	SEG 05/03/2012	01:43	2.0
		07:56	0.6
		13:58	2.2
		20:21	0.3
	TER 06/03/2012	02:24	2.2
		08:36	0.4
		14:41	2.4
		21:00	0.2

Trecho da tábua da maré divulgada pela DHN do mês de março de 2012 para o Porto do Recife (PE).
Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

5.1.3 Constituintes Harmônicas

As constituintes harmônicas de um local são determinadas através de longas séries de dados, e são importantes para a previsão de maré, uma vez que a maioria dos *softwares* que fazem esse tipo de análise usa-as como dados de entrada. O tempo de registro de dados utilizados para determinação das constituintes harmônicas varia desde 15 dias até mais de 100 anos em alguns locais (DRONKERS, 1964 e THEBERGE, 2005). Obviamente, quanto mais longa a série, mais precisas e mais constituintes podem ser identificadas.

Para o estudo feito neste trabalho utilizou-se os valores das constituintes harmônicas fornecidas pela FEMAR. Ela disponibiliza as constituintes mais importantes para 281 localidades. Elas são fornecidas em documentos (Figura 40) que apresentam, além das constituintes propriamente ditas, o nível médio da maré, as coordenadas do local, as médias de preamar e baixa-mar, o número de componentes e o período de registro dos dados utilizados para determinação dos componentes.

Figura 40 – Exemplo de ficha catalográfica da FEMAR

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		RECIFE (PORTO) – PE				
Localização :		No Porto				
Organ. Responsável :		IAGS / INPH / DHN				
Latitude :		08° 03,4' S	Longitude :		34° 51,9' W	
Período Analisado :		01/07/57 a 23/06/58		Nº de Componentes :		32
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute				
Classificação :		Maré Semidiurna.				
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 35 min		Nível Médio (Zo):		114 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		218 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		163 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		10 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		65 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS						
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	
Sa	5,3	050	MU ₂	2,7	093	
Ssa	2,0	165	N ₂	15,3	103	
Mm	1,0	046	NU ₂	3,0	102	
Mf	1,8	358	M ₂	76,2	111	
MTM	-	-	L ₂	1,5	133	
Msf	1,0	350	T ₂	1,4	120	
Q ₁	1,4	114	S ₂	27,5	126	
O ₁	5,0	140	K ₂	8,1	119	
M ₁	0,5	343	MO ₃	-	-	
P ₁	1,4	219	M ₃	0,8	110	
K ₁	4,3	226	MK ₃	-	-	
J ₁	-	-	MN ₄	-	-	
OO ₁	-	-	M ₄	0,9	117	
MNS ₂	0,6	075	SN ₄	-	-	
2N ₂	2,4	091	MS ₄	0,6	302	
Referências de Nível: RN-1 localizada sobre o patamar existente entre as colunas do lado esquerdo da porta principal do prédio da Administração do Porto do Recife, à rua Vital de Oliveira no. 32. RN-2 na base do farol do Pêlo.						
Obs: Outros períodos : 19/10/50 a 23/10/51; 30/11/55 a 31/12/55; 01/10/56 a 01/11/56; 02/07/57 a 22/06/58; 09/09/78 a 25/07/79; 04/02/79 a 08/03/79; 16/02/79 a 19/03/79; 21/05/93 a 22/06/93; 27/07/97 a 05/09/97.						
Existem registros no INPH de 1946 a 1985.						
Consta das Tábuas das Marés.						

Código BNDO: 30645

Ficha disponibilizada pela FEMAR contendo as constituintes de maré mais importantes. Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

5.2 Metodologia

Para a validação do programa são realizadas duas séries de testes: a primeira onde se compara os dados obtidos pelos softwares SETMA e SisBaHiA[®]; e a segunda onde compara-se os dados simulados pelo SETMA e SisBaHiA[®], e os dados da altura da maré registrados em medições em campo.

O objetivo dos testes é qualificar a simulação do SETMA e quantificar possíveis defasagens e diferenças na simulação com relação ao SisBaHiA[®], aos dados da tábua da maré fornecidos pela DHN e aos dados reais medidos.

Na primeira série de testes são escolhidos locais cuja maré é sabidamente do tipo semidiurna. Além disso, elas devem possuir previsões de maré fornecidas pela DHN e ter suas constituintes principais fornecidas pela FEMAR.

Na segunda série de testes os locais escolhidos são definidos levando-se em consideração: a existência de dados das constituintes da maré local pela FEMAR; a não existência de tábuas das marés divulgada pela DHN; estarem entre locais com os extremos de maré divulgados; terem maré do tipo semidiurna; e apresentarem condições logísticas apropriadas.

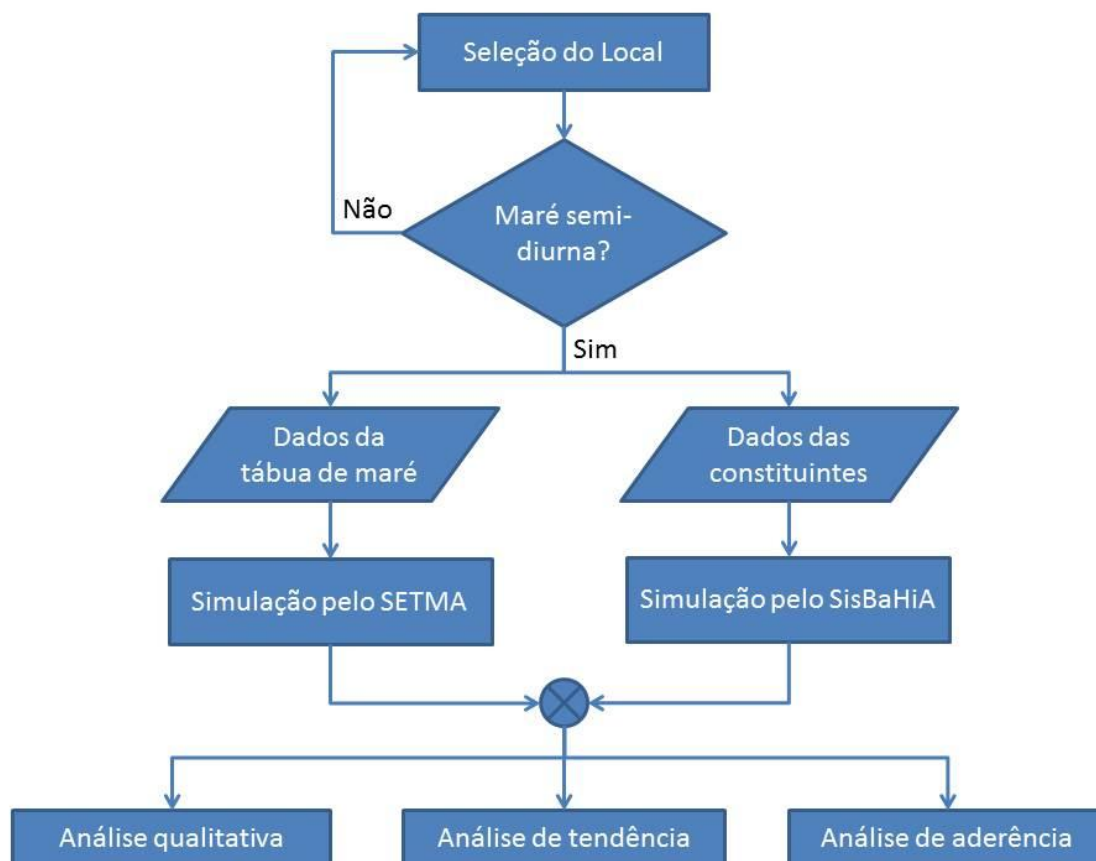
As séries de testes recebem, respectivamente, o nome de testes temporais e testes espaciais devido às características e funções utilizadas pelo SETMA nas respectivas simulações.

5.2.1 Testes Temporais

Para cada um dos locais selecionados realiza-se o mesmo procedimento. Primeiro verifica-se, através da Equação 7 se a maré no local é do tipo semidiurna. Em seguida, utilizando-se os dados da Tábua das Marés, procede-se a simulação através do SETMA. Com os dados das constituintes obtidas através do site da FEMAR simula-se a maré através do SisBaHiA[®]. Após isso, plotam-se os dois gráficos para uma verificação qualitativa do maregrama obtido pelo SETMA. Em seguida traça-se o gráfico *quantil x quantil* dos maregramas para se verificar a tendência das curvas, e por fim, verifica-se, através do cálculo da correlação entre ambas, a aderência das curvas em busca de defasagem, e em caso

positivo, quantifica-se essa diferença. O fluxograma da Figura 41 ilustra o procedimento adotado.

Figura 41 – Fluxograma dos testes temporais



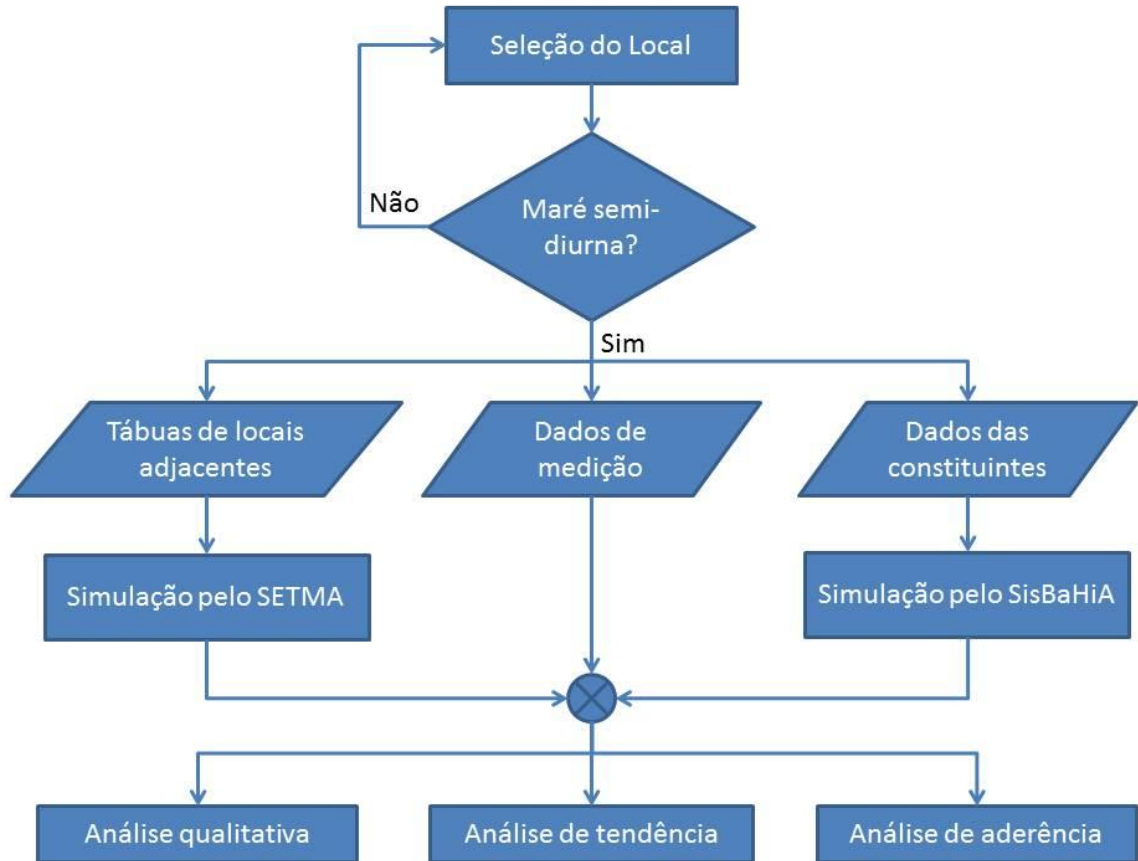
Fonte: O autor.

5.2.2 Testes Espaciais

O fluxograma dos testes espaciais é parecido com os testes temporais, com a diferença que são feitas medições da altura da maré *in loco* para posterior comparação com dados simulados pelo SETMA e pelo SisBaHiA[®]. Assim, primeiro escolhe-se o local e verifica-se o tipo de maré. Sendo do tipo semidiurna e havendo dados das constituintes disponíveis, e sendo possível a interpolação com locais adjacentes a ele pelo SETMA, realizam-se medições da altura da maré no local. Após isso, plotam-se as alturas medidas e os dois gráficos simulados para uma verificação qualitativa do maregrama obtido pelo SETMA. Em seguida traçam-se os gráficos *quantil x quantil* entre as simulações e os dados medidos para se verificar a tendência de crescimento das curvas, e por fim, verifica-se, através do cálculo das correlações entre os dados medidos e os dados simulados, a aderência

das curvas em busca de defasagem, e em caso positivo, quantifica-se essa diferença. O fluxograma da Figura 42 ilustra o procedimento adotado.

Figura 42 – Fluxograma dos testes espaciais



Fonte: O autor.

6 ESTUDOS DE CASO

Como mostrado na metodologia de validação, os testes realizados são divididos em dois tipos: temporal e espacial. Para cada um desses testes foram realizados alguns estudos de caso.

6.1 Seleção dos Locais de Estudo

Como primeira etapa da validação da ferramenta selecionou-se locais para passarem pelos testes temporal e espacial. A escolha levou em consideração a facilidade de acesso aos dados descritos na metodologia para os testes (Tábuas das Marés e Constituintes Harmônicas) e a proximidade com a cidade do Recife, PE.

Para o teste temporal os locais escolhidos foram:

- Porto de Luís Correia – PI;
- Porto do Pecém – CE;
- Porto de Natal – RN;
- Porto de Cabedelo - PB;
- Porto do Recife - PE;
- Porto de Suape - PE;
- Porto de Maceió – AL.

Já para o teste espacial escolheu-se:

- Paracuru – CE;
- Tibau do Sul – RN;
- Maria Farinha – PE;
- Tamandaré – PE.

A partir da seleção dos locais verificou-se o tipo de maré no local de acordo com a Equação 7. A Tabela 4 mostra os valores de F encontrados e o tipo de maré em cada um deles. Uma observação importante a se fazer é o fato de Maria Farinha não ter seus dados de constituintes disponíveis. Porém, pela sua proximidade em relação à Ilha de Itamaracá, que possui as constituintes disponíveis, os dados desta última serão utilizados.

Tabela 4 – Tipos de maré dos locais em estudo

Local	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	F	Tipo	Teste
Porto de Luís Correia	9,1	7,8	105,6	34,4	0,120	Semidiurna	Temporal
Paracuru	7,2	5,8	98,5	30,1	0,101	Semidiurna	Espacial
Porto do Pecém	6,1	7,2	90,4	30,9	0,110	Semidiurna	Temporal
Tibau do Sul	4,2	5,5	72,8	22,8	0,101	Semidiurna	Espacial
Porto de Natal	4,3	4,3	80,8	27,8	0,080	Semidiurna	Temporal
Porto de Cabedelo	4,8	5,1	80,5	28,3	0,091	Semidiurna	Temporal
Maria Farinha	3,6	5,4	82,2	31,1	0,079	Semidiurna	Espacial
Porto do Recife	4,3	5,0	76,5	24,5	0,090	Semidiurna	Temporal
Porto de Suape	4,0	5,2	73,8	28,1	0,090	Semidiurna	Temporal
Tamandaré	5,1	6,0	74,8	27,6	0,108	Semidiurna	Espacial
Porto de Maceió	3,1	5,7	71,6	26,7	0,090	Semidiurna	Temporal

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

De acordo com a Tabela 4 todos os locais apresentam maré do tipo semidiurna atendendo assim a condição de ser do tipo semidiurna.

6.2 Estudos de Caso Temporal

Como mencionado, esse tipo de teste foi feito para 7 locais: Porto de Luís Correia; Porto do Pecém; Porto de Natal; Porto de Cabedelo; Porto do Recife; Porto de Suape; e Porto de Maceió.

Para cada um deles, a partir dos dados fornecidos pela DHN para o local (Apêndice A), simulou-se a maré do mês de março de 2012 utilizando-se o SETMA. Em seguida, com os dados das constituintes harmônicas fornecidos pela FEMAR (Apêndice B), simulou-se a maré local para o mesmo período. Feito isso, com o maregrama mensal local simulado pelos dois *softwares*, realizou-se a análise qualitativa.

A Figura 43 apresenta os gráficos da análise qualitativa para os 7 locais. Todas as simulações foram feitas para o mês de março de 2012.

Na análise qualitativa verificou-se, visualmente, se as curvas apresentavam alguma diferença, seja ela vertical (diferença na amplitude), ou horizontal (defasagem). A Tabela 5 mostra os resultados obtidos da análise. Portanto, verificou-se que para todos os locais analisados não ocorreu defasagem. Entretanto, nos Portos de Recife, Cabedelo e Maceió os valores de altura da maré simulados pelo SETMA foram sistematicamente maiores que os encontrados pelo SisBaHiA[®].

Figura 43 – Análise qualitativa das simulações temporais (Continua)

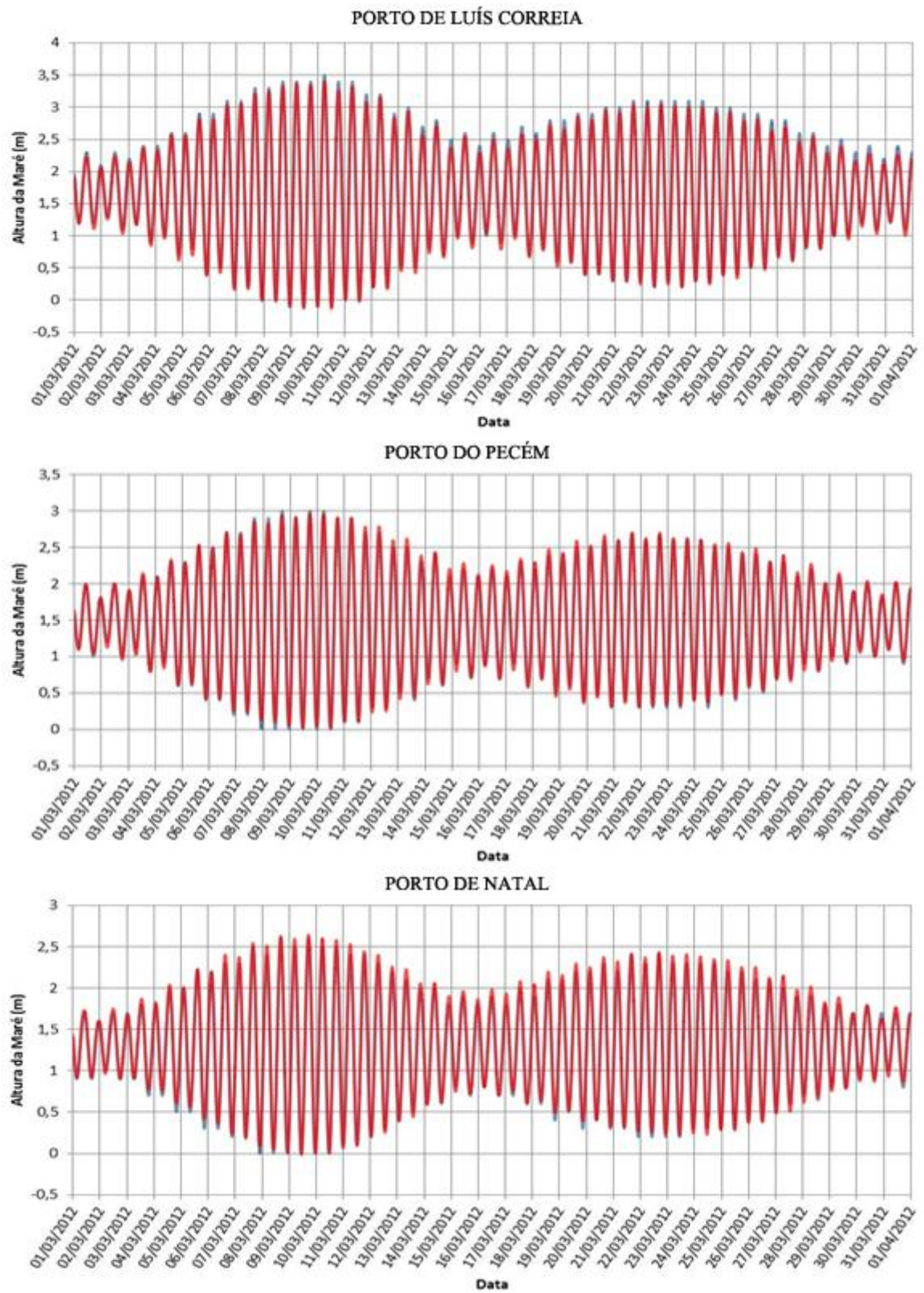


Figura 43 – Análise qualitativa das simulações temporais (Continuação)

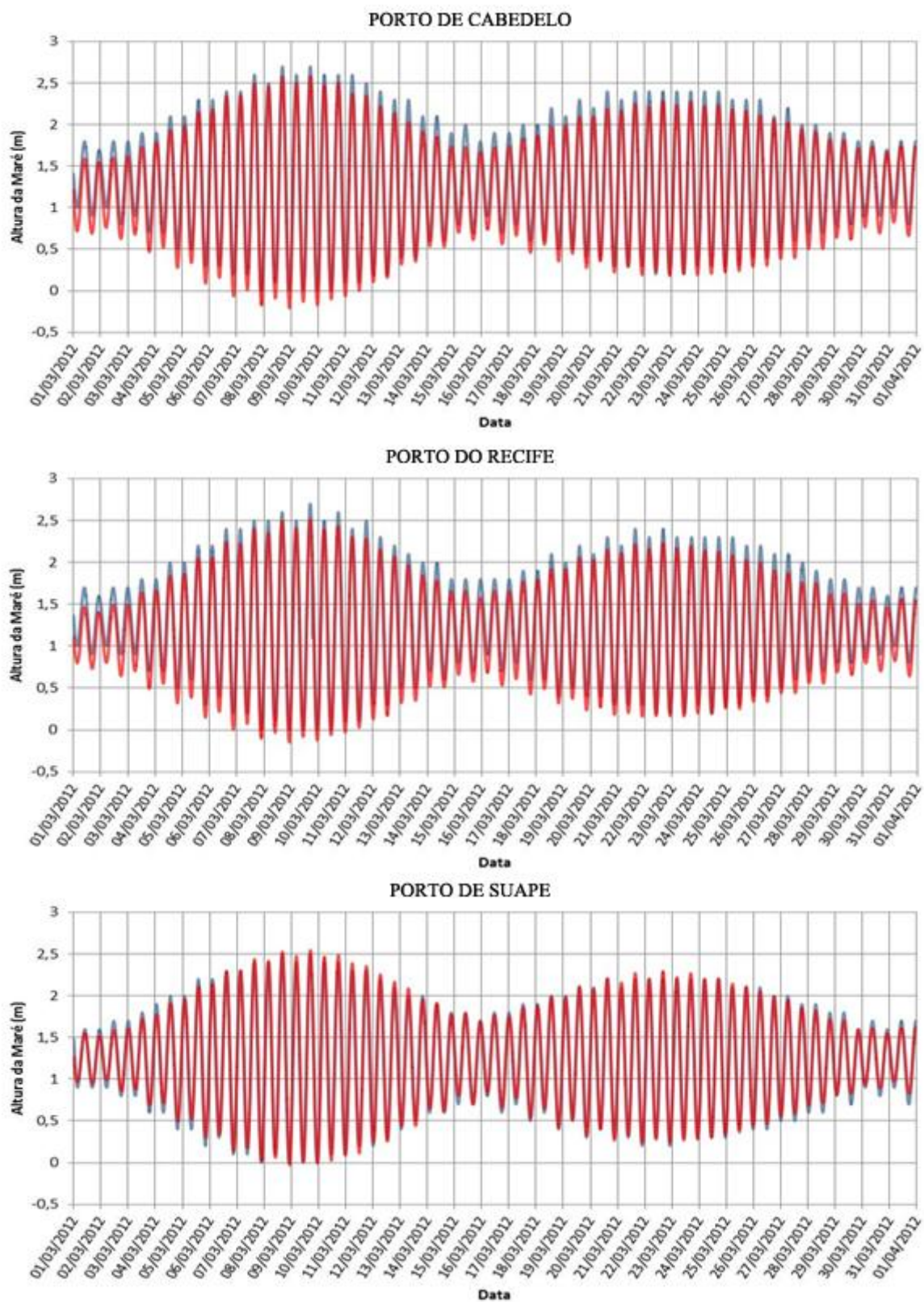


Figura 43 – Análise qualitativa das simulações temporais (Conclusão)



A curva azul representa a simulação feita de SETMA e a vermelha a simulação feita pelo SisBaHiA®.
Fonte: O autor.

