



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

ADRIANO SANTOS DA ROCHA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUM EM
SÃO CAETANO DE ODIVELAS – PA**

BELÉM-PA
2015

ADRIANO SANTOS DA ROCHA

“CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUIM EM
SÃO CAETANO DE ODIVELAS – PA”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Geofísica.

Orientador: **Prof. Dr. Marcelo Rollnic**

BELÉM
2015

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto de Geociências/UFGA)

Rocha, Adriano Santos da, 1984-

Caracterização física do estuário do rio Mojuim em
São Caetano de Odivelas – PA / Adriano Santos da
Rocha. – 2015.

54 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcelo Rollnic

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do
Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-
Graduação em Geofísica, Belém, 2015.

1. Estuários - São Caetano de Odivelas (PA). 2.
Hidrodinâmica. I. Título.

CDD 22. ed. 551.4618098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geofísica

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUM EM
SÃO CAETANO DE ODIVELAS – PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ADRIANO SANTOS DA ROCHA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Geofísica

Data de Aprovação: 25.02.15

Comitê de Dissertação:

Prof. Dr. Marcelo Rollnic-Orientador
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará

Prof. Dra. Carmen Medeiros Limongi
Doutora em Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto
Doutor em Geologia Costeira
Universidade Federal do Pará

*Em memória dos meus exemplos de
humildade e coragem nessa vida: Maria
Benedita (Avó) e André Luiz (Primo).*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela vida, saúde e disposição diária para realização de todos os sonhos.

À Senhora Antônia Lúcia, pelo seu amor de mãe e palavras de força sempre na hora certa.

À Dona Maria de Nazaré, amada avó, pelo riso abundante e a cafeína que também foram combustíveis para esse trabalho.

Ao meu orientador, o apaixonado pelo mar, Dr. Marcelo Rollnic, pela orientação do trabalho e pela sabedoria dividida.

A todos os amigos do CPGF e LOF (Laboratório de Oceanografia Física) que tão bem acolheram um físico no ninho e foram peças fundamentais na caminhada. Em especial a Inaê Brito, Arthur Santos, Heriton Kevin e Fabíola Mota, pessoas das quais sempre lembrarei.

Aos meus alunos do Instituto Federal do Pará que fazem com que eu sinta imenso prazer na profissão que escolhi.

A todos os professores que tive nessa vida, por que de alguma maneira cada um participa dessa realização.

Aos Professores do PPGF, pelos ensinamentos e a convivência durante a realização do curso.

A coordenadora do PPGF, Dra. Hellen Gomes, pela seriedade e atenção à frente do Programa de Pós-Graduação de Geofísica.

À Direção do IFPA-Campus Bragança, Professores Gerson Moutinho e Pedro Moutinho, pelo apoio para que frequentasse esse curso.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse Projeto.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo descrever os aspectos hidrodinâmicos, hidrológicos e morfológicos do Estuário do rio Mojuim, localizado no município de São Caetano de Odivelas - PA (Salgado Paraense), analisando as variações que ocorrem em função do ciclo de maré e da sazonalidade (regime de chuvas). Os dados hidrológicos e hidrodinâmicos foram coletados em dois períodos sazonais em 2014: Março, correspondente ao período chuvoso (~500 mm) e setembro, correspondente ao período seco (~100 mm), ambos durante marés de sizígia. O levantamento batimétrico ocorreu somente no período chuvoso e foi realizado com uma ecossonda em uma malha amostral com 116 perfis transversais espaçados de 200 m. No canal estuarino, definiu-se uma seção onde foram realizados perfis de medição de intensidade e direção da corrente e vazão, com um ADCP, e em três estações fixas (margem direita (MD), centro (C) e margem esquerda (ME)) foram realizadas coletas de condutividade e turbidez com um CTD e um OBS, na coluna d'água. O padrão de maré e a salinidade também foram obtidos com um sensor de pressão e condutividade, fixos na ME durante 56 dias no período chuvoso e 57 dias no seco. O estuário é raso (4,5 m de profundidade média) e é dominado por um regime de macromarés semidiurnas. Ao longo de um ciclo de maré a salinidade aumenta nas enchentes e diminui nas vazantes em ambos os períodos sazonais. A turbidez aumenta nas enchentes e diminui nas vazantes do período chuvoso e o valor medido no centro (C) é o dobro do encontrado nas margens. No período seco, a salinidade foi superior a do chuvoso (média de 20 e 8, respectivamente). Este estuário apresenta-se bem misturado, sendo verticalmente homogêneo no chuvoso e altamente estratificado no seco. Os fluxos de enchente ocorrem predominantemente pelo centro da seção, enquanto que os fluxos de vazante predominam na MD, nas duas situações a maior intensidade da corrente ocorre período chuvoso. O estuário é importador nos dois períodos, porém, com maior entrada no período chuvoso (transporte resultante de 95,87 m³/s). Estes dados correspondem às primeiras informações sobre as características hidrológicas e hidrodinâmicas do estuário e poderão subsidiar estudos posteriores na região.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Estuário. São Caetano de Odivelas (PA). Macromaré. Transporte de Volume.

ABSTRACT

The present study has as objective describe the hydrodynamics, hydrologic and morphological aspects, of estuary of Mojuim River, it is localized in São Caetano de Odivelas city –PA (Salgado Paraense),it is analyzing the variations that happen according sea cycle seasonality (rain regime).The hydrologic and hydrodynamics data was collected in two seasonal period in 2014:March,it corresponds to rainy period (~500 mm)and September, it corresponds to dry period (~100 mm),both during tide of syzygy. The bathymetric survey happened only in the rainy period and it was realized with an echo sounder in a sampling grid with 116 spaced cross profile of 200m.In the estuarine channel,it was defined a section where it was realized profiles of strength measurement and current intensity and output, with ADCP, and in three fixed stations,right bank (RB), center(C),and left bank (LB)it was realized collections of conductivity and turbidity with a CDT and an OBS, in the water column. The pattern of tidal and the salinity they were also obtained with a pressure sensor and conductivity fixed in the LB during 56 days in the rainy period and 57 days in dry ones. The estuarine is shallow (4,5 m of average depth) and it is restrained by a regime of semidiurnal macrotidals. During a tidal cycle the salinity increases in the floods and decreases in the ebb tide in both seasonal periods. Turbidity increases in the floods and it decreases in the ebb tide of the rain period and the value measured in the center (C) is double found in the banks. In the dry period, the salinity was higher to rainy period (average 20 and 8, respectively) .This estuarine presents well mixed; it is vertically homogeneous in the rainy period and highly stratified in the dry. The flood flows occur predominantly at the center section, while the ebb flows predominate in the RB, in the two situations the highest intensity of the current occurs in the rainy season. The estuary is an importer in the two periods, however, more entering in the rainy period (resulting transport of 95,87 m³/s) .These data correspond to the first information on the hydrological and hydrodynamics characteristics of the estuary and they can support further studies in the region.

Keywords: Hydrodynamics. Estuary. São Caetano de Odivelas (PA). Macrotidal. TransportVolume

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Reserva extrativista de São João da Ponta b) Reserva Extrativista Marinha de Mocapajuba..... | 14 |
| Figura 2 - Precipitação média nas estações de Soure e Tracuateua (PA)..... | 17 |
| Figura 3 - Localização da área de estudo e as respectivas estações de coleta: Margem esquerda (ME), Centro (C) e Margem Direita (MD)..... | 18 |
| Figura 4 - Ecossonda de sondagem batimétrica GPSmap 421s da marca Garmin e a malha amostral batimétrica | 20 |
| Figura 5 - OBS e CTD fixos à estrutura para perfilagem..... | 21 |
| Figura 6 - Preparação e utilização do ADCP para coleta de dados | 22 |
| Figura 7 - Sensor da marca Solinst Levelogger 3001 e o píer onde esteve instalado durante as coletas | 23 |
| Figura 8 - Carta batimétrica do rio Mojuim | 26 |
| Figura 9 - Perfil batimétrico da seção analisada..... | 27 |
| Figura 10 - Variação da superfície livre e isolinhas de salinidade ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Chuvoso)..... | 29 |
| Figura 11 - Variação da superfície livre e isolinhas de salinidade ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Seco)..... | 31 |
| Figura 12 - Diagrama estratificação-circulação de Hansen-Rattray | 33 |
| Figura 13 - Série temporal de salinidade obtida com o sensor fixo nos dois períodos | 34 |
| Figura 14 - Variação da superfície livre e isolinhas de turbidez ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Chuvoso)..... | 36 |
| Figura 15 - Isopletas de velocidade em profundidade adimensional ao longo de dois ciclos de maré | 38 |
| Figura 16 - Resultante de fluxo para os dois períodos | 40 |
| Figura 17 - Transporte de volume sobreposto à variação de superfície livre nos dois períodos | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Resumo da agenda das campanhas de coleta | 16 |
| Tabela 2: Características resumidas e finalidades dos equipamentos empregados . | 19 |
| Tabela 3: Médias dos valores de salinidade no período seco e chuvoso ao longo de um ciclo de maré | 32 |
| Tabela 4: Resumo dos valores de transporte de volume calculados | 43 |
| Tabela 5: Constantes harmônicas da maré do estuário rio Mojuim..... | 44 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. APRESENTAÇÃO | 8 |
| 2. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2.1. ÁREA DE ESTUDO | 9 |
| 2.2. JUSTIFICATIVA | 12 |
| 2.3. OBJETIVOS | 15 |
| 2.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 3.1. COLETA DE DADOS | 16 |
| 3.2. MATERIAIS | 19 |
| 3.3. PROCESSAMENTO | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 25 |
| 4.1. BATIMETRIA | 25 |
| 4.2. SALINIDADE | 28 |
| 4.3. TURBIDEZ | 34 |
| 4.4. PERFIS DE VELOCIDADE | 37 |
| 4.5. FLUXO RESULTANTE | 39 |
| 4.6. TRANSPORTE DE VOLUME | 41 |
| 4.7. COOSCILAÇÃO DE MARÉ | 43 |
| 5. CONCLUSÕES | 45 |
| REFERÊNCIAS | 46 |

1. APRESENTAÇÃO

O presente trabalho de dissertação será apresentado na forma de artigo científico a ser submetido à revista *Journal of Coastal Research*, cujo título será: "*Seasonal hydrodynamic in a macrotidal estuary: North Brazil*". Nas sessões iniciais, se faz uma introdução ao tema e se apresenta a área de estudos, a justificativa e os objetivos. Nas sessões seguintes, é feita a descrição dos materiais e metodologia utilizados na pesquisa. Os resultados são apresentados nos tópicos referentes à batimetria, salinidade, turbidez, perfil de velocidade, fluxo resultante, transporte de volume e cooscilação de maré. E por fim, são apresentadas as conclusões e oferecidas recomendações para estudos posteriores na área.

2. INTRODUÇÃO

É notória a importância da região estuarina no que diz respeito à preservação ambiental e atividade econômica. Além das espécies que vivem permanentemente no estuário, muitas outras visitam esse local periodicamente como parte de seus ciclos reprodutivos e de desenvolvimento. Isso se deve principalmente à riqueza biológica e de nutrientes no local, o qual se localiza entre a região marinha e a fluvial, e que mescla características dessas duas regiões.

Devido a essas características, os estuários funcionam com verdadeiros berçários para aproximadamente dois terços dos peixes e mariscos consumidos no mundo. Sua riqueza de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica faz com que sirva de habitat para milhares de aves e outros animais (SVARNEY; SVARNEY, 2000). Essas regiões merecem atenção por parte da comunidade científica, tendo em vista que cerca de 60% das grandes cidades do mundo estão situadas em torno dos estuários (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Conceitualmente, estuários são corpos de água costeiros semifechados com uma livre conexão com o mar aberto dentro do qual ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). Para Dyer (1997), o estuário é a região costeira que se estende pelo rio até o limite da influência da maré, são feições costeiras bastante dinâmicas no tempo e no espaço, com origem associada à elevação do nível do mar

e inundação de vales na zona costeira. Nesse sentido, esse ecossistema tem seu funcionamento regulado por vários fatores como sua geomorfologia, tempo de residência da água, alcance da maré, natureza e extensão da área de intermaré, entrada de nutrientes e etc. (UNDERWOOD; KROMKAMP, 1999)

E segundo Pritchard (1967, p. 3):

Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. Dentro dele a água do mar, ou de qualquer outro corpo costeiro salino de água entrando por uma ou mais conexões com o oceano aberto, é diluída significativamente com a água fluvial proveniente de drenagem continental.

A maior parte das cidades desenvolvidas do mundo está em torno de estuários, isso se deve a facilidade de instalação de portos que conduzam o acesso para o interior do continente. Devido a uma série de características hidrodinâmicas, as águas estuarinas possuem uma capacidade de renovação cíclica e são biologicamente mais produtivas que as dos oceanos ou rios (BARRETO, 2011). Aproximadamente 15% das regiões costeiras do planeta estão localizadas em ambientes estuarinos. Desse modo, esse ecossistema é encontrado em todo o mundo e nos mais variados tipos de clima (YÑES-ARANCIBIA, 1986).

Nesse sentido, o estudo dos aspectos naturais (químico, físico e geológico) se torna indispensável quando se trata de preservação e utilização desses habitats e seu entorno. Pois de acordo com Vilas Boas (1990), as variáveis que compõem o ambiente costeiro, tais como a salinidade, turbidez, composição química da coluna d'água, etc. sofrem variações gradativas desde o mar até a região do estuário superior. E também estão sujeitos a uma intensa dinâmica que provoca variações espaciais e temporais contínuas (ELLIOT; MCLUSKY, 2002).

