



**Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia**

Laíssa Régia Sarmiento Baltazar

**CONTRIBUIÇÕES AO ENTENDIMENTO DOS PROCESSOS
OCEANOGRÁFICOS FÍSICOS DA BAÍA DO MARAJÓ-PA EM
FINAL DE PERÍODO SECO.**

**BELÉM- PA
2010**

Laíssa Régia Sarmiento Baltazar

**CONTRIBUIÇÕES AO ENTENDIMENTO DOS PROCESSOS
OCEANOGRÁFICOS FÍSICOS DA BAÍA DO MARAJÓ-PA EM
FINAL DE PERÍODO SECO.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará, para obtenção do título de
Bacharel em Oceanografia.**

**Orientado: Dr(a) Maria Ozilea Bezerra
Menezes**

Co-orientador: Dr(o) Marcelo Rollnic.

**BELÉM - PA
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

B197c Baltazar, Laíssa Régia Sarmiento

Contribuições ao entendimento dos processos oceanográficos físicos da Baía do Marajó-PA em final de período seco / Laíssa Régia Sarmiento Baltazar; Orientador: Maria Ozilea Bezerra Menezes; Coorientador: Marcelo Rollnic – 2010

74 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Hidrodinâmica. 2. Estuário bem misturado. 3. Macro estuário Amazônico. 4. Estuário do Rio Pará. 5. Baía do Marajó (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Menezes, Maria Ozilea Bezerra, *orient.* III. Rollnic, Marcelo, *coorient.* IV. Título.

CDD 20º ed.: 532.5098115

Laíssa Régia Sarmiento Baltazar

Contribuições ao entendimento dos processos oceanográficos físicos da Baía do Marajó-PA em final de período seco.

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

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Maria Ozilea Bezerra Menezes – Orientador
Doutora em Geologia
Universidade Federal do Ceará

Nils Edvin Asp Neto - Membro
Doutor em Geologia Costeira
Universidade Federal do Pará

Aderson Manoel da Silva Gregório - Membro
Ms. Geociências
Federal do Rio Grande do Sul

Ao Eng^o Agrônomo, Moizés
Rodrigues Baltazar, meu pai, que é
meu grande professor na vida e
quem mais me incentivou a aprender
a caminhar com as próprias pernas.
Essa vitória é nossa!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por estar aqui hoje.

À Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências e Universidade Federal do Pará, pelo curso de minha graduação.

Ao PROINT e, principalmente, aos professores que fizeram ser realidade esse projeto, que serviu de campo para aquisição dos dados utilizados neste estudo.

Ao Sistema de Sinalização Náutica do Norte (SSN-4), em especial ao Capitão-de-Fragata Edson Carlos Furtado Magno e ao Comandante Plínio Brayner, por cederem os dados de maré de Colares (ainda sem validação da Seção de Marés do CHM).

Agradeço sinceramente à banca examinadora, Nils Asp e Aderson Gregório, por disponibilizarem seu tempo para avaliação deste trabalho e por serem compreensíveis e flexíveis no prazo e formato de entrega deste. Tive muitas dúvidas no começo, mas depois que seus nomes vieram à minha mente, conclui que não poderia ser feita melhor escolha se não vocês dois.

Aproveitando o nome já citado, um agradecimento especial ao Aderson, pelas trocas de experiências e conhecimentos desde quando nos conhecemos. Sempre muito simpático e extrovertido. Obrigada por ter me dado a chance de participar do seu campo de doutorado e por levar seu vasto conhecimento ao PROINT 2009, “meu campo” de graduanda. Quem disse mesmo a bobagem de que um doutorando não teria como retribuir em campo um favor feito por um graduando, hein??!! Bobagem mesmo...

Agradeço ao Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido pelo auxílio e permissão no uso do laboratório, em especial à Suene (oceano 2005), sempre disposta a ajudar, que se tornou uma amiga muito querida ao longo do curso.

Ao Renan, que mesmo em férias, não se negou em me ajudar com uns gráficos, além de ser um amigo querido que já me ensinou muito compartilhando suas experiências.

À turma de oceano 2007, que participaram do PROINT 2009, e foram de grande ajuda para que todas as atividades e horários fossem respeitados.

Agradeço à minha turma, oceano 2006: Aline, Fran, Nara, Ellen, Elo, Lygia, Manu, Lidi, Glauci, Márcio, Dja e Ruth. Pois todos vocês foram muito importantes, cada um a sua maneira. – Seja em sala de aula, R.U., desesperos em provas ou práticas de campo, nós nos proporcionamos momentos de muita alegria e descontração, que nos tornaram cada vez mais unidos e sempre dispostos a ajudar um ao outro – como oceanógrafo deve ser!

Ao pessoal do Liog, pela força sempre e bons momentos de convivência. Em especial à professora Odete, que foi uma grande professora e incentivadora ao longo do curso, além de mãe mesmo.

Um agradecimento especial ao LOF (Laboratório de Oceanografia Física), laboratório do qual faço parte, pelas grandes oportunidades de aprendizado. Mais especial à Lygia e à Elow's, que foram grandes companheiras. A Lygia super calma, que não se estressa nunca e a Elô que discute por tudo, ambas me aturaram, em momentos de TPM ou não, sempre dando mais importância à nossa amizade. Adoro vocês!!

Um imenso agradecimento aos meus orientadores, professores Ozilea e Marcelo. O Marcelo que aceitou pegar o bonde andando, mas já me ajudava antes de ser co-orientador. À professora Ozilea que sempre me ajudou, me deu grandes oportunidades e cuidava de mim como uma mãe. A “mãe Ozi” me ligava se eu faltasse por motivo de doença, se oferecendo para me levar ao hospital. Nunca vou esquecer esse carinho todo. E, por ter aceitado o desafio de orientar a distância. Foi “superótimo”!!

Aos meus amigos de Tucuruí, Débora, Andréia, Renata, Markle, Jhonny, Pietro (que também é meu namorado e me ajudou imensamente com as correções) e todos que considero amigo, pela força e incentivo nos momentos difíceis e compreensão diante da ausência. O que seria desses 4 anos de curso sem as férias, com rodízios de pizzas e madrugadas e truço?!!! Amo vocês.

E, por último e mais especial, agradeço à minha família. Meus pais Moisés e Antônia, que permitiram e se esforçaram para que este dia fosse realidade. Aos meus irmão, Lorena, Leonaro e Louise, que fazem parte de mim. Às minhas primas de Tucuruí, meus tios, avós e todos que sempre me incentivaram.

“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo.

Olha para trás, para toda a jornada; os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre.

Mas, não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência.

Você pode apenas ir em frente.

O rio precisa se arriscar e entrar no oceano. E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece, porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano.

Mas tornar-se oceano.

Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento. Assim somos nós. Voltar é impossível na existência. Você pode ir em frente e se arriscar.

Coragem! Torne-se oceano”.

Osho.

RESUMO

Este trabalho é parte do Programa Integrado de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (PROINT 2008/2009), da Faculdade de Oceanografia (UFPA). A Ilha de Colares localiza-se no nordeste paraense e é banhada pelo rio Pará. Neste estuário existem poucos estudos oceanográficos-físicos, justificando o presente trabalho, que apresenta como objetivo de caracterizar os processos hidrológicos/hidrodinâmicos do baixo estuário do rio Pará, no período seco. O trabalho de campo foi realizado nos dias 17 e 18/12/09, durante a época de seca do rio Pará, com maré de sizígia de lua nova, como o auxílio de um catamarã, uma sonda Conductivity-Temperature-and-Depth (CTD), um Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) e um anemômetro digital. O clima apresentou-se fora das normais climatológicas, com índices altos de insolação e muito baixos de chuva, podendo ser conseqüências do *El Niño*; o sistema de correntes do estuário apresentou variações de direção e intensidade vinculadas, sobretudo às oscilações da maré e a morfologia do canal; os vetores de velocidade da corrente evidenciaram um caráter alternativo e axial nas correntes de enchente e vazante. A velocidade média na coluna de água obteve valores máximo de 1,15 m/s e mínimos de 0,04 m/s. A velocidade da corrente da superfície foi mais intensa que no fundo; na superfície a velocidade máxima foi de 1,7 m/s (vazante) e mínima de 0,3 m/s (enchente), e no fundo a velocidade máxima foi de 1,07 m/s (vazante) e mínima de 0,3 m/s (enchente). Os resultados das medidas de vento a 6m da lâmina d'água, indicaram muitas flutuações, com horas de grandes rajadas, chegando a 13 m/s, e outras de calmaria com velocidade próxima de 0 m/s. A maré na Ilha de Colares apresentou amplitude máxima de 3,00m, com amplitude maior 0,36 m comparado com a Ilha de Mosqueiro, e uma antecedência de 47 minutos. Desta forma, pode-se classificar este estuário como hiposíncrono. A temperatura da água no estuário não apresentou variações superiores a 0,8 °C ao longo do tempo, e 0,5 °C ao longo da coluna d'água em um mesmo perfil, com um máximo de 28,9°C e um mínimo de 28,1 °C (amb os em vazante). A salinidade no estuário é fortemente influenciada pela maré, mostrando-se um tanto peculiar, com valores mais elevados e estratificação na coluna d'água nas

primeiras horas de vazante. O sistema estuarino assume características do tipo 1 bem misturado.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Estuário bem misturado. Macro estuário amazônico. Estuário do rio Pará. Baía do Marajó (PA).

ABSTRACT

This work is part of the Integrated Program of Support to Teaching, Research and Extension (PROINT 2008/2009), School of Oceanography (UFPA). The island of Colares is located in northeast Pará and bathed by the Pará river estuary this are few and physical oceanographic, justifying the present study, which presented to characterize the hydrodynamic and hydrological processes of the lower estuary of the Para River during dry period . The field work was conducted on 17 and 18/12/09, during the dry season the river Para, with spring tide of new moon, with the help of a catamaran, a sounder Conductivity-Temperature-and-Depth (CTD), an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), a digital anemometer. Weather presented outside the normal weather, with high levels of sunshine and very low rainfall, may be consequences of El Niño, the system of currents of the estuary showed variations of intensity and direction related mainly to changes in tide and morphology channel, determining the vector of flow velocity in the estuarine system showed an alternative character and axial currents in the ebb and flow. The average speed in the water column obtained values up to 1.15 m/s and minimum of 0.04 m/s. The current speed of the surface was more intense than the background, the surface speed was 1.7 m/s (ebb) and a low of 0.3 m/s (flood), and the background speed was 1.0 m/s (ebb) and a low of 0.3 m/s (flood). The results of the wind to 6m of water depth, showed many fluctuations, with hours of great gusts, reaching 13m/s, and other of calm with speed very close to 0 m/s, and were more intense during the day with 32 °C. The tide on the island of Colares presented maximum amplitude of 3 m, 0.36 m higher amplitude compared with the Isle of Mosqueiro, and an advance of 47 minutes. This way, you can sort the estuary of the Para river as hipo-síncrono. The water temperature in the estuary didn't vary more than 0.8°C over time, and 0.5°C throughout the water column in the same profile, with a maximum of 28.9 °C and a minimum of 28.1 °C (both in ebb). The salinity in the estuary is strongly influenced by the tide, being somewhat peculiar, with higher values and stratification in the water column in the early hours of ebb. The estuarine system assumes the characteristics of type 1 well-mixed.

Key-words: Hydrodynamic. Well-mixed estuary. Amazon estuary macro. Pará River Estuary. Marajó Bay.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Área de estudo.	19
Figura 2	Divisão das Sub-bacias Hidrográficas que influenciam a área de estudo (em destaque no retângulo)	22
Figura 3	Mapa com a classificação de Köppen para o clima do estado do Pará, mostrando a área de estudo como tipo “Af”.	25
Figura 4	Estuário tipo cunha salina.....	30
Figura 5	Estuário tipo parcialmente misturado.	30
Figura 6	Estuário tipo verticalmente bem misturado.....	31
Figura 7	Diagrama de Hansen e Rattray.	32
Figura 8	Ilha de Colares e ponto de coleta.	34
Figura 9	Embarcação utilizada para a realização do trabalho, o catamarã Scalibur.....	34
Figura 10	Equipamentos usados em campo. (A) Gaiola com CTD SeaBird 37SM; (B) Gaiola com CTD SeaBird 37 SM sendo baixado na coluna d’água; (C) ADCP RDI Rio Grande antes de ser baixado na coluna d’água e; (D) Anemômetro digital Prova AVM-07.....	36
Figura 11	GPS Garmin, 76CSx.....	37
Figura 12	Chuva acumulada em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a climatologia para a região da área de estudo em 2008.	39
Figura 13	Chuva acumulada em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a climatologia para a região da área de estudo em 2009.	39
Figura 14	Insolação total diária em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a insolação total diária para a região da área de estudo em 2009.	40
Figura 15	Gráfico em 24h na região de Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a Chuva acumulada 24h para a região da área de estudo em 2009.	40
Figura 16	Temperatura máxima diária comparada com a normal climatológica em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a Temperatura máxima diária para a região da área de estudo em 2009.	41
Figura 17	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré vazante às 16 horas do dia 17/12/09 e maré de enchente às 20 horas do dia 17/12/09.....	41

Figura 18	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré enchente às 23 horas do dia 17/12/09 e às 12 horas do dia 18/12/09.....	42
Figura 19	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de vazante às 17 horas do dia 17/12/09 e maré de enchente às 18 horas do dia 17/12/09.....	42
Figura 20	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de vazante em 18/12/09 de 00 hora às 06 horas de 18/12/09..	44
Figura 21	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de enchente em 18/12/09 de 07 horas às 11 horas.....	45
Figura 22	Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de enchente às 10 horas de 18/12/09 e de vazante as 15 horas de 18/12/09.....	45
Figura 23	Velocidade média da corrente na coluna d'água ao longo das 24 horas de amostragem de 17 e 18 de dez 2009.....	46
Figura 24	Diagrama de distribuição polar das freqüências das correntes na superfície da camada d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.....	46
Figura 25	Diagrama de distribuição polar das freqüências das correntes no fundo da camada d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.....	47
Figura 26	Velocidade média do vento a 6m da lâmina de água ao longo do período de amostragem, de 15:00 horas do dia 17/12/09 a 15:00 horas do 18/12/2009.....	48
Figura 27	Gráfico com as direções médias do vento durante a amostragem, 17 e 18 de dez 2009.....	48
Figura 28	Maré medida na Ilha de Colares e previsão da tábua de maré da Ilha de Mosqueiro em abril de 2008.....	49
Figura 29	Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 01 de abril de 2009 a 30 de abril de 2009.....	49
Figura 30	Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 01 de dezembro de 2009 a 31 de dezembro de 2009.....	50
Figura 31	Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 17 a 18 de dezembro de 2009.....	50
Figura 32	Salinidade e temperatura versus profundidade de enchente de 17/12/09 de 18 horas às 23 horas.....	52
Figura 33	Salinidade e temperatura versus profundidade de enchente de 18/12/09 de 07 horas às 12 horas.....	53

Figura 34	Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 17/12 de 15 horas às 17 horas.....	54
Figura 35	Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 18/12 de 00 hora às 06 horas.....	56
Figura 36	Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 18/12 de 13 horas às 15 horas.....	57
Figura 37	Diagrama de classificação de Estratificação-Circulação de Ransen e Rattray (1966).....	58
Figura 38	Diagrama de estratificação - circulação referentes a cada estágio da maré elaborado a partir da proposta de Hansen e Rattray (1966).....	59
Figura 39	Diagrama T/S do dia 18.12.2009 das 00:00 e das 01:00 enchente.....	60
Figura 40	Diagrama de distribuição polar das frequências das correntes na coluna d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.....	61
Figura 41	Relação entre a velocidade média da corrente de superfície e fundo, salinidade média de superfície e fundo e maré ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.....	62
Figura 42	Gráfico da relação entre a velocidade média do ar e a temperatura do ar, durante o período de análise, de 17/12 a 18/12/09.....	63
Figura 43	Imagem da Ilha de Colares para visualização da área de mangue, típico do litoral paraense. Fonte: imagem do Google maps.....	64
Figura 44	Relação da salinidade e nível do mar versus tempo em canal de maré próximo a Bragança, litoral do Pará. Fonte: Lara&Dittmar, 1999.....	65
Figura 45	Relação entre a velocidade média do vento e a velocidade média da corrente superficial ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.....	66
Figura 46	Relação entre a velocidade média da corrente de superfície e fundo, a temperatura média de superfície e fundo e maré ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
1.2.1	Localização	18
1.2.2	Aspectos Socioeconômicos da Área	19
1.2.3	Aspectos Fisiográficos	20
1.2.4	Aspectos Físicos e Químicos	24
2	REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1	ESTUÁRIOS.....	26
2.1.1	Origem Geológica dos Estuários	27
2.1.2	Dinâmica Estuarina	28
2.1.2.1	Classificação Do Estuário De Acordo Com A Estratificação Da Salinidade De Pritchard, (1955)	29
2.1.2.2	Classificação Do Estuário Usando O Diagrama De Estratificação-Circulação De Hansen E Rattray (1966).....	31
2.2	ESTUÁRIO DO RIO PARÁ.....	33
3	METODOLOGIA	33
3.1	EXPERIMENTOS DE CAMPO	33
3.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	37
4	RESULTADOS	39
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA.....	39
4.2	PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA	41
4.2.1	Correntes	41
4.2.2	Regime de Ventos	47
4.2.3	Marés	49
4.3	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DO SISTEMA ESTUARINO.....	51
4.3.1	Salinidade e Temperatura	51

4.4	DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS ESTUARINOS QUANTO A ESTRATIFICAÇÃO E CIRCULAÇÃO	58
4.4.1	Classificação do estuário usando o diagrama de estratificação-circulação de Hansen e Rattray (1966)	58
4.4.2	Classificação do estuário de acordo com a estratificação da salinidade de Pritchard, (1955).....	59
5	DISCUSSÕES	60
5.1	CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA.....	60
5.2	PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA.....	61
5.2.1	Correntes.....	61
5.2.2	Vento.....	63
5.2.3	Maré.....	63
5.3	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DO SISTEMA ESTUARINO.....	64
5.3.1	Salinidade e Temperatura.....	64
6	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte do Programa Integrado de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (PROINT 2008 - 2009), da Faculdade de Oceanografia, cujo título é; Medições Oceanográficas de Campo e por Satélites, que tem código; IG0100921C. Este sub-projeto, trata das coleta e análise dos parâmetros hidrológicos e hidrodinâmicos do projeto acima mencionado. O PROINT foi financiado pela Pró-Reitoria de Ensino de Graduação (PROEG), da Universidade Federal do Pará (UFPA), e tem periodicidade bianual.

O PROINT (2008-2009), Medições Oceanográficas de Campo e por Satélites, teve como principal objetivo oportunizar aos alunos do sexto (6º) semestre da Faculdade de Oceanografia em participar de práticas de campo e laboratório multidisciplinar nas diversas áreas da Oceanografia; química, biologia, geologia e física. As práticas foram realizadas na Ilha de Colares (Pará) e compreenderam um conjunto de operações em terra e embarcadas. Os trabalhos foram realizados de forma integrada, numa mesma área (Ilha de Colares), com todos os pesquisadores e estudantes participando ativamente de cada uma das etapas do projeto. Para garantir a integração e inter-conexão das informações sobre cada ambiente, as atividades das diversas áreas foram realizadas simultaneamente, evitando a compartimentalização dos conhecimentos repassados aos alunos. Este projeto dotou o graduando de Oceanografia com um programa prático de bastante amplitude e profundidade, que habilitou os alunos na análise integrada de dados (bióticos, abióticos e socioeconômicos), buscando o entendimento global dos processos estuarinos.

A área de pesquisa do presente estudo está situada na Zona Costeira Amazônica (ZCA), que está inserida no contexto das regiões tropicais úmidas situadas entre 4º N e 4ºS. Os trópicos úmidos são caracterizados por precipitação alta e constante, altas temperaturas com baixa variação térmica e elevada nebulosidade (NITTROUER et al. 1995 apud COSTA, 2007).

A área de estudo está inserida na zona costeira do Pará, que se encontra com cerca de 1.200 km de costa e é dividida em 3 setores: Setor 1 ou Costa Atlântica do Salgado Paraense; Setor 2, o Continental Estuarino e; Setor

3, o Insular Estuarino (GERCO, 1996). A área de estudo, em frente à Ilha de Colares, situa-se na Costa Atlântica do Salgado Paraense (setor 1).

A Ilha de Colares está localizada no nordeste paraense e é banhada pelo rio Pará, está próximo às cidades de Vigia e Santo Antonio do Tauá, à 62km da capital Belém.

O Rio Pará, também conhecido como braço direito/sul do Rio Amazonas, separa a região sul e leste da Ilha do Marajó do continente (estado do Pará), unindo-se com o Rio Amazonas através do estreito de Breves (SOUZA, 2006).

Para a navegação local e regional, o rio Pará é muito importante, visto que dá acesso aos principais portos do nordeste do Pará, o de Belém, capital do estado; e o de Vila do Conde, na margem direita do Rio Pará, na cidade de Barcarena. Este último, por diversos fatores, é uma eficiente ligação da região com o resto do mundo em vista de seu privilegiado posicionamento geográfico, bem como a grande extensão de frente acostável, calado de 14 metros, fácil acesso marítimo, fluvial e rodoviário, reduzidos custos com manutenção e infraestrutura (dragagem, balizamentos e cais), entre outros (COMPANHIA DOCAS DO PARÁ, 2009).

Outra importância de se estudar esta região é que se trata de um estuário, um ecossistema de transição entre o oceano e o continente; a complexidade e vulnerabilidade a influência do homem são características comuns a todos os estuários. Em condições naturais, os estuários são biologicamente mais produtivos que os rios e o oceano adjacente, por apresentarem altas concentrações de nutrientes que estimulam a produção primária (MIRANDA et al., 2002).

