



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



FACULDADE DE OCEANOGRAFIA



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ARTHUR SOUZA DOS SANTOS

PROPAGAÇÃO DE MARÉ NA BAÍA DO MARAJÓ E SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2013

ARTHUR SOUZA DOS SANTOS

PROPAGAÇÃO DE MARÉ NA BAÍA DO MARAJÓ E SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS

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

Orientadora: Msc. Inaê de Brito
Albuquerque Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo
Rollnic

BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S237p Santos, Arthur Souza dos

Propagação de maré na baía do Marajó e seus principais tributários. / Arthur Souza dos Santos. – 2014

42f. : il.

Orientadora: Inaê de Brito Albuquerque Nascimento

Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2013.

1. Baía do Marajó. 2. Análise Harmônica. 3. Diferença de fase. 4. Altura de maré. I. Nascimento, Inaê de Brito Albuquerque, orient. II. Rollnic, Marcelo, coorient. III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22.ed.: 551.464098115

ARTHUR SOUZA DOS SANTOS

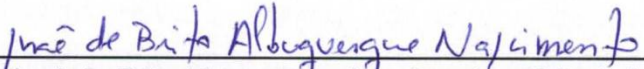
PROPAGAÇÃO DE MARÉ NA BAÍA DO MARAJÓ E SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS

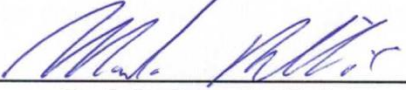
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para
a obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Data de aprovação: 18/12/2013

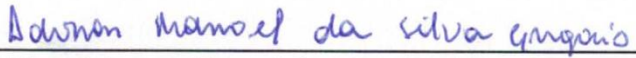
Conceito: Exc

Banca examinadora:


Msc. Inaê de Brito Albuquerque Nascimento – Orientadora
Mestre em Biologia Ambiental
Universidade Federal do Pará


Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Coorientador
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará


Msc. Renan Peixoto Rosário – Membro
Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica
Universidade Federal do Pará


Msc. Aderson Manoel da Silva Gregório – Membro
Mestre em Geociências
Marinha do Brasil

Ao meu falecido cachorro e companheiro Ringo,
obrigado por todos esses anos de parceria!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela criação!

Aos meus pais, Almiro e Carmen, por sempre estarem ao meu lado dando exemplos e me apoiando, nos momentos altos e baixos da vida. Amo muito vocês.

À minha vó Crináurea, pelos ensinamentos de toda a vida.

À minha Namorada Gabriella, pelo companheirismo, amor, amizade e por ter me escolhido para dividir todos os momentos de sua vida.

Ao meu irmão, por todos esses anos lado a lado na atividade.

À minha grande amiga Mircis, por estar sempre cuidando de mim.

A todos familiares e amigos.

À minha orientadora Inaê, por me dar forças até o último momento!

Ao meu coorientador ilustríssimo Marcelo Rollnic, por ter me apresentado a oceanografia e ter dado oportunidades de atuar no ramo. Sempre serei muito Grato!

Aos companheiros do Laboratório de Oceanografia Física, Mauricio, Renan, Fabíola, Gabi, Thaís e principalmente meu amigo Yuri Snipes, por todos esses anos de aprendizado e camaradagem.

Ao NAEA e ao Nathan, pela oportunidade de trabalhar com maré na região gerando parte deste trabalho.

Ao professor Alessandro, por ter me inserido no mundo Matlabico.

Aos companheiros de turma, pela descontração e por esses 4 grandes anos de muitas histórias para contar.

À Celinha, pelo café nosso de cada dia.

Ao seu Mauro, dona Beth e o Tio Lenon, pelo acolhimento nos dias de campo.

Muito Obrigado!

“Hoje é sábado, amanhã é domingo
A vida vem em ondas como o mar
Os bondes andam em cima dos trilhos
E Nosso Senhor Jesus Cristo morreu na cruz para nos Salvar.”

Vinicius de Moraes – Dia da criação

RESUMO

A vasta rede hidrográfica da região Amazônica, ao se aproximar de sua foz, assume características oceanográficas originando um ecossistema tipicamente estuarino. A maré é a variação do nível do mar causado por forças astronômicas, sua propagação em um estuário é resultado principalmente de seu movimento oscilatório na desembocadura e do escoamento fluvial. Sob esses efeitos encontra-se a baía do Marajó, um estuário formado principalmente pelas águas provenientes dos rios Pará, Tocantins e da baía do Guajará. Nesse contexto objetivou-se determinar o padrão de propagação de maré na baía do Marajó e seus principais tributários, identificando seus harmônicos e as diferenças de fase entre pontos distintos do estuário. No qual foram adquiridos dois anos de dados de maré de uma estação localizada na Base Naval de Val-de-Cães em Belém, além de uma rede de sensores de pressão instalados nas duas margens da baía do Marajó e no encontro dos rios Pará e Tocantins. O estudo foi realizado durante o período de 2012 e 2013 e as análises foram feitas separadamente entre as porções do estuário. A região apresenta um decréscimo da amplitude da maré em direção à jusante, possuindo um regime de meso a macromaré, a porção central apresentou amplitudes de até 3,5 metros na sizígia e a defasagem na preamar entre o ponto externo e o ponto interno foi de aproximadamente 4 horas.

Palavras chave: Baía do Marajó. Propagação de maré. Análise Harmônica. Diferença de fase. Altura de maré.

ABSTRACT

The wide hydrographic network of Amazon region, approaching from its mouth assumes oceanographic features and gives rise to an estuary ecosystem. The tide is the variation of sea levels caused by astronomical forcings, its propagation in an estuary mainly results its oscillatory motion in the river mouth and runoff. Under that natural effect is the Marajó bay, an estuary formed mainly by water from the Pará and Tocantins rivers and Guajará bay. Inside that context, the objective was to determinate the pattern of tide propagation in the Marajó bay and its major tributaries, identifying its harmonics and phases differences between distinct points in the estuary. For this analysis, tidal data were collected for two years at a station located in Val-de-Cães Naval Base in Belém, as well as a pressure sensors network installed on both sides of the Marajó bay and where Pará and Tocantins rivers meet each other. The study was conducted between 2012 and 2013. The analyzes were performed separately in each portion of the estuary. The region shows a decrease in the amplitude of the tide toward the downstream, showing regime of meso to macrotidal, the central portion presented amplitudes of up to 3.5 meters in the spring tide and the delay at the high tide between the outer section and the inner section was about four hours.

Keywords: Marajó bay. Tide Propagation. Harmonic Analysis. Phase difference. Tide height.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Oscilação periódica da maré em relação ao nível médio.	16
Figura 2: Representação esquemática da variação da maré de acordo com as fases da lua.	17
Figura 3: Representação do somatório de componentes harmônicas.	18
Figura 4: (a) Altura de maré ao longo da costa brasileira. (b) Posicionamento dos pontos anfidrômicos do Atlântico Sul.	19
Figura 5: Representação do ambiente estuarino e isolinhas de salinidade de acordo com suas zonas.	21
Figura 6: Classificação dos estuários.	21
Figura 7: Localização da área de estudo, enfatizando a Zona Costeira Amazônica e a baía do Marajó.	23
Figura 8: (a) Amplitude da componente M2 em metros. (b) Fase em graus.	24
Figura 9: Mapa amostral dos pontos de coleta.	26
Figura 10: Sensor de pressão Solinst Levellogger utilizado na coleta de dados.	27
Figura 11: (a) Filtro utilizando média móvel. (b) Máximos e mínimos.	28
Figura 12: Número de forma.	29
Figura 13: Curva de maré de Belém de Setembro de 2012 a Abril de 2013.	30
Figura 14: Diminuição da altura de maré ao longo do estuário.	31
Figura 15: Amplitude e frequência das principais componentes diurnas.	32
Figura 16: Amplitude e frequência das principais componentes semidiurnas.	32
Figura 17: Amplitude e frequência das principais componentes de águas rasas.	32
Figura 18: Azul indica o dado coletado, verde a previsão de maré e em vermelho a diferença entre o dado coletado e previsto. O nível de referência é o zero hidrográfico adotado na Base Naval de Val-de-cães.	35
Figura 19: Relação da curva de maré entre as duas margens da baía do Marajó. ...	36
Figura 20: Relação da curva de maré entre o ponto mais próximo a desembocadura e o ponto intermediário de coleta.	37
Figura 21: Relação da curva de maré entre o ponto intermediário e o ponto localizado na Zona de Maré do Rio.	37
Figura 22: Gráfico de precipitação de Cametá para os anos de 2012 e 2013.	38
Figura 23: Relação entre a Curva de Maré (Azul) e o Nível Médio (vermelho).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de maré de acordo com a altura.	17
Tabela 2: Algumas componentes harmônicas e respectivos, períodos, velocidades e origens.	18
Tabela 3: Pontos de coleta, coordenadas, ano da coleta e período climático.	27
Tabela 4: Tempo de defasagem entre dois pontos.....	28
Tabela 5: Amplitudes e fases das principais componentes harmônicas das localidades estudadas.	33
Tabela 6: Média dos tempos entre preamar e baixa mar.	34
Tabela 7: Número de forma dos pontos de coleta.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA.....	14
3	OBJETIVO	15
3.1	Objetivo Geral	15
3.2	Objetivo Específico.....	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1	Maré	16
4.2	Estuários	19
5	ÁREA DE ESTUDO	23
5.1	Localização e Acesso.....	23
5.2	Aspectos Climatológicos e Oceanográficos	24
5.3	Hidrologia	25
6	MATÉRIAS E MÉTODOS	26
6.1	Metodologia de coleta	26
6.2	Metodologia de tratamento de dados	28
7	RESULTADOS.....	30
7.1	Altura de Maré	30
7.2	Análise Harmônica	31
7.3	Assimetria de Maré	34
7.4	Número de Forma	35
7.5	Previsão de Maré	35
7.6	Propagação de Maré	36
7.7	Nível Médio da Maré e a Sazonalidade.....	37
8	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O ambiente Amazônico abriga o sistema hídrico mais extenso e de maior massa líquida do planeta (SIOLI, 1985), de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), sua região hidrográfica é composta pelas bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia, abrangendo uma área de 6.869.000 km² (COBRAPHI, 1984). Essas águas desembocam na Zona Costeira Amazônica (ZCA), formando um ambiente aquático complexo, onde as características oceanográficas interagem com as fluviais, tornando os processos de escoamento peculiares quando comparado a outras regiões (PEREIRA, 2009).

