



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

ALDO RAFAEL PASCOAL FERNANDES

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO FURO DA LAURA (RIO GUAJARÁ-
MIRIM), AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM – PA

2014

ALDO RAFAEL PASCOAL FERNANDES

“CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO FURO DA LAURA (RIO GUAJARÁ-
MIRIM), AMAZÔNIA ORIENTAL”

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

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

BELÉM – PA

2014

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

Fernandes, Aldo Rafael Pascoal, 1991-

Caracterização hidrodinâmica do furo da Laura (rio Guajará-Mirim), Amazônia Oriental / Aldo Rafael Pascoal Fernandes. – 2015.

47 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, 2014.

1. Hidrodinâmica. 2. Geofísica – processamento de dados. 3. MATLAB (Programa de computador). 4. Geofísica marinha – Colares (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 532.5

ALDO RAFAEL PASCOAL FERNANDES

“CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO FURO DA LAURA (RIO GUAJARÁ-
MIRIM), AMAZÔNIA ORIENTAL”

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

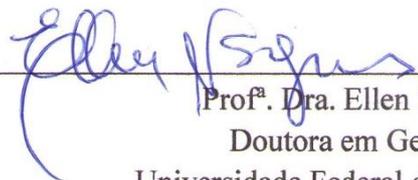
Data de Aprovação: 01/12/2014

Conceito: Bom

Banca Examinadora:



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



Prof.^a. Dra. Ellen Gomes
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Alex Costa Silva
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco

EPÍGRAFE

Amar o perdido
deixa confundido
este coração.

Nada pode o olvido
contra o sem sentido
apelo do Não.

As coisas tangíveis
tornam-se insensíveis
à palma da mão.

Mas as coisas findas,
muito mais que lindas,
essas ficarão.

Carlos Drummond de Andrade

Quero ficar no teu corpo
Feito tatuagem
Que é pra te dar coragem
Pra seguir viagem
Quando a noite vem
[...]
Quero ser a cicatriz
Risonha e corrosiva
Marcada a frio
Ferro e fogo
Em carne viva

Tatuagem - Francisco Buarque de Hollanda

RESUMO

Conhecer e preservar nossos ambientes costeiros e estuarinos são de grande importância para o desenvolvimento local e regional, visto que nesses ambientes estão localizadas a maioria das cidades e servem de berço para vários espécimes, não obstante levantar informações desses ambientes e conhecer seus padrões característicos e sazonais são aspectos importantes. Nesse contexto, o Furo da Laura (Rio Guajará-mirim), ambiente estuariano transicional e de importante atuação no âmbito econômico e social para as comunidades ribeirinhas, cidades e arredores, serve como uma das principais rotas de entrada de insumos pesqueiros para o estado. O Furo da Laura é um corpo d'água adjacente a Baía do Marajó, possui duas conexões com o mesmo e está sob sua influência direta, localiza-se nas coordenadas UTM 22M, 796169-830035 W e 9880864-9916228 S, mediante isso foram realizadas três campanhas oceanográficas, período seco (outubro 2013), período chuvoso (fevereiro 2014) e seco (agosto 2014), a esse importante curso d'água com utilização de equipamentos para aferição de parâmetros geofísicos na região, tais como, batimetria, hidrodinâmica, variação de superfície livre e salinidade. Observou-se de posse desses parâmetros o comportamento hidrodinâmico, classificação e amplitude de maré, diferença de fase entre enchente e vazante, tendência de salinidade no curso d'água em resposta a Baía do Marajó, além da identificação das feições morfológicas características e análise sazonal dessas mudanças nas seções de coleta 1 e 2 pré-estabelecidas, bem como, mapeamento e confecção de um mapa batimétrico da área de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrodinâmica. Geofísica. MATLAB. Geofísica marinha – Colares (PA).

ABSTRACT

Preserve our coastal and estuarine environments are of great importance to local and regional development, as these environments are located most cities and serve as a cradle for several specimens, despite these environments gather information and know their characteristic and seasonal patterns are important aspects. In this context, Laura hole (Rio Guajará-Mirim), transitional estuarine environment and important role in the economic and social framework for coastal communities, cities and surroundings, serves as one of the main routes of fishing inputs to the state. The Hole Laura is a water body adjacent to Marajó Bay, has two connections to the same and is under their direct influence, is located at coordinates UTM 22M, 796169-830035 W and S 9880864-9916228 through it were held three oceanographic, dry season (October 2013), the rainy season (February 2014) and dry (August 2014), this important stream with use of equipment for measurement of geophysical parameters in the region bathymetry, hydrodynamic, tide variation and salinity. There was in possession of these parameters the hydrodynamic behavior, classification and tidal range, phase difference between ebb and flood, salinity trend in the stream in response to the Marajó Bay, besides the identification of morphological features characteristics and seasonal analysis these changes in the collection of sections 1 and 2 pre-established, as well as mapping and preparation of a bathymetric map of the study area.

KEYWORDS: Hydrodynamic. Geophysic. MATLAB. Marine Geophysic - Colares (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Dados de Precipitação e Temperatura para o ano de 2014 na cidade de Vigia-PA. ...	12
Figura 2 Malha de sondagem batimétrica do FL.	14
Figura 3 a) Ecossonda de sondagem batimétrica GPSmap 421s da marca Garmin b) Transdutor.	14
Figura 4 ADCP RIO Grande 600 kHz instalado em um catamarã.	15
Figura 5 Croqui com a localização das seções, sentido convencional da componente transversal de velocidade e dos sensores multiparâmetro.	17
Figura 6 Sensor de pressão Solinst Levelogger Model 3001 com sensor de condutividade.	18
Figura 7 Mapa de localização da área de estudo a) América do Sul b) Estado do Pará c) Ilha de Colares e Furo da Laura (FL) com sensores de pressão e condutividade 01, 02, 03 e 04 d) desembocadura norte do FL, seção 01, MD (Margem direita, continental) e ME (Margem esquerda, insular) e) desembocadura sul do FL, seção 02, MD (Margem direita, continental) e ME (Margem esquerda, insular).	24
Figura 8 Mapa batimétrico do Furo da Laura; Desembocadura norte Setor A; Região central Setor B; Desembocadura sul Setor C.	28
Figura 9 Variação sazonal entre o período chuvoso e seco da Seção de coleta 1.	29
Figura 10 Variação sazonal entre o período chuvoso e seco da Seção de coleta 2.	29
Figura 11 a.1) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 1 período chuvoso a.2) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 2 período chuvoso a.3) Variação de superfície livre seção 1 (azul) seção 2 (verde).	30
Figura 12 b.1) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 1 período seco b.2) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 2 período seco b.3) Variação de superfície livre seção 1 (azul) seção 2 (verde).	31
Figura 13: a) Resultante de fluxo seção 1 período chuvoso b) Resultante de fluxo seção 1 período seco.	33
Figura 14: a) Resultante de fluxo seção 2 período chuvoso b) Resultante de fluxo seção 2 período seco.	34
Figura 15 Transporte de volume sobreposto a variação de superfície livre das seções 1 e 2 nos períodos chuvoso e seco.	35
Figura 16: a) Série de dados de maré Sensor 01 b) Série de dados de maré Sensor 03 c) Série de dados de maré Sensor 02 e d) Série de dados de maré Sensor 04.	37
Figura 17: Série temporal de salinidade obtida com o sensor 02.	38
Figura 18: Série temporal de salinidade obtida com o sensor 03.	38
Figura 19 Mapa conceitual de propriedades e parâmetros.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equipamentos e softwares utilizados para coleta e processamento de dados no FL 13	
Tabela 3: Especificações potenciais do ADPC utilizado durante as campanhas	16
Tabela 4: Localização da instalação dos sensores de pressão utilizados para medição da altura de maré	27
Tabela 5: Resumo dos resultados apresentados para a velocidade de fluxo	32
Tabela 6: Transporte de volume resultante.....	35
Tabela 7: Caracterização da maré em relação aos quatros sensores dos arredores da Ilha de Colares.....	37

SUMÁRIO

I	INTRODUÇÃO	10
1.1	MOTIVAÇÃO	10
1.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	GERAL	12
1.3.2	ESPECÍFICO	12
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS	13
1.4.1	LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	13
1.4.2	LEVANTAMENTO HIDRODINÂMICO	15
1.4.3	LEVANTAMENTO DE VARIAÇÃO DE SUPERFÍCIE LIVRE E SALINIDADE	17
1.5	PROCESSAMENTO	18
1.5.1	BATIMETRIA	18
1.5.2	HIDRODINÂMICA	19
1.5.3	VARIAÇÃO DE SUPERFÍCIE LIVRE E SALINIDADE	19
	REFERÊNCIAS	21
II	CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO FURO DA LAURA (RIO GUAJARÁ-MIRIM), AMAZÔNIA ORIENTAL	23
	ANEXOS	48

INTRODUÇÃO

O presente trabalho de dissertação será apresentado em dois capítulos: o primeiro com uma visão geral do problema abordado, bem como a área estudada e os materiais utilizados; e o segundo capítulo, o artigo “*Hydrodynamic Characterization of Furo da Laura (Guajará-mirim river), eastern Amazon*” a ser submetido à revista *Journal of Coastal Research*, cuja norma para publicação se encontra no Anexo I.

A metodologia deste trabalho se baseou em três momentos complementares: 1) levantamento de dados pretéritos, 2) coleta de dados e 3) tratamento e integração dos dados coletados. A primeira consistiu em levantamento bibliográfico e um pré-campo para reconhecimento da área e elaboração de estratégia de coleta e aquisição de contatos logísticos na referida área. A segunda foi a execução de duas campanhas de coleta que ocorreram em três momentos: seco (outubro de 2013), chuvoso (fevereiro de 2014) e seco (agosto de 2014), com levantamento de dados batimétricos, hidrodinâmica (intensidade e direção de corrente), variação de superfície livre e salinidade, sendo estes dois últimos parâmetros obtidos na campanha de 2013. A última etapa, de posse da realização de toda a coleta de dados, foi o processamento dos dados com softwares e rotinas adaptadas para esse fim, nesse momento as condições observadas em campo, os dados brutos e tratados complementaram a interpretação e suas inferências.

1.1 – MOTIVAÇÃO

A Amazônia possui uma das maiores bacias hidrográficas do mundo, abrangendo uma área aproximada de 6.112.000 Km² que, somada à bacia do Tocantins, perfaz uma área total de 6.869.000 Km², a descarga média dos rios Amazonas e Tocantins é de 213.000 m³/s (COBRAPHI, 1984). Estas águas desembocam no Oceano Atlântico, na costa dos Estados do Pará e Amapá, formando um ambiente aquático complexo, denominado de Estuário do Amazonas.