No presente trabalho, serão apresentados os resultados do levantamento de informações detalhadas sobre a caracterização física (hidrodinâmica, morfologia e hidrologia) do estuário do rio Mojuim, localizado em São Caetano de Odivelas-PA o qual representa uma importante fonte de renda e via de acesso para a comunidade local.

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Mojuim está localizado no Norte do Brasil, em São Caetano de Odivelas, e este município está a 120 quilômetros de Belém-PA, capital do

estado. A história da fundação do município de São Caetano de Odivelas está relacionada à chegada de padres jesuítas no período colonial na região do rio Mojuim, zona do Salgado, nordeste do estado Pará (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010).

Em 1735, os esses padres da Companhia de Jesus fixaram-se na região que hoje forma a sede do município de São Caetano de Odivelas, a margem esquerda do rio Mojuim ficando a 11 km de sua foz. Como era interesse comum desses missionários nessa região, buscavam catequizar os habitantes primitivos do local (índios) e convertê-los ao cristianismo.

São Caetano de Odivelas possui localização geográfica de Latitude: 00° 45' 00"S Longitude: 48° 01' 12" O e altitude média de 5 metros. O município integra a Mesorregião do Nordeste Paraense, Microrregião do Salgado, a população é de 16.891 habitantes e sua área da unidade territorial é de 743,46 quilômetros quadrados. Limita-se: Ao Norte com Oceano Atlântico a Leste Município de Curuçá, São João da Ponta e Terra Alta, ao Sul com Município de Vigia e a Oeste, novamente com o Município de Vigia (IBGE, 2010).

O estuário do rio é delimitado pelos seguintes paralelos: 00° 35' 00"S e 47° 03' 45"O, 00° 52' 30"S e 48° 05' 00 "O. O clima da região é o típico equatorial amazônico do tipo Am (classificação de Koppen) e temperaturas elevadas com médias de 27°C, mas de pequena amplitude térmica (PROST et al., 2001).

Sobre a precipitação média na região, os maiores registros ocorrem entre Janeiro e Junho e os menores entre Julho e Dezembro, definindo um padrão climático característico dos estuários amazônicos (BARROS; TORRES; FREDOU, 2011).

A atividade de renda é predominantemente marcada pela pesca e coleta, principalmente do caranguejo (*Ucidescordatus*) e a pesca ainda é a tradicional. Há ainda um comércio incipiente para abastecer as 41 localidades que compõem o município além da sede municipal.

Segundo Maciel (2009, p. 21), "O rio Mojuim é o mais importante, porque forma toda a bacia hidrográfica do Município; após entrar em território de São Caetano, a sudeste, segue em direção norte e deságua no Atlântico", banhando antes a vila de Perseverança, o povoado do Porto de Guajará e a sede municipal.

Tem-se então um quadro típico amazônico de município atravessado por um rio que se coloca como fonte de renda para os moradores.

Os tipos de cobertura vegetal encontrados na região são a vegetação de restinga, vegetação de mangue, vegetação de campo natural inundável e vegetação secundária (PICANÇO, 2012). A vegetação de restinga geralmente é encontrada atrás das praias, principalmente sobre as dunas. Nessa região, situa-se sobre os cordões arenosos subatuais, estes, podem ser indícios de uma antiga linha de costa, e está situado dentro das áreas de mangue frontal ao Oceano Atlântico.

A vegetação de mangue é tipicamente composta por planícies de maré sob influência de água salobra, ou planícies fluviomarinhas, com fisiografia ideal para a formação dessa vegetação, pois constituem áreas pantanosas ou lamacentas, cobertas pelas águas durante as marés enchentes e descobertas nas marés vazantes, recebendo também águas das drenagens fluvial e subterrânea (ALMDEIDA, 1996; AB'SÁBER, 2004; PROST et al., 2001). A vegetação do campo natural inundável é encontrada em terrenos mais baixos, inferiores a 5 m, submetidos à ação de canais fluviais e águas pluviais que causam nas épocas mais chuvosas inundações e alagamentos mais longos (IBGE, 1990). Correspondem a terrenos recentes, de origem holocênica (BARBOSA et al. 1973; AB'SÁBER, 2004). A vegetação secundária resulta da alteração da floresta ombrófila densa de terra firme e sua regeneração posterior. A geologia do município é marcada pela presença de terrenos muito recentes na escala do tempo geológico (menos de dois milhões de anos). Desconsiderando-se a área de água, todo o território do município pertence ao Período Neogeno, sendo que 26,9% pertencem à Época Holoceno, mais recente, e 73,1% a Época Pleistoceno, mais antiga (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE-ICMBIO, 2014).

Geomorfologicamente, a região onde se encontra o rio Mojuim é considerada uma região formada por vales fluviais parcialmente submersos em decorrência do aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno. (PROST et al., 2001). E desconsiderando a classe água, o restante do município se encontra compartimentada em três classes: Planície, Pediplano e Tabuleiro (ICMBIO, 2014).

O estuário também possui conexões com estuários adjacentes como o do rio Mocajuba em São João da Ponta e outra conexão com a Baía do Marajó. E essas conexões podem afetar os parâmetros do estuário em estudo, uma vez que

formações desse tipo interferem no transporte de água e matéria longitudinalmente, lateralmente, verticalmente e sazonalmente, modificando as relações biofísicas e biogeoquímicas ocorrentes nos sistemas envolvidos (WARD e tal., 2002; LEXARTZA-ARTZA; WAINWRIGHT, 2009).

2.2. JUSTIFICATIVA

No que diz respeito a gerenciamento costeiro, a tríplice Bacia hidrográfica-Zona estuarina-Zona Costeira é indissociável no momento das análises (LOITZENBAUER; MENDES, 2002). Nesse sentido, tem-se no estuário do rio Mojuim um importante campo de informações sobre a bacia hidrográfica por ele formada, a Bacia Hidrográfica de São Caetano de Odivelas (MACIEL, 2009) e segundo dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO, cerca de 40% do território do município é composto por massas d'água, a maior parte na Baía do Marajó.

Outro fator relevante para esse local de estudo é que ele é o último estuário com sua foz dentro da margem direita da Baía do Marajó, esse fato o distingue da maioria dos estuários que possuem conexão direta com o mar aberto. Nesse sentido, o estuário do rio Mojuim desemboca numa região abrigada assumindo um papel de um estuário secundário que compõe um sistema estuarino maior representado pela Baía do Marajó (PROST et al., 2001).

O Governo do Estado do Pará, através da Secretaria de Estado de Orçamento e Gestão (SEPOF), incluiu no seu Planejamento Plurianual-PPA 2012/2015 o município de São Caetano de Odivelas como um dos municípios prioritários para implantação de sítios pesqueiros turísticos no Estado, o chamado Sítio Pesqueiro Turístico do Estuário de São Caetano de Odivelas (PARÁ, 2012).

O objetivo dessa iniciativa é organizar e desenvolver a pesca esportiva, uma atividade econômica que movimenta bilhões em todo o mundo, e que já é amplamente praticada no estuário.

Para esse fim, a Secretaria de Estado de Pesca e Aquicultura (SEPAq) necessita de estudos de prospecção de áreas aquáticas com potencial para ser transformadas em sítios pesqueiros turísticos a fim de identificar os melhores pontos

de pesca, as espécies de peixes esportivos, abundância relativa, características ambientais e turísticas.

Faz-se necessário a implantação de metodologia do manejo comunitário da pesca com ênfase no turismo de pesca esportiva e ajudar identificar a infraestrutura necessária para operação do turismo de pesca pela comunidade (PARA, 2012).

Soma-se a esse contexto de configurada relevância da região, o fato de grande parte do estuário, aproximadamente 20.800 metros lineares, está contido em uma área estratégica para o Ministério do Meio Ambiente (MMA), trata-se de uma Reserva Extrativista (RESEX) que compõe Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Esse sistema é gerido pelo ICMBIO, uma autarquia do Ministério do Meio Ambiente.

A reserva citada, e que abriga parte do estuário do rio Mojuim, é a Reserva Extrativista de São João da Ponta, criada através do Decreto 4.340, de 22 de agosto de 2002, localizada no Município de São João da Ponta, no Estado do Pará, visando garantir o uso sustentável e a conservação dos recursos naturais renováveis, protegendo os meios de vida e a cultura das populações tradicionais (Decreto nº 4.340, Brasil, 2002).

Em função das características naturais da área, o bioma protegido é do tipo marinho costeiro e abriga uma vasta biodiversidade típica desses espaços. Um fato importante nesse estuário é a ocorrência do Peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*), animal que está na lista de espécies ameaçadas de extinção.

Além da Reserva de São João da Ponta, existem outras nas adjacências da região conhecida como “Salgado Paraense” que compreende as Reservas Extrativistas Mãe Grande de Curuçá, Caeté-Taperaçu, Tracuateua, Araí Peroba, Gurupi-Piriá, Chocoaré-Mato Grosso e Soure e predomina, entre as suas populações tradicionais, a atividade de artesanato, associada à pesca artesanal e à cata do caranguejo. Tratam-se, portando, de atividades que se constituem em fontes alternativas de renda, desenvolvidas dentro de técnicas sustentáveis e sob a gestão participativa dessas populações com a supervisão dos órgãos de governo locais (Sindicatos, Prefeituras e Câmaras de Vereadores) e os Federais antes citados.

Vale notar que em Abril de 2014 o Instituto Chico Mendes apresentou seu primeiro relatório de um estudo socioambiental referente à proposta de criação de reserva extrativista marinha no município de São Caetano de Odivelas (ICMBIO,

2014). Esse fato já sinalizava a iminente inclusão dessa região em uma Unidade de Conservação, o que de fato ocorreu em outubro de 2014 quando foi criada a Reserva Extrativista Marinha Mocapajuba, localizada no Município de São Caetano de Odivelas.

Figura 1 - Reserva extrativista de São João da Ponta b) Reserva Extrativista Marinha de Mocapajuba



Fonte: Google Earth e ICMBIO. Editado

Para o estuário do rio Mojuim, a grande maioria da literatura encontrada aborda temas ligados à fauna ou vegetação estuarina, como a descrição feita por Barros, Torres e Fredou (2011) ao coletar registros de ictiofauna na região e Aviz; Mello e Silva (2009) com coletas de macrofauna no mesmo campo.

Estudos relacionados à vegetação também foram realizados e descritos por Picanço (2012), que trata da cobertura vegetal da região, tem-se ainda com Oliveira et al. (2006) o registro de fibras vegetais na região e, por fim Prost et al. (2001) realizou descrições de caráter geológico, onde os resultados são apresentados juntamente com dados do estuário do rio Marapanim. Há ainda comparativos sobre salinidade no mesmo trabalho. No tocante ao comportamento hidrodinâmico e hidrológico não foram encontrados dados na literatura pesquisada, os quais serão abordados no presente trabalho.

2.3. OBJETIVOS

Pretende-se descrever os aspectos hidrodinâmicos, hidrológicos e morfológicos do Estuário do rio Mojuim (Salgado Paraense), analisando as variações que ocorrem em função do ciclo de maré e da sazonalidade. A partir disso, elaborar as primeiras informações sobre essas características físicas e que subsidiarão estudos posteriores na região.

2.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a morfologia do rio através de levantamento batimétrico;
- b) Construir o maregrama do estuário;
- c) Caracterizar a hidrodinâmica da área através dos valores de corrente, vazão e transporte residual em função dos estágios de maré e da sazonalidade;
- d) Avaliar a variação de salinidade e turbidez ao longo de um ciclo de maré em dois períodos distintos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. COLETA DE DADOS

O levantamento dos dados apresentados neste trabalho foi obtido por meio de três campanhas oceanográficas, realizadas em 2014. Duas delas realizadas no período chuvoso (Fevereiro e Março) e outra no período seco (Setembro), sempre em marés de sizígia e previstas pela tábua de marés da localidade mais próxima, a da ilha dos Guarás em Curuçá-PA. A campanha de Fevereiro ocorreu nos dias 22 e 23 e na ocasião foi realizado o levantamento batimétrico do estuário.

Nas demais campanhas, 17 a 18 de Março e 07 a 08 de Setembro, foram obtidos dados relacionados à hidrodinâmica e a hidrologia da área de estudo. Os experimentos prosseguiram durante dois ciclos de maré semidiurna com frequência de 1 hora (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). A escolha desses meses visa à verificação da variação sazonal dos parâmetros físicos. A tabela 1 resume os períodos de realização das campanhas.

