



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

**LORENA FERREIRA GOERSCH ANDRADE**

**VARIAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM TORNO  
DA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ.**

**BELÉM - PA**

**2013**

LORENA FERREIRA GOERSCH ANDRADE

VARIAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM TORNO DA  
ILHA DO MARAJÓ, PARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal  
do Pará, em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de  
Bacharel em Oceanografia.  
Orientador: Dr. Marcelo Rollnic.

BELÉM - PA

2013



LORENA FERREIRA GOERSCH ANDRADE

VARIAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM TORNO DA ILHA  
DO MARAJÓ, PARÁ.

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: 17/12/2013

Conceito: EXCELENTE

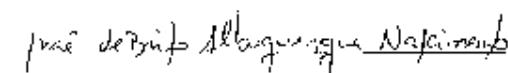
Banca examinadora:



Professor Marcelo Rollnic - Orientador  
Doutor em Oceanografia  
Universidade Federal do Pará



Professor Maamar El-Rohrni - Membro  
Doutor em Geologia Marinha  
Universidade Federal do Pará



Inaê de Brito Albuquerque Nascimento - Membro  
Mestre em Biologia Ambiental  
Universidade Federal do Pará

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Oceanografia, ao Instituto de Geociências e à Universidade Federal do Pará, por todas as oportunidades durante os anos de curso de graduação.

Ao meu estimado amigo e orientador Marcelo Rollnic, pelas conversas, conselhos, além da paciência e disposição sempre, um exemplo de perseverança, conquista e sucesso. A todos da turma de Oceanografia 2010, pela maravilhosa companhia durante estes quatro anos. Além de inúmeras provas, seminários e relatórios, impossível esquecer das viagens, brincadeiras, apelidos e risadas, muitas risadas. Meu carinho especial ao Leonardo, Guilherme, Francisco, Rogério e Fábio. Também aos meus queridos Fernanda, Quéren, Victor, Thuareag, Johnata, Cláudia e Mayara.

À família LOF (Laboratório de Oceanografia Física) por me receber neste último ano de graduação. Em especial ao Maurício, obrigada por toda a grande ajuda e paciência. Também ao Renan, Fabíola, Aldo, Yuri e Arthur. E claro, minha parceira Carol, porque nos completamos e nos entendemos como ninguém, desde o início, até mesmo a milhares de km de distância.

À professora Sury Monteiro, pelo empréstimo de seu próprio material de trabalho, além da disposição e preocupação a todo momento com os alunos. Ao professor Maâmar El-Robrini e à Inaê Nascimento, por disponibilizarem de seu tempo para a avaliação deste trabalho, como banca examinadora.

À toda equipe do embarque Amazon 4, pelos dias de coleta, conversas, conselhos, lindas paisagens e muito aprendido.

À minha família, meus pais Helena e Jorge, e meus irmãos Larissa e Yuri, principalmente por acreditarem em mim, pela paciência, incentivo e apoio incondicional não apenas durante a realização desta conquista, mas em todos os momentos. Agradeço especialmente às minhas irmãs de coração Heloísa, Izabela e Amanda, por me aceitarem, ouvirem, me protegerem e me amarem nestes quase dez anos de amizade em que compartilhamos sonhos, realizações e frustrações, e por todo o apoio e compreensão durante essa fase de TCC. E ao meu melhor e mais desnaturado amigo, Eduardo, também.

Por fim, humildemente agradeço a Deus, por tudo.

## RESUMO

A Ilha do Marajó consistena maior ilha flúvio-marítima do mundo, localizada na Amazônia, é atualmente uma região de imenso potencial geológico e hídrico, além de econômico e social, através de atividades pesqueiras, de preservação, turísticas, de transporte, entre outras. Para análises dos parâmetros de turbidez e concentração de material particulado em suspensão (MPS), foram realizadas coletas em quatro estações de amostragem ao redor da ilha, em dois pontos de amostragem no Canal Sul do rio Amazonas, e dois pontos no rio Pará, os dois principais rios integrantes do sistema estuarino marajoara. Com o objetivo de correlacionar a turbidez das águas e a distribuição da descarga sólida, em função do ciclo da maré em torno da ilha do Marajó, foram efetivadas análises de perfis verticais com o aparelho turbidímetro e quantificação de MPS através do método gravimétrico. Ao sul da ilha do Marajó o rio Amazonas origina o rio Pará, onde a leste da ilha, após o encontro com as águas do Tocantins, formam a baía do Marajó. Associadas aos demais elementos integrantes das bacias de drenagem da ilha, suas características específicas hidrodinâmicas, físico-químicas na sazonalidade e marés, são fundamentais na distribuição espacial da turbidez e concentração de material particulado em suspensão nas águas. Os resultados obtidos em todas as estações foram analisados, comparados e associados a outros parâmetros, como a influência marinha ou fluvial, e a variação da maré, identificando estes rios às características das porções do Marajó (Occidental ou Oriental), à qual estão inseridos. Os valores mínimos e máximos de turbidez, respectivamente, variaram de 17 FTU no rio Pará a 188.76 no Canal Sul. A quantificação mínima e máxima de MPS oscilou entre 11.15 mg/l e 108.46 mg/l, ambas no rio Pará.

**Palavras-chave:** Estuários. Parâmetros hidrológicos. Descargasólida.

## ABSTRACT

The Marajó island consists on the greatest fluvial-island of the world, located in the Amazon. Is currently a great geologic and hydric potential region, besides the economic and social, through fishing, preservation, turism, trasport, activities, among others. For the analysis of turbidity and concentration of suspended particulate matter parameters (SPM), collections were made at four sampling stations around the island in two locations in the South Channel of the Amazon River, and two points in Pará river, the main rivers that constitute the marajoara estuarine system. In order to correlate the turbidity of the water and the distribution of sediment discharge, depending on the tide cycle around the island Marajó, were efectivated vertical profiles with the turbidimeter apparatus and quantification of MPS by the gravimetric method. On the South part of the Marajó the river Amazon originates the Pará river, where on the east part, after the junction with the Tocantins water, create the Marajó bay. Associated with other integrants elements of the island drainage basins, its specific hydrodynamics, seasonal physic-chemical characteristics and tides are fundamental on the water spational turbidity and concentration of suspended particulate matter distribution. The results obtained for every stations were analyzed, compared and associated to other parameters, such as the marine or fluvial influence, and the tide variation, identifying those rivers to the Marajó portions characteristics (western or eastern), to which they belong. The turbidity minimum and maximum values, respectively, varied from 17 FTU on the Pará river to 188.76 FTU in the South Channel. The minimum and maximum quantification of SPM ranged between 11.15 mg/l to 108.46 mg/l, both in Pará river.

**Key words:** Estuaries. Hydrologic parameters. Solid deschard.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema geomorfológico de um estuário e suas zonas.....	16
Figura 2 - Mapa da área de estudo com destaque nos pontos de amostragem.....	21
Figura 3 - Classificação climática, segundo “KOPPEN”, da Ilha de Marajó.....	24
Figura 4 - Mapa de localização dos setores da ZCEP. Setor 1: Costa Atlântica do Salgado Paraense; Setor 2: Insular Estuarino; Setor 3: Continental Estuarino . .....	25
Figura 5 - Mapa das unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado do Projeto Radam 1974): 1 – Planalto Rebaixado da Amazônia; 2 – Planície Amazônica; 3 - Área de estudo . .....	26
Figura 6 - Rede de drenagem e divisão hidrográfica do Marajó.....	28
Figura 7 - Fluxograma do método.....	29
Figura 8 - (A) Microfiltros de fibra de vidro Carvalhaes de 47 mm; (B) Balança analítica; (C) Microfiltros secos e armazenados.....	30
Figura 9 - (A) Garrafa do tipo Van Dorn usada nas amostragens em campo; (B) modelo de turbidímetro utilizado em campo.....	31
Figura 10 - Variação da turbidez das águas no Canal Sul do rio Amazonas na localidade da Ponta da caridade durante um ciclo de maré no dia 16/05.....	32
Figura 11 - Variação da turbidez das águas na segunda estação no Canal Sul do rio Amazonas durante um ciclo de maré no dia 19/06.....	33
Figura 12 - Variação da turbidez das águas no rio Pará nas proximidades de Currálinho durante um ciclo de maré no dia 23/06.....	34
Figura 13 - Variação da turbidez das águas no rio Pará nas proximidades de Ponta de Pedras durante um ciclo de maré no dia 25/06.....	35
Figura 14 - Variação da altura da maré no Canal Sul do rio Amazonas na localidade da Ponta da caridade no dia 16/05.....	36
Figura 15 - Variação da altura da maré na segunda estação no Canal Sul do rio Amazonas no dia 19/06.....	37
Figura 16 - Variação da altura da maré no rio Pará nas proximidades de Currálinho no dia 23/06.....	38
Figura 17 - Variação da altura da maré no rio Pará nas proximidades de Ponta de Pedras no dia 25/06.....	39
Figura 18 - Distribuição das médias de MPS em todos os pontos, em superfície e fundo. .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos locais de amostragem. ....	30
Tabela 2 - MPS no Canal Sul (Ponta da Caridade) .....	36
Tabela 3 - MPS no Canal Sul (rio Amazonas).....	37
Tabela 4 - MPS no rio Pará (Curralinho).....	38
Tabela 5 - MPS no rio Pará (Ponta de Pedras).....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA</b> .....	13
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	14
3.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	14
3.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	14
<b>4 REVISÃO TEÓRICA</b> .....	15
4.1 <b>Estuários</b> .....	15
4.2 <b>Marés</b> .....	17
4.3 <b>Turbidez e Material Particulado em Suspensão</b> .....	19
<b>5 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	20
5.1 <b>Localização</b> .....	20
5.1.1 <b>Canal Sul</b> .....	21
5.1.2 <b>Rio Pará</b> .....	22
5.2 <b>Vegetação</b> .....	23
5.3 <b>Dados Meteorológicos e Climatológicos</b> .....	23
5.4 <b>Aspectos Fisiográficos</b> .....	24
5.5 <b>Aspectos Hidrológicos</b> .....	26
5.6 <b>Aspectos Hidrodinâmicos</b> .....	28
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
6.1 <b>Pré-Campo</b> .....	30
6.2 <b>Procedimentos em Campo</b> .....	31
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
7.1 <b>Turbidez</b> .....	32
7.2 <b>Material Particulado em Suspensão (MPS)</b> .....	36
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia, além de ser um dos ecossistemas mais importantes do planeta, é também a maior bacia hidrográfica do mundo, com cerca de cinco milhões de quilômetros quadrados e influi nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, com interações no clima do mundo inteiro (FISCH, 2007). A região Amazônica é conhecida por sua grande disponibilidade hídrica, o que se dá por uma densa rede de drenagem entrecortando uma vasta região geográfica com rios, lagos e igarapés com grande variabilidade, tanto na extensão quanto na largura dos rios, bem como no volume de água por eles transportado (SILVA, 2009).

Segundo dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), a região hidrográfica amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na Ilha do Marajó, além das bacias dos rios situados no Estado do Amapá que deságuam no Atlântico Norte. A bacia hidrográfica do rio Amazonas é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km<sup>2</sup>, desde suas nascentes nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico (na região norte do Brasil). Em termos de recursos hídricos, a contribuição média da bacia hidrográfica do rio Amazonas, em território brasileiro, é da ordem de 132.145 m<sup>3</sup>/s (73,6% do total do País).