A ZCA é uma área de intensa interação entre a costa amazônica e o oceano Atlântico, caracterizada pela presença de diversas feições como praias, estuários, manguezais e planícies de maré, que se estendem ao longo dos Estados do Amapá, Pará e Maranhão (SOUZA FILHO et al., 2005). Suas mudanças morfológicas são desencadeadas por processos naturais que atuam em diversas escalas temporais e são controladas pela ação interativa da maré, ondas e ventos (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003).

Os processos costeiros e marinhos da ZCA são influenciados diretamente pela sua complexa rede hidrográfica (SOUZA FILHO et al., 2005), constituída de sistemas com grandes descargas fluviais. Nesse contexto está inserida a baía do Marajó, um corpo de água formado principalmente pelos rios Pará, Tocantins e pela baía do Guajará, classificado por Gregório e Mendes (2009), como um estuário dominado por maré que possui elevada energia hidrodinâmica (CORREA, 2005).

A propagação de maré na baía do Marajó é resultado do escoamento fluvial e do movimento oscilatório da mesma em sua desembocadura (GALLO, 2004). Ao penetrar-se estuário acima, a maré é influenciada pela sua morfologia e pelas forças de atrito nas margens e no fundo, causando uma distorção progressiva da onda, ocorrendo variação em sua fase e altura, o que resulta em uma propagação diferenciada ao longo do canal (DYER, 1997; GODIN, 1999).

Assim, este trabalho apresenta uma descrição da dinâmica de maré na baía do Marajó e seus principais tributários descrevendo a diferença das curvas de maré entre diversos pontos do estuário, trazendo importantes contribuições para o tema.

2 JUSTIFICATIVA

O estudo de propagação da maré na região Amazônica é indispensável, pela influência que a mesma exerce em diversos aspectos do estuário, tanto no campo oceanográfico, quanto no econômico e social. A complexidade dos processos ambientais que atuam na região dificulta o gerenciamento dos recursos hídricos, portanto a ampliação do conhecimento ajuda a controlar e reduzir os possíveis impactos ambientais que podem vir a acontecer.

No ponto de vista da gestão ambiental, é necessário integrar as análises para atender quadros mais gerais (GREGÓRIO, 2008), pois o estuário Amazônico é uma região considerada de alta energia, devido à interação de processos ambientais como: a elevada descarga fluvial, o transporte de partículas em suspensão, as precipitações e a penetração da maré (PEREIRA, 2009).

As forçantes produzidas pela maré determinam a mistura e a circulação nos estuários, influenciando diretamente na dispersão de poluentes e no transporte de sal (MIRANDA, 2002). A investigação desses processos ajuda no uso de modelos hidrodinâmicos, calibrados a partir de uma coleta de dados detalhada do ambiente estudado.

O conhecimento da maré é fundamental também para a navegação, pois de acordo com cálculo de médias de baixa-mares se estabelece o menor nível das águas adotados na carta náutica, denominado nível de redução. Além de facilitar a logística de embarcações e da pesca com as tábuas de maré geradas a partir de previsões harmônicas (MIGUENS, 1996).

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é analisar o padrão de propagação de maré na baía do Marajó e em seus principais tributários (rio Pará, rio Tocantins e baía do Guajará).

3.2 Objetivo Específico

- Caracterizar a assimetria de maré e a progressão da onda, identificando o tempo de enchente/vazante e a variação de sua amplitude ao longo do estuário.
- Identificar as amplitudes e fases das principais componentes de maré, através de análises harmônicas de series temporais obtidas in situ.
- Identificar a diferença de fase da maré entre pontos distintos do estuário, para analisar o tempo de defasagem entre a jusante e montante.
- Investigar o efeito da precipitação sobre no nível médio da maré.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

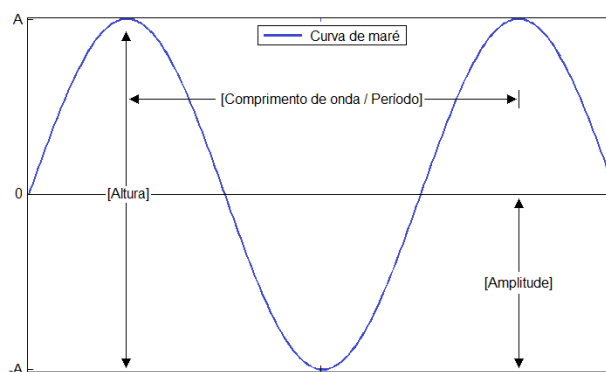
4.1 Maré

A maré é a variação vertical periódica do nível do mar sob a influência de forças astronômicas, podendo ser afetada pelas condições morfológicas e climáticas do ambiente (FRANCO, 2009). Esse fenômeno é consequência, basicamente, da Lei da Gravitação Universal de Newton, onde as matérias se atraem na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que as separa (MIGUENS, 1996). Os principais corpos celestes que influenciam as águas oceânicas são a lua e o sol.

A passagem da crista da onda por um determinado local é denominada preamar, enquanto a passagem do seu cavado é chamado de baixa mar (Figura 1). De acordo com Miranda (2002), a altura de maré é a diferença entre os níveis máximos (preamar) e mínimos (baixa-mar), conceito que difere de amplitude de maré, que constitui o desnível existente entre o nível médio e a crista ou cavado, igual à metade da altura de maré.

A distância entre duas cristas ou cavados consecutivos é o comprimento de onda, sua propagação constitui um ciclo de maré, cujo intervalo pode variar de acordo com o regime atuante no ambiente. A maré semidiurna possui um período de meio dia lunar o equivalente a 12,4 horas, enquanto a maré diurna, o período é de um dia lunar ou 24,8 horas. Alguns locais apresentam desigualdades entre os tipos de maré, variando o período de duração do ciclo entre o regime diurno e semidiurno.

Figura 1: Oscilação periódica da maré em relação ao nível médio.



Fonte: Modificado de Miranda (2002).

De acordo com Davies (1964), os ambientes costeiros podem ser classificados a partir da altura máxima de maré (Tabela 1), elemento de grande importância, pois se relaciona com a área inundada, influenciando as características da vegetação e da biota associada ao ambiente.

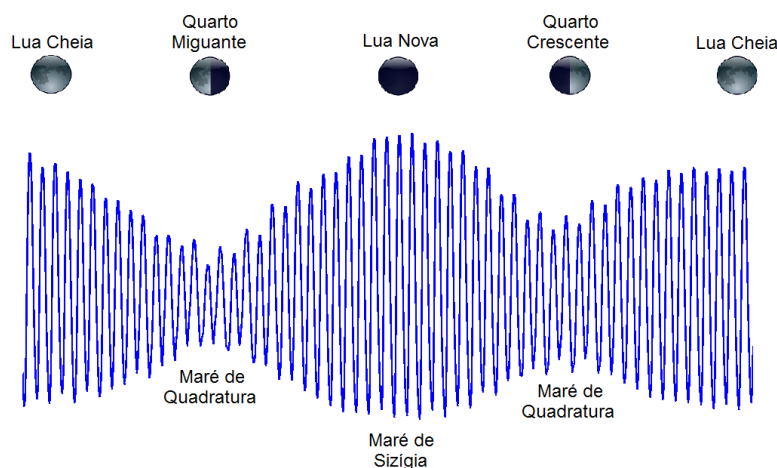
Tabela 1: Classificação de maré de acordo com a altura.

Tipo	Altura Máxima
Micromaré	$H_{\text{máx}} < 2 \text{ m}$
Mesomaré	$2 < H_{\text{máx}} < 4 \text{ m}$
Macromaré	$4 < H_{\text{máx}} < 6 \text{ m}$
Hipermaré	$H_{\text{máx}} > 6 \text{ m}$

Fonte: Davies (1964).

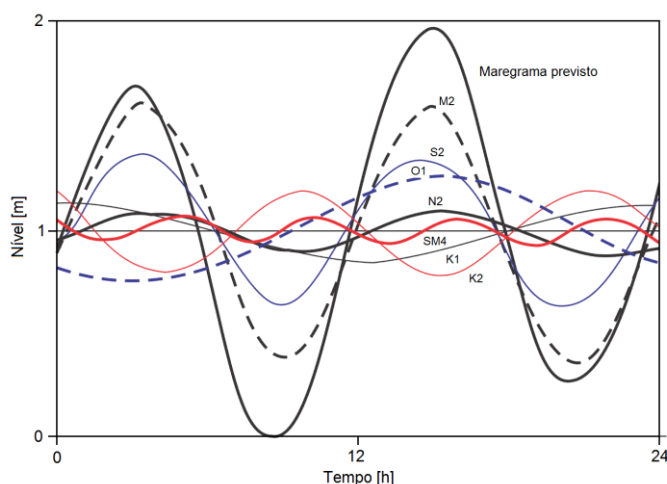
Devido à relação entre os movimentos da Terra-Lua-Sol, acontece alterações entre as forças gravitacionais relativo aos períodos lunares, o que resulta em diferentes alturas de maré (Figura 2). Durante a lua cheia e nova ocorre alinhamento do sistema Terra-Lua-Sol ocasionando “soma” das forças gravitacionais, resultando na maré viva ou de sizígia. Já na lua crescente e minguante, o Sol e a Lua formam uma angulação que ocasiona uma “subtração” de forças, gerando a maré morta ou de quadratura.

Figura 2: Representação esquemática da variação da maré de acordo com as fases da lua.