Em seguida, com os dados obtidos das simulações realizou-se a análise de tendência. Comparando os dados ordenados em ordem crescente de cada uma das simulações obtiveram-se os gráficos *quantil x quantil* para cada um dos locais.

Tabela 5 – Análise qualitativa no teste temporal

Local	Variação Vertical	Variação Horizontal
Porto de Luís Correia	Não	Não
Porto do Pecém	Não	Não
Porto de Natal	Não	Não
Porto de Cabedelo	Sim	Não
Porto do Recife	Sim	Não
Porto de Suape	Não	Não
Porto de Maceió	Sim	Não

Fonte: O autor.

A Figura 44 mostra os gráficos *quantil x quantil* encontrado para os locais testados. A partir deles foi possível confirmar a suspeita levantada na análise qualitativa quanto à existência de variação vertical em alguns locais. Para os locais que apresentaram variação vertical, verificou-se a diferença de altura média entre as duas curvas. Um local foi considerado como tendo variação vertical de altura quando a diferença média entre os pontos das curvas foi maior que $|0,05|$ m. Este parâmetro 0,05 m foi escolhido por ser a imprecisão dos dados fornecidos pela DHN, visto que eles apresentam apenas uma casa decimal. A Tabela 6 mostra os valores encontrados.

Figura 44 – Análise de tendência das simulações temporais (Continua)

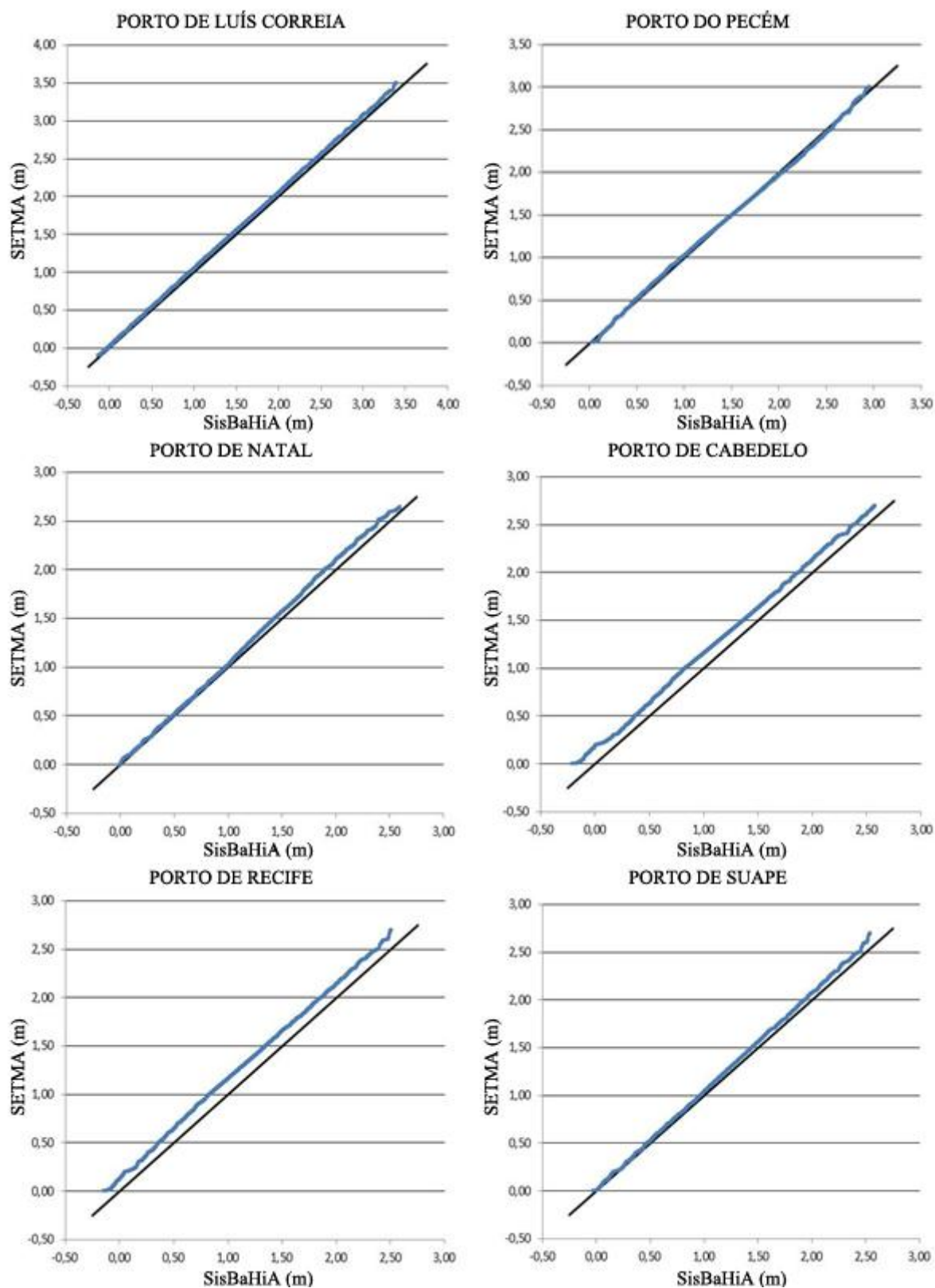
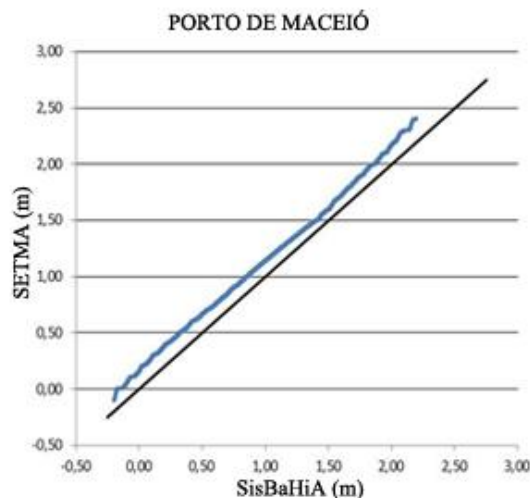


Figura 44 – Análise de tendência das simulações temporais (Conclusão)



Fonte: O autor.

Observou-se a partir da análise de tendência que para alguns locais (Porto do Recife, Porto de Cabedelo e Porto de Maceió) as alturas encontradas são em média 0,13 m maiores que as encontradas pelo SisBaHiA[®] (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise de tendência no teste temporal

Local	Variação Vertical	Variação Vertical Média (m)
Porto de Luís Correia	Não	0,05
Porto do Pecém	Não	-0,01
Porto de Natal	Não	-0,05
Porto de Cabedelo	Sim	0,13
Porto do Recife	Sim	0,14
Porto de Suape	Não	-0,01
Porto de Maceió	Sim	0,13

Fonte: O autor.

Essa diferença pode ser explicada, como mostra a Tabela 7, pela diferença entre os níveis médios z_0 utilizados como referência pela DHN e pela FEMAR. Observou-se que nos locais que apresentavam essa diferença o mesmo ocorria nas simulações realizadas e a variação era de mesmo valor ou de valor muito próximo. Outro fator que contribui para essa diferença é a erro de arredondamento dos dados da DHN, que chega a 0,05 m.

Dessa forma, utilizando-se o nível médio z_0 indicado pela DHN nas simulações realizadas no SisBaHiA[®] tem-se que os maregramas gerados, em cada instante, praticamente não apresentam variações nas alturas, como mostram as Figura 45 e Figura 46.

Tabela 7 – Diferença entre os níveis z_0 da DHN e da FEMAR

Local	Nível Médio DHN (m)	Nível Médio FEMAR (m)	Diferença Entre os Níveis (m)	Variação Vertical Média (m)	Variação Vertical Média Corrigida (m)
P. de Luís Correia	1,71	1,71	0,00	0,05	0,05
Porto de Natal	1,28	1,33	-0,05	-0,05	0,00
Porto do Pecém	1,48	1,49	-0,01	-0,01	0,00
Porto de Cabedelo	1,34	1,18	0,16	0,13	-0,03
Porto do Recife	1,28	1,14	0,14	0,14	0,00
Porto de Suape	1,24	1,25	-0,01	-0,01	0,00
Porto de Maceió	1,16	1,08	0,08	0,13	0,05

Fonte: O autor.

Figura 45 – Análise qualitativa das simulações temporais após correção (Continua)

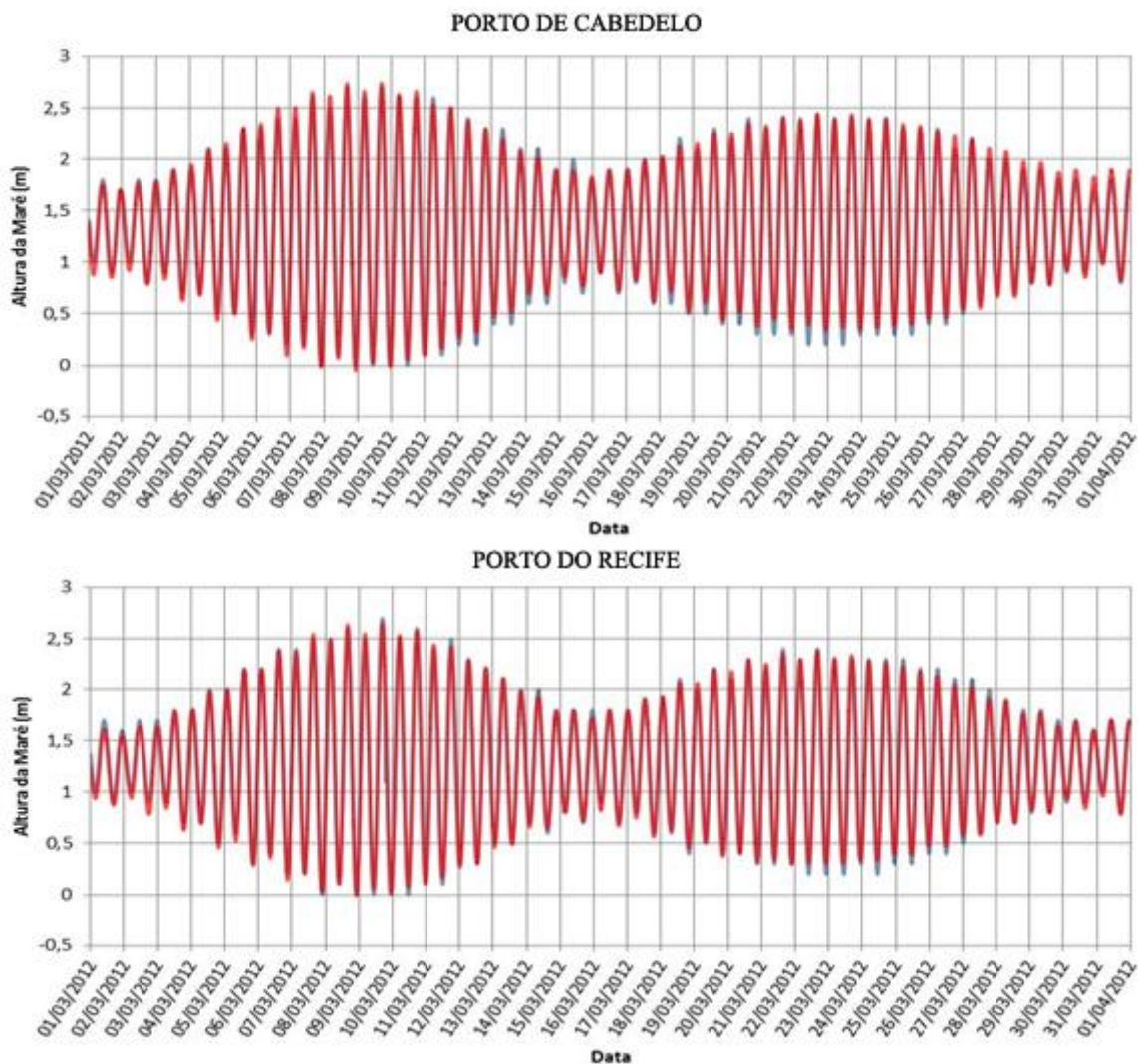
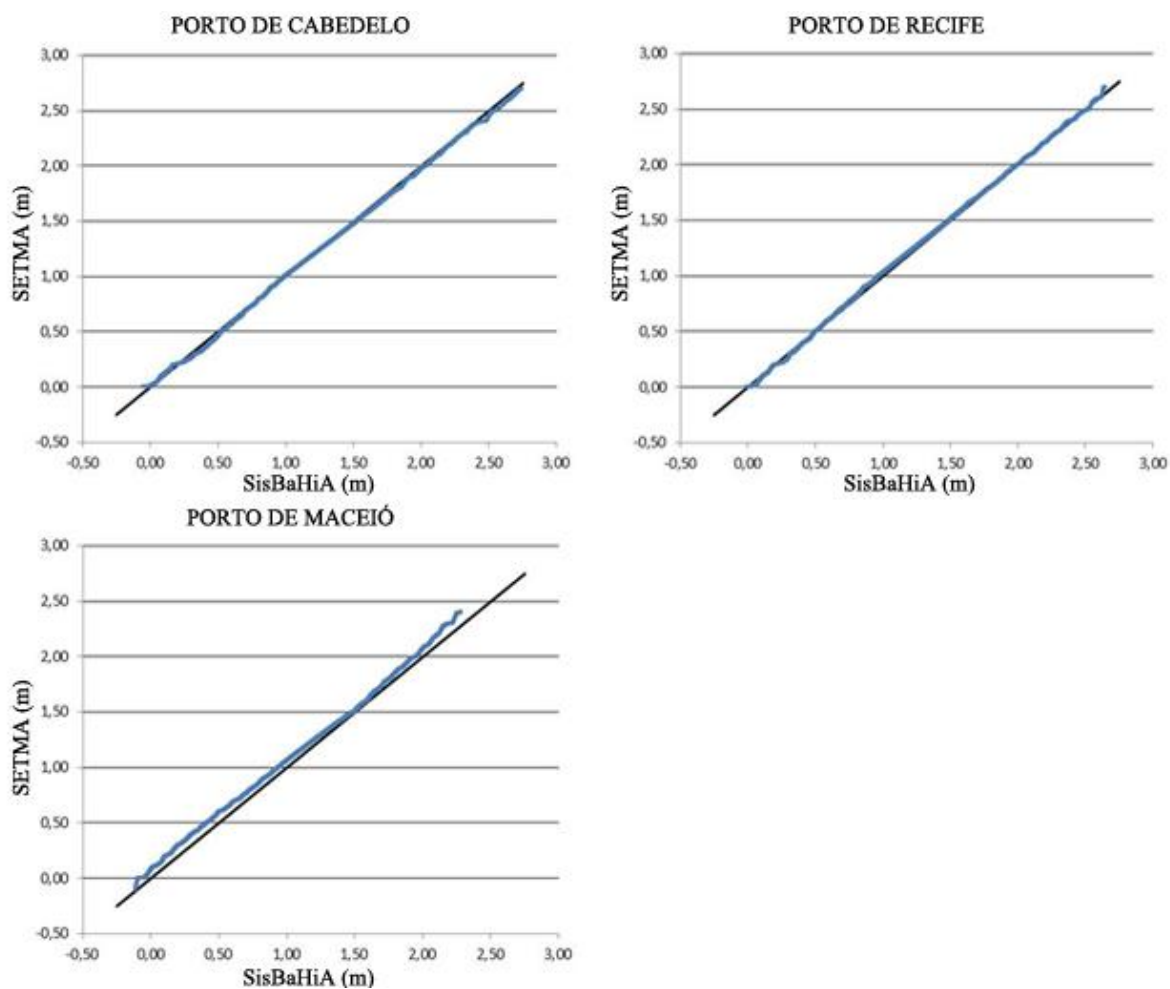


Figura 45 – Análise qualitativa das simulações temporais após correção (Conclusão)



A curva azul representa a simulação feita de SETMA e a vermelha a simulação feita pelo SisBaHiA®.
 Fonte: O autor.

Figura 46 – Análise de tendência das simulações temporais após correção



Fonte: O autor.

A última análise realizada feita foi a de aderência. Para ela calculou-se a correlação entre as duas curvas para todos os locais utilizando-se a função *CORREL* do *Excel*[®].

Sabendo que uma correlação positiva indica crescimento das curvas na mesma direção, e que valores próximos a 1 indicam boa correlação (TORANZOS, 1969, p. 268), buscou-se confirmar a não existência de variação horizontal indicada pela análise qualitativa. Com os valores de correlação encontrados, e mostrados na Tabela 8, confirmou-se essa hipótese.

Tabela 8 – Análise de aderência no teste temporal

Local	Correlação
Porto de Luís Correia	0,998519227
Porto do Pecém	0,992580636
Porto de Natal	0,996331805
Porto de Cabedelo	0,995587066
Porto do Recife	0,994259069
Porto de Suape	0,991090153
Porto de Maceió	0,983277713

Fonte: O autor.

Assim, a partir das 3 análises realizadas, verificou-se que para estes sete locais a simulação realizada pelo SETMA não apresenta defasagem em relação a feita pelo SisBaHiA[®].

Os resultados das 3 análises estão resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Resumo dos resultados das 3 análises.

Local	Variação Vertical	Variação Vertical Média (m)	Variação Horizontal	Variação Horizontal Média (h)	Correlação
P. de Luís Correia	Não	0,05	Não	-	0,998519227
Porto do Pecém	Não	-0,01	Não	-	0,992580636
Porto de Natal	Não	-0,05	Não	-	0,996331805
Porto de Cabedelo	Sim	0,13	Não	-	0,995587066
Porto do Recife	Sim	0,14	Não	-	0,994259069
Porto de Suape	Não	-0,01	Não	-	0,991090153
Porto de Maceió	Sim	0,13	Não	-	0,983277713

Fonte: O autor.

6.3 Campanhas de Medição

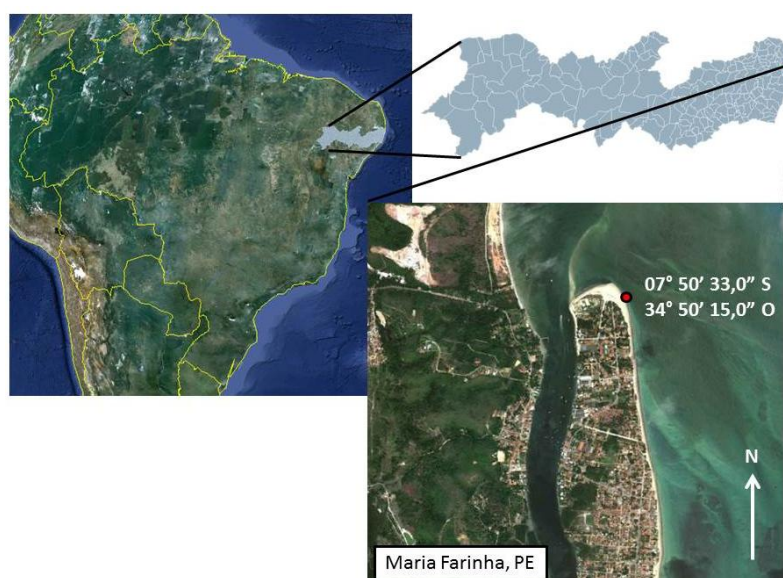
Ao todo foram realizadas 2 campanhas de medição para se obter dados relativos à altura da maré, a fim de serem utilizados nos testes espaciais. A primeira ocorreu no dia 16

de fevereiro de 2011 no Pontal de Maria Farinha/PE e a segunda no dia 16 de maio de 2012 na Praia de Tamandaré/PE.

6.3.1 Pontal de Maria Farinha

O local escolhido para o primeiro estudo foi o Pontal de Maria Farinha ($7^{\circ}50'33''\text{S}$; $34^{\circ}50'15''\text{O}$) que fica localizado no município de Paulista, Região Metropolitana do Recife, no litoral norte do Estado de Pernambuco, a uma distância aproximada de 24,5 km do Porto de Recife/PE e de 97 km do Porto de Cabedelo/PB (Figura 47). A medição foi realizada no dia 16 de fevereiro de 2011.

Figura 47 – Localização do Pontal de Maria Farinha



Fonte: O autor.

A aquisição dos dados foi realizada por meio de inspeção visual em três réguas linimétricas instaladas de forma conveniente (Figura 48). O uso de réguas linimétricas, apesar de não ser a melhor escolha quando se deseja precisão de dados, como mostra a Tabela 10, foi feito devido à falta de outros equipamentos e por apresentarem mobilidade, fator importante no projeto. As medições foram registradas a cada 5 minutos. Para efeito de acompanhamento e controle dos erros associados aos efeitos meteorológicos (maré meteorológica) na leitura da régua monitorou-se, por meio de anemômetro de copos digital, a velocidade do vento no local.

Figura 48 – Disposição das réguas linimétricas utilizadas no Pontal de Maria Farinha



Fonte: O autor.

Tabela 10 – Características dos métodos mais comumente usados para medição de maré

Categoria	Tipo	Obtenção do Valor Médio	Acurácia	Vantagens	Desvantagens
Observação da superfície	Régua	Visual	0,02 - 0,10 m	Muito baixo custo; fácil construção e locomoção; robusto.	Tedioso; necessita estrutura vertical; alta manutenção.
	Flutuador	Amortecimento	0,01 - 0,05 m		
Sensores fixos	Sonar	Múltiplas amostras	0,005-0,01m	Robusto; baixa manutenção; baixo custo; não necessita estrutura vertical (pressão).	Necessita estrutura vertical; correção de densidade e onda; alta manutenção.
	Radar	Hidrodinâmica e múltiplas amostras	0,01 m		
	Pressão		0,01 m		
Remoto e móvel	Satélite	Ajustes empíricos	0,01 m	Sistemáticos; cobertura global; alta taxa de dados.	Caro; operado por especialistas; múltiplas correções; não pega tempestades locais.

Fonte: Adaptado de (PUGH, 2004, p. 10)

As condições do mar no dia estavam bastante boas para a medição. Devido aos bancos de areia presentes na região, como mostra a Figura 49, durante quase todo o intervalo de tempo da campanha ocorreram ondas de pequena altura tornando a leitura da régua bastante precisa. Apenas a partir das 13:20h que, devido a elevação da maré acima do nível dos bancos de areia, e do vento forte que soprava no dia ($V_{\text{média}} = 5,6 \text{ m/s}$), as ondas começaram a aumentar de tamanho induzindo a erros maiores de leitura da régua.