O termo estuário é utilizado para indicar a região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro das águas fluviais com a do mar, transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite da influencia da maré (MIRANDA et al., 2002). Os estuários amazônicos são sistemas particularmente complexos e dinâmicos sob influência direta ou indireta da bacia hidrográfica do Amazonas e sua intrincada rede hidrográfica, do clima característico da região que apresenta altos níveis de pluviosidade e uma marcada sazonalidade, das descargas hídrica e sólida das drenagens continentais, bem como da ação dos ventos e das marés (AVELINE, 1980).

Para Diegues (1973), por ser esse ecossistema único, de dimensões gigantescas, forma em sua foz um grande estuário. O rio Amazonas seria, então, um “sistema estuarino”, considerando os rios Amazonas e Pará como dois corpos distintos, ou como parcelas componentes de um mesmo corpo indivisível de águas.

A Ilha de Marajó situa-se na foz do rio Amazonas em um ambiente flúvio-estuarino complexo, onde as porções oriental e ocidental apresentam diversidades sedimentológicas, morfológicas e climáticas distintas(BEMERGUY, 2003).

Reis et al.(1977) caracterizou a dinâmica das massas de água das margens da ilha do Marajó, através de estudos da composição isotópica das águas. Evidenciou-se uma circulação das águas do rio Amazonas através da chamada região de "furos" da orla norte, em direção a orla sul do Marajó (rio Pará e baía do Marajó). Porém, foi observada uma distinção entre as águas do Amazonas, a oeste da ilha, e da Baía do Marajó, a leste, indicando que a influência do rio Tocantins é mais forte que o rio Amazonas nessa área, e uma certa independência entre as bacias desses rios.

No presente trabalho, visando também caracterizar a interação das águas marginais da ilha do Marajó, levando em conta seus aspectos específicos da porção Oriental e porção Ocidental, em geral, foram feitas análises de turbidez e material particulado em suspensão em dois pontos do Canal Sul do rio Amazonas, com foz localizada na porção ao norte e a oeste da ilha, e em dois pontos do rio Pará, a sul e leste do Marajó.

## 2 ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA

A região amazônica vem atraindo cada vez mais atenção no meio científico. Dessa forma, apesar de ainda haverem relativamente muito poucos trabalhos, principalmente em relação aos aspectos físicos e dinâmicos deste vastíssimo e importante ambiente, as pesquisas estão se intensificando com o tempo.

Foi realizada uma revisão bibliográfica através da seleção de algumas das principais publicações, dissertações e teses escritas sobre a Ilha do Marajó, no Estado do Pará. Em relação aos estuários, rios, canais, entre outros, contidos nela e temáticas relacionadas aos parâmetros físicos, climáticos, de evolução sedimentar e tectônica, à descrição dos subsistemas geomorfológicos da área.

Entre trabalhos já realizados na região marajoara nos contextos de hidrografia, geologia, geoquímica e biologia da região amazônica e do Marajó, podem ser citados como contribuintes para a realização deste, Aveline (1980), Reis et al. (1977), El-Robrini et al. (2006), França (2003), Lima et al. (2005), Monteiro (2009), Bezerra et al. (2013), Silva (2009), Martins (2010), etc.

A ilha do Marajó localiza-se na Amazônia, onde é notável o interesse do mundo todo, sobre vários aspectos geológicos, meteorológicos, econômicos e antropológicos, especialmente a partir das últimas décadas. Este é um dos fatores que leva à necessidade da busca por um maior conhecimento sobre a região. Em relação às suas águas, a região marajoara destaca-se em diversas formas devido seu altíssimo potencial hidrológico.

Com relação à análise do aporte de material particulado em suspensão e turbidez da água, este trabalho é diferenciado por abordar aspectos de diversos pontos da ilha do Marajó como um todo, onde é possível analisar, comparar e inferir características destes pontos, possibilitando assim, estudos direcionados ao transporte de sedimentos na região.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Analisar os aspectos hidrológicos, correlacionando a turbidez das águas e a distribuição da descarga sólida, em função de um ciclo da maré em torno da ilha do Marajó, no Pará.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Verificar a quantidade de material particulado em suspensão transportado ao longo de um ciclo de maré nas distintas porções da ilha.
- Analisar perfis verticais de turbidez da água em cada ponto ao longo de um ciclo de maré.
- Determinar o padrão de distribuição espacial da descarga sólida nos rios em estudo.

## 4 REVISÃO TEÓRICA

### 4.1 Estuários

A definição do termo "estuário" sofreu diversas alterações ao longo do tempo. MIRANDA; CASTRO; KJERFVE (2002) apresentam algumas das principais definições de estuário:

Pritchard (1955) conceitua estuário como “um corpo de água costeiro semifechado, com ligação direta com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Na adaptação da definição de Pritchard por Dyer (1997), ele inclui a região do rio influenciada pelo movimento da maré (zona de maré do rio), conceituando o estuário em “um corpo de água costeiro semi-fechado com interligação livre com o oceano adjacente, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

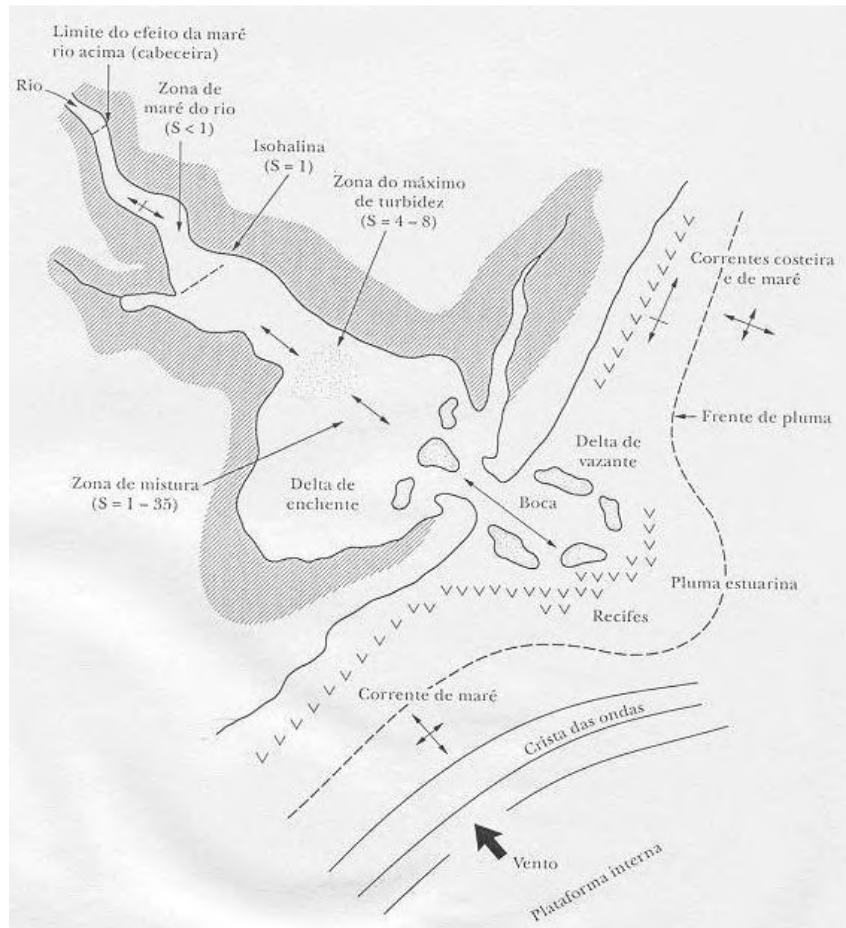
Então, Kjerfve (1989) definiu um sistema estuarino, como: “um ambiente costeiro com conexão restrita com o oceano adjacente à qual permanece aberta pelo menos intermitentemente. Esse ambiente pode ser subdividido em três zonas distintas:

- Zona de Maré do Rio (ZR): corresponde à parte fluvial com salinidade inferior a 1, mas ainda sujeita à influência da maré;

- Zona de Mistura (ZM): onde ocorre a mistura da água doce proveniente da drenagem continental com a água da região costeira adjacente;

- Zona Costeira (ZC): corresponde à região costeira adjacente, delimitada pela pluma de maré vazante. A extensão dessa ‘frente’ estuarina delimita a ‘Camada Limite Costeira’(CLC)”.

Figura 1 - Esquema geomorfológico de um estuário e suas zonas. Fonte: MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002.



A Zona Costeira Amazônica Brasileira (ZCAB) é basicamente estuarina e suas características e dimensões resultam em uma complexa rede de drenagem associada a uma ampla área sujeita a inundações diárias (devido à maré) e sazonais (devido aos períodos de cheia dos rios) (NASCIMENTO, 2013).

O estuário do Amazonas é um ambiente altamente energético, onde a descarga fluvial e a maré são os principais forçantes hidrodinâmicos. A assimetria da maré, sempre positiva dentro do estuário, não implica em correntes de enchente maiores que as correntes de vazante devido à contribuição da vazão fluvial. Assim, a dominância de vazante contribui para a exportação dos sedimentos finos para a plataforma continental (VINZON et al., 2007). O estuário do rio Pará é caracterizado como um estuário bem misturado com um regime de solução salina que varia entre limnética e mesohalina com oscilação das marés (BEZERRA et al., 2013).

## 4.2 Marés

O cientista inglês Isaac Newton descobriu a lei da gravitação no século XVII. Porém, há milhares de anos, as chamadas marés são conhecidas por marinheiros e moradores litorâneos, que por meio de observação, sabiam que a Lua possui relação com a subida e descida do mar duas vezes ao dia. Mas as leis físicas desse fenômeno não foram estudadas até a descoberta de Newton, que desenvolveu a "teoria do equilíbrio", demonstrando que as marés são resultado do empuxo gravitacional do Sol e da Lua nos oceanos.

Segundo Garrison (2010), as marés são as maiores de todas as ondas, consistindo em alterações periódicas, de curto prazo, na altura da superfície do oceano, em um determinado lugar, causadas pela combinação da força gravitacional da Lua e do Sol com o movimento da Terra. Verificam-se as marés lunares, causadas pela atração gravitacional e pela inércia da interação da Lua e da Terra, e as marés solares, causadas pela interação gravitacional e inercial do Sol e da Terra, sendo que a influência da Lua nas marés é cerca de duas vezes a do Sol.

As maiores marés causadas pelo alinhamento linear do Sol, da Terra e da Lua são chamadas de marés de sizígia. Durante as marés de sizígia, as preamares são muito altas, e as baixa-mares, muito baixas. Essas marés ocorrem em intervalos de duas semanas correspondentes às luas cheia e nova. As marés de quadratura ocorrem quando a Lua, a Terra e o Sol formam um ângulo reto. Durante as marés de quadratura, as preamares não são tão altas, nem as baixa-mares tão baixas. As marés de quadratura também ocorrem em intervalos de duas semanas, uma semana depois de uma maré de sizígia. (GARRISON, 2010).

Segundo Schmiegelow(2004), as marés são classificadas de acordo com sua altura em: macromarés (maior que 4 m), mesomarés (entre 2 a 4 m) e micromarés (menor que 2 m). As marés podem ser classificadas em três tipos, reconhecidas pela frequência em que ocorrem e simetria de sua curva: maré diurna, quando ocorrem uma preamar e uma baixar-mar aproximadamente iguais em cada dia lunar, maré semi-diurna, a mais comum, quando ocorrem duas preamares e duas baixa-mares aproximadamente iguais em cada dia lunar, e maré mista, na qual ocorrem duas preamares e duas baixa-mares de significativas diferenças de altura.

A determinação das amplitudes e fases das componentes de maré, sejam as decorrentes puramente astronômico ou decorrentes de águas rasas, assim como do nível médio em função das diferentes forçantes, é fundamental na determinação da hidrodinâmica do estuário. A circulação no estuário é o suporte para diversos estudos de interesse prático, como o de transporte de sedimentos, dispersão de poluentes e escoamento, determinação de correntes e níveis para navegação interior ou para previsão de cheias (GALLO, 2004).