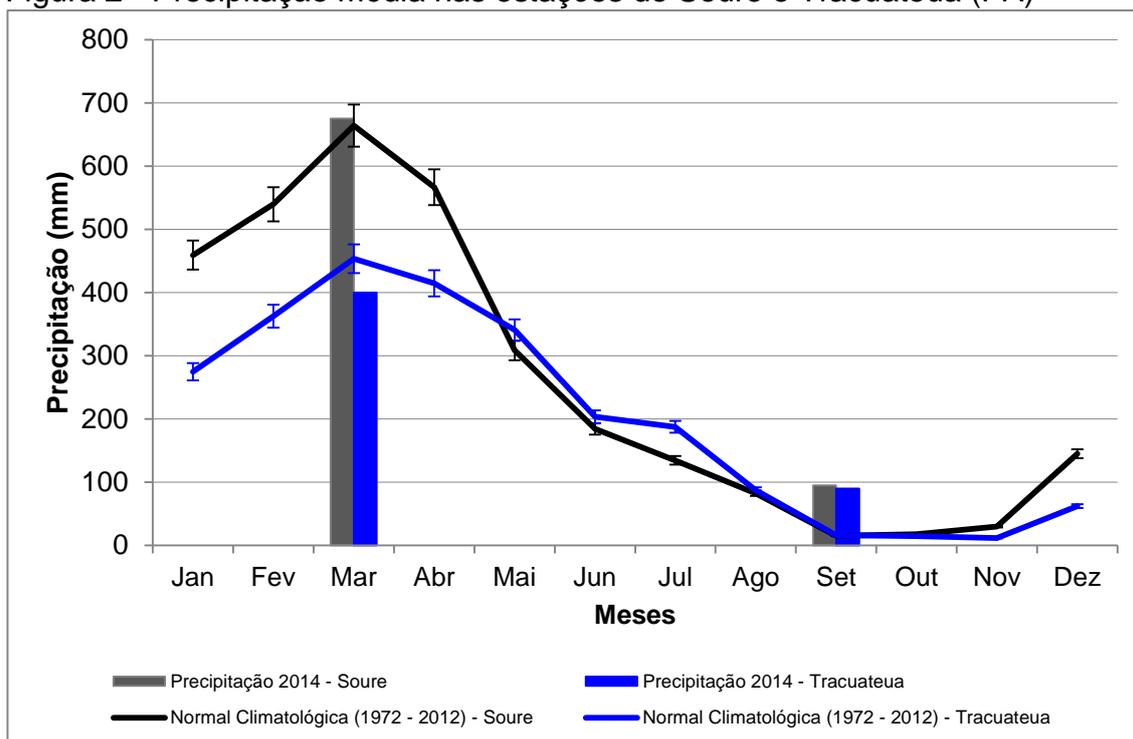
Desse modo, a seleção dos meses de coleta se baseou em dados da normal climatológica registrados em duas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que se encontram em Tracuateua-PA e Soure-PA, pois são as estações mais próximas, latitudinalmente, do município de interesse. Tendo em vista o fato de que em regiões tropicais e equatoriais, a precipitação pluviométrica é a variável climatológica mais importante (MORAES, 2005). A figura 2 apresenta os valores de precipitação no ano de amostragem (2014), bem como a curva da normal climatológica registrada nos últimos 30 anos. No ano da amostragem, o mês de setembro, apresentou precipitação superior (~90 mm) a normal climatológica.

Tabela 1: Resumo da agenda das campanhas de coleta

| <i>Período</i> | <i>Data (Início e término da coleta)</i> | <i>Dado coletado</i> |
|-----------------------|---|-----------------------------|
| Chuvoso | 22 (12h à 18h) e 23 de Fevereiro (9h à 13:30) | Batimetria |
| Chuvoso | 17 (13h início) a 18 de Março (13h término) | Hidrodinâmica e hidrologia |
| Seco | 07 (12h início) a 08 de Setembro (12h término) | Hidrodinâmica e hidrologia |

Fonte: O autor

Figura 2 - Precipitação média nas estações de Soure e Tracuateua (PA)

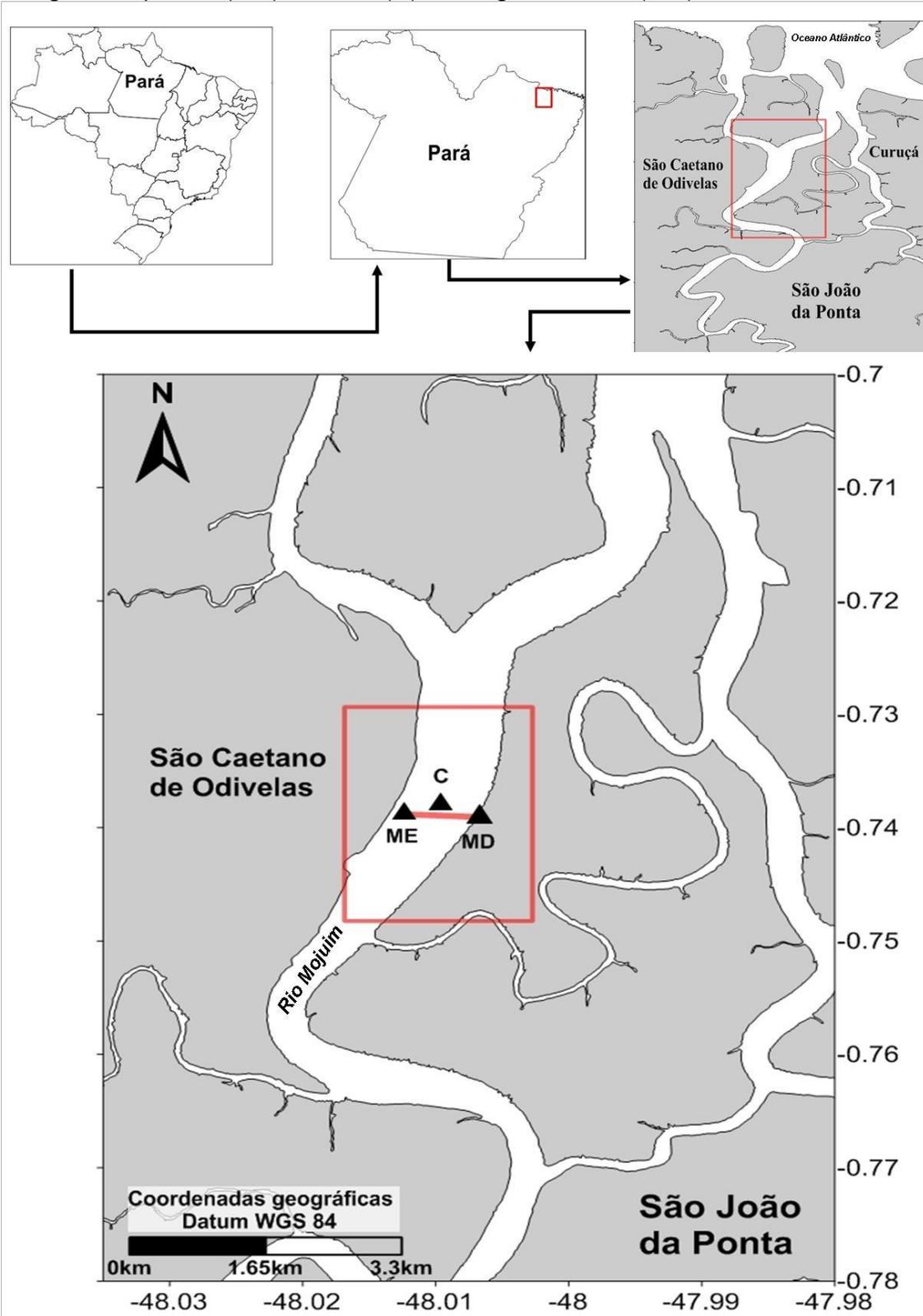


Fonte: INMET (2014). Interpolação

A área de estudo se encontra detalhada na figura 3, e a metodologia das coletas se baseia na realização de transectos e estações de coletas, nas margens e no centro, conforme descrito nos estudos de Miranda; Castro e Kjerfve (2002) e Genz; Cirano e Lessa, (2010).

As coordenadas das estações de coleta são: MARGEM ESQUERDA (ME) 0°44'19,68" S e 48°00'44,69" O, CENTRO (C) 0°44'16,73"S e 48° 0'34,53"O e MARGEM DIREITA (MD) 0°44'19,68" S E 48°00'24,25" O.

Figura 3 - Localização da área de estudo e as respectivas estações de coleta: Margem esquerda (ME), Centro (C) e Margem Direita (MD)



Fonte: O autor

3.2. MATERIAIS

Os equipamentos empregados na obtenção dos dados foram devidamente configurados com seus respectivos *softwares* de gerenciamento e suas características e finalidades estão resumidas na tabela 2, e em seguida é apresentada a configuração de cada um e sua respectiva localização na área de coleta.

Tabela 2: Características resumidas e finalidades dos equipamentos empregados

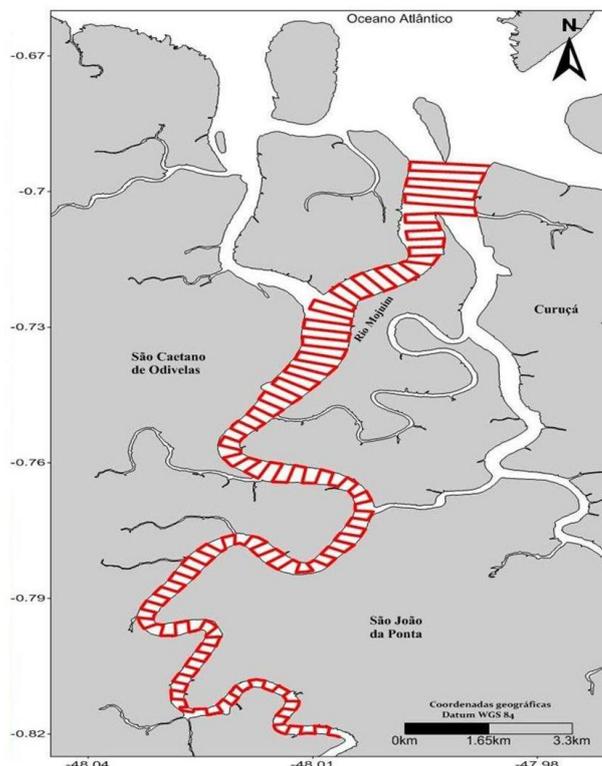
| <i>Dado obtido</i> | <i>Equipamento/Software</i> | <i>Finalidade</i> |
|----------------------------|---|---|
| Batimetria | Ecossonda e GPS | Aquisição de valores de profundidade ao longo da malha batimétrica |
| Salinidade | CTD (Conductivity, Temperature, Depth) | Aquisição de dados de salinidade na seção escolhida |
| Turbidez | OBS (Opticalbackscatter) | Aquisição de dados sobre sedimentos em suspensão |
| Correntometria | ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) | Aquisição de dados hidrodinâmicos na seção escolhida |
| Nível da água e salinidade | Sensor de Pressão e salinidade | Aquisição de dados de variação da altura de coluna d'água, salinidade e variação sazonal da maré. |
| Softwaresparaprocessamento | MatLAB, Google Earth, BaseCamp, Office BR, WinRiver, GPS TrackMaker | Softwares originais dos equipamentos e de processamento de dados coletados |

Fonte: O autor

- **Ecossonda**

A caracterização morfológica da calha do rio foi feita a partir de registros de batimetria com o uso da ecossonda da marca Garmin GPSmap 421s (configurada para 1 dado à cada 3 segundos) e fixa à embarcação cuja velocidade máxima foi de 10 km/h. O trajeto da embarcação foi orientado por uma malha amostral previamente definida. Essa malha foi composta por 116 perfis transversais espaçados em 200 metros entre linhas de sondagem conforme mostra a figura 4. A delimitação da área do rio iniciou desde a sua foz adentrando aproximadamente 23 km à montante. Nesta fase de coleta, também foi realizado um perfil na seção onde foi realizada a coleta de dados hidrodinâmicos.

Figura 4 - Ecossonda de sondagem batimétrica GPSmap 421s da marca Garmin e a malha amostral batimétrica



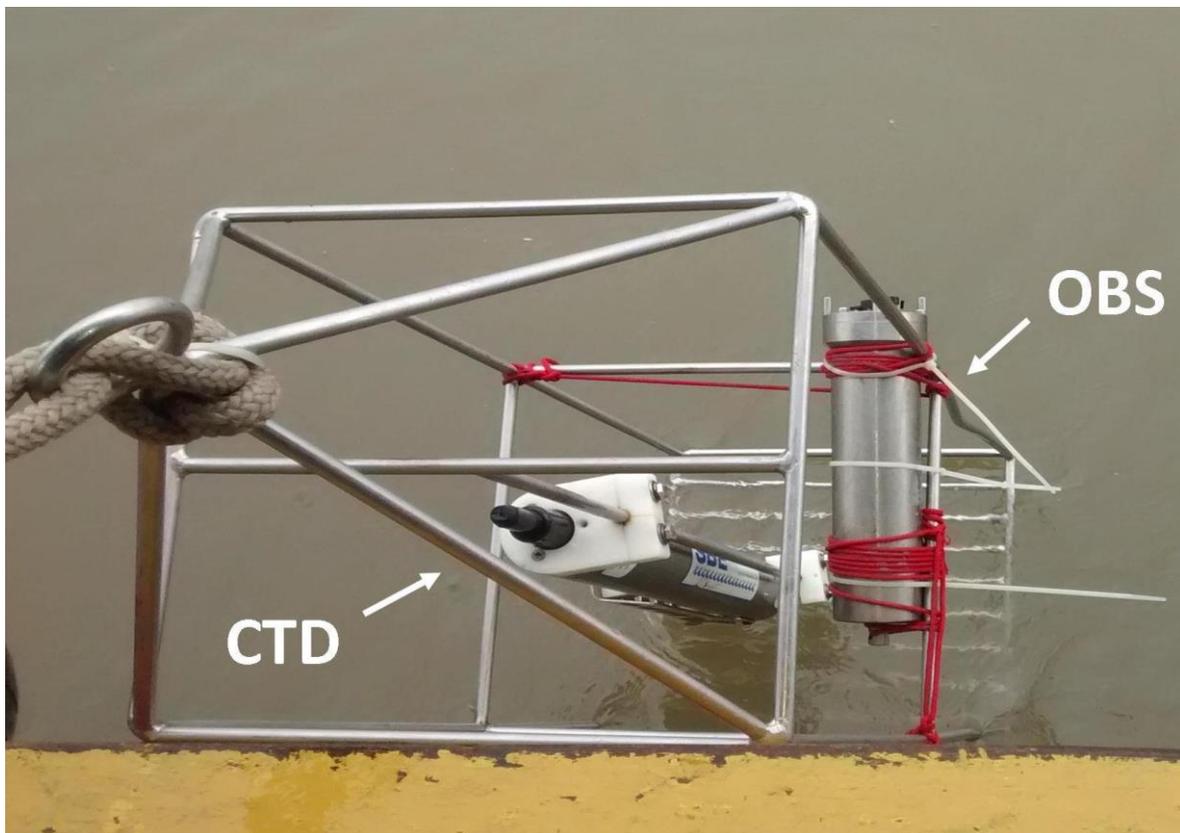
Fonte: O autor

- **CTD e OBS**

Os dados de parâmetros hidrológicos do estuário foram obtidos através de perfilagem com uso de um CTD da marca SeaBird 37 (configurado para 1 dado a cada 5 segundos) conjugado ao sensor OBS da marca ALEC (configurado para 1 dado a cada 5 segundos) (Figura 6). As perfilagens foram realizadas a cada uma hora com a embarcação fundeada em 3 estações coleta: Margem direita (MD), Centro (C) e Margem esquerda (ME).