A costa do estado do Pará estende-se por cerca de 560 km e abrange 123 comunidades pesqueiras artesanais, distribuídas ao longo de 17 municípios costeiros (PAIVA, 1997). Nesta região do estado destaca-se a presença de manguezais, igarapés, rios e estuários. (BRITO *et al.*, 2002).

Nesse cenário costeiro situam-se dois municípios com importância histórica e econômica para o Estado do Pará: Vigia e Colares. Vigia apresenta uma localização estratégica, que historicamente, para se ter acesso a capital, Belém, era necessária a passagem pelo Município, o qual se tornou um ponto fiscal de embarcações com insumos que abasteciam e abastecem a capital atualmente (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008). Colares é uma ilha com cerca de 250 Km², separada do continente pelo Furo da Laura (Rio Guajará-mirim) (BARBOSA, 2007) que apresenta uma feição diferenciada, possui duas conexões com a Baía do Marajó que distam aproximadamente 40 Km entre si e ao longo do seu percurso influencia pequenos canais de maré, a sede da ilha é a cidade homônima que localiza-se as margens da Baía do Marajó, distando aproximadamente 93,3 Km da capital do Estado do Pará, com acesso pelas rodovias BR-316, PA-140 e PA-238, onde, na localidade de Penha-Longa, a travessia é feita por meio de balsa. Limita-se ao norte com a Baía do Marajó, ao sul com o Município de Santo Antônio do Tauá, a leste com o Município de Vigia e a oeste com a Baía do Sol (SILVA *et al*, 2001).

Em meio ao contexto dos dois municípios supracitados, está localizada a área de estudo, o Furo da Laura (FL), onde foram realizadas coletas de parâmetros físicos, tendo em mente que, no levantamento bibliográfico feito notou-se que há poucos trabalhos com essa abordagem, não obstante, trabalhos da área de geografia, sociologia, de ictiofauna e de aplicação veterinária (BARBOSA, 2007; BRITO, 2002; BARROS, 2011; RITTER, 2012), foram encontrados e serviram de base para um olhar mais amplo sobre a região. O trabalho em questão visa a lacuna de conhecimentos sobre os processos físicos do FL e tem como finalidade preenchê-la, contribuindo para projetos futuros de novos dados na área e adjacências.

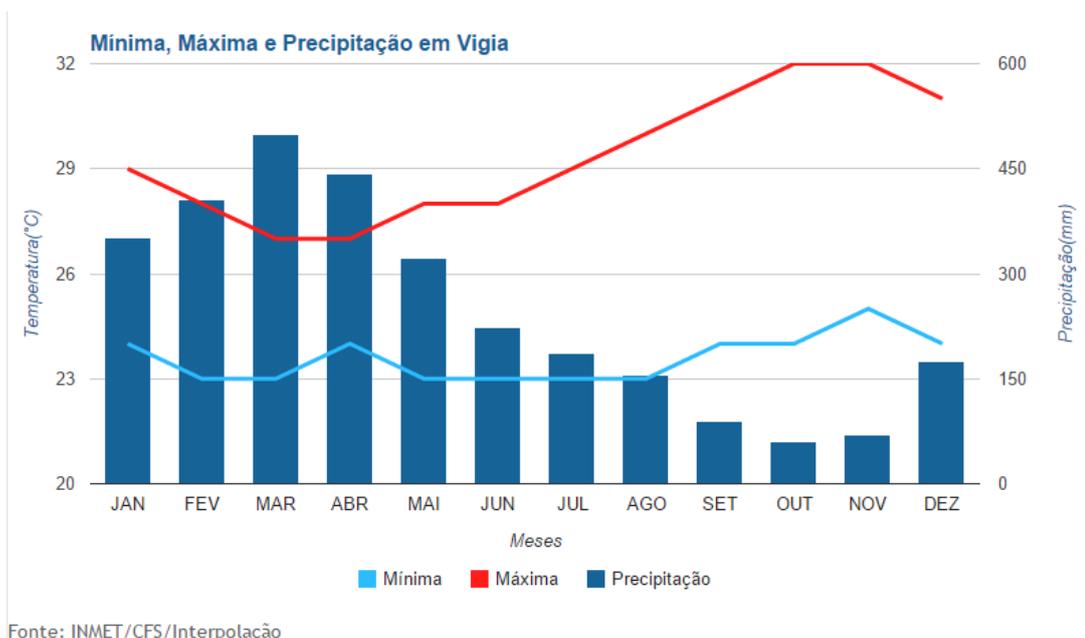
1.2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O FL está localizado na mesoregião nordeste do Pará e microrregião do Salgado, distando 77Km da capital Belém (IBGE, 2008), tendo como principais limitantes a cidade de Vigia, Ilha de Colares e comunidades ribeirinhas; aproximadamente entre as coordenadas UTM 22M, 796169-830035 W e 9880864-9916228 S..

Segundo Moraes *et al.* (2005) a região apresenta clima equatorial amazônico típico, com temperaturas que variam de 26 °C a 39 °C. Quanto ao regime pluviométrico, há uma separação entre o período chuvoso e seco (menos chuvoso), o período chuvoso corresponde

aos seis primeiros meses do ano, tem elevada precipitação, máxima de 2800 mm, já no período seco, seis últimos meses do ano, a precipitação atinge valores de 2300 mm. Durante o ano da campanha o período chuvoso atingiu máximo de 500 mm e no período seco obteve-se 60 mm, meses de março e outubro, respectivamente (Figura 01) (Instituto Nacional de Meteorologia, 2014).

Figura 1 Dados de Precipitação e Temperatura para o ano de 2014 na cidade de Vigia-PA.



1.3 – OBJETIVOS

1.3.1 – Geral

Caracterizar os processos físicos presentes no Furo da Laura (Rio Guajará-Mirim): variabilidade diária (ciclo de Maré) e sazonal (período chuvoso e seco).

1.3.2 – Específicos

- Descrever a hidrodinâmica do FL em função da variação da maré;
- Analisar a propagação da maré e a salinidade no FL no período seco;
- Caracterizar a morfologia de fundo.

1.4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos utilizados na coleta (Tabela 1) foram devidamente programados com seus respectivos softwares.

Tabela 1: Equipamentos e softwares utilizados para coleta e processamento de dados no FL

Equipamento / <i>Software</i>	Quantidade	Finalidade
Ecossonda Garmin GPSmap 421s 50/200 kHz	1	Realização do levantamento batimétrico no rio para compreensão da morfologia
ADCP ¹ (Acoustic Doppler Current Profiler) Workhorse Rio Grande 600 kHz	2	Aquisição de dados hidrodinâmicos e batimetria nas duas seções propostas
Sensor multiparâmetro (Condutividade e Pressão) Solinst Levelogger Model 3001	4	Obtenção de séries numéricas de variação da altura de coluna d'água e salinidade
MatLAB, GPS TrackMaker, Google Earth, Office BR, Surfer	-	Softwares necessários para tratamento dos dados coletados em campanha

FONTE: O autor

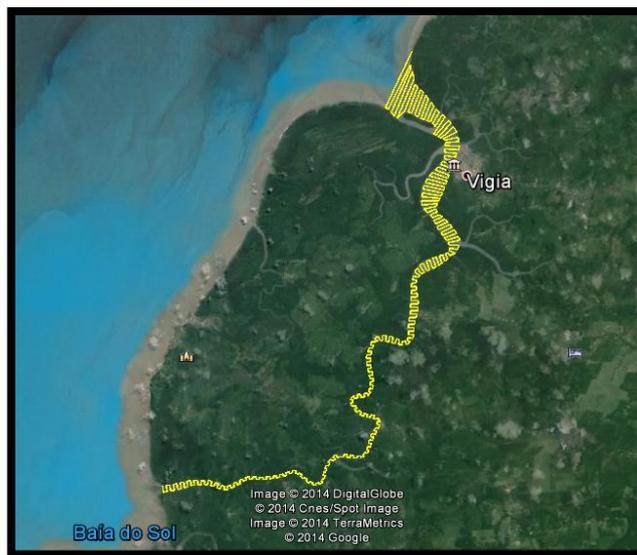
As campanhas de coletas abregeram cinco parâmetros distintos e complementares batimetria, campo de velocidade, transporte de volume, variação de superfície livre e salinidade.

1.4.1 – Levantamento Batimétrico

A coleta de dados batimétricos deu-se no período chuvoso 14, 15 e 16 de fevereiro de 2014, onde foram coletadas 152 Km de malha batimétrica (Figura 2), com perfis espaçados em 200 m, utilizou-se uma ecossonda Gamin GPSmap 421s 50/200 kHz (Figura 3a).

¹ ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ou PACD (Perfilador Acústico por Efeito Doppler), para seu funcionamento são necessários um notebook, bateria 12 V, cabo serial/USB RS232 chipset CH340 e software do fabricante. Seu funcionamento é através do envio e recepção de ondas que são processadas e através das mesmas obtidas informações de profundidade, velocidade e direção de fluxo de corrente.

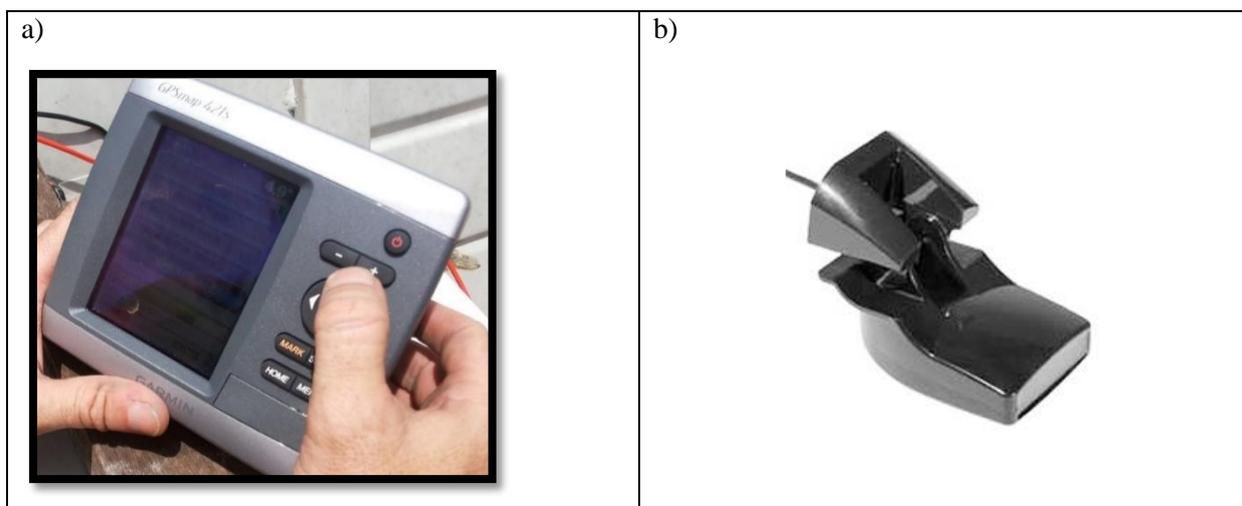
Figura 2 Malha de sondagem batimétrica do FL.