A penetração da maré num estuário é o resultado da interação do escoamento fluvial e do movimento oscilatório gerado pela maré na sua desembocadura, onde essas ondas longas são geralmente amortecidas e progressivamente distorcidas pelas forças do atrito no fundo e a vazão fluvial (GODIN, 1999). Devido ao seu longo período e comprimento de onda, as ondas de maré comportam-se como ondas de águas rasas, sendo influenciadas pela profundidade em que se encontram (SILVA, 2009).

A maré na plataforma continental amazônica é predominantemente semidiurna e é amplificada na região costeira, caracterizando o estuário como de macromaré, somando-se a isso as grandes vazões do rio Amazonas, este ambiente apresenta uma forte dinâmica. A fronteira rio-estuário não permanece fixa no tempo, mas apresenta variações de posição em função da variação dos parâmetros que caracterizam a maré (período e amplitude) e o escoamento fluvial (vazão, declividade e rugosidade do fundo) (GALLO, 2004).

Os setores insular estuarino do rio Amazonas e continental estuarino do rio Pará/Baía do Marajó sofrem influência da mesomaré, que apresenta amplitudes de até 3,65 m durante as marés de sizígia, no período chuvoso em janeiro. As menores amplitudes de marés são registradas em abril (0,5 m), durante a maré de quadratura (EL-ROBRINI et al., 2006).

Segundo Gallo (2004), no rio Amazonas, onde a mistura de água doce e salgada ocorre na plataforma continental, a perturbação do escoamento fluvial pela maré se percebe até algumas centenas de quilômetros à montante da foz. O estuário do rio Amazonas pode ser classificado como de macromaré, com alturas da onda de maré na foz maiores a 4 m, sendo tipicamente semi-diurna.

Bezerra et al. (2013) concluiu que a maré no estuário do rio Pará chega a uma altura máxima de 4 m, caracterizado como de macromarés, exercendo um papel fundamental na mistura do estuário. E, que, embora a maré seja um importante agente

ambiental no processo de mistura, o estuário do rio Paráé controlado principalmente pela vazão do rio e, secundariamente, pelas oscilações de maré.

#### 4.3 Turbidez e Material Particulado em Suspensão

Segundo Souza (2008), turbidez é o termo aplicado a matéria de qualquer natureza suspensa na água. Mede, de forma geral, a dificuldade de um feixe de luz a atravessar uma determinada quantidade de água, ou seja, quanto mais turva a água menos luz consegue atravessar. As principais causas da turbidez são: matérias suspensas, matérias orgânicas e inorgânicas, organismos microscópicos, algas.

Para Uncles (2002), o material particulado em suspensão (MPS), que inclui os sedimentos em suspensão, desempenha um importante papel na ecologia estuarina e costeira.

Os estuários possuem fundamental atuação como elementos reguladores da transferência de material derivado do intemperismo continental e aportado às regiões costeiras e oceânicas através dos rios. Em função das características de suas águas, sua morfologia e dinâmica, os estuários podem atuar como filtros, retendo sedimentos fluviais ou marinhos em seu interior, como exportadores, facilitando seu transporte até a costa/oceano, ou mesmo atuando como importadores, quando favorecem a entrada de sedimentos marinhos para seu interior (FERREIRA, 2013).

Em escalas de tempo de horas, a maré gera a ressuspensão dos sedimentos, a deposição de sedimentos ou advecção longitudinal de um gradiente horizontal de MPS. Geralmente, estes são os principais mecanismos que governam a variabilidade de MPS em estuários (ALLEN et al., 1980; EG SCHUBEL, 1971; NICHOLS & BIGGS, 1985; VAN DE KREEKE et al., 1997, apud UNCLES, 2002).

Gibbs (1967) em seus estudos observou que mais de 80% da carga anual de material em suspensão ( $5 \times 10^8$  toneladas) do rio Amazonas, formada de silte e argila, é derivada dos Andes e que nos meses chuvosos, a média da carga em suspensão próxima à foz do rio atinge valores de 125 mg/l.

## 5 ÁREA DE ESTUDO

### 5.1 Localização

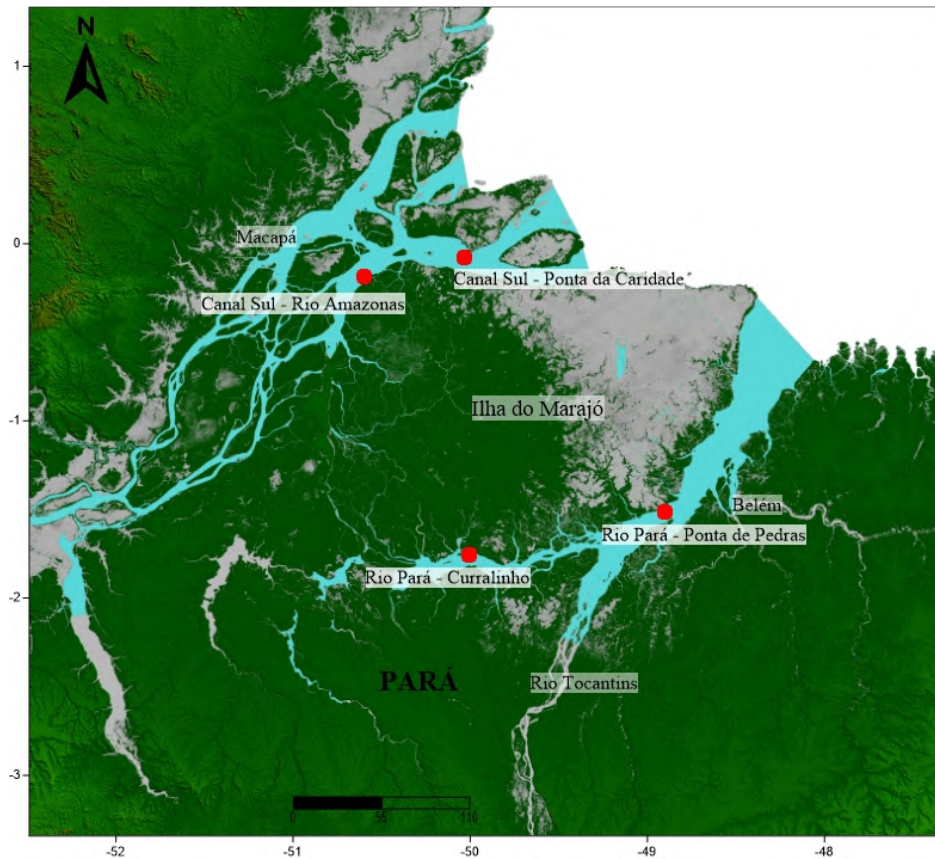
A região estuarina Amazônica é um ambiente altamente energético e complexo, que tem como principais forçantes hidrodinâmicas a intensa descarga fluvial da bacia hidrográfica Amazônica e a maré, variando de mesomaré a macromaré, além de fatores climáticos, como a acentuada pluviosidade local e elevadas temperaturas, que se caracteriza como clima tropical-úmido. Estas forçantes possuem características particulares que exercem influência até aproximadamente 850 km à montante da foz (SILVA,2009).

A Ilha do Marajó situa-se no nordeste do Estado do Pará, margem direita do baixo Amazonas. É limitada pelos rios Amazonas (oeste), Pará (sul), Tocantins-Baía do Marajó (leste), e pelo Oceano Atlântico (norte) (SOUZA e ROSSETI, 2011). Segundo Lima et al. (2005), o Marajó é a maior ilha flúvio-estuarina do mundo, com uma área de 59.308,40 km<sup>2</sup> que correspondente a 4,7% da área do estado. A mesma está inserida no ambiente estuarino amazônico, à foz do rio Amazonas o qual recebe uma descarga média de 209.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Por sua localização, a ilha intercepta as elevadas descargas e aportes orgânicos oriundos da drenagem da bacia amazônica favorecendo a retenção de nutrientes pela presença de densas áreas de mangue e propiciando uma elevada produtividade primária na região, que por sua vez, favorece e suporta uma elevada biodiversidade e abundantes comunidades de peixes e outros organismos aquáticos em seus rios e afluentes (FERREIRA, 2013).

A área de estudo (fig. 2) compreende quatro estações localizadas às margens da ilha do Marajó: duas no canal Sul do rio Amazonas, sendo que uma a Norte do Marajó (localidade da Ponta da caridade) e outra um ponto mais a Oeste da ilha; e duas no rio Pará, uma a Sul da ilha nas proximidades de Currálinho, e a outra nas proximidades do município de Ponta de Pedras, localizada na margem Leste do Marajó.

Figura 2 - Mapa da área de estudo com destaque nos pontos de amostragem.



### 5.1.1 Canal Sul

De acordo com CORRÊA; ÁVILLA (2002), o rio Amazonas possui uma desembocadura em forma de delta com cerca de 330km de largura. Este delta é formado pela ilha de Marajó, por diversas outras ilhas menores, por inúmeros bancos e por vários canais. Dois canais principais, o Norte e o Sul, são os desaguadouros do rio Amazonas. A desembocadura do Canal Sul do rio Amazonas localiza-se a norte da ilha de Marajó no litoral do Estado do Pará, abrangendo uma superfície de aproximadamente 5.300 km<sup>2</sup>. Segundo Silva (2009), o Canal sul possui aproximadamente 12,9 km de extensão.

A velocidade das correntes de maré, no estuário do rio Amazonas e em suas cercanias, podem exceder a 250 cm/s (DIEGUES, 1973). A área em estudo do Canal Sul na localidade denominada Ponta da Caridade está compreendida num ambiente transicional entre o fluvial e o marinho aberto. Recebe forte influência do oceano Atlântico Sul, portanto da ação de ondas.

### 5.1.2 Rio Pará

Bemerguyet al. (2003) refere-se ao estuário do rio Pará como sendo composto por uma sequência de baías: a de Melgaço forma um único canal com larguras entre 3,5 km e 7,5 km, a qual se ramifica em canais múltiplos até desaguar na Baía das Bocas, onde o canal volta a ser único com largura constante de 7,5 km; a partir dessa baía o canal é denominado de rio Pará. O sistema fluvial do rio Pará tem padrão anastomosado: os tributários pela margem esquerda, rios Guajará e Canaticu, e o Furo Pacuúba têm orientação preferencial S-N; já os da margem direita, rios Jacundá e Oeiras são NNW-SSE.

O rio Pará representa o limite natural sul da Ilha do Marajó. Sem Nascente, o rio Pará é na verdade a desembocadura de rios das duas grandes bacias hidrográficas que formam a ZCAB, a bacia amazônica e, principalmente, a bacia Tocantins-Araguaia (NASCIMENTO, 2013). O rio Pará, também conhecido como o braço direito/sul do rio Amazonas, separa o sul e leste da Ilha do Marajó a partir do continente (estado do Pará), juntando-se ao rio Amazonas, no estreito de Breves(SOUZA, 2006).

Na porção leste da ilha ele recebe as águas do rio Tocantins, onde formam a conhecida Baía do Marajó. Segundo Corrêa (2006), o processo de circulação que ocorre entre o estuário da Bacia do Marajó e o mar aberto é a mistura de água doce da drenagem dos rios Pará e Tocantins, o complexo da Baía do Guajará, com a água salgada do oceano, em um meio semi-restrito. Bezerra et al.(2013) concluiu que mesmo na estação seca, com baixo fluxo, o efeito de descarga do rio é uma das principais forças da circulação no estuário do rio Pará, sendo mais importante do que os processos de mistura gerados pela maré .