Desse modo, foi possível acompanhar as variações espaciais da salinidade e turbidez ao longo do ciclo de maré.

Figura 5 - OBS e CTD fixos à estrutura para perfilagem



Fonte: O autor

- **ADCP**

Para a aquisição dos dados de corrente (intensidade e direção de fluxo) foi utilizado o perfilador acústico de correntes (ADCP) da marca Rio Grande, com frequência 1200Mhz (Figura 7). O ADCP foi programado com células de 0,25 m, submerso a 0,50 m abaixo da linha d'água (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002)

acoplado à embarcação, que navegou com velocidade média de 10 km/h, em cursos transversais às margens (*transect*). Os *transects* apresentaram 550 metros de extensão, sendo realizadas medições a cada hora, durante 25 horas. A travessia do rio, e portanto a coleta dos dados referentes à corrente, foi realizada da margem esquerda para a margem direita.

Figura 6 - Preparação e utilização do ADCP para coleta de dados



Fonte: O autor

- **Sensor de Pressão e salinidade**

Foi fundeado em um píer o sensor de pressão e salinidade da marca Solinst Levelogger 3001 (configurado para 1 dado à cada 5 min) (Figura 8), os registros foram obtidos durante 53 dias no período chuvoso e 56 dias no período seco. O objetivo foi coletar dados da oscilação da maré durante as campanhas e também da sua variação sazonal. No mesmo equipamento, são obtidos dados de salinidade para observação da variação sazonal desse parâmetro.

Figura 7 - Sensor da marca Solinst Levelogger 3001 e o píer onde esteve instalado durante as coletas



Fonte: O autor

3.3. PROCESSAMENTO

Nesta etapa é realizada a aplicação de rotinas apropriadas para a análise de cada parâmetro. Também são consideradas nessa fase as condições registradas em campo e que podem influenciar nos resultados.

- **Batimetria**

Para a elaboração do mapa base da área utilizou-se o Google Earth na geração do arquivo *.kml*, seguida de visualização no software Garmin BaseCamp para extrair as coordenadas geográficas. Os dados coletados com a ecossonda

foram retificados com o auxílio dos dados do sensor de pressão, o qual esteve coletando simultaneamente, e depois foram reduzidos ao menor nível de variação de superfície livre. Após essa etapa realizou-se a interpolação dos resultados pelo método *kriging* e plotagem em ambiente Surfer9 para elaboração do mapa final com as informações batimétricas da área de estudo.

- **Hidrologia**

Para os dados obtidos relacionados à salinidade e turbidez primeiramente foi feita a exclusão de valores aferidos fora d'água, sendo que os dados de salinidade estavam como função de condutividade. Os dados de turbidez foram utilizados em FTU (Formazine Turbidity Unit). As rotinas utilizadas foram T_TIDE (PAWLOWICZ et al., 2002), SEAWATER (CSIRO, 2003) em ambiente MatLab e Escala Prática de Salinidade (EPS-1978) (UNESCO, 1980 & HILL, 1986).

- **Hidrodinâmica**

Os dados relativos à variação da superfície livre também foram descarregados com valores fora d'água, após a exclusão desses valores foi feita a conversão da unidade pressão (dBar) para metros e novamente foram utilizadas as rotinas T_TIDE (PAWLOWICZ et al., 2002), SEAWATER (CSIRO, 2003). Os dados de corrente são descarregados no formato original *.PDO* e *.mmt*, depois visualizados em *.txt* para seu processamento com a rotina ProcED_II(GENZ; CIRANO; LESSA, 2010).

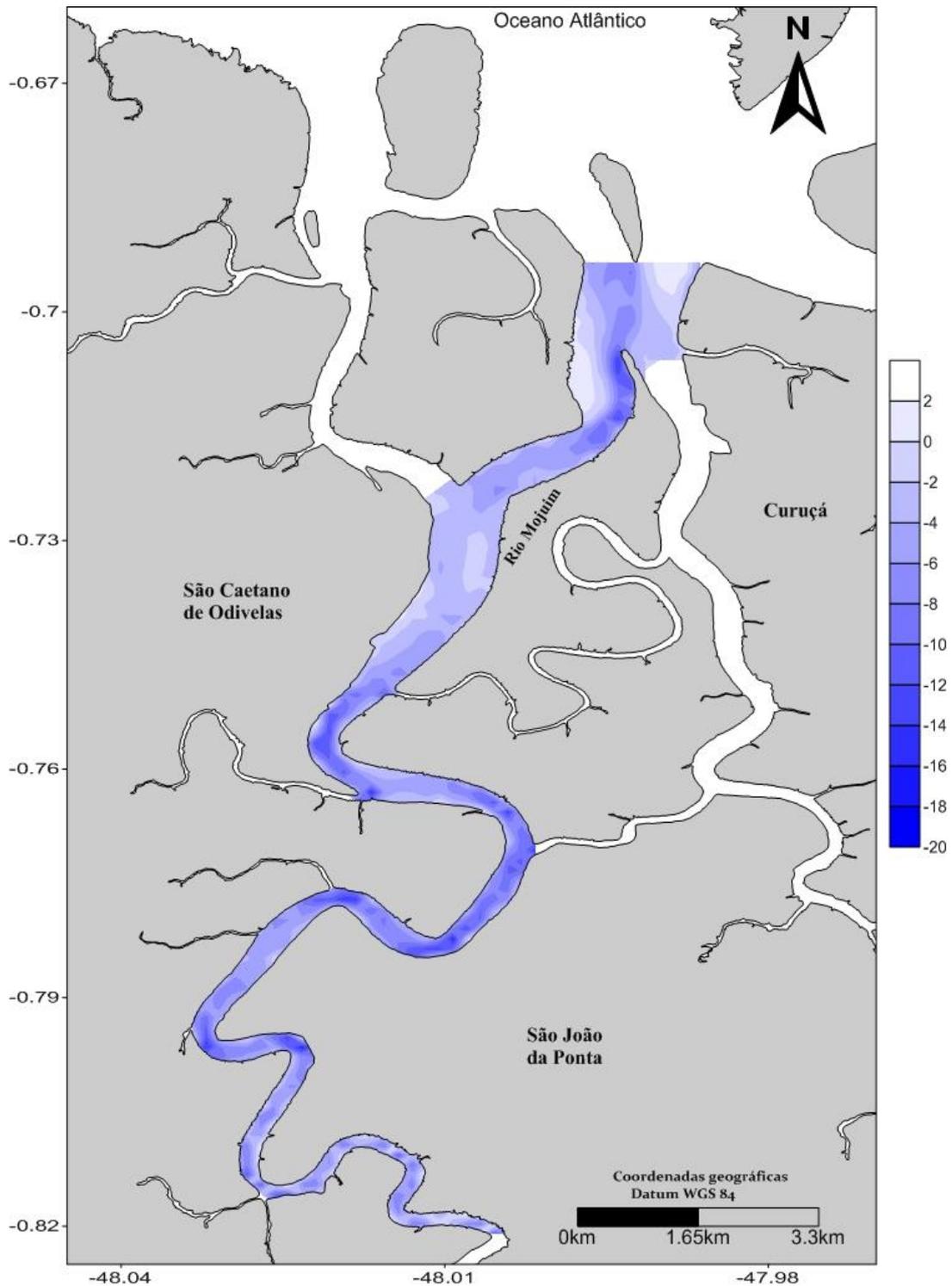
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. BATIMETRIA

A campanha de Fevereiro de 2014 (período chuvoso) foi aquela destinada a coleta dos dados batimétricos, iniciou-se no dia 22 às 12h, sendo interrompida às 18h em função da baixa luminosidade. Foi retomada no dia 23 de Fevereiro às 9h sendo concluída às 13:30 do mesmo dia.

Com efeito, foram reveladas cotas batimétricas variando entre 0,3 a 14,5 m, com média de 4,5 m. E como se trata de um rio meandrante, foi possível identificar duas regiões distintas: Uma delas apresentando grandes valores de profundidades e outra com menores valores. Tais regiões são formadas pela ação da descarga fluvial em decorrência do curso preferencial do rio, conforme mostra a figura 8.

Figura 8 - Carta batimétrica do rio Mojuim



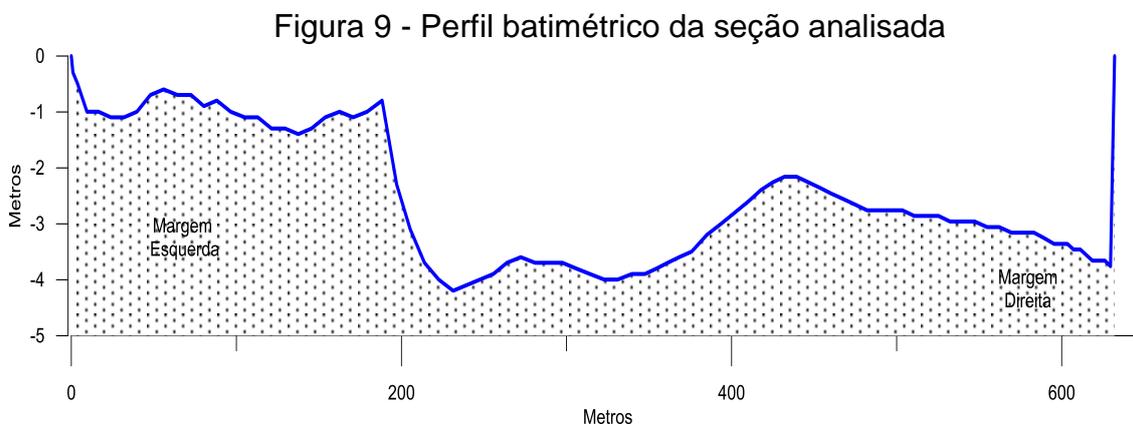
Fonte: O autor

A primeira dessas regiões se apresenta como uma área de depressão, de modo que pela ação da corrente ocorreu uma erosão da calha do rio, e por conseguinte um aumento a profundidade neste local. E na segunda, uma área de

deposição de sedimento, ocorrendo diminuição da profundidade. Em áreas de baixa velocidade de corrente é comum não haver pontos preferenciais de deposição ou erosão sedimentar. Tal fato ocorre principalmente em trechos retilíneos do rio resultando em baixas profundidades. E no estuário do rio Mojuim esses valores ficaram entre 4m e 9m.

A figura 10 descreve o perfil batimétrico da seção onde foram realizadas as coletas (transects). O que se nota é uma região de baixa profundidade (aproximadamente 1 metro) indicando uma provável zona de deposição sedimentar na margem esquerda. Foi observado também um aumento brusco da profundidade (aproximadamente 4 metros) a 200 metros da margem esquerda.

Observou-se também uma diminuição da profundidade para aproximadamente 2 metros a 400 metros da margem esquerda, seguida de uma suave elevação da profundidade chegam a mais de 3 metros e indicando a formação de um segundo canal na margem direita.