Entretanto, mesmo com tal importância, a região do rio Pará ainda é carente de estudos, principalmente no que se refere aos aspectos físicos, justificando o presente trabalho, que apresenta como objetivo geral caracterizar os processos hidrológicos e hidrodinâmicos do baixo estuário do rio Pará, na região da Baía do Marajó, no período seco (dezembro) do ano de 2009.

Este trabalho está dividido em seis seções, sendo que a primeira trata da introdução, objetivos e características gerais da área de estudo, obtidas através de estudos bibliográficos. Na segunda seção está a revisão literária. Na terceira seção encontra-se a metodologia. A quarta seção trata dos resultados

e discussões. Na quinta seção encontram-se as conclusões e, por fim, as referências bibliográficas estão descritas na sexta seção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar os processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Baía do Marajó, próximo da Ilha de Colares, em final de período seco.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar a hidrodinâmica e a variabilidade temporal de propriedades hidrológicas e da circulação do baixo estuário do Rio Pará, próximo à região de Colares, no final do período seco em maré de sizígia de lua nova ;
- Identificar e relacionar com o padrão de correntes a presença de cunha salina;
- Classificar o sistema estuarino através do diagrama de Circulação-Estratificação de Hansen e Rattray (1966);
- Estimar a maré em dezembro de 2009 a partir de tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da estação maregráfica mais próxima, na Ilha de Mosqueiro, e dados de maré coletados na área de estudo em abril de 2008;
- Analisar as componentes de velocidade das correntes de maré em relação aos eixos das coordenadas para um ciclo de maré na área de estudo;

1.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

1.2.1 Localização

A Zona Costeira Amazônica Brasileira (ZCAB) está localizada entre os paralelos 4° S e 5° N e os meridianos 43° W e 51° W, entre o Cabo Orange (Amapá) e a Ponta de Tubarão (Maranhão), medindo, cerca de, 2.250 km de estuários) e as ilhas costeiras (SOUZA FILHO et al., 2005).

A área de estudo está localizada no baixo estuário do Rio Pará, na baía do Marajó, nas proximidades da Ilha de Colares (Figura 1). A região da Ilha de Colares é separada do continente pelo “Furo da Laura”, canal de maré caracterizado pela alta sinuosidade, onde alternam-se pequenos trechos retilíneos e mistos com eventuais formas anômalas em “cotovelo”. Apresentando largura variando entre 200m a 1km e profundidade em torno de 10m (TUMA, 1997).



Figura 1: Área de estudo.

Fonte: Shapers fornecidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2007.

1.2.1 Aspectos Socioeconômicos da Área

A Ilha de Colares iniciou-se como parte do município de Vigia, sendo este assentado em território nação dos índios Tupinambá, fundada em 1693. Colares assumiu o posto de Vila em meados de 1833 e, após ser desmembrada e “re” anexada ao município de Vigia por diversas vezes baseadas em diversas leis diferentes, a ilha ganhou autonomia como município em 29 de dezembro de 1961, por meio da Lei Estadual nº 2.460. (FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARÁ - FAMEP, 2009).

A população total do município era de 10.632,00 de habitantes, de acordo com o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2000). A área é de 609,78 km² representando 0,05% do Estado e seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,71 segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano/ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD, 2000).

1.2.2 Aspectos Fisiográficos

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).

Por ser esse ecossistema único, de dimensões gigantescas, forma em sua foz um grande estuário. Sendo este, definido pela análise das propriedades oceanográficas na área caracterizada pela mistura entre águas doces e salgadas, no caso do Rio Amazonas poder-se-ia falar, então, de um “sistema estuarino”, seja considerando os rios Amazonas e Pará como dois corpos distintos, seja como parcelas componentes de um mesmo corpo indivisível de águas (DIEGUES, 1973).

Segundo Corrêa (2006), o processo de circulação que ocorre entre o estuário da baía de Marajó e o mar aberto, é a mistura das águas doces,

provenientes do deságüe dos rios Pará, Tocantins, o complexo da baía de Guajará, com as águas salgadas do oceano, em um ambiente semi-restrito.

O sistema hidrográfico do estado do Pará é composto de 20 grandes bacias, constituindo uma vasta rede, característica dos estados amazônicos (LIMA et al., 2005). De acordo com a divisão da AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA, 2009), o Pará engloba a maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia do rio Amazonas, e ainda as bacias dos rios Tocantins/Araguaia e a bacia do Atlântico Norte-Nordeste.

A Região Hidrográfica Amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas situada no território nacional, pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na Ilha de Marajó, além das bacias hidrográficas dos rios situados no Estado do Amapá que deságuam no Atlântico Norte, perfazendo um total de 3.870.000 km² (ANA, 2009).

Outra região hidrográfica importante para a área de estudo é a do Tocantins-Araguaia, que possui uma área de 967.059 km² (11% do território nacional) e abrangem os estados de Goiás (26,8%), Tocantins (34,2%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%). Grande parte situa-se na Região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, e daí, para jusante, adentra na Região Norte até a sua foz (ANA op. cit.).

Alguns dos rios que abastecem a baía do Guajará, e conseqüentemente o estuário do rio Pará, como os rios Guamá, Acará e Moju, são provenientes da região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental (ANA op. cit.).

As bacias hidrográficas citadas acima, que influenciam na área de estudo de acordo com a ANA (op. cit.) podem ser melhor visualizadas na Figura 2, a seguir.

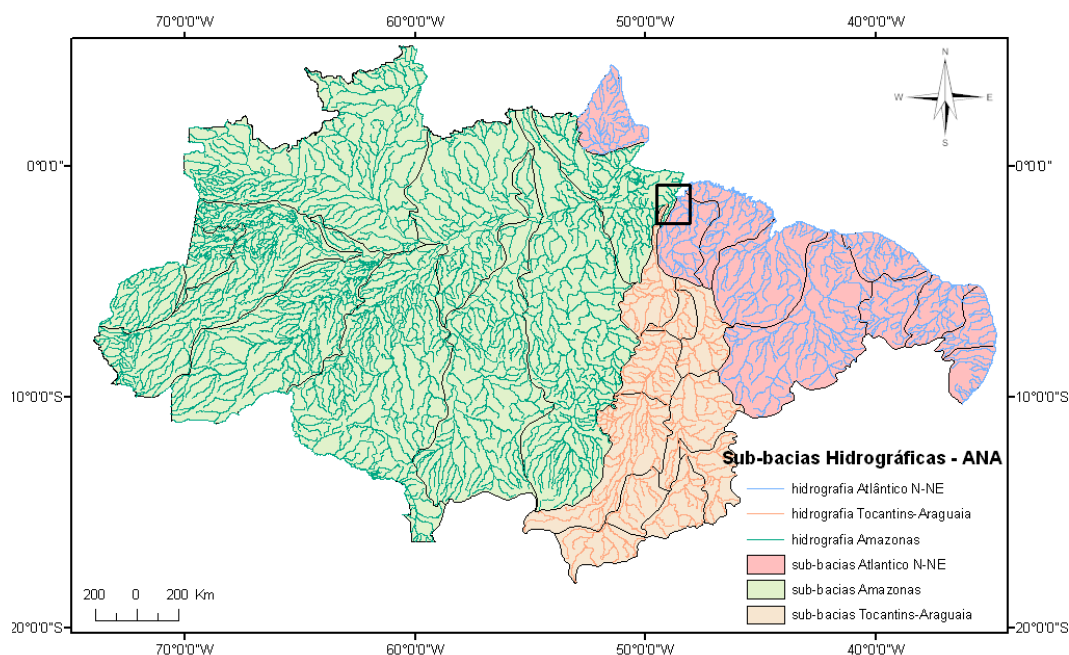


Figura 2: Divisão das Sub-bacias Hidrográficas que influenciam a área de estudo (em destaque no retângulo) (ANA, 2009).

Fonte: Shapers das bacias hidrográficas fornecido no site da ANA, 2009.

Porém, para facilitar o gerenciamento dos recursos hídricos e alimentar banco de dados, realizou-se a divisão do estado do Pará em regiões hidrográficas de acordo com as características geomorfológicas, geológicas, hidrográficas, solos, fator hidroclimático e ainda considerando os municípios envolvidos. Assim, o Estado do Pará foi dividido em oito regiões hidrográficas: Calha Norte, Tapajós, Baixo Amazonas, Xingu, Portel, Tocantins-Araguaia, Costa Atlântica-Nordeste e a Marajó. (LIMA et al, 2005)

A área de estudo em questão recebe águas das Regiões Hidrográficas Portel, Marajó, Tocantins-Araguaia e Costa Atlântica-Nordeste, de acordo com a divisão estadual.

A Região Hidrográfica Portel está inserida na Mesorregião do Marajó, perfazendo um total de 6,1% da área do estado, composta pelas bacias dos rios Anapú e Pacajá e, geologicamente, apresenta na sua porção sul rochas cristalinas do Complexo do Xingu e na porção norte sedimentos cenozóicos da formação Barreiras (LIMA et al. op. cit.).

A Região Tocantins-Araguaia situa-se na Mesorregião Sudeste Paraense, com 10,4% da área estadual, sendo constituída pelas bacias dos rios Tocantins e Araguaia. Ela é composta por rochas de natureza composicional e temporal diversas, incluindo rochas de idade Pré-Cambriano

do Complexo Xingu, rochas vulcano-sedimentares do grupo Serra Inajá, Super Grupo Uatumã, Suíte Intrusiva Rio Dourado, Rochas sedimentares da Formação Gorotire, entre outros (LIMA et al., 2005).

A Região Costa Atlântica-Nordeste situa-se na Mesorregião Nordeste Paraense, ocupando 10,1% da área do estado e é constituída das bacias dos rios Guamá-Moju, Gurupi e a bacia da região do Atlântico, mas apenas as sub bacias do Guamá-Moju contribuem para o rio Pará. E, geologicamente, por três províncias tectônicas, o Cráton São Luiz, províncias de cinturões móveis do Proterozóico Inferior, e coberturas farenozóicas (Formações Pirabas e Barreiras), coberturas detríticas-lateríticas e aluvionares (LIMA et al. op. cit.).

E, por fim, a Região Marajó situa-se na Mesorregião Marajó, ocupando uma área de cerca de 4,7% do estado e é constituída por duas bacias, a bacia da região ocidental do Marajó e a bacia da região oriental do Marajó. A geologia dessa região é constituída por coberturas fanerozóicas, constituindo terraços, várzeas, resto de platô, que constituem áreas aplainadas recobertas por sedimentos recentes (LIMA et al. op. cit.).

No município de Colares ocorrem principalmente unidades cenozóicas atribuídas ao Grupo Barreiras, Pós-Barreiras e Depósitos recentes (DUTRA, 1995).

Em relação à morfologia de fundo do estuário da baía de Marajó, há presença de canais com direção predominante de SSW/NNE, suavizando-se em direção ao largo da plataforma continental para uma orientação SW/NE, intercalados por bancos arenosos, podendo, alguns destes, aflorarem durante períodos de maré baixa (CORRÊA, 2006).

Ainda segundo o referido autor, em um perfil traçado na direção WNW/ESE, que inicia-se nas proximidades da desembocadura do rio Paracauari (ilha de Marajó) e prolonga-se em direção ESE até a parte mediana da ilha de Colares, apresenta uma morfologia de fundo bastante irregular, ocasionada pela presença dos canais, os quais apresentam amplitudes de 18 ou mais metros. Este perfil salienta a presença de dois bancos arenosos que vêm a formar a Coroa do Quirirí e a Coroa Seca, ambos podendo aflorar, parcialmente, em baixa-mar.

1.2.4 Aspectos Físicos e Químicos

Nos estuários, os processos físicos comuns são seus movimentos e a mistura entre as massas de água doce de origem fluvial com a de água do mar do oceano adjacente (MIRANDA et al., 2002). A interação das várias propriedades e processos, como correntes de maré, vazão do rio, gradientes de pressão e outros, produz a distribuição de salinidade dentro da bacia estuarina, que é característica de cada estuário (OFFICER, 1983 apud MIRANDA et al. op. cit.).

As correntes de maré são causadas pelas subida e descida do nível do mar, à medida que a crista e cava da onda de maré se aproxima. Essas correntes fazem a água fluir para dentro e para fora de baía e portos (GARRISON, 1942). Na área de estudo, a maré é do tipo semi diurna, isto é, com dois ciclos de maré (preamar e baixa-mar) por dia, onde as Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) é 331cm acima do Nível de Referencia (NR), as Médias das Preamares de Quadratura (MHWN) é 242cm acima do NR, as Médias das baixa-mares de Sizígia (MLWS) é 18cm acima do NR e as Médias das baixa-mares de Quadratura (MLWN) é 106cm acima do NR. (FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR - FEAMAR, 1959).

As variações dos níveis dos rios Pará e Tocantins e de seus afluentes são significativas durante o ano, estas estão relacionadas ao regime de chuvas a que a região está sujeita. Estas variações são periódicas e obedecem a um ciclo anual de fenômenos de enchentes e vazantes (CORRÊA, 2006).

O estado do Pará, devido sua dimensão geográfica, com aproximadamente 1.257.000 km², apresenta grande variação climática, com distribuição de períodos de chuvas e estiagem, os quais diferem as regiões em função da sazonalidade. Utilizando a classificação de Köppen, foram identificados três subtipos climáticos: “Af”, “Am” e “Aw”. Tais subtipos pertencem ao clima tropical chuvoso, caracterizando-se por apresentar temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C e se diferenciam pela quantidade de precipitação pluviométrica média, mensal e anual (GUIMARÃES, 2005). Na Baía do Guajará as amplitudes térmicas diárias são bem maiores que as mensais e anuais: à tarde a temperatura fica em torno de 30° C, e durante a madrugada baixa para 23-24 °C (GREGÓRIO e t al., 2006). A região

da Ilha de Colares se insere no subtipo Af de acordo com a classificação de Köppen para clima (figura 3), que caracteriza um clima tropical de floresta, constantemente úmido, (CORREA, 1974) e apresenta uma estação muito chuvosa, entre os meses de janeiro e junho, e uma estação seca, nos demais meses do ano. Além de estar incluída uma das regiões que apresenta entre os maiores valores pluviométricos, o nordeste paraense.

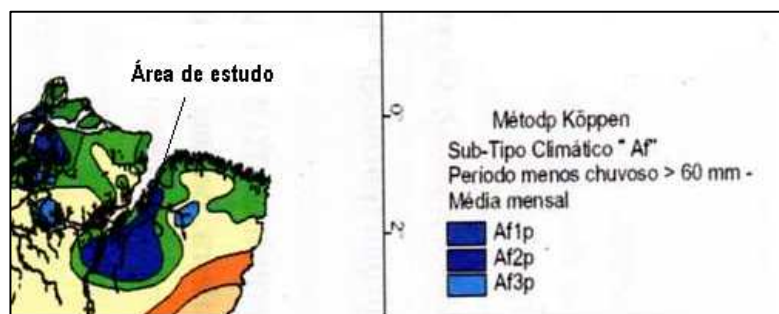


Figura 3: Mapa com a classificação de Köppen para o clima do estado do Pará, mostrando a área de estudo como tipo "Af".

Fonte: Modificado de Guimarães et. al. (2005).

A região da Floresta Amazônica possui alta pluviosidade associada a uma forte atividade convectiva, com períodos longos e intensos de chuvas durante o ano (FISCH, 2007).

As condições meteorológicas na Amazônia são afetadas por um amplo espectro de fenômenos que variam desde a escala de convecção-cúmulo até as configurações da circulação de escala global (MOLION, 1987).

O fato do alto índice pluviométrico se deve a influência de sistemas de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), forte convecção local, aglomerados de *Cumulunimbus* e por estar localizada em áreas litorâneas (OLIVEIRA, 2005).

A ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e os ventos alísios do Hemisfério Sul e é responsável pelas precipitações sobre as áreas costeiras da Amazônia e do NE brasileiro (MOLION op. cit.).

Nos trópicos, o parâmetro climatológico mais importante é a precipitação. As causas físicas de sua variabilidade interanual na Amazônia ainda não são bem conhecidas mas, certamente estão ligadas às flutuações de macroescala, principalmente as da intensidade da circulação de Hadley-Walker. Estas flutuações, por sua vez, estão relacionadas com a intensidade e a variabilidade, tanto espacial como temporal, das fontes de calor latente nas regiões equatoriais (MOLION, 1987).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTUÁRIOS

De acordo com a clássica definição de Pritchard (1955) e Cameron e Pritchard (1963), "Estuário, é um corpo de água costeiro, semifechado, com uma ligação livre com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental".

Para uma definição mais abrangente e satisfatória, foi feita uma adaptação da clássica definição de Pritchard, onde inclui-se o trecho que delimita o estuário "rio acima até o limite da influencia da maré" (DYER, 1997 apud MIRANDA et al., 2002).

Sendo a maré uma imensa onda de águas rasas, causada pela força gravitacional do Sol, da Lua e da Terra em conjunto e pelo movimento do planeta. A água que avança em uma área fechada por causa do aumento do nível do mar, à medida que uma crista de maré se aproxima, é chamada de enchente; e a água que sai por causa da queda do nível do mar, à medida que uma cava se aproxima é a chamada vazante (GARRISON, 1942). Essas correntes de maré, enchente e vazante, são um dos principais fatores que provocam a circulação e o processo de mistura dentro do estuário.

Em média, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas do que as do rio e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimula a produtividade desses corpos d'água (MIRANDA et al. op. cit).

Um estuário de salinidade média inferior à do mar contíguo, em virtude de precipitações e descargas fluviais excederem a evaporação, é denominado de "positivo". Se a evaporação excede a precipitação e as descargas fluviais, o estuário é "negativo" (PICKARD; PHIL, 1974).

2.1.1 Origem Geológica dos Estuários

Com algumas exceções, os estuários formaram-se em regiões relativamente estreitas de transição entre o mar e as massas de terra continentais. São ambientes de época geológica muito recente (< cinco mil anos), formados por alterações seculares do nível do mar de natureza eustática (variações do volume da água dos oceanos – congelamento e degelo) ou isostática (variações do nível da crosta terrestre – movimentos da crosta em relação ao geóide, variações da geometria das bacias oceânicas, compactação e erosão de sedimentos não consolidados), bem como por processos de origem tectônica (MIRANDA et al., 2002).

Quanto à forma, o estuário distingue-se em três tipos, o de planície costeira, o de bacia profunda e o estuário com barra (PRITCHARD, 1955 apud PICKARD; PHIL, 1974). Outra classificação válida quanto à origem do estuário é a que os classifica em quatro tipos diferentes: desembocaduras de rios afogados ou planície costeira, fiordes ou bacia profunda, estuários com barra, e tectônico ou estuários restantes (GARRISON, 1942; MIRANDA et al. op. cit.). A seguir, descreve-se cada um dos tipos:

- Desembocadura de rios afogados (planície costeira): é resultado da subsidência da terra, ou da elevação do nível do mar ter alagado o vale de um rio (PICKARD; PHIL op. cit.). Esses estuários são típicos de regiões costeiras de áreas tropicais e subtropicais, se formaram durante o Holoceno, sendo eles relativamente rasos, raramente excedendo 30m de profundidade e a configuração geométrica da seção transversal tem a forma de V (MIRANDA et al. op. cit.). Alguns exemplos desse tipo de estuário são Vale do Rio São Lourenço, Baía de Chesapeake e Delaware, desembocadura dos rios York e James e estuário do Rio São Francisco (MIRANDA et al. op. cit.; PICKARD; PHIL op. cit.; GARRISON op. cit.).

- Fiordes (de bacia profunda): os fiordes são íngremes, sofrem erosões glaciais e tem o canal em forma de U. Eles tem de 300 a 400 m de profundidade, mas tipicamente terminam em orla ou soleira rasa (GARRISON op. cit.). Formaram-se em regiões que durante o Pleistoceno estavam cobertas com calotas de gelo (MIRANDA et al. op. cit.). Por sua região terminal

(desembocadura) ser mais rasa que a bacia principal e do que o oceano, é impedida as trocas de água profunda (PICKARD; PHIL, 1974).

- Estuário com barra: são estuários também formados com a inundação de vales primitivos de rios durante a transgressão marinha, mas a sedimentação recente ocasionou a formação de barras na boca. Portanto esses ambientes estão associados a regiões costeiras que podem sofrer processos erosivos com facilidade (MIRANDA et al., 2002). O extremo interior do estuário é chamado o “fundo”, o exterior, a “barra” (PICKARD; PHIL op. cit.). Esses sistemas são, em geral, rasos, com profundidade não superior a 20-30 m, e podem apresentar canais e lagunas extensas em seu interior (MIRANDA et al. op. cit.). Como eles são rasos e normalmente tem apenas uma pequena entrada que os conecta ao oceano, a ação da maré é limitada (GARRISON, 1942).

- Estuário Tectônico (estuários restantes): esses estuários são aqueles formados por outros processos costeiros como falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamento de terra (MIRANDA et al. op. cit.). Tanto a água doce quanto a água do mar fluem na depressão e formam o estuário (GARRISON op. cit.).

2.1.2. Dinâmica Estuarina

A circulação, os processos de mistura e a estratificação de salinidade no estuário dependem de sua geometria, da descarga de água doce, da maré, da salinidade, da circulação da região oceânica adjacente e dos ventos.

Na definição de Kjerfve (1987, apud Miranda et al., 2002) o estuário pode ser subdividido em três zonas, a Zona de Maré do Rio (ZR), a Zona de Mistura (ZM) e a Zona Costeira (ZC).

A Zona de Maré do Rio é a parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita a influencia da maré. Essa região corresponde ao “estuário fluvial” nas definições de Pritchard (1955) e Dionne (1963). Na ZR, além da salinidade ser praticamente zero, o movimento é unidirecional com sentido estuário acima na maré enchente e estuário abaixo na maré vazante, o limite interior dessa zona é a chamada cabeceira, que é onde cessa a influencia da maré.