A maré pode ser definida como somatório de componentes harmônicas, que consistem em funções sinusoidais (Figura 3), com frequências diretamente relacionadas com a força responsável pela sua geração (Tabela 2). Cada componente é caracterizada pela sua fase e amplitude que dependem do registro maregráfico do determinado local (PUGH, 1987), podendo ser classificada em astronômicas, geradas pela força gravitacional do Sol e da Lua, e de águas rasas, resultado da interação entre as forças astronômicas e a geografia do ambiente.

Figura 3: Representação do somatório de componentes harmônicas.



Fonte: Modificado de Alfredini (2009).

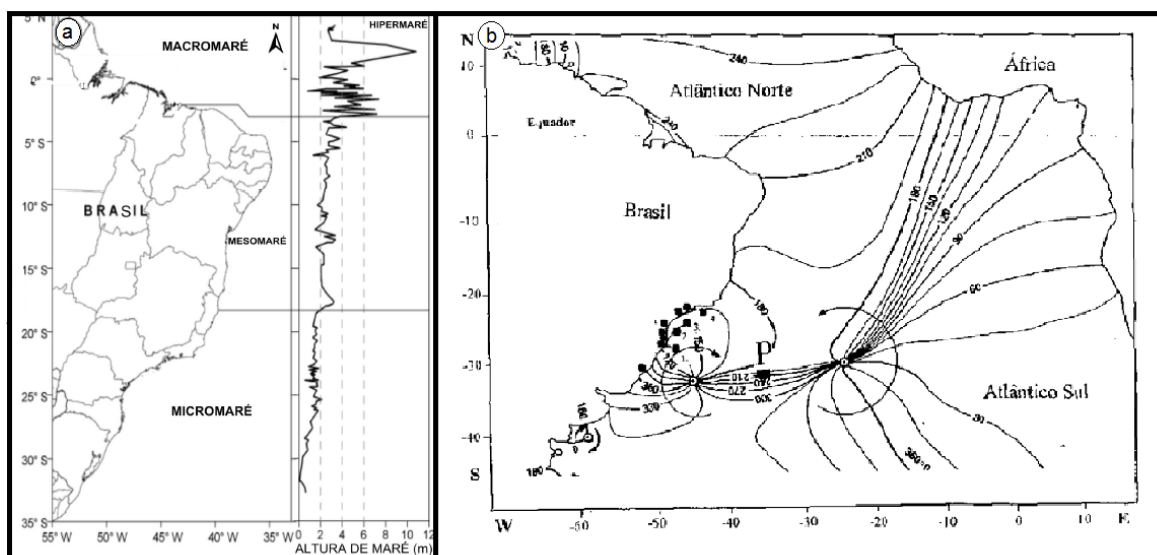
Tabela2: Algumas componentes harmônicas e respectivos, períodos, velocidades e origens.

Espécie	Período (horas)	Velocidade (°/h)	Origem
Diurna			
Q1	26,87	13,39	Elíptica lunar maior
O1	25,82	13,94	Principal lunar
P1	24,07	14,95	Principal Solar
K1	23,93	15,04	Principal lunar / solar
Semidiurnas			
N2	12,66	28,43	Elíptica lunar menor
M2	12,42	28,98	Principal lunar
L2	12,19	29,52	Elíptica lunar menor
S2	12,00	30,00	Principal solar
K2	11,97	30,08	Declinação da lua/sol
Águas Rasas			
MO3	8,39	42,92	M2 + O1
MK3	8,18	44,02	M2 + K1
MN4	6,27	57,42	M2 + N2
M4	6,21	57,96	M2 + M2
MS4	6,10	58,98	M2 + S2

Fonte: Modificado de Pugh (1987).

A altura da maré oceânica é geralmente menor que um metro. Entretanto ao atravessar a plataforma continental e os estuários, a maré é progressivamente distorcida pela mudança na topografia e pelo atrito de fundo. No litoral brasileiro ocorre a predominância da maré semidiurna e as alturas de maré variam ao longo da costa (Figura 4a). Isto ocorre devido a distância da localidade com o ponto anfidrômico, local oceânico onde não há variação da maré (Figura 4b).

Figura 4: (a) Altura de maré ao longo da costa brasileira. (b) Posicionamento dos pontos anfidrômicos do Atlântico Sul.



Fonte: Modificado de Freitas (2011) e Pugh (1987).

4.2 Estuários

Os estuários são ecossistemas de transição entre continente e oceano, formados na foz de um rio quando este entra em contato com o mar (DYER, 1997). Esses ambientes são altamente dinâmicos sofrendo mudanças constantes em resposta a ação antrópica e as forçantes naturais, exercendo grande importância para o desenvolvimento urbano, social e econômico das regiões adjacentes.

O ambiente estuarino possui tempo de vida curto na escala geológica, devido a modificação constante de sua forma e extensão, pela ação da erosão e sedimentação. Também sofrem alterações drásticas em função das variações

eustáticas (variação de volume) ou isostáticas (movimento da crosta terrestre) do nível do mar (MIRANDA, 2002).

Os conceitos a respeito do estuário evoluem e se modificam com o tempo, tornando sua definição cada vez mais complexa. Em geral os estuários podem ser classificados de acordo com os aspectos geomorfológicos, estratificação de salinidade, processos físicos atuantes (ondas e maré), modo de formação da bacia, padrão de circulação ou mecanismos físicos deposicionais dominantes (MONTEIRO, 2009).

A definição mais comum adotada na Oceanografia Física é de Cameron e Pritchard (1963), onde o estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado que possui ligação livre com oceano aberto e no seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água oriunda da drenagem continental. Esta definição realça os processos entre a intrusão salina e os processos de mistura.

O efeito da maré é enfatizado por Dionne (1963), definindo o estuário como uma reentrância do mar, que atinge o vale do rio até o limite efetivo da maré, subdividindo o estuário em três setores: estuário inferior ou marinho, com ligação livre com oceano aberto; estuário médio, sujeito à intensa mistura da água do mar com a fluvial; e estuário superior ou fluvial, caracterizada por água doce, mas sujeito a influência da maré.

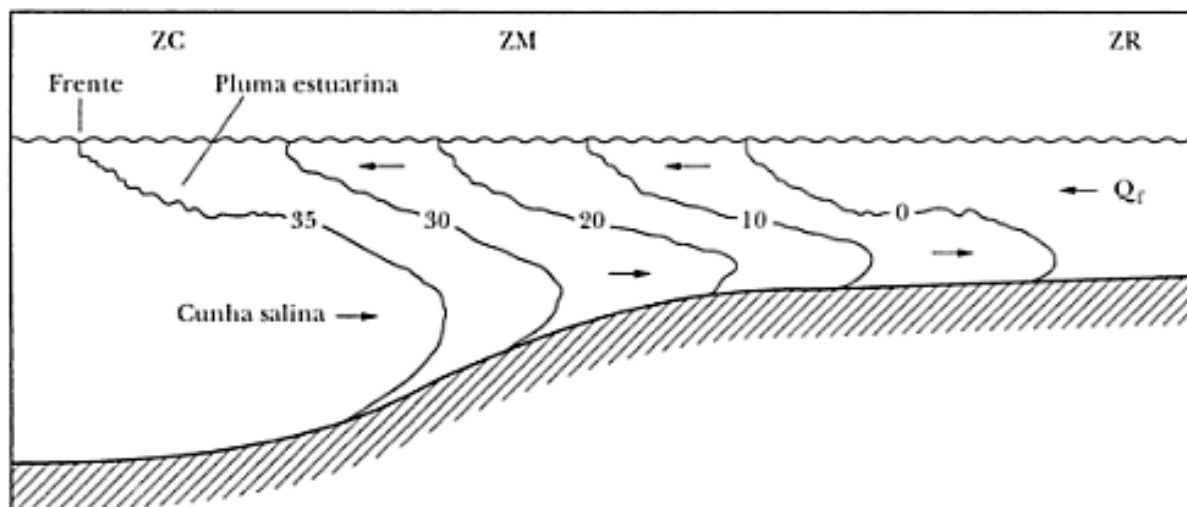
A definição adotada para o presente trabalho foi apresentada por Kjerfve (1987), que descreve o estuário como um ambiente costeiro de conexão restrita com oceano adjacente, subdividindo em três zonas distintas (Figura 5):

Zona de Maré do Rio (ZR): parte fluvial do rio sujeita a influência da maré com salinidade praticamente igual a zero.

Zona de Mistura (ZM): região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar.

Zona Costeira (ZC): região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina.

Figura 5: Representação do ambiente estuarino e isolinhas de salinidade de acordo com suas zonas.



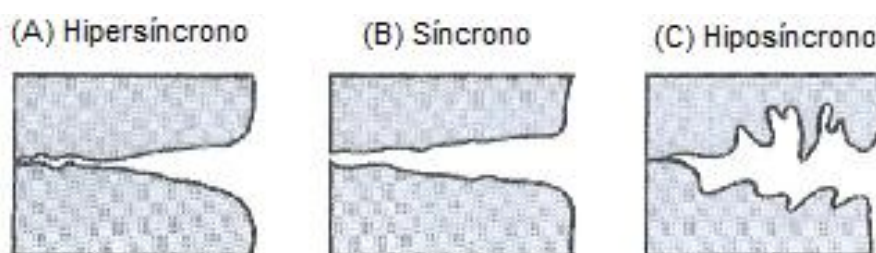
Fonte: Modificado de Miranda (2002).

A ação da maré sobre os estuários é praticamente desprezível, entretanto a onda gerada globalmente pelas forças astronômicas em regiões oceânicas avança pela plataforma continental e propaga-se estuário acima e abaixo na forma de ondas longas de gravidade, sendo denominada co-oscilação da maré (MIRANDA, 2002).

A interação entre a onda de maré e a morfologia do estuário resulta em importantes variações do tamanho da amplitude de maré e a intensidade da corrente. A convergência das margens e o atrito faz com que a onda seja distorcida ao longo estuário (DYER, 1997).