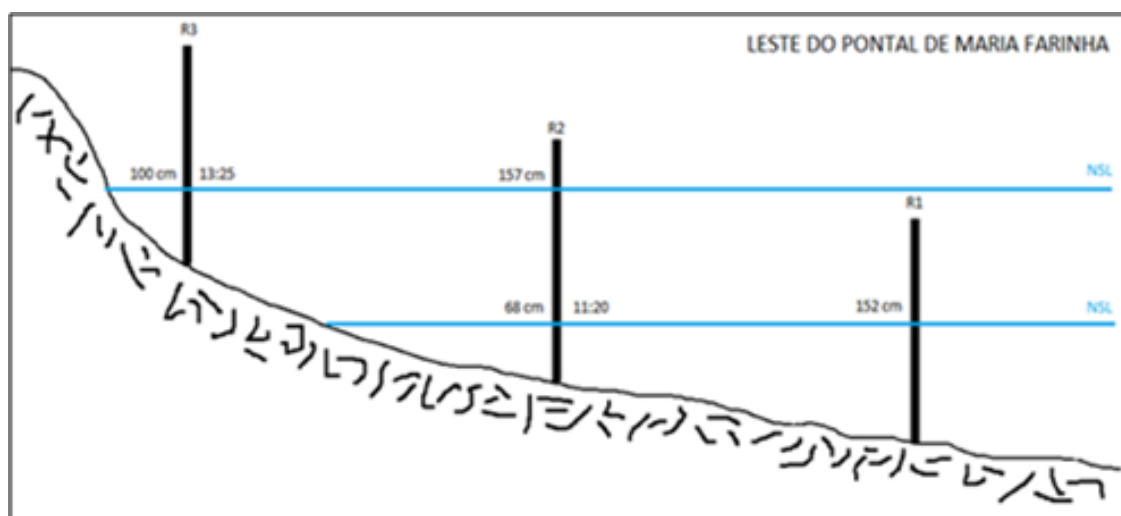
Figura 49 – Bancos de areia de Maria Farinha



(a) Diversos bancos de areia presentes no local; e (b) vista aérea da mesma área destacando o campo de bancos de areia da região. Fonte: Adaptado de (ARAÚJO, 2009)

Durante as medições foi necessária a troca da régua de onde os dados eram obtidos. Essa troca foi feita marcando-se simultaneamente as elevações para um determinado momento em duas réguas (Figura 50). Com as elevações tomadas em ambas as réguas, simultaneamente, calculou-se a diferença, e esta, posteriormente, foi acrescida nas medidas tomadas na nova régua utilizada.

Figura 50 – Sistema de montagem das réguas para leitura contínua



Vista lateral da montagem das réguas e níveis de NSL onde houve a mudança de régua para leitura contínua. Fonte: O autor.

Como não se possuía equipamentos para se determinar a altura zero do nível de referência, corrigiu-se os valores medidos baseado na simulação feita pelo software SisBaHiA[®]. Dessa forma, diminuiu-se 0,33 m de cada valor medido. A Tabela 11 mostra os dados obtidos já ajustados.

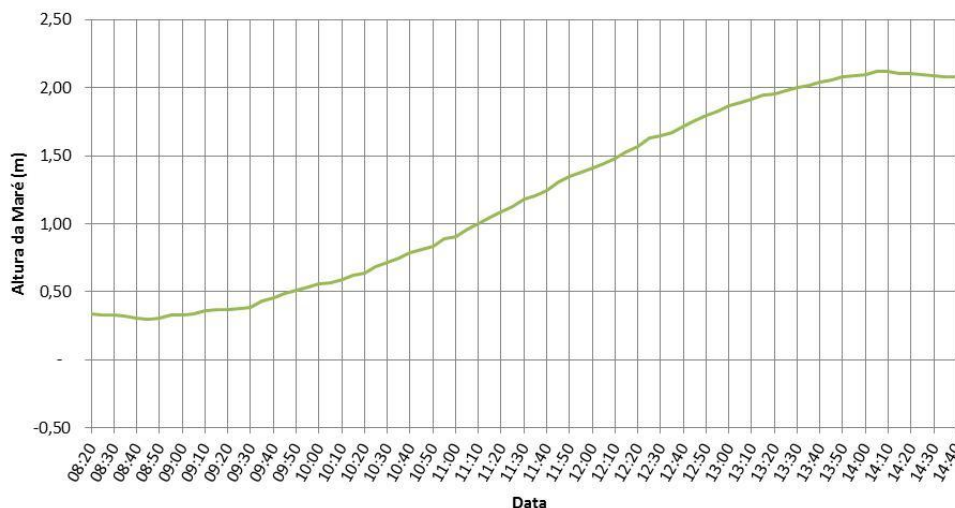
Tabela 11 – Maré medida no Pontal de Maria Farinha

Hora	Medido	Corrigido	Hora	Medido	Corrigido	Hora	Medido	Corrigido
08:20	0,77	0,34	10:30	1,15	0,72	12:40	2,15	1,72
08:25	0,76	0,33	10:35	1,18	0,75	12:45	2,19	1,76
08:30	0,76	0,33	10:40	1,22	0,79	12:50	2,23	1,80
08:35	0,75	0,32	10:45	1,24	0,81	12:55	2,26	1,83
08:40	0,74	0,31	10:50	1,27	0,84	13:00	2,30	1,87
08:45	0,73	0,30	10:55	1,32	0,89	13:05	2,32	1,89
08:50	0,74	0,31	11:00	1,34	0,91	13:10	2,35	1,92
08:55	0,76	0,33	11:05	1,39	0,96	13:15	2,38	1,95
09:00	0,76	0,33	11:10	1,43	1,00	13:20	2,39	1,96
09:05	0,77	0,34	11:15	1,48	1,05	13:25	2,41	1,98
09:10	0,79	0,36	11:20	1,52	1,09	13:30	2,43	2,00
09:15	0,80	0,37	11:25	1,56	1,13	13:35	2,45	2,02
09:20	0,80	0,37	11:30	1,61	1,18	13:40	2,47	2,04
09:25	0,81	0,38	11:35	1,64	1,21	13:45	2,49	2,06
09:30	0,82	0,39	11:40	1,68	1,25	13:50	2,51	2,08
09:35	0,86	0,43	11:45	1,74	1,31	13:55	2,52	2,09
09:40	0,89	0,46	11:50	1,78	1,35	14:00	2,53	2,10
09:45	0,92	0,49	11:55	1,81	1,38	14:05	2,55	2,12
09:50	0,94	0,51	12:00	1,84	1,41	14:10	2,55	2,12
09:55	0,97	0,54	12:05	1,87	1,44	14:15	2,54	2,11
10:00	0,99	0,56	12:10	1,91	1,48	14:20	2,54	2,11
10:05	1,00	0,57	12:15	1,96	1,53	14:25	2,53	2,10
10:10	1,02	0,59	12:20	2,00	1,57	14:30	2,52	2,09
10:15	1,05	0,62	12:25	2,06	1,63	14:35	2,51	2,08
10:20	1,07	0,64	12:30	2,08	1,65	14:40	2,51	2,08
10:25	1,12	0,69	12:35	2,10	1,67	14:45	2,48	2,05

Fonte: O autor.

A partir da Tabela 11 pôde-se construir a curva de maré do intervalo de medição para o local (Figura 51).

Figura 51 – Maré medida no dia 16/02/2011 no Pontal de Maria Farinha/PE



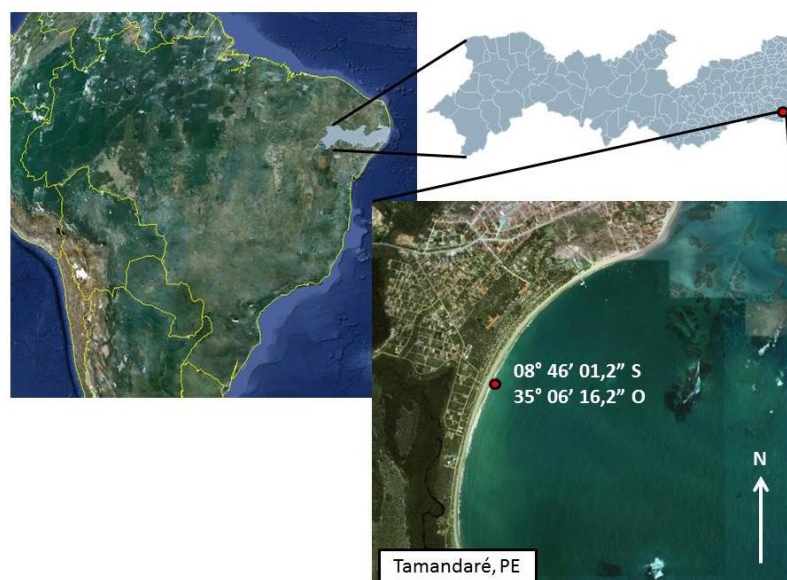
Fonte: O autor.

6.3.2 Praia de Tamandaré

O local escolhido para o segundo estudo foi a Praia de Tamandaré ($8^{\circ}46'01''\text{S}$; $35^{\circ}06'16''\text{O}$) que fica localizado no município de Tamandaré, no litoral sul do Estado de Pernambuco, a uma distância aproximada de 45,9 km do Porto de Suape/PE e de 122 km do Porto de Maceió/AL (Figura 52). A medição foi realizada no dia 16 de abril de 2012.

Devido à dificuldade de leitura nas réguas linimétricas quando da ocorrência de ondas encontradas no primeiro experimento, tentou-se buscar uma solução. Dessa forma, tentando melhorar a precisão da leitura dos, construiu-se um dispositivo graduado (Figura 53a) que objetivava amortecer as ondas na região de leitura (Figura 53b), tornando-a mais precisa assim.

Figura 52 – Localização da Praia de Tamandaré

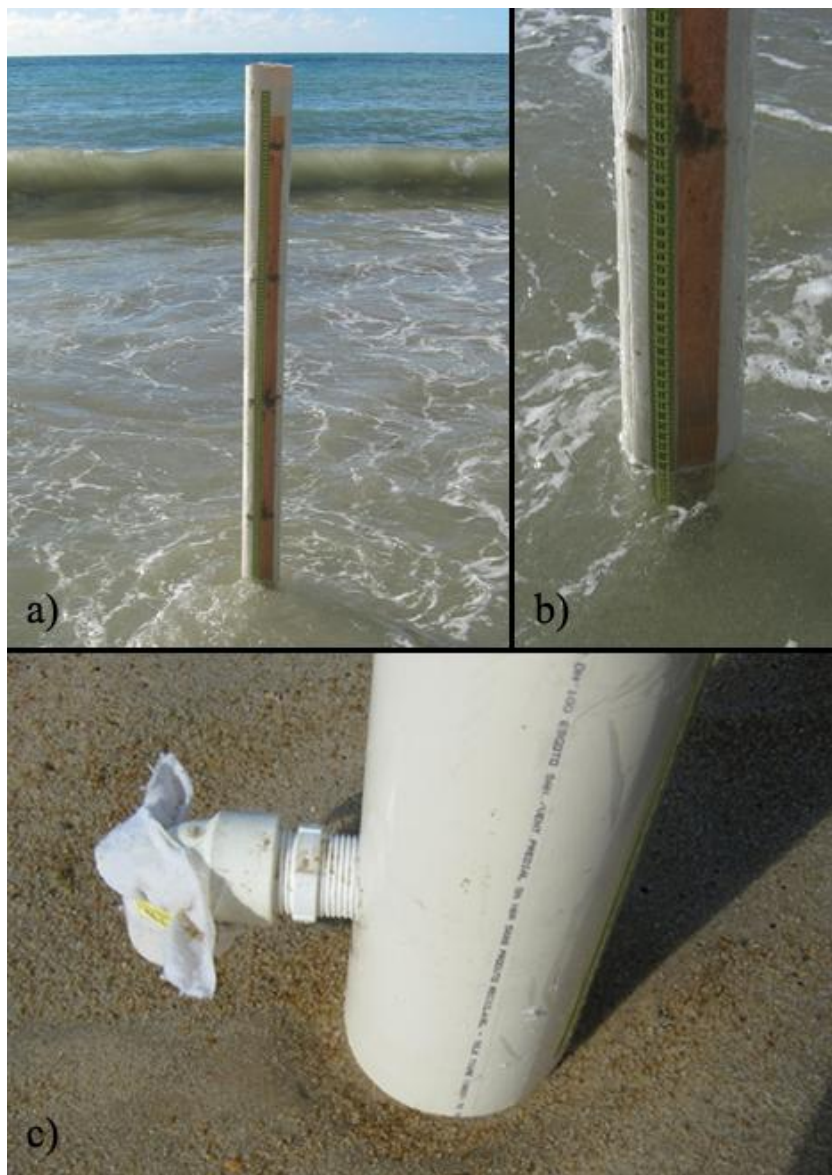


Fonte: O autor.

O dispositivo foi construído a partir de um tubo de PVC de 2 m de comprimento e 10 cm de diâmetro. Ao longo de quase toda sua lateral foi feito um rasgo de aproximadamente 3 cm. A cerca de 30 cm acima da base do tubo foi realizado um furo e instalado um joelho de tubulação para a admissão da água. Ao longo do rasgo colou-se uma fita métrica e todo o tubo foi isolado com um plástico adesivo transparente para evitar que a água que entrasse pelo tubo de admissão saísse pelo rasgo. Para dificultar a vazão da água entrando e saindo do dispositivo a cada passagem de uma onda devido à diferença de pressão, colocou-se um pedaço de tecido na entrada do tubo de admissão (Figura 53c). Esse tecido, além de tornar a entrada e saída de água mais difícil, teve a função de impedir a entrada de sedimentos.

Como a subida da maré ocorre de forma lenta, acreditou-se que a restrição imposta de pelo tecido não provocaria erros de medição.

Figura 53 – Dispositivo graduado para medição de maré



a) Vista geral do dispositivo no mar, b) detalhe do nível do mar sem sofrer influência das ondas dentro do tubo e c) detalhe do tubo de admissão do dispositivo. Fonte: O autor.

Da mesma forma que no primeiro experimento utilizou-se três equipamentos para realizar a aquisição dos dados (Figura 54), mudando a leitura de um para o outro no momento adequado. As medições dessa vez foram registradas a cada 10 minutos. Sendo que cada medição foi calculada como a média de cinco medidas realizadas com intervalo de aproximadamente 5 s entre si.

As condições do mar no dia da mediação não eram das melhores. No local, havia a ocorrência de ondas de altura intermediária que quebravam na região onde estavam instalados os dispositivos. Devido à acentuada inclinação do fundo marinho no local, a

instalação das réguas mais para dentro do mar não foi possível. Dessa forma, apesar do dispositivo amortecer boa parte da onda dentro dele a leitura das medidas tornou-se difícil. Principalmente devido a alguns problemas de fabricação que acabaram por inutilizar uma das réguas totalmente e em parte uma segunda.

Figura 54 – Disposição dos dispositivos utilizados na Praia de Tamandaré



Fonte: O autor.

De igual forma ao primeiro experimento, como não se possuía equipamentos para se determinar a altura zero do nível de referência corrigiu-se os valores medidos baseado na simulação feita pelo software SisBaHiA[®]. Dessa forma, acrescentou-se 0,38 m de cada valor medido. A Tabela 12 mostra os dados obtidos já ajustados.

Tabela 12 – Maré medida na Praia de Tamandaré

Hora	Medido	Corrigido	Hora	Medido	Corrigido	Hora	Medido	Corrigido
06:50	0,22	0,60	08:30	0,34	0,72	10:10	0,78	1,16
07:00	0,24	0,62	08:40	0,34	0,72	10:20	0,79	1,17
07:10	0,26	0,64	08:50	0,39	0,77	10:30	0,79	1,17
07:20	0,27	0,65	09:00	0,42	0,80	10:40	0,82	1,20
07:30	0,26	0,64	09:10	0,43	0,81	10:50	0,86	1,24
07:40	0,28	0,66	09:20	0,54	0,92	11:00	0,89	1,27
07:50	0,29	0,67	09:30	0,58	0,96	11:10	0,93	1,31
08:00	0,30	0,68	09:40	0,73	1,11	11:20	0,94	1,32
08:10	0,30	0,68	09:50	0,77	1,15	11:30	0,93	1,31
08:20	0,31	0,69	10:00	0,78	1,16	11:40	0,91	1,29

Fonte: O autor.

A partir da Tabela 12 pôde-se construir a curva de maré do intervalo de medição para o local (Figura 55).

Figura 55 – Maré medida no dia 16/04/2012 na Praia de Tamandaré/PE

Fonte: O autor.

6.4 Estudos de Caso Espacial

Para os estudos de caso espacial realizaram-se dois tipos de procedimento: um em que houve apenas a comparação entre as simulações realizadas pelo SETMA e pelo SisBaHiA[®]; e outra em que além dessa comparação, realizou-se a comparação com dados de maré medidos no local de estudo.

Os dados da DHN e da FEMAR utilizados nos quatro testes encontram-se, respectivamente, nos Apêndice A e Apêndice B.

Como apresentado na Tabela 4, a maré nos locais selecionados é do tipo semidiurna, portanto, realizou-se as simulações no SETMA e no SisBaHiA[®] para que a análise qualitativa fosse feita. A Tabela 13 resume os resultados encontrados e mostrados com mais detalhes na Figura 56. As simulações em Paracuru e Tibau do Sul foram feitas para o mês de março de 2012. Já as simulações para Maria Farinha e Tamandaré foram realizadas, respectivamente, nos meses de fevereiro de 2011 e abril de 2012.

Tabela 13 – Análise qualitativa no teste espacial

Local	Variação Vertical	Variação Horizontal
Paracuru	Não	Não
Tibau do Sul	Sim	Não
Maria Farinha	Sim	Não
Tamandaré	Sim	Não

Fonte: O autor.

Figura 56 – Análise qualitativa das simulações espaciais (Continua)

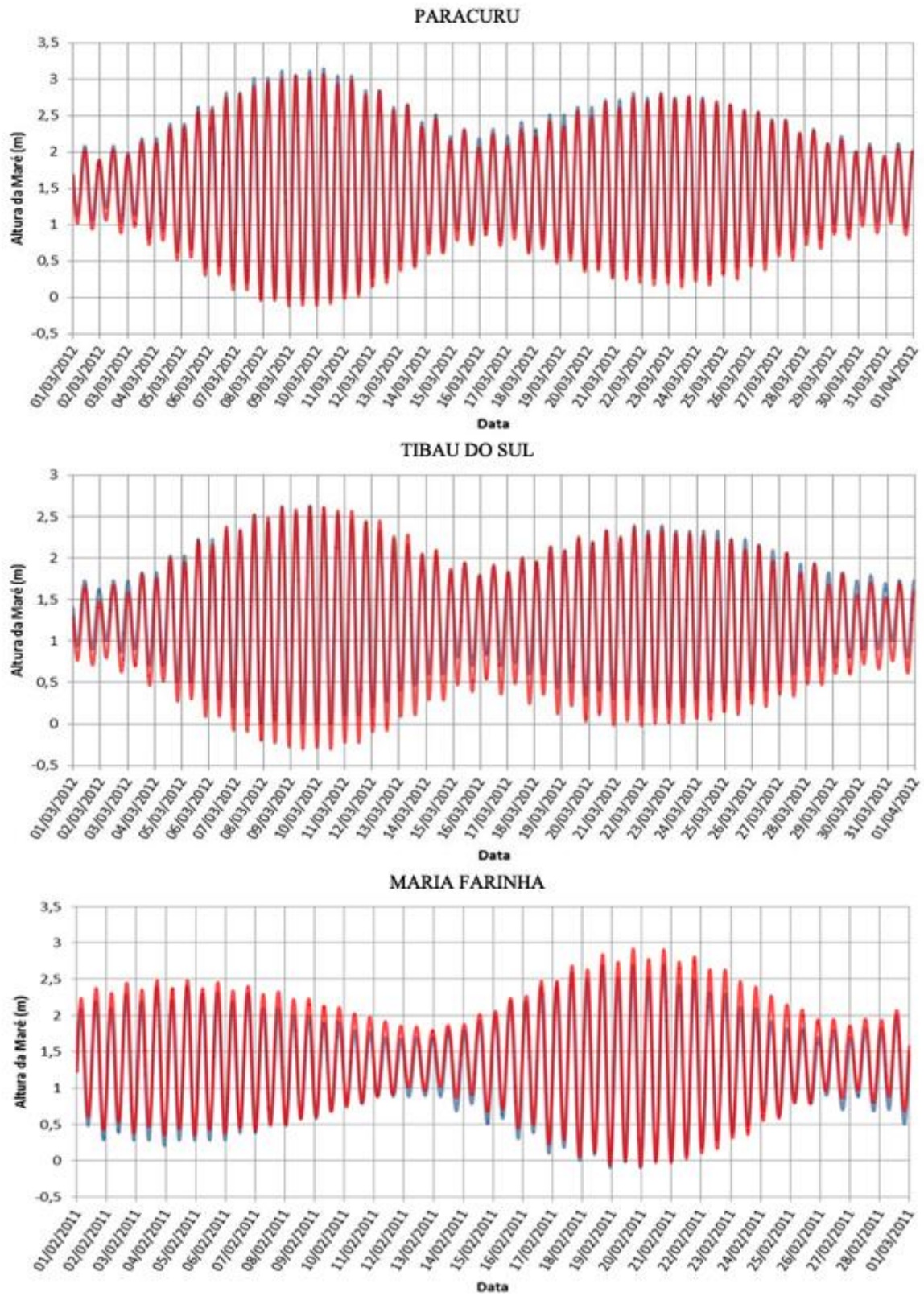
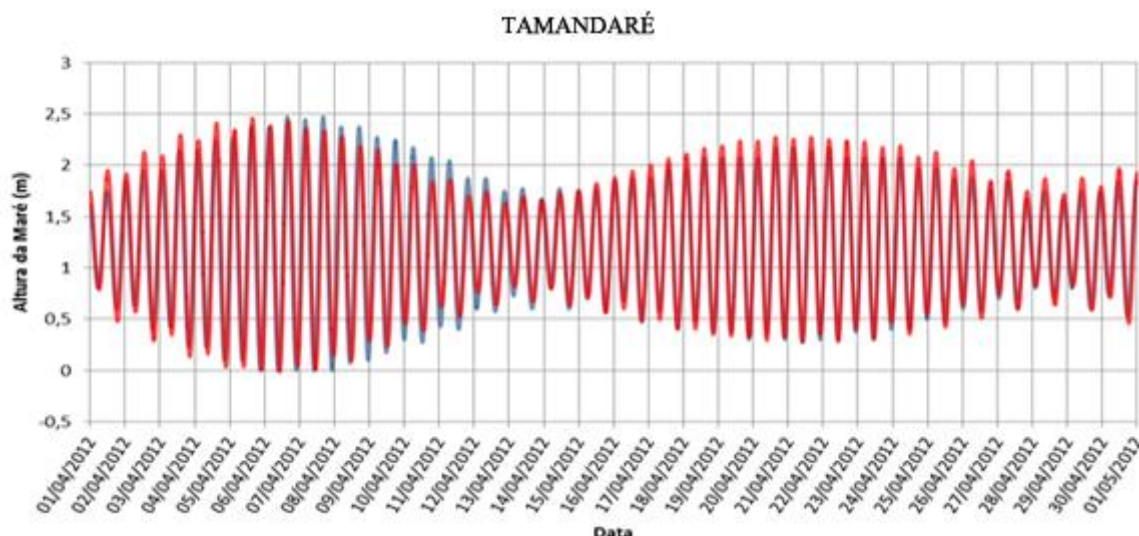


Figura 56 – Análise qualitativa das simulações espaciais (Conclusão)



A curva azul representa a simulação feita de SETMA e a vermelha a simulação feita pelo SisBaHiA®. Fonte: O autor.