FONTE: O autor

O transdutor da ecossonda (Figura 3b) foi instalado à lateral da embarcação estando 0,5 m abaixo da linha d'água, a velocidade da embarcação foi controlada (abaixo de 9 Km/h) no intuito do sonar ativo, princípio físico do dispositivo, ser mais eficiente em baixas velocidades; a fim de corrigir a variação proveniente do efeito de maré um sensor de pressão foi instalado nas adjacências da região de coleta.

Figura 3 a) Ecossonda de sondagem batimétrica GPSmap 421s da marca Garmin b) Transdutor.



FONTE: O autor

1.4.2 – Levantamento Hidrodinâmico

O método acústico fundamenta-se no efeito Doppler e com isso é possível, principalmente, determinar o perfil de velocidade da corrente e, por consequência, calcular a descarga líquida total. As medições pelo método acústico foram realizadas utilizando-se o aparelho ADCP (Acoustic Doppler Current Profile), Rio Grande 600KHz (Tabela 3; Figura 4). O referido aparelho utiliza técnicas de sensoriamento, através do efeito Doppler, para medição de vazão. A velocidade do escoamento é calculada a partir de sinais acústicos enviados pelo aparelho e refletidos pelas partículas sólidas naturalmente presentes na água (MARONE *et al*, 2007). Em Gordon (1989), descreve-se o funcionamento básico do ADCP, que consiste em emitir pulsos acústicos ao longo de feixes estreitos em uma frequência conhecida. A diferença das frequências dos sons emitidos e refletidos é proporcional a velocidade relativa entre o barco e as partículas imersas na água (MARONE *et al*, 2007 apud GORDON, 1989). A velocidade do escoamento é calculada a partir de sinais acústicos enviados pelo equipamento e refletidos pelas partículas sólidas presentes na água.

Figura 4 ADCP RIO Grande 600 kHz instalado em um catamarã.



FONTE: O autor

Os ADCP's estiveram programados sob os seguintes parâmetros:

- 1 – Tamanho da célula de 0,25 cm à 600 kHz
- 2 – Profundidade máxima da seção de 12 m
- 3 – Velocidade máxima da embarcação de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- 4 – Velocidade máxima da corrente de $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- 5 – Esteve a 0,50 m abaixo da linha d'água

Na coleta de hidrodinâmica dos dois períodos utilizaram-se os ADCP's, de forma simultânea, nas seções 1 e 2, realizando um *transect*² a cada hora. Em vista de se caracterizar mudanças sazonais na batimetria, optou-se por fazê-las nas desembocaduras do FL, valendo-se dos dados provenientes do *backscatter*³ que retorna, também, a batimetria da seção, possibilitando, assim, esta análise.

Tabela 2: Especificações potenciais do ADPC utilizado durante as campanhas

		Workhorse Rio Grande Versatile River Discharge Measurement System		
Technical Specifications		WHR600		
Water Velocity Profiling	Profiling range	0.7m ² to 75m ²		
	Velocity range	±5m/s default, ±20m/s maximum		
	Accuracy	±0.25% of water velocity relative to ADCP, ±2mm/s		
	Resolution	1mm/s		
	Number of cells	1-128		
	Cell size	0.1m to 4m		
	Blanking distance	0.25m		
	Data output rate	1-2Hz (typical)		
Bottom Tracking	Velocity range	±9.5m/s		
	Depth range	0.8m to 90m ²		
	Accuracy	±0.25% of bottom velocity relative to ADCP, ±2mm/s		
	Resolution	1mm/s		
Depth Measurement	Range	0.8m to 90m ²		
	Accuracy	±1% ±1cm		
	Resolution	1mm/s ⁴		
Standart Sensors	Temperature	Tilt (pitch and roll)	Compass	
	Range	-5 °C to 40 °C	±15°	0-360°
	Accuracy	±0.4 °C	±0.5°	±2°
	Resolution	0.01 °C	0.01°	0.01°

FONTE: Teledyne RDI

A seção 1 localizou-se na boca norte do FL, 1 Km da sede da cidade de Vigia, nas proximidades do trapiche da Vila de Itapoá, teve comprimento de aproximadamente 1.200 m. A seção 2 localizou-se na desembocadura sul, em torno de 6,6 Km de distância da Vila de Santo Raimundo de Borralhos e teve comprimento aproximado de 420 m.

Os *transects* foram realizados seguindo um padrão de coleta proposto em Genz (2010) e Miranda (2002), sendo iniciada na margem direita (MD), correspondendo a margem

² É um caminho ao longo do qual se registra a ocorrência de um evento (Físico, Químico e Biológico)

³ Na Física, backscatter é a reflexão de ondas, partículas ou sinais de volta à direção de origem, é uma reflexão difusa devido a dispersão.

continental e finalizada na margem esquerda (ME), margem insular, convencionou-se que em ambas as seções as correntes de enchente apresentam sinal negativo e as de vazante sinal positivo (Figura 5).

Figura 5 Croqui com a localização das seções, sentido convencional da componente transversal de velocidade e dos sensores multiparâmetro.



FONTE: O autor

As campanhas foram realizadas durante maré de sizígia, sendo instalados sensores multiparâmetro, a fim de facilitar a interpretação dos dados de vazão em função da variação de superfície livre. A campanha do período chuvoso teve início às 12:00h do dia 15 de fevereiro de 2014 com término às 12:00h do dia seguinte e a campanha do período seco teve início às 12:00h do dia 09 de agosto de 2014 com término às 12:00h do dia seguinte. As informações hidrodinâmicas foram obtidas com os *transects* de ADCP, na seção 1 e 2, para ambos foi utilizado o software WinRiver II.

1.4.3 – Levantamento De Variação De Superfície Livre E Salinidade

Dados de pressão e condutividade foram coletados com o auxílio de quatro sensores Solinst Levellogger Model 3001 (Figura 6), programados em uma frequência 5 minutos, instalados aos arredores da Ilha de Colares durante 38 dias, obtendo-se uma série de 11113 dados de nível, no período de 19 de setembro de 2013 até 26 de outubro de 2013.

Figura 6 Sensor de pressão Solinst Levellogger Model 3001 com sensor de condutividade.



FONTE: O autor

O funcionamento desse equipamento baseia-se em dois princípios físicos, pressão e condutividade, onde obtém-se indiretamente os parâmetros de profundidade e salinidade, para os dados de pressão há um transdutor que recebe uma pressão mecânica sobre sua superfície de contato e transforma essa informação em um sinal elétrico, já para aferir a condutividade o equipamento utiliza um sensor de platina com 4 eletrodos, que mensuram a resistividade do meio líquido, obtendo assim a condutividade ($\sigma=1/r$), uma vez que esta é o inverso da resistência do material/meio. As informações são armazenadas na memória do equipamento.

Os equipamentos utilizados foram cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Física (LOF), Laboratório Institucional de Geologia e Geofísica Marinha (LIOG) e Laboratório de Imageamento do Trópico Úmido (LAIT) todos pertencentes a Universidade Federal do Pará, Departamento de Geociências.

1.5 – PROCESSAMENTO

1.5.1 – Batimetria

Os dados brutos de batimetria, foram descarregados em um computador, filtrados para a retirada de dados errôneos à análise, corrigidos com os dados de sensor de pressão, reduzidos ao menor nível de variação de superfície livre e após essa filtragem foi interpolado

pelo método kriging para ser plotado em um mapa batimétrico da área. Os softwares utilizados foram Google Earth, para confecção do polígono da área em formato .kml este foi exportado para ambiente Surfer 9 onde, de posse dos dados de batimetria, pudessem ser plotadas as propriedades de fundo sobre o polígono da região do FL.

1.5.2 – Hidrodinâmica

Os dados de fluxo, durante a coleta, foram salvos no formato nativo do programa .mmt e .PDO e durante o tratamento exportados em matrizes no formato .txt, utilizando o *template* disponibilizado com a rotina ProcED_II (GENZ *et al.*, 2010) que foi utilizada para o processamento dos mesmos.

ProcED é um conjunto de rotinas computacionais para ambiente MATLAB elaborado para processamentos de dados de correntes medidas em seção transversal com ADCP embarcado durante o ciclo da maré em região estuarina. As rotinas foram desenvolvidas para processar os dados de corrente obtidos com o ADCP Rio Grande da RD Instruments e o seu aplicativo WinRiver. As rotinas tem a capacidade de eliminar dados inválidos, extrapolar as correntes para as áreas não medidas (superfície e fundo), bem como suavizar os campos de velocidade, destacando sua visualização. Estabelecendo a correspondência espacial e temporal das células de velocidade, o ProcED permite o cálculo das correntes residuais para toda a seção, assim como em posições específicas. (GENZ *et al.*, 2010)

A fim de minimizar as influências das variações da maré na profundidade de coleta, optou-se pela utilização da profundidade adimensional $Z=z/h(t)$, onde z e $h(t)$ denotam a profundidade de coleta e a espessura da coluna de água no instante das medidas, respectivamente, segundo metodologia proposta por Kjerfve (1975), as medidas foram interpoladas ao longo da coluna de água, desde a superfície até o fundo, em intervalos $\Delta Z=Z/10$.

Para melhor compreensão e análise de dados optou-se pela utilização do método de plotagem de *Isopletas*, uma vez que, a superposição dos movimentos gerados pela maré, ventos e descarga fluvial, introduz dificuldades no tratamento de dados experimentais, indicando a conveniência da utilização de médias no espaço e no tempo (DYER, 1997).

1.5.3 – Variação De Superfície Livre E Salinidade

Os dados de salinidade e variação de superfície livre foram coletados com a utilização dos sensores, que estavam programados da mesma forma para ambas as propriedades e tratados em ambiente Matlab com rotinas para esse fim. Os dados de salinidade foram obtidos

como função de condutividade (mS/cm) e convertidos para a unidade de escala prática e os dados de variação de superfície livre em função da pressão (dBar) também convertidos para a unidade de conveniência m (metros) as rotinas utilizadas foram T_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002), SEAWATER (CSIRO, 2003) e Escala Prática de Salinidade (EPS-1978) (UNESCO, 1980 & HILL, 1986) baseado em sua operacionalidade e recorrente utilização em trabalhos dessa natureza.