Em relação a fatores como amplitude de maré, influência da morfologia e o atrito, podem-se classificar os estuários em três tipos específicos (Figura 6): Hipersíncrono, síncrono e hiposíncrono (DYER, 1997).

Figura 6: Classificação dos estuários.



Fonte: Modificado de Dyer (1997).

Os estuários Hipersíncrono geralmente têm forma afunilada e a convergência excede o atrito, como consequência, a altura de maré e as correntes aumentam em direção à cabeceira. Na Zona de maré do Rio a convergência diminui, o efeito do atrito torna-se maior e a altura de maré diminui.

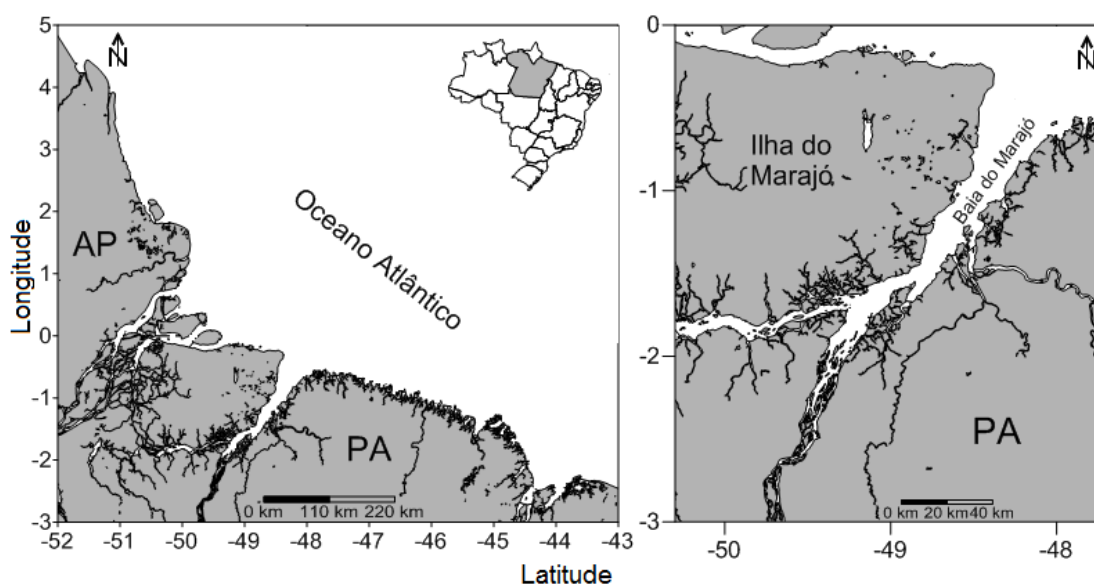
Nos estuários síncronos, os efeitos do atrito e da convergência estão em balanço, e a altura de maré permanece constante até a Zona de Maré do Rio. Nos estuários hiposíncrono, o efeito de atrito excede a convergência e, em consequência, a altura de maré diminui ao longo do estuário.

5 ÁREA DE ESTUDO

5.1 Localização e Acesso

A área de estudo compreende a baía do Marajó e seus principais afluentes: rio Pará, rio Tocantins e o complexo da baía do Guajará (Figura 7). Estes estão inseridos no norte do estado do Pará entre as latitudes 0° e 2° S, e longitudes 48° e 51° W. Seus principais limites físicos são o oceano Atlântico ao norte, uma porção continental do estado do Pará a leste e a ilha do Marajó a oeste, considerada maior ilha fluvio-estuarina do mundo.

Figura 7: Localização da área de estudo, enfatizando a Zona Costeira Amazônica e a baía do Marajó.



Para a realização do estudo foram escolhidas cinco localidades ao longo do estuário. Na baía do Marajó ficaram situados dois pontos, um na Vila de Joanes, pertencente ao município de Salvaterra na ilha do Marajó, e outro em Colares, na margem oposta, ambos com acesso por rodovia e balsa a partir da capital Belém.

O ponto da baía do Guajará ficou situado na Base Naval de Val-de-Cães, porção intermediária do estuário e os pontos dos rios Pará e Tocantins ficaram localizados em áreas equidistantes da desembocadura dos rios na baía, o acesso é apenas de barco.

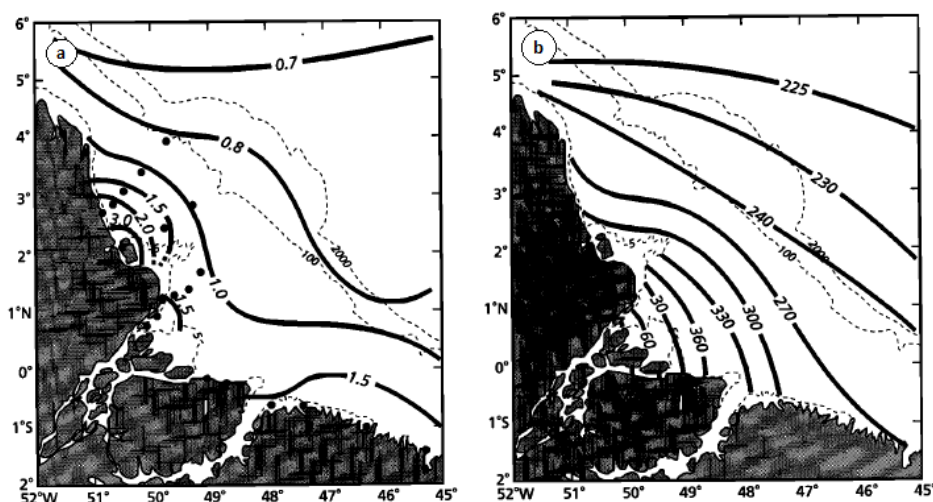
5.2 Aspectos Climatológicos e Oceanográficos

A região é influenciada por um clima tropical úmido, apresentando dois períodos sazonais distintos: o período chuvoso que se estende de dezembro a maio, com maiores índices pluviométricos nos meses de fevereiro a abril; e o período menos chuvoso, que ocorre de junho a novembro, com menores índices pluviométrico em setembro e novembro. Entre as duas estações ocorre um período de transição, podendo haver antecipação ou retardo das chuvas (LIMA, 2005).

A temperatura média do ar é de 27 °C, apresentando poucas variações mensais e anuais, com valores limites mensais entre 25 °C e 29 °C, entretanto são notadas variações diárias importantes, devido à queda de temperatura durante a noite. A umidade relativa do ar é relativamente alta durante o ano todo, mantendo-se sempre acima dos 80% (LIMA, 2005), com maiores valores acontecendo sempre nas primeiras horas do dia, seguindo um decréscimo devido ao aumento de temperatura.

A região apresenta uma classificação de meso a macromaré, com regime semidiurno, onde as componentes M2 (componente lunar principal), S2 (componente solar principal) e N2 (componente lunar elíptica) são mais significativas (BEARSLEY et al., 1995), com amplitudes de maré decrescentes no sentido da cabeceira do estuário (Figura 8).

Figura 8: (a) Amplitude da componente M2 em metros. (b) Fase em graus.



Fonte: Modificado de Bearsley (1995).

Devido sua localização, a baía do Marajó recebe influência dos ventos alísios de superfície litorânea vindos de nordeste, atingindo velocidade de até 2,5 m/s na costa de Soure e Salvaterra. Um papel importante dos ventos alísios é a formação de ondas na baía do Marajó, devido a sua largura de aproximadamente 63 km na desembocadura. Esse regime de ondas pode variar sazonalmente se considerarmos as oscilações dos alísios em termos de intensidade e ângulo de incidência sobre a costa (MUEHE; GARCEZ, 2005).

As correntes de maré estão associadas à penetração da maré no estuário e exercem grande influência nos mecanismos de mistura, sedimentação, erosão e transporte, atingindo valores máximos nas enchentes de sizígia de 2,1 m/s e na vazante de quadratura de 1,7 m/s (PINHEIRO, 1987).

5.3 Hidrologia

O estuário Amazônico apresenta um sistema hidrográfico compostos por diversos rios, canais de maré e outros cursos de água, muitas vezes interligados entre si. A baía do Marajó transporta a água doce proveniente de vários desses rios (CORREA, 2005), a exemplo da baía do Guajará, que tem em sua margem esquerda um conjunto de ilhas e sua margem direita a cidade de Belém, sendo formada na confluência dos rios Acará, Mojú e Guamá.

Outro importante rio é o Pará, formado a partir de contribuições do rio Amazonas através do estreito de Breves, percorrendo uma distância aproximada de 300 km até sua desembocadura na baía do Marajó, onde deságua também o rio Tocantins, que apresenta um regime hidrológico bem definido, com estiagem entre setembro e outubro e cheia de fevereiro a abril, cobrindo uma área de drenagem de aproximadamente 757.000 km² e uma descarga média anual de 11.800 m³/s (LATRUBESSE; STEVAUX, 2005).

As variações do nível dos tributários da baía do Marajó são significativas durante o ano e estão relacionadas ao regime de chuva sazonal que a região está sujeita. Os rios Pará e Tocantins se enquadram na Zona de Maré do Rio de acordo com a classificação de Kjerfve (1987). Enquanto a baía do Guajará se enquadra na Zona de Mistura, devido à intrusão de baixos valores de salinidade no período seco.