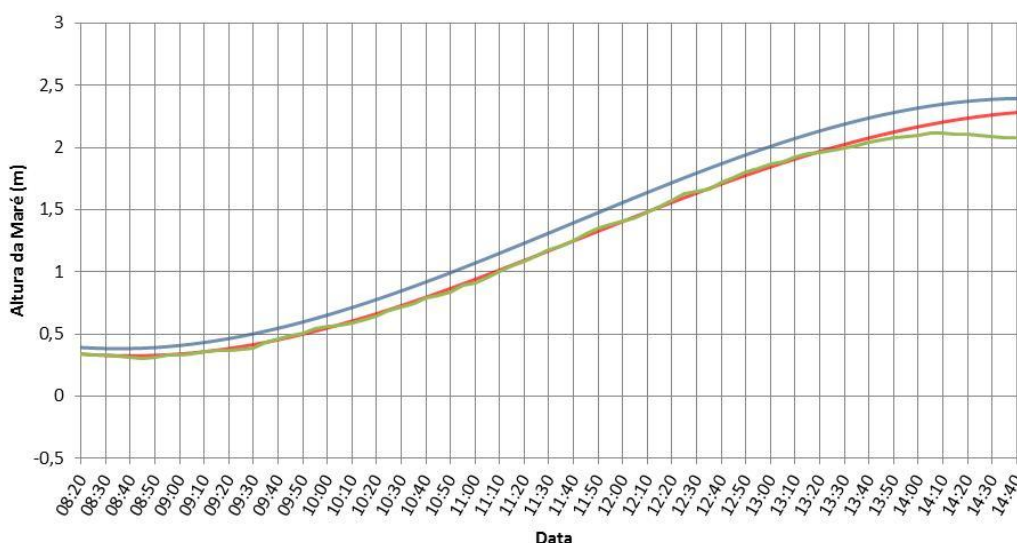
Pela análise qualitativa verificou-se que para Tibau do Sul os valores máximos de maré simulados pelo SETMA correspondem, aproximadamente, aos valores encontrados pelo SisBaHiA®, entretanto os valores mínimos simulados pelo SETMA são sempre maiores. Já para Maria Farinha e Tamandaré a diferença entre as simulações ocorreram em alguns períodos do mês, mais precisamente, entre as marés de sizígia e de quadratura.

Em seguida, realizou-se a comparação qualitativa entre os dados medidos e os dados simulados. A medição em Maria Farinha ocorreu no dia 16 de fevereiro de 2011 e a em Tamandaré no dia 16 de abril de 2012. Para Maria Farinha os dados foram medidos com intervalos de 5 minutos das 08:20h até às 14:40h. Já em Tamandaré os dados foram medidos com intervalos de 10 minutos no período entre 06:50h às 11:40h.

Como não se possuía equipamentos para se determinar o nível de referência para os dados medidos, adotou-se o valor da primeira medição como o valor da altura estimado pela simulação do SisBaHiA® no mesmo horário na comparação. Dessa forma, esta comparação qualitativa não teve por objetivo verificar diferença de valores entre os dados simulados e os medidos, e sim, verificar se o comportamento de crescimento das curvas simuladas está de acordo com as medições.

O gráfico da Figura 57 mostra essa comparação para Maria Farinha.

Figura 57 – Comparativo das simulações com os dados medidos em Maria Farinha

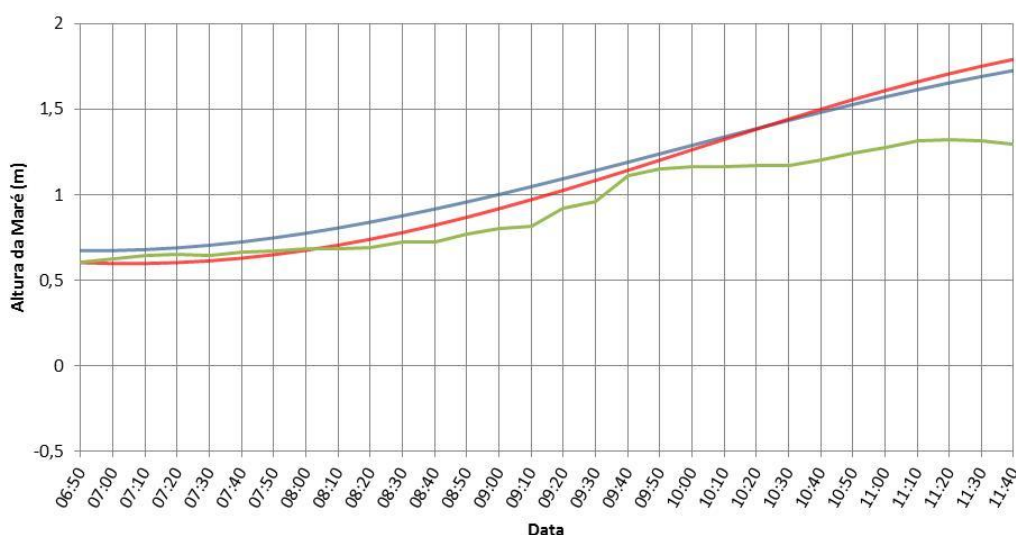


Comparação realizada para o dia 16 de fevereiro de 2011. Fonte: O autor.

Verifica-se que o crescimento da maré real medida (linha verde) até 13:40h seguia a mesma tendência que a simulação do SisBaHiA[®] (linha vermelha). O desvio ocorrido após esse período pode, em parte, ser explicado pelo aumento da incidência de ondas e aumento da dificuldade em se obter leituras precisas nas réguas. Como a simulação do SETMA, pelo gráfico, apresenta a mesma tendência da do SisBaHiA[®], porém com um *offset*, podemos pressupor que o SETMA também segue a tendência de crescimento da maré real.

O gráfico da Figura 58 mostra a comparação para Tamandaré.

Figura 58 – Comparativo das simulações com os dados medidos em Tamandaré



Comparação realizada para o dia 16 de abril de 2012. Fonte: O autor.

A maré real medida em Tamandaré apresentou um comportamento diferente das duas simulações. Esse comportamento pode ser explicado pelas condições apresentadas pelo local

no dia de medição e por alguns defeitos apresentados pelos tubos graduados utilizados para fazer as medições.

Após a análise qualitativa, realizou-se a análise de tendência. A Tabela 14 apresenta a comparação entre as duas simulações.

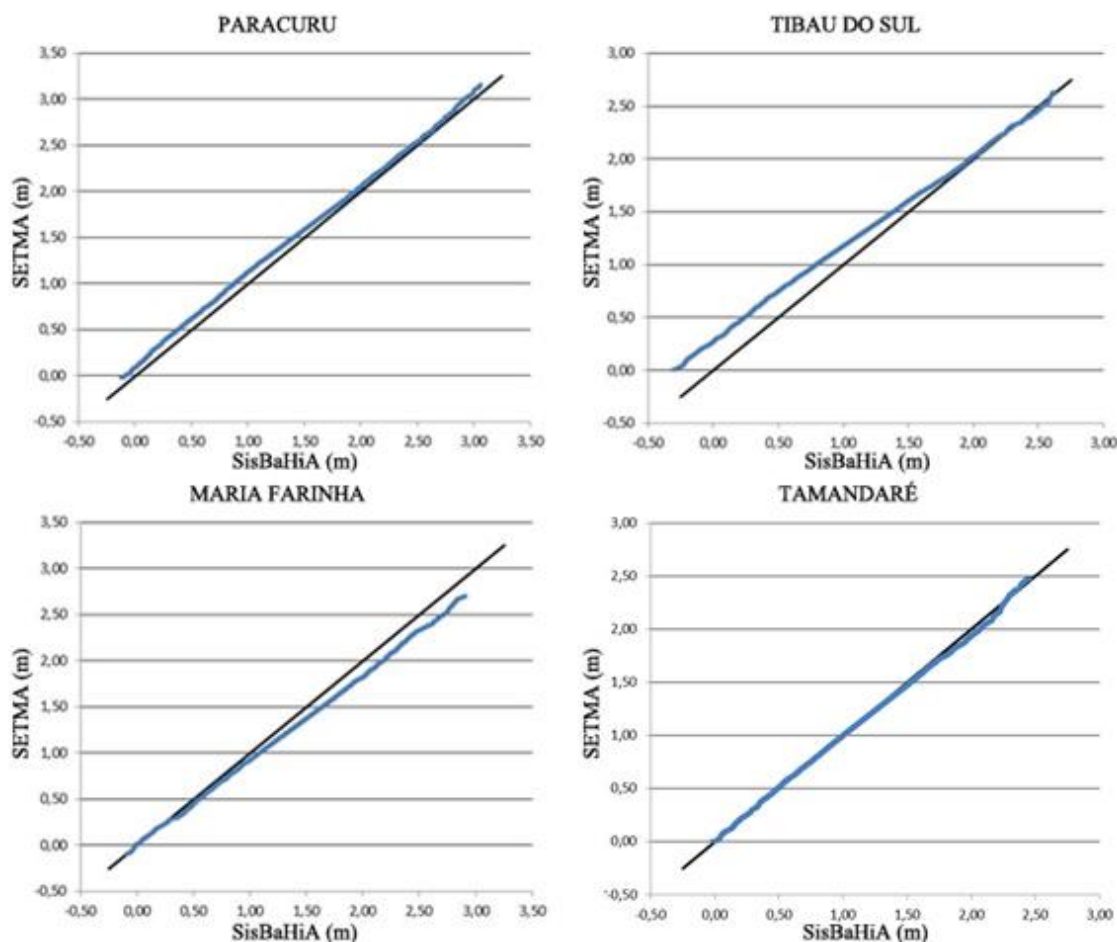
Tabela 14 – Análise de tendência no teste espacial

Local	Variação Vertical	Variação Vertical Média (m)
Paracuru	Sim	0,08
Tibal do Sul	Sim	0,14
Maria Farinha	Sim	-0,12
Tamandaré	Não	-0,02

Fonte: O autor.

Através da análise de tendência (Figura 59) verificou-se que, apesar de qualitativamente não apresentar muita diferença entre as simulações, Paracuru apresentou uma variação vertical média de 0,08 m. Já em Tamandaré ocorreu exatamente o oposto, e nos outros dos locais confirmou-se a hipótese de variação vertical.

Figura 59 – Análise de tendência das simulações espaciais



Fonte: O autor.

Por último, analisou-se a aderência entre as curvas. A Tabela 15 mostra os resultados obtidos.

Tabela 15 – Análise de aderência no teste espacial

Local	Correlação SETMA x SisBaHiA	Correlação SETMA x Medição	Correlação SisBaHiA x Medição
Paracuru	0,997727905	-	-
Tibau do Sul	0,993525516	-	-
Maria Farinha	0,989881647	0,998833863	0,997616721
Tamandaré	0,943076379	0,981221527	0,980703208

Fonte: O autor.

A partir dos valores encontrados verificou-se uma boa correlação entre as duas curvas de simulação e entre essas duas e a de medição quando foi o caso. Com isso, pôde-se afirmar que não existe defasagem entre as curvas, fato sugerido pela análise qualitativa.

Dessa forma, a partir das 3 análises realizadas, verificou-se que para estes quatro locais a simulação realizada pelo SETMA não apresenta defasagem em relação a feita pelo SisBaHiA[®]. Verificou-se também que, em maior ou menor grau, nos locais estudados ocorreram variações nas alturas simuladas, porém, o valor médio dessa diferença não ultrapassou 0,14 m, valor pequeno quando se comparado com a amplitude das suas marés.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nas análises temporal e espacial desenvolvidas neste trabalho demonstram que a simulação produzida pela ferramenta SETMA se aproxima bastante da produzida pelo SisBaHiA[®], *software* este que realiza previsões através das constantes harmônicas do local. Como o algoritmo de previsão utilizado pelo SisBaHiA[®] é usado e reconhecido internacionalmente como um método que apresenta previsões bem próximas ao real, esses resultados próximos obtidos através do SETMA indicam que a sua metodologia adotada é boa, propiciando uma boa aproximação do sinal do fenômeno natural da maré astronômica.

Vale ressaltar que, como era de se esperar, as simulações temporais se aproximaram muito mais das utilizadas como comparativo do que as simulações espaciais. Uma vez que a simulação espacial realizada pelo SETMA baseia-se no sinal de maré de pontos adjacentes, e devido à morfologia costeira, locais próximos entre si podem apresentar grande variações das constituintes harmônicas uma maior diferença em relação à simulação temporal era esperada. Entretanto, mesmo os resultados obtidos nas simulações espaciais apresentaram boa aproximação quando comparadas com o SisBaHiA[®]. Os bons valores encontrados para a interpolação espacial podem ser resultados da geometria bastante regular da região de estudo da costa brasileira. Dessa forma, o estudo em locais com geometria irregular se mostra necessário para testar funcionamento da ferramenta nessas condições.

As principais aproximações da ferramenta computacional desenvolvido consistem na hipótese do sinal local de maré astronômica ser representado por funções cúbicas e sua variação espacial ser passível de representação por uma função ponderada com o inverso das distâncias com a base adotada. A utilização de outras formas de interpolação podem gerar resultados melhores, sendo assim um estudo fazendo essa comparação se mostra bastante interessante.

A tentativa de validar a ferramenta utilizando medições *in loco* não apresentou os resultados esperados. Isso se deve às condições adversas encontradas nos locais de medição e aos instrumentos de medição pouco precisos utilizados. Dessa forma, para dar maior garantia quanto aos resultados obtidos pela ferramenta, julga-se necessário a sua validação utilizando-se meios de medição mais precisos, onde os erros sejam minimizados, tais como sensores de pressão ao invés da inspeção visual em régua graduadas utilizada. Além disso, como o SETMA limita-se a simular a maré astronômica, e no sinal real estão embutidas

variações relacionadas às condições das pressões atmosféricas, é relevante a análise da sua influência na maré medida para uma comparação mais adequada.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas - A Técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental**. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2005. 688 p.

ARAÚJO, A. M. **Projeto NOVITECGINF – Novas técnicas geradoras de informação para o diagnóstico, avaliação de impacto e monitoramento ambiental do meio físico dos estuários rasos**. Recife, p. 28. 2009. Aprovado pelo Edital MCT/CNPq 02/2006 – Universal - Processo: 471702/2006-4.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. Tide Predictions for Australia, South Pacific and Antarctica. **Bureau of Meteorology**, 2012. Disponível em: <<http://www.bom.gov.au/oceanography/tides/>>. Acesso em: 7 Abr. 2012.

BARFIELD, N. Tide clock on St. Margaret's Church, King's Lynn. **Flickr**, 2011. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/41162995@N06/6215153065/>>. Acesso em: 22 Mar. 2012.

BARROSO JUNIOR, V. **Metodologia para geração de cartas de corrente de maré em sistemas estuarinos e recintos portuários com aplicação na Baía de Todos os Santos, BA**. Universidade Federal de Pernambuco. Rio de Janeiro, p. 157. 2009.

BLAIN, C. A.; PRELLER, R. H.; RIVERA, A. P. Tidal Prediction Using the Advanced Circulation Model (ADCIRC) and a Relocatable PC-based System. **Oceanography**, v. 15, n. 1, p. 77-87, 2002.

BOGDANOV, K. T.; MAGARIK, V. A. A numerical solution of the problem of tidal wave propagation in the world ocean. **Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics**, v. 5, n. 12, p. 1309-1317, 1969.

BROWN, E. et al. **Waves, Tides and Shallow-Water Processes**. 2ª. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. 227 p.

BUDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE. Tides. **Budesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie**, 2012. Disponível em: <http://www.bsh.de/en/Marine_data/Forecasts/Tides/index.jsp>. Acesso em: 7 Abr. 2012.

CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE. Tides, Currents and Water Levels. **Canadian Hydrographic Service**, 2012. Disponível em: <<http://www.waterlevels.gc.ca/english/Canada.shtml>>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

CARTWRIGHT, D. E. **Tides: a Scientific History**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 293 p.

CARTWRIGHT, D. E.; RAY, R. D. Ocean tides from Geosat altimetry. **J. Geophys. Res.**, v. C3, n. 95, p. 3069-3090, 1990.

CARTWRIGHT, D. E.; RAY, R. D. Energetics of global ocean tides from Geosat altimetry. **J. Geophys. Res.**, n. 96, p. 16897-16912, 1991.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. The World Factbook. **Central Intelligence Agency**, 2012. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2060.html>>. Acesso em: 13 Fev. 2012.

CICESE - CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA. Calendarios mensuales de marea. **CICESE**, 2012. Disponível em: <<http://oceanografia.cicese.mx/predmar/calmen.php>>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

DALRYMPLE, R. W. Tidal Depositional Systems. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. **Facies Models Response to Sea Level Changes**. 2ª. ed. St. John's: Geological Association of Canada, 1992. Cap. 11, p. 195-218.

DARWIN, G. H. On an apparatus for facilitating the reduction of tidal observations, A52, 1892. 345-376.

DARWIN, G. H. **The tides and kindred phenomena in the solar system**. 3ª. ed. Cambridge: The Riverside Press, 1898. 390 p.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 475 p.

DEFANT, A. **Ebb and Flow: The Tides of Earth, Air and Water**. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1958. 121 p.

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL. Basic Concepts in Physical Oceanography: Tides. **Navy Operational Ocean Circulation and Tide Models**, 2005. Disponível em: <<http://www.oc.nps.edu/nom/day1/partc.html>>. Acesso em: 8 Nov. 2011.

DESAI, S. D.; WAHR, J. M. Empirical ocean tide models estimated from TOPEX/POSEIDON altimetry. **J. Geophys. Res.**, v. C12, n. 100, p. 25205-25228, 1995.

DESAI, S. D.; WAHR, J. M.; CHAO, Y. Error analysis of empirical ocean tide models estimated from TOPEX/POSEIDON altimetry. **J. Geophys. Res.**, v. C11, n. 102, p. 25157-25172, 1997.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Previsões de Maré. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**, 2011. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/>>. Acesso em: 19 Out. 2011.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Informação. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**, 2012. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/infotmares2012.html#nivel>>. Acesso em: 13 Mar. 2012.

D'ONOFRIO, E.; OREIRO, F.; FIORE, M. Simplified empirical astronomical tide model - An application for the Río de la Plata estuary. **Computers & Geosciences**, Out. 2011. Não publicado impresso ainda. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300411003487>. Acesso em: 09 Abr. 2012.

DOODSON, A. T. The analysis of tidal observations. **Phil. Trans. Roy. Soc.**, Londres, n. A227, p. 223-279, 1928.

DRONKERS, J. J. **Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters**. Amsterdã: North-Holland Publishing Company, 1964. 518 p.

EGBERT, G. D.; BENNETT, A. F.; FOREMAN, M. G. Topex/Poseidon tides estimated using a global inverse model. **J. Geophys. Res.**, n. 99, p. 24821-24852, 1994.

EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient inverse modeling of the barotropic ocean tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 19, n. 2, p. 183-204, 2002.

EHRET, T. Old Brass Brains. **American Congress on Surveying and Mapping Bulletin**, n. 233, p. 41-44, Jun. 2008.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. 2ª. ed. [S.l.]: Elsevier, 2004. 619 p.

FENTON, J. **Coastal and Ocean Engineering**. Viena: Technische Universität Wien, 2010. 83 p. Notas de Aula - Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie.

FLEMING, F. P. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 85. 2012.

FRANCO, A. S. **Tides - fundamentals, analysis and prediction**. 2ª. ed. São Paulo: FCTH/USP, 1988. 249 p.

FUNDAÇÃO COPPETEC. Sobre o SisBaHiA. **SisBAHIA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental**, 2007. Disponível em: <<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>>. Acesso em: 13 Mar. 2012.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. **FEMAR**, 2009. Disponível em: <<http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html>>. Acesso em: 14 Abr. 2012.

GODIN, G. **The Analysis of Tides**. Liverpool: Liverpool Iniversity Press, 1972. 264 p.

GOPALAKRISHNAN, T. C.; RA'AD, L. Computation of Intermediate Water Levels Between High and Low Tides. In: ZANNETTI, P. **ENVIROSOFT 86: Proceedings of the International Conference on Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies**. Los Angeles: Computational Mechanics, 1986. p. 445-455.

HERIOT WATT UNIVERSITY. Tides. **International Centre for Island Technology**, 2012. Disponível em: <http://www.icit.hw.ac.uk/student_project/sweyn3.htm>. Acesso em: 31 Mai. 2012.

HOWSE, H. D. Some Early Tidal Diagrams. **Revista da Universidade de COimbra**, Coimbra, v. XXXIII, p. 365-385, 1985.

HUGHES, P. The Revolution in Tidal Science. **The Journal of Navigation**, Cambridge, n. 59, p. 445-459, 2006.

JAPAN COAST GUARD. The tide prediction map (all Japan). **Hydrographic and Oceanographic Department**, 2012. Disponível em: <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/tide_pred/index_e.htm>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

KOUPELIS, T. **In Quest of the Universe**. 6ª. ed. Mississauga: Jones and Bartlett Publishers, 2011. 614 p.

LABORATOIRE D'ETUDES EN GÉOPHYSIQUE ET OCÉANOGRAPHIE SPATIALES. Sun and Moon Shape Tides on Earth. **Aviso**, 2000. Disponível em: <<http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/idm/2000/oct-2000-sun-and-moon-shape-tides-on-earth/index.html>>. Acesso em: 18 Nov. 2011.

LABORATOIRE D'ETUDES EN GÉOPHYSIQUE ET OCÉANOGRAPHIE SPATIALES. Tides Around the World. **Aviso**, 2000. Disponível em: <<http://www.aviso.oceanobs.com/en/applications/ocean/tides/tides-around-the-world/index.html>>. Acesso em: 23 Nov. 2011.

LAND INFORMATION NEW ZEALAND. Tide Predictions. **Land Information New Zeland**, 2012. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz/hydro/tidal-info/tide-tables>>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

LE PROVOST, C. et al. Tidal spectroscopy of the worl ocean tides from a finite element hydrodynamic model. **J. Geophys. Res.**, v. 99, n. C12, p. 24777-24798, 1994.

LE PROVOST, C.; LYARD, F. Energetics of the M2 barotropic ocean tides: an estimate of bottom friction dissipation from a hydrodynamic model. **Progress in Oceanography**, n. 40, p. 37-52, 1997.

LE PROVOST, C.; LYARD, F. **The impact of ocean bottom mospology on the modelling of the long gravity waves, from tides and tsunami to climate**. Charting the Secret World of the Ocean Floor. The GEBCO Project 1903-2003. Monaco: [s.n.]. 2003. p. 12.

LYARD, F. et al. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. **Ocean Dynamics**, n. 56, p. 394-415, 2006.

MARICONDA, P. R. Galileu e a Teoria das Marés. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 9, n. 1-2, p. 33-71, 1999.