Segundo Martins (2010), o rio Pará possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média e compreende um conjunto hidrográfico formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, originando a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente iniciando a baía de Marajó.

O rio Pará é muito importante para a navegação local e regional, uma vez que permite o acesso aos principais portos do nordeste do Pará, em Belém, capital do estado sendo uma eficiente conexão entre a região com o resto do mundo, devido à sua posição geográfica privilegiada, bem como a grande extensão de berços de atracação, com uma profundidade de 14 metros, e fácil acesso ao rio e mar (BEZERRA, 2013).

## 5.2 Vegetação

Para Reis (1977), duas regiões naturais distintas constituem o Marajó: a porção leste, constituindo uma extensa planície coberta com vegetação tipo Savana e Gramíneas e por isso mesmo, chamada região de "campos", enquanto a porção oeste é coberta por densa floresta, constituindo a chamada região de "matas".

Dados do IDESP (1974) caracterizam a vegetação marajoara, na região ocidental, por floresta do tipo ombrófila densa aluvial e densa de terras baixas e, na região oriental, por campo natural inundável, savana parque ou arborizada, campo cerrado e campo de murundu ou "mondongo".

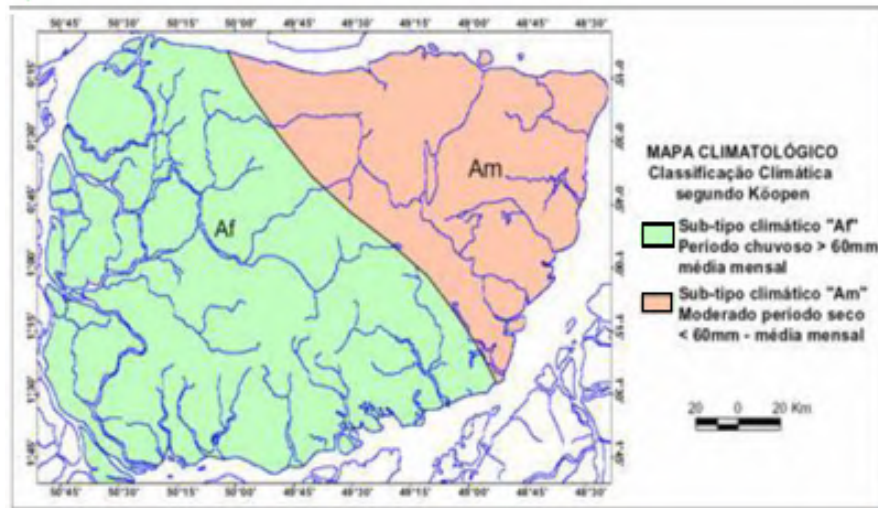
## 5.3 Dados Meteorológicos e Climatológicos

A média geral da temperatura do ar na ilha do Marajó, de acordo com Lima et al. (2005), é de 27°C, apresentando pouca variação mensal e anual, com valores limites médios mensais entre 25°C e 29°C, em que as mínimas absolutas são de cerca de 18°C e máximas de 38°C. A umidade relativa do ar é alta, sempre acima de 80%. A região oriental, onde ocorrem os campos naturais, apresenta temperaturas médias anuais em torno de 27,3°C; esta varia em direção a região ocidental, onde predominam as florestas, atingindo valores de 25,7°C. Portanto, evidencia-se que a vegetação exerce forte influência na variação deste parâmetro.

A precipitação é uma variável climatológica bastante significativa na região tropical. No período chuvoso, as chuvas caracterizam-se pela forte intensidade, enquanto que no período menos chuvoso, são frequentes as estiagens de duração variável. As características do regime de chuva aliadas ao complexo sistema de floresta, grandes rios e bacias fluviais que circundam a ilha do Marajó, afetam as variações na temperatura e umidade do ar, nebulosidade e quantidade de radiação incidente a superfície (MONTEIRO, 2009).

A classificação de Köppen (fig. 3) classifica o clima a partir da temperatura anual, da precipitação anual e da temperatura média do mês mais frio. As sub-classificações climáticas que determinam o regime de umidade, verificadas na ilha do Marajó são: Af - Clima tropical úmido, com o mês mais seco tendo uma precipitação média maior ou igual a 60 mm; e Am - Clima tropical úmido de monção, com precipitação excessiva durante alguns meses o que compensa a ocorrência de um ou dois meses com precipitações inferiores a 60 mm, e compreende a maior parte da Amazônia (LIMA et al., 2005).

Figura 3 - Classificação climática, segundo “KOPPEN”, da Ilha de Marajó. Fonte: LIMA et al., 2005.

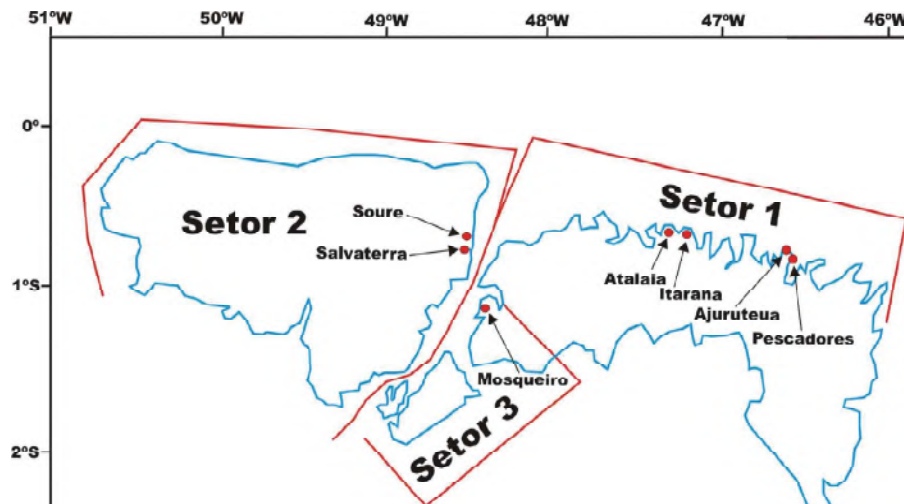


#### 5.4 Aspectos Fisiográficos

A evolução geológica da Ilha de Marajó está ligada aos movimentos extensionais que separaram os continentes da América do Sul e África, a partir do final do Mesozóico, às oscilações do nível do mar e aos processos neotectônicos que, do Terciário ao Holoceno, controlaram a deposição das sequências estratigráficas Pirabas e Barreiras/Pós-Barreiras (COSTA et al., 2002).

De acordo com a classificação do Ministério do meio ambiente (1996), a ZCEP (Zonas Costeira e Estuarina Paraense) apresenta três setores com características fisiográficas bem diferenciadas. São eles, a Costa Atlântica do Salgado Paraense, o setor Insular Estuarino e o setor Continental Estuarino (fig. 4).

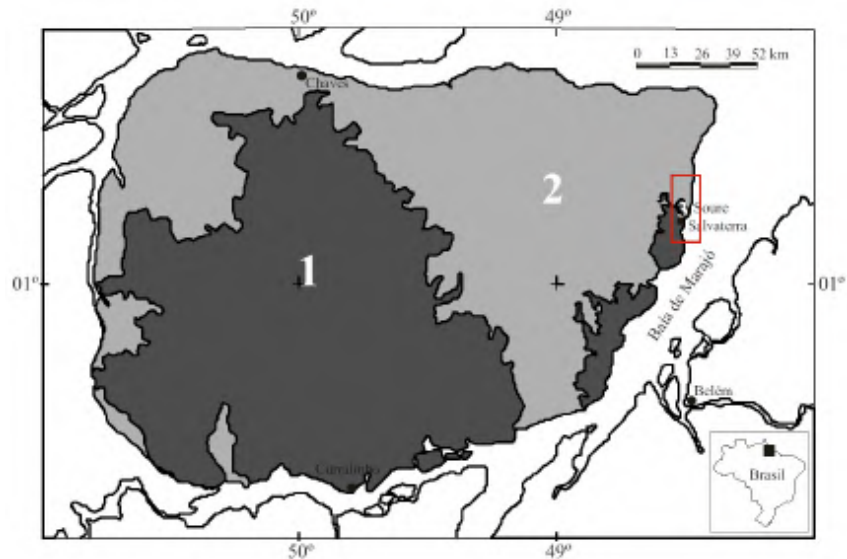
Figura 4 - Mapa de localização dos setores da ZCEP. Setor 1: Costa Atlântica do Salgado Paraense; Setor 2: Insular Estuarino; Setor 3: Continental Estuarino (Modificado de MMA, 1996). Fonte: EROSÃO E PROGRADAÇÃO DO LITORAL BRASILEIRO - PARÁ.



Pode-se observar que a Ilha do Marajó está inserida no setor 2, o Insular Estuarino do Amazonas. Segundo Rossetti e Valeriano (2007), a topografia da Ilha do Marajó é predominantemente plana e sujeita a inundações sazonais durante estações chuvosas, sendo caracterizada por planícies fluviais colmatadas nas regiões leste e oeste, e superfícies pediplanadas na porção central. Estimativas de cotas dos dados de altimetria variam entre 2 e 42m. Modelos digitais de elevação obtidos através de dados de sensoriamento remoto da *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM* indicam cotas entre 4 e 6 m na porção leste da ilha, e entre 6 e 38m em sua porção oeste, apresentando média de 12m para toda a ilha.

O arranjo estratigráfico e a constituição litológica da Ilha de Marajó está ligada à história sedimentar da Bacia da Foz do Rio Amazonas e à influência dos estuários do Amazonas, a oeste, e do Pará-Tocantins, a leste (FRANÇA, 2003).

Figura 5 - Mapa das unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado do Projeto Radam 1974): 1 – Planalto Rebaixado da Amazônia; 2 – Planície Amazônica (modificado de França, 2003).



O relevo da Ilha de Marajó é constituído por duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica (fig. 5).

O Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Planalto do Baixo Amazonas ou Pediplano Pleistocênico, é constituído por sedimentos terciários e quaternários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras. Essa unidade faz parte do domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados, áreas colinosas e planícies revestidas por floresta densa (AB'SABER, 1977).

A Planície Amazônica é formada por sedimentos holocênicos lamosos e arenosos, e corresponde a um relevo plano de baixas altitudes. Faz parte do domínio morfoclimático das planícies inundáveis recobertas por campos e por vegetação pioneira de mangues. (FRANÇA, 2003). Segundo Barbosa et al. (1974), subdivide-se em zonas de influência fluvial, que correspondem à planície fluvial colmatada ou planície aluvial, em zonas de influência estuarina e marinha, relativas à planície flúvio-marinha ou planície costeira.