Os dados coletados na região foram intra e inter correlacionados com trabalhos de outras áreas que tenham abrangência sobre a metodologia aplicada, no intuito de fundamentar trabalhos futuros, bem como, possam corroborar no ajuste de modelos de circulação hidrodinâmica propostos para região.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, E. J. S. Unidades de Relevância em Zona Costeira Estuarina: Municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá (PA). Dissertação PPGEO/UFPA, 96 f – Belém, 2007.
- BARROS, D. F.; TORRES, M. F.; FREDOU, F. L. Ictiofauna do estuário de São Caetano de Odivelas e Vigia (Pará, Estuário Amazônico). *Biota Neotrópica*, 2011, 11(2): 367-373, ISSN 1676-0603 (on-line).
- BRITO, C. S. F. de; JÚNIOR, I. F.; TAVARES, M. C. S; SILVA, Z. C. Estatística da Pesca Marítima e Estuarina do Estado do Pará - 1997 a 2002 / Centro de Pesquisa e Gestão e Recursos Pesqueiros do Norte do Brasil (CEPNOR). Belém, PA. 56p, 2002.
- COBRAPHI. Hidrologia e climatologia na região amazônica brasileira. Informação disponível e atividade em desenvolvimento. Seminário Internacional de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, 23 a 27 de julho de 1984, Manaus-AM.
- 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.
- GENZ, F.; CIRANO, M.; LESSA, G.C. ProcED: a MATLAB package for processing ADCP estuarine data. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 28, n. 2, June 2010.
- GORDON, R. L. Acoustic measurement of river discharge. In: *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 115, No. 7, July, p. 925-936, 1989.
- 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 Estatísticas 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php>. Acessado em: maio 2013.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/6598/vigia-pa>. Acessado em: 16 de agosto de 2014.
- KJERFVE, B. Velocity averaging in estuaries characterized by large tidal range to depth ratio. *Estuarine Coastal Maritime Science* vol. 3:311-323, 1975.
- MARENDA, A. Medições de correntes e curva vazão-maré na Baía de Paranaguá, PR. Curitiba, UFPR, *Boletim Paraense de Geociências*. p. 55-64. UFPR, *Boletim Paraense de Geociências*. p. 55-64, 2007.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v. 35, p.207-214, 2005.

PAIVA, M. P. (Coordenador). Recursos pesqueiros estuarinos e marinhos do Brasil. Fortaleza: Edições UFC. 286 p, 1997.

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

RITTER, R. A.; MONTEIRO, M.V.B.; MONTEIRO, F.O.B.; RODRIGUES, S.T.; SOARES, M.L.; SILVA, J.C.R.; PALHA, M. das D.C.; BIONDI, G.F.; RAHAL, S.C. & TOURINHO, M.M. Ethnoveterinary knowledge and practices at Colares island, Pará state, eastern Amazon, Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 144: 346-352, 2012.

SECIRM. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. LEPLAC – Pará, 1989. Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/ass_leplac.html>. Acesso em julho de 2005.

SILVA, J.L.M.L. da; GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A.; SANTOS, P.L. dos; ROLIM, P.A.M.; LOBO, W.T. Zoneamento agroecológico do município de Colares, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 77p. (Documentos, 96), 2001.

CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO FURO DA LAURA (RIO GUAJARÁ-MIRIM), AMAZÔNIA ORIENTAL

Aldo Fernandes¹ e Marcelo Rollnic²

¹Programa de Pós-graduação em Geofísica

Universidade Federal do Pará

aldorpf@hotmail.com

²Programa de Pós-graduação em Geofísica

Universidade Federal do Pará

rollnic@ufpa.com.br

LRL: Fernandes e Rollnic

RRH: Caracterização do Rio Guajará-mirim, Amazônia Oriental

RESUMO

Conhecer e preservar nossos ambientes costeiros e estuarinos são de grande importância para o desenvolvimento local e regional, visto que nesses ambientes estão localizadas a maiorias das cidades e servem de berço para vários espécimes, não obstante levantar informações desses ambientes e conhecer seus padrões característicos e sazonais são aspectos importantes. Nesse contexto, o Furo da Laura (Rio Guajará-mirim), ambiente estuariano transicional e de importante atuação no âmbito econômico e social para as comunidades ribeirinhas, cidades e arredores, serve como uma das principais rotas de entrada de insumos pesqueiros para o estado. Localiza-se nas coordenadas UTM 22M, 796169-830035 W e 9880864-9916228 S, mediante isso foram realizadas três campanhas oceanográficas, período seco (outubro, 2013), chuvoso (fevereiro, 2014) e seco (agosto, 2014), a esse importante curso d'água com utilização de equipamentos para aferição de parâmetros geofísicos e oceanográficos na região, tais como, batimetria, hidrodinâmica, variação de superfície livre e salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrodinâmica. Geofísica. MATLAB. Geofísica marinha – Colares (PA).

1 – INTRODUÇÃO

A área de estudo está localizada na costa nordeste do estado do Pará, encontra-se entre 798469-825000 mE; 9880864-9915000 mS (Figura 7). O Furo da Laura (FL) é um curso d'água amazônica, integrante do estuário do rio Pará, de características diferenciadas, por possuir duas conexões com a região de principal influência fluvial, baía do Marajó, tem uma grande rede de drenagem que estende-se por 42 Km e vários canais de maré sob sua influência e que rodeiam a Ilha de Colares (808520 mE 9897898 mS) (COBRAPHI, 1984; BRITO *et al*, 2002; IBGE, 2008; SILVA *et al*, 2001). É de significativa importância ambiental e comercial para a região, além de relevante interesse à comunidade científica como verificado em (BRITO, 2002; BARROS, 2011 e RITTER, 2012) é um ambiente estuarino transicional rodeado por vegetação de manguezal e planícies lamosas características da região (MENEZES *et al.*, 2008).

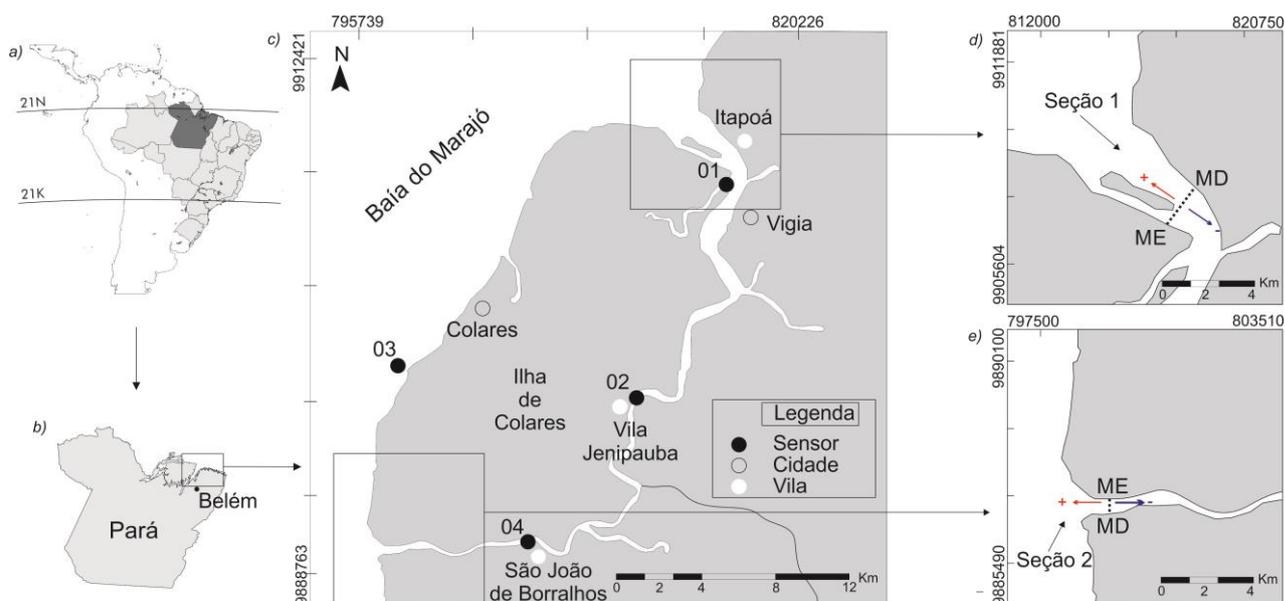


Figura 7 Mapa de localização da área de estudo a) América do Sul b) Estado do Pará c) Ilha de Colares e Furo da Laura (FL) com sensores de pressão e condutividade 01, 02, 03 e 04 d) desembocadura norte do FL, seção 01, MD (Margem direita, continental) e ME (Margem esquerda, insular) e) desembocadura sul do FL, seção 02, MD (Margem direita, continental) e ME (Margem esquerda, insular).

Em vista da sua localização geográfica e importância social e econômica para a região, cientificamente pouco se sabe sobre os processos hidrodinâmicos, comportamento da maré e morfologia características da região (SILVA *et al*, 2001). Objetiva-se, assim, compreender o processo hidrodinâmico com base nos atuantes físicos da área.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas três campanhas de coletas de dados hidrodinâmicos, período seco de 2013 e chuvoso e seco de 2014, sob condição de maré de sizígia baseados em dois ciclos de maré semidiurna, 25 horas. Na ocasião foram coletados dados batimétricos, campo de velocidade, transporte de volume, variação de superfície e salinidade.

Medidas de corrente e propriedades hidrográficas foram coletadas em duas campanhas oceanográficas realizadas no período chuvoso e seco de 2014. A campanha do período chuvoso teve início em 14 de fevereiro de 2014 e a do período seco em 09 de agosto de 2014, ambas com duração de 25 h em duas seções localizadas nas desembocaduras do furo. Os experimentos foram conduzidos sob maré de sizígia prosseguindo durante dois ciclos de maré semidiurna com frequência de 1 hora, a metodologia de coleta foi adotada de Miranda (2002) e Genz(2010), no qual os experimentos foram conduzidos.

O levantamento batimétrico foi realizado com uma ecossonda GARMIN GPSmap 421s, com frequência de coleta de 3 Hz. A malha amostral foi elaborada com 210 perfis transversais ao leito principal e intercalados em 200 m perfazendo 152 Km de perfis levantados e recobrimo uma área de 30 Km². Os dados batimétricos tiveram correção de nível, nível esse obtido com sensores de pressão instalados na região. Os resultados foram interpolados (*Kriging*) e plotados em um mapa base da região. Para a avaliação de possíveis mudanças sazonais na batimetria foram usados dados do ADCP nas seções 1 e 2.