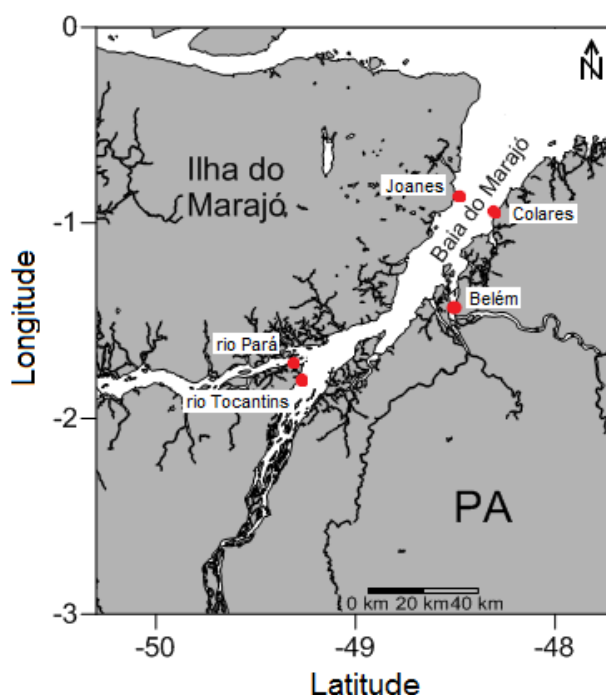
6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Metodologia de coleta

Foram realizadas coletas sistemáticas ao longo do estuário entre os anos de 2012 e 2013 (Figura 9). Duas estações estavam situadas próximo a desembocadura do estuário nas cidades de Colares, margem direita, e no município de Joanes, margem esquerda.

Abrangendo a porção intermediária da área de trabalho, a coleta de dados foi feita na Base Naval de Val-de-cães, localizada na cidade de Belém, onde está instalada a estação maregráfica do Serviço de Sinalização Náutica do Norte (SSN-4). Os outros dois marégrafos foram instalados na Zona de Maré do Rio, próximo a cabeceira do rio Pará e Tocantins.

Figura 9: Mapa amostral dos pontos de coleta.



Na coleta de dados foram utilizados sensores de pressão modelo Solinst Levellogger (Figura 10). O equipamento foi fundeado com uma taxa de 10 minutos, de modo a evidenciar a curva da maré na determinada localidade. Além de dados adquiridos do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), através de

parceria entre o Núcleo de Altos Estudos Amazônico e a Divisão de Hidrografia (SSN-4) da Marinha de Belém.

Figura 10: Sensor de pressão Solinst Levellogger utilizado na coleta de dados.



As coletas de dados não foram feitas simultaneamente nas cinco localidades (Tabela 3), primeiramente foram coletados dados na Vila de Joanes no período chuvoso, depois simultaneamente em Joanes e Colares no período seco. Ambos no ano de 2012, para fazer relação entre as margens da Baía do Marajó e compará-las com as outras estações, os equipamentos ficaram instalados 40 dias registrando o nível da água.

Posteriormente os equipamentos foram instalados nos rios Pará e Tocantins fazendo o registro de maré no final do período seco até o chuvoso, entre os anos de 2012 e 2013, totalizando 3 meses de coleta. Com os dados gerados foram feitas comparações entre as curvas de maré dos rios relacionando com a estação fixa em Belém.

Tabela 3: Pontos de coleta, coordenadas, ano da coleta e período climático.

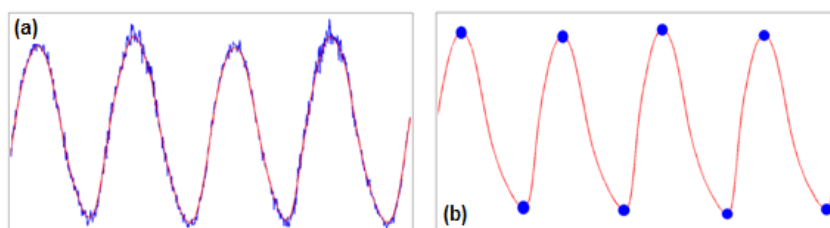
Pontos	Parâmetro	Latitude	Longitude	Período	Sazonalidade	Tempo
Joanes	Nível [m]	-0,88197°	-48,50719°	2012	Seco/Chuvoso	40 dias
Colares	Nível [m]	-0,91850°	-48,29152°	2012	Chuvoso	40 dias
Belém	Nível [m]	-1,39444°	-48,49305°	2012/2013	Seco/Chuvoso	2 anos
Rio Pará	Nível [m]	-1,72158°	-49,34141°	2012/2013	Seco/Chuvoso	90 dias
Rio Tocantins	Nível [m]	-1,78541°	-49,27825°	2012/2013	Seco/Chuvoso	90 dias

6.2 Metodologia de tratamento de dados

Em laboratório, os dados obtidos foram tratados em plataforma Matlab para serem analisados e comparados entre si. A descrição da curva de maré foi feita analisando sua altura e período. No processamento dos dados foi usado um filtro de média móvel, para eliminar os ruídos de coletas, em seguida foram extraídos valores de máximos e mínimos da onda (Figura 11).

A altura de maré foi calculada subtraindo a crista do cavado, e o tempo de enchente e vazante foi calculado através da diferença entre os horários de preamar/baixa-mar e baixa-mar/preamar.

Figura 11: (a) Filtro utilizando média móvel. (b) Máximos e mínimos.



A análise harmônica das séries medidas foi gerada utilizando uma extensão do Matlab chamada T_TIDE (PAWLOWICZ et al., 2002), obtendo as amplitudes e fases das principais componentes de maré. Também foram realizadas previsões para comparar com as séries medidas de modo a validar a análise harmônica.

A defasagem da maré foi calculada a partir da fase da principal componente harmônica (M2), onde foi feita uma regra de três utilizando o período da componente para um ciclo completo e a diferença de fase entre os pontos analisados, assim o resultado é o tempo de defasagem entre as localidades (Tabela 4).

Tabela 4: Tempo de defasagem entre dois pontos.

Ângulo	Tempo
360°	44 714 seg
$(f1 - f2)^\circ$	diferença de fase

O regime de maré foi definido através do número de forma (Figura 12), descrito por Defant (1960), pela razão das principais componentes diurnas (K_1 e O_1) e semidiurnas (M_2 e S_2).

Figura 12: Número de forma.

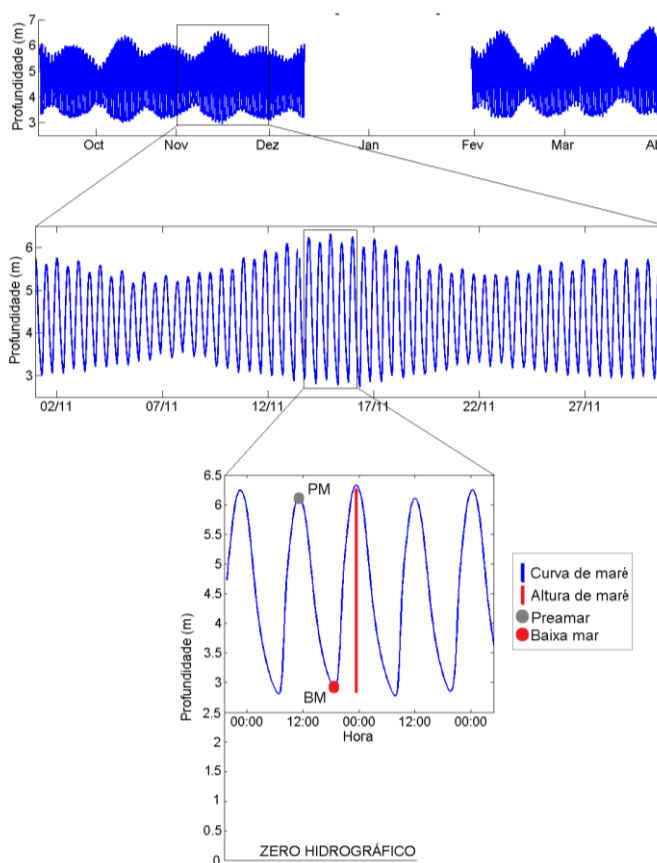
$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

7 RESULTADOS

7.1 Altura de Maré

A baía do Marajó é um estuário formado de diversos corpos de água, onde a oscilação da maré se propaga influenciando todo seu entorno. De acordo com a classificação de Davies (1964), pode-se classificar o estuário estudado como de meso a macromaré, levando em consideração a diferença entre o nível da preamar pelo da baixa mar (Figura 13).

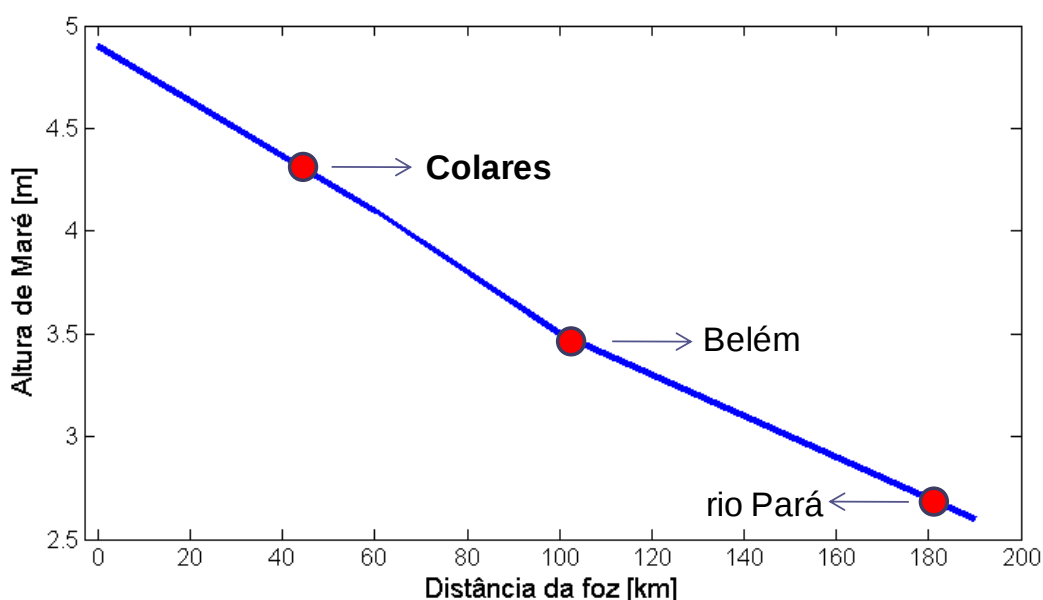
Figura 13: Curva de maré de Belém de Setembro de 2012 a Abril de 2013.