### 5.5 Aspectos Hidrológicos

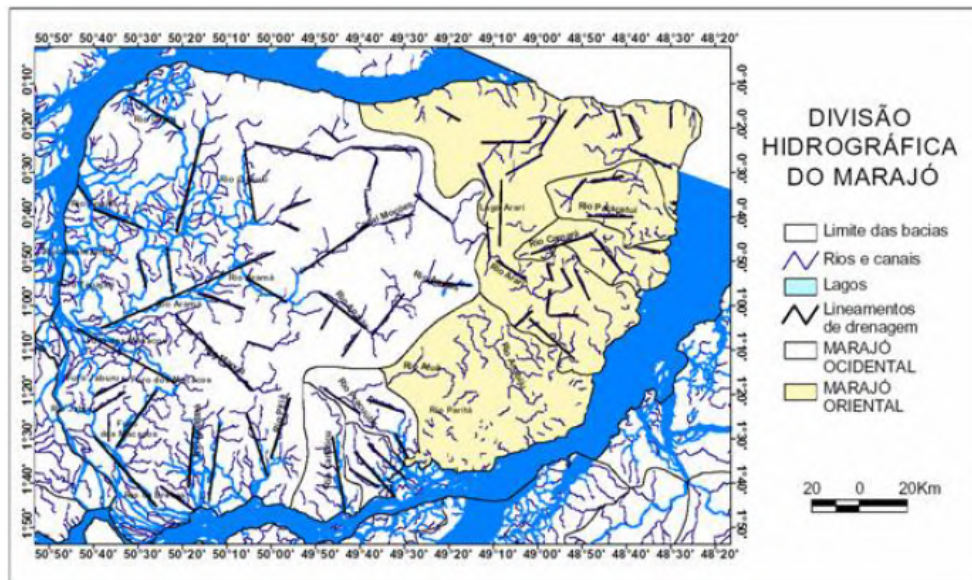
As bacias hidrográficas da Ilha de Marajó são formadas de depressões de pequenos desníveis, com altitudes que não atingem duas dezenas de metros (REIS, 1977). Para Martins (2010) há muito tempo reconhece-se que o transporte de sedimentos é governado por fatores hidrológicos que controlam as características e o

regime nos cursos d'água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial.

Seguindo as características dos rios da Amazônia, a hidrografia paraense é entrecortada por dezenas de rios e outros cursos d'água, como lagos, paranás, furos e igarapés, que ajudam a formar um dos mais importantes ecossistemas da terra e resultam, principalmente, do grande índice pluviométrico registrado na região (MONTEIRO, 2009). Lima (2005) apresentou a classificação da hidrografia da ilha do Marajó de acordo com a rede de drenagem (fig. 6), em Bacias do Marajó Ocidental e Bacias do Marajó Oriental.

A região Ocidental apresenta uma hidrografia representada por um emaranhado de furos paranás e igarapés. As topografias variáveis, porém baixas, associadas, possibilitam a completa integração destes durante as cheias, o que é uma marca característica deste período. Como esta região apresenta uma densidade muito grande de feições fluviais, que se interligam dificultando a definição morfológica de bacias hidrográficas, consideraram-se apenas 3 bacias como componentes: a Bacia do rio Anajás (a maior englobando um número significativo de ilhas, furos, igarapés e canais), e as Bacias dos rios Pracuúba e Canaticú. Na região Oriental as drenagens mais importantes são: os rios Ararí, Paracauari, Camará e o Atua. Rios menores, alguns com estuários importantes, completam a drenagem a oeste desta zona. (LIMA, 2005).

Figura 6 - Rede de drenagem e divisão hidrográfica do Marajó. Fonte: LIMA et al., 2005.



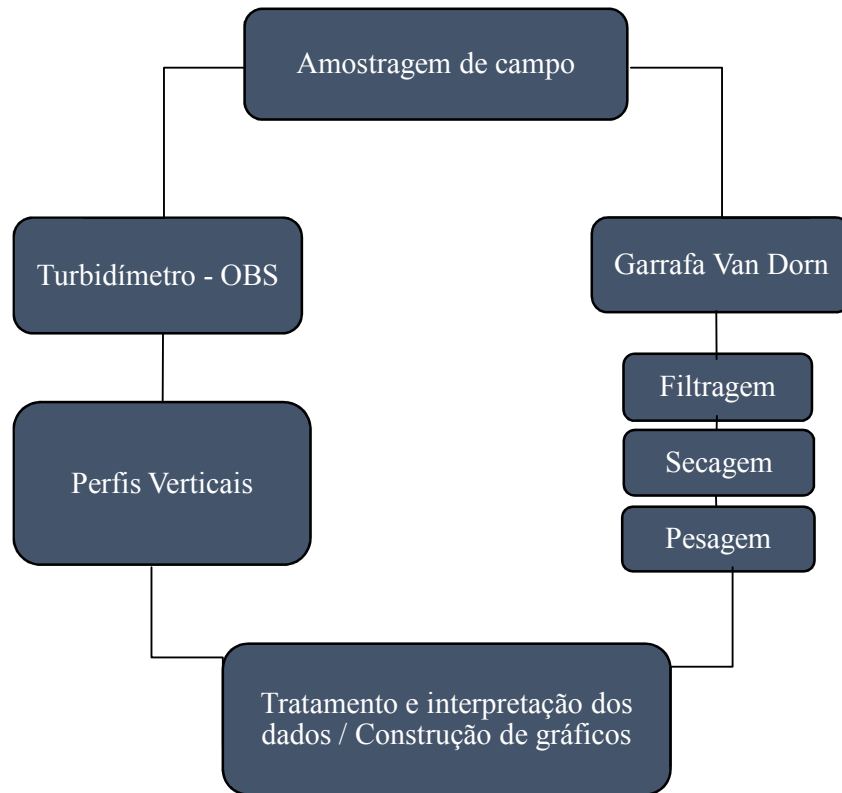
## 5.6 ASPECTOS HIDRODINÂMICOS

As correntes induzidas pelos fluxos dos rios são restritas às regiões estuarinas e vários fatores climáticos afetam a quantidade e a sazonalidade da descarga. As correntes induzidas pelos ventos alísios na direção NE e E transportam grandes quantidades de sedimentos pelíticos e arenosos da plataforma continental interna, em direção a costa e é responsável pela orientação das ondas, que atingem a linha de costa com um ângulo de  $45^\circ$ , estabelecendo um fluxo paralelo à linha de costa, gerando as correntes de deriva litorânea, que transportam sedimentos no sentido E-W (EL-ROBRINI et al., 2006).

Muito da dinâmica do estuário pode ser inferida a partir das características dos sedimentos nele depositados, uma vez que as diferentes condições e padrões de correntes tendem a selecionar diferentes tamanhos de grãos, à medida que conseguem suspender-los, mantê-los em suspensão e movê-los (FERREIRA, 2013).

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

Figura 7 - Fluxograma do método.



A ilha do Marajó é localizada nas coordenadas geográficas centrais 00°42'S e 49°49'W. As amostragens ocorreram em dois embarques distintos, de forma que em ambos foram efetivados os mesmos procedimentos amostrais. Foram realizadas as coletas de água e perfis de turbidez da água durante um período de aproximadamente 13 horas por dia, ou seja, um ciclo de maré em um ponto da margem mais próxima à ilha do Marajó de cada rio em estudo.

Aconteceu um embarque próximo ao município de Chaves, no Canal Sul, localidade de Ponta da Caridade, ao norte da Ilha do Marajó (limitada pelo oceano Atlântico), no dia 16 de maio de 2013. Em outro embarque partindo de Macapá a Belém no período de 19 a 25 de junho de 2013, em maré de sizígia de lua cheia, a bordo do navio Rey Benedito, foram concretizadas amostragens em pontos a oeste, sul e leste da ilha do Marajó. Nas margens do Canal Sul (rio Amazonas) no dia 19, rio Pará (região de Currálinho) dia 23 e baía do rio Pará (proximidades de Ponta de Pedras) dia 25.

Tabela 1 - Dados dos locais de amostragem.

Local	Coordenadas	Dia	Nº de perfis
Canal Sul - Ponta da Caridade	0°04'36" S - 50°02'49" W	16/05	9
Canal Sul - Rio Amazonas	0°10'54" S - 50°35'57" W	19/06	7
Rio Pará - Curralinho	1°46'16" S - 49°58'45" W	23/06	9
Rio Pará - Ponta de Pedras	1°29'25" S - 48°52'10" W	25/06	7

### 6.1 Pré-Campo

Conforme o método gravimétrico (utilizando-se balança analítica), os microfiltros de fibra de vidro Carvalhaes, diâmetro 47mm, usados na determinação da quantidade de material particulado em suspensão foram previamente secos em estufa a 50°C durante 1h 30min em laboratório e após isso, cada um foi pesado em uma balança analítica para determinação de sua massa inicial, e identificado, tornando possível as comparações para posteriores aferimentos sobre a quantificação de material particulado.

Figura 8 - (A) Microfiltros de fibra de vidro Carvalhaes de 47 mm; (B) Balança analítica; (C) Microfiltros secos e armazenados.



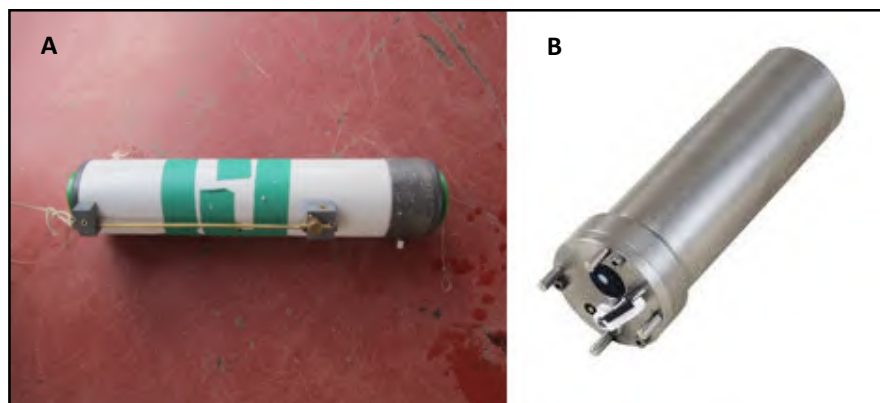
## 6.2 Procedimentos em Campo

Durante o embarque a maré foi medida através de um sensor de pressão fixado em cada estação de coleta, que realizou medições a cada 5 minutos.

Para obtenção dos dados de turbidez foi utilizado um turbidímetro de modelo - Turbidity ATU75W-USB com sensor OBS, programado para fazer 10 medições por segundo durante os perfis de profundidade. O turbidímetro realizou medições de perfis de profundidade nas porções da margem mais próxima à Ilha do Marajó em cada um dos quatro pontos de amostragem.

As coletas de água para análise do material particulado em suspensão foram realizadas com a utilização de uma garrafa tipo Van Dorn. Foram efetuadas coletas de água superficial e de fundo nos mesmos pontos e relativamente nos mesmos momentos que os perfis do aparelho turbidímetro nos rios. As amostras eram armazenadas em garrafas plásticas devidamente identificadas para filtragem, que ocorreu durante o embarque e em laboratório.

Figura 9 - (A) Garrafa do tipo Van Dorn usada nas amostragens em campo; (B) modelo de turbidímetro utilizado em campo.



## 6.3 Procedimentos Em Laboratório

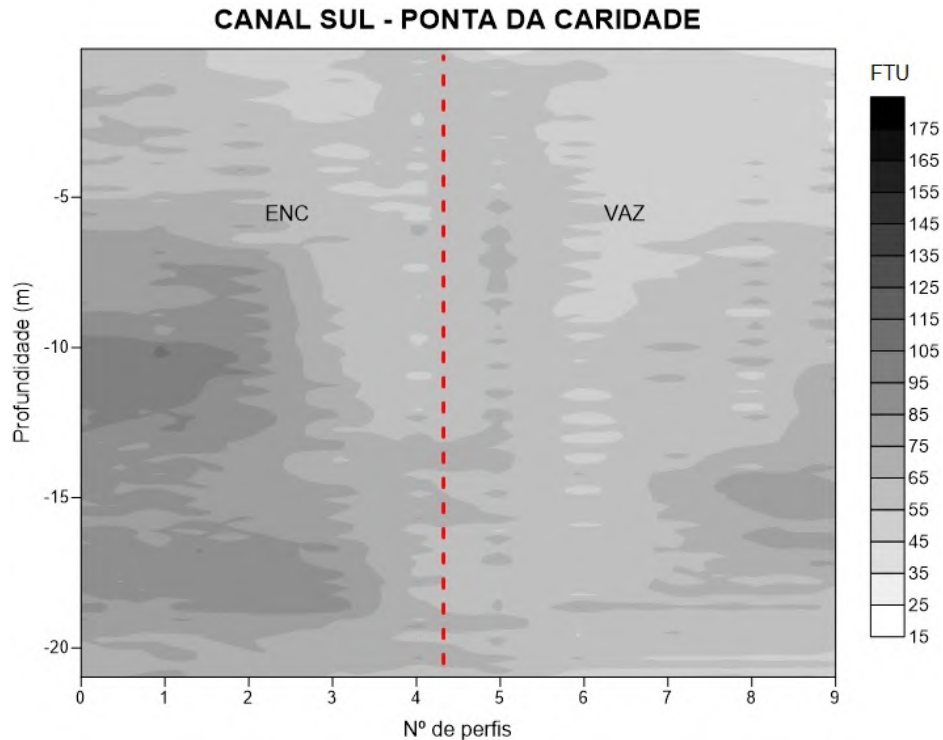
Foi realizada a segunda secagem dos microfiltros em estufa, também a 50° C durante 1h30, que então foram pesados novamente para a quantificação do material em suspensão de cada amostra de água coletada.