Os dados de corrente e velocidade foram obtidos por dois Perfiladores Acústicos por Efeito Doppler (*ADPC*) da marca Teledyne Workhorse Rio Grande 600 Khz, na seção 1 e seção 2, simultaneamente. O campo de velocidade foi interpolado em intervalos constantes de tempo do início ao fim do ciclo de maré, equação (1), permitindo obter o campo resultante de velocidade de acordo com (KJERFVE, 1979):

$$\langle u_{i,j} \rangle = \frac{1}{n} \left[\frac{u_j(Z_i, t_1)}{2} + \frac{u_j(Z_i, t_n)}{2} \right] \quad (1)$$

Onde,

$u_{i,j}$ Velocidade da corrente horizontal (cm.s⁻¹)

Z_i Profundidade adimensional

t Tempo (h)

n Número do *transect*

Os ADCP's foram programados com células de 0,25 m e estiveram a 0,50 m abaixo da linha d'água. Foram feitos 25 *transects*, um a cada hora, em cada seção do correspondente período (MIRANDA, 2002; GENZ, 2010), resultando em 100 *transects*. Convencionou-se partir sempre da margem direita (MD), margem continental, em direção à margem esquerda (ME), margem insular, além, de estabelecer na seção 1 correntes de enchente negativas e correntes de vazante positivas, assim, na seção 2 o contrário estabeleceu-se. Os dados de transporte de volume foram obtidos sob as mesmas condições estabelecidas para corrente, na unidade correspondente, m^3s^{-1} , integrados a componente \bar{u} de velocidade normal a área do *transect*, A, coberta pelas medidas de ADCP, valores instantâneos $Q(t)$ foram obtidos por:

$$Q(t) = \iint_A u dA; \quad (L^3T^{-1}) \quad (2)$$

E de acordo com Kjerfve (1979, 1990), o transporte de volume resultante através da seção, $\langle \bar{Q} \rangle$, foi obtido por :

$$\langle \bar{Q} \rangle = \frac{1}{n-1} \left[\frac{Q_1}{2} + \sum_2^{n-1} Q_n + \frac{Q_n}{2} \right] \quad (3)$$

Onde,

$\langle \bar{Q} \rangle$ Transporte (média espacial e temporal)

Q_n Transporte amostral instantânea

n Número de amostras

Os dados de variação de superfície livre e condutividade foram adquiridos com sensores de pressão Solinst, modelo Levellogger 3001 instalados em coordenadas ao redor da Ilha de Colares (Tabela 4), os mesmos estiveram fundeados, por um período de 38 dias, a partir de 19 de setembro de 2013, foram programados para realizar medições a cada 5 minutos, o processamento de dados foi realizado utilizando as rotinas do programa T_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002) e SEAWATER (CSIRO, 2003) em ambiente Matlab, baseado em sua operacionalidade e recorrente utilização em trabalhos dessa natureza.

Tabela 3: Localização da instalação dos sensores de pressão utilizados para medição da altura de maré

SENSOR	Coodenadas (UTM)	
SENSOR 01	816506.00mE	9905949.00mS
SENSOR 02	800754.00mE	9896561.00mS
SENSOR 03	812214.00mE	9894869.00mS
SENSOR 04	806608.00mE	9887484.00mS

A salinidade foi obtida sob função de condutividade e sob os mesmos parâmetros dos dados de variação de superfície livre, sendo convertida e calculadas com o algoritmo da Escala Prática de Salinidade (EPS-1978) (UNESCO, 1980 & HILL, 1986) e a rotina SEAWATER (CSIRO, 2003):

$$S = \sum_{i=0}^5 (a_i + b_i f(t)) R_t^{\frac{i}{2}} - \frac{a_0}{1 + 1.5x + x^2} - \frac{b_0 f(t)}{1 + y^{\frac{1}{2}} + y^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

Onde,

$$a_0 = 0,008$$

$$b_0 = 0,0005$$

$$k = 0,0162$$

e são definidas de forma mais refinada em PSS 1978 (UNESCO, 1981)

3 – RESULTADOS

3.1 BATIMETRIA

Foram coletados 210 perfis ao longo de todo FL, com profundidade máxima de -10 m, mínimas de -0,1 m e média de -5,5 m (Figura 8). Ao longo do rio as profundidades estão em conformidade com a média de profundidade aferida variando $\pm 4,5$ m, foram observadas áreas conjuntas de maior e menor profundidade próximas das morfologias meandranes ao longo de todo o curso d'água. Na região central do furo (Setor B) a energia de entrada da maré proveniente das duas bocas, norte (Setor A) e sul (Setor C), se mostra equiparada, não obstante à caracterização de erosão e deposição, tão somente destacando-se a presença de feições de fundo com alto gradiente de profundidade. Na região da boca sul evidencia-se o

grau de homogeneidade das feições de fundo e baixo gradiente de profundidade, onde a variação foi de -7 a -10 m.

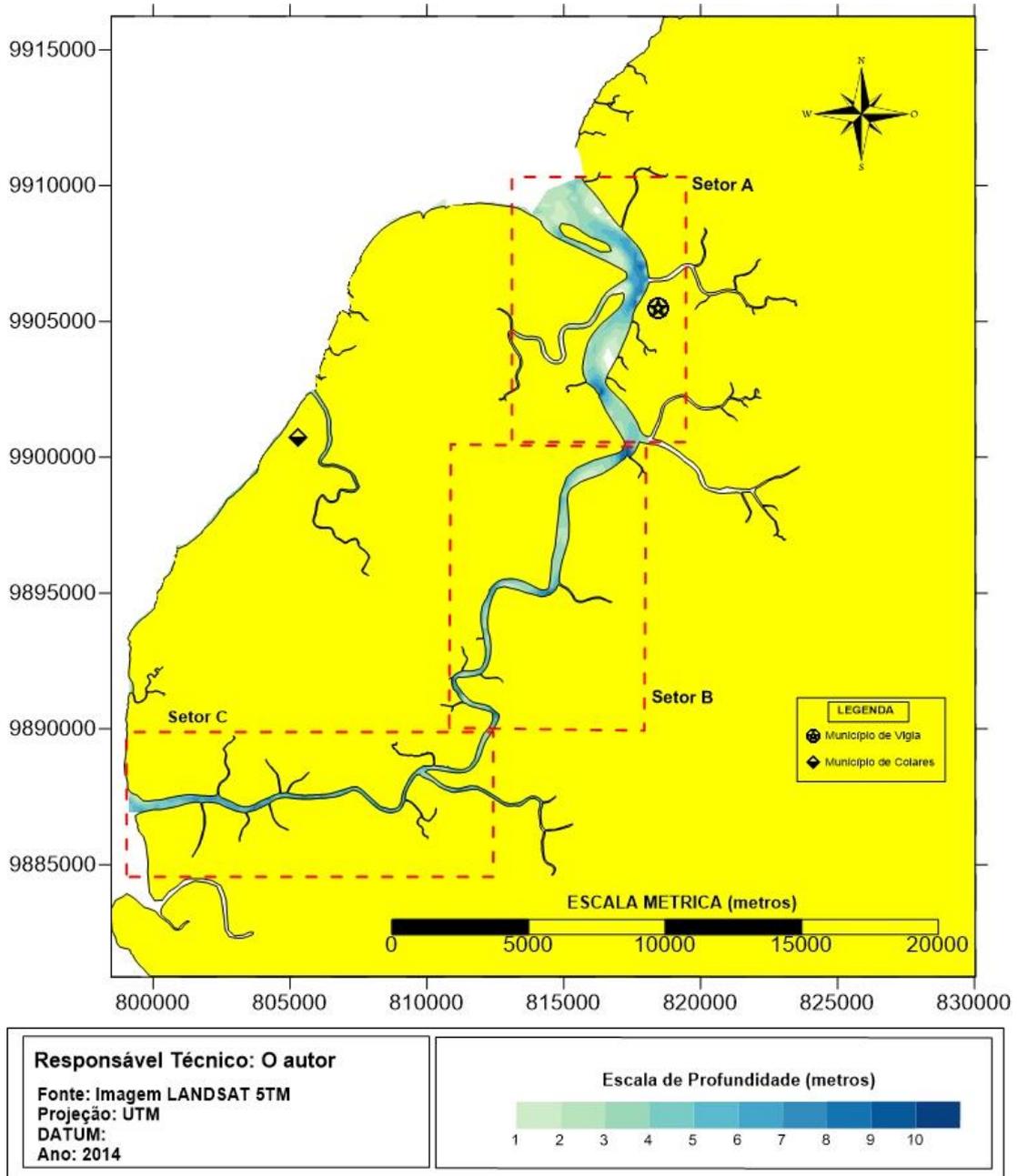


Figura 8 Mapa batimétrico do Furo da Laura; Desembocadura norte Setor A; Região central Setor B; Desembocadura sul Setor C.

Como proposto na metodologia os perfis da seção da desembocadura norte e sul foram analisadas sazonalmente com as informações do ADCP, a área da seção 1 foi de 10.400 m² e a da seção 2 de 2.200 m², e suas respectivas formas são aproximadamente triangular e retangular com profundidades máximas aproximadas de 12 m e 6,5 m, respectivamente.

Em termos sazonais pode-se observar junto a seção 1 (Figura 9), a qual apresenta 1100 m de comprimento, a migração do canal principal, que no período chuvoso estava a 110 m da margem direita e no período seco teve variação de 31,5 m, situando-se aos 141,5 m neste período. Observou-se ainda a presença da feição morfológica de um banco o qual corresponde ao cone de sombra gerado pela presença de uma ilha, na desembocadura norte do furo, que no período chuvoso tinha área seccional de deposição de 1135 m² e no período seco aumentou para 1211,5 m², ou seja, variação de área de deposição de 76,5 m².

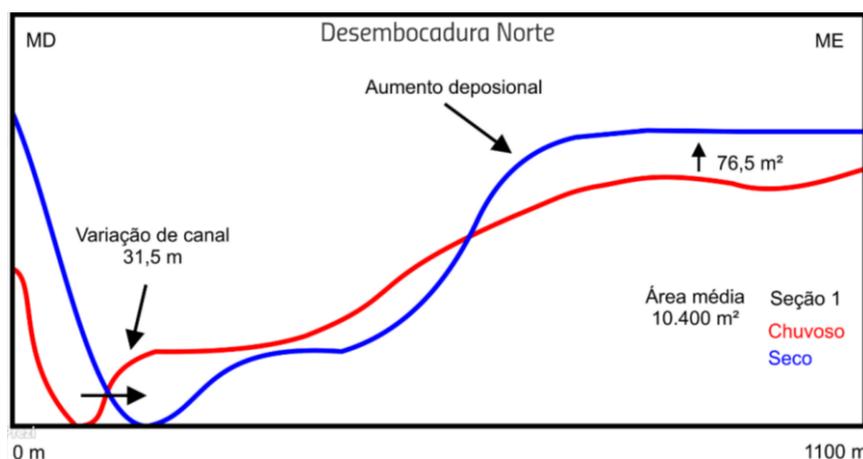


Figura 9 Variação sazonal entre o período chuvoso e seco da Seção de coleta 1.