A Zona de Mistura é a região onde ocorre a mistura da água doce proveniente da drenagem continental com a água do mar. Nela há uma acentuada variação longitudinal e vertical de salinidade e as isohalinas tem a forma de cunha, denominada cunha salina. Na transição entre as zonas de mistura (ZR) e a região costeira adjacente (ZC) está localizado a entrada ou boca do estuário.

A partir dessa região, a boca do estuário, observa-se a zona costeira (ZC) formada pela pluma estuarina que delimita-se na superfície com a massa de água de origem oceânica por uma 'frente' (MIRANDA et al., 2002).

Os limites entre as diferentes zonas são dinâmicos, podendo variar espacialmente ao longo do estuário e temporalmente em diferentes escalas, como no decorrer da maré, sazonalmente, anualmente, etc.

2.1.2.1 Classificação Do Estuário De Acordo Com A Estratificação Da Salinidade De Pritchard, (1955)

Segundo Pickard (1974) é típico em estuários a salinidade definir a densidade. Assim, de acordo com a estratificação vertical de salinidade, o estuário pode ser classificado como: (A) cunha salina, (B) moderadamente ou parcialmente misturado, (C) verticalmente bem misturado e lateralmente estratificado e, (D) bem misturado (PRITCHARD, 1955 apud MIRANDA et al. op. cit.). Nos parágrafos seguintes descreve-se cada um dos tipos citados:

- Tipo A (cunha salina): esse tipo de estuário é típico de regiões de micromaré e de lugares que predominam condições de grande descarga fluvial. Portanto, são estuários dominados pela descarga fluvial e pelo processo de entranhamento, que responsável pelo aumento da salinidade da camada superficial, e a mistura por difusão turbulenta é desprezível (figura 4) (MIRANDA et al. op. cit.).

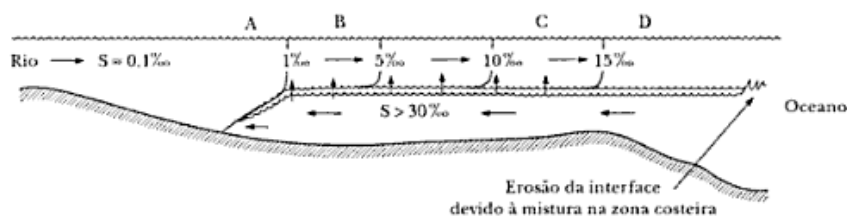


Figura 4: Estuário tipo cunha salina.

Fonte: Miranda et. al., 2002.

- Tipo B (moderadamente ou parcialmente misturado): de acordo com Miranda et al. (2002), esses são os estuários com gradientes verticais moderados de salinidade (figura 5). Com a co-oscilação da maré, toda água no interior do estuário é agitada periodicamente, isso ocorre mesmo para micromaré; entretanto, somente para pequenos valores da razão de fluxo (<1) a agitação será suficientemente intensa para ocasionar a erosão mais acentuada da haloclina. A energia de maré envolvida nesse processo deve ser suficientemente grande para realizar trabalho tanto contra o atrito nos limites geométricos do estuário, quanto contra a ação estabilizadora do empuxo, produzindo turbulência interna (MIRANDA et al. op. cit.).

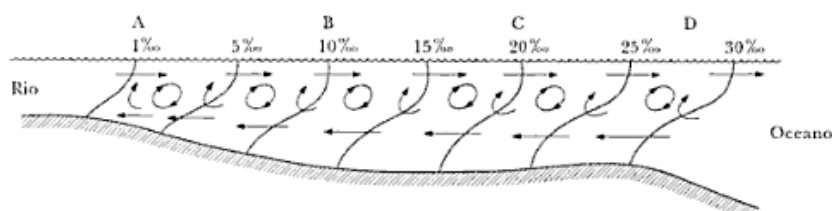


Figura 5: Estuário tipo parcialmente misturado.

Fonte: Miranda et. al. 2002.

- Tipo C e D (verticalmente bem misturado): o estuário bem misturado é raso e estreito forçado por pequena descarga fluvial. A mistura vertical faz a água homogênea em toda a extensão do estuário se ele estiver localizado em regiões de meso a macromaré (figura 6). Porém, em condições naturais, esses estuários geralmente apresentam pequena estratificação vertical de salinidade, mas o fluxo vertical de sal é desprezível e o processo de mistura ocorre principalmente na direção longitudinal (DYER, 1973 apud MIRANDA et al. op. cit.; PRITCHARD, 1973).

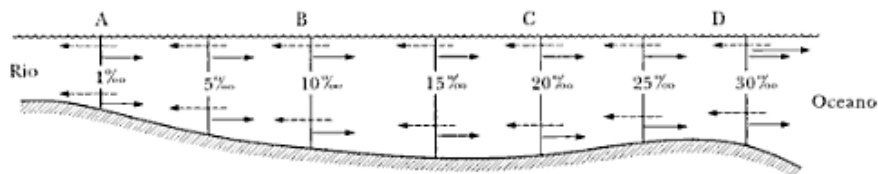


Figura 6: Estuário tipo verticalmente bem misturado.
Fonte: Miranda et. al. 2002.

1. Tipo C (lateralmente estratificado): quando o estuário apresenta a razão largura/profundidade relativamente grande, a força de Coriolis pode gerar estratificação lateral de salinidade, embora a coluna d'água possa permanecer verticalmente quase homogênea (MIRANDA et al., 2002). No Hemisfério Sul, onde as massas fluidas defletem para a esquerda, a massa d'água salgada tende a adentrar no estuário pela direita e a massa d'água doce tende a sair pela esquerda; o oposto ocorre no Hemisfério Norte, onde a força de Coriolis deflete as massas fluidas para a direita.

2. Tipo D (bem misturado): em canais estuarinos estreitos, o cisalhamento lateral poderá ser suficientemente intenso para gerar condições homogêneas lateralmente. Nessas condições, a salinidade aumenta gradativamente estuário abaixo e o movimento médio está orientado nessa direção em todas as profundidades (apesar do balanço ser atingido pelo transporte estuário acima por difusão turbulenta, associada a irregularidades topográficas e ao atrito com o fundo) (MIRANDA et al. op. cit.).

2.1.2.2 Classificação Do Estuário Usando O Diagrama De Estratificação-Circulação De Hansen e Rattray (1966)

Hansen e Rattray (1966 apud MIRANDA et al. op. cit.) implementaram um método de classificação baseada nas velocidades das marés associadas com o aporte de água doce do sistema de circulação vertical residual (Figura 07). Estes fatores representam a relação entre a circulação vertical e a velocidade média da seção transversal, devido ao fluxo do rio. A estabilidade do sistema depende da relação entre a diferença da salinidade de superfície e de fundo e a salinidade média da seção transversal.

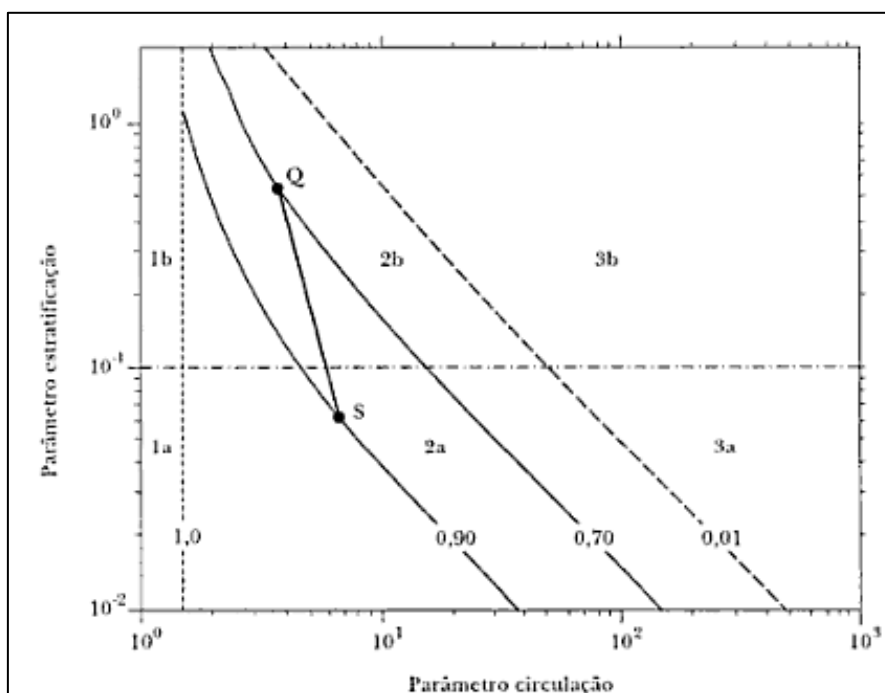


Figura 07: Diagrama de Hansen e Rattray.

Fonte: MIRANDA, 2002.

O diagrama de classificação de Hansen e Rattray é baseado no cálculo de dois parâmetros, um que representa o nível de estratificação e outro de circulação. Como indicador de estratificação vertical, foi calculado o parâmetro não dimensional de estratificação $\Delta S/S_0$, onde ΔS é a diferença entre a salinidade líquida no fundo e a salinidade líquida na superfície, dividida pela salinidade média da coluna d'água $\langle S \rangle$. Como indicador da circulação, calculou-se o parâmetro de circulação U_s/U_f com U_s correspondendo à velocidade líquida na superfície, e U_f , correspondendo à velocidade de descarga de água doce.

Para diversos estudiosos da Oceanografia Física dos sistemas estuarinos, tais como: Dyer (1997), Dyer (1973, 1986 apud MIRANDA et al., 2002), Officer (1976 apud MIRANDA et. al op. cit.), Pritchard (1989), Miranda et al. (2002), dentre outros, consideram esse método como o mais utilizado para a classificação dos estuários, sendo definida em quatro categorias básicas.

Tipo 1: tipo 1 a, Fracamente estratificado (coincide com o estuário bem misturado lateralmente homogêneo) e tipo 1 b, onde a estratificação de salinidade é moderada, mas próximo ao fundo não se observa fluxo resultante estuário acima;

Tipos 2a e 2b: Representa estuários parcialmente misturados;

Tipos 3a e 3b: São os estuários do tipo Fiordes;

Tipo 4: Típico de regimes altamente estratificado, como os estuários de cunha salina.

De forma generalizada o estuário é um sistema lagunar bem misturado sendo classificado do tipo 1

2.2 ESTUÁRIO DO RIO PARÁ

Alguns trabalhos foram realizados e publicados tendo como foco a hidrodinâmica e hidrologia do estuário do Rio Pará. Entre eles cabe destacar os estudos de Gregório e Mendes (2009); Krelling, Rosário e Menezes (2008); Rosário, Krelling e Menezes (2008) e; Bezerra, Akel, Araújo, Krelling, Redondo (2009), para mais detalhes consultar as referencias.

3 METODOLOGIA

3.1 EXPERIMENTOS DE CAMPO

A Ilha de Colares é limitada pelas coordenadas geográficas representada pelas paralelas 00°09'S e 01°01'S e pe los meridianos 48°09'W e 48°19'W Gr (TUMA, 1997) e o ponto de fundeio localiza-se na paralela 00°55'30,9''S e meridiano 48°17'58,62''W (figura 8).

O trabalho de campo foi realizado nos dias 17 e 18 de dezembro de 2009, durante a época de seca do rio Pará, com maré de sizígia de lua nova. Os trabalhos tiveram inicio as 15:00 horas do dia 17 e foram finalizados a 15:00 horas do dia 18, perfazendo um total de 24 horas de acompanhamentos dos processos físicos relacionados com a maré tais como, as fases de preamar, baixa-mar, enchente e vazante.

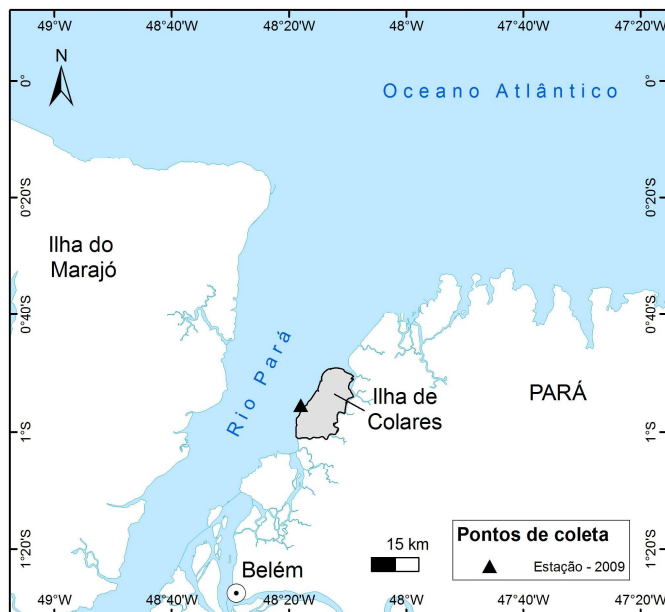


Figura 8: Ilha de Colares e ponto de coleta.

Fonte: Shape fornecido no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2007.

O trabalho em campo foi realizado com o auxílio de um catamarã, o Scalibur (figura 9) da empresa Celte Navegação LTDA, uma sonda Conductivity-Temperature-and-Depth (CTD), um Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), um anemômetro digital e um Global Positioning System (GPS).



Figura 9: Embarcação utilizada para a realização do trabalho, o catamarã Scalibur.

O Conductivity-Temperature-and-Depth (CTD) utilizado foi um SeaBird 37SM (figura 10A e 10B), este foi útil para aquisição de dados de condutividade e profundidade. O equipamento, acoplado a uma gaiola, foi lançado de hora em hora com um total de 24 lançamentos, para que fosse observado as variações

ao longo de um ciclo de maré. O CTD foi programado para fazer medições a cada 5 segundos, sendo os dados salvos em computador após cada lançamento. Os dados utilizados foram os de descida (da gaiola na coluna d'água), esta realizada lentamente, para obtenção do perfil contínuo ao longo da coluna d'água.

O Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) utilizado para obtenção de dados de corrente (velocidade e direção) da água foi do modelo RDI Rio Grande de 600 e permaneceu fixo na lateral da embarcação e à aproximadamente 0,7 m de profundidade (figura 10C), com sua bússola configurada para o Norte Magnético. Os arquivos foram salvos a cada hora durante o período de trabalho, visando sempre à simultaneidade com o lançamento do CTD e a medição dos dados de vento. Para estes, foi utilizado um anemômetro digital Prova AVM-07 com turbina com RS-232 (figura 10D); os dados foram coletados a cada hora e anotados em planilhas. Foi realizada uma medição para cada hora, sempre no topo da embarcação (aproximadamente 6m de altura em relação à lâmina d'água).

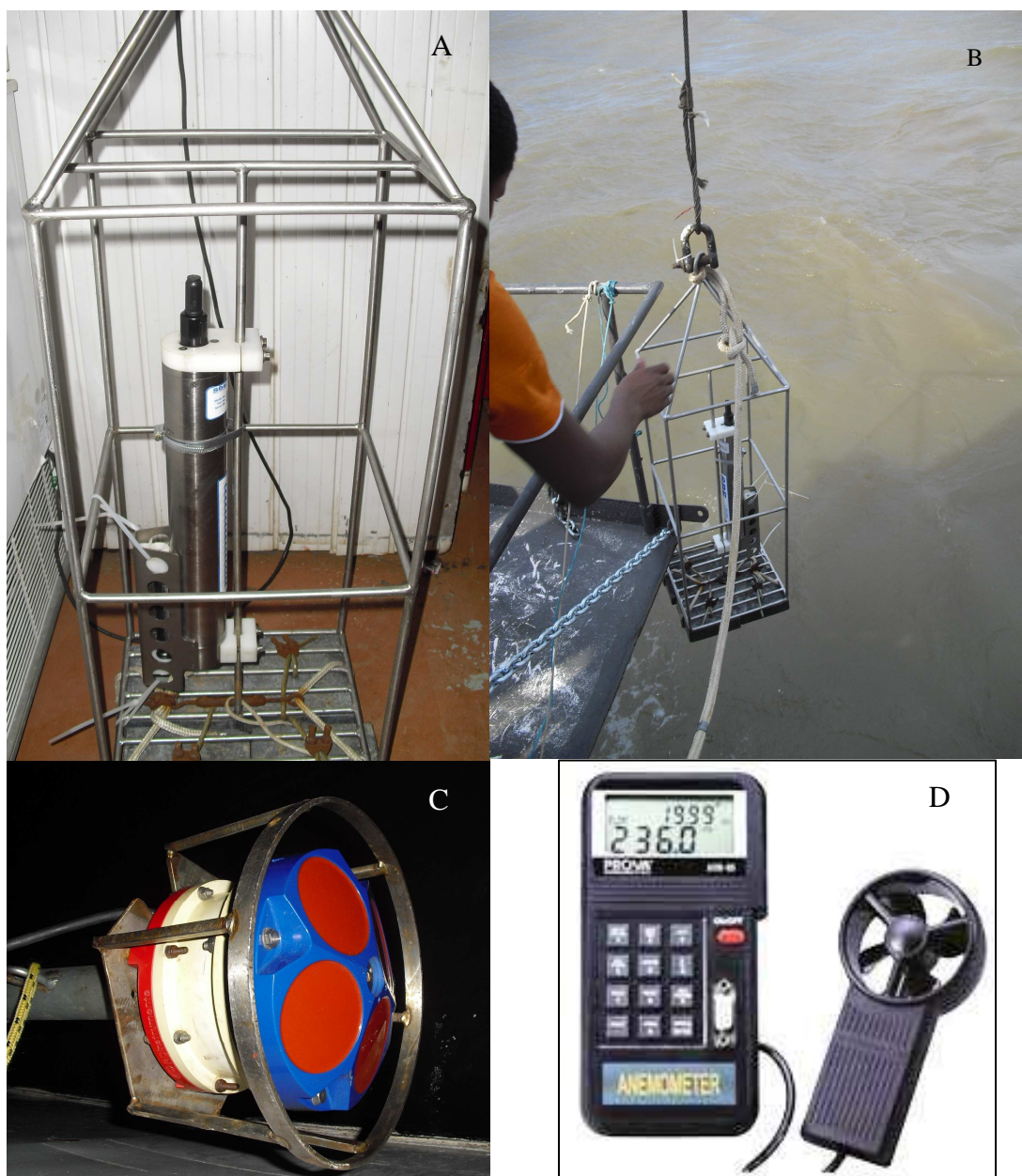


Figura 10: Equipamentos usados em campo. (A) Gaiola com CTD SeaBird 37SM; (B) Gaiola com CTD SeaBird 37 SM sendo baixado na coluna d'água; (C) ADCP RDI Rio Grande antes de ser baixado na coluna d'água e; (D) Anemômetro digital Prova AVM-

E o GPS (figura 11), da marca Garmin e modelo 76CSx, foi utilizado para a marcação da estação de coleta. O equipamento foi acoplado a um notebook, utilizando o programa Trackmaker e realizando navegação com carta eletrônica tipo Raster, adquiridas no site da DHN.



Figura 11: GPS Garmin, 76CSx.

3.2. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados brutos de CTD, salvos em arquivos ainda no campo, foram convertidos do tipo asc para o tipo cnv em laboratório pelo programa do próprio equipamento denominado SBE Data Processing – WIN32. A partir deste método de conversão pôde-se obter posteriormente os dados de salinidade a partir dos dados de condutividade medidos em campo pelo equipamento. Após esse procedimento, fez-se gráficos de salinidade e de temperatura ao longo da coluna d'água.

Além destes, fez-se também gráficos de velocidade e direção da corrente utilizando os dados adquiridos com o ADCP.

Os dados de ambos os equipamentos foram plotados em planilhas do Microsoft Excel, assim como os dados de vento coletados em campo, e os gráficos foram confeccionados utilizando o programa Grapher 5 e o próprio Microsoft Excel.

Os mapas da área de estudo e ponto de fundeio foram confeccionados utilizando o programa ArcGis 9.3. e “shapes” fornecidos pelo IBGE.

Para complementar a análise meteorológica foram utilizados dados online do INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) de precipitação, chuva acumulada e insolação.

Dados online também foram utilizados para o estudo do comportamento da maré em Colares. Tábuas de maré para a região da Ilha de Mosqueiro foram adquiridas no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para os meses de abril de 2008 e abril de 2009. A Ilha de Mosqueiro foi escolhida por ser o local com previsão de tábua de maré na DHN mais próxima da área de estudo. Fez-se a comparação de hora e amplitude de maré entre os

dados da tábua de maré de Mosqueiro de abril de 2008 e dados observados em campo, **ainda sem validação da Seção de Marés do CHM**, no mesmo período, na região de Colares, fornecidos pelo Sistema de Sinalização do Norte – setor 4 (SSN-4), Marinha do Brasil. A média das diferenças entre as amplitudes e os horários que as ondas de maré chegaram em Colares e em Mosqueiro foram utilizadas para estimar o comportamento da maré em Colares para dezembro de 2009 a partir da tábua de maré de Mosqueiro no mesmo período.

A classificação quantitativa será feita com o diagrama Estratificação-circulação de Hansen e Rattray (1966), abordado no item 2.1.2.2 Classificação do estuário usando o diagrama de estratificação-circulação de Hansen e Rattray (1966), que foi adotada neste estudo.