Em laboratório os dados brutos de turbidez por profundidade foram tratados, o que tornou possível a construção e análise de tabelas e gráficos a partir dos resultados obtidos.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Turbidez

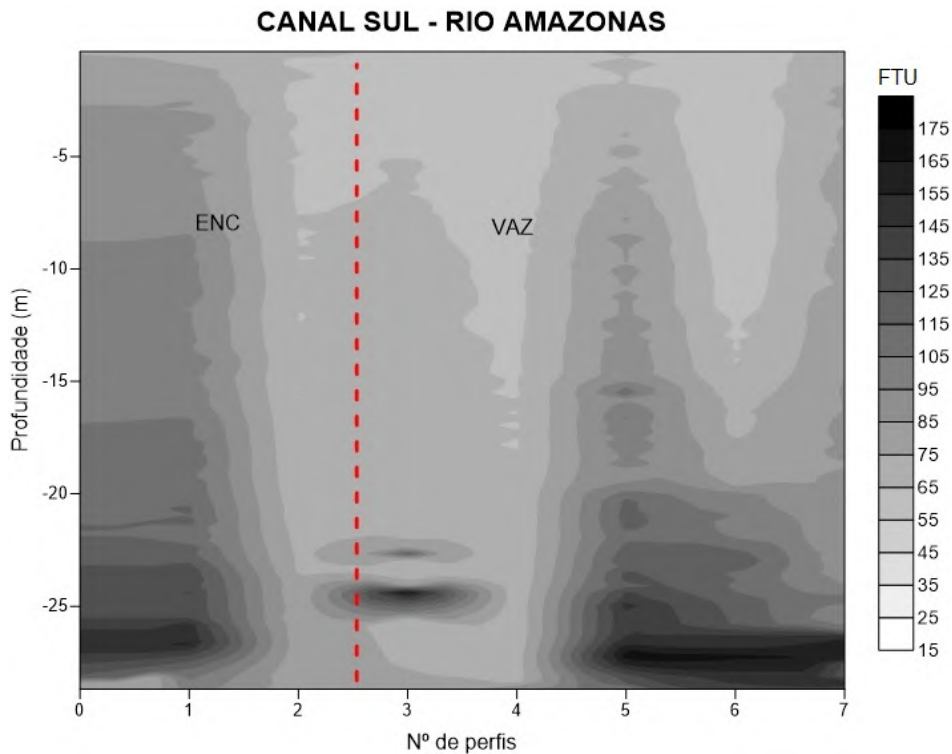
Figura 10 - Variação da turbidez das águas no Canal Sul do rio Amazonas na localidade da Ponta da Caridade durante um ciclo de maré no dia 16/05.



Na primeira estação, localizada ao norte da ilha do Marajó, os maiores valores de concentração de partículas em suspensão na coluna d'água foram verificados durante o período de enchente, aumentando a partir de cerca de 5m de profundidade, com o valor máximo de 112.9 FTU em aproximadamente 10m de profundidade. Os menores valores são observados na superfície em geral, em que o mínimo valor obtido foi 40.3 FTU em superfície no início da maré vazante.

A coleta na localidade da Ponta da Caridade no Canal Sul foi a única das quatro que apresentou o máximo de turbidez na maré enchente. Acredita-se que este parâmetro apresentou-se assim por causa da intensa hidrodinâmica, da assimetria da maré, onde o período de enchente é mais rápido que o de vazante, e devido à própria localização da estação, podendo-se caracterizá-la, nesta amostragem, como "importadora" de descarga sólida para o continente.

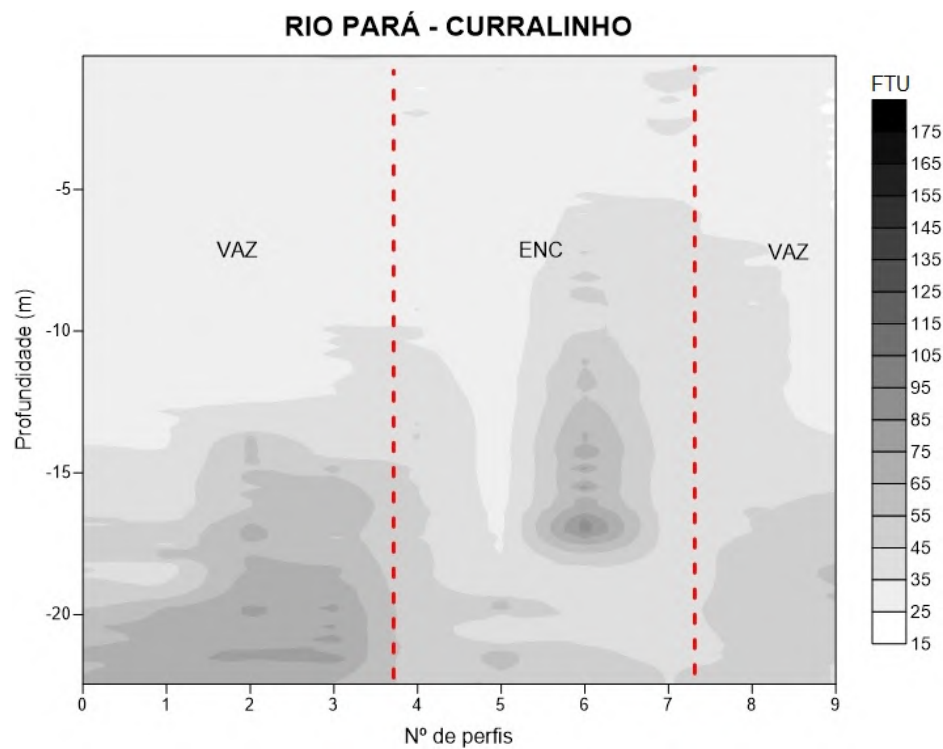
Figura 11 - Variação da turbidez das águas na segunda estação no Canal Sul do rio Amazonas durante um ciclo de maré no dia 19/06.



Na segunda amostragem no Canal Sul, a oeste da ilha do Marajó, também houve um cenário de turbidez crescente de acordo com a profundidade, onde os valores máximos ocorreram quase no fundo, atingindo até 188.76 FTU em um ponto no início da maré vazante, há cerca de 24m da superfície. Os menores valores puderam ser observados na porção superficial do Canal Sul nessa estação, com valor mínimo de 55.29 FTU, e na preamar, devido ao período de estofa da maré, quando a atuação das correntes de maré no estuário é mínima.

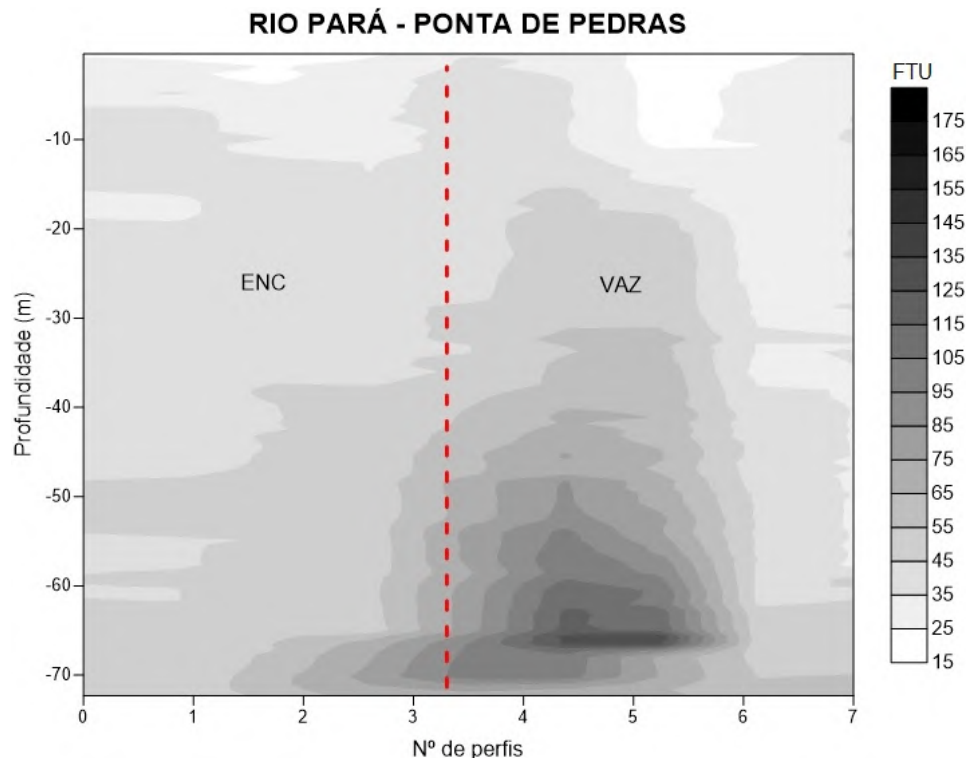
As duas estações no Canal Sul estão diretamente relacionadas, devido tanto à relativa proximidade espacial, quanto pelas características que apresentam no que diz respeito à atuação marinha e fluvial. São os dois pontos que apresentam os maiores valores médios de turbidez, portanto, infere-se a possível responsabilidade desses valores às correntes e ondas atuantes na área, inserida no delta formado na foz do rio Amazonas. E ambas estações apresentam significativo decréscimo durante a estofa da maré, mostrando como são mais influenciadas por estasforçantes do que as outras estações.

Figura 12 - Variação da turbidez das águas no rio Pará nas proximidades de Currálinho durante um ciclo de maré no dia 23/06.



A coleta na região ao sul do Marajó, no rio Pará nas proximidades do município de Currálinho, foi a estação com os menores valores de turbidez da água. Os maiores valores foram detectados no fundo em período de vazante, com máximo de 88.19 FTU a aproximadamente 21m de profundidade. Os mínimos valores de concentração de partículas em suspensão foram observados na porção superficial, com mínimo de 21.67 FTU no início da enchente da maré. Em profundidade média durante a enchente, num ponto a cerca de 17m, ocorreu um valor alto, atingindo 85.61 FTU. Este valor pode ser inferido devido aos movimentos de resuspensão de sedimentos na água no momento da coleta neste ponto.

Figura 13 - Variação da turbidez das águas no rio Pará nas proximidades de Ponta de Pedras durante um ciclo de maré no dia 25/06.



O rio Pará próximo à cidade de Ponta de Pedras, é destaque pelas grandes profundidades às margens da ilha do Marajó, também apresentou valores de turbidez relativamente mais baixos. Registrou-se um aumento gradativo da turbidez da água durante a vazante da maré, de acordo com a profundidade, com máximo de 158.79 FTU a cerca de 66m. Novamente, os menores valores ocorreram na porção superficial, com mínimo de 17 FTU, durante a enchente da maré.