MARONE, E. **Processamento e análise de dados de maré. Discurso dos Métodos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico da USP.

MARONE, E.; MOSETTI, R. Tidal analysis & prediction: Is there room for new physics? **Afro-America Gloss News**, v. 15, n. 1, p. 8, 2011.

MARONE, E.; RAICICH, F.; MOSETTI, R. Harmonic tidal analysis methods on time and frequency domains: similarities and differences for the Gulf of Trieste, Italy, and Paranaguá Bay, Brazil. **Afro-America Gloss News**, v. 2, n. 14, p. 36, 2010.

MARTINS, L.; REIS, J. Nível Médio, Maré e Análise Harmónica. **5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**, Lisboa, 11 e 12 Out. 2007. 16.

MARTINS, L.; SERPA, M.; REIS, J. M. Renovação de constantes harmônicas: critérios e procedimentos utilizados no IH. **ANAIS do Instituto Hidrográfico: 2003-2004**, Lisboa, n. 17, p. 55-66, 2005.

MAZZINI, P. L.; SCHETTINI, C. A. Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial Aplicadas a Dados Hidrográficos Costeiros Quase-Sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, 13, 2009. 53-64.

MCCORMICK, J. M.; THIRUVATHUKAL, J. V. **Elements of Oceanography**. 2^a. ed. Orlando: Saundres College Publishing, 1981. 448 p.

MESQUITA, A. R. As Marés: do 1500 até o Brasil 2000. **Afro-America Gloss News**, v. 4, n. 1, 2000. Disponível em: <http://www.mares.io.usp.br/aagn/41o2.html/>.

MESQUITA, A. R. D. Considerações sobre as Variações do Nível do Mar do Litoral do Brasil no Século XX. **Afro-America Gloss News**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 20, 2009.

MINGUENS, A. P. **Navegação: A Ciência e a Arte - Volume I - Navegação Costeira**, Estimada e em Águas Restritas. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1996. 509 p.

NATIONAL CARTOGRAPHIC CENTER OF IRAN. Persian Gulf, Tide Prediction. **Department of Hydrography**, 2012. Disponível em: <http://www.iranhydrography.org/default.asp>>. Acesso em: 7 Abr. 2012.

NATIONAL OCEANOGRAPHY CENTRE. Tidal predictions. **National Oceanography Centre**, 2012. Disponível em: <http://www.pol.ac.uk/ntslf/tidalp.html>>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

NOAA - NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. History & Theory. **NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration**, 2012. Disponível em: <http://www.co-ops.nos.noaa.gov/predhist.html>>. Acesso em: 21 Mar. 2012.

NOAA - NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Gravity, Inertia, and Bulges. **Ocean Service Education**, 2008. Disponível em: http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/supp_tide03.html>. Acesso em: 2 Dez. 2011.

NOAA - NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Tidal Variations. **Ocean Service Education**, 2008. Disponível em: http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/media/supp_tide06b.html>. Acesso em: 11 Nov. 2011.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. NOAA Tide Predictions. **NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration**, 2012. Disponível em: <http://tidesandcurrents.noaa.gov/tide_predictions.shtml?gid=226>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. ODIN - Observational Data Interactive Navigation. **NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration**, 2012. Disponível em: <<http://tidesandcurrents.noaa.gov/gmap3/index.shtml?type=VerifiedData®ion=>>. Acesso em: 6 Abr. 2012.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Tide-Predicting Machines from Other Countries. **NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration**, 2012. Disponível em: <<http://www.co-ops.nos.noaa.gov/predma3.html>>. Acesso em: 21 Mar. 2012.

PARKER, B. Images. **The Power of the Sea: Tsunamis, Storm Surges, Rogue Waves, and Our Quest to Predict Disasters**, 2010. Disponível em: <<http://thepowerofthesea.com/images.html>>. Acesso em: 23 Mar. 2012.

PASSOS, L. G. D. **Simulação da Maré na Margem Continental da Região Localizada entre as Latitudes 15,8°S a 21,9°S e as Longitudes 34°W a 41°W**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 82 p. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Departamento de Ecologia e Recursos Naturais.

PEKERIS, C. L.; ACCAD, A. Solution of the Laplace's equation for the M2 tide in the world ocean. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, n. 265, p. 413-436, 1969.

PINTO, J. V. **Comparação de Modelos para o Cálculo de Perturbações Orbitais Devidas à Maré Terrestre**. Guaratinguetá: UNESP, 2005. 201 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá.

POND, S.; PICKARD, G. L. **Introductory Dinamical Oceanography**. 2^a. ed. Nova York: Pergamon Press, 1983. 329 p.

PUGH, D. T. **Tides, Surges and Mean Sea-Level**. Swindon: John Wiley & Sons Ltd., 1987. 472 p.

PUGH, D. T. **Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather, and Climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 267 p.

RAY, R. D. **A global ocean tide model from TOPEX/POSEIDON altimetry: GOT99.2.** NASA. Greenbelt, p. 58. 1999. Report NASA/M-1999-209478Rep.

SATO, O. **Ondas e Marés.** São Paulo: Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo, 2010. 99 p. Notas de Aula - Departamento de Oceanografia Química, Física e Geológica.

SAWICKI, M. Myths about Gravity and Tides. **The Physics Teacher**, n. 37, p. 438-441, Out. 1999. Versão ampliada e revisada em 31 de dezembro de 2005.

SCHWIDERSKI, E. W. Ocean Tides. **Marine Geod.**, n. 3, p. 161-217, 1980.

SCHWIDERSKI, E. W. Atlas of ocean tidal charts and maps, the semi diurnal principal lunar tide M2. **Marine Geod.**, n. 6, p. 219-265, 1983.

SEIBOLD, E.; BERGER, W. H. **The Sea Floor: An Introduction to Marine Geology.** 2^a. ed. Berlim: Springer-Verlag, 1993. 356 p.

SELIGMAN, C. The Motion of the Moon. **The Seligman Star Theater**, 2011. Disponível em: <<http://cseligman.com/text/sky/moonmotion.htm>>. Acesso em: 17 Nov. 2011.

SHUM, C. K. et al. Accuracy assessment of recent ocean tide models. **Journal of Geophysical Research**, v. C11, n. 102, p. 25173-25194, 1997.

SHUM, C. K.; YU, N. H.; CHARLES, M. Recent advances in ocean tidal science. **Journal of the Geodetic Society of Japan**, v. 1, n. 47, p. 228-237, 2001.

STEWART, R. H. **Introduction to Physical Oceanography.** Texas: Edição Eletrônica, 2008. 345 p. Disponível em: http://oceanworld.tamu.edu/home/course_book.htm.

TARANTOLA, A. How Tide Predicting Machines Saved D-Day. **Gizmodo**, 2011. Disponível em: <<http://gizmodo.com/5849742/how-tide-predicting-machines-saved-d+day>>. Acesso em: 25 Mar. 2012.

TEXAS A&M UNIVERSITY. Tides. **Oceanography**, 2012. Disponível em: <<http://www.ocean.tamu.edu/wormuth/tidestxt.html>>. Acesso em: 22 Jun. 2012.

THEBERGE, A. E. 150 years of tides on the western coast: The longest series of tidal observations in the Americas. **NOAA Central Library**, p. 15, 2005.

THURMAN, H. V.; TRUJILLO, A. P. **Essentials of Oceanography**. 6^a. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1999. 527 p.

TORANZOS, F. I. **Estatística**. São Paulo: Mestre Jou, 1969. 381 p.

TUREKIAN, K. K. **Oceanos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1969. 151 p.

TURNER, J. F. et al. Interpolation of Tidal Levels in the Coastal Zone for the Creation of a Hydrographic Datum. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v. 27, n. 3, p. 605-613, Mar. 2010.

UNIVERSITY OF VICTORIA. Some EOS 110 & EOS 340 Image. **University of Victoria**, 2005. Disponível em: <<http://web.uvic.ca/~rdewey/eos110/webimages.html>>. Acesso em: 31 Mai. 2012.

URRUTIA, J. **Cartografía, orientación y GPS**: Manual práctico para el montañero y el excursionista. Lasarte-Oria: Etor-Ostoa, 2006. 294 p.

WANG, Q. **Finite element modeling of tides and currents of the Pascagoula River**. Orlando: University of Central Florida, 2008. 128 p. Tese (Master of Science em Civil, Environmental and Construction Engineering) - College of Engineering and Computer Science.

WANG, Y. **Ocean Tide Modeling in the Southern Ocean**. The Ohio State University. Columbus, p. 64. 2004. (Report n° 471).

WANTMAN, S. Attractions. **Birch Villa Cottages**, 1972. Disponível em: <<http://www.birchvillacottages.com/attractions.html>>. Acesso em: 18 Nov. 2011.

WEYL, P. K. **Oceanography**: An Introduction to the Marine Environment. Nova York: John Wiley & Sons, 1970. 535 p.

WOOLF, A.; MADDOCKS, S. **Explorers and Exploration**. Tarrytown: Marshall Cavendish, v. X, 2005. 724-801 p.

APÊNDICE A – TÁBUAS DAS MARÉ UTILIZADAS

- **Porto de Luís Correia**

Localização: 2,852 S; 41,645 O

Nível médio (z_0): 1,71 m

Tabela 16 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Luís Correia

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:54	1,2	10:38	2,3	17:02	1,2	23:24	2,1
02/03/2012	05:15	1,3	11:58	2,3	18:43	1,1	-	-
03/03/2012	00:41	2,2	06:45	1,2	13:08	2,4	19:53	0,9
04/03/2012	01:43	2,4	07:53	1,0	14:04	2,6	20:39	0,7
05/03/2012	02:32	2,6	08:45	0,8	14:53	2,9	21:19	0,4
06/03/2012	03:13	2,9	09:30	0,5	15:36	3,1	21:58	0,2
07/03/2012	03:54	3,1	10:11	0,2	16:17	3,3	22:39	0,0
08/03/2012	04:36	3,3	10:54	0,0	17:00	3,4	23:17	-0,1
09/03/2012	05:15	3,4	11:38	-0,1	17:43	3,4	23:58	-0,1
10/03/2012	05:58	3,5	12:19	-0,1	18:26	3,4	-	-
11/03/2012	00:41	0,0	06:43	3,4	13:04	0,0	19:13	3,2
12/03/2012	01:24	0,2	07:30	3,2	13:53	0,2	20:06	2,9
13/03/2012	02:11	0,5	08:23	3,0	14:45	0,5	21:09	2,7
14/03/2012	03:08	0,8	09:28	2,8	15:49	0,7	22:26	2,5
15/03/2012	04:21	1,0	10:47	2,6	17:11	0,9	23:49	2,4
16/03/2012	05:49	1,0	12:08	2,6	18:49	0,9	-	-
17/03/2012	01:00	2,5	07:09	1,0	13:19	2,7	19:56	0,7
18/03/2012	02:02	2,6	08:11	0,8	14:17	2,8	20:47	0,6
19/03/2012	02:54	2,8	09:02	0,6	15:06	2,9	21:26	0,4
20/03/2012	03:36	2,9	09:45	0,4	15:49	3,0	22:02	0,3
21/03/2012	04:08	3,0	10:21	0,3	16:24	3,1	22:38	0,3
22/03/2012	04:43	3,1	10:56	0,2	16:56	3,1	23:06	0,3
23/03/2012	05:11	3,1	11:28	0,2	17:28	3,1	23:38	0,3
24/03/2012	05:41	3,1	12:00	0,3	17:58	3,0	-	-
25/03/2012	00:06	0,4	06:11	3,0	12:32	0,4	18:30	2,9
26/03/2012	00:39	0,5	06:45	2,9	13:04	0,5	19:06	2,8
27/03/2012	01:09	0,7	07:19	2,8	13:41	0,6	19:47	2,6
28/03/2012	01:45	0,8	07:58	2,6	14:19	0,8	20:34	2,4
29/03/2012	02:23	1,0	08:47	2,5	15:09	1,0	21:38	2,3
30/03/2012	03:15	1,2	09:53	2,4	16:17	1,1	22:49	2,2
31/03/2012	04:32	1,2	11:11	2,4	17:49	1,1	23:59	2,3

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Porto de Natal**

Localização: 5,778 S; 35,208 O

Nível médio (z_0): 1,33 m

Tabela 17 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Natal

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:23	0,9	10:11	1,7	16:45	0,9	22:56	1,6
02/03/2012	05:13	1,0	11:38	1,7	18:19	0,9	-	-
03/03/2012	00:23	1,7	06:36	0,9	12:54	1,8	19:17	0,7
04/03/2012	01:32	1,8	07:28	0,7	13:54	2,0	20:00	0,5
05/03/2012	02:23	2,0	08:09	0,5	14:41	2,2	20:41	0,3
06/03/2012	03:06	2,2	08:51	0,3	15:23	2,3	21:17	0,2
07/03/2012	03:49	2,3	09:30	0,2	16:04	2,5	21:58	0,0
08/03/2012	04:26	2,4	10:09	0,0	16:45	2,6	22:38	0,0
09/03/2012	05:06	2,5	10:53	0,0	17:26	2,6	23:17	0,0
10/03/2012	05:47	2,5	11:34	0,0	18:08	2,5	-	-
11/03/2012	00:00	0,1	06:28	2,4	12:17	0,1	18:53	2,4
12/03/2012	00:45	0,2	07:13	2,3	13:04	0,3	19:43	2,2
13/03/2012	01:34	0,4	08:04	2,1	14:00	0,5	20:41	2,0
14/03/2012	02:32	0,6	09:04	2,0	15:13	0,6	21:54	1,8
15/03/2012	03:54	0,8	10:21	1,9	16:53	0,7	23:23	1,8
16/03/2012	05:28	0,8	11:51	1,9	18:17	0,7	-	-
17/03/2012	00:49	1,8	06:43	0,7	13:06	2,0	19:21	0,6
18/03/2012	01:51	1,9	07:39	0,6	14:04	2,1	20:08	0,4
19/03/2012	02:39	2,1	08:21	0,5	14:53	2,2	20:51	0,3
20/03/2012	03:17	2,2	09:00	0,4	15:32	2,3	21:23	0,3
21/03/2012	03:54	2,2	09:36	0,3	16:06	2,4	21:56	0,2
22/03/2012	04:28	2,3	10:08	0,2	16:41	2,4	22:26	0,2
23/03/2012	04:58	2,3	10:43	0,2	17:11	2,3	22:58	0,3
24/03/2012	05:28	2,3	11:13	0,3	17:43	2,3	23:26	0,3
25/03/2012	05:56	2,2	11:47	0,3	18:11	2,2	23:58	0,4
26/03/2012	06:26	2,1	12:17	0,4	18:45	2,1	-	-
27/03/2012	00:28	0,5	06:58	2,0	12:53	0,6	19:19	1,9
28/03/2012	01:02	0,7	07:38	1,9	13:30	0,7	20:04	1,8
29/03/2012	01:41	0,8	08:23	1,8	14:23	0,8	20:58	1,7
30/03/2012	02:38	0,9	09:21	1,8	15:45	0,9	22:08	1,7
31/03/2012	04:11	1,0	10:39	1,7	17:24	0,8	23:35	1,7

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Terminal Portuário do Pecém**

Localização: 3,535 S; 38,798 O

Nível médio (z_0): 1,48 m

Tabela 18 – Tábua da maré de 03/2012 do Terminal Portuário do Pecém

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:41	1,10	10:08	2,00	16:53	1,00	23:13	1,80
02/03/2012	05:09	1,20	11:38	2,00	18:19	1,00	-	-
03/03/2012	00:41	1,90	06:38	1,10	12:56	2,10	19:26	0,80
04/03/2012	01:43	2,10	07:43	0,90	13:54	2,30	20:17	0,60
05/03/2012	02:30	2,30	08:32	0,60	14:43	2,50	21:00	0,40
06/03/2012	03:11	2,50	09:15	0,40	15:26	2,70	21:43	0,20
07/03/2012	03:54	2,70	09:58	0,20	16:09	2,90	22:23	0,00
08/03/2012	04:34	2,90	10:41	0,00	16:53	3,00	23:02	0,00
09/03/2012	05:11	2,90	11:23	0,00	17:34	3,00	23:45	0,00
10/03/2012	05:54	3,00	12:06	0,00	18:17	2,90	-	-
11/03/2012	00:26	0,10	06:38	2,90	12:53	0,10	19:02	2,70
12/03/2012	01:09	0,30	07:21	2,70	13:39	0,30	19:53	2,50
13/03/2012	02:00	0,50	08:11	2,50	14:36	0,40	20:51	2,30
14/03/2012	02:56	0,70	09:11	2,40	15:41	0,60	22:00	2,10
15/03/2012	04:08	0,90	10:24	2,20	17:00	0,70	23:26	2,10
16/03/2012	05:34	0,90	11:51	2,20	18:24	0,70	-	-
17/03/2012	00:49	2,10	06:54	0,90	13:04	2,30	19:34	0,60
18/03/2012	01:53	2,20	07:56	0,70	14:04	2,40	20:24	0,50
19/03/2012	02:41	2,40	08:45	0,60	14:53	2,50	21:08	0,40
20/03/2012	03:19	2,50	09:24	0,50	15:34	2,60	21:47	0,30
21/03/2012	03:56	2,60	10:02	0,40	16:09	2,70	22:21	0,30
22/03/2012	04:28	2,60	10:38	0,30	16:45	2,70	22:54	0,30
23/03/2012	05:00	2,60	11:09	0,30	17:17	2,60	23:24	0,40
24/03/2012	05:32	2,60	11:43	0,30	17:53	2,50	23:56	0,50
25/03/2012	06:02	2,50	12:15	0,40	18:24	2,40	-	-
26/03/2012	00:26	0,60	06:34	2,40	12:49	0,50	18:58	2,30
27/03/2012	00:56	0,70	07:04	2,30	13:21	0,70	19:32	2,10
28/03/2012	01:28	0,90	07:39	2,20	14:02	0,80	20:13	2,00
29/03/2012	02:06	1,00	08:23	2,10	14:54	0,90	21:09	1,90
30/03/2012	03:04	1,10	09:24	2,00	16:04	1,00	22:28	1,80
31/03/2012	04:26	1,10	10:51	2,00	17:28	0,90	23:53	1,90

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Porto de Cabedelo**

Localização: 6,970 S; 34,840 O

Nível médio (z_0): 1,34 m

Tabela 19 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Cabedelo

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:19	1,00	09:56	1,80	16:34	0,90	22:49	1,70
02/03/2012	05:00	1,00	11:30	1,80	18:00	0,80	-	-
03/03/2012	00:15	1,80	06:19	0,90	12:41	1,90	19:06	0,70
04/03/2012	01:19	1,90	07:21	0,70	13:38	2,10	19:58	0,50
05/03/2012	02:08	2,10	08:08	0,50	14:24	2,30	20:41	0,30
06/03/2012	02:54	2,30	08:53	0,30	15:08	2,40	21:19	0,20
07/03/2012	03:36	2,40	09:34	0,20	15:51	2,60	21:58	0,00
08/03/2012	04:13	2,50	10:11	0,10	16:30	2,70	22:38	0,00
09/03/2012	04:54	2,60	10:54	0,00	17:09	2,70	23:17	0,00
10/03/2012	05:32	2,60	11:34	0,00	17:53	2,60	23:58	0,10
11/03/2012	06:13	2,60	12:17	0,10	18:38	2,50	-	-
12/03/2012	00:41	0,20	06:58	2,40	13:04	0,20	19:30	2,30
13/03/2012	01:28	0,40	07:49	2,30	14:00	0,40	20:26	2,10
14/03/2012	02:26	0,60	08:53	2,10	15:15	0,60	21:39	1,90
15/03/2012	03:51	0,80	10:08	2,00	16:47	0,70	23:09	1,80
16/03/2012	05:24	0,90	11:39	1,90	18:19	0,70	-	-
17/03/2012	00:43	1,90	06:45	0,80	12:58	2,00	19:26	0,60
18/03/2012	01:47	2,00	07:45	0,60	13:58	2,20	20:13	0,50
19/03/2012	02:34	2,10	08:26	0,50	14:45	2,30	20:53	0,40
20/03/2012	03:11	2,20	09:04	0,40	15:21	2,40	21:24	0,30
21/03/2012	03:45	2,30	09:39	0,30	15:54	2,40	21:56	0,30
22/03/2012	04:13	2,40	10:09	0,20	16:26	2,40	22:24	0,20
23/03/2012	04:43	2,40	10:43	0,20	16:56	2,40	22:56	0,30
24/03/2012	05:11	2,40	11:11	0,30	17:26	2,40	23:23	0,30
25/03/2012	05:41	2,30	11:43	0,30	17:56	2,30	23:53	0,40
26/03/2012	06:08	2,30	12:11	0,40	18:26	2,10	-	-
27/03/2012	00:17	0,50	06:39	2,20	12:47	0,60	19:04	2,00
28/03/2012	00:51	0,70	07:11	2,00	13:23	0,70	19:47	1,90
29/03/2012	01:32	0,80	08:00	1,90	14:19	0,80	20:45	1,80
30/03/2012	02:32	0,90	09:08	1,80	15:45	0,90	22:02	1,70
31/03/2012	04:11	1,00	10:36	1,80	17:09	0,80	23:33	1,80

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Porto do Recife**

Localização: 8,057 S; 34,868 O

Nível médio (z_0): 1,28 m

Tabela 20 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto do Recife

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:09	1,0	09:39	1,7	16:08	0,9	22:26	1,6
02/03/2012	04:51	1,0	11:00	1,7	17:45	0,9	23:53	1,7
03/03/2012	06:15	0,9	12:13	1,8	18:53	0,7	-	-
04/03/2012	00:54	1,8	07:09	0,7	13:09	2,0	19:39	0,5
05/03/2012	01:43	2,0	07:56	0,6	13:58	2,2	20:21	0,3
06/03/2012	02:24	2,2	08:36	0,4	14:41	2,4	21:00	0,2
07/03/2012	03:06	2,4	09:13	0,2	15:21	2,5	21:41	0,0
08/03/2012	03:47	2,5	09:54	0,1	16:02	2,6	22:19	0,0
09/03/2012	04:26	2,5	10:36	0,0	16:47	2,7	23:02	0,0
10/03/2012	05:06	2,5	11:15	0,0	17:30	2,6	23:45	0,1
11/03/2012	05:53	2,4	12:02	0,1	18:15	2,5	-	-
12/03/2012	00:28	0,3	06:38	2,3	12:51	0,3	19:06	2,2
13/03/2012	01:19	0,5	07:28	2,1	13:49	0,5	20:06	2,0
14/03/2012	02:21	0,7	08:30	2,0	15:02	0,6	21:21	1,8
15/03/2012	03:43	0,8	09:51	1,8	16:39	0,7	22:54	1,8
16/03/2012	05:19	0,9	11:19	1,8	18:08	0,7	-	-
17/03/2012	00:17	1,8	06:36	0,8	12:36	1,9	19:11	0,6
18/03/2012	01:17	1,9	07:30	0,6	13:30	2,1	20:00	0,4
19/03/2012	02:02	2,0	08:11	0,5	14:13	2,2	20:39	0,4
20/03/2012	02:38	2,1	08:49	0,4	14:51	2,3	21:11	0,3
21/03/2012	03:09	2,2	09:21	0,3	15:23	2,4	21:43	0,3
22/03/2012	03:41	2,3	09:53	0,2	15:56	2,4	22:11	0,2
23/03/2012	04:09	2,3	10:56	0,2	17:02	2,3	23:09	0,3
24/03/2012	04:45	2,3	10:56	0,2	17:02	2,3	23:09	0,3
25/03/2012	05:15	2,3	11:26	0,3	17:36	2,2	23:41	0,4
26/03/2012	05:51	2,2	12:00	0,4	18:09	2,1	-	-
27/03/2012	00:11	0,5	06:24	2,1	12:34	0,6	18:49	2,0
28/03/2012	00:49	0,7	07:04	1,9	13:11	0,7	19:32	1,8
29/03/2012	01:28	0,8	07:53	1,8	14:04	0,8	20:28	1,7
30/03/2012	02:26	0,9	08:54	1,7	15:19	0,9	21:47	1,6
31/03/2012	03:56	1,0	10:13	1,7	16:54	0,8	23:08	1,7