Fonte: O autor

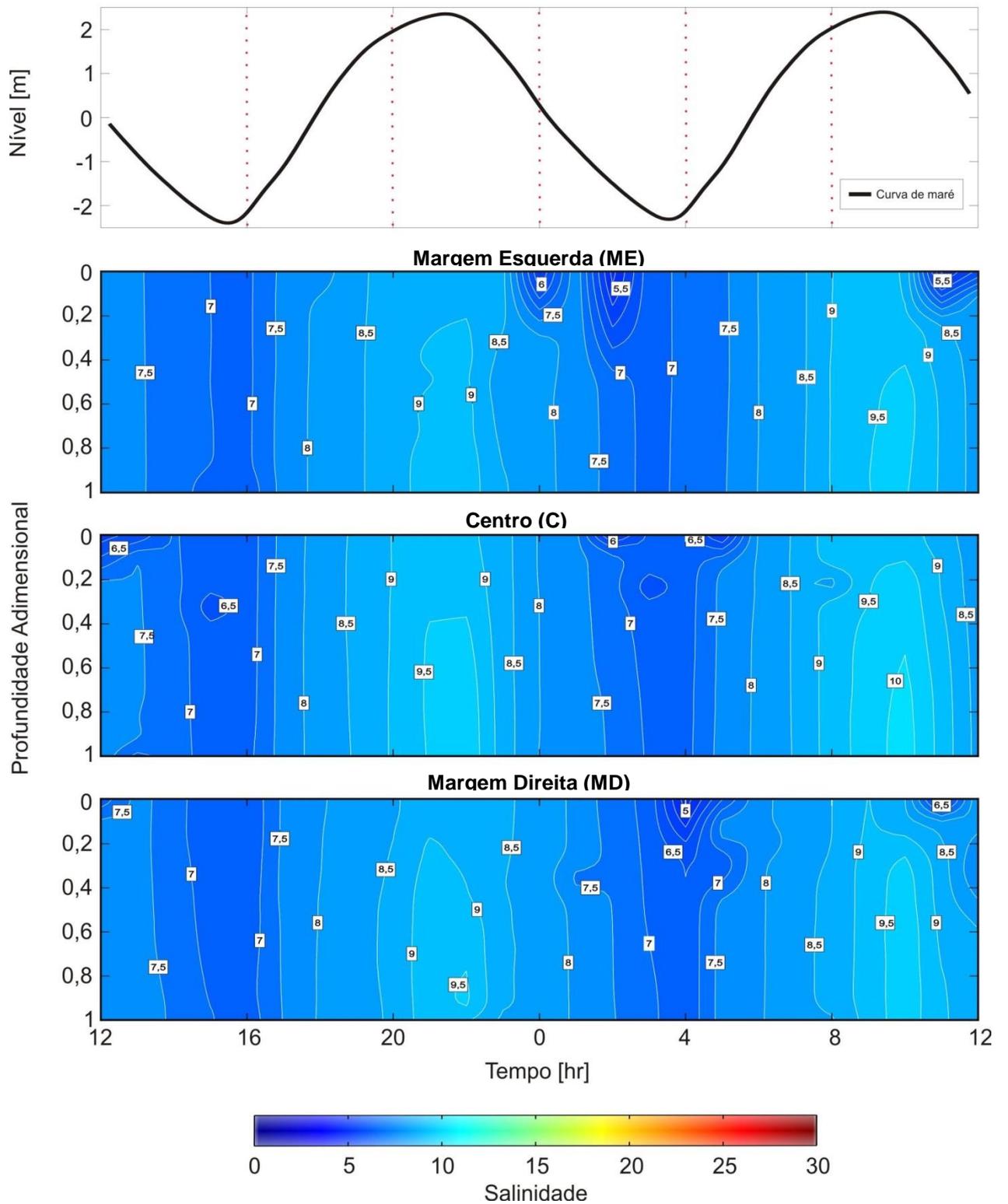
4.2. SALINIDADE

Os dados de salinidade foram coletados em duas metodologias diferentes, a primeira destinada a acompanhar a variação desse parâmetro ao longo do ciclo de maré nas duas campanhas (chuvoso e seco) e em três estações de coleta. A segunda voltou-se para a distribuição desses valores em séries mais longas do experimento nos dois períodos.

No período chuvoso, as três estações de coleta exibiram o típico padrão de redução da salinidade na vazante e suave elevação na enchente, atingindo seus respectivos extremos na baixa-mar (5,32) e preamar (10,34). A maior diferença entre esses extremos foi de 5,3 na margem direita (MD). Santos (2009) encontrou uma diferença máxima de 5 na análise do estuário da Ilha dos Caranguejos (MA), também no período chuvoso. Ainda na estação mais chuvosa, Pardal (2013) obteve um mínimo de salinidade 2,6 no Taperaçu, enquanto que no rio Mojuim esse valor foi de 4,72.

A variação espacial da salinidade não apresentou diferença significativa entre as três estações, sinalizando uma ligeira homogeneidade ao longo do canal. O gradiente vertical de salinidade (estratificação vertical) também se mostrou suave, com variação de 0,2 entre superfície e fundo. A variação significativa ocorreu somente entre os estágios de maré, com máximos valores na preamar (média de $9,5 \pm 0,2$) e mínimos na baixa-mar (média de $6,7 \pm 0,2$) (Tabela 3). A figura 10 revela como esses valores variaram com o ciclo de maré.

Figura 10 - Variação da superfície livre e isolinhas de salinidade ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Chuvoso)



Fonte: O autor

No período seco a salinidade foi mais elevada que no período chuvoso, variando entre 13,20 e 26,98 (figura 11). A maior variação entre os extremos (baixa-mar e preamar) ocorreu na estação do centro do canal (C), 14,57. Pardal (2013) observou no estuário do Taperaçu valor máximo de 37,5.

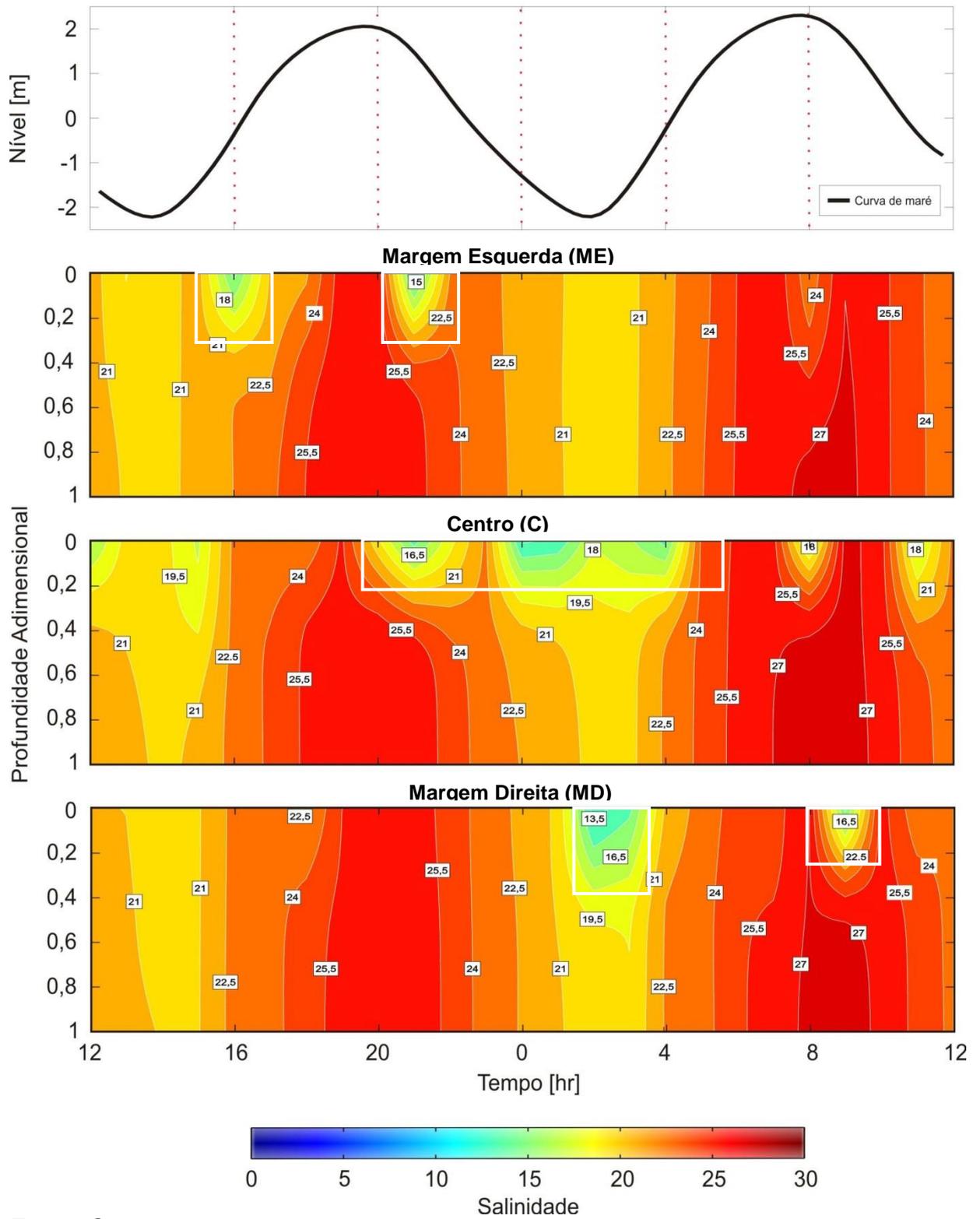
A mesma abordagem foi feita por Santos (2009) de onde conclui que “os valores de salinidade durante a enchente apresentaram-se levemente superiores àqueles observados durante a vazante. Porém não foram observadas variações significativas de salinidade entre a superfície e o fundo”.

A proximidade do estuário do rio Mojuim com a Baía do Marajó e o elevado índice pluviométrico acima da normal climatológica, influenciaram nos valores da salinidade neste período, por isso, estes valores foram menores que os observados por outros estudos na região do salgado Paraense. A presença das feições em destaque na figura 12, exibindo porções de água menos salinas na superfície, provavelmente está relacionada às conexões que o estuário possui com outros rios.

A estratificação da coluna d'água neste período também foi mais evidente que no período chuvoso. As máximas variações na coluna d'água ocorreram durante a preamar (média de $23,69 \pm 0.2$ e $27,22 \pm 0.2$) e as mínimas na baixa-mar (média de $19,76 \pm 0.2$ e $20,48 \pm 0.2$, superfície e fundo respectivamente) (Tabela 3).

O fluxo de vazante ocorre principalmente pela margem direita e no centro do canal, mostrando uma estratificação inversa na baixa-mar (água menos salina na superfície).

Figura 11 - Variação da superfície livre e isolinhas de salinidade ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Seco)



Fonte: O autor

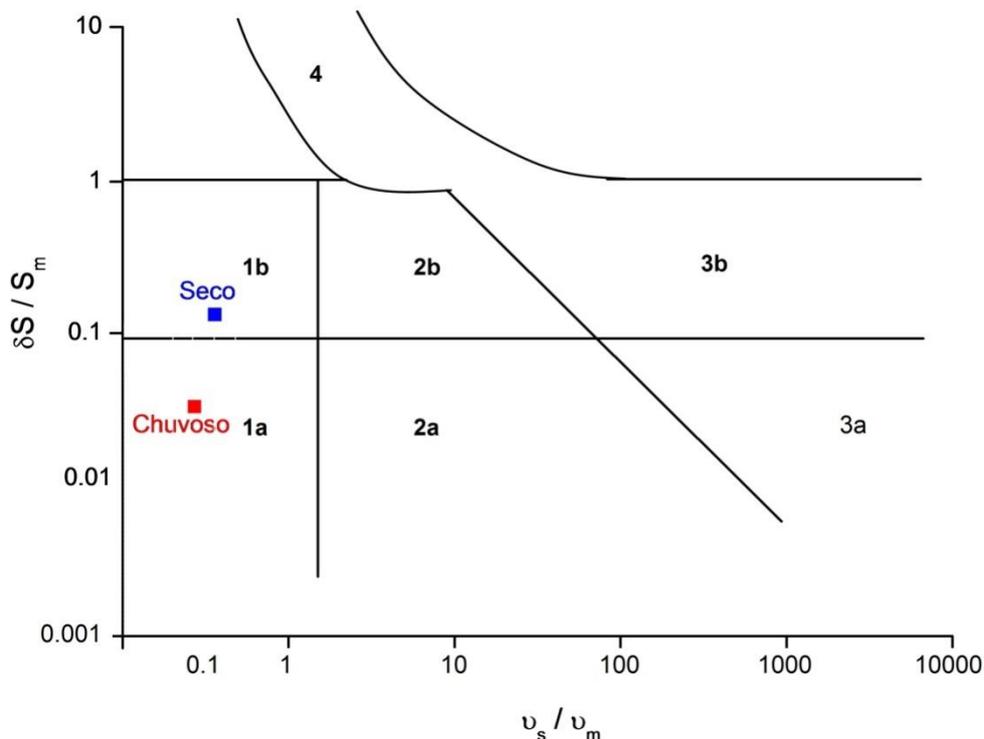
A partir dos dados de salinidade, foi possível construir a tabela abaixo e também elaborar o diagrama de estratificação-circulação de Hansen-Rattray (1966). Os valores calculados revelaram um estuário bem misturado (classificação 1) nos dois períodos (chuvoso e seco), porém verticalmente homogêneo no chuvoso (1a) e altamente estratificado no seco (1b), conforme descreve a figura 12.