Próximo a sua foz, o estuário pode ser classificado como de macromaré, como é observado em Colares e Joanes, localizados em margens opostas a uma distância de aproximadamente 60 km da desembocadura do canal, onde foram registradas alturas máximas durante o período coletado de 4,1 m e 4 m, respectivamente.

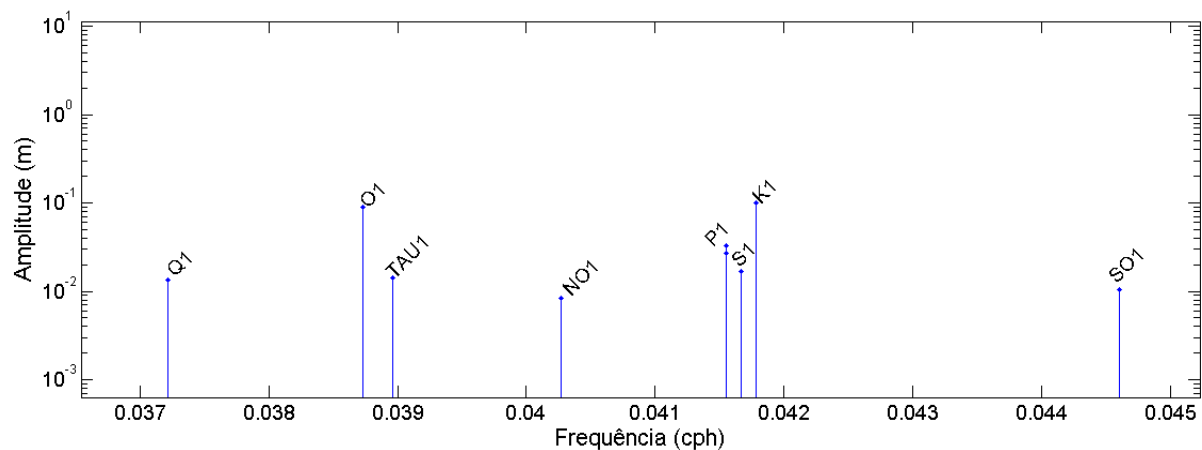
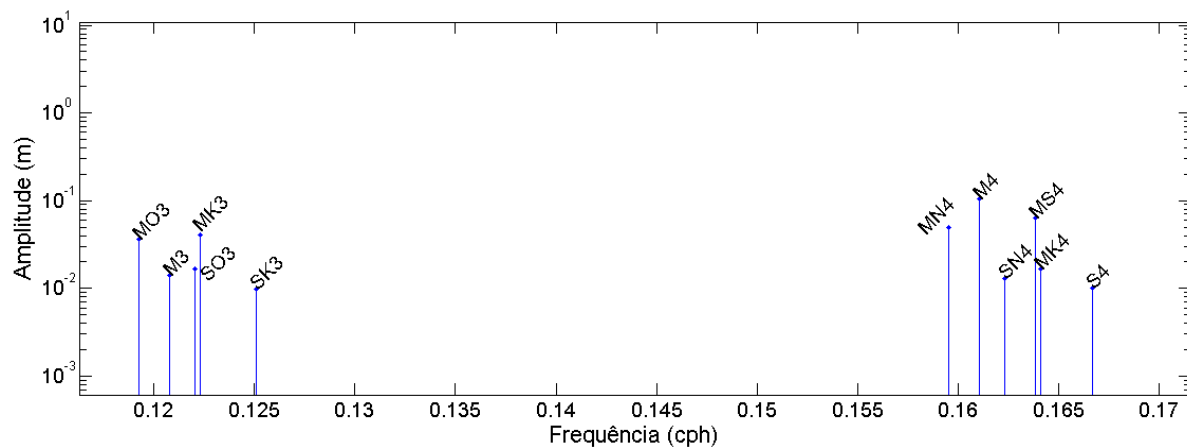
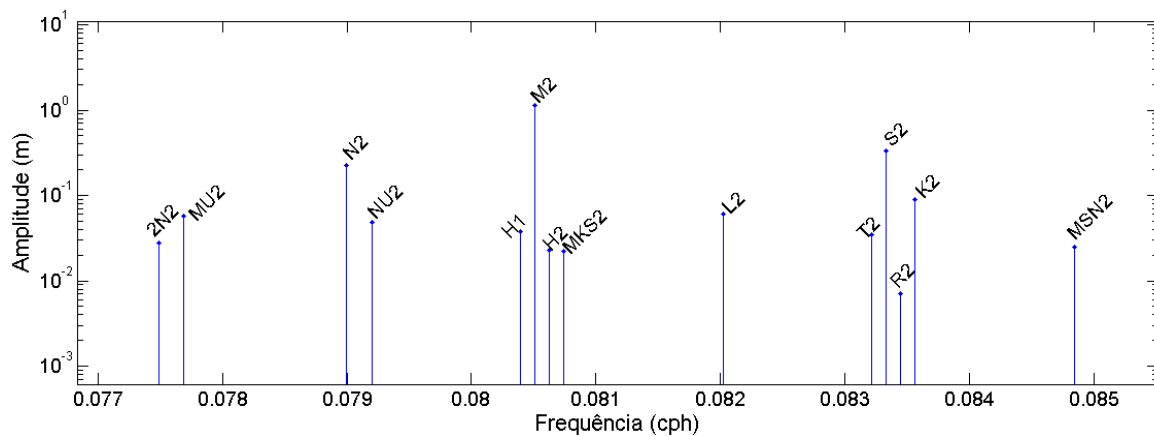
Na porção intermediária, sob a influência da baía do Guajará, e na porção interna, nos rios Pará e Tocantins, o estuário pode ser classificado como de mesomaré, apresentando altura máxima de 3,5 m em Belém, de 3,1 m no rio Tocantins e 2,6 m no rio Pará. Ao comparar as alturas de maré nos pontos de coleta, é possível notar uma diminuição estuário acima (Figura 14), resultando em um estuário hiposíncrono, indicando que o atrito excederia o efeito de convergência do estuário (DYER, 1997; MIRANDA 2002).

Figura 14: Diminuição da altura de maré ao longo do estuário.



7.2 Análise Harmônica

A análise harmônica das séries registradas foi usada para a determinação das principais componentes de maré. Cada componente ocorre em uma determinada frequência que é influenciada pela força responsável de sua geração. Foram divididas as principais componentes diurnas (Figura 15), semidiurnas (Figura 16) e de águas rasas (Figura 17) da baía do Guajará, onde é possível notar que as constituintes mais influentes são as semidiurnas M2, S2 e N2, como foi identificado também por Beardsley et al. (1995) na foz do rio Amazonas.

Figura 15: Amplitude e frequência das principais componentes diurnas.**Figura 16:** Amplitude e frequência das principais componentes semidiurnas.**Figura 17:** Amplitude e frequência das principais componentes de águas rasas.

Ao longo do estuário os valores de amplitude e fase das componentes harmônicas sofrem alterações (Tabela 5), ocorrendo à geração de novos harmônicos. A relação entre as amplitudes das componentes principais determina a altura de maré do ambiente. A soma entre as componentes (M2 + S2) indica a amplitude da maré na sizígia e a diferença (M2 – S2) corresponde à amplitude na quadratura.

Próximo a desembocadura ocorre a predominância das componentes semidiurnas, características de maré oceânica, com o avanço da maré para o interior do estuário é notado uma mudança de fase e decaimento de suas amplitudes.

As condições de contornos do estuário criam harmônicos compostos, conhecidos como componentes de águas rasas, gerados pela interação da onda de maré com o atrito de fundo e outros efeitos não-lineares, resultando em distorções das componentes fundamentais (GALLO, 2004). Um exemplo é a componente M4, onde é mais intensa na baía do Guajará, no rio Pará e no rio Tocantins, devido à da maré com a descarga fluvial.

Tabela 5: Amplitudes e fases das principais componentes harmônicas das localidades estudadas.

Espécie	Período (horas)	Joanes		Colares		Belém		Rio Tocantins		Rio Pará	
		Amplitude (cm)	Fase (graus)	Amplitude (cm)	Fase (graus)	Amplitude (cm)	Fase (graus)	Amplitude (cm)	Fase (graus)	Amplitude (cm)	Fase (graus)
Diurna											
Q1	26,87	2,3	252,2	2,1	267,8	1,3	258,7	1,0	255,5	1,0	245,4
O1	25,82	8,1	255,1	7,6	258,7	9,1	286,3	7,8	324,2	6,7	331,8
P1	24,07	3,4	313,9	2,9	306,5	3,3	319,4	3,1	355,6	2,6	0,3
K1	23,93	10,3	306,8	8,8	299,5	10,0	312,4	9,3	348,5	7,8	353,2
Semidiurnas											
N2	12,66	26,9	275,1	29,5	266,0	22,6	312,0	19,3	10,2	17,8	9,4
M2	12,42	128,0	272,4	131,3	267,7	114,9	320,2	109,9	27,9	95,4	30,2
L2	12,19	5,5	232,3	6,9	226,0	6,1	300,8	7,2	34,2	6,8	36,7
S2	12,00	38,6	303,3	39,5	298,6	32,9	358,6	27,4	70,5	23,5	73,6
K2	11,97	10,5	325,7	10,8	321,0	9,0	354,0	7,4	92,9	6,4	96,0
Águas Rasas											
MO3	8,39	2,3	79,5	2,3	61,4	3,6	153,7	4,0	247,6	3,5	249,4
M3	8,28	1,5	45,3	1,2	44,8	1,4	123,3	0,7	212,5	0,6	241,4
MK3	8,18	3,0	101,3	3,6	87,0	4,1	179,2	3,7	281,3	3,4	282,5
MN4	6,27	3,2	118,0	4,6	88,9	5,0	215,1	5,4	306,0	4,3	295,3
M4	6,21	6,3	121,5	8,3	100,6	10,6	226,6	13,1	328,9	9,3	321,2
SN4	6,16	1,6	167,1	1,3	139,0	1,3	242,1	1,7	19,6	1,2	19,8
MS4	6,10	6,2	126,1	7,5	106,4	6,4	250,5	7,3	9,4	4,8	2,2

7.3 Assimetria de Maré

Nos registros maregráficos obtidos foi possível identificar assimetria positiva da maré, pois apresenta o tempo das vazantes mais prolongados do que o das enchentes. Geralmente a medida da distorção não linear é apresentada pela relação de amplitude e fase entre o harmônico principal M2 e o harmônico mais significativo de águas rasas, o M4 (GALLO, 2009).