Os pontos no rio Pará apresentam em média os menores valores. No entanto, infere-se que na estação próxima a Ponta de Pedras os valores são mais altos que a de Curralinho devido à descarga de material em suspensão proveniente principalmente do rio Tocantins.

Tanto na estação do Canal Sul do Amazonas (mais adentro do continente) como nas duas estações localizadas ao longo do rio Pará, os maiores valores de turbidez ocorreram no fundo durante a vazante da maré. Nesta amostragem, pôde-se identificar tal característica como de exportação de material em suspensão no caso do Canal Sul, para o delta do Amazonas, e no rio Pará, em direção à baía do Marajó.

Apesar de variações quanto à intensidade de influência da maré, em todas as estações foram observados menores valores no momento de estofa da maré.

## 7.2 Material Particulado em Suspensão (MPS)

Figura 14 - Variação da altura da maré no Canal Sul do rio Amazonas na localidade da Ponta da caridade no dia 16/05.

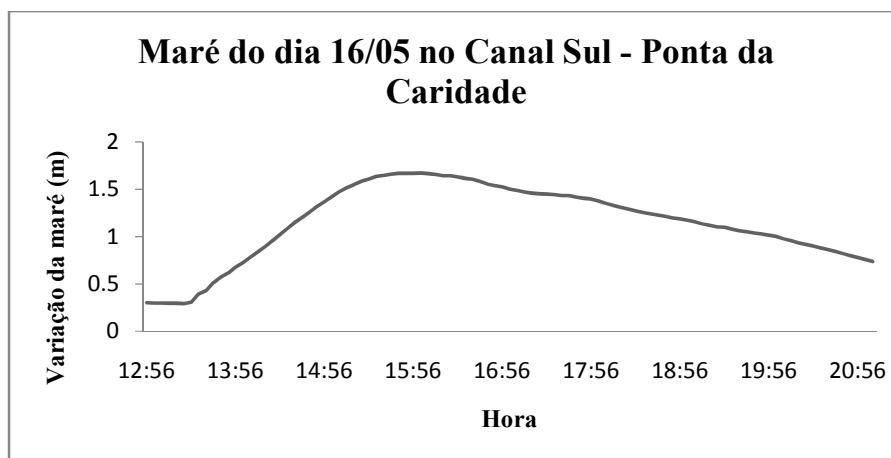


Tabela 2 - MPS no Canal Sul(Ponta da Caridade)

Nível	Maré	[ ] média de MPS (mg/l)
Superfície	Enchente	<b>44.42</b>
Fundo	Enchente	<b>68.27</b>
Superfície	Vazante	<b>37.88</b>
Fundo	Vazante	<b>39.23</b>

No Canal Sul na Ponta da caridade a maré oscilou entre 0,29m e 1,67m. Pode-se afirmar que as maiores concentrações de MPS ocorreram durante a enchente da maré, tanto superficialmente, quanto no fundo. A concentração máxima de sólidos em suspensão foi de 90.00 mg/l, obtida numa amostra de fundo durante a enchente, corroborando os dados obtidos com o aparelho turbidímetro. Neste ponto, portanto, é evidenciado que as correntes de maré na enchente devem ser mais fortes que as de vazante em superfície e fundo, assim como observa-se que o período de vazante é mais lento e demorado que o de enchente.

Como foi discutido nos resultados de turbidez desta estação, com relação às variações de marés, a estação de amostragem do Canal Sul na Ponta da Caridade foi a única que apresentou valores maiores de material em suspensão durante a enchente. Tal

resultado também está relacionado ao período da coleta, pois nesta amostragem, a maré era de quadratura, portanto com marés altas e baixas menos intensas.

Figura 15 - Variação da altura da maré na segunda estação no Canal Sul do rio Amazonas no dia 19/06.

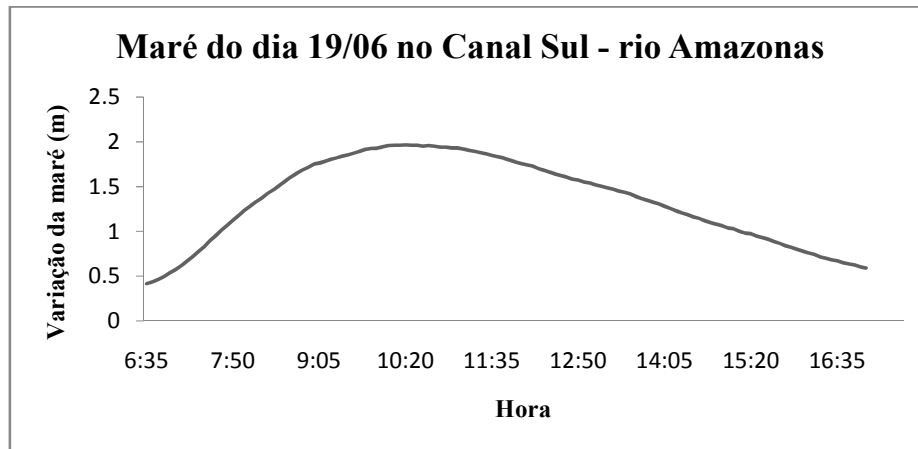


Tabela 3 - MPS no Canal Sul (rio Amazonas)

Nível	Maré	[ ] média de MPS (mg/l)
Superfície	Enchente	<b>76.62</b>
Fundo	Enchente	<b>45.56</b>
Superfície	Vazante	<b>52.17</b>
Fundo	Vazante	<b>88.6</b>

Nesta estação do Canal Sul no rio Amazonas a variação da maré foi de 0,41m a 1,96m. Assim como observado no gráfico da primeira estação, o período de enchente foi mais rápido que o de vazante. No período desta amostragem a maré estava em transição de quadratura para sizígia, portanto, começando a apresentar preamares e baixa-mares mais intensas. As maiores concentrações de material particulado em suspensão no fundo, atingindo o valor máximo de 101.53mg/l na vazante da maré. O valor mínimo observado foi de 26.15mg/l no fundo, aproximadamente no horário de estofa da maré.

Figura 16 - Variação da altura da maré no rio Pará nas proximidades de Currálinho no dia 23/06.

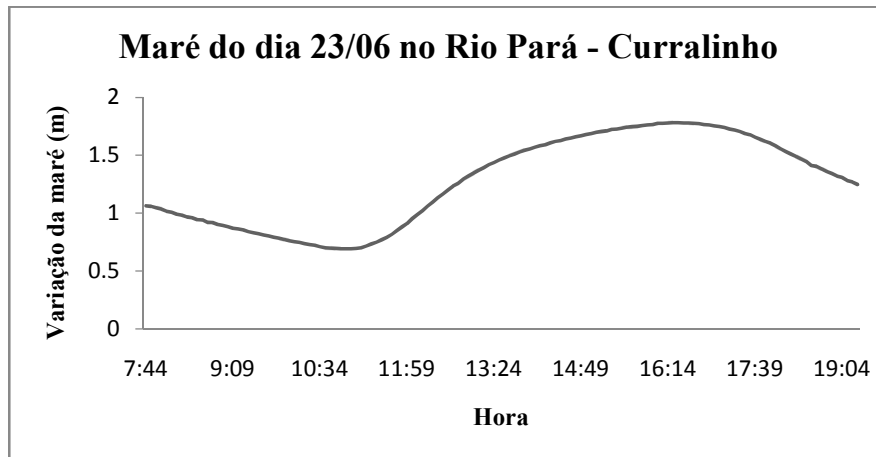


Tabela 4 - MPS no rio Pará (Currálinho)

Nível	Maré	[ ] média de MPS (mg/l)
Superfície	Enchente	<b>11.44</b>
Fundo	Enchente	<b>47.98</b>
Superfície	Vazante	<b>13.08</b>
Fundo	Vazante	<b>20.19</b>

No rio Pará, nas proximidades do município de Currálinho a variação da maré foi de 0,69m a 1,78m, o menor intervalo de todas as 4 estações, devido à maior distância deste ponto do oceano, sofrendo portanto, maior influência fluvial do que marinha, mesmo em maré de sizígia.

É possível observar que os maiores valores de material particulado em suspensão estão no fundo em maré enchente, com concentração máxima de 108.46 mg/l nesse período. Um valor próximo a este também pode ser observado no gráfico de turbidez do rio Pará (fig. 12) no período de enchente, onde há um ponto de maior concentração de sólidos em suspensão em cerca de 17m de profundidade. Neste ponto, é possível perceber uma variação, onde provavelmente as correntes de maré são mais fortes no fundo durante a enchente, e na superfície durante a vazante.

A limitação do comprimento da corda que amarrava a garrafa de Van Dorn que realizou as coletas, associada à forte hidrodinâmicas correntes estuarinas na região, não permitiram que a mesma alcançasse o fundo do rio. Por isso a quantificação de MPS de fundo em maré vazante não corresponde aos dados do turbidímetro no mesmo período. Portanto, os dados referentes aos mais profundos nas coletas da garrafa, em

aproximadamente 17m, são correspondentes aos dados de profundidade média na maré enchente, obtidos com o turbidímetro.

Figura 17 - Variação da altura da maré no rio Pará nas proximidades de Ponta de Pedras no dia 25/06.

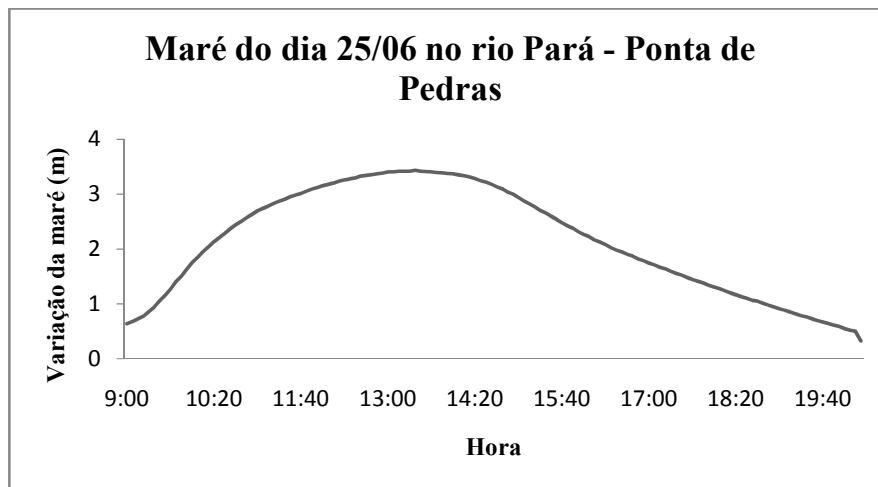


Tabela 5 - MPS no rio Pará (Ponta de Pedras)

Nível	Maré	[ ] média de MPS (mg/l)
Superfície	Enchente	<b>14.87</b>
Superfície	Vazante	<b>13.23</b>