Para utilização do diagrama de circulação x estratificação elaborado por Hansen e Rattray (1966) é necessário determinar as grandezas adimensionais referentes aos parâmetros de estratificação e circulação. O primeiro foi definido pela seguinte razão: $\Delta S / S_m$

Onde ΔS representa a diferença entre a salinidade de fundo e de superfície e S_m salinidade média da coluna d'água. O parâmetro de circulação é determinado pela seguinte razão: U_s / U_f

Onde U_s representa a velocidade da corrente na superfície e U_f é o valor médio da componente de velocidade gerada pela velocidade de superfície, dividida pela velocidade média da coluna de água, obtida pela média da velocidade de superfície com a de fundo. Não foi feita uma média da velocidade na coluna de água porque os valores de velocidade variam bastante, dando picos que não tornariam a média confiável.

O procedimento proposto por Miranda, et al. (2002) para a estratificação da velocidade de Hansen e Rattray é que U_f seja o valor médio da componente de velocidade gerada pela descarga fluvial, ou a velocidade média na coluna de água.

Neste trabalho, como explicado acima, foi utilizado a velocidade de superfície, dividida pela média obtida da velocidade de superfície com a de fundo. O que não invalida os resultados encontrados.

4. RESULTADOS

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA

De acordo com os dados gráficos do INMET, o clima na região da área de estudo em dezembro de 2009 apresentou-se mais seco que no ano anterior (figuras 12 e 13), com zero de chuva acumulada mensal na estação de Soure, localizada na margem do rio Pará oposta à área de estudo.

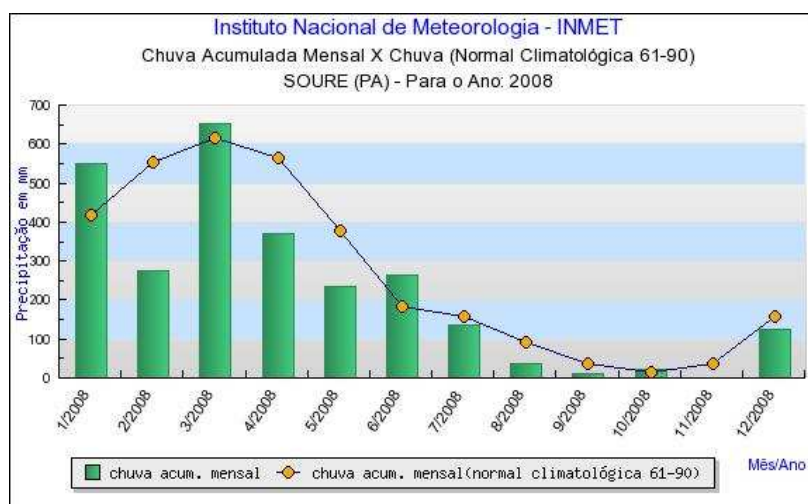


Figura 12: Chuva acumulada em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a climatologia para a região da área de estudo em 2008. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

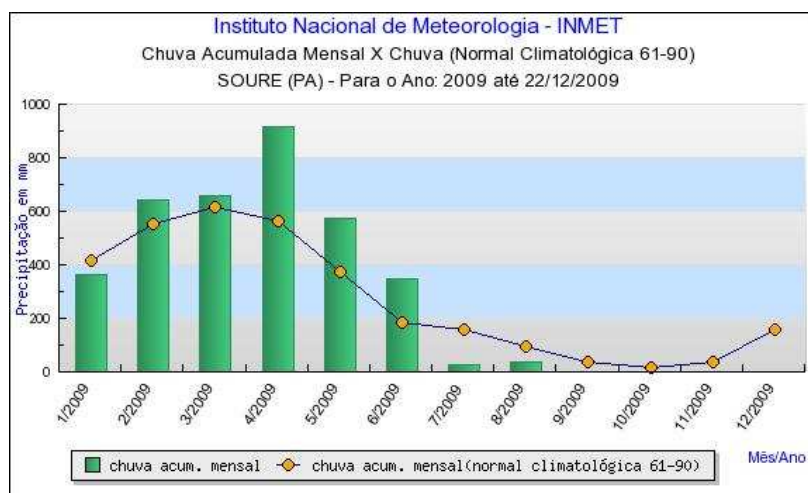


Figura 13: Chuva acumulada em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a climatologia para a região da área de estudo em 2009. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

Observa-se também grande quantidade de horas diárias com insolação nos dias de coleta (figura 14), sendo o dia 17 de dezembro um dos que apresenta maior quantidade de horas com incidência de raios solares.



Figura 14: Insolação total diária em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a insolação total diária para a região da área de estudo em 2009. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

A chuva acumulada, representada (na figura 15), nos dias de coleta também teve índices iguais a zero, fato comprovado em campo.

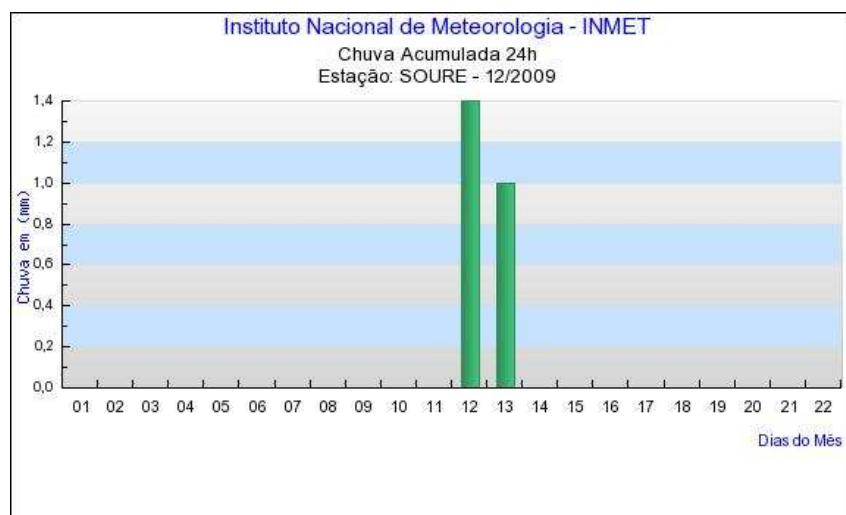


Figura 15: Gráfico em 24h na região de Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a Chuva acumulada 24h para a região da área de estudo em 2009. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia

A previsão de chuva para região norte é de normal a abaixo da normal climatológica entre o nordeste do Amazonas e o centro-norte do Pará. Enquanto a temperatura deverá apresentar-se acima da normal climatológica (figura 16) (BOLETIM DE INFORMAÇÕES CLIMÁTICAS DO CPTEC/INPE - INFOCLIMA, 2009).

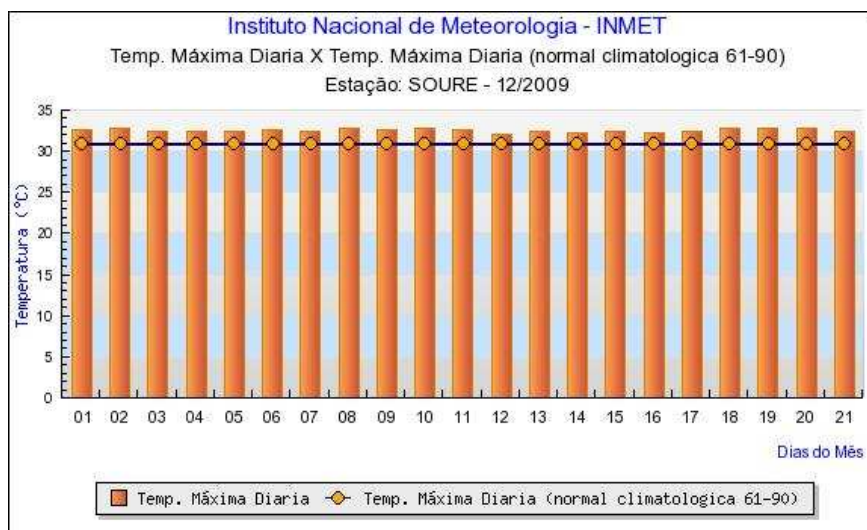


Figura 16: Temperatura máxima diária comparada com a normal climatológica em Soure, margem esquerda do Rio Pará, representando a Temperatura máxima diária para a região da área de estudo em 2009.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

4.2. PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA

4.2.1. Correntes

Com os dados de ADCP verificou-se que a direção da corrente variou bastante durante a amostragem, indicando quando esta estava vazando e enchendo, exemplificado na figura 17.

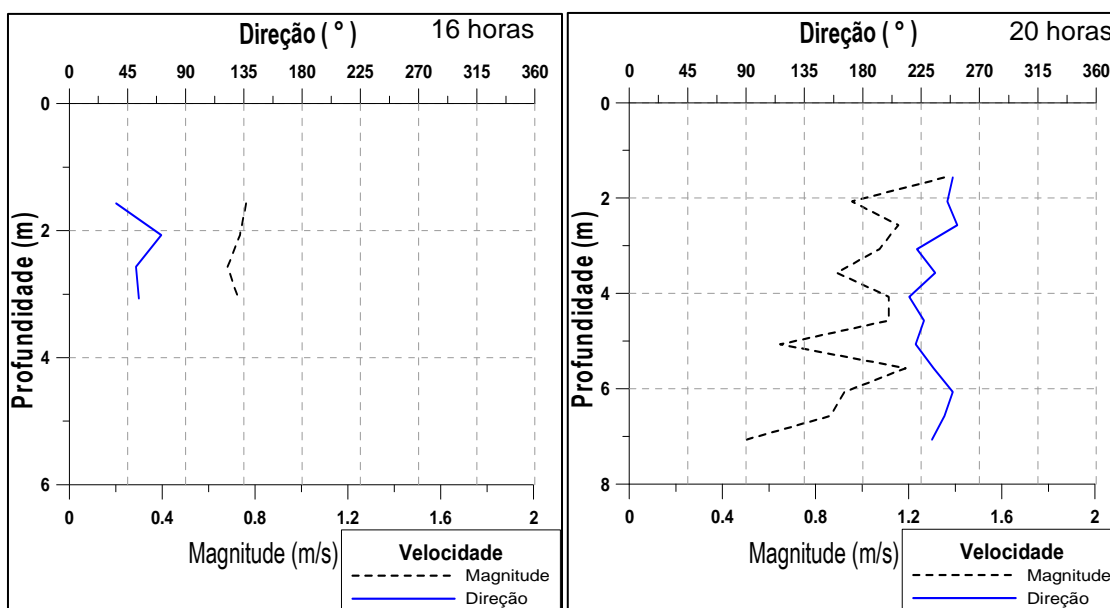


Figura 17: Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré vazante às 16 horas do dia 17/12/09 e maré de enchente às 20 horas do dia 17/12/09.

Parte dos perfis de mudança de direção da maré apresentou a corrente muito diversificava ao longo da coluna d'água e, geralmente, foram acompanhadas de baixas velocidades (figura 18).

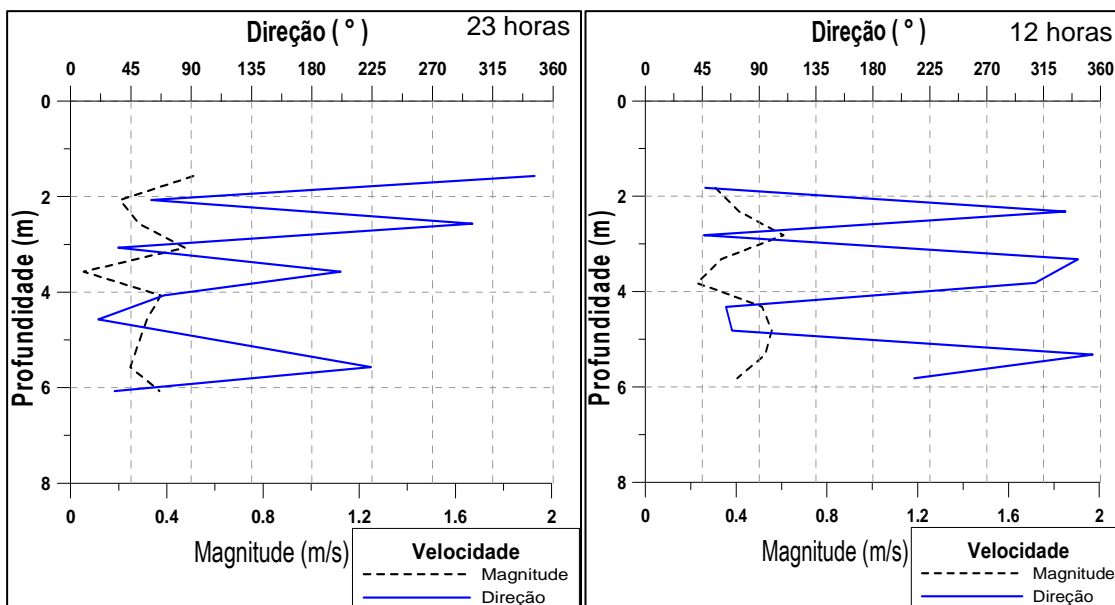


Figura 18: Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré enchente às 23 horas do dia 17/12/09 e às 12 horas do dia 18/12/09.

Entretanto, isto só foi verificado para as mudanças de enchente para vazante, pois nas mudanças de vazante para enchente, a direção da corrente muda sem muitas variações ao longo da coluna d'água de um perfil para o perfil seguinte (figura 19).

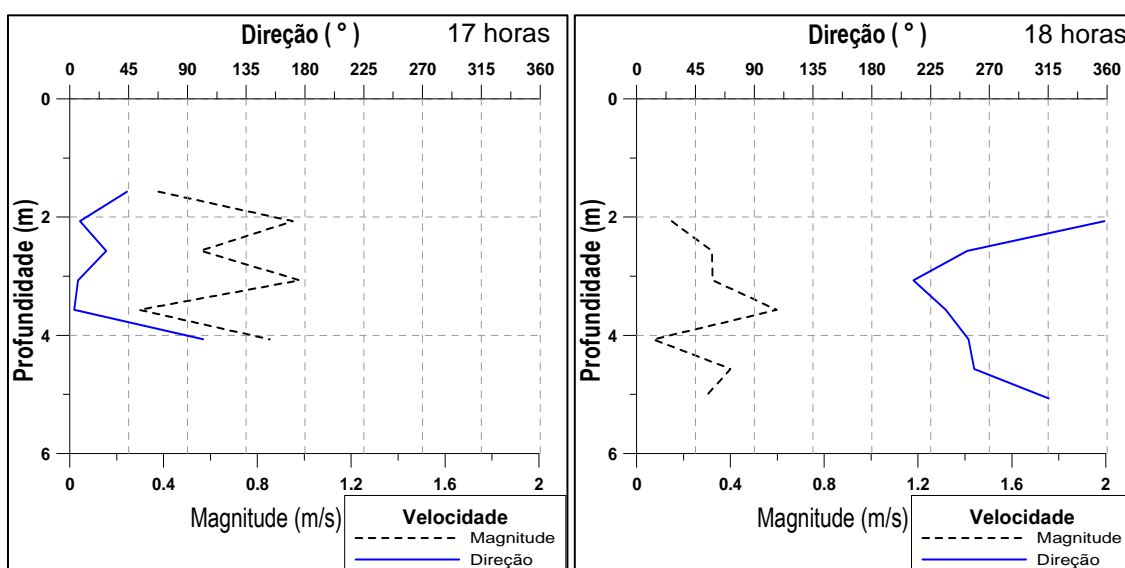
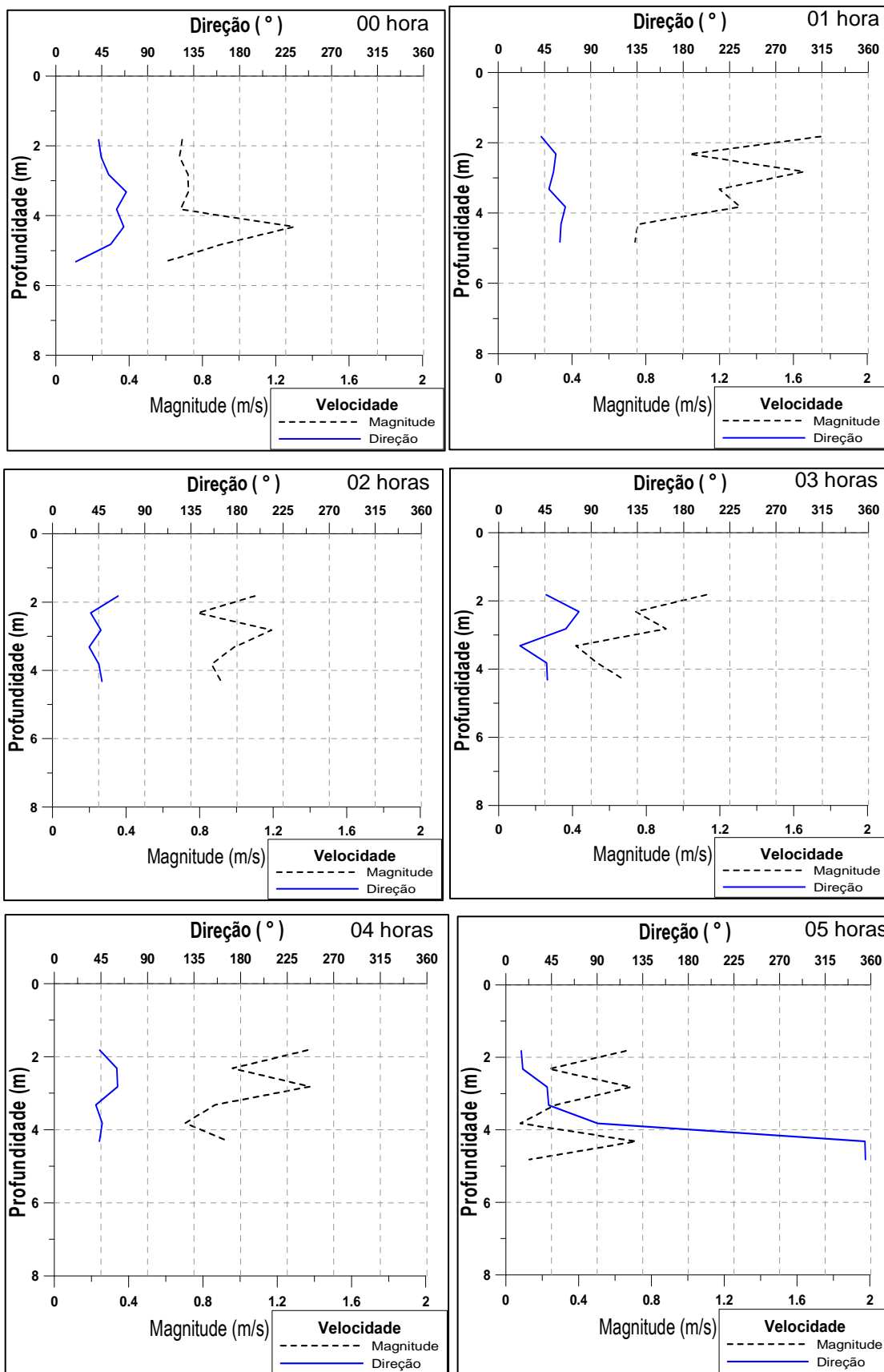


Figura 19: Magnitude e direção da velocidade de corrente de vazante em 17/12/09 de 17 horas 18 horas.

De acordo com os dados do ADCP, o período de duração das fases de vazante (figura 20) e enchente (figura 21 e 18 – às 12 horas) são sete e seis horas respectivamente.



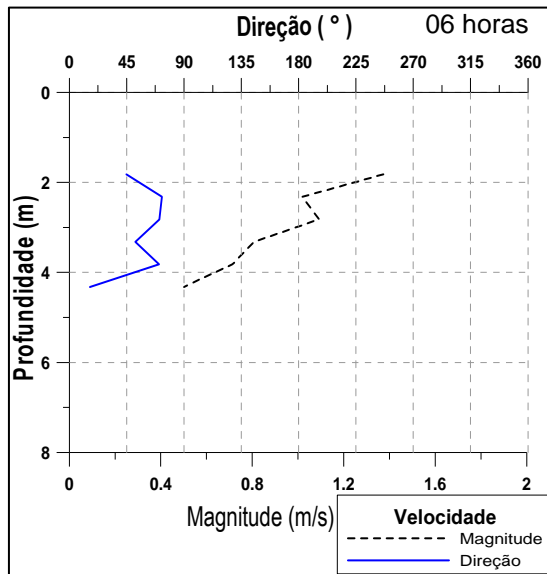
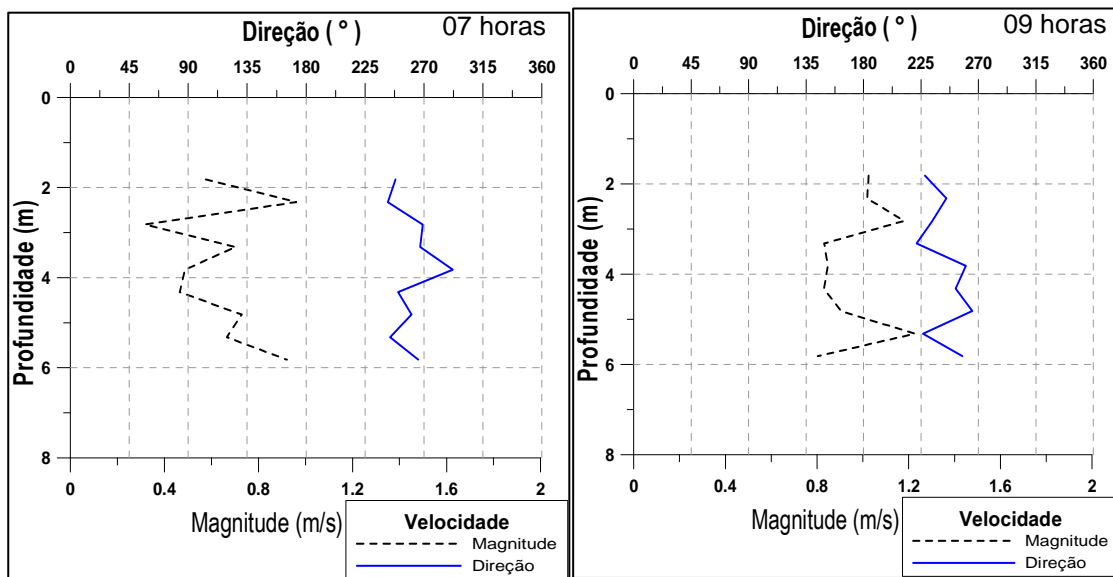


Figura 20: Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de vazante em 18/12/09 de 00 horas às 06 horas.