Tabela 3: Médias dos valores de salinidade no período seco e chuvoso ao longo de um ciclo de maré

| Maré | Período | Profundidade | Média | Erro | Mínimo | Máximo |
|-----------|---------|--------------|--------|------|--------|--------|
| Enchente | Chuvoso | Superfície | 8.002 | .120 | 7.766 | 8.238 |
| | | Fundo | 8.068 | .123 | 7.827 | 8.309 |
| | Seco | Superfície | 23.084 | .120 | 22.848 | 23.320 |
| | | Fundo | 24.119 | .123 | 23.878 | 24.359 |
| Preamar | Chuvoso | Superfície | 9.419 | .269 | 8.891 | 9.946 |
| | | Fundo | 9.639 | .272 | 9.107 | 10.172 |
| | Seco | Superfície | 23.694 | .269 | 23.166 | 24.221 |
| | | Fundo | 27.220 | .274 | 26.682 | 27.758 |
| Vazante | Chuvoso | Superfície | 8.125 | .115 | 7.900 | 8.350 |
| | | Fundo | 8.359 | .117 | 8.130 | 8.589 |
| | Seco | Superfície | 21.829 | .115 | 21.604 | 22.054 |
| | | Fundo | 23.953 | .117 | 23.724 | 24.183 |
| Baixa-mar | Chuvoso | Superfície | 6.601 | .269 | 6.074 | 7.129 |
| | | Fundo | 6.802 | .274 | 6.264 | 7.339 |
| | Seco | Superfície | 19.765 | .269 | 19.237 | 20.292 |
| | | Fundo | 20.488 | .274 | 19.950 | 21.025 |

Fonte: O autor

Figura 12 - Diagrama estratificação-circulação de Hansen-Rattray

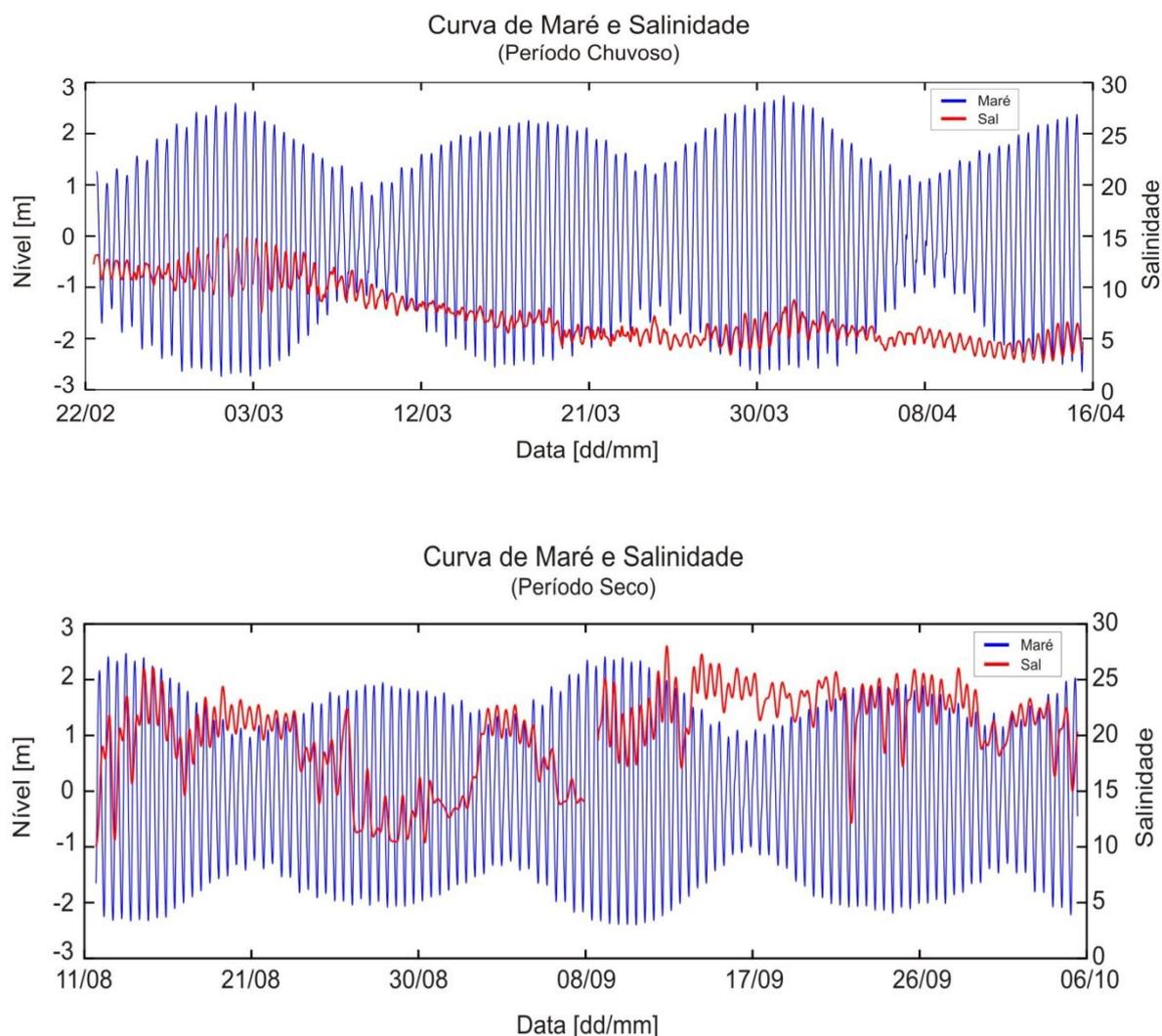


Fonte: O autor

O experimento com o sensor de pressão fixo ao píer foi responsável por coletar dados de salinidade em séries mais longas cujos registros duraram 53 dias no período chuvoso (de Fevereiro a Abril de 2014) e 56 dias no período seco (de Agosto a Novembro de 2014). A figura 13 revela uma redução da salinidade à medida que se avança para na leitura da série de dados, sempre com valores baixos e nunca maiores que 15. Uma vez no período seco, a salinidade atinge valores acima de 20 com frequência e alguns casos esse valor é acima de 25. Pardal (2013), também verificou águas mais salinas no período seco, e menos salina no chuvoso, na ocasião dos estudos no estuário do Taperaçu em Bragança-PA. E mesmo com uma taxa pluviométrica acima da média, a evaporação ocorrida nesse período favorece esse aumento da salinidade.

Assim como ocorreu nas estações de coleta (MD), (C) e (ME), o período seco se mostra como irregularidades nos padrões de salinidade, mostrando que se as conexões interferem nesses valores isso ocorre mais significativamente na estação menos chuvosa.

Figura 13 - Série temporal de salinidade obtida com o sensor fixo nos dois períodos



Fonte: O autor

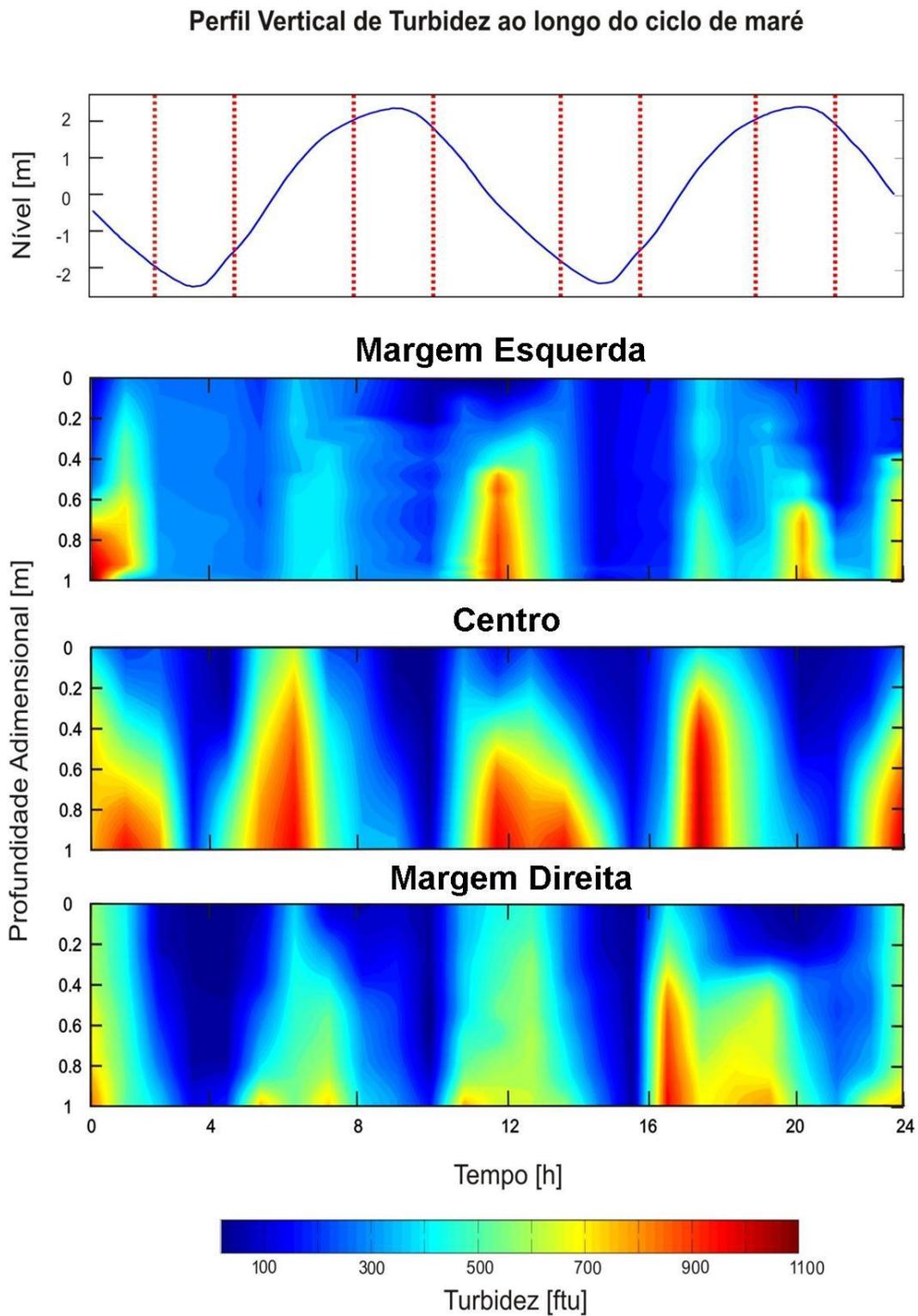
4.3. TURBIDEZ

Os dados de turbidez foram obtidos através de perfis contínuos ao longo da coluna d'água por um período de 25 horas para os períodos secos e chuvosos. Contudo, durante o período seco o equipamento foi danificado impossibilitando essa análise.

Os valores aferidos para a turbidez no período chuvoso demonstram que a região do centro da seção é mais dinâmica e também que os gradientes de turbidez aumentam próximo ao fundo já que nessa região o material é suspenso.

Durante os períodos de enchente, no centro da seção, ocorrem os máximos valores de turbidez, próximo a 1000 FTU (figura 14), e as margens apresentam valores menores (~500 FTU). Este padrão também é observado durante a vazante. Nota-se que essa variável se intensifica nas enchentes e vazantes em função da maior movimentação das águas e atinge seus mínimos nos momentos de estofas da maré. Resultados semelhantes foram encontrados por Mota et. al (2013) quando analisaram esse parâmetro no Canal do Pesqueiro em Soure-PA e por Ferreira (2013) na análise do rio Paracauari na ilha de Marajó-PA.

Figura 14 - Variação da superfície livre e isolinhas de turbidez ao longo de dois ciclos de maré nas três estações de coleta (Período Chuvoso)



Fonte: O autor

4.4. PERFIS DE VELOCIDADE

Na seção analisada, observou-se uma maré simétrica nos dois períodos coletados, onde o tempo de vazante e enchente são praticamente iguais. Enchente e vazante se desenvolvem em torno de 6 horas e 30 minutos.

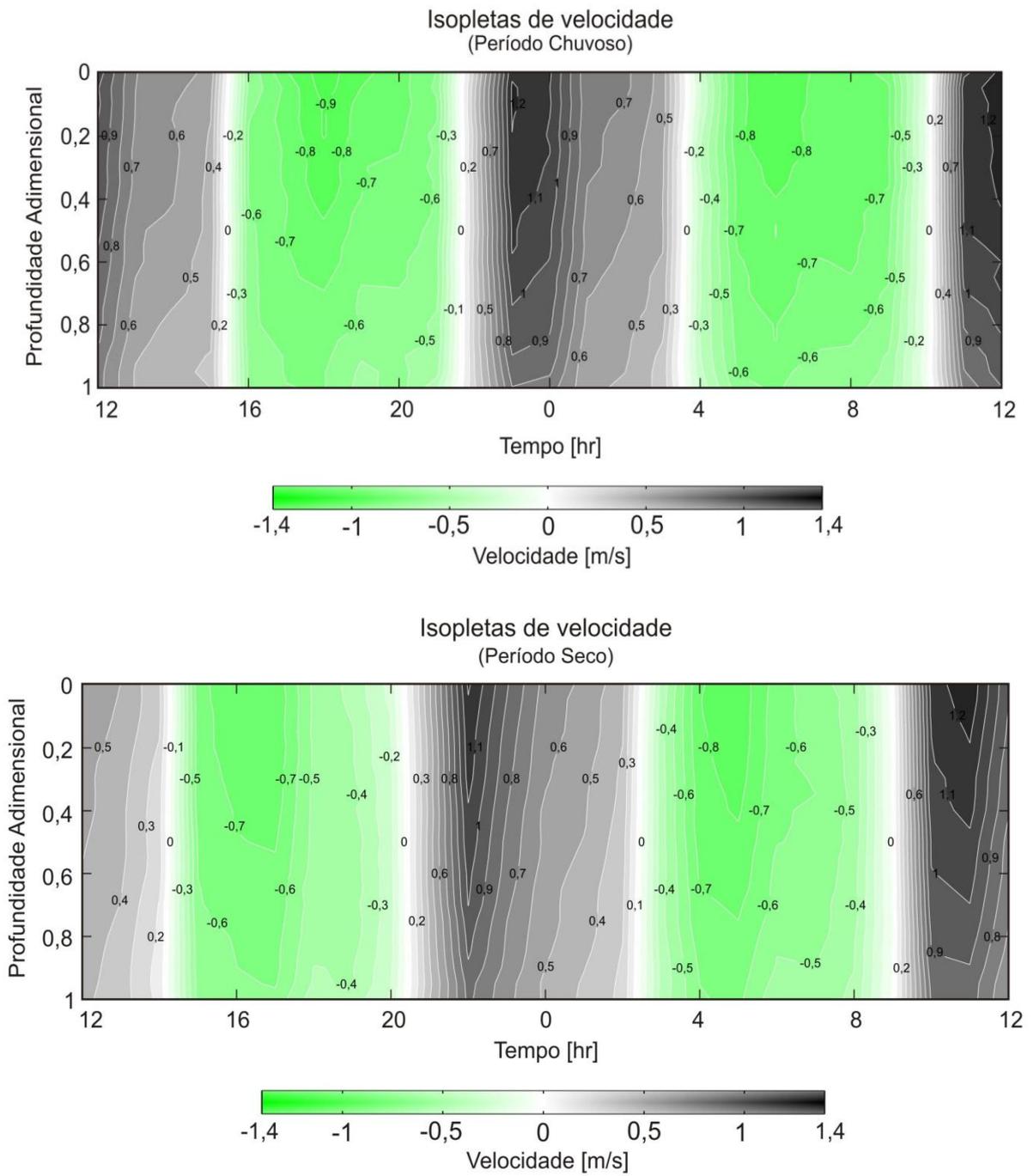
Para o período chuvoso, as velocidades de vazante variaram entre $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,8 \text{ m.s}^{-1}$ e as velocidades de enchente $-0,2 \text{ m.s}^{-1}$ a $-1,3 \text{ m.s}^{-1}$. No estuário do rio Caeté, localizado na cidade de Bragança-PA, Monteiro (2009) encontrou em Abril (chuvoso) a vazante com máxima de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ e a enchente com maior valor de $1,4 \text{ m.s}^{-1}$. Estudos da mesma natureza também foram realizados no rio Guajará-Mirim em Vigia-PA, e os valores encontrados por Fernandes (2014) para velocidade na vazante foi de $1,33 \text{ m.s}^{-1}$ enquanto na enchente o máximo foi de $1,15 \text{ m.s}^{-1}$.