A relação da fase determina as situações de dominância da maré a partir da relação entre as componentes M2 e M4. Quanto maior a amplitude da M4 em relação a M2, maior será a distorção da onda de maré (PUGH, 1987). O fato pode ser demonstrado pela diferença da fase em graus dessas componentes ($2GM - GM4$), as localidades estudadas apresentam sempre valores entre 0° e 180° , evidenciando a assimetria positiva.

Outro modo de demonstrar a assimetria da maré é a partir das médias dos tempos entre preamar/baixa-mar e baixa-mar/preamar (Tabela 6). Todos os pontos de coletas apresentaram o tempo de vazante maior que de enchente.

Tabela 6: Média dos tempos entre preamar e baixa mar.

Localidade	Tempo (horas)	
	Enchente	Vazante
Joanes	5,8	6,5
Colares	5,6	6,7
Belém	5,4	6,9
rio Pará	5,1	7,2
rio Tocantins	5,2	7,1

A medida que a maré se propaga para o interior do estuário, é possível notar a acentuação da assimetria, como foi exposto também por Freitas (2011) na baía do Guajará, ocorrendo uma diferença em até duas horas entre as medias de vazante e enchente. De acordo com Gallo (2004), a assimetria é interpretada a partir de harmônicos de baixa frequência, relacionados a descarga fluvial do ambiente.

7.4 Número de Forma

O número de forma (Nf) expressa a importância da amplitude relativa as componente diurnas e semidiurnas. De acordo com o cálculo do Nf das áreas coletadas (Tabela 7), verificou-se um regime tipicamente semidiurno para o estuário ($0 < Nf < 0.25$), caracterizado pela ocorrência normalmente de duas preamares e duas baixa-mares por dia.

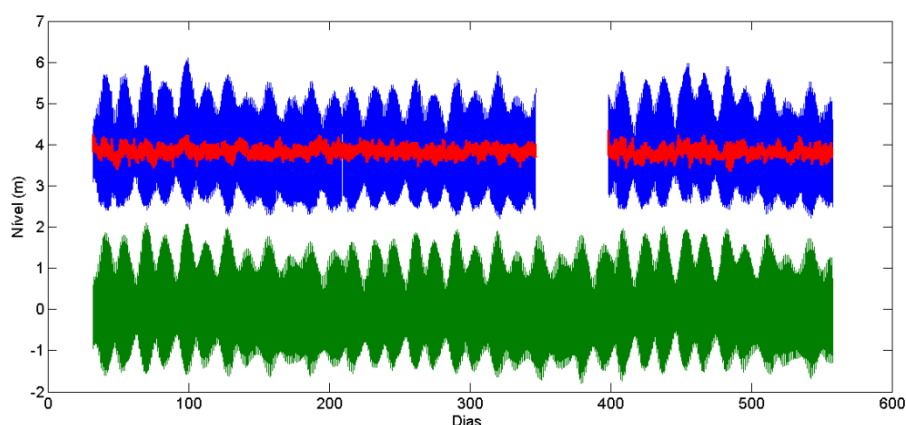
Tabela 7: Número de forma dos pontos de coleta.

Localidade	Nf
Joanes	0,1104
Colares	0,096
Belém	0,1234
rio Tocantins	0,1245
rio Pará	0,122

7.5 Previsão de Maré

A validação da análise harmônica foi realizada a partir de previsões de maré para o mesmo período de coleta (Figura 18). Verificou-se 97% a 99% de eficácia da análise para todas as localidades, apresentando uma diferença de até 1,1 cm entre a previsão e o dado coletado. Além da validação da análise harmônica, a previsão de maré teve o intuito de preencher lacunas onde houve perdas de dados, devido falha no equipamento

Figura 18: Azul indica o dado coletado, verde a previsão de maré e em vermelho a diferença entre o dado coletado e previsto. O nível de referência é o zero hidrográfico adotado na Base Naval de Val-de-cães.

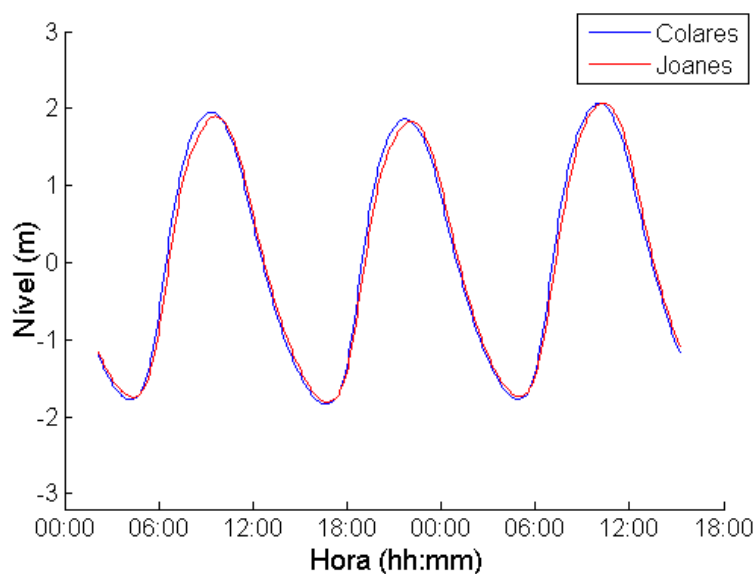


7.6 Propagação de Maré

A maré é formada globalmente nos oceanos, entretanto suas características atingem os estuários fazendo com que as preamares e baixa-mares aconteçam progressivamente ao longo do canal até um determinado limite (MIRANDA, 2002).

De acordo com as comparações entre as curvas de maré na sizígia e a diferença de fase da componente M2 das localidades estudadas, é possível notar a preamar ocorrendo primeiro em Colares do que Joanes (Figura 19), evidenciando a entrada da maré pela margem direita, com uma diferença de fase de aproximadamente 9 minutos.

Figura 19: Relação da curva de maré entre as duas margens da baía do Marajó.



Em seguida a onda se propaga estuário acima até chegar a Belém com uma diferença de fase entre Colares e Belém de 1,8 horas (Figura 20), e entre Belém e o rio Pará, a diferença é de 2,4 horas (Figura 21).

Figura 20: Relação da curva de maré entre o ponto mais próximo a desembocadura e o ponto intermediário de coleta.

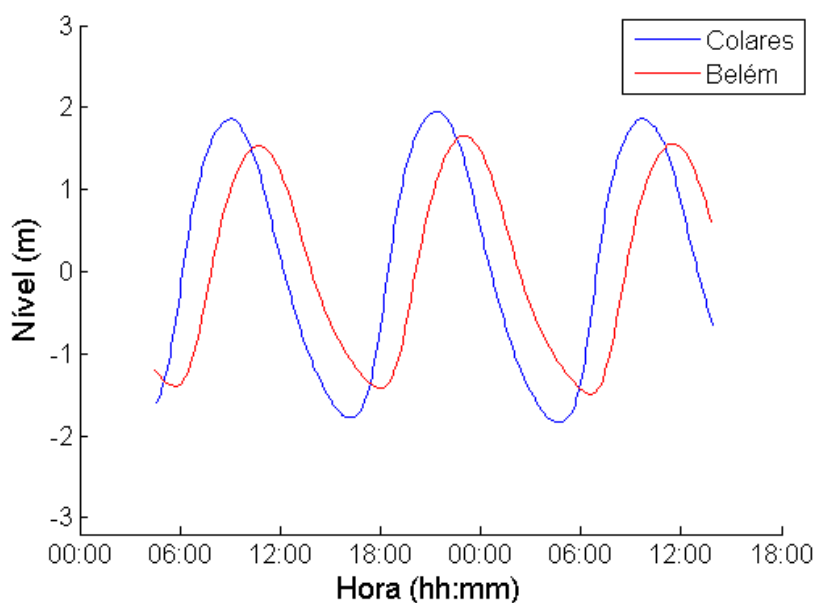
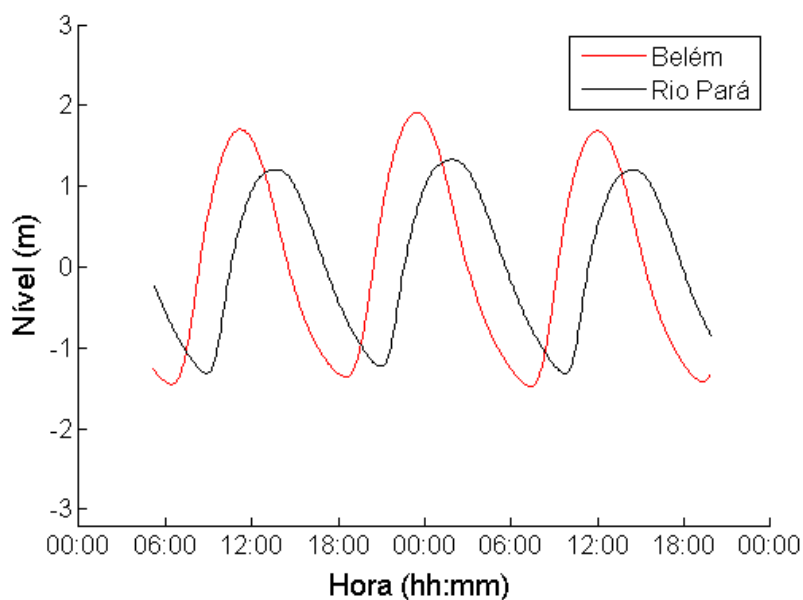


Figura 21: Relação da curva de maré entre o ponto intermediário e o ponto localizado na Zona de Maré do Rio.