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Porto de Suape**

Localização: 8,398 S; 34,960 O

Nível médio (z_0): 1,24 m

Tabela 21 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Suape

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	03:16	0,9	09:51	1,6	16:23	0,9	22:51	1,6
02/03/2012	05:02	0,9	11:23	1,7	17:53	0,8	-	-
03/03/2012	00:09	1,7	06:17	0,8	12:30	1,8	18:53	0,6
04/03/2012	01:04	1,9	07:09	0,6	13:19	2,0	19:38	0,4
05/03/2012	01:49	2,0	07:53	0,4	14:00	2,2	20:15	0,2
06/03/2012	02:26	2,2	08:03	0,3	14:41	2,3	20:54	0,1
07/03/2012	03:02	2,3	09:08	0,1	15:17	2,4	21:32	0,0
08/03/2012	03:41	2,4	09:47	0,1	15:58	2,5	22:09	0,0
09/03/2012	04:19	2,4	10:26	0,0	16:38	2,5	22:51	0,0
10/03/2012	05:00	2,4	11:08	0,1	17:19	2,4	23:32	0,1
11/03/2012	05:43	2,3	11:53	0,2	18:06	2,3	-	-
12/03/2012	00:17	0,2	06:30	2,2	12:43	0,3	18:56	2,1
13/03/2012	01:08	0,4	07:23	2,0	13:39	0,5	19:56	2,0
14/03/2012	02:09	0,6	08:26	1,9	14:51	0,6	21:11	1,8
15/03/2012	03:26	0,7	09:49	1,8	16:15	0,7	22:45	1,7
16/03/2012	05:00	0,8	11:17	1,8	17:47	0,6	-	-
17/03/2012	00:09	1,8	06:21	0,7	12:36	1,9	18:58	0,5
18/03/2012	01:15	1,9	07:23	0,6	13:34	2,0	19:53	0,4
19/03/2012	02:06	2,0	08:09	0,5	14:17	2,1	20:34	0,3
20/03/2012	02:47	2,1	08:51	0,4	14:56	2,2	21:09	0,3
21/03/2012	03:19	2,1	09:23	0,3	15:30	2,2	21:41	0,2
22/03/2012	03:51	2,2	09:53	0,3	16:00	2,2	22:09	0,2
23/03/2012	04:15	2,2	10:21	0,3	16:28	2,2	22:38	0,3
24/03/2012	04:45	2,2	10:49	0,3	16:56	2,2	23:04	0,3
25/03/2012	05:09	2,1	11:17	0,4	17:24	2,1	23:34	0,4
26/03/2012	05:39	2,1	11:49	0,4	17:58	2,0	-	-
27/03/2012	00:04	0,5	06:11	2,0	12:23	0,5	18:36	1,9
28/03/2012	00:41	0,6	06:51	1,9	13:08	0,6	19:21	1,8
29/03/2012	01:28	0,8	07:43	1,8	14:08	0,7	20:28	1,6
30/03/2012	02:39	0,9	09:00	1,7	15:34	0,8	22:00	1,6
31/03/2012	04:09	0,9	10:30	1,7	17:02	0,7	23:23	1,7

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

- **Porto de Maceió**

Localização: 9,683 S; 35,725 O

Nível médio (z_0): 1,16 m

Tabela 22 – Tábua da maré de 03/2012 do Porto de Maceió

Data	Hora 1	Altura1	Hora 2	Altura 2	Hora 3	Altura 3	Hora 4	Altura 4
01/03/2012	02:58	0,90	09:23	1,50	16:04	0,80	22:21	1,50
02/03/2012	04:45	0,90	10:58	1,50	17:39	0,70	23:51	1,50
03/03/2012	06:09	0,80	12:13	1,60	18:43	0,60	-	-
04/03/2012	00:53	1,70	07:06	0,70	13:06	1,80	19:32	0,40
05/03/2012	01:39	1,80	07:49	0,50	13:53	2,00	20:11	0,30
06/03/2012	02:17	2,00	08:26	0,30	14:32	2,10	20:51	0,10
07/03/2012	02:58	2,20	09:04	0,20	15:09	2,30	21:28	0,00
08/03/2012	03:36	2,30	09:43	0,10	15:53	2,40	22:06	-0,10
09/03/2012	04:11	2,30	10:21	0,00	16:32	2,40	22:47	0,00
10/03/2012	04:54	2,30	11:00	0,00	17:13	2,30	23:28	0,10
11/03/2012	05:34	2,20	11:45	0,10	18:00	2,20	-	-
12/03/2012	00:11	0,20	06:17	2,10	12:30	0,30	18:51	2,00
13/03/2012	01:02	0,40	07:06	1,90	13:24	0,40	19:51	1,80
14/03/2012	02:02	0,60	08:08	1,70	14:39	0,60	21:08	1,60
15/03/2012	03:26	0,80	09:30	1,60	16:17	0,60	22:49	1,60
16/03/2012	05:04	0,80	11:04	1,60	17:49	0,60	-	-
17/03/2012	00:09	1,70	06:19	0,70	12:19	1,70	18:53	0,50
18/03/2012	01:08	1,80	07:13	0,60	13:13	1,90	19:41	0,40
19/03/2012	01:53	1,90	07:56	0,40	13:56	2,00	20:19	0,30
20/03/2012	02:26	2,00	08:32	0,30	14:34	2,10	20:54	0,20
21/03/2012	03:00	2,10	09:06	0,20	15:08	2,10	21:24	0,20
22/03/2012	03:30	2,10	09:39	0,20	15:43	2,20	21:56	0,20
23/03/2012	04:00	2,10	10:09	0,20	16:13	2,10	22:24	0,20
24/03/2012	04:30	2,10	10:41	0,20	16:47	2,10	22:54	0,30
25/03/2012	05:00	2,00	11:11	0,30	17:17	2,00	23:23	0,40
26/03/2012	05:32	2,00	11:45	0,40	17:53	1,90	23:54	0,50
27/03/2012	06:04	1,90	12:19	0,50	18:30	1,80	-	-
28/03/2012	00:28	0,60	06:43	1,70	13:00	0,60	19:15	1,60
29/03/2012	01:11	0,70	07:30	1,60	13:56	0,70	20:15	1,50
30/03/2012	02:13	0,90	08:38	1,50	15:15	0,80	21:41	1,50
31/03/2012	03:49	0,90	10:06	1,50	16:51	0,70	23:06	1,50

Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

APÊNDICE B – CONSTITUINTES HARMÔNICAS UTILIZADAS

- Porto de Luís Correia**

Localização: 2,852 S; 41,645 O

Nível médio (z_0): 1,71 m

Tabela 23 – Constituintes Harmônicas do Porto de Luís Correia utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Sa	31556955,92	0,059	3,09	NU ₂	45453,62	0,041	2,08
Q ₁	96726,08	0,013	3,07	M ₂	44714,16	1,056	2,43
O ₁	92949,63	0,078	3,35	L ₂	43889,83	0,029	2,44
M ₁	89399,69	0,007	3,33	T ₂	43259,22	0,022	2,58
P ₁	86637,20	0,025	4,05	S ₂	43200,00	0,344	2,78
K ₁	86164,09	0,091	3,79	K ₂	43082,05	0,098	2,72
J ₁	83154,52	0,006	3,25	M ₃	29809,44	0,015	2,97
MNS ₂	47258,16	0,010	1,34	MK ₃	29437,70	0,005	3,54
2N ₂	46459,35	0,031	2,02	M ₄	22357,08	0,011	2,20
MU ₂	46338,33	0,051	1,85	SN ₄	22176,69	0,003	2,23
N ₂	45570,05	0,222	2,16	MS ₄	21972,02	0,021	2,60

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- Paracuru**

Localização: 3,392 S; 39,072 O

Nível médio (z_0): 1,47 m

Tabela 24 – Constituintes Harmônicas de Paracuru utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
O ₁	92949,63	0,058	3,26	M ₂	44714,16	0,985	2,32
M ₁	89399,69	0,014	4,05	L ₂	43889,83	0,025	2,22
P ₁	86637,20	0,024	3,75	T ₂	43259,22	0,018	2,69
K ₁	86164,09	0,072	3,79	S ₂	43200,00	0,301	2,69
2N ₂	46459,35	0,025	1,90	K ₂	43082,05	0,082	2,72
MU ₂	46338,33	0,061	1,99	M ₃	29809,44	0,011	2,76
N ₂	45570,05	0,193	2,11	MS ₄	21972,02	0,009	1,34
NU ₂	45453,62	0,037	2,15				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Ponta do Pecém**

Localização: 3,547 S; 38,812 O

Nível médio (z_0): 1,49 m

Tabela 25 – Constituintes Harmônicas do Porto do Pecém utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
O ₁	92949,63	0,072	3,22	M ₂	44714,16	0,904	2,25
P ₁	86637,20	0,020	3,80	T ₂	43259,21	0,018	2,53
K ₁	86164,09	0,061	3,86	S ₂	43200,00	0,309	2,55
2N ₂	46459,34	0,026	1,57	K ₂	43082,04	0,084	2,57
N ₂	45570,05	0,196	1,92	MK ₃	29437,70	0,014	4,10
NU ₂	45453,61	0,037	1,95				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Porto de Natal**

Localização: 5,778 S; 35,208 O

Nível médio (z_0): 1,33 m

Tabela 26 – Constituintes Harmônicas do Porto de Natal utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
O ₁	92949,63	0,043	3,21	M ₂	44714,16	0,808	2,16
P ₁	86637,20	0,014	4,12	L ₂	43889,83	0,040	1,43
K ₁	86164,09	0,043	4,19	T ₂	43259,22	0,016	2,46
2N ₂	46459,35	0,022	1,88	S ₂	43200,00	0,278	2,46
MU ₂	46338,33	0,038	1,13	K ₂	43082,05	0,076	2,50
N ₂	45570,05	0,168	2,02	M ₄	22357,08	0,032	0,05
NU ₂	45453,62	0,032	2,04				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Tibau do Sul**

Localização: 6,187 S; 35,102 O

Nível médio (z_0): 1,16 m

Tabela 27 – Constituintes Harmônicas de Tibau do Sul utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Mm	2380713,36	0,026	0,73	NU ₂	45453,62	0,026	1,95
MTM	789085,39	0,012	1,92	M ₂	44714,16	0,728	2,11
Msf	1275721,42	0,008	2,71	L ₂	43889,83	0,021	1,82
Q ₁	96726,08	0,011	2,23	T ₂	43259,22	0,013	2,48
O ₁	92949,63	0,055	2,83	S ₂	43200,00	0,228	2,46
M ₁	89399,69	0,003	5,10	K ₂	43082,05	0,061	2,48
P ₁	86637,20	0,014	3,70	MO ₃	30190,69	0,010	4,68
K ₁	86164,09	0,042	3,82	M ₃	29809,44	0,011	2,32
J ₁	83154,52	0,006	4,83	MK ₃	29437,70	0,017	4,31
OO ₁	80301,87	0,005	4,56	MN ₄	22569,03	0,009	2,78
MNS ₂	47258,16	0,005	2,67	M ₄	22357,08	0,014	3,35
2N ₂	46459,35	0,018	1,80	SN ₄	22176,69	0,006	3,11
MU ₂	46338,33	0,026	2,41	MS ₄	21972,02	0,009	3,09
N ₂	45570,05	0,137	1,95				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Porto de Cabedelo**

Localização: 6,973 S; 34,840 O

Nível médio (z_0): 1,18 m

Tabela 28 – Constituintes Harmônicas do Porto de Cabedelo utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Sa	31556955,92	0,085	1,59	M ₂	44714,16	0,805	2,15
Ssa	15778463,36	0,043	0,68	L ₂	43889,83	0,026	2,08
Mf	1180292,34	0,019	6,00	T ₂	43259,21	0,016	2,18
Q ₁	96726,08	0,012	2,20	S ₂	43200,00	0,283	2,48
O ₁	92949,63	0,051	2,29	K ₂	43082,04	0,079	2,34
P ₁	86637,20	0,015	4,01	MO ₃	30190,69	0,003	2,72
K ₁	86164,09	0,048	4,05	M ₃	29809,44	0,006	2,57
2N ₂	46459,34	0,027	1,76	MK ₃	29437,70	0,002	5,57
MU ₂	46338,32	0,024	2,11	M ₄	22357,08	0,008	5,83
N ₂	45570,05	0,168	2,32	MS ₄	21972,02	0,012	0,37
NU ₂	45453,61	0,035	1,92				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Ilha de Itamaracá**

Localização: 7,775 S; 34,888 O

Nível médio (z_0): 1,41 m

Tabela 29 – Constituintes Harmônicas da Ilha de Itamaracá utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Q ₁	96726,08	0,017	2,27	M ₂	44714,16	0,822	2,02
O ₁	92949,63	0,054	2,46	T ₂	43259,22	0,018	2,53
P ₁	86637,20	0,012	3,87	S ₂	43200,00	0,311	2,55
K ₁	86164,09	0,036	3,98	K ₂	43082,05	0,084	2,58
2N ₂	46459,35	0,025	1,55	M ₄	22357,08	0,023	5,81
N ₂	45570,05	0,191	1,78	MS ₄	21972,02	0,027	0,21
NU ₂	45453,62	0,036	1,82				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Porto do Recife**

Localização: 8,057 S; 34,865 O

Nível médio (z_0): 1,14 m

Tabela 30 – Constituintes Harmônicas do Porto do Recife utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Sa	31556955,92	0,053	0,87	MU ₂	46338,32	0,027	1,62
Ssa	15778463,36	0,020	2,88	N ₂	45570,05	0,153	1,80
Mm	2380713,36	0,010	0,80	NU ₂	45453,61	0,030	1,78
Mf	1180292,34	0,018	6,25	M ₂	44714,16	0,762	1,94
Msf	1275721,42	0,010	6,11	L ₂	43889,83	0,015	2,32
Q ₁	96726,08	0,014	1,99	T ₂	43259,21	0,014	2,09
O ₁	92949,63	0,050	2,44	S ₂	43200,00	0,275	2,20
M ₁	89399,69	0,005	5,99	K ₂	43082,04	0,081	2,08
P ₁	86637,20	0,014	3,82	M ₃	29809,44	0,008	1,92
K ₁	86164,09	0,043	3,94	M ₄	22357,08	0,009	2,04
MNS ₂	47258,16	0,006	1,31	MS ₄	21972,02	0,006	5,27
2N ₂	46459,34	0,024	1,59				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Porto de Suape**

Localização: 8,358 S; 34,952 O

Nível médio (z_0): 1,25 m

Tabela 31 – Constituintes Harmônicas do Porto de Suape utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Q ₁	96726,08	0,014	1,83	T ₂	43259,21	0,017	2,27
O ₁	92949,63	0,052	2,46	S ₂	43200,00	0,281	2,29
M ₁	89399,69	0,008	2,16	K ₂	43082,04	0,076	2,30
P ₁	86637,20	0,013	3,86	MO ₃	30190,69	0,003	1,71
K ₁	86164,09	0,040	3,98	M ₃	29809,44	0,008	2,30
2N ₂	46459,34	0,020	1,68	MK ₃	29437,70	0,004	4,05
MU ₂	46338,32	0,029	1,66	MN ₄	22569,02	0,004	2,15
N ₂	45570,05	0,151	1,85	M ₄	22357,08	0,006	3,11
NU ₂	45453,61	0,029	1,87	MS ₄	21972,02	0,002	0,02
M ₂	44714,16	0,738	2,02				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Tamandaré**

Localização: 8,760 S; 35,100 O

Nível médio (z_0): 1,24 m

Tabela 32 – Constituintes Harmônicas de Tamandaré utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Mm	2380713,36	0,047	3,39	M ₂	44714,16	0,748	2,15
Msf	1275721,42	0,009	5,29	L ₂	43889,83	0,087	0,66
Q ₁	96726,08	0,018	4,00	T ₂	43259,22	0,016	2,23
O ₁	92949,63	0,060	2,62	S ₂	43200,00	0,276	2,23
M ₁	89399,69	0,011	5,29	K ₂	43082,05	0,075	2,23
P ₁	86637,20	0,017	3,72	MO ₃	30190,69	0,001	3,70
K ₁	86164,09	0,051	3,72	M ₃	29809,44	0,006	2,43
J ₁	83154,52	0,005	3,44	MK ₃	29437,70	0,006	1,69
OO ₁	80301,87	0,003	1,01	MN ₄	22569,03	0,006	3,61
2N ₂	46459,35	0,019	3,56	M ₄	22357,08	0,017	2,98
MU ₂	46338,33	0,028	3,47	SN ₄	22176,69	0,005	3,61
N ₂	45570,05	0,143	2,86	MS ₄	21972,02	0,006	2,25
NU ₂	45453,62	0,028	2,86				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

- **Porto de Maceió**

Localização: 9,682 S; 35,725 O

Nível médio (z_0): 1,08 m

Tabela 33 – Constituintes Harmônicas do Porto de Maceió utilizadas

Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)	Componente	Período (s)	Altura (m)	Fase (rad)
Sa	31556955,92	0,035	3,35	N ₂	45570,05	0,137	1,69
Ssa	15778463,36	0,024	2,29	NU ₂	45453,61	0,028	2,44
Mm	2380713,36	0,007	4,03	M ₂	44714,16	0,716	1,87
Mf	1180292,34	0,021	0,35	L ₂	43889,83	0,018	1,94
Msf	1275721,42	0,036	3,68	T ₂	43259,21	0,013	5,76
Q ₁	96726,08	0,017	4,89	S ₂	43200,00	0,267	2,08
O ₁	92949,63	0,057	5,34	K ₂	43082,04	0,074	2,01
M ₁	89399,69	0,001	0,59	M ₃	29809,44	0,008	4,89
K ₁	86164,09	0,031	0,52	M ₄	22357,08	0,009	3,04
2N ₂	46459,34	0,031	1,22	MS ₄	21972,02	0,018	1,33
MU ₂	46338,32	0,024	1,33				

Fonte: (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR, 2009).

APÊNDICE C – CÓDIGO FONTE DAS FUNÇÕES DE INTERPOLAÇÃO DO SETMA

- **Função Interpolação Temporal**

```
float altMare(float tempoDesejado, float tempoAnterior, float tempoPosterior, float alturaAnterior,
             float alturaPosterior, int diaDesejado, float tempo1, float tempo2, float tempo3, float
             tempo4, float altura1, float altura2, float altura3, float altura4)
{
    float total, parcial, N1, N3, altura;

//----- 1ª sub-rotina

    if (tempoDesejado <= tempo1)
    {
        tempo1 = tempo1 + 24;
        total = tempo1 - tempoAnterior;
        tempoDesejado = tempoDesejado + 24;
        parcial = tempoDesejado - tempoAnterior;

        N1 = 1 - 3*((parcial/total)*(parcial/total)) + (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));
        N3 = 3*((parcial/total)*(parcial/total)) - (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));

        altura = alturaAnterior*N1 + altura1*N3;

        return altura;
    }

//----- 2ª sub-rotina

    if ((tempoDesejado > tempo1) && (tempoDesejado <= tempo2))
    {
        total = tempo2 - tempo1;
        parcial = tempoDesejado - tempo1;

        N1 = 1 - 3*((parcial/total)*(parcial/total)) + (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));
        N3 = 3*((parcial/total)*(parcial/total)) - (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));

        altura = altura1*N1 + altura2*N3;

        return altura;
    }

//----- 3ª sub-rotina

    if ((tempoDesejado > tempo2) && (tempoDesejado <= tempo3))
    {
        total = tempo3 - tempo2;
        parcial = tempoDesejado - tempo2;

        N1 = 1 - 3*((parcial/total)*(parcial/total)) + (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));
        N3 = 3*((parcial/total)*(parcial/total)) - (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));

        altura = altura2*N1 + altura3*N3;
    }
}
```

```

        return altura;
    }

//----- 4ª sub-rotina

    if ((tempoDesejado > tempo3) && (tempoDesejado <= tempo4))
    {
        total = tempo4 - tempo3;
        parcial = tempoDesejado - tempo3;

        N1 = 1 - 3*((parcial/total)*(parcial/total)) + (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));
        N3 = 3*((parcial/total)*(parcial/total)) - (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));

        altura = altura3*N1 + altura4*N3;

        return altura;
    }

//----- 5ª sub-rotina

    if (tempoDesejado > tempo4)
    {
        total = (tempoPosterior + 24) - tempo4;
        parcial = tempoDesejado - tempo4;

        N1 = 1 - 3*((parcial/total)*(parcial/total)) + (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));
        N3 = 3*((parcial/total)*(parcial/total)) - (2*((parcial/total)*(parcial/total)*(parcial/total)));

        altura = altura4*N1 + alturaPosterior*N3;

        return altura;
    }

    return 0;
}

```

- **Função Interpolação Espacial**

```

float alturaE(float altura1, float altura2, float dist1, float dist2)
{
    float altura;

    altura = (((altura1*dist2) + (altura2*dist1))/(dist1 + dist2));

    return altura;
}

```

ANEXO A – MANUAL DO SETMA

1. Visão Geral

O SETMA é uma ferramenta computacional, desenvolvida em C++, que tem como função principal simular a maré astronômica. Nestas simulações não é levada em consideração a influência das condições atmosféricas (vento, pressão atmosférica).

Para realizar as simulações ele usa apenas dados das Tábuas das Marés da DHN dos portos adjacentes ao local de interesse, dispensando o uso de longas séries de dados, ou das constituintes harmônicas.

1.1 Instalação

O SETMA não precisa ser instalado antes de ser utilizado. Uma consequência disso é ele poder ser usado diretamente a partir de um dispositivo USB, por exemplo, sem que haja a necessidade de se copiar os seus arquivos para o computador.

Para utilizar o programa basta abrir o arquivo SETMA1.0.exe que se encontra na pasta SETMA.

Antes da primeira utilização do programa deve-se criar uma pasta chamada SETMA dentro da pasta Documentos do Windows do computador onde vai ser utilizado o programa.

A não criação dessa pasta resultará no não aproveitamento total das funcionalidades do programa.

1.2 Janelas

Existem basicamente 4 janelas no programa. A *Principal*, onde são feitas previsões pontuais, ou seja, para uma data, local e horário específico. A janela *Maregrama* onde é gerada a curva da altura de maré de um mês inteiro para determinado local. A janela *Novo Porto*, onde podem ser cadastradas novas bases de dados. E por fim, a janela *Tábua de Maré*, onde podem ser gerados os arquivos com os dados que o programa lê para realizar suas previsões.

1.2.1 Janela Principal

Esta é a janela mostrada quando o programa é aberto (Figura 60). A janela *Principal* é dividida em 4 áreas. A área *Local*, a área *Portos Secundários*, a área *Data* e a área *Resultado*.