Já no Período seco as velocidades de vazante ficaram entre $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,67 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que na enchente esses valores são $-0,4 \text{ m.s}^{-1}$ e $-1,9 \text{ m.s}^{-1}$. Nessa estação, Monteiro (2009) encontrou máximas de $1,1 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,4 \text{ m.s}^{-1}$ para enchente e vazante respectivamente. Fernandes (2014) aferiu máximas de $0,94 \text{ m.s}^{-1}$ (vazante) $1,00 \text{ m.s}^{-1}$ (enchente).

Observou-se que tanto para o período seco quanto para o chuvoso, as estofas de preamar e baixar-mar estão bem definidas com valores de velocidade 0. Outro aspecto observado foi que no período chuvoso, em função da pluviosidade, as correntes de vazantes são mais intensas que no período seco e transportam mais água doce para fora do estuário. Notou-se que tanto as correntes de enchente como as de vazante são ligeiramente mais intensas no período chuvoso.

A figura 15 descreve os perfis de velocidades para as enchentes e vazantes encontrados ao longo da coluna d'água nos dois períodos. E a partir da análise dessa figura, é possível concluir que há pouca diferença de velocidade entre as correntes do fundo e de superfície e esse mesmo resultado foi encontrado no estuário do Taperaçu por Pardal (2013): "As correntes na superfície apresentam valores ligeiramente maiores, quando comparadas com o fundo, sendo essa diferença de $0,11 \text{ m.s}^{-1}$ ", padrões e valores semelhantes aos encontrados no estuário do rio Mojuim.

Figura 15 - Isopletas de velocidade em profundidade adimensional ao longo de dois ciclos de maré



Fonte: O autor

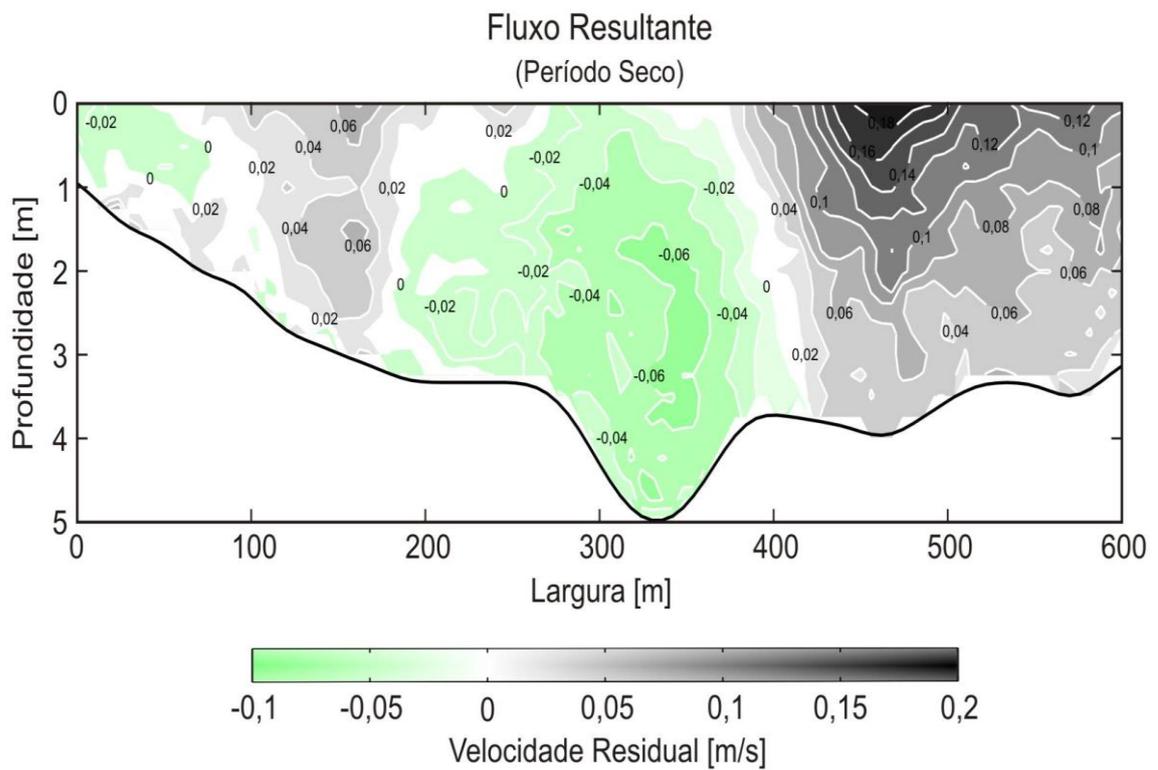
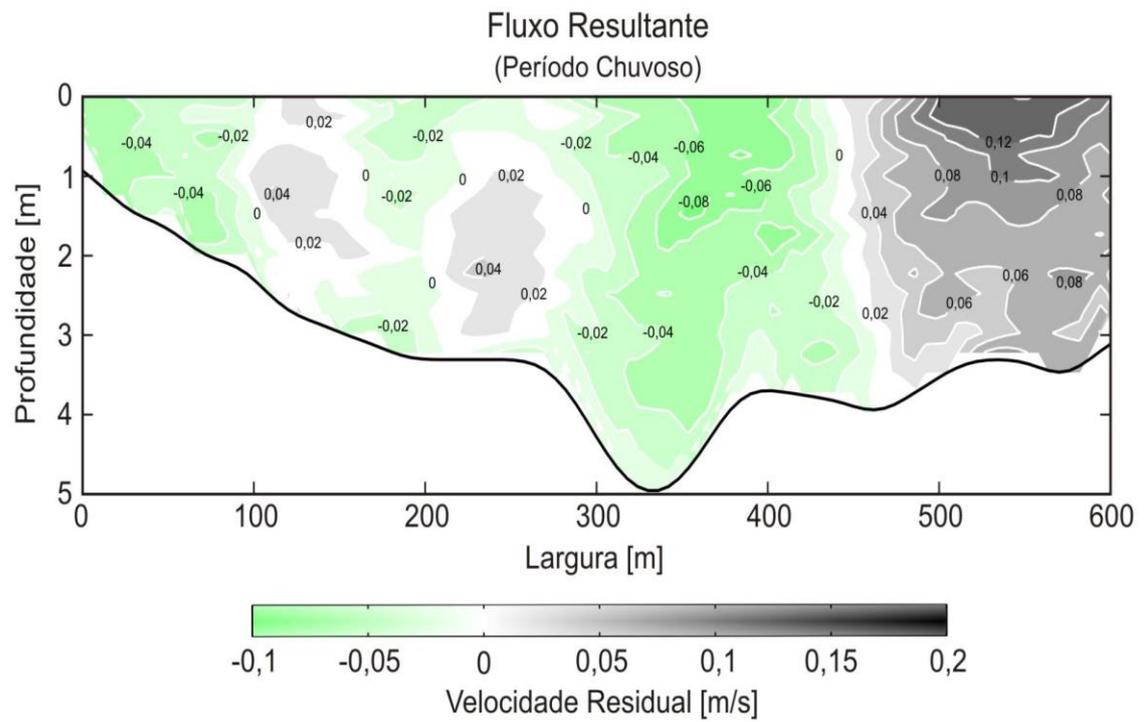
4.5. FLUXO RESULTANTE

Os resultados são obtidos através da integração espacial e temporal da propriedade e revelam o padrão de entrada e saída na calha da seção estudada. Na figura 16, é possível observar que a maré vaza predominantemente pela direita da calha nos dois períodos. Sendo que, esse fenômeno se intensifica no período seco. A morfologia da área reflete bastante esse efeito através do aumento da profundidade provocado pela degradação do fundo.

Padrões de vazante também são observados na região esquerda da seção, mas com menor intensidade e separados em células de fluxo distintas.

Em relação à enchente, é no centro da calha que se verifica a predominância desse fenômeno em ambos os períodos. Com ocorrência em menor escala na extrema esquerda da seção nos dois casos. Também foi notado que na margem esquerda há a formação de fluxos nos dois sentidos

Figura 16 - Resultante de fluxo para osdois períodos



Fonte: O autor

4.6. TRANSPORTE DE VOLUME

No período chuvoso, a seção estudada revelou um transporte de volume instantâneo de $-3.270,18 \text{ m}^3$ no pico de enchente e de $4.406,66 \text{ m}^3$ no pico de vazante, esses valores de descarga estão acompanhados dos mesmos sinais algébricos adotados para o fluxo. Nessa mesma estação esses picos encontrados por Fernandes (2014) foram -1.621 m^3 e 2.373 m^3 . Na estação menos chuvosa, os picos de enchente e vazante corresponderam a $-2.688,39 \text{ m}^3$ e $4.162,14 \text{ m}^3$, respectivamente.

Na figura 17, a qual descreve a relação entre oscilação da maré e o transporte, é visível a redução da descarga no período seco. Isso se deve, naturalmente, a redução do aporte hídrico advindo da pluviosidade. Esses resultados estão resumidos na tabela 4.

De posse dos dados de transporte de volume foi possível calcular o transporte resultante, um importante parâmetro sobre o comportamento hidrodinâmico do estuário. Na referida tabela estão esses valores, bem como o transporte resultante.

Figura 17 - Transporte de volume sobreposto à variação de superfície livre nos dois períodos

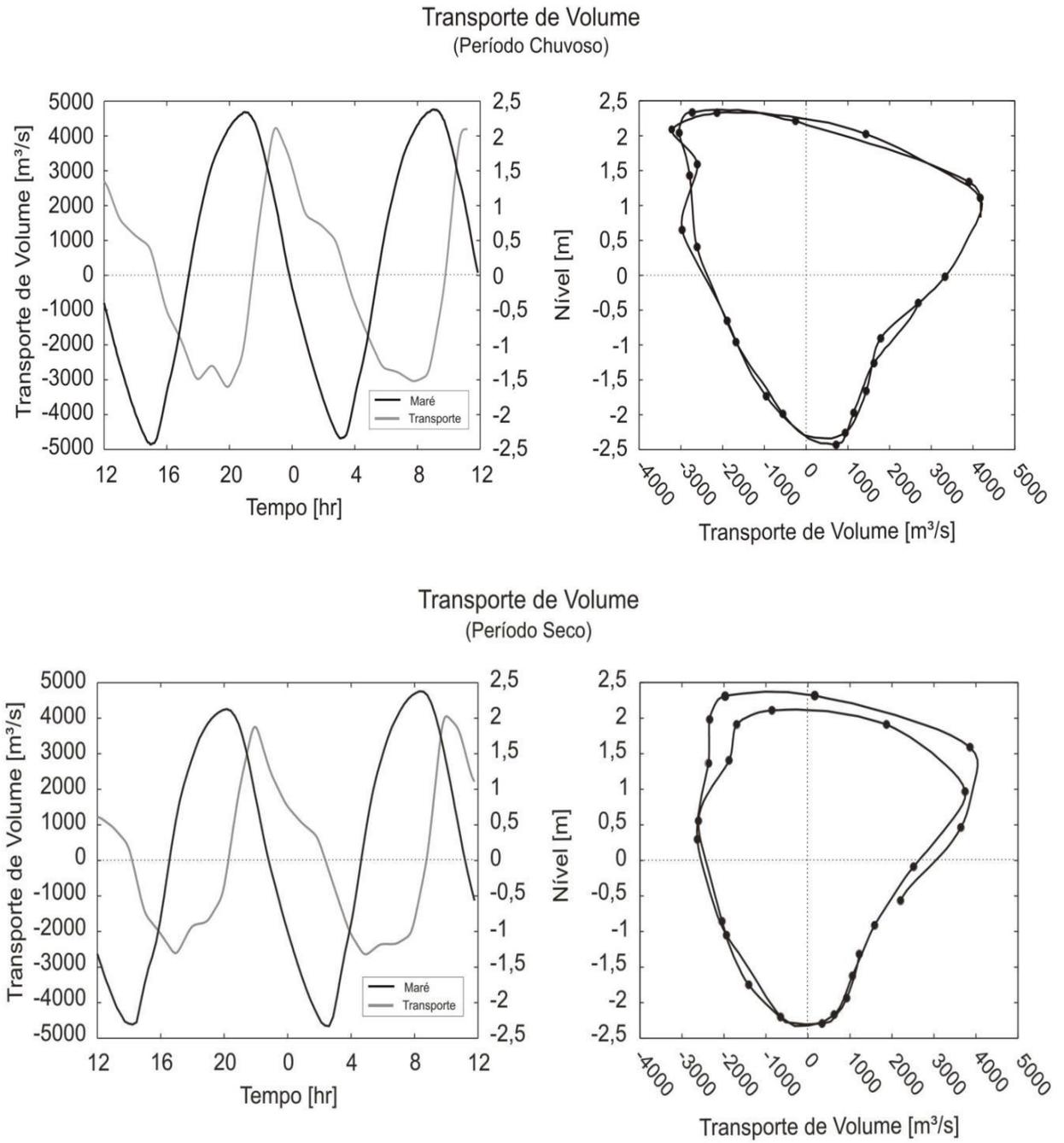


Tabela 4: Resumo dos valores de transporte de volume calculados

| Chuvoso | Seco |
|--|---------------------------|
| Transporte de Volume máx. (Q) [m³/s] | |
| Máx. Enchente = -3.270,18 | Máx. Enchente = -2.688,39 |
| Máx. Vazante = 4.406,66 | Máx. Vazante = 4.162,14 |
| Transporte de Volume (Q) [m³/s] | |
| Enchente = -2.121,31 | Enchente = -1.827,43 |
| Vazante = 2.025,44 | Vazante = 1.745,05 |
| Transporte de Volume Resultante (ΣQ) [m³/s] | |
| -95,87 | -82,38 |

Fonte: O autor

No período chuvoso o transporte resultante é de -95,87m³/s e no seco é de -82,38m³/s, esses resultados encontrados indicam que o estuário do rio Mojuim é do tipo importador nos dois períodos com uma descarga mais intensa no período chuvoso.