Na seção 2 (Figura 10), em termos sazonais, observou-se a migração de uma barra junto à margem esquerda, onde no período chuvoso tinha uma área seccional de 192,3 m² para a margem direita da seção no período menos chuvoso com área seccional de 86,3 m², cenário de provável transporte da feição de uma margem a outra nessa transição.

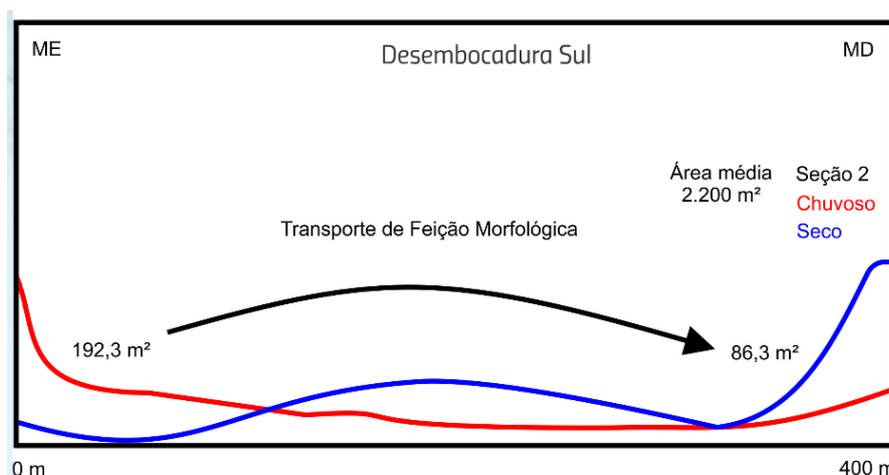


Figura 10 Variação sazonal entre o período chuvoso e seco da Seção de coleta 2.

3.2 PERFIS DE VELOCIDADE

3.2.1 PERÍODO CHUVOSO (FEVEREIRO 2014)

Na seção 1 (Figura 11), observou-se uma maré simétrica, onde o tempo de vazante e enchente não sofre alteração e ambos ocorrem no mesmo intervalo, 6h. As velocidades de vazante variaram entre $1,33 \text{ m.s}^{-1}$ à $0,10 \text{ m.s}^{-1}$ e as velocidades de enchente $0,09 \text{ m.s}^{-1}$ à $1,15 \text{ m.s}^{-1}$. Durante os processos de enchente e vazante, nos momentos de preamar e baixa-mar a coluna de água apresenta as maiores variações de velocidade, sendo em superfície $1,32 \text{ m.s}^{-1}$ e próximo ao fundo $0,11 \text{ m.s}^{-1}$ na vazante $1,15 \text{ m.s}^{-1}$ em superfície e $0,02 \text{ m.s}^{-1}$ próximo ao fundo na enchente.

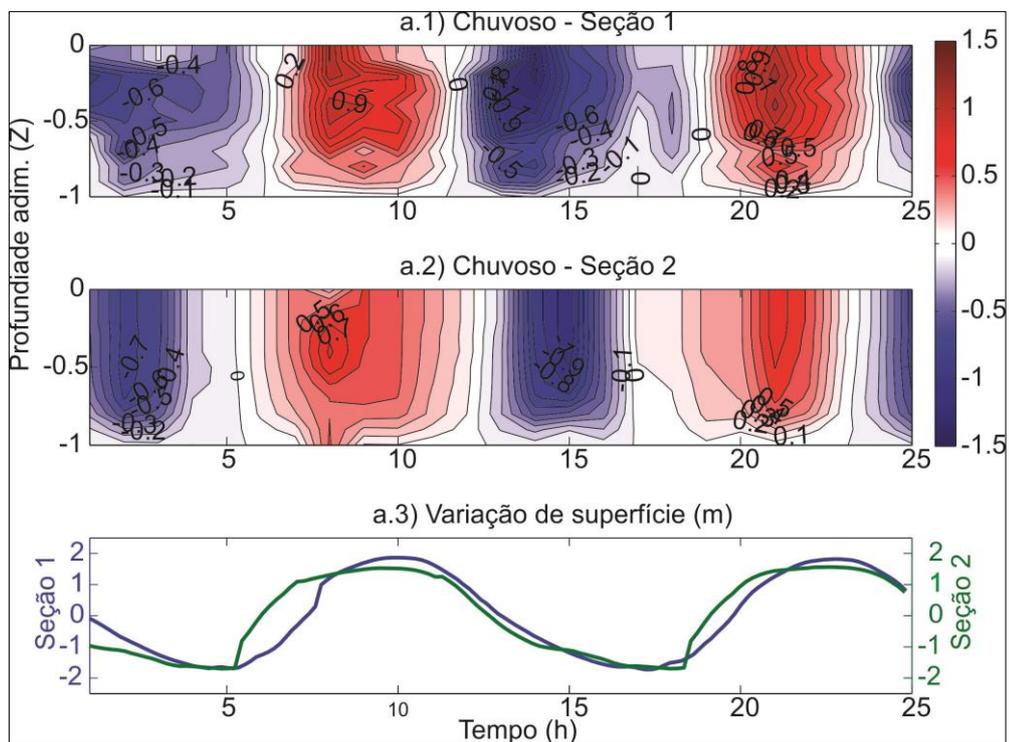


Figura 11 a.1) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 1 período chuvoso a.2) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 2 período chuvoso a.3) Variação de superfície livre seção 1 (azul) seção 2 (verde).

Na seção 2, observou-se uma maré assimétrica, onde enchente e vazante desenvolvem-se em 7h e 4h respectivamente. As velocidades de vazante variaram entre $0,40 \text{ m.s}^{-1}$ à $1,08 \text{ m.s}^{-1}$ e durante a enchente entre $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ à $0,76 \text{ m.s}^{-1}$. As velocidades da superfície ao fundo foram uniformes. No entanto, durante a preamar e baixa-mar as velocidades variaram de $1,07 \text{ m.s}^{-1}$ em superfície à $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ próximo ao fundo durante a vazante e $0,76 \text{ m.s}^{-1}$ em superfície e $0,03 \text{ m.s}^{-1}$ próximo a o fundo durante a enchente.

3.2.2 PERÍODO SECO (AGOSTO 2014)

Durante o período seco a seção 1 (Figura 12) apresentou maré assimétrica, sendo para enchente e vazante 6h e 5h respectivamente. Na vazante a velocidade variou de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,20 \text{ m.s}^{-1}$ e durante a enchente $1,01 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,38 \text{ m.s}^{-1}$.

A estratificação se mostrou intensa em todos os momentos de preamar e baixa-mar, estando uniforme apenas durante a estufa com velocidades próximas a zero de superfície à fundo. As velocidades variaram entre $1,00 \text{ m.s}^{-1}$ à $0,20 \text{ m.s}^{-1}$ na enchente e $0,94 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,30 \text{ m.s}^{-1}$ na vazante, superfície e fundo respectivamente.

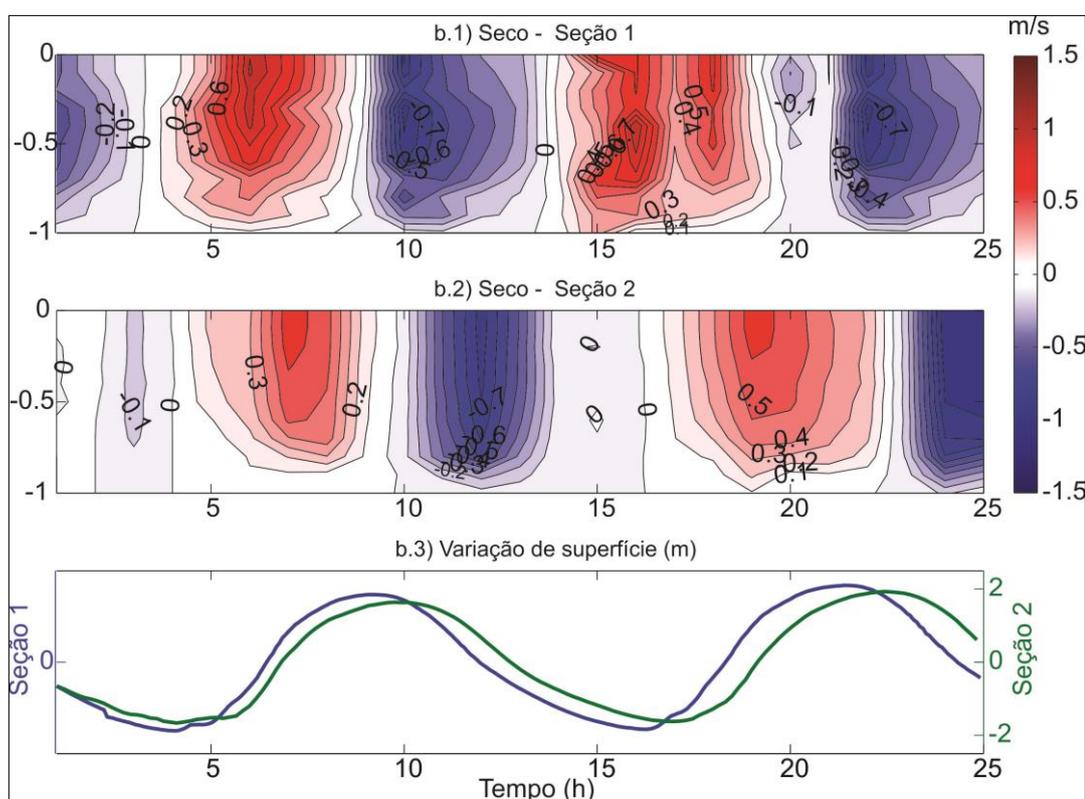


Figura 12 b.1) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 1 período seco b.2) Isopletas de velocidade em profundidade adimensional (Z) seção 2 período seco b.3) Variação de superfície livre seção 1 (azul) seção 2 (verde).

Na seção 2, durante o período seco, o padrão de defasagem de maré observado durante o período chuvoso permanece evidente, o período de enchente tem tempo superior ao de vazante, nesse caso, 6h e 4h para cada evento. A intensidade das velocidades de vazante variaram entre $0,03 \text{ m.s}^{-1}$ à $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ e as intensidade de enchente de $0,14 \text{ m.s}^{-1}$ à $0,66 \text{ m.s}^{-1}$.