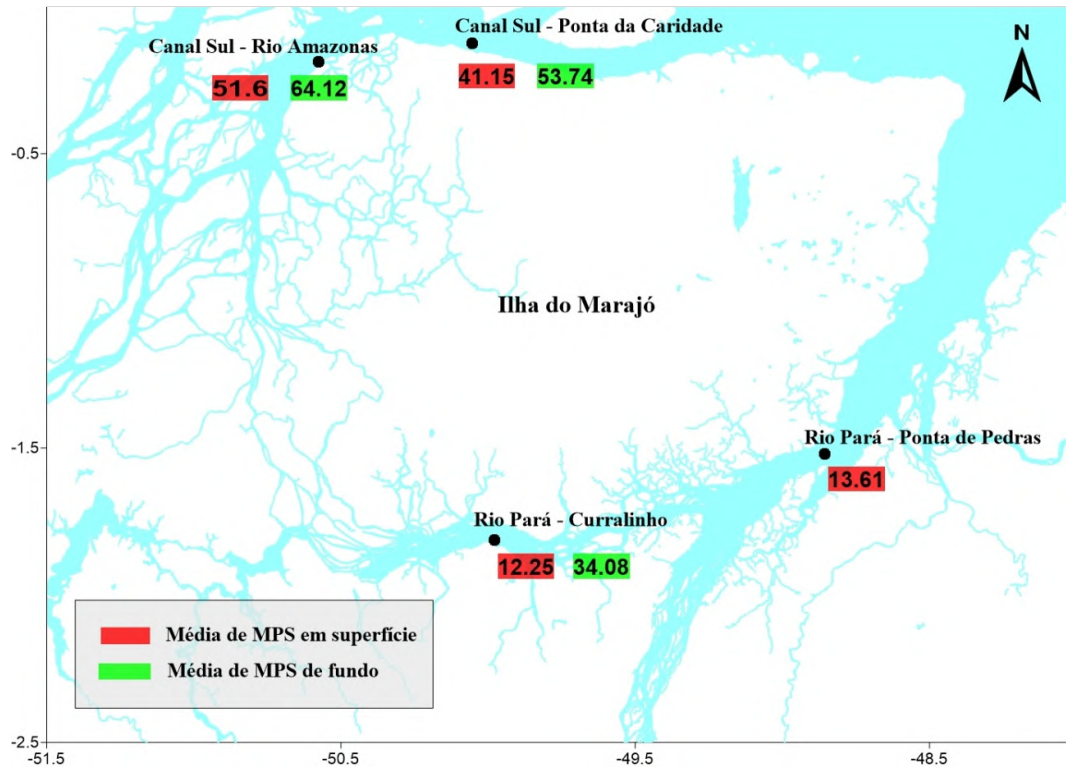
A estação de amostragem do rio Pará nas proximidades de Ponta de Pedras foi a que apresentou maior variação de maré, devido à maior proximidade do oceano do que a estação nas proximidades de Currálinho, por exemplo. Além de apresentar maior profundidade, e maré de sizígia, em que se notam baixa-mares e preamares mais acentuadas, fatores que também interferem na distribuição de MPS na coluna d'água.

.Devido às grandes profundidades nessa estação (aproximadamente 72m), não foi possível a coleta de água de fundo através da garrafa Van Dorn, portanto apenas serão mostrados os dados provenientes das amostragens de superfície. Tanto na enchente quanto na vazante, os resultados obtidos foram de baixa concentração de sólidos em suspensão superficialmente, assim como nos dados do aparelho turbidímetro.

A concentração máxima obtida de MPS foi de 16.92 mg/l na enchente e a mínima de 11.15 mg/l na vazante da maré, que variou de 0,32m a 3,43m. Esta porção do rio Pará apresenta características específicas, e os resultados de turbidez e material

particulado em suspensão observado correspondem aos parâmetros da primeira amostragem no rio Pará, nas proximidades do município de Curralinho.

Figura 18 - Distribuição das médias de MPS em todos os pontos, em superfície e fundo.



Como um todo, os dados de quantificação de material particulado em suspensão através do método gravimétrico (fig. 18) corroboram os resultados obtidos com o aparelho turbidímetro. Dessa forma, confirmando as características observadas na amostragem tanto sobre os parâmetros das estações no Canal Sul do rio Amazonas, como das estações no Rio Pará.

## **8 CONCLUSÃO**

Foi observada uma nítida divergência entre a porção da margem que compreende o Canal Sul, e a porção que compreende o rio Pará, na ilha do Marajó. A variação da maré e descarga sólida nos locais de amostragem analisados foram os principais parâmetros na interpretação de que formas as características das águas em torno da ilha correlacionam-se. Dentro destes parâmetros foram levados em consideração importantes fatores como a sazonalidade, diferenças entre quadratura e sizígia, e influência marinha.

Ao longo de todas as margens do Marajó, os valores de material em suspensão obtidos em superfície foram mais baixos que os de fundo, assim como foi observada significativa diminuição destes valores ao longo da coluna d'água durante o período de estufa da maré.

Devido à natureza da zona costeira do Atlântico (no desempenho das ondas e correntes), e à forte influência da descarga de material do rio Amazonas, os maiores valores, em média, de turbidez e MPS foram observados nas estações do Canal Sul do Rio Amazonas, que atuam como importadoras de material particulado em suspensão.

Os menores valores em média, foram obtidos nas estações de amostragem do estuário do rio Pará, proximidades de Currálinho e Ponta de Pedras (influenciadas principalmente pelo rio Pará, e rio Tocantins, respectivamente), localidades dominadas pela vazão do rio, que atuam como exportadoras de material particulado em suspensão.

A pesquisa deste trabalho possui elementos importantes para o entendimento dos sistemas atuantes na Ilha do Marajó. A área de estudo, como um todo, está compreendida em um complexo sistema estuarino, que necessita de mais estudos e informações especialmente à longo prazo, que permitirão a realização de conclusões mais detalhadas e específicas das diversas forçantes, as quais este sistema faz parte.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. **Geomorfologia**, n. 55, p. 1-25. 1977.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em:  
<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>. Acesso em: 08 de novembro de 2013.
- AVELINE, L. C. Fauna dos manguezais brasileiros. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 42, p. 786-821. 1980.
- BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. **Geomorfologia da Folha SA-22 Belém in Levantamento de Recursos Naturais, Folha SA.22 Belém**, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Projeto Radam, Rio de Janeiro. v. 5. 1974. Disponível em:  
[http://www.antaq.gov.br/Portal/EVTEAs/CDP\\_VilaConde/Proj\\_Radam\\_Vol\\_5\\_FolhaA\\_S\\_22\\_Belem.pdf](http://www.antaq.gov.br/Portal/EVTEAs/CDP_VilaConde/Proj_Radam_Vol_5_FolhaA_S_22_Belem.pdf). Acesso em: 22 de outubro de 2013.
- BEMERGUY, R. L.; ROCHA, F. F. C.; COSTA, J. B. S.; SILVA JÚNIOR, O. G. Cartografia digital aplicada à integração dos elementos geomorfológicos da ilha de Marajó. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ, 2003. v. 1, p. 42-43.
- BERREDO, J. F.; MENDES, A. C.; SALES, M. E. C.; SARMENTO, J. P. Nível de contaminação por óleo nos sedimentos de fundo e na água do rio Pará, decorrente do acidente com a balsa miss Rondônia. **Ecossistema Costeiro: Impactos e Gestão Ambiental**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém. p. 153-163. 2001. Disponível em:  
[http://issuu.com/museu-goeldi/docs/ecossistemas\\_costeiros/154](http://issuu.com/museu-goeldi/docs/ecossistemas_costeiros/154). Acesso em: 22 de outubro de 2013.
- BEZERRA, M. O. M.; FREITAS, P. P.; BALTAZAR, L. R. S.; ROLLNIC, M., PINHEIRO, L. Estuarine processes in macro-tides of Amazon estuaries: A study of hydrodynamics and hydrometeorology in the Marajó bay (Pará-Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 65, p. 1176-1181. 2013.
- 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**, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS – Brasil. v. 32, n. 2, p. 109–118. 2006.
- CORRÊA, I. C. S.; ÁVILA, M., D. Sedimentação da desembocadura do canal sul do rio Amazonas. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 13-24. 2002. Disponível em:  
<http://seer.dev.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/viewFile/20265/pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2013.
- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BERMEGUY, R. L.; BORGES, M. S.; SOARES JÚNIOR, A. V.; VILLEGAS, J. M. C. Tectonic and Paleogeography of the Marajó Basin, Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 3, p. 1-13. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v74n3/v74n3a13.pdf>. Acesso em: 24 de outubro de 2013.

- DIEGUES, F. M. F. Introdução à oceanografia do estuário Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1973, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1973, p. 301-18.
- EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. M. A.; SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. H. S.; SILVA JÚNIOR, O. G.; FRANÇA, C. F. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do estado do Pará - região amazônica: áreas oceânica e estuarina. In: Muehe, Dieter (Org.). **Atlas de erosão e progradação da zona costeira brasileira**. 1 ed. São Paulo, p. 1-34. 2006.
- FERREIRA, G. P. **Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimento na região fluvio-estuarina do rio Paracauari – ilha de Marajó – Pará**. 2013. 102f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife, 2013.
- FISCH, G.; VENDRAME, I. F.; HANAOKA, P. C. M. Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazônica**. v. 37, n. 4, p. 583-590. 2007.
- FRANÇA, C. F. **Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da ilha de Marajó**. 2003. 144f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, 2003.
- GALLO, M. N. **A Influência da vazão fluvial sobre a propagação da maré no estuário do rio Amazonas**. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.
- GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning, 426f. 2010.
- GIBBS, R. J. The geochemistry of the Amazon river system, part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. **Geological Society of America**, Bulletin, v. 78, n.10, p.1203-1232. 1967.
- GODIN, G. The propagation of tides up rivers with special considerations on the upper Saint-Lawrence river. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 48, p. 307-324. 1999.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO ESTADO DO PARÁ – IDESP. **Estudos integrados da Ilha do Marajó**. 333f. Belém, 1974.
- LIMA, A. M. M.; OLIVEIRA, L. L.; FONTINHAS, R. L.; LIMA, R. J. S. Ilha do Marajó: revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e propostas de gestão. **HOLOS Environments**, v. 5, n. 1. 2005.
- MARTINS, S. E. M. **Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do Rio Pará (Baía de Marajó, Amazônia)**. 2010. 124f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – UFRGS-RS, Instituto de Geociências, 2010.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípio de oceanografia física em estuários**. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo- SP, 2002.

MONTEIRO, S. M. **Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó – PA.** 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Belém, 2009.

NASCIMENTO, I. B. A. **Aplicação de modelo hidrodinâmico 2dh em canais de maré da Costa Leste da ilha do Marajó - Pará.** 2013. 127f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros (Iecos), Bragança – PA, 2013.

REIS, C.M.; TANCREDI, A.C.F.N.S.; MATSUI, E.; SALATI, E. Caracterização das águas da região de Marajó através de concentrações de O-18 e D. **Acta Amazonica**, v.7, p. 209-222. 1997.

ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M. Evolution of the lowest amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, v. 70, p. 253-265. 2007.

SCHMIEGELOW, J. M. M. **O Planeta Azul: Uma introdução às ciências marinhas.** Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004.

SILVA, I. O. **Distribuição da vazão fluvial no estuário do rio Amazonas.** 2009. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, C.R. **Sensor de turbidez.** Universidade Estadual De Campinas - Unicamp. EXTECAMP. 2008. Disponível em: <http://infobrasil.inf.br/userfiles/26-05-S3-4-65657-Sensor%20de%20Turbidez.pdf>. Acesso em: 16 de novembro de 2013.

SOUZA, R. R. **Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na baía de Marajó e rio Pará (PA).** 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2006.

SOUZA, L., S., B.; ROSSETTI, D. F. Caracterização da rede de drenagem na porção leste da ilha do Marajó e implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12, n. 1. 2011.

UNCLES, R. J. Estuarine physical processes research: Some recent studies and progress. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 55, p. 829–856. 2002.

VINZON, S. et al.. Uma caracterização do estuário do rio Amazonas, de Obidos à plataforma continental. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 11., 2007, Belém. **Anais...** Belém: s.d., 2007.