Figura 60 – Tela principal do software SETMA



Fonte: O autor.

1.2.1.1 Área Local

Essa área da janela *Principal* apresenta o campo de seleção *Tipo de Previsão*, dividido em *Localidade* e *Coordenadas*.

Possui o campo de escolha *Cidade*, com uma lista inicial de 54 locais cadastrados, que podem ser ampliada pelo usuário (Tabela 34).

E apresenta também os campos *Latitude* e *Longitude*, campos estes liberados apenas quando da seleção da previsão por coordenadas.

Tabela 34 – Lista dos locais cadastrados no campo Cidade (Continua)

Local	Local
Atracadouro de Breves (PA)	Porto de Mucuripe - Fortaleza (CE)
Barra de Paranaguá – Canal da Galheta (PR)	Porto de Natal - CPRN (RN)
Barra de Paranaguá – Canal Sueste (PR)	Porto de Paranaguá - Cais Oeste (PR)
Barra Norte do Rio Amazonas (AP)	Porto do Recife (PE)
Capitania dos Portos de Sergipe (SE)	Porto de Salvador (BA)
Fundeadoiro da Estação Antártica	Porto de Santana - Icomi (AP)
Fundeadoiro de Salinópolis (PA)	Porto de Santos - Torre grande (SP)
Ilha da Trindade (BRASIL)	Porto de São Francisco do Sul (SC)

Tabela 34 – Lista dos locais cadastrados no campo Cidade (Conclusão)

Local	Local
Ilha de Fernando de Noronha (PE)	Porto de São Sebastião (SP)
Ilha do Mosqueiro (PA)	Porto de Suape (PE)
Ilha dos Guarás (PA)	Porto de Tutóia (MA)
Porto de Angra dos Reis (RJ)	Porto de Vila do Conde (PA)
Porto de Aratu - Base Naval (BA)	Porto de Vitória (ES)
Porto de Areia Branca - Termisa (RN)	Porto do Forno (RJ)
Porto de Belém (PA)	Porto do Rio de Janeiro - Ilha Fiscal (RJ)
Porto de Cabedelo (PB)	Porto do Rio Grande (RS)
Porto de Florianópolis (SC)	Porto de Tubarão (ES)
Porto de Guamaré (RN)	São Luís (MA)
Porto de Ilhéus - Malhado (BA)	Terminal da Alumar (MA)
Porto de Imbituba (SC)	Terminal da Ilha Guaíba (RJ)
Porto de Itaguaí (RJ)	Terminal da Ponta da Madeira (MA)
Porto de Itajaí (SC)	Terminal da Ponta do Ubu (ES)
Porto de Itaquí (MA)	Terminal de Barra do Riacho (ES)
Porto de Luís Correia (PI)	Terminal Marítimo de Imbetiba (RJ)
Porto de Macau (RN)	Terminal Portuário da Ponta do Félix (PR)
Porto de Maceió (AL)	Terminal Marítimo Inácio Barbosa (SE)
Porto da Madre de Deus (BA)	Terminal Portuário do Pecém (CE)

Fonte: O autor.

1.2.1.2 Área Portos Secundários

Aqui, nessa área, estão contidos 2 campos de seleção denominados *Porto Superior* e *Porto Inferior*.

Essa área é de utilização opcional, por isso ela começa bloqueada, só sendo liberada caso o usuário selecione a opção *Escolher Portos Secundários Manualmente* no menu *Opções* contido na *Barra de Menus* que será apresentada mais a frente.

Ela ainda apresenta ao todo 6 campos de visualização onde são mostrados, quando da sua utilização, as distâncias entre os locais selecionados nos campos *Porto Superior* e *Porto Inferior*, e o local selecionado em *Cidade* na área *Local* apresentada no tópico anterior.

1.2.1.3 Área Data

Já essa área apresenta 5 campos que devem ser utilizados para inserção da data e horário em que vai ser feita a previsão da maré.

Os campos são: *Dia*, *Mês*, *Ano* e *Hora* que apresenta dois campos, um para a entrada da hora e o outro para a entrada dos minutos.

1.2.1.4 Área Resultado

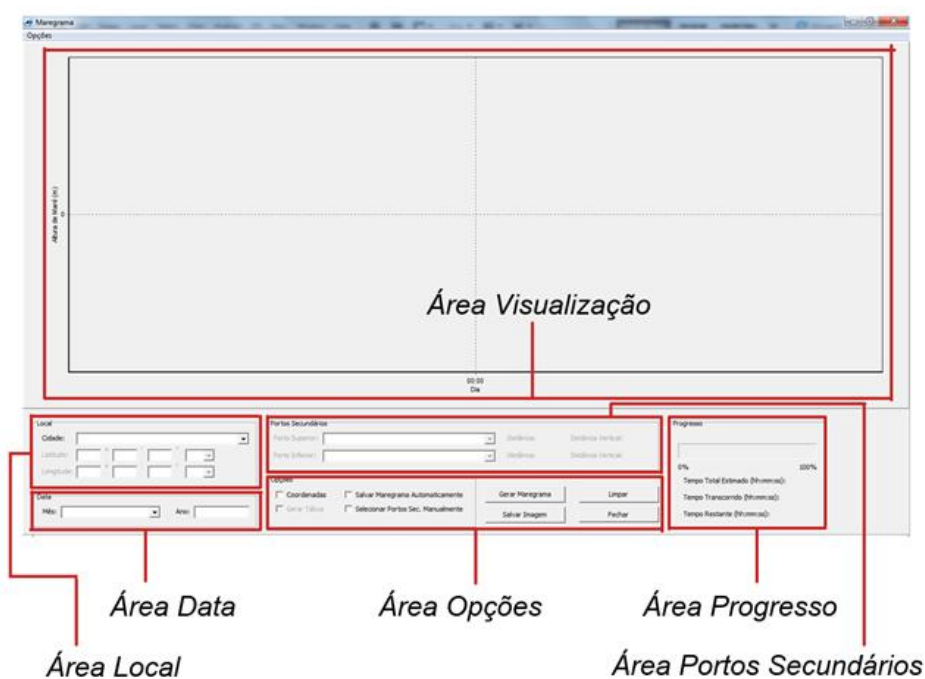
Essa área é exclusivamente de visualização, mostrando o resultado da previsão para as condições introduzidas nas áreas anteriores.

1.2.2 Janela Maregrama

A janela *Maregrama* é acessada através do menu *Opções* na *Barra de Menu* da janela *Principal*. Essa janela, assim como a janela *Principal*, é dividida em áreas.

São 6 áreas ao todo, entre áreas de visualização, seleção e opcionais (Figura 61).

Figura 61 – Janela Maregrama do software SETMA



Fonte: O autor.

1.2.2.1 Área Visualização

Nessa área são mostrados os resultados da previsão do maregrama.

1.2.2.2 Área Local

Assim como na janela *Principal*, essa área contém campo para seleção do local selecionado e para a entrada da latitude e longitude do local quando selecionada a opção de previsão por coordenadas contidas na área *Opções*.

1.2.2.3 Área Data

Apresenta campos de escolha do mês e do ano em que será feita a previsão do maregrama.

1.2.2.4 Área Portos Secundários

Essa área é similar a de mesmo nome presente na janela *Principal* com as opções de seleção *Porto Superior* e *Porto Inferior*, e as distâncias entre eles e o local selecionado.

1.2.2.5 Área Progresso

Área de visualização do processamento da simulação. Além da porcentagem já efetuada, também é informado o *Tempo Total Estimado*, o *Tempo Transcorrido* e o *Tempo Restante* necessário para a finalização do processamento.

1.2.2.6 Área Opções

Essa área contém algumas opções que podem ser selecionadas antes de iniciar a previsão. Essas opções são *Coordenadas*, *Gerar Tábua*, *Salvar Maregrama Automaticamente* e *Selecionar Portos Sec. Manualmente*. Cada uma dessas opções será detalhada mais a frente.

Além dessas 4 opções, ainda está incluso nessa área 4 botões que, assim como as opções de seleção, serão detalhados mais a frente.

1.2.3 Janela Novo Porto

Acessada, assim como a janela *Maregrama*, pelo menu *Opções*, essa janela serve para a adição de locais selecionáveis no campo *Cidade* presente tanto na janela *Principal* quanto na janela *Maregrama*, e na janela *Tábua de Maré* que será apresentada a seguir.

A janela *Novo Porto* é a mais simples de todas (Figura 62), contendo apenas o campo *Nome do Local*, e os campos *Latitude* e *Longitude* com espaço para a entrada deles no formato *Grau / Minuto / Segundo / Hemisfério*.

Figura 62 – Janela Novo Porto

Fonte: O autor.

1.2.4 Janela Tábua de Maré

Essa janela (Figura 63) é acessada pelo menu *Arquivo* na janela *Principal*.

Figura 63 – Janela Tábua de Maré

Fonte: O autor.

A partir dela é possível gerar os bancos de dados mensais utilizados pelo programa para fazer suas previsões.

A janela apresenta o campo de seleção de locais já cadastrados, e os de seleção de mês e ano.

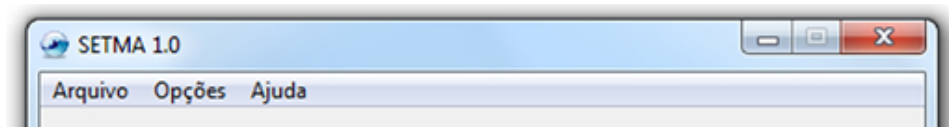
Além desses 3 campos de seleção, a janela apresenta 12 campos de entrada onde devem ser colocados os valores de Altura e Horário, no formato hora:minuto.

Ela ainda apresenta botões para navegação, limpeza e salvamento da base de dados.

1.3 Menus

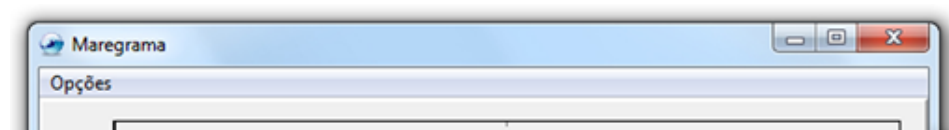
Ao todo existem no programa 4 menus, sendo 3 na janela *Principal* (Figura 64) e 1 na janela *Maregrama* (Figura 65).

Figura 64 – Detalhe dos menus da janela Principal



Fonte: O autor.

Figura 65 – Detalhe do menu da janela Maregrama



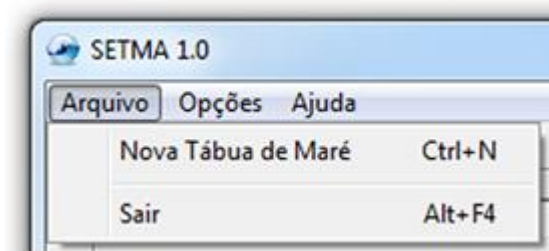
Fonte: O autor.

Na janela *Principal* temos os menus *Arquivo*, *Opções* e *Ajuda*. Já na janela *Maregrama* temos outro menu chamado *Opções*.

1.3.1 Menu Arquivo

O menu *Arquivo* (Figura 66) apresenta 2 opções: *Nova Tábua de Maré* e *Sair*.

Figura 66 – Detalhe das opções do menu Arquivo



Fonte: O autor.

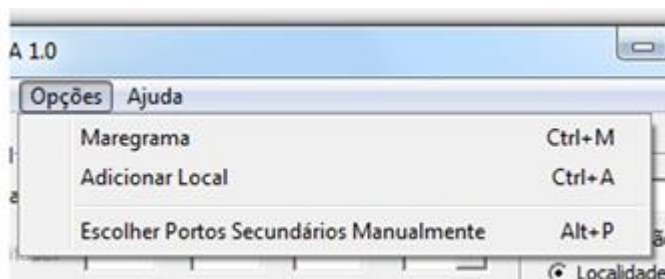
A opção *Nova Tábua de Maré*, como já comentado quando se falou da janela *Tábua de Maré*, serve para gerar os bancos de dados lidos pelo programa. Já a opção *Sair* serve para fechar o programa.

1.3.2 Menu Opções (Principal)

Aqui existem 3 opções que podem ser escolhidas. A *Maregrama* e a *Adicionar Local* que já foram tratadas no tópico sobre *Janelas*, e que abrem respectivamente as janelas *Maregrama* e *Novo Porto*, e a opção *Escolher Portos Secundários Manualmente* que

desbloqueia e permite a utilização da área *Portos Secundários*, também já citada anteriormente (Figura 67).

Figura 67 – Detalhe das opções do menu Opções

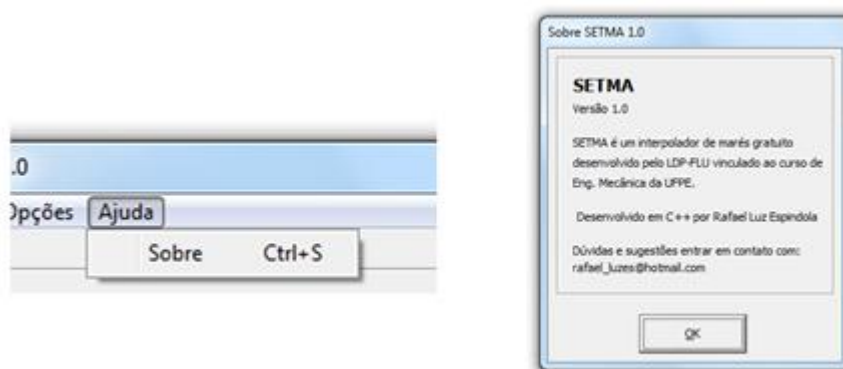


Fonte: O autor.

1.3.3 Menu Ajuda

O menu *Ajuda* (Figura 68) nessa primeira versão apresenta apenas a opção *Sobre*. Esta opção abre a janela contendo informações sobre o programa.

Figura 68 – Detalhe da opção do menu ajuda e a janela Sobre



Fonte: O autor.

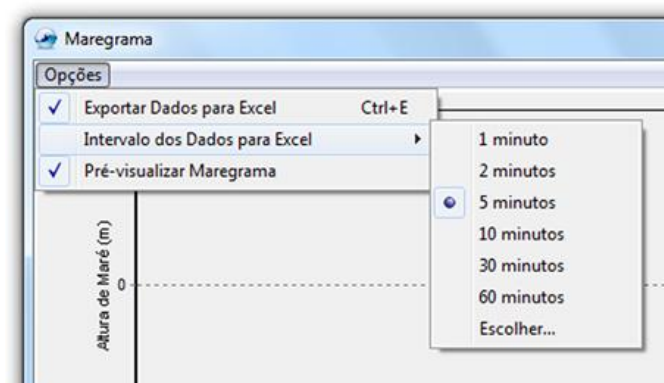
Nesse mesmo menu pretende-se numa próxima versão incluir um *Help* para auxiliar o usuário, e talvez esse próprio manual.

1.3.4 Menu Opções (Maregrama)

Apesar de ter o mesmo nome do menu da janela *Principal*, este, localizado na janela *Maregrama*, apresenta opções diferentes (Figura 69).

Nele existe 3 opções: *Exportar Dados para Excel*, *Intervalo dos Dados para Excel* e *Pré-visualizar Maregrama*.

Figura 69 – Detalhe do menu Opções da janela Maregrama



Fonte: O autor.

A primeira opção, como o nome sugere, exporta os dados de altura e hora utilizados para plotar o gráfico do maregrama direto para uma planilha do Excel®, Já a opção *Intervalo dos Dados para Excel* serve para se determinar o tempo entre aquisição dos dados.

A opção *Pré-visualizar Maregrama* foi inserida visando sanar um problema encontrado durante sua utilização. Quando da exportação de dados com intervalos pequenos o processamento tende a ser lento. Desabilitando a pré-visualização o processamento torna-se muito mais rápido.

1.4 Banco de Dados

O SETMA nasceu com o desafio de ser um *software* intuitivo e que pudesse ser utilizado por qualquer usuário e por prazo indeterminado.

Como os dados utilizados por ele (os valores presentes nas tábuas das marés) são divulgados anualmente, viu-se necessário a criação de uma alternativa que permitisse que ano após ano os dados fossem atualizados e o programa continuasse podendo ser usado.

A maneira encontrada foi a utilização de bancos de dados que podem ser disponibilizados pelos desenvolvedores do programa via INTERNET, ou gerados pelo próprio usuário de forma simples. Essa geração da base de dados será abordada mais a frente.

Esses banco de dados são arquivos do tipo *.txt com os dados mensais de um determinado local. A Figura 70 mostra um exemplo do banco de dados para o mês de agosto de 2011 para o Porto de Recife (PE).

Figura 70 – Exemplo da formatação do banco de dados utilizado pelo SETMA

TM_RECIFE_08_2011 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

08 00	04:02	2.50	10:23	0.10	16:30	2.40	22:36	0.20
08 01	04:45	2.60	11:04	0.00	17:11	2.40	23:17	0.20
08 02	05:28	2.60	11:49	0.10	17:56	2.40	24:02	0.20
08 03	00:02	0.20	06:15	2.50	12:36	0.20	18:43	2.30
08 04	00:49	0.30	07:04	2.40	13:23	0.40	19:32	2.10
08 05	01:41	0.40	08:00	2.20	14:19	0.50	20:26	2.00
08 06	02:45	0.60	09:04	2.00	15:26	0.70	21:34	1.90
08 07	04:04	0.70	10:21	1.90	16:51	0.80	22:53	1.80
08 08	05:34	0.70	11:45	1.80	18:09	0.80	24:08	1.90
08 09	00:08	1.90	06:49	0.60	12:58	1.90	19:13	0.70
08 10	01:11	2.00	07:49	0.50	13:53	2.00	20:04	0.60
08 11	02:04	2.10	08:34	0.40	14:36	2.10	20:47	0.50
08 12	02:47	2.20	09:13	0.30	15:11	2.10	21:21	0.40
08 13	03:24	2.30	09:49	0.30	15:49	2.20	21:56	0.30
08 14	04:00	2.40	10:21	0.20	16:19	2.20	22:30	0.30
08 15	04:36	2.40	10:54	0.30	16:54	2.30	23:02	0.30
08 16	05:08	2.40	11:24	0.30	17:26	2.20	23:36	0.30
08 17	05:45	2.30	11:56	0.40	18:00	2.20	24:08	0.40
08 18	00:08	0.40	06:17	2.20	12:28	0.50	18:38	2.10
08 19	00:43	0.60	06:56	2.00	13:02	0.60	19:13	1.90
08 20	01:19	0.70	07:38	1.90	13:39	0.80	20:00	1.80
08 21	02:04	0.80	08:26	1.70	14:30	0.90	20:56	1.70
08 22	03:08	0.90	09:36	1.70	15:47	1.00	22:08	1.70
08 23	04:41	0.90	10:58	1.70	17:21	0.90	23:28	1.70
08 24	06:04	0.80	12:11	1.80	18:34	0.80	24:34	1.90
08 25	00:34	1.90	07:04	0.60	13:09	1.90	19:24	0.70
08 26	01:26	2.10	07:54	0.40	13:58	2.10	20:09	0.50
08 27	02:11	2.30	08:38	0.20	14:43	2.30	20:53	0.30
08 28	02:58	2.50	09:17	0.10	15:24	2.40	21:32	0.10
08 29	03:41	2.60	10:00	0.00	16:06	2.50	22:13	0.00
08 30	04:23	2.70	10:43	0.00	16:49	2.50	22:56	0.00
08 31	05:08	2.70	11:24	0.00	17:32	2.50	23:42	0.10
08 32	05:54	2.50	12:09	0.20	18:15	2.30	24:28	0.20

Fonte: O autor.

2. Utilização

2.1 Previsões

O SETMA possui dois módulos principais. Um que gera previsões para um determinado instante e outro que gera previsões mensais. As previsões instantâneas, ou únicas, são feitas na janela *Principal*, enquanto que as previsões mensais são realizadas na janela *Maregrama*.

2.1.1 Previsão Única

Para que a previsão seja concluída com sucesso é necessário que exista, dentro da pasta onde está o SETMA, o banco de dados do local e do mês escolhidos.

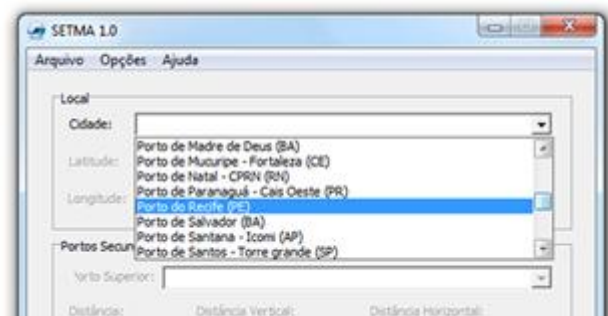
A *Previsão Única*, assim como a *Previsão Mensal* é bastante intuitiva, mas os exemplos a seguir mostram detalhadamente como proceder.

Exemplo: Calcular a altura da maré no Porto de Recife no dia 12 de agosto de 2011 às 15h23min.

Passo 1:

O primeiro passo é escolher o local desejado no campo Cidade, no caso, Recife, como ilustra a Figura 71.

Figura 71 – Escolha do local desejado no campo Cidade

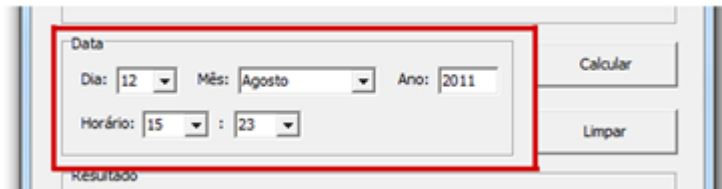


Fonte: O autor.

Passo 2:

O segundo passo seria escolher a data e hora em que a previsão vai ser realizada. Nesse caso, a data escolhida foi 12 de agosto de 2011, e a hora foi 15h23min. Dessa forma, a Figura 72 ilustra como os dados devem ser inseridos no programa.

Figura 72 – Detalhe da área Data com os campos relativos a data e a hora preenchidos

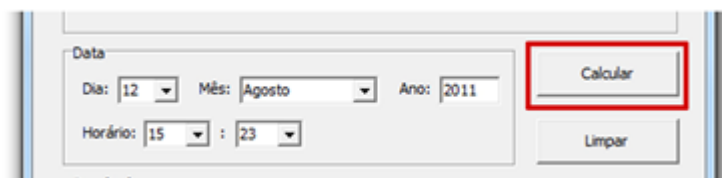


Fonte: O autor.

Passo 3:

O terceiro e último passo seria o de mandar o programa começar a simulação. Para tanto basta clicar no botão *Calcular* (Figura 73).

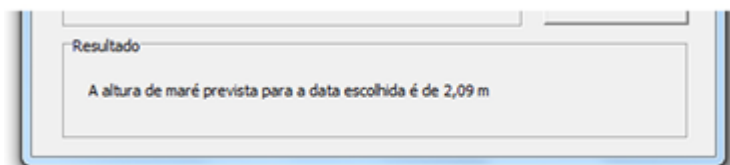
Figura 73 – Detalhe do botão Calcular



Fonte: O autor.

Após isso a previsão será mostrada na área *Resultado* (Figura 74).

Figura 74 – Detalhe da previsão na área Resultado



Fonte: O autor.

Exemplo: Calcular a altura de maré na Ilha de Itamaracá (PE) no mesmo dia e hora do exemplo anterior.