A estratificação de coluna de água atinge seu ápice junto com os momentos de preamar e baixa-mar, tendo variações de intensidade de velocidade transversal de 0,84 m.s⁻¹ a 0,24 m.s⁻¹ na vazante e 0,66 m.s⁻¹ a 0,08 m.s⁻¹ na enchente, superfície e fundo respectivamente.

Tanto espacial quanto temporalmente as velocidades mais elevadas foram aferidas acima da metade superior da seção, onde há células de velocidade mais intensas (Tabela 5).

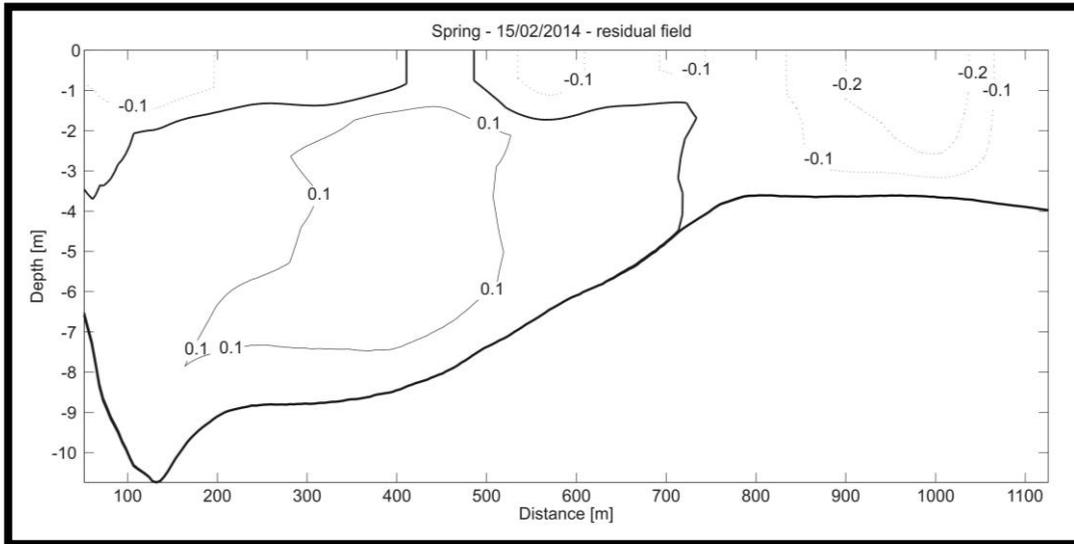
Tabela 4: Resumo dos resultados apresentados para a velocidade de fluxo

Parâmetros / Local	Período			
	Chuvoso		Seco	
	Seção 1	Seção 2	Seção 1	Seção 2
	Vigia	Borrvalho	Vigia	Borrvalho
Vel. Superfície (m.s ⁻¹)	-1,15 à 1,32	-1,07 à 0,76	-1,01 à 0,9	-0,84 à 0,66
Vel. Fundo (m.s ⁻¹)	-0,02 à 0,11	-0,01 à 0,03	-0,38 à 0,20	-0,24 à 0,08
Vel. Max. Ench. (m.s ⁻¹)	1,15	0,76	1,00	0,66
Vel. Max. Vaz. (m.s ⁻¹)	1,33	1,08	0,94	0,97
Média (m.s ⁻¹)	0,0213	0,0035	0,0030	-0,0083
Desvio Padrão	0,47	0,41	0,39	0,35
Enchente (min)	360	420	360	360
Vazante (min)	360	240	300	240
Dif. de Fase (min)	23		44	

3.3 FLUXO RESULTANTE

Os dados provenientes do campo de velocidade mostraram após a integração temporal e espacial da distribuição de propriedade uma resultante de entrada e de saída nas duas seções de coleta no período chuvoso (Figura 13 *a* e *b*) (Figura 14 *a*), apenas a seção 2 (Figura 14 *b*) do período seco foge ao padrão, onde a resultante é somente vazante. Observaram-se dois canais preferenciais de fluxo na seção 1, com isolinhas de fluxo enchente em 63 % da seção e os outros 37 % com fluxo vazante, tanto no período chuvoso quanto no menos chuvoso. Na seção 2, no período chuvoso, há um fluxo resultante nos dois sentidos, 19 % da seção tem fluxo vazante, 51 % tem fluxo nulo e 30 % tem fluxo enchente, já no período menos chuvoso o fluxo resultante é vazante em toda a seção.

a)



b)

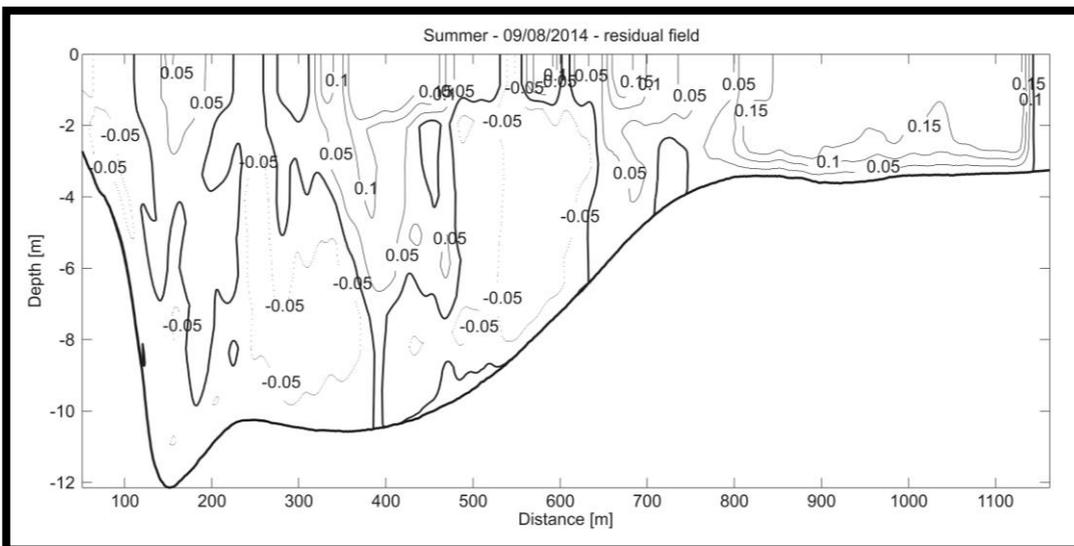
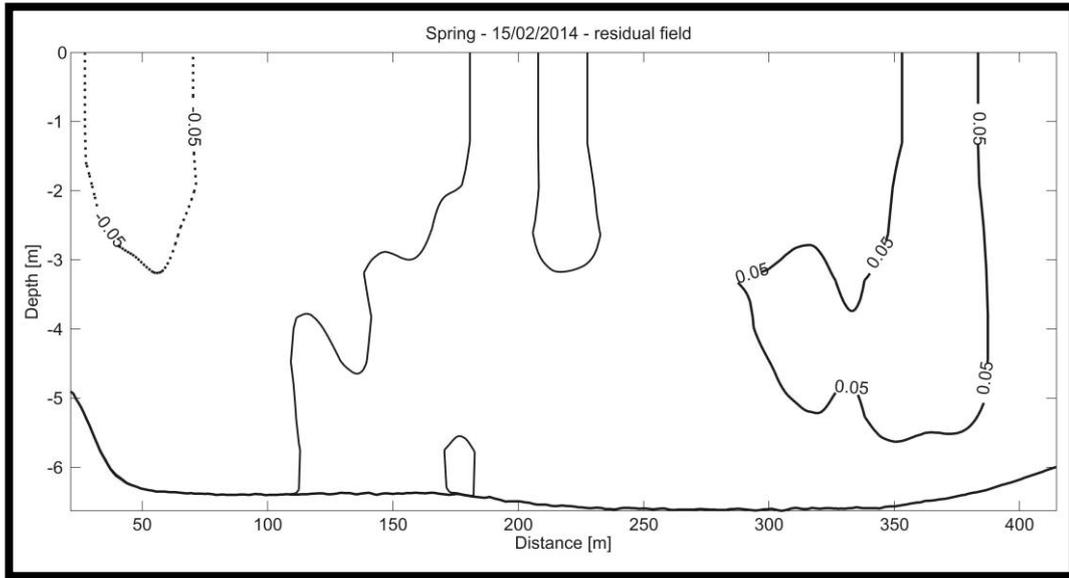


Figura 13: a) Resultante de fluxo seção 1 período chuvoso b) Resultante de fluxo seção 1 período seco.

a)



b)

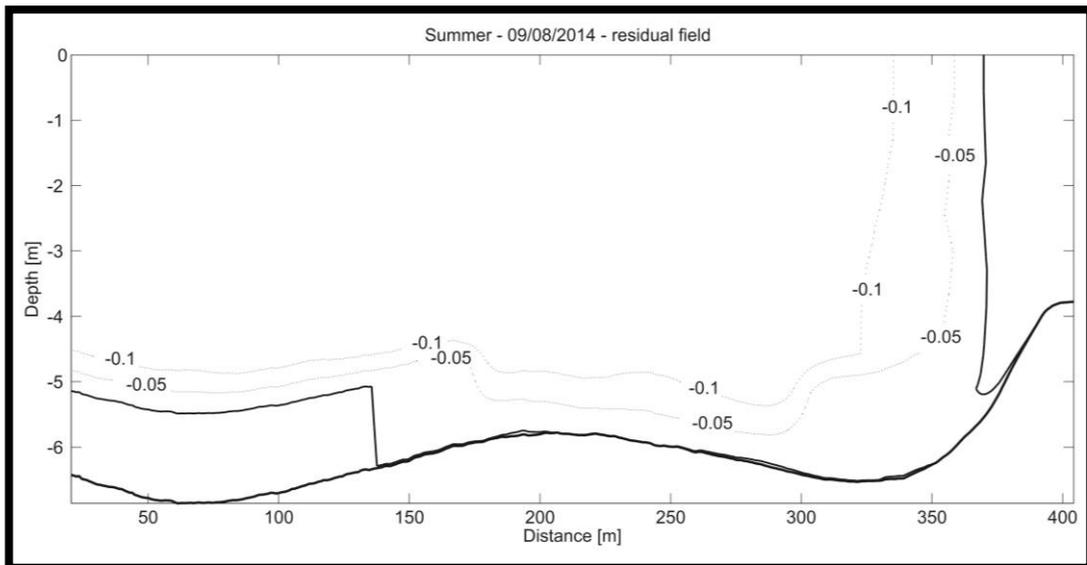


Figura 14: a) Resultante de fluxo seção 2 período chuvoso b) Resultante de fluxo seção 2 período seco.