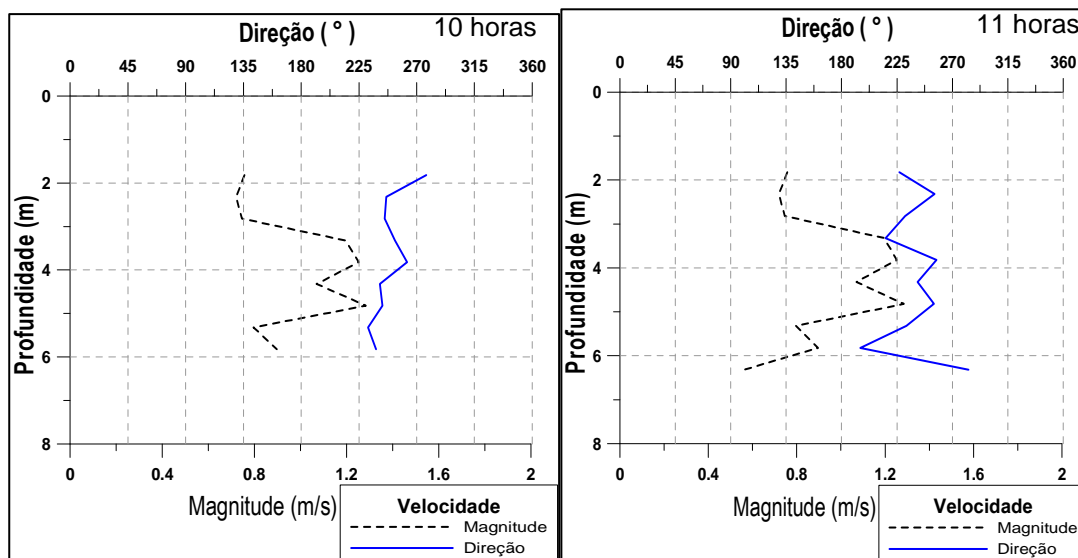


Figura 21: Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de enchente em 18/12/09 de 07 horas às 11 horas.

A maioria dos perfis da velocidade da corrente demonstraram uma queda ao longo da coluna d'água. Tal fato ocorreu em horas diversas durante a amostragem. Entretanto, houve quatro perfis que mostraram comportamento inverso, às 17 horas de 17/12; 07 horas, 10 horas e 15 horas de 18/12 (figuras 19, 21 e 22). Os perfis das 17 horas (17/12) e 07 horas (18/12) foram onde se apresentaram maiores variações, podendo ser justificado pela mudança de fase da maré.

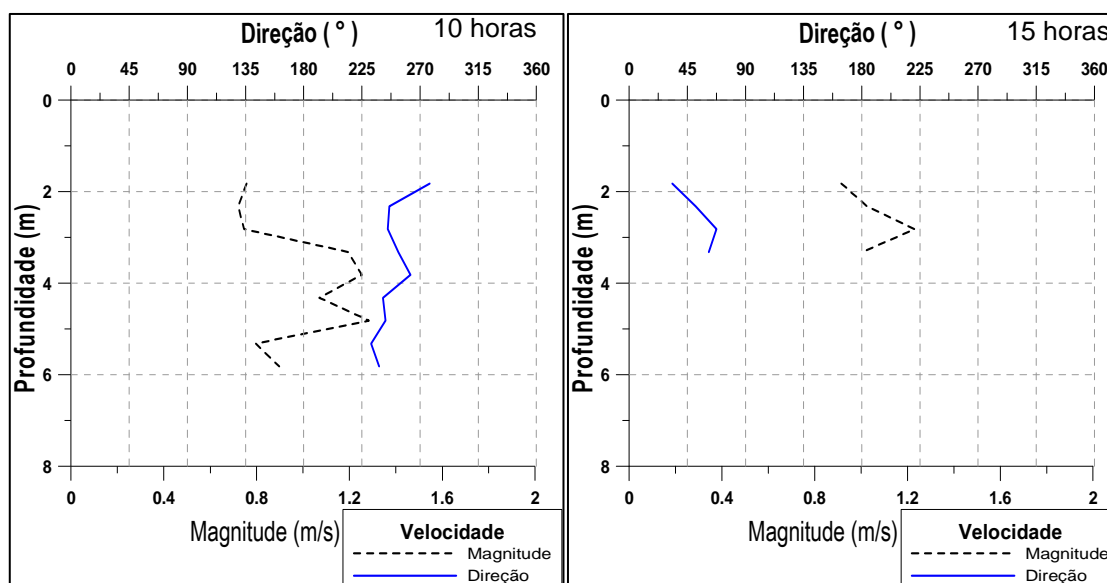


Figura 22: Magnitude e direção da velocidade de corrente de maré de enchente às 10 horas de 18/12/09 e de vazante às 15 horas de 18/12/09.

A velocidade da corrente variou bastante ao longo do período de amostragem (figura 23), e mostrou-se de grande magnitude, tanto em período de vazante como em de enchente, atingindo uma média na superfície máxima de 1,16m/s. Além de apresentar quatro “picos negativos” que se referem ao estófo de maré, momento em que a velocidade é mínima e a corrente muda de direção, duas de enchente e duas de vazante.

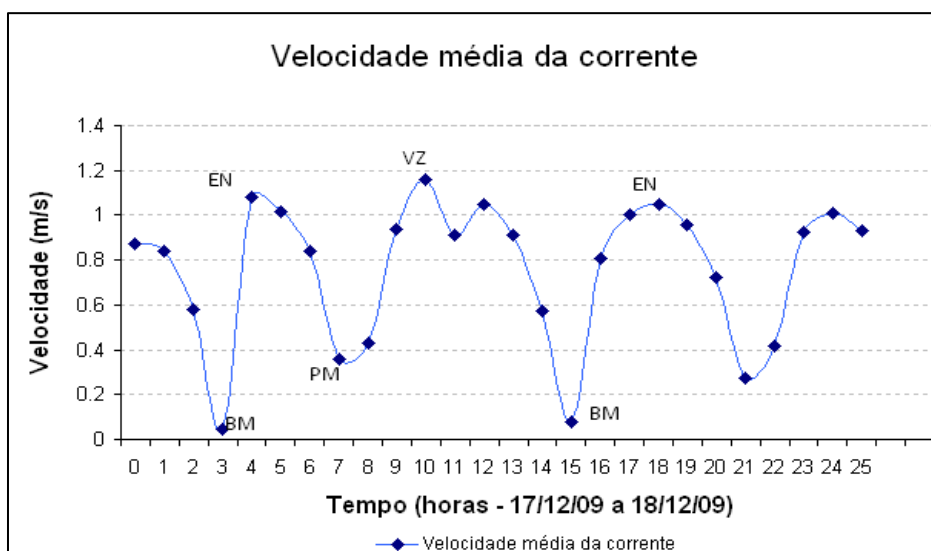


Figura 23: Velocidade média da corrente na coluna d'água ao longo das 24 horas de amostragem de 17 e 18 de dez 2009.

Como já foi abordado, a velocidade da corrente da superfície foi, de forma geral, mais intensa que no fundo. A freqüência das correntes de superfícies (figura 24) apresentou mais uniformidade que as correntes de fundo (figura 25), com mais regularidade na direção.

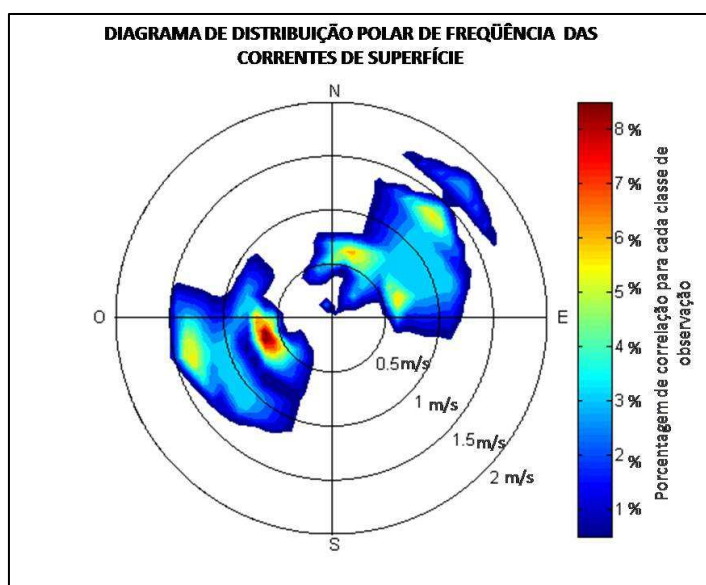


Figura 24: Diagrama de distribuição polar das freqüências das correntes na superfície da camada d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.

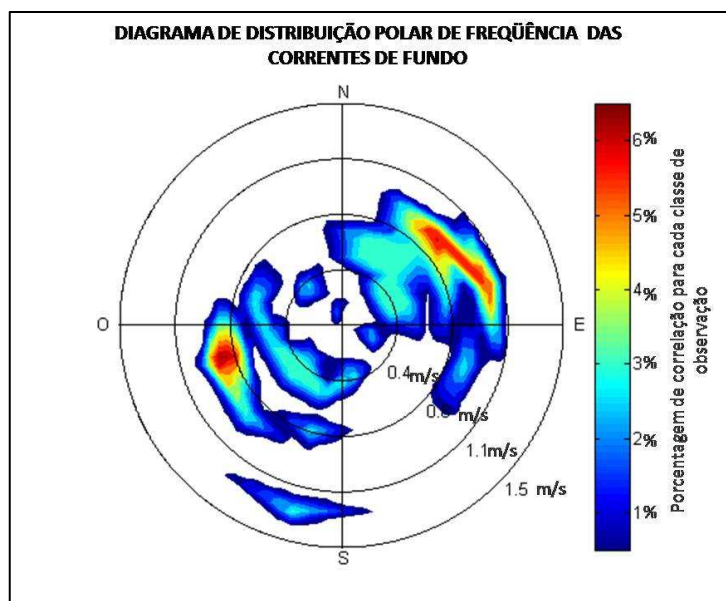


Figura 25: Diagrama de distribuição polar das frequências das correntes no fundo da camada d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.

Não houve registros de perfis às 19 horas de 17 de dezembro de 2009 por problemas de ancoragem, e às 8 horas do dia 18 de dezembro de 2009 por problemas nos dados do equipamento (ADCP). Entretanto, a ausência desses perfis não prejudicou os resultados da amostragem e as conclusões a respeito da corrente ou dos outros parâmetros analisados neste estudo.

4.2.2. Regime de Ventos

Os resultados das medidas de vento durante a amostragem a aproximadamente 6 m da lâmina d'água, indicaram muitas flutuações, com horas de grandes rajadas, chegando a 13 m/s às 17:00 horas de 17/12/09, e outras de calmaria com velocidade muito próxima de 0 m/s às 4:00 e 5:00 horas de 18/12/09 (figura 26).

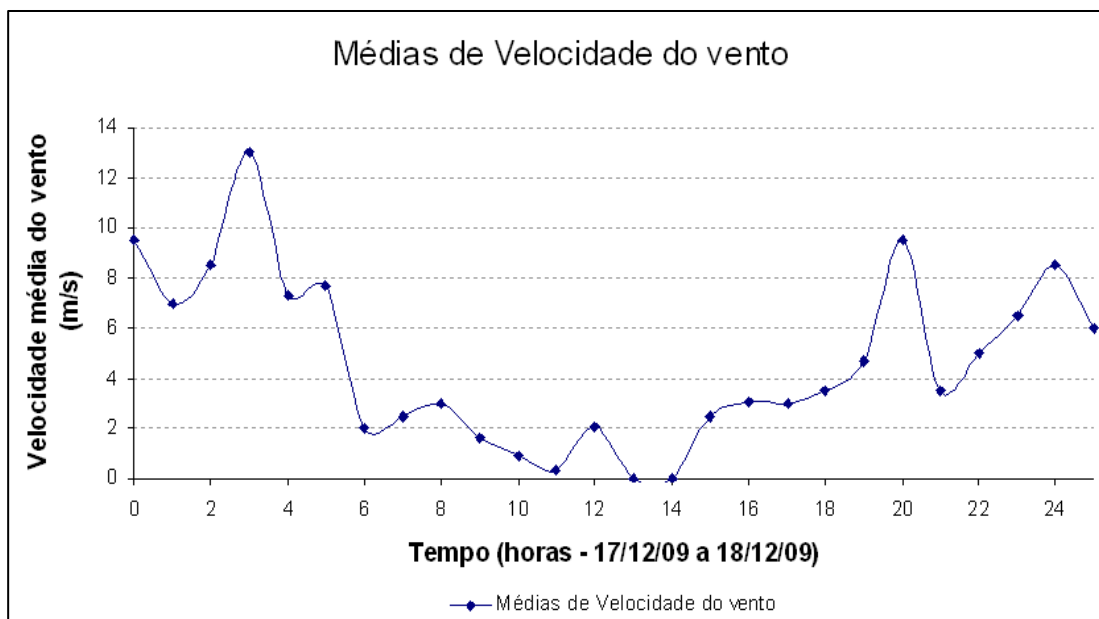


Figura 26: Velocidade média do vento a 6m da lâmina de água ao longo do período de amostragem, de 15:00 horas do dia 17/12/09 a 15:00 horas do dia 18/12/2009.

Quanto à variação da direção do vento, este teve uma tendência nordeste (NE) e leste (E) (figura 27). Entretanto, apresentou também rajadas nas direções norte (N) e sudeste (SE).



Figura 27: Gráfico com as direções médias do vento durante a amostragem, 17 e 18 de dez 2009.

4.2.3. Marés

A comparação entre os dados de maré (variações na altura da maré e horários das ondas) da tábua para a Ilha de Mosqueiro e os dados em campo na região da Ilha de Colares de abril de 2008 revelou uma diferença média de 47 minutos de antecedência dos parâmetros da onda na Ilha de Colares e 0,36 m acima das variações na altura da maré que chegaram à Ilha de Mosqueiro (figura 28).

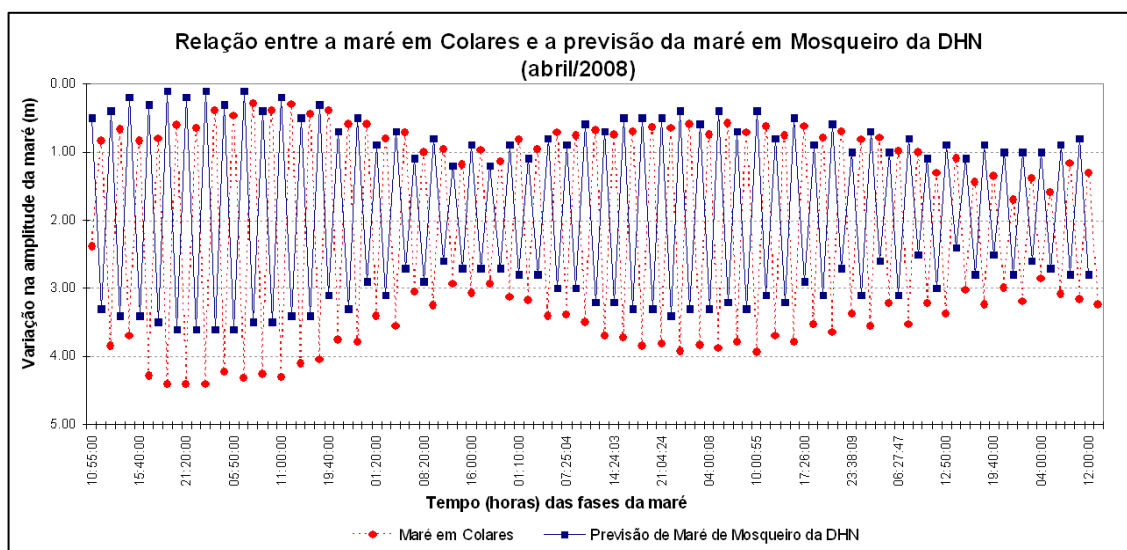


Figura 28: Maré medida na Ilha de Colares e previsão da tábua de maré da Ilha de Mosqueiro em abril de 2008.

Com base na defasagem dos dados acima e na tábua de maré da Ilha de Mosqueiro de abril deste ano (2009), estimou-se a maré na Ilha de Colares para o mesmo período, apresentando uma variação na altura da maré máxima de 3,86m e mínima de 0,56m, resultando no seguinte gráfico (figura 29).

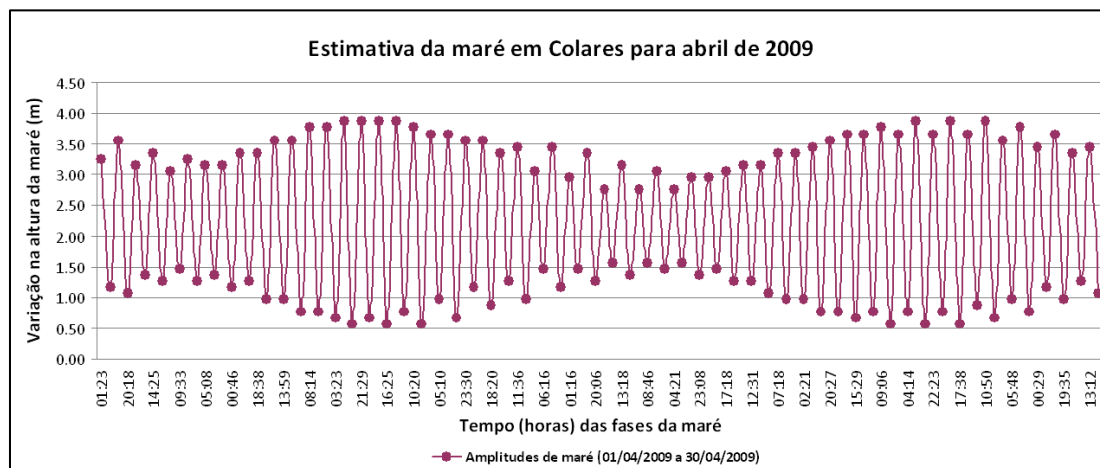


Figura 29: Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 01 de abril de 2009 a 30 de abril de 2009.

Supondo que o mesmo erro na estimativa de abril de 2009 ocorra para dezembro de 2009, fez-se a estimativa para este mês incluindo o período do presente estudo, sendo que a variação na altura da maré máxima apresentou-se em 3,86 m e a mínima em 0,46 m (figura 30 e figura 31).

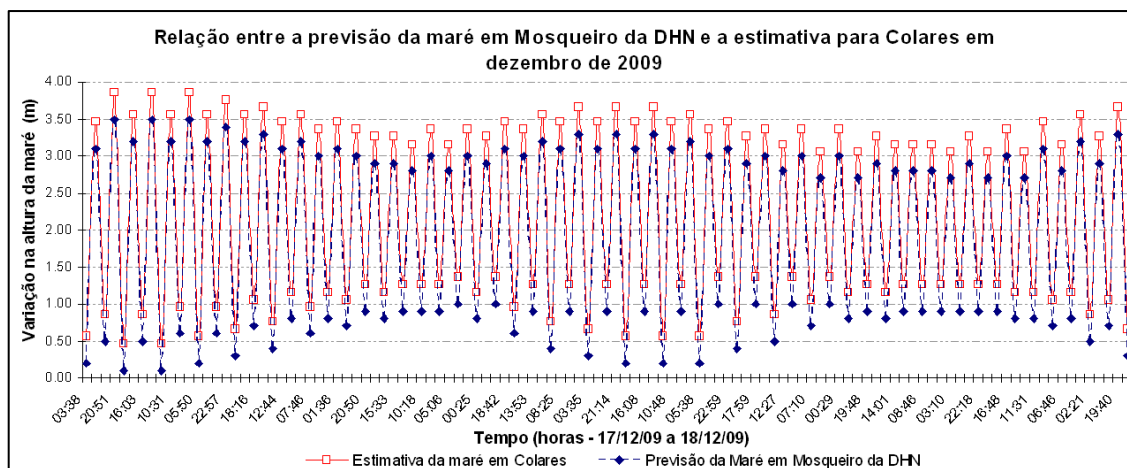


Figura 30: Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 01 de dezembro de 2009 a 31 de dezembro de 2009.

No período de estudo, de 17 a 18 de dezembro, a estimativa da maré para Colares apresentou variação na altura da maré máxima de 3,56 e mínima de 0,56 (figura 31).