O fato do transporte resultante no período chuvoso ter apresentados valores maiores que no seco provavelmente está ligado à proximidade com a Baía do Marajó e à influência das conexões antes citadas.

4.7. COOSCILAÇÃO DE MARÉ

A maré registrada apresentou variações da superfície livre superiores a 4 metros, caracterizando-a como macromaré segunda a classificação de Davies (1964). A decomposição das constantes harmônicas para a maré do rio Mojuim, realizada através do pacote T_tide (PAWLOWICZ et al, 2002) , é apresentada na tabela 5.

Tabela 5: Constantes harmônicas da maré do estuário rio Mojuim

| Constante | Período (hora) | Amplitude (cm) | Fase | Constante | Período (hora) | Amplitude (cm) | Fase |
|-------------|----------------|----------------|--------|--------------|----------------|----------------|--------|
| MM | 661,288 | 2,56 | 7,16 | ETA2 | 11,755 | 4 | 72,91 |
| *MSF | 354,371 | 2,64 | 5,57 | *MO3 | 8,386 | 2,76 | 37,95 |
| ALP1 | 29,073 | 0,29 | 282,69 | *M3 | 8,280 | 2 | 74,1 |
| 2Q1 | 28,006 | 0,08 | 225,77 | *MK3 | 8,177 | 2,81 | 78,7 |
| Q1 | 26,868 | 1,86 | 209,57 | *SK3 | 7,993 | 0,86 | 97,82 |
| O1 | 25,819 | 9,04 | 240,86 | MN4 | 6,269 | 1,72 | 45,63 |
| NO1 | 24,833 | 0,38 | 86,9 | *M4 | 6,210 | 5,5 | 355,29 |
| P1 | 24,066 | 3,38 | 284,51 | *SN4 | 6,160 | 2,73 | 68,67 |
| K1 | 23,934 | 10,22 | 277,44 | *MS4 | 6,103 | 6,57 | 43,48 |
| J1 | 23,098 | 0,66 | 258,08 | S4 | 6,000 | 1,66 | 183,05 |
| OO1 | 22,306 | 0,56 | 103,12 | *2MK5 | 4,931 | 0,82 | 184,53 |
| UPS1 | 21,578 | 0,55 | 152,66 | 2SK5 | 4,797 | 0,16 | 299,77 |
| EPS2 | 13,127 | 3,09 | 289,32 | 2MN6 | 4,166 | 0,5 | 117,23 |
| MU2 | 12,872 | 18,07 | 308,21 | *M6 | 4,140 | 4,63 | 90,66 |
| N2 | 12,658 | 29,56 | 236,56 | *2MS6 | 4,092 | 6,2 | 137,67 |
| M2 | 12,421 | 159,43 | 243,79 | 2SM6 | 4,046 | 1,59 | 231,83 |
| L2 | 12,192 | 13,14 | 232,12 | *3MK7 | 3,530 | 0,44 | 343,62 |
| S2 | 12,000 | 49,08 | 283,25 | *M8 | 3,105 | 1,44 | 106,89 |
| K2 | 11,967 | 13,36 | 305,65 | *M10 | 2,484 | 0,47 | 266,69 |

Fonte: O autor

A partir das constantes harmônicas calculadas, foi determinado o número de forma (Nf), que caracteriza o tipo de maré, definida como a razão entre a soma das amplitudes das principais constituintes diurnas e semidiurnas (DEFANT, 1961).

Aplicando o Número de forma: $Nf = [K1] + [O1] / [M2] + [S2]$, onde M2, S2, O1 e K1 são lunar principal, solar principal, lunar principal diurna e luni-solar diurna respectivamente, podemos classificar:

- Maré semidiurna se $0 < Nf < 0,25$
- Maré semidiurna com desigualdade diurna se $0,25 < Nf < 1,5$
- Maré mista se $1,5 < Nf < 3,0$
- Maré diurna se $Nf > 3,0$

Para a área de estudo, encontrou-se o valor do Número de forma igual a 0,09237, o que caracteriza a maré da região como semidiurna.

5. CONCLUSÕES

Foi observado que o estuário do rio Mojuim é meandrante e composto por regiões côncavas mais profundas do que as convexas. Na calha da seção de coleta, foi notada uma baixa profundidade na margem esquerda e a ocorrência de dois canais, um mais profundo no centro e outro mais suave na margem direita. O estuário se encontra sob o regime de macromarés semidiurnas.

A salinidade aumenta nas enchentes e diminui nas vazantes, isso no período seco e no chuvoso. No período seco, as águas são notavelmente mais salinas que no chuvoso. Sendo que o estuário é bem misturado nos dois períodos, mas verticalmente homogêneo no chuvoso e altamente estratificado no seco, segundo o diagrama de Hansen e Rattray (1966). Foram encontrados os maiores valores de turbidez no período de enchentes e vazantes de maré em comparação com as estofas, assim como maiores valores no centro em comparação com as margens.

A maré é simétrica, com a enchente e a vazante se desenvolvendo com praticamente o mesmo intervalo de tempo. Também foi notado que os fluxos de vazantes ocorrem predominantemente pela margem direita e os fluxos de enchente pelo centro da seção, sendo que na margem esquerda há a formação de fluxos nos dois sentidos. Notou-se que tanto as correntes de vazante como as de enchente são ligeiramente mais intensas no período chuvoso que no seco. O estuário é importador nas duas estações sendo que a maior descarga ocorreu no período chuvoso.

Em estudos complementares, pode se fazer a análise de material de fundo do e material particulado em suspensão para subsidiar o transporte de sólidos na região. Com os esses resultados, as demandas governamentais antes citadas ganham uma expressiva resposta, uma vez que o funcionamento dos parâmetros apresentados também são reguladores da fauna, flora e geomorfologia estuarina. Os dados levantados nessa pesquisa podem servir de subsídio à implantação de modelos numéricos capazes de prognósticos sobre a intrusão do sal e a importação de sedimentos e nutrientes.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. Geomorfologia do Corredor Carajás-São Luís. In:_____. Amazônia: do discurso a Praxis. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2004, p. 67-89.
- ALMEIDA, S. S. Estrutura e florística em áreas de manguezais paraenses: evidências da influência do estuário Amazônico. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém: MPEG, 1996, v.8, p.93-100.
- AVIZ, D.; MELLO, C. F.; SILVA, P. F. Macrofauna associada às galerias de *Neoteredoreynei*(Bartsch, 1920) (Mollusca: Bivalvia) em troncos de *Rhizophoramangle*Linnaeus durante o período menos chuvoso, em manguezal de São Caetano de Odivelas, Pará (costa norte do Brasil). Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, v. 4, n. 1, p. 47-55. 2009.
- BARBOSA, G.; PINTO, M. Geomorfologia da Folha AS-23 (São Luís) e parte da Folha SA-24 (Fortaleza). In: BRASIL: Projeto Radam Brasil. Folha As 23 São Luís e Parte da Folha AS 24 Fortaleza: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e usos potenciais da terra. Rio de Janeiro: DNPM, v. 2, p. 3-26. 1973.
- BARRETO, G. A. M. O papel da Maré e da descarga fluvial na circulação do estuário do rio Araranguá, 2011. 42f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BARROS, D. F.; TORRES, M. F.; FREDOU, F. L. Ictiofauna do estuário de São Caetano de Odivelas e Vigia. *Biota Neotrop.*, Vol 11, n 2, p. 367-373, 2011.
- BRASIL. Decreto nº 4.340, de 13 de dezembro de 2002.
- CSIRO MatLAB Seawater Library, Phil Morgan, CMR (maintained by Lindsay Pender), last updated December 2003. Disponível em <http://www.marine.csiro.au/~morgan/seawater/>, acessado em 28.09.2014.
- DAVIES, J. L. (1964), A morphological approach to world shorelines, *Zeitschrift fur Geomorphologie* 8, 127–142.
- DEFANT, A. 1961. *Physical oceanography*. Oxford, Pergamon Press. v. 2, 598 p.
- DYER, KR. 1997. *Estuaries: A physical introduction*. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 195 p.
- ELLIOT, M.; MCLUSKY, D. S. The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 55, n. 6 p. 815-827. 2002.

FERNANDES, A. R. P. Caracterização hidrodinâmica do furo da Laura (rio Guajará-Mirim), Amazônia Oriental. 2014. 45 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Curso de Pós-graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

FERREIRA, G. P. Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimentos na região fluvio-estuarina do rio Paracauari – ilha de Marajó – Pará. 2013. 102p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.

GENZ, Fernando; CIRANO, Mauro; LESSA, Guilherme Camargo. ProcED: a MATLAB package for processing ADCP estuarine data. Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 28, n. 2, June 2010.

HANSEN, D. V. & RATTRAY, M. (1966). New Dimensions in Estuary Classification, Limnol. and Oceanog., jul., v. 11 n° 3.

HILL, K; DAUPHINEE, T.; Woods, D. The extension of the practical salinity scale 1978 to low salinities. IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-11, n. 1, January 1986.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeto Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212p.

ICMBIO-INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Estudo socioambiental Referente à Proposta de Criação de Reserva Extrativista Marinha no Município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará. Brasília, 2014. 102p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA - INMET. Rio de Janeiro, 2014.

LEXARTZA-ARTZA I.; WAINWRIGHT J., 2009. Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications. Catena 79, 146-152.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C.A.B. Processos de gestão de bacias hidrográficas na zona costeira. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2002.

MACIEL, I. L. S. O mangue como unidade geográfica de análise: o espaço de vivência e produção comunitária nos manguezais da comunidade de Jutai no município de São Caetano de Odivelas – Pa, 2009. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. Princípios de Oceanografia Física dos estuários. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 134 p.

MONTEIRO, M. C.; Aspectos hidrodinâmicos, hidrológicos e microbiológicos do estuário do rio Caeté. 2009. 70 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Bragança, 2009.

MORAES, B.C. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*.V.35, p. 207-214, 2005.

MOTA, C. C.; ROSÁRIO, R. P.; COSTA, M. S. ROLLNIC, M.; Variação sazonal da turbidez da água durante um ciclo de maré no canal do Pesqueiro-Soure/Pa. 13º Simpósio de geologia na Amazônia – Belém, 2013.

OLIVEIRA, J.; POTIGUARA, R. C. V.; LOBATO, L. C. B. Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, v. 1, n. 2, p. 113-127, 2006

PARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2012.

PARDAL, E. C.; Oscilação espaço temporal de variáveis hidrodinâmicas e hidrológicas em período de quadratura em um estuário amazônico. 2013. 77 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Bragança, 2013.

PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers and Geosciences* v.28 p. 929-937.

PICANÇO, M. S. M. A formação vegetal do Município de São Caetano de Odivelas (PA) por meio de produtos de sensoriamento remoto. *Revista geonorte, Edição Especial* , V. 1, N.4 p .113 – 124 , 2012.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary: physical view point. In: LAUFF, G. H. *Estuaries*. Washington: American Association for the Advancement of Science, Publication, 1967. P. 3-5

PROST, M. T., A. C. MENDES, J. F. FAURE, J. F. BERREDO, M. E. C. SALES, L. G. FURTADO, M. G. S. SILVA, C. A. SILVA, I. NASCIMENTO, I. GORAYEB, M. F. V. SECCO & L. M. LUZ, 2001. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: M. T. PROST & A. C. MENDES: *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*: 75-87. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

SANTOS, J. P. M. dos; Morfologia de fundo e sedimentologia da baía de São Marcos-MA ilha dos carangueijos: implicações hidrodinâmicas e ecológicas. 2009. 57 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Bragança, 2009.

SECRETARIA DE ESTADO DE PESCA E AQUICULTURA, – SEPAq. Belém, 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS DO PARÁ – SEPOF. Belém, 2012.

SVARNEY, T.E.; BARNES-SVARNEY, P. The Handy ocean answer book. Michigan: Visible Ink Press, 2000. 570 p.

UNDERWOOD, G. J. C.; KROMKAMP, J. Primary production by phytoplankton and microphytobenhtos in estuaries. *Advances in Ecological Research*, v. 29, p93-153. 1999.

VILAS BOAS, D. F. Distribuição e comportamento dos sais nutrientes elementos maiores e metais pesados na Lagos de Patos, RS. 1999. 122f Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 1990.

WARD, J.V.; TOCKNER, K.; ARSCOTT, D.B.; Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47(4), 517-539.

YÁÑES-ARANCIBIA, A. Ecologia de la zona costera: analisis de sietetopicos. México:AGT, 1986, 189p.