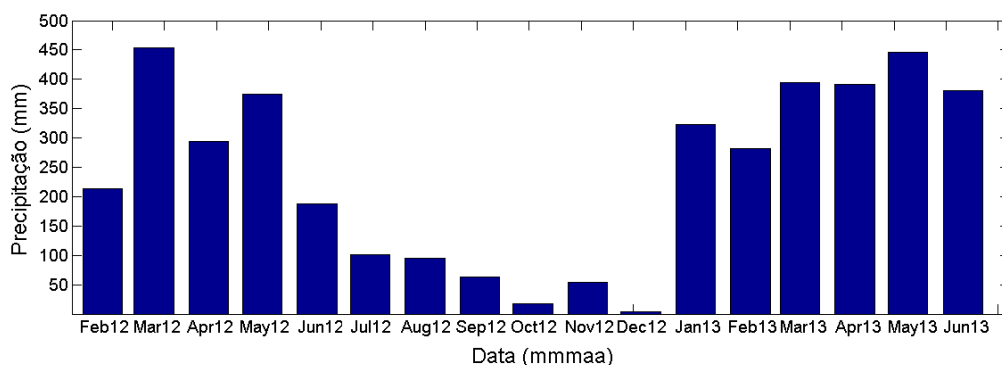


7.7 Nível Médio da Maré e a Sazonalidade

A sazonalidade é um fator determinante para o regime hidrológico da região. No período de janeiro a junho, as condições hidrológicas (fluviais e pluviais) atingem altas taxas (Figura 22), ocasionando uma expansão nas áreas de inundação. Isso

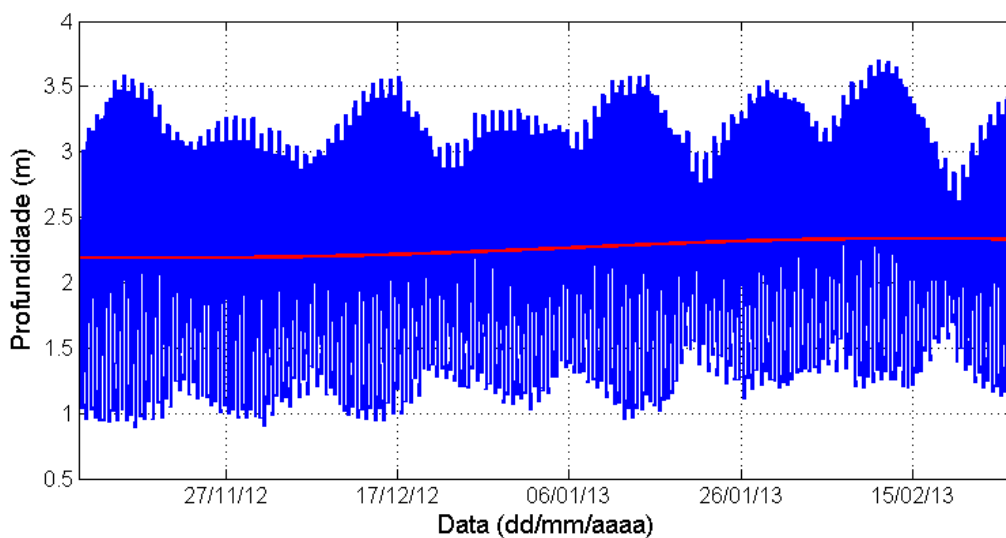
reflete no nível médio (NM) da maré na região. É possível observa a aumento do NM na transição do período seco para o chuvoso, comparando dados pluviométricos de Cametá e a curva de maré no rio Pará (Figura 23).

Figura 22: Gráfico de precipitação de Cametá para os anos de 2012 e 2013.



Fonte: Adaptado de INMET (2013).

Figura 23: Relação entre a Curva de Maré (Azul) e o Nível Médio (vermelho).



8 CONCLUSÃO

A baía do Marajó e seus principais tributários são estuários classificados em meso a macromaré, com altura de 4,1 m no ponto de coleta mais próximo a desembocadura e 2,6 m na Zona de Maré do Rio. O regime é tipicamente semidiurno, caracterizado pelas vazantes mais prolongadas do que as enchentes.

As componentes astronômicas mais influentes no sistema são as semidiurnas M2, S2 e N2, que diminuem progressivamente ao longo do estuário, devido à influência principalmente da componente de água rasa M4 e pela geração de novos harmônicos. As análises harmônicas se mostraram eficientes, uma vez que as previsões realizadas obtiveram de 97% a 99% de eficácia.

A maré se propaga pelo estuário entrando e saindo pela margem direita, fato evidenciado pela comparação entre as preamares e baixa-mares entre Colares e Joanes, localizados em margens opostas da baía do Marajó. A diferença de fase entre o ponto próximo a desembocadura e o mais interno foi de 3,8 horas. A propagação da maré na região é afetada pelas condições climáticas do ambiente, pois ocorre a mudança do nível do rio nos períodos de mais chuva e menos chuva.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acessado em 15 Set. 2013.
- ALFREDINI, P., ARASAKI, E. **Obras e Gestão de Portos e Costas**. 2.ed.São Paulo: Editora Blücher.2005.
- BEARDSLEY, R.C., CANDELA, J., LIMBURNER R. The M2 Tide on the Amazon Shelf.**Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2 (Feb), p. 2283-2319. 1995.
- CAMERON, W.M., PRITCHARD, D.W. Estuaries. In: HILL, M.N. (ed.) **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York, 1963.
- COBRAPHI. Hidrologia e climatologia na região Amazônica brasileira. Informação disponível e atividade em desenvolvimento. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA E CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA. Manaus-AM, 1984.
- CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**. v. 32,n. 2, p. 109-118, 2005.
- DAVIES, J. H. A Morphogenic Approach of World Shorelines. **Z. Geomorphology**, v. 8, p. 127-142, 1964.
- DEFANT, A. **Physical Oceanography**. New York, Pergamon Press. 1960.v. 2.
- DIONNE, J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeithschr. F. Geomorph**, v. 7, n. 1, p. 36-44, 1963.
- DYER, K. R. **Estuaries: A physical introduction**. 2.ed.. New York: John Wiley and Sons, 1997.
- FRANÇA, C. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem LANDSAT. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 127-136, 2003.
- FRANCO, A. S. **Marés - Fundamentos, Análises e Previsão**. São Paulo, Brasil. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1997.
- FREITAS, P. T. A. **Distorção e atenuação da maré em um tidalriver Amazônico: Efeitos da Sazonalidade da Vazão Fluvial e Geomorfologia (Sistema Guamá-Capim)**. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental da Universidade Federal do Pará - Campus de Bragança. 2011.
- GALLO, M. N. **A Influência da Vazão Fluvial sobre a Propagação da Maré no Estuário do rio Amazonas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Oceânica). Programa de Engenharia Oceânica. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2004.

GALLO, M. N. **Escoamentos em Planícies de Marés com Influência Fluvial – Canal Norte do Rio Amazonas**. 2009. Tese (doutorado em Engenharia Oceânica). Programa de Engenharia Oceânica. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.

GODIN, G. The Propagation of Tides up Rivers with Special Considerations on the Upper Saint-Lawrence River. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 48, pp.307-324, 1999.

GREGÓRIO, A. M. S. **Contribuição à gestão ambiental da baía de Guajará (Belém – Pará – Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

GREGÓRIO, A. M. S., MENDES, A. C. Batimetria e Sedimentologia da Baía do Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**. Belém, v. 5, n. 9, p. 53-72, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – **INMET**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: 15 Set. 2013.

KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: **ESTUARINE ECOLOGY**. New York, Wiley, p. 47-78, 1987.

LATRUBESSE, E., STEVAUX, J. C. Geomorphology and Environmental aspects of Araguaia Fluvial Basin. Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, n. 129, p. 109-127, 2002.

LIMA, A. M., OLIVEIRA, L. L., FONTINHAS, R. L., LIMA, R. J. S. Ilha do Marajó: Revisão Histórica, Climatológica, Bacias Hidrográficas e Propostas de Gestão. **HOLOS Environment**, v.5 n.1, p. 65, 2005.

MIGUENS, A. P. Maré e correntes de maré; correntes oceânicas. In: **NAVEGAÇÃO: a ciência e a arte – navegação costeira, estimada e em águas restritas**, v. 1, cap. 10, p 227-274, 1996.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M. E KJERFVE, B. **Princípio de Oceanografia Física em Estuários**. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MONTEIRO, S. M. **Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa**. Dissertação (Mestrado Geologia e Geoquímica). Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica - Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 2009.

MUEHE, D., GARCEZ, D.S. A Plataforma Continental Brasileira e sua Relação com a Zona Costeira e a Pesca. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, v. 4, n. 08, p. 69-88, 2005.

PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S. ClassicalTidalHarmonicAnalysisincludingErrorEstimates in MATLAB using T_TIDE. **Computers&Geosciences**, v.28, p.929-937, 2002.

PEREIRA, L. C. C. **A Zona Costeira Amazônica brasileira**: limite e características. Anais da 59º Reunião Anual da SBPC. Belém. 2007

PEREIRA, L. C. C., DIAS, J. A., CARMO, J. A., POLETTE, M. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, 2009.

PINHEIRO, R.V.L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará - Belém/PA**. 1987. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém. 1987.

PUGH, D.T. **Tides**: surgesandmeansealevel. New York: John Wiley, 1987.

SIOLI, H., **Amazônia**: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Rio de Janeiro, 1985.

SOUZA FILHO, P. W. M., SALES, M. E. da C., PROST, M. T. R. da C., COSTA, F. R., SOUZA, L. F. M. de O. Zona Costeira Amazônica: O cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. **Bibliografia da zona costeira Amazônica**. Belém. 2005.