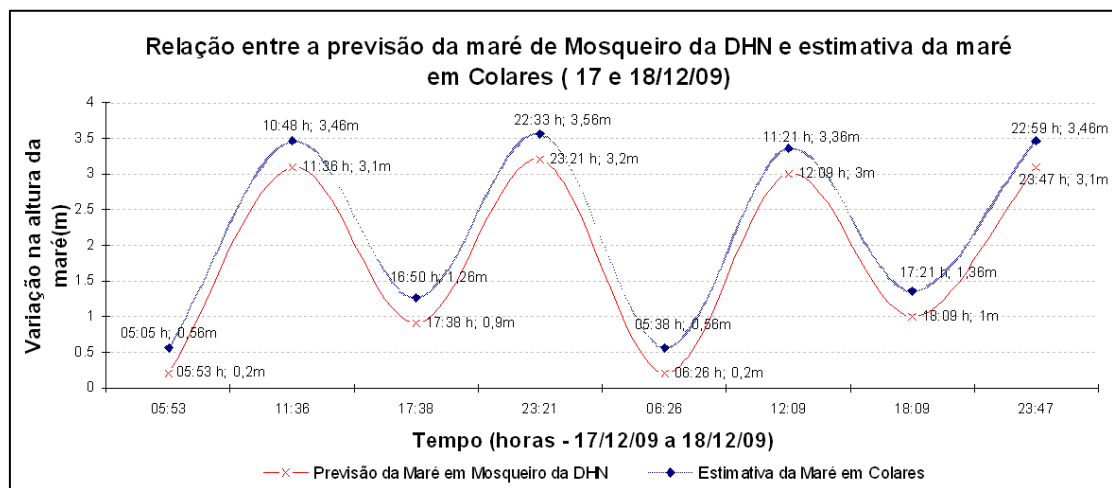
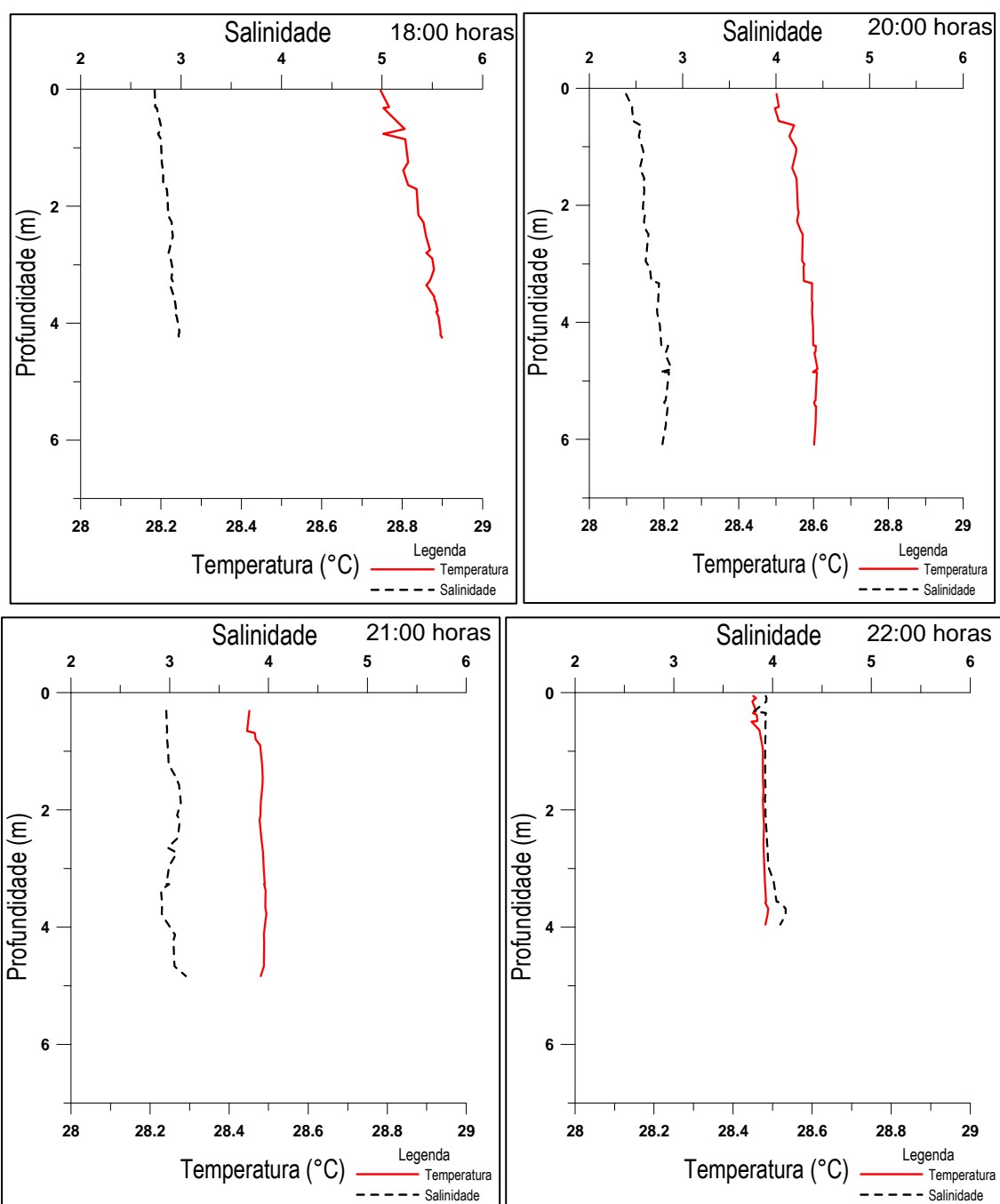


Figura 31: Estimativa da hora e variação na altura da maré para a região da área de estudo no período de 17 a 18 de dezembro de 2009.

4.3. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DO SISTEMA ESTUARINO

4.3.1. Salinidade e Temperatura

Não houve variações significativas na salinidade e temperatura ao longo da coluna d'água na maioria dos perfis durante as coletas de enchente (de 18 às 23 horas de 17/12; de 07 às 12 horas de 18/12) (figura 32 e figura 33 respectivamente).



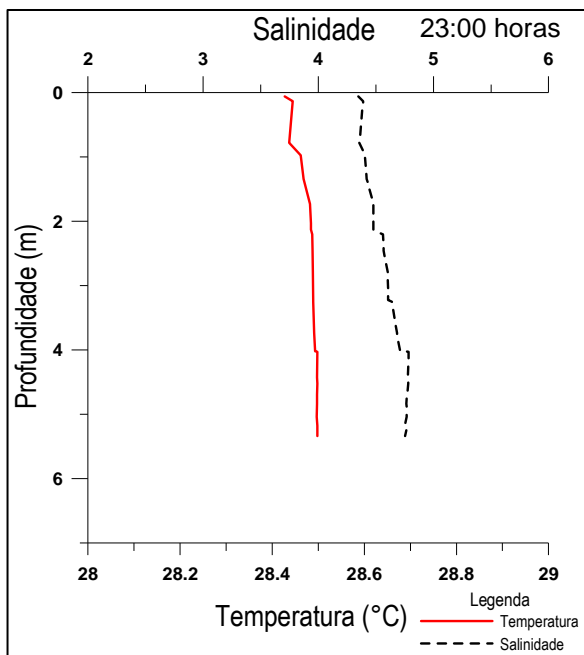
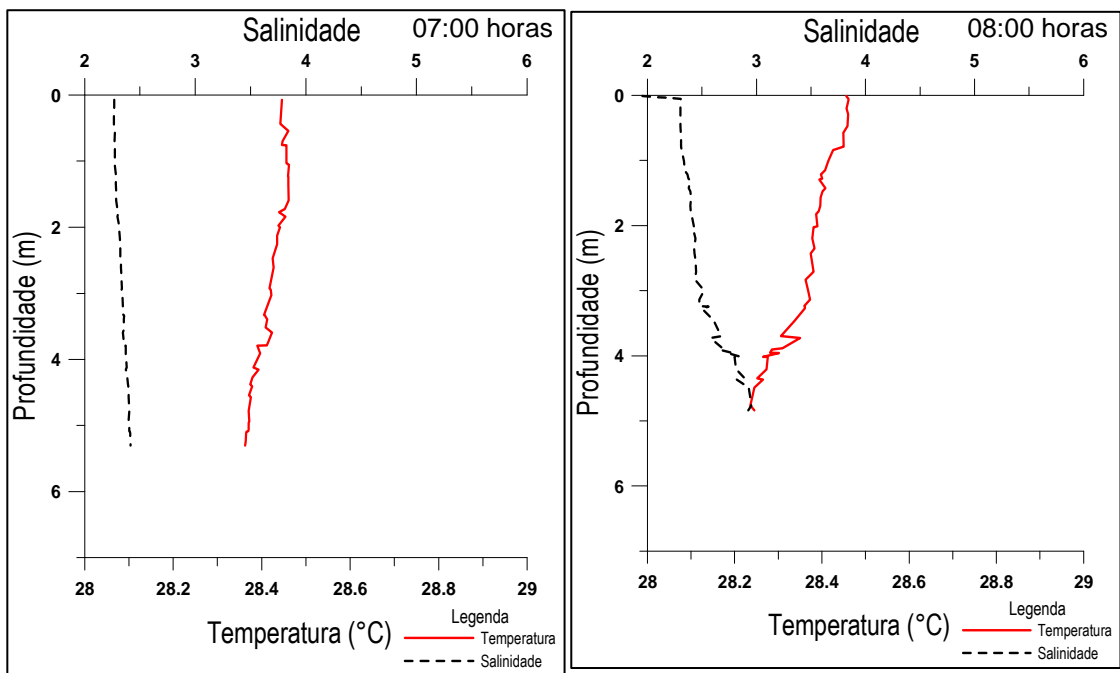


Figura 32: Salinidade e temperatura versus profundidade de enchente de 17/12/09 de 18 horas às 23 horas.



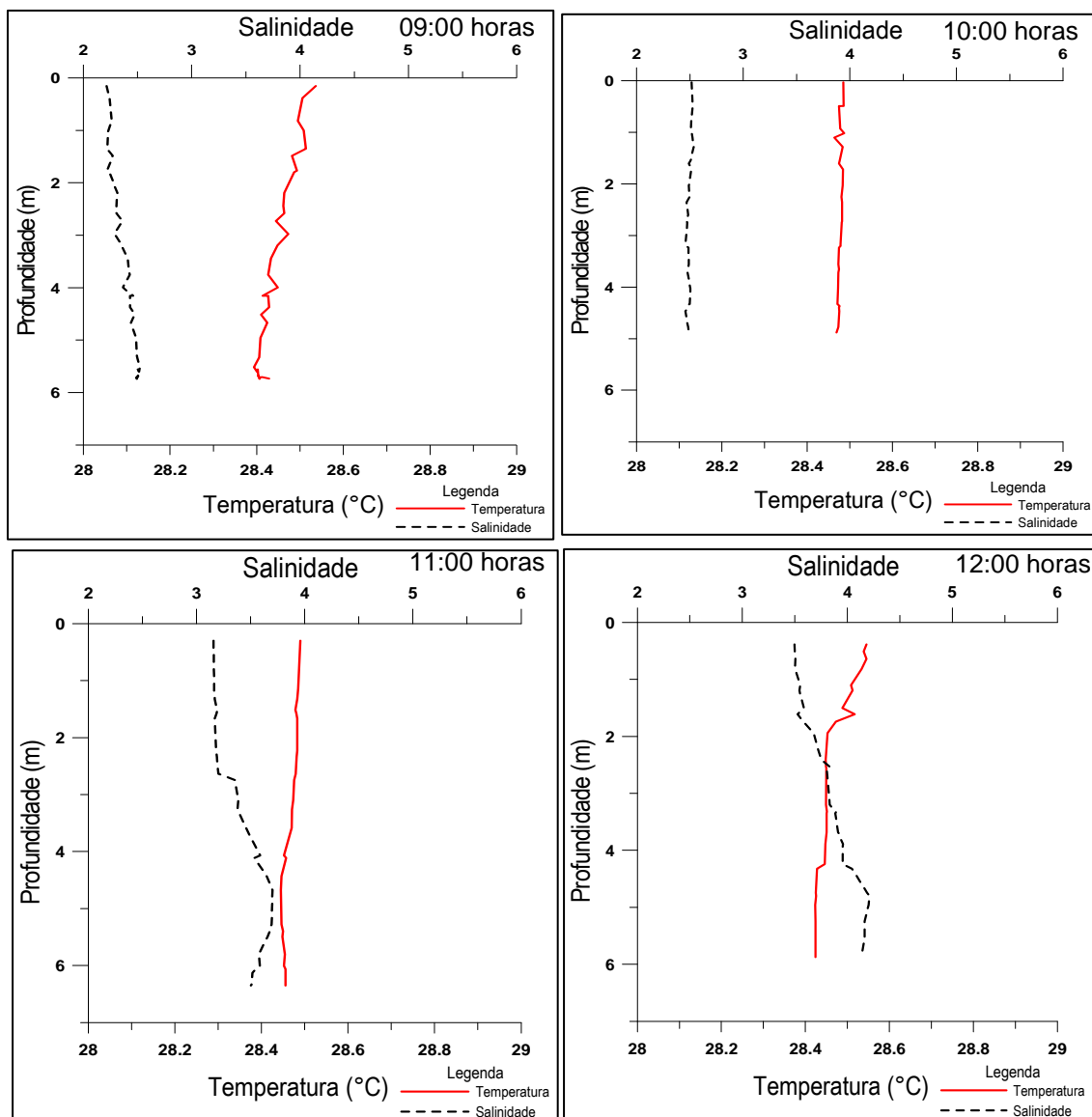


Figura 33: Salinidade e temperatura versus profundidade de enchente de 18/12/09 de 07 horas às 12 horas.

Os perfis que apresentaram alguma variação foram os das 21 horas do dia 17/12 (figura 32), das 08 horas do dia 18/12 (figura 33) e às 11 horas do dia 18/12 (figura 33). Entretanto, houve um aumento da salinidade ao longo do tempo durante a enchente, variando de 2,1 a 4,7 na enchente de 18 às 23 horas de 17/12; e de 2,4 a 4,2 na enchente de 07 às 12 horas de 18/12.

A temperatura da coluna d'água no período de vazante também não apresentou variações significativas (figuras 34, figura 35 e figura 36), com exceção dos perfis de 15 horas de 17/12, 01 hora de 18/12, 13 horas de 18/12 e 14 horas de 18/12. O oposto ocorreu nos perfis de vazante para salinidade, onde foi observada uma maior variação de salinidade, com máximas registradas de cada fase equivalente a: 2,7 a 3,7 na vazante de 15 às 17 horas

de 17/12 (figura 34); 2,6 a 5,6 na vazante de 00 às 06 horas de 18/12 (figura 35) e; de 3,3 a 4,4 na vazante de 13 às 15 horas de 18/12 (figura 36).

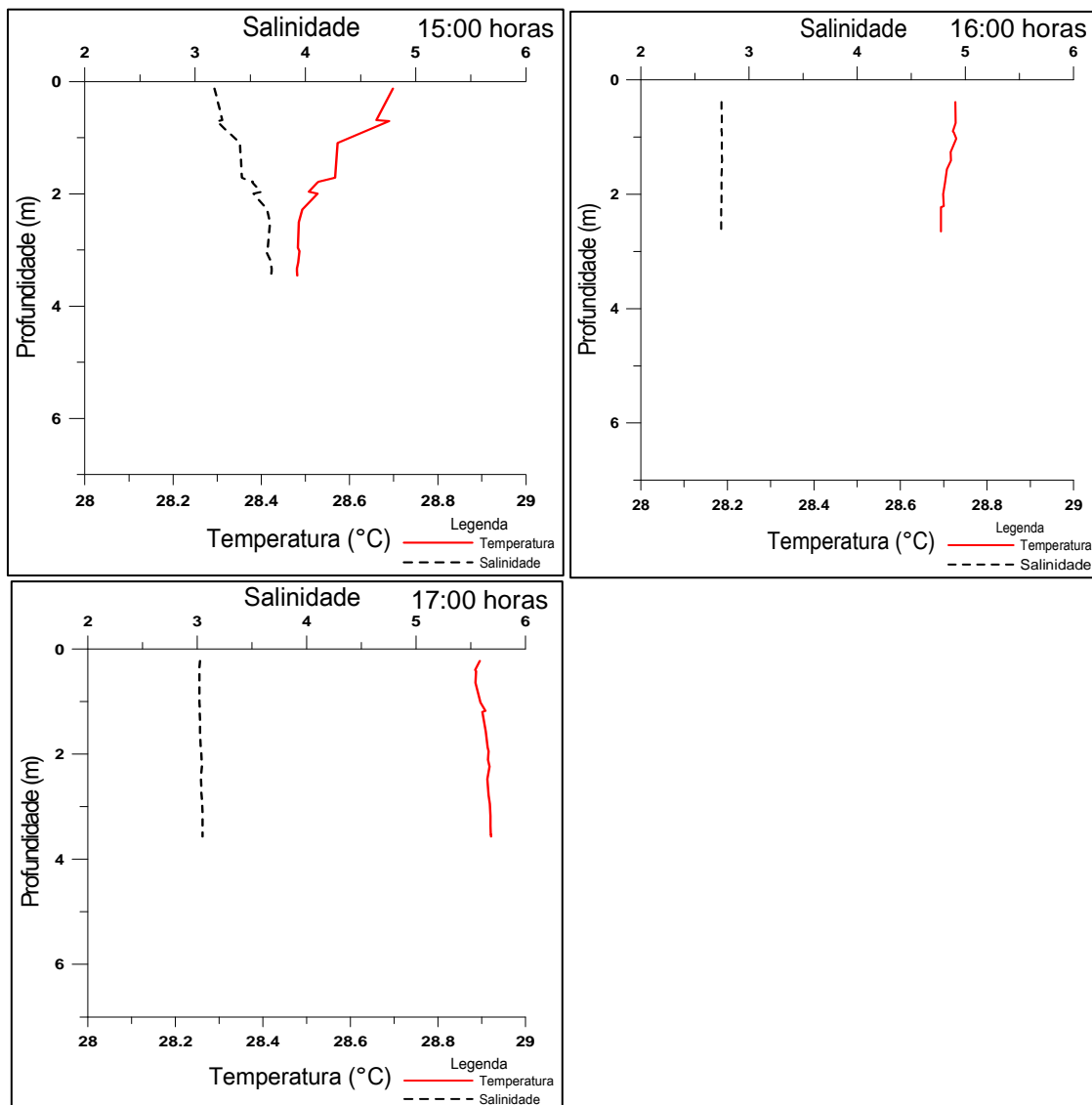
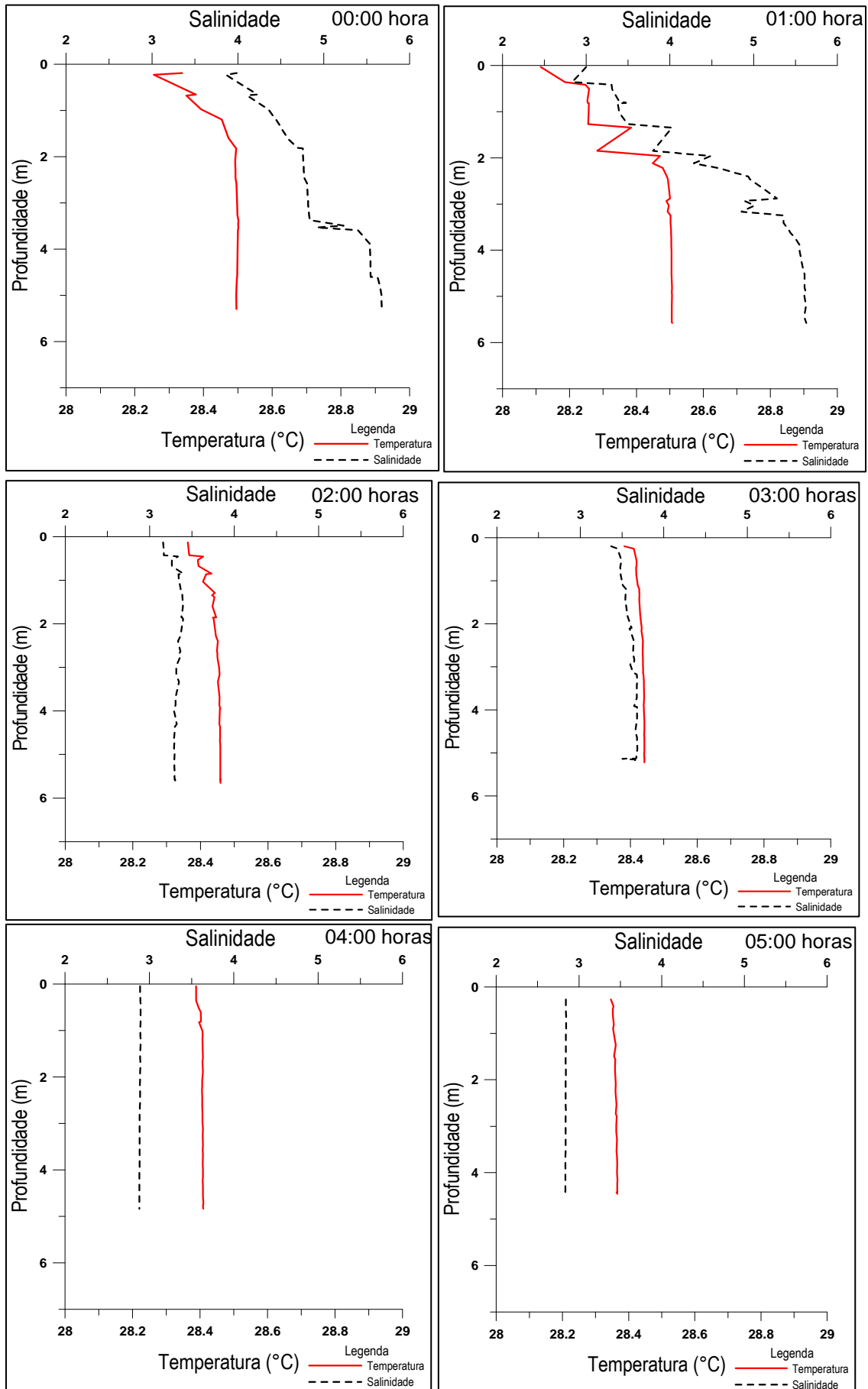


Figura 34: Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 17/12 de 15 horas às 17 horas.