Ao contrário do exemplo anterior, a Ilha de Itamaracá não é um dos locais cadastrados originalmente no programa. Dessa forma, utilizaremos as coordenadas de algum ponto da costa da Ilha de Itamaracá para realizar a simulação.

Podemos utilizar, por exemplo, as coordenadas 7°45'10" S e 34°49'30" O.

Passo 1:

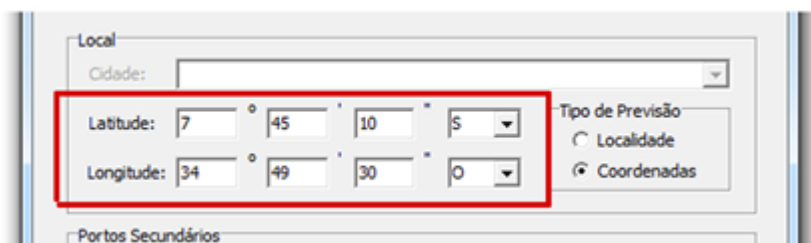
Para começar precisamos alterar o campo *Tipo de Previsão*. Por definição, o programa começa com a opção *Localidade* selecionada. Para esse exemplo devemos trocar para *Coordenadas* como mostra a Figura 75 e entrar com as coordenadas (Figura 76).

Figura 75 – Detalhe da área Tipo de Previsão



Fonte: O autor.

Figura 76 – Detalhe da Latitude e Longitude preenchidas na área Local



Fonte: O autor.

Passo 2:

Este passo será idêntico ao do exemplo anterior, uma vez que a previsão será feita para a mesma data e hora.

Passo 3:

Assim como o Passo 2, o Passo 3 será o mesmo do exemplo anterior.

Dessa forma obteremos como resultado 2,14m, como mostra a Figura 77.

Figura 77 – Detalhes das áreas Data e Resultado, com a previsão

Fonte: O autor.

2.1.2 Previsão Mensal

A *Previsão Mensal* apresenta algumas diferenças em relação à *Previsão Única*. A primeira é a janela em que se dá a previsão. Enquanto que a *Previsão Única* se dá na janela *Principal*, esta se dá na janela *Maregrama*.

Outra diferença é com relação à data. Na *Previsão Única* é necessária a escolha de dia e hora, dados desnecessários na *Previsão Mensal*, uma vez que esta simulará para cada minuto no período do mês escolhido.

Exemplo: Calcular a altura de maré para o mês de agosto de 2011 no Porto de Recife.

Passo 1:

O primeiro passo para realizar a previsão é escolher o local. Como já foi visto no primeiro exemplo da *Previsão Única*, o Porto do Recife é um dos locais cadastrados, então basta selecioná-lo no campo *Cidade* na área *Local* como mostra a Figura 78.

Figura 78 – Detalhe da escolha do local desejado no campo Cidade

Fonte: O autor.

Passo 2:

Continuando, seleciona-se mês e ano em que vai ser realizada a previsão (Figura 79).

Figura 79 – Detalhe da escolha do Mês e Ano da previsão

Fonte: O autor.

Passo 3:

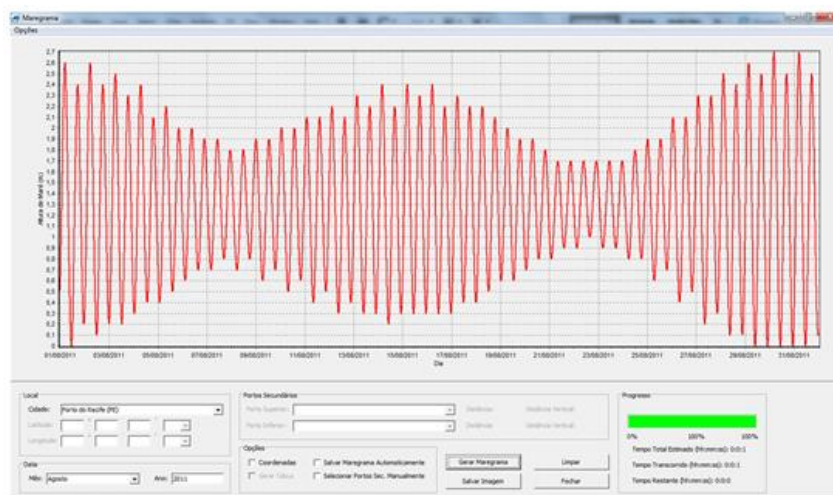
Este passo é mandar o programa realizar a previsão clicando no botão *Gerar Maregrama* contido na área *Opções* (Figura 80).

Figura 80 – Detalhe do botão Gerar Maregrama

Fonte: O autor.

Se não ocorrer nenhum problema por falta de banco de dados o programa processará a simulação e emitirá um aviso de Simulação Concluída com Sucesso, e gerará o gráfico do Maregrama na área de *Visualização* conforme a Figura 81.

Figura 81 – Janela Maregrama com a previsão para o mês de agosto de 2011 concluída



Fonte: O autor.

Exemplo: Calcular a altura de maré para o mês de agosto de 2011 na Ilha de Itamaracá (PE).

Como vimos no segundo exemplo de *Previsão Única* a Ilha de Itamaracá não é um local cadastrado no SETMA. Portanto, utilizaremos as mesmas latitude e longitude utilizadas naquele exemplo.

Passo 1:

O primeiro passo é selecionar a opção *Coordenadas* na área *Opções*. Isso irá desbloquear os campos *Latitude* e *Longitude*, permitindo que o usuário entre com as coordenadas geográficas do local desejado (Figura 82).

Figura 82 – Detalhe da opção Coordenadas

Desbloqueio dos campos Latitude e Longitude a partir da seleção da opção Coordenadas. Fonte: O autor.

Vale ressaltar que o campo *Cidade* não é bloqueado quando da seleção da opção *Coordenadas*, porém seu preenchimento é facultativo, mas recomendado.

Passo 2:

Esse passo é simplesmente a entrada das coordenadas de longitude e latitude do local desejado na área *Local*. Como dito anteriormente, recomenda-se digitar o nome do local para onde será feita a previsão no campo *Cidade*.

Passo 3:

O terceiro passo é a entrada do mês e ano da previsão (Figura 83).

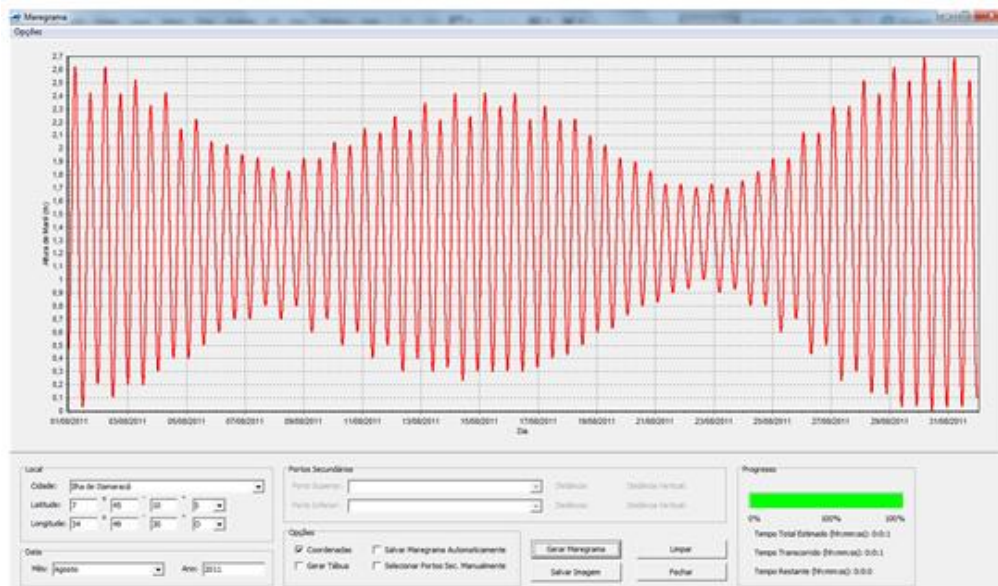
Figura 83 – Detalhe das áreas Local e Data preenchidos

Fonte: O autor.

Passo 4:

Para começar a simulação depois de realizar os 3 primeiros passos, basta clicar no botão *Gerar Maregrama*. Assim, como para o primeiro exemplo, será gerado um gráfico da altura de maré do mês escolhido (Figura 84).

Figura 84 – Janela Maregrama com a previsão para a Ilha de Itamaracá



Fonte: O autor.

2.2 Exportação de Dados

Como dito anteriormente, existe a opção de exportar os dados realizados durante a Previsão Mensal para Excel®.

Essa exportação pode ser feita tanto para previsões de locais cadastrados quanto para previsões por coordenadas (Figura 85).

Para que a exportação aconteça, a opção *Exportar Dados para Excel* tem que ser selecionada. Essa opção fica no menu *Opções* da janela *Maregrama*, como mostra a Figura 69.

O usuário ainda pode escolher o intervalo de tempo em que os dados serão exportados. O intervalo padrão do programa é 5 min, o mínimo 1 min e o máximo 44640 min, o equivalente a 31 dias. O valor escolhido como intervalo tem que ser um número inteiro.

Vale lembrar que a seleção desta opção tem que ser realizada antes de iniciar a simulação através do botão *Gerar Maregrama*.

Figura 85 – Exemplo de dados de simulação exportados para o Excel

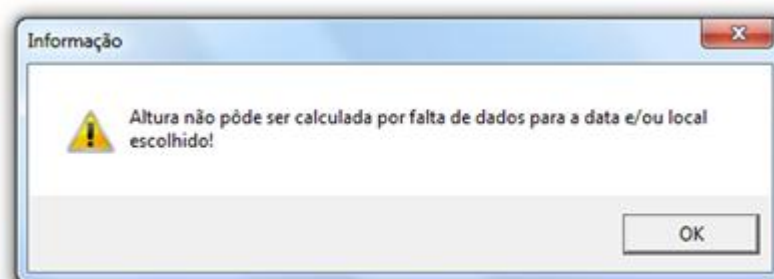
	A	B	C	D
1				
2	Dia	Hora	Altura	
3	1	0	0,51649	
4	1	0,08333	0,5515	
5	1	0,16666	0,58788	
6	1	0,25	0,62557	
7	1	0,33333	0,66447	
8	1	0,41666	0,70453	
9	1	0,5	0,74567	
10	1	0,58333	0,78782	
11	1	0,66666	0,83091	
12	1	0,75	0,87487	
13	1	0,83333	0,91962	
14	1	0,91666	0,9651	
15	1	1	1,01122	
16	1	1,08333	1,05793	
17	1	1,16666	1,10515	
18	1	1,25	1,1528	
19	1	1,33333	1,20082	
20	1	1,41666	1,24914	
21	1	1,5	1,29767	
22	1	1,58333	1,34636	
23	1	1,66666	1,39512	
24	1	1,75	1,44389	
25	1	1,83333	1,4926	
26	1	1,91666	1,54117	
27	1	2	1,58954	
28	1	2,08333	1,63762	
29	1	2,16666	1,68535	
30	1	2,25	1,73266	
31	1	2,33333	1,77948	
32	1	2,41666	1,82573	

Fonte: O autor.

2.3 Arquivos de Dados

O SETMA nas suas simulações utiliza arquivos como os já mostrados anteriormente no tópico 1.4. Sem esses arquivos o programa apresenta o erro mostrado na Figura 86.

Figura 86 – Erro por falta dos arquivos do banco de dados



Fonte: O autor.

Quando esse erro ocorre, a única solução é gerar o arquivo com os dados relativos ao mês no local onde se deseja fazer a previsão.

Para se gerar os arquivos é necessário escolher a opção *Nova Tábua de Maré* no menu *Arquivos* da janela *Principal*. Essa opção abrirá a janela *Tábua de Maré* já mostrada anteriormente.

Os dados utilizados para gerar os arquivos da base de dados são os dados da tábua das marés disponíveis pela Marinha do Brasil no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

O endereço do site da DHN é <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>.

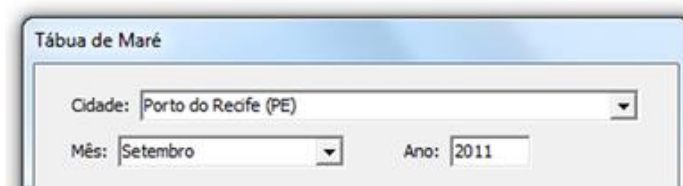
O exemplo a seguir mostra como gerar a base de dados.

Exemplo: Gerar a base de dados para o mês de setembro de 2011 para o Porto de Recife.

Passo 1:

O primeiro passo é abrir a janela *Tábua de Maré* e escolher o local, no campo *Cidade*, para o qual vai ser gerado o banco de dados, o mês e o ano (Figura 87).

Figura 87 – Detalhe dos campos Cidade, Mês e Ano preenchidos



A imagem mostra uma janela de software intitulada "Tábua de Maré". Dentro da janela, há três campos de entrada: "Cidade:" com o texto "Porto do Recife (PE)" e uma seta para baixo; "Mês:" com o texto "Setembro" e uma seta para baixo; e "Ano:" com o texto "2011".

Fonte: O autor.

Passo 2:

O passo seguinte é entrar no site da DHN para pegar os dados presentes na tábua das marés (Figura 88).

Figura 88 – Site das Tábuas das Marés da DHN



Fonte: (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011)

O arquivo gerado possui algumas peculiaridades importantes. Além dos dados do mês escolhido ele contém os dados do último dia do mês anterior e os do primeiro dia do mês seguinte.

Esses dados extras são necessários para o programa realizar a previsão nas primeiras horas do primeiro dia do mês e nas últimas horas do último dia.

Como se pode ver na Figura 89, o programa pede que os primeiros dados sejam os do último dia do mês anterior.

Figura 89 – Detalhe da Janela Tábua de Maré

Destaque para a entrada dos dados do último dia do mês anterior. Fonte: O autor.

Portanto, é necessário acessar os dados do mês anterior ao do banco de dados. No caso desse exemplo o mês a ser acessado é o de agosto, uma vez que o cadastro é para o mês de setembro.

Ao entrar nas tábuas das marés do local elas serão mostradas como na Figura 90.

Figura 90 – Detalhamento do site com as previsões de maré

Dados do Local

Latitude: 08°11'45" S Longitude: 34°52'37" W Elevação: +01.0 m Alt. Média: 1.28 m

PREVISÕES DE MARÉS

PORTO DO RECIFE (ESTADO DE PERNAMBUCO)

Latitude: 08°11'45" S Longitude: 34°52'37" W Elevação: +01.0 m Alt. Média: 1.28 m

PREVISÕES DE MARÉS

Dia	Hora	Alt (m)
SEG 01/09/2011	04:45	2.6
	11:04	0.0
	17:11	2.4
	23:17	0.2
TER 02/09/2011	05:28	2.6
	11:49	0.1
	17:56	2.4
QUA 03/09/2011	06:02	0.2
	06:15	2.5
	12:36	0.2
	18:43	2.4
QUI 04/09/2011	06:49	0.3
	07:04	2.4

Dia do mês

Altura das maiores e menores marés do dia

Horário das maiores e menores marés do dia

Fonte: Adaptado de (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

Assim deve-se pegar os dados do último dia como mostrados na Figura 91 e colocá-los no programa de acordo com a Figura 92.

Figura 91 – Dados da altura de maré para o Porto de Recife no dia 31/08/2011

QUA 31/08/2011	05:08	2.7
	11:24	0.0
	17:32	2.5
	23:42	0.1

Fonte: Adaptado de (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

Figura 92 – Detalhe do preenchimento dos dados de maré do último dia do mês anterior

Fonte: O autor.

Clicando no botão *Seguinte* o programa passa para a próxima tela, com os campos para a entrada dos dados do primeiro dia do mês seguinte (Figura 93).

Figura 93 – Detalhe da mudança do dia dos dados

Fonte: O autor.

A partir daí o procedimento é o mesmo, entrar com os 4 dados de altura do mês e seus respectivos horários, e em seguida avançar para a tela seguinte.

Deve-se tomar cuidados na hora de preencher para que os dados não fiquem errados. Qualquer valor colocado diferente do presente no site tornará as previsões que dependam dele erradas.

Caso se perceba que algum dado foi colocado erroneamente o programa permite voltar para os dados dos dias anteriores e corrigi-los (Figura 94).

Figura 94 – Destaque dos botões para navegação entre dias

Fonte: O autor.

Outra coisa que deve-se ter cuidado é quando o site da DHN só dá 3 alturas de maré para um dia ao invés das 4 que normalmente são dadas para uma maré do tipo semidiurna, como mostra a Figura 95.

Figura 95 – Ocorrência de só 3 valores de máximo ou mínimo da altura de maré

QUI 01/09/2011	05:54	2.5
	12:09	0.2
	18:15	2.3

Fonte: Adaptado de (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

Quando isso ocorre, deve-se utilizar como quarta altura de maré a primeira do dia seguinte, e o horário será o mesmo horário da primeira maré do dia seguinte acrescido de 24 horas. As Figura 96 e Figura 97 exemplificam isso.

Figura 96 – Dados da altura do dia seguinte ao com apenas 3 dados de altura

SEX 02/09/2011	00:28	0.2
	06:45	2.4
	12:58	0.4
	19:04	2.2

Fonte: Adaptado de (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 2011).

Figura 97 – Detalhe da 4ª Medição preenchida

Dia 1		Altura:		Horário:	
1ª Medição:	2,5	05	:	54	
2ª Medição:	0,2	12	:	09	
3ª Medição:	2,3	18	:	15	
4ª Medição:	0,2	24	:	28	

Fonte: O autor.

Como se pode ver a altura de 0,2 m do dia 2 foi utilizada como a 4ª Medição do dia 1, e o horário que era 00:28 para o dia 2, com as 24 horas a mais tornou-se 24:28 e foi utilizado como horário da 4ª Medição.

Após preencher todos os dias do mês, será necessário colocar os valores do primeiro dia do mês seguinte, da mesma forma que foi necessário os valores do último dia do mês anterior.

Passo 3:

O terceiro e último passo é mandar o programa salvar o banco de dados. Para isso basta clicar no botão *Salvar!* (Figura 98) que aparecerá no lugar do botão *Seguinte* quando todos os dados forem preenchidos.

Figura 98 – Detalhe do botão Salvar!



Fonte: O autor.

Exemplo: Criar de forma manual o banco de dados do mês de setembro de 2011 para o Porto de Recife.

Apesar do SETMA ter uma ferramenta para a criação do banco de dados, é possível gera-los de forma manual.

O banco de dados do SETMA é formado por arquivos no formato *.txt (Figura 99). Cada arquivo possui dados de um mês para um local. A Figura 99 mostra o banco de dados do mês de setembro de 2011 para o Porto de Recife e como ele é constituído.

Figura 99 – Exemplo da constituição do arquivo de dados

1ª altura e hora 2ª altura e hora 3ª altura e hora 4ª altura e hora

Coluna com o mês do arquivo de dados

Referente ao último dia do mês anterior

Coluna com os dias do mês, incluindo o último dia do mês anterior (00) e o primeiro dia do mês seguinte (31, para um mês de 30 dias)

Referente ao primeiro dia do mês seguinte

09 00 05:08	2.70	11:24	0.00	17:32	2.50	23:42	0.10
09 01 05:54	2.50	12:09	0.20	18:15	2.30	24:28	0.20
09 02 00:28	0.20	06:45	2.40	12:58	0.40	19:04	2.20
09 03 01:21	0.40	07:39	2.10	13:54	0.60	20:00	2.00
09 04 02:26	0.60	08:45	1.90	15:04	0.80	21:09	1.90
09 05 03:54	0.70	10:08	1.80	16:38	0.90	22:38	1.80
09 06 05:28	0.70	11:41	1.80	18:02	0.80	24:00	1.90
09 07 00:00	1.90	06:45	0.60	12:53	1.80	19:04	0.70
09 08 01:04	2.00	07:39	0.50	13:41	1.90	19:53	0.60
09 09 01:53	2.10	08:19	0.40	14:17	2.00	20:28	0.50
09 10 02:28	2.20	08:54	0.40	14:51	2.10	21:00	0.40
09 11 03:02	2.30	09:23	0.30	15:19	2.20	21:32	0.30
09 12 03:36	2.30	09:53	0.30	15:53	2.30	22:02	0.30
09 13 04:06	2.40	10:21	0.30	16:21	2.30	22:32	0.30
09 14 04:39	2.30	10:51	0.30	16:54	2.30	23:02	0.30
09 15 05:09	2.30	11:19	0.40	17:26	2.20	23:34	0.40
09 16 05:45	2.20	11:51	0.50	18:00	2.10	24:06	0.50
09 17 00:06	0.50	06:19	2.00	12:21	0.60	18:38	2.00
09 18 00:41	0.60	07:00	1.90	12:58	0.70	19:17	1.90
09 19 01:24	0.80	07:51	1.80	13:45	0.90	20:11	1.70
09 20 02:26	0.90	08:58	1.70	15:00	1.00	21:26	1.70
09 21 04:00	0.90	10:24	1.70	16:43	1.00	22:53	1.70
09 22 05:34	0.80	11:45	1.80	18:00	0.80	24:02	1.90
09 23 00:02	1.90	06:38	0.60	12:45	1.90	18:56	0.60
09 24 01:00	2.10	07:26	0.40	13:34	2.10	19:43	0.40
09 25 01:49	2.30	08:11	0.20	14:15	2.30	20:26	0.20
09 26 02:34	2.50	08:54	0.10	15:00	2.50	21:08	0.10
09 27 03:17	2.70	09:36	0.00	15:41	2.60	21:53	0.00
09 28 04:02	2.70	10:17	0.00	16:23	2.60	22:36	0.00
09 29 04:49	2.70	11:02	0.10	17:06	2.50	23:21	0.00
09 30 05:36	2.50	11:47	0.20	17:54	2.40	24:09	0.20
09 31 00:09	0.20	06:24	2.30	12:36	0.40	18:43	2.20

Fonte: O autor.

Para gerar um arquivo manualmente basta criar no Bloco de Notas do Windows um arquivo seguindo a formatação apresentada na Figura 99, e salvar com o nome *TM_(Nome do local)_(Mês)_(Ano).txt*.

2.4 Cadastro de Locais

Como dito anteriormente o SETMA vem com 54 locais cadastrados (Tabela 34), porém podem ser acrescentados outros locais.

Esse cadastro é simples. Basta acessar a janela *Novo Porto*, através da opção *Adicionar Local* no menu *Opções* na janela *Principal*.

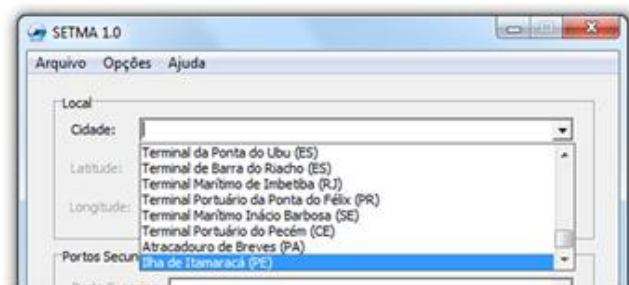
Na janela *Novo Porto*, basta digitar o nome do local no campo de mesmo nome e as suas coordenadas geográficas, longitude e latitude (Figura 100).

Figura 100 – Exemplo de cadastro de local

Fonte: O autor.

Feito isso é só clicar no botão *Salvar* que o local já pode ser utilizado no programa (Figura 101).

Figura 101 – Local incorporado ao programa



Fonte: O autor