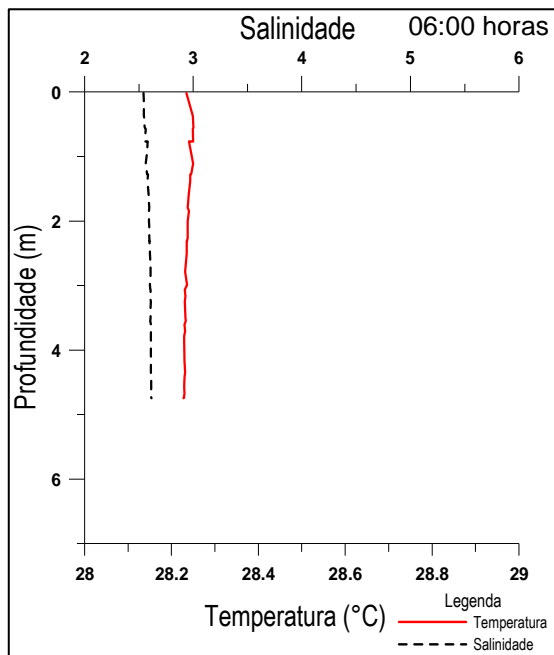
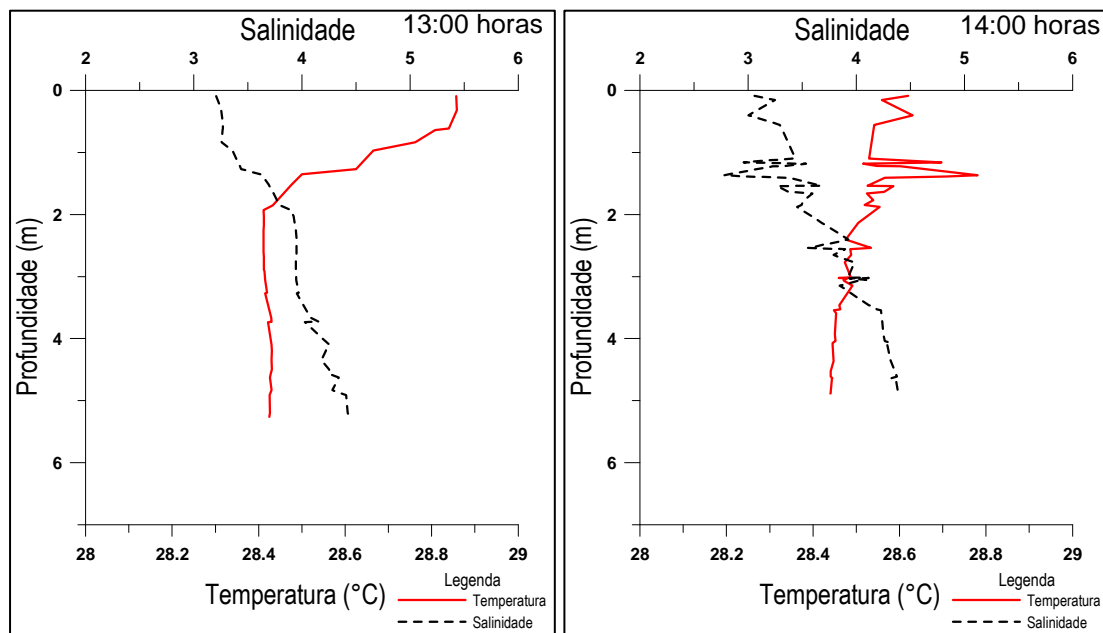


Figura 35: Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 18/12 de 00 hora às 06 horas.



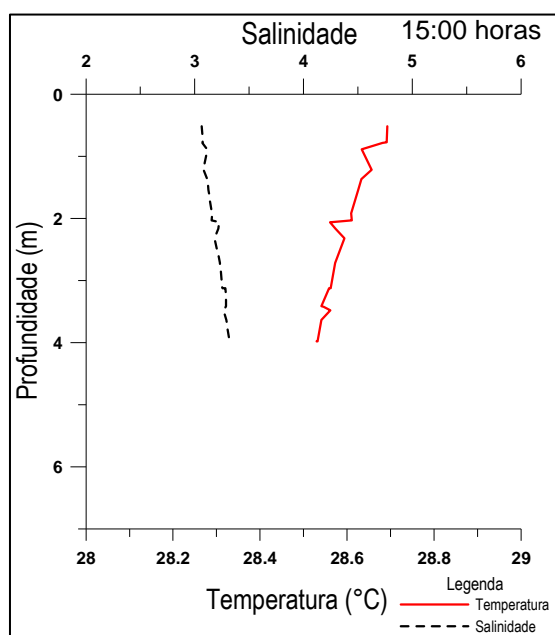


Figura 36: Salinidade e temperatura versus profundidade de maré vazante no dia 18/12 de 13 horas às 15 horas.

Observou-se uma estratificação ao longo do perfil de vazante da 00 hora de 18/12 (figura 35), 01 hora de 18/12 (figura 35) e 14 horas de 18/12 (figura 36). Sendo que a estratificação das 14 horas de 18/12 é significativamente menos acentuada que as outras duas citadas, causado provavelmente pela maior agitação das camadas de água, como mostra a tendência de mistura no gráfico da figura 36.

A salinidade na área de estudo no período de 24h teve um mínimo de 2,2 e um máximo de 5,6, como pode ser visto nos gráficos das figuras 33 (à 07 horas) e 35 (às 00 hora). Essa variação ocorreu durante um intervalo de 7 horas.

A temperatura da água na região de estudo não apresentou grandes variações ao longo do perfil vertical. Entretanto, há variações ao longo do tempo, com um máximo de 28,9°C e um mínimo de 28,1° C em um intervalo de 8 (oito) horas entre os perfis de vazante às 17:00 horas de 17 de dezembro (figura 34) e o de vazante às 01:00 hora de 18 de dezembro (figura 35), os quais apresentam esses valores.

4.4. DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS ESTUARINOS QUANTO A ESTRATIFICAÇÃO E CIRCULAÇÃO

4.4.1 Classificação Do Estuário Usando O Diagrama De Estratificação-Circulação De Hansen e Rattray (1966)

Os esforços para classificar quantitativamente os estuários tiveram contribuições de Ippen & Harleman (1961), e os trabalhos contemporâneos de Harleman & Abraham (1966) e Hansen & Rattray (1966), onde foi desenvolvido analiticamente um método de classificação que utiliza o Diagrama Estratificação-Circulação, tendo por eixos coordenados os parâmetros denominados estratificação e circulação (MIRANDA et al., 2002).

De acordo com a classificação obtida através do diagrama de estratificação-circulação de Hansen e Rattray (1966), para o período do estudo, estação seca, observou-se que o sistema estuarino assume características do tipo 1 (bem misturado) sem estratificação vertical. Observando as figuras 37 e 38, nos diferentes tipos de estágios de maré, o estuário do Rio Pará comporta-se como do tipo 1 a, Fracamente estratificado (coincide com o estuário bem misturado lateralmente homogêneo) e tipo 1 b, onde a estratificação de salinidade é moderada, mas próximo ao fundo não se observa fluxo resultante estuário acima;

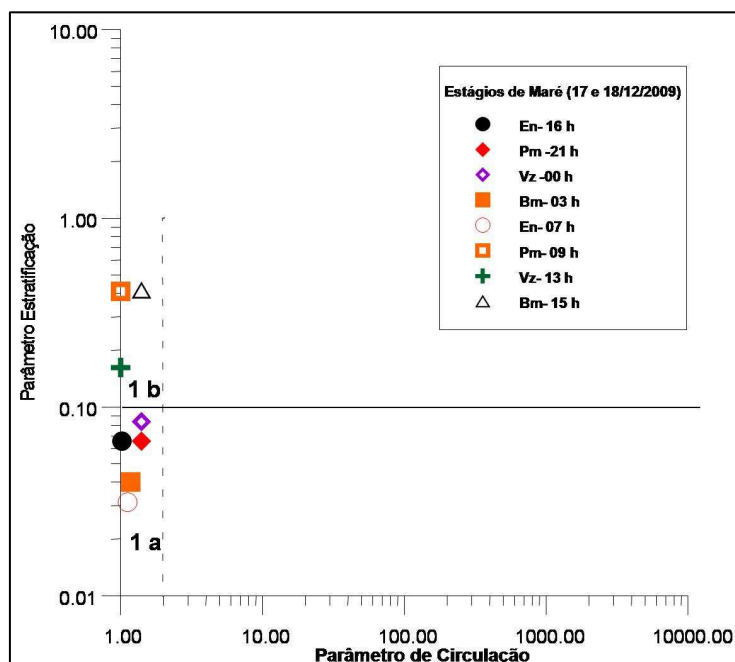


Figura 37: Diagrama de classificação de Estratificação-Circulação de Hansen e Rattray (1966).

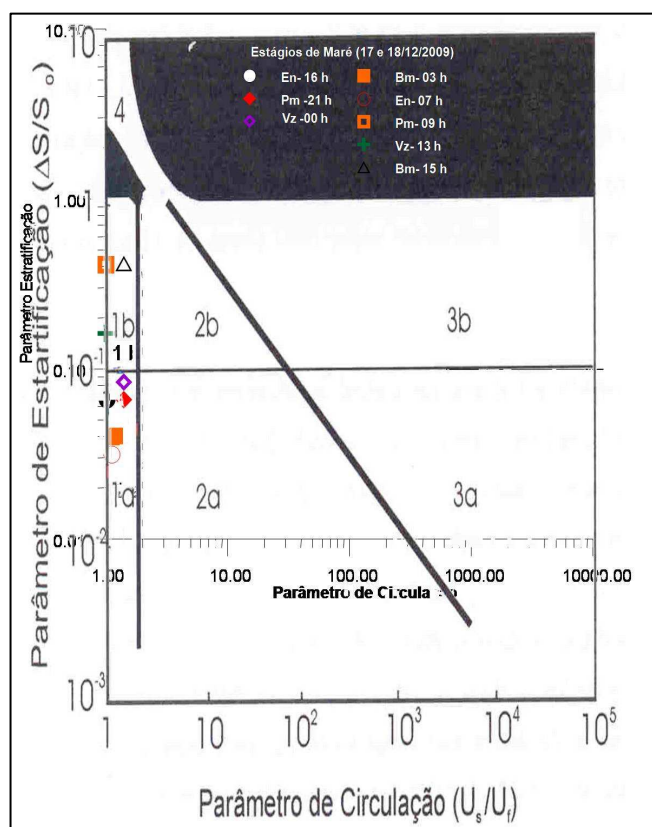


Figura 38: Diagrama de estratificação - circulação referentes a cada estágio da maré elaborado a partir da proposta de Hansen e Rattray (1966).

4.4.2 Classificação Do Estuário De Acordo Com A Estratificação Da Salinidade De Pritchard (1955)

Tal classificação foi abordada no item 2.1.2, cabendo agora, apenas a classificação do estuário em estudo.

Como pôde ser observado nos gráficos de salinidade 35 e 36 do item 4.2.1, o estuário, nas primeiras horas da vazante, apresentou uma variação significativa ao longo da coluna d'água, podendo assim, com base nessas estratificações, ser classificado como tipo B (parcialmente misturado).

De acordo com o gráfico de Hansen & Rattray ele é homogêneo, mas para conferir foi feito um diagrama T/S, e não resta dúvida é parcialmente misturado no período citado (figura 39).

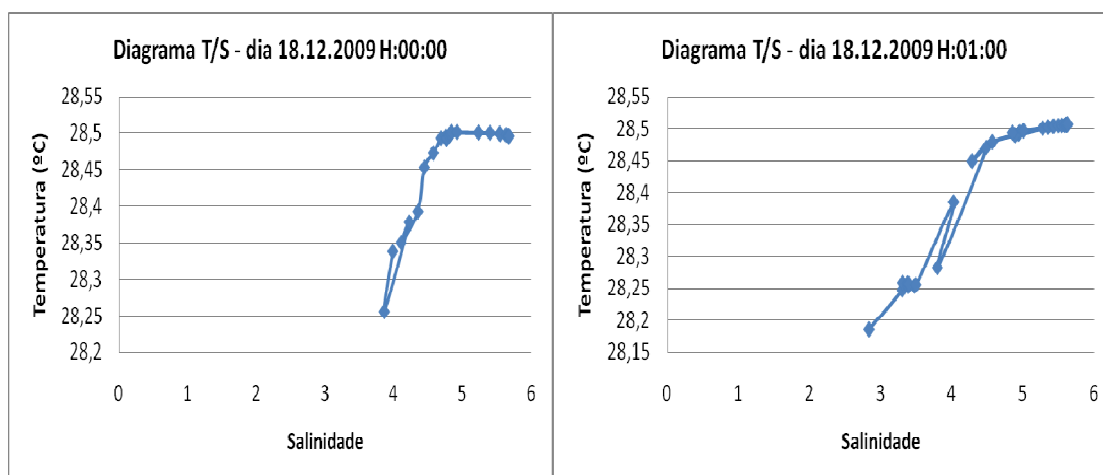


Figura 39: Diagrama T/S do dia 18.12.2009 das 00:00 e das 01:00 enchente.

Entretanto, na grande maioria dos perfis durante o período de amostragem, a salinidade se mostrou praticamente homogênea ao longo da coluna d'água, mesmo quando havia variações temporais. Portanto, na maior parte do tempo de estudo, o estuário pode ser classificado como Bem Misturado ou tipo C ou D, para definir entre esses dois tipos seria necessário um estudo da salinidade horizontalmente entre as margens do rio. Porém, como se trata de uma área no equador, acredito que o tipo C não seja observado, pois o efeito de Coriolis no Equador é bem reduzido.

5 DISCUSSÕES

5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA

Índices altos de insolação e tão baixos de chuva podem ser explicados pelo fato do ano de 2009 ter sido influenciado por El Niño.

Tal fenômeno refere-se ao aquecimento periódico das águas tropicais central e oriental do Pacífico que, ocorre em média a cada dois a cinco anos e, normalmente, dura cerca de 12 meses. (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION/NATIONAL WEATHER SERVICE - NOAA, 2009).

A perspectiva é que o mar se aqueça até dois graus acima do normal, o que representa um El Niño de moderado a forte. Isso agrava as condições naturais em cada microrregião da América do Sul; enquanto o Sul está afogado

por quantidades de chuva até cinco vezes acima da média, no norte e no nordeste do país, o quadro é inverso, com uma seca como há anos não se via, apresentando menos da metade da chuva usual (EFEITOS..., 2009).

5.2 PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA

5.2.1 Correntes

A direção da corrente de maré variou muito principalmente porque alternava maré enchente e vazante. Sendo a área estudada um rio que apresenta canais com orientação aproximada sudoeste-nordeste, assim, quando a direção da corrente de maré esteve no quadrante de 45°, então esta estava vazando e, quando a direção da corrente esteve no quadrante de 225°, então a fase era de enchente (figura 40). Evidenciando um caráter alternativo e axial nas correntes de enchente e vazante.

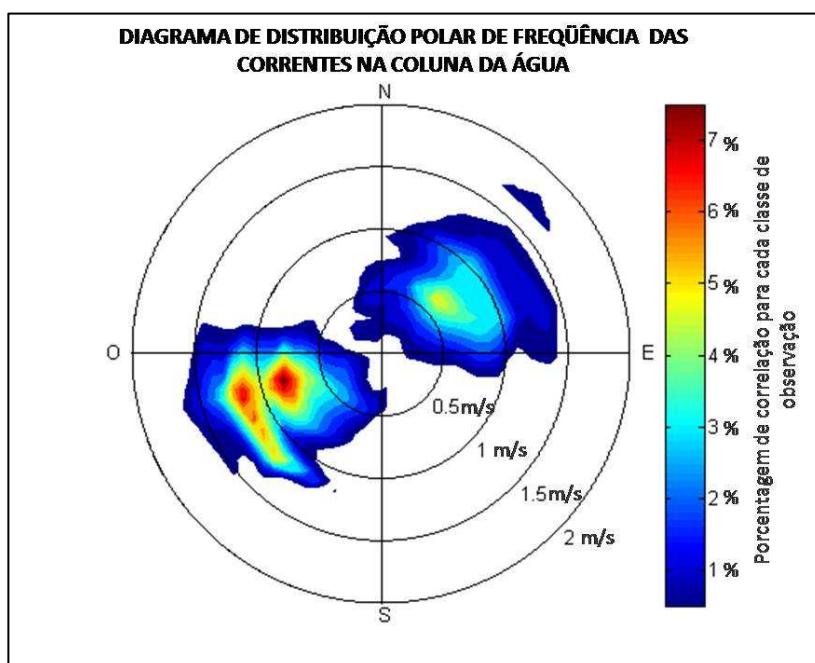


Figura 40: Diagrama de distribuição polar das frequências das correntes na coluna d'água ao longo do período de amostragem, 17/12/09 a 18/12/09.

Quando a direção da corrente diversificava muito ao longo do perfil, então acusava a mudança de fase da maré, principalmente se esta viesse acompanhada de velocidade baixa.

O fato dos períodos de maré enchente e vazante serem diferentes classifica o estuário como assimétrico, pois, de acordo com Miranda et al. (2002), se os intervalos de tempo de enchente e vazante são diferentes, segue-se pelo princípio da conservação de volume no evento de menor duração, onde a velocidade do movimento será mais intensa e, em consequência, o transporte de sedimento será maior, assumindo adequado suprimento de sedimentos nos dois eventos.

A velocidade da corrente de superfície e fundo variou muito ao longo do período de amostragem, principalmente durante as vazantes. Apresentando valores máximos na superfície durante a vazante de 00 às 06 horas de 18/12, onde a maré atingiu maior velocidade na preamar. A velocidade de fundo apresentou comportamento similar a velocidade de superfície durante as enchentes e grandes variações durante as vazantes. Ambas as velocidades da corrente não apresentaram relação com a variação da salinidade (figura 41).

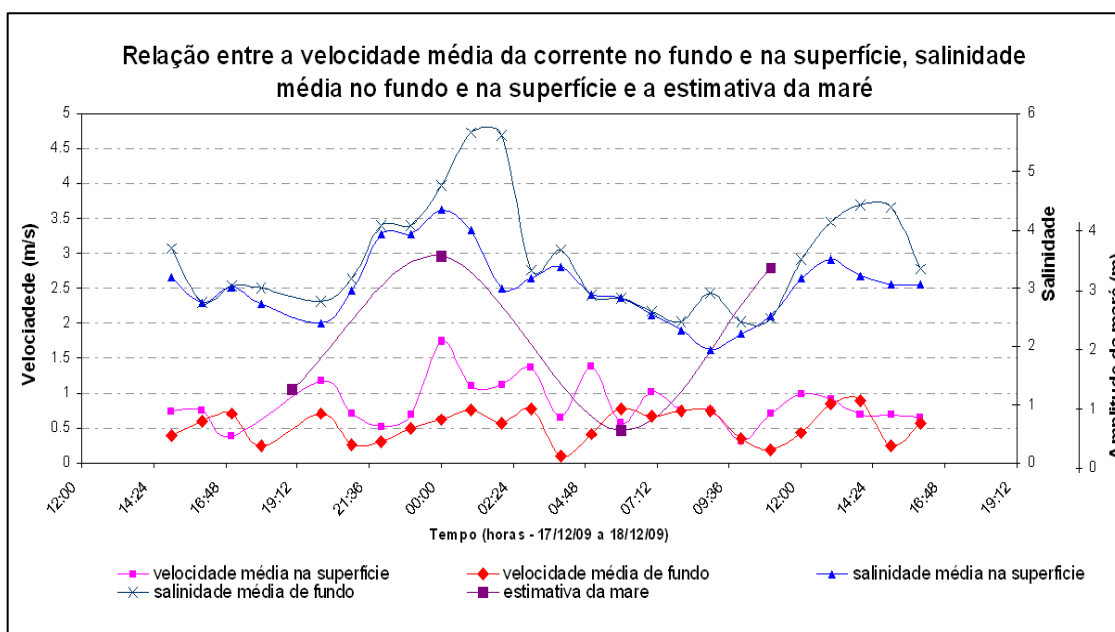


Figura 41: Relação entre a velocidade média da corrente de superfície e fundo, salinidade média de superfície e fundo e maré ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.

5.2.2. Vento

As amostras que registraram maiores velocidades, acima de 4 m/s, foram durante o dia, de 15:00 às 20:00 horas de 17/12/09 e de 09:00 às 15:00 horas, com exceção das 12:00, de 18/12/09 (figura 26). Ocorreria mais intenso durante o dia por causa do maior aquecimento do ar por insolação (figura 42), já que a principal causa desses movimentos são as diferenças de temperatura, pois o ar aquecido torna-se menos denso, mais leve, subindo, portanto, enquanto outras porções de ar vem ocupar o seu lugar.

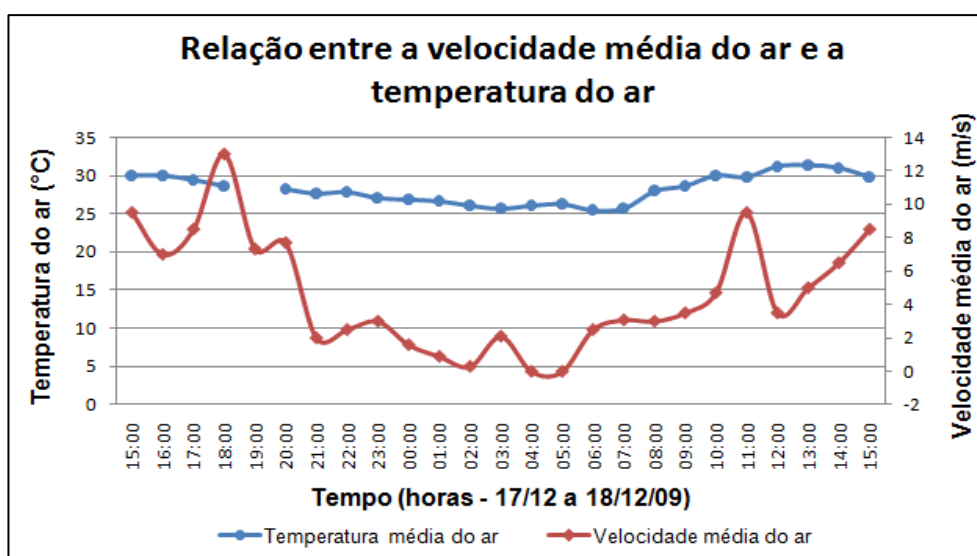


Figura 42: Gráfico da relação entre a velocidade média do ar e a temperatura do ar, durante o período de análise, de 17/12 a 18/12/09.

5.2.3 Maré

A maré na Ilha de Colares para abril de 2009 apresentou de forma geral, de acordo com as estimativas, amplitudes maiores que na Ilha de Mosqueiro e suas características de onda chegaram antes (figura 31), pois a Ilha de Colares encontra-se mais a jusante do rio Pará em relação à Ilha de Mosqueiro.

Quanto à interação entre a onda de maré propagando-se estuário acima e a morfologia do estuário, pode-se classificar o estuário do rio Pará segundo Nichols e Biggs (1985 apud Dyer, 1997) como hiposíncrono, pois a altura de maré diminui ao longo do estuário.

Como pode ser visto na figura 31, que compara as curvas de maré de Colares e de Mosqueiro.

5.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DO SISTEMA ESTUARINO

5.3.1 Salinidade e Temperatura

No primeiro perfil da amostragem, às 15 horas de 17/12 (figura 34), a corrente estava vazando, entretanto a salinidade mostrou mais elevada que os dois primeiros perfis de enchente, às 18 e 20 horas de 17/12 (figura 32). Isso é verificado também, e com mais intensidade, nos perfis de vazante das 00 às 06 horas de 18/12 (figura 35), que apresentaram salinidade mais elevada que os primeiros perfis da enchente seguinte (das 07 horas, 08 horas, 09 horas e 10 horas de 18/12) (figura 33).

De forma geral, a salinidade apresentou-se mais elevada durante os primeiros perfis de vazante, que durante a própria fase de enchente (figura 41). Sugere-se que, por a região ficar próxima de mangue (figura 43), a água concentrada do mangue por evaporação e própria absorção do solo, esteja “contaminando” a camada de água, principalmente a de fundo, do rio durante a vazante, e, que por o rio Pará apresentar grande vazão, essa água mais concentrada seja diluída ao longo do período de vazante, voltando a ter salinidade aproximada à da superfície (figura 35 B e 35 C).



Figura 43: Imagem da Ilha de Colares para visualização da área de mangue, típico do litoral paraense.

Fonte: imagem do Google maps.

Situação similar foi observada por Lara & Dittmar (1999), em um canal de maré de um manguezal próximo de Bragança, litoral do Pará, onde dentro dos ciclos de maré, o nível da água e a salinidade foram inversamente correlacionados (figura 44). Durante a vazante, salinidade aumentou, atingindo um máximo na maré baixa. Durante a inundação, a salinidade diminuiu devido à diluição da água da maré baixa pelas águas estuarinas menos salina, até que um mínimo de salinidade foi alcançado na maré alta (LARA & DITTMAR, 1999).

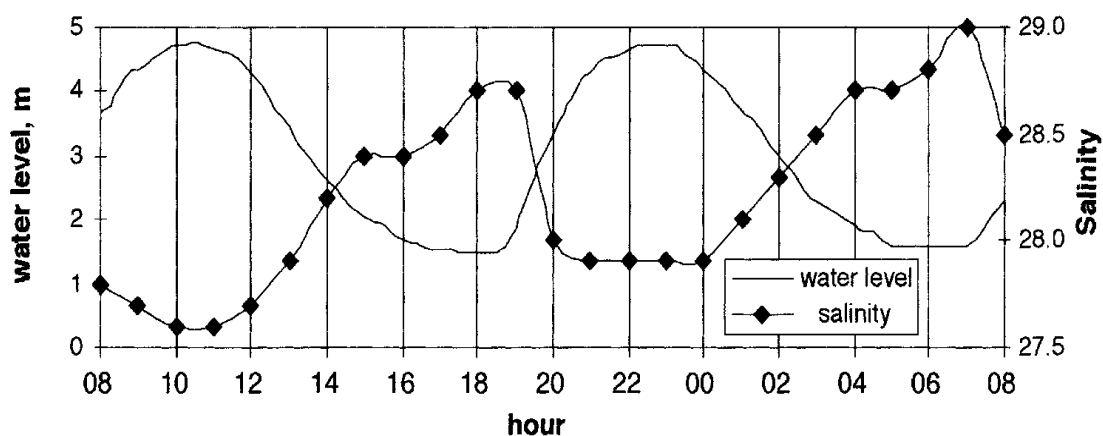


Figura 44: Relação da salinidade e nível do mar versus tempo em canal de maré próximo a Bragança, litoral do Pará.
Fonte: Lara&Dittmar, 1999.

O perfil de vazante das 14:00 horas do dia 18 de dezembro (figura 36 B) denuncia certo grau de mistura, que poderia está relacionado com a espiral de Ekman. Tal fenômeno diz que correntes forçadas pelos ventos têm sua direção alterada com a profundidade devido ao efeito de Coriolis e que as camadas superficiais forçam o movimento das camadas inferiores (TANAJURA, 2005). Entretanto, uma análise entre a velocidade do vento e a velocidade da superfície da água não demonstrou uma relação direta (figura 45). A análise da magnitude das correntes também foi realizada e não foi possível chegar à uma explicação satisfatória, sendo necessário um estudo mais específico para explicar tal ocorrência ou, definir este como sendo um caso isolado.

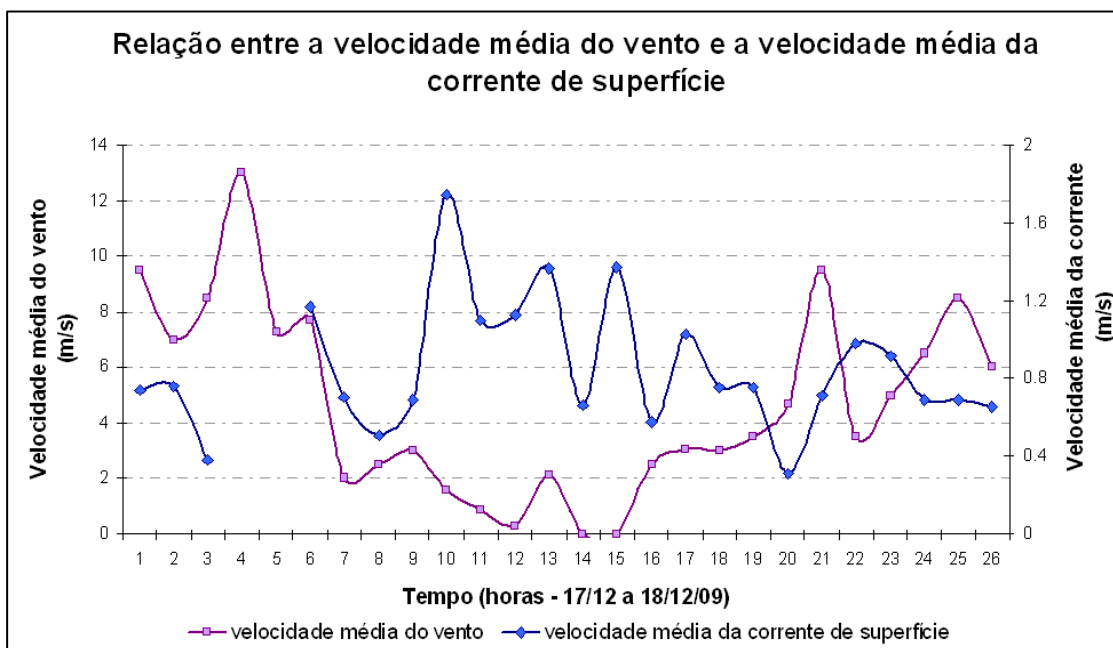


Figura 45: Relação entre a velocidade média do vento e a velocidade média da corrente superficial ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.

Em relação à temperatura, os maiores registros foram durante o dia, das 15 até as 20 horas de 17/12 (figuras 32 e 34) e, das 10 às 15 horas de 18/12 (figuras 33 e 36). Essas temperaturas mais elevadas foram causadas provavelmente pela maior incidência de raios solares nesses horários. Não houve uma relação aparente entre a temperatura da superfície e de fundo com as velocidades e direções das correntes de maré (figura 46).

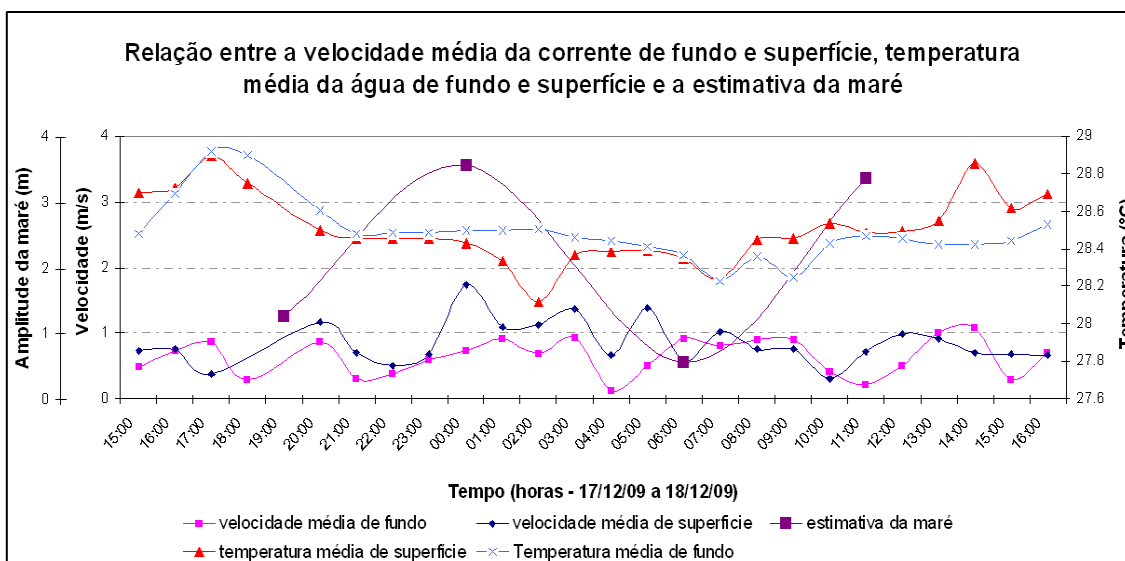


Figura 46: Relação entre a velocidade média da corrente de superfície e fundo, a temperatura média de superfície e fundo e maré ao longo do período de estudo, de 17/12 a 18/12/09.

6 CONCLUSÕES

O clima apresentou-se de forma inesperada, fora das normais climatológicas, com uma média maior de temperatura diária e menor de pluviosidade. Esses fatores podem ser conseqüências do *El Niño*, já que este ano de 2009 apresenta esta anomalia, que provoca estiagem nas regiões Norte e Nordeste.

Em relação à corrente, pode-se concluir que a determinação dos vetores de velocidade no sistema estuarino evidenciou um caráter alternativo e axial nas correntes de enchente e vazante, com orientação de 230° a 260° e 69° a 30°, respectivamente. O sistema de correntes do baixo estuário do rio Pará apresentou variações de direção e intensidade vinculadas sobretudo com as oscilações da maré e a morfologia do canal.

Os ventos apresentaram-se mais intensos durante o dia, causado principalmente pelos movimentos das massas de ar consequente de temperaturas mais elevadas nesse período (15:00 às 20:00 horas de 17/12/09 e de 09:00 às 15:00 horas, com exceção das 12:00, de 18/12/09), com horas de calma durante a noite (04 e 05 horas de 18/12).

A maré na Ilha de Colares, desconsiderando o erro da estimativa, apresentou amplitudes maiores com cerca de 0,36 m que na Ilha de Mosqueiro, e uma antecendência de 47 minutos. Considerando esse comportamento esperado por Colares se situar geograficamente à jusante da Ilha de Mosqueiro, recebendo, assim, primeiro e com mais intensidade a influência da maré.

Desta forma quanto à interação entre a onda de maré propagando-se estuário acima e a morfologia do estuário, pode-se classificar o estuário do Rio Pará segundo Nichols e Biggs (1985 apud Dyer, 1997) como hiposíncrono, pois a altura de maré diminui ao longo do estuário.

Quanto a classificação de Dalrymple et al (1992) o estuário do rio Pará se enquadra no tipo dominado por maré, pois é tipicamente de macromaré e hiposíncrono.

A salinidade no estuário é fortemente influenciada pela maré e, supõe-se, pelo ambiente adjacente, mostrando-se um tanto peculiar, com a maioria dos perfis apresentando certa homogeneidade e salinidade não muito elevada.

Exceto nas primeiras horas de vazante, onde foram registrados valores mais elevados e perfis com estratificação na coluna d'água.

Quanto à classificação de acordo com a estratificação da salinidade de Pritchard, (1955), o estuário do Rio Pará comportou-se como do tipo B nas primeiras horas de vazantes podendo ser classificado como parcialmente misturado, entretanto, na grande maioria dos perfis durante o período de amostragem, a salinidade se mostrou praticamente homogênea ao longo da coluna d'água, podendo ser classificado como Bem Misturado.

De acordo com a classificação obtida através do diagrama de estratificação-circulação de Hansen & Rattray (1966), para o período do estudo, estação seca, observou-se que o sistema estuarino do rio Pará assume características do tipo 1 (bem misturado) sem estratificação vertical.

Os critérios de classificação do estuário a partir da variação da estratificação da salinidade na coluna d'água podem alterar significativamente entre sizígia e quadratura e entre períodos de máxima e mínima descarga fluvial, portanto estudos mais detalhados se fazem necessários, em períodos diferentes de maré e de vazão do rio, para classificar de maneira mais abrangente e eficaz o estuário estudado.

Em relação à temperatura da água no estuário, esta não apresentou variações superiores a 0,8°C ao longo do tempo, e 0,5°C ao longo da coluna d'água em um mesmo perfil. Sendo as maiores temperaturas e os perfis com alguma estratificação registrados durante o dia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em: <http://www.ana.gov.br/portalsnirh/Principal/tabid/36/Default.aspx>. Acesso em: 28 de dezembro de 2009.

BEZERRA, M. O. et al. Application of aerial video images for Lagrangian tracer studies in maritime and estuarine port zones. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 2009. p. 787- 791.

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: Interscience, 1963. p. 306-324.

CATÁLOGO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS BRASILEIRA. Disponível em: <http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/tabelas/049.html>. Acesso em: 22 de dezembro de 2009.

CATÁLOGO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS BRASILEIRAS. Fundação de Estudos do Mar. Disponível em: <http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html#amapaepara>. Acesso em: 23 de dezembro de 2009.

COLARES. Disponível em: <http://www.ferias.tur.br/informacoes/4608/colares-pa.html>. Acesso em: 17 de novembro de 2009.

CORRÊA, P.R.S.; PERES, R.N. ; VIEIRA, L.S. Levantamento Exploratório de Solos da Folha SA.22 Belém. In: Brasil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Folha AS.22 Belém*. IBGE, Rio de Janeiro. 1974. p. 1-153. (Levantamento de Recursos Naturais, v.5).

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.

COSTA, F. R. ; SOUZA FILHO, P. W. M. Utilização de modelos digitais de elevação na representação do relevo submerso e emerso na Zona Costeira Amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 2485-2492.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em 23 de dezembro de 2009.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. Estuarine facies models: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62. 1992. p. 1130 – 1146.

EFEITOS DO EL NIÑO SE ESPALHAM PELO PAÍS. *Diário Catarinense*. 27/11/2009. Disponível em: <http://www.stylofm.com.br/noticias-da-stylo/efeitos-do-el-nino-se-espalham-pelo-pais>. Acesso em: 30 de dezembro de 2009.

DIÉGUES, F. M. F. 1973. Introdução à oceanografia do estuário Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Belém. *Anais...* Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. 1973. V.2, p.301-18.

DIONNE, J. C. Towards a More Adequate Definition of the St Lawrence Estuary. *Zeitschr. F. Geomorph.*, v. 7, n.1, p. 36-44. 1963.

DUTRA, J. M. L.. *Contribuição à geologia da Ilha de Colares NE do Estado do Pará*. 1995. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará - Centro de Geociências. Belém, 1995.

DYER, K.R. *Estuaries: a physical introduction*. Second Edition. J. Wiley & Sons Ltd. 1997. p. 195.

EL NIÑO ARRIVES EXPECTED TO PERSIST THROUGH WINTER 2009-10. 9 de julho de 2009. Disponível em: http://www.noaaneews.noaa.gov/stories2009/20090709_elnino.html. Acesso em: 30 de dezembro de 2009.

FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARÁ (FAMEP). Disponível em: <http://www.famep.com.br>. Acessado em: 13 de novembro de 2009.

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.

GARRISON, T. (Ed). *Fundamentos de oceanografia*. 1942. Brasil. São Paulo: Cengage Learning, 2001. p. 362.

GREGÓRIO, A. M. S. et al. Depósitos Lamosos da Baía de Guajará (Pará, Amazônia, Brasil). In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 63-66.

GUIMARÃES, P. L. et al. Mapa de Classificação Climática do Estado do Pará. In: *Navegando sob o céu do Pará – Hidroclimatologia e recursos hídricos do Estado do Pará*. Belém: SECTAM, 2005. p. 9-12.

HANSEN, D. V. e HATTRAY Jr., M. New dimensions in estuary classification. *Limnol. Oceanogr.*, v. 11, p.319-325. 1966.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 de novembro de 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 de dezembro de 2009.

KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY Jr.; HALL, C.H.A.S.; KEMP, W.M.; YÁNEZ-ARANCIBA, A. (eds.). *Estuarine ecology*. New York: Wiley, 1987. p. 47-78..

KRELLING, A. P. M.; ROSÁRIO, R. P.; MENEZES, M. O. B. Caracterização física do canal do meio, baía do Guajará (estuário do rio Pará)– Belém – Pará, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA (CBO'2008), 3., CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA (I CIAO), 1., 2008, Fortaleza (CE). *Resumos Expandidos...* Fortaleza: AOCEANO, 2008. Trabalho 1302.

LARA, R. J. e DITTMAR, T. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*. Holanda, 1999.

LIMA, R. J. S. et al. Proposta de Divisão do Estado do Pará em Regiões Hidrográficas. In: *Navegando Sob o Céu do Pará – Hidroclimatologia e Recursos Hídricos do Estado do Pará*. Belém: SECTAM 2005. p. 80-85.

MARTORANO, L. G. et al. Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather). ed. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF,. 1993. p. 53.

MELO, A. B. C. de. El Niño continuará atuando até o verão 2009/2010. *Boletim de Informações Climáticas* (CPTEC/INPE – INFOCLIMA), v. 16, n. 10. p. 1-3. 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL – MMA, SECRETARIA DE COORDENAÇÃO DA AMAZÔNIA – SCA, PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – PNMA, PROGRAMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO – GERCO. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na escala da União*. Brasília. 1996. p. 280.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2. p. 107- 117. 1987.

NITTROUER, C.A.; BRUNSKILL, G.J.; FIGUEIREDO, A.G. Importance of tropical coastal environments. *Geo-Marine Letters*, v. 15, p. 121-126. 1995.

OFFICER, C.B. *Physical oceanography of estuaries*. New York: John Wiley, 1976.

OLIVEIRA, L. L. et al. Mapas dos Parâmetros Climatológicos do Estado do Pará: umidade, temperatura e insolação médias anuais. In: *Navegando Sob o Céu do Pará – hidroclimatologia e recursos hídricos do Estado do Pará*, Belém: SECTAM, 2005. p. 21-25.

ORIGEM E COMPORTAMENTO DOS VENTOS. Disponível em: <http://www.ventoforte.com.br/ventos.html>. Acesso em: 30 de dezembro de 2009.

PICKARD, G. L.; D. PHIL, M. A. *Oceanografia física descritiva*. 2. ed.. Rio de Janeiro, 1974.

PRITCHARD, D. W. Estuarine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, v. 81, n. 717, p.1-11. 1955.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Disponível em: <http://www.pnud.org.br>. Acesso em: 12 de dezembro de 2009.

ROSÁRIO, R. P.; KRELLING, A. P. M.; MENEZES, M. O. B. Caracterização física do estuário do rio Paracauari – leste da ilha de Marajó – Pará, In: Congresso Brasileiro de Oceanografia (CBO'2008), 3.; Congresso Ibero-Americano de Oceanografia (I CIAO), 1.. 2008. Fortaleza (CE). *Resumos Expandidos...*, Fortaleza: AOCEANO, 2008. Trabalho 1300.

SECRETARIA ESPECIAL DE PORTOS. COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. Disponível em: <http://www.cdp.com.br>. Acesso em 04 de dezembro de 2009.

SOUZA, R. R. *Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA)*. 2006. 180f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SOUZA FILHO, P., W. M. et al. Zona Costeira Amazônica: o cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. In: SOUZA FILHO, P., W., M. et al. (Org.). *Bibliografia da zona costeira Amazônica*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi; Universidade Federal do Pará; Petrobras, 2005. p. 401.

TANAJURA, C. A. S.. *Interação Oceano-Atmosfera*. Curso Introdução à Oceanografia Física, UFBA, 17 de maio de 2005. (Notas de aula).

TUMA, L. S. R. *Análise geomorfológica e geológica da Ilha de Colares. Baía do Marajó*. 1997. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará - Centro de geociências. Belém, 1997.