3.4 TRANSPORTE DE VOLUME

Em termos espaciais a seção 1 (Figura 15) mostrou-se com transporte de volume instantâneo de 7267 m^3 no pico de enchente e de 7885 m^3 no pico de vazante, na seção 2 os mesmos valores correspondentes foram de 1621 m^3 e 2373 m^3 , respectivamente, no período chuvoso. A predominância do padrão da seção 1 sobre a seção 2, em termos de transporte, permanece na campanha do período seco, tendo, no pico de enchente transporte instantâneo de 7201 m^3 e

no pico de vazante transporte de 7822 m^3 , a seção 2 apresentou para os mesmos momentos correspondentes transporte instantâneo de volume de 1544^3 e 2162 m^3 respectivamente, para o mesmo período.

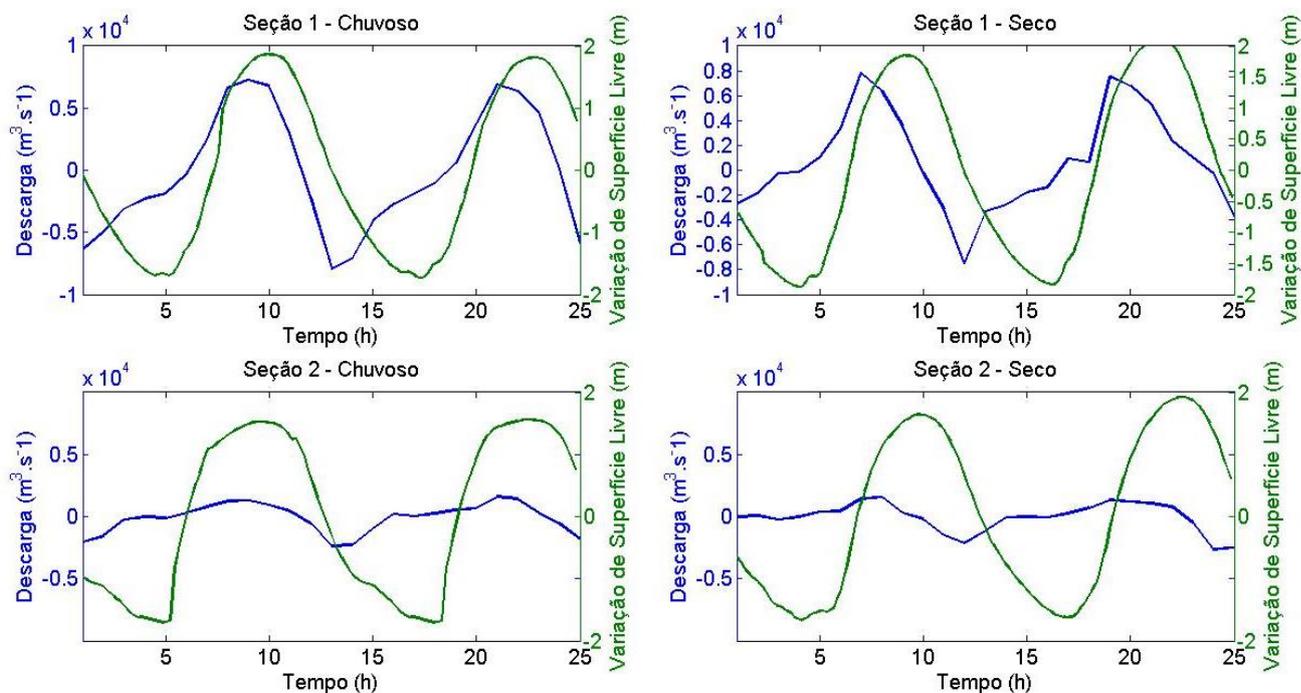


Figura 15 Transporte de volume sobreposto a variação de superfície livre das seções 1 e 2 nos períodos chuvoso e seco.

Em termos sazonais o comportamento de ambas as seções permanece com caráter uniforme, mantendo um padrão característico obtido durante a coleta de dados, atentando somente ao fato dos transportes terem diminuído, uma vez que, presume-se, o abastecimento do curso d'água ter diminuído junto ao regime de chuvas. O transporte resultante das seções é apresentado na seguinte tabela (Tabela 6):

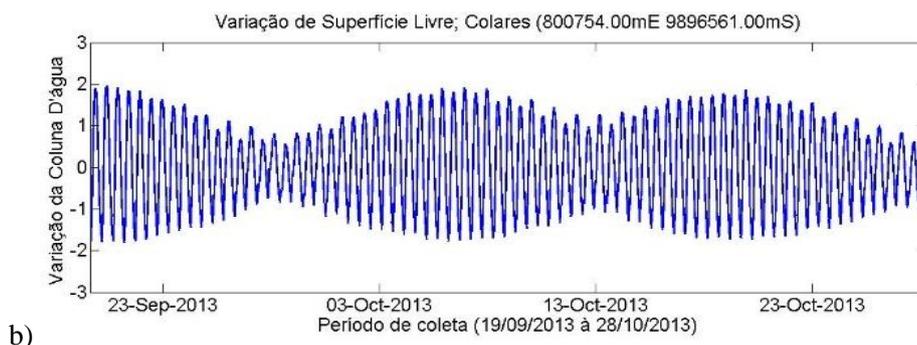
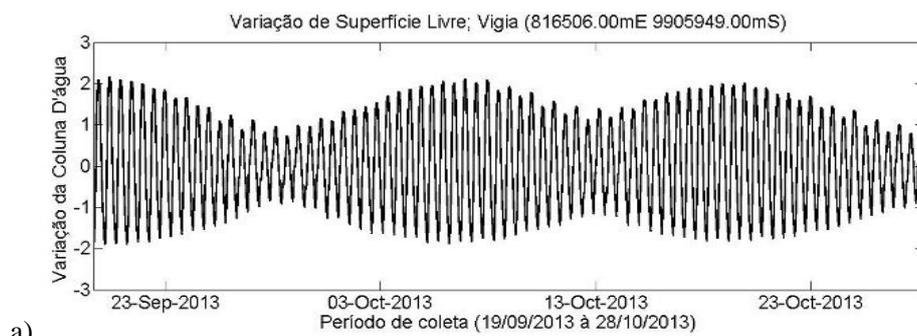
Tabela 5: Transporte de volume resultante

Período Chuvoso	Seção 1	$-3386,17 \text{ m}^3$
	Seção 2	$-2757,39 \text{ m}^3$
Período Seco	Seção 1	$1752,31 \text{ m}^3$
	Seção 2	$-1626,63 \text{ m}^3$

Observa-se que a Seção 1 e a Seção 2, no período chuvoso, se comportam como exportador de volume, apresentando valores consideráveis de transporte, havendo uma diferença de 628,78 m³ entre ambas. Já no período seco a Seção 1 se comporta como exportador de volume, com o transporte voltado para fora do FL, na Seção 2 o comportamento apresentado no período chuvoso permanece, no entanto, havendo uma diminuição no transporte de cerca de 1130,76 m³.

3.5 COOSCILAÇÃO DE MARÉ

Da série de dados coletados obteve-se 3 marés de sizígia e 3 marés de quadratura (Figura 16), com variação de coluna d'água em torno de 4 m em todos os sensores, denotando influência de macromaré. Inferiu-se ainda que, o FL tem como constituintes harmônicas de maior significância (acima de 95%) as componentes M2, S2, O1 e K1, lunar principal, solar principal, lunar principal diurna e luni-solar diurna, respectivamente (Tabela 7). Assim com número de forma (*n*) 0,10; 0,08; 0,10 e 0,12 para a sequência de sensores, respectivamente, caracterizando o curso d'água, assim, sob regime de maré do tipo semi-diurna. A progressão da cooscilação da onda de maré dentro e fora do mesmo tem uma defasagem em torno de 14 minutos (tempo médio) entre a estação 01 e as estações 02 e 03 e mais 14 minutos para a estação 04.



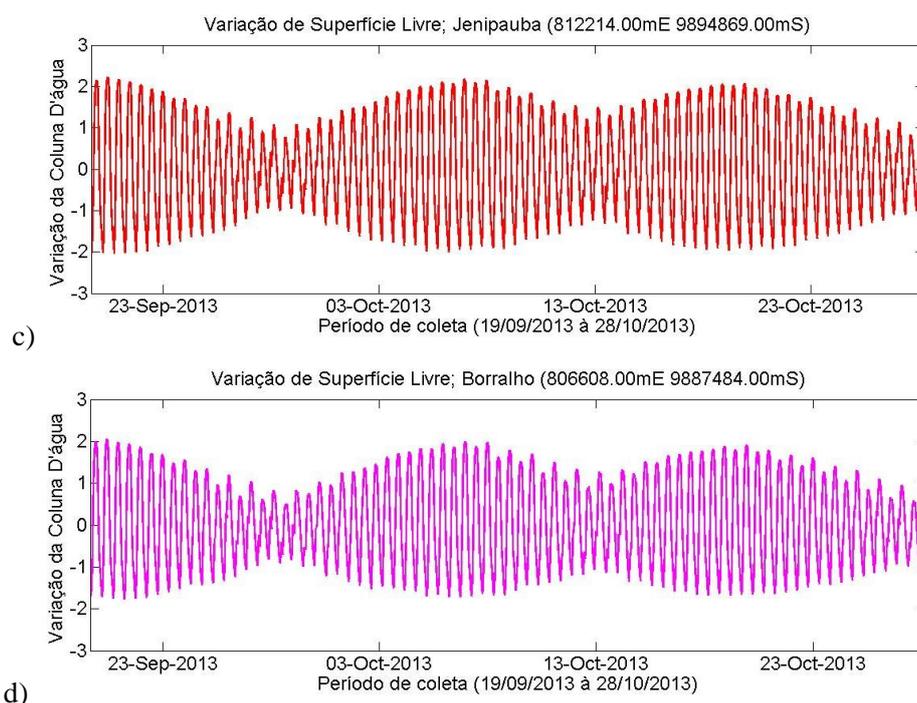


Figura 16: a) Série de dados de maré Sensor 01 b) Série de dados de maré Sensor 03 c) Série de dados de maré Sensor 02 e d) Série de dados de maré Sensor 04.

Tabela 6: Caracterização da maré em relação aos quatros sensores dos arredores da Ilha de Colares

	Sensor 01	Sensor 02	Sensor 03	Sensor 04
Alt. Max. Sizígia (m)	2,1	2,2	1,9	2,0
Alt. Max. Quadratura (m)	0,7	1,1	0,4	0,5
Alt. Min. Sizígia (m)	-1,8	-1,9	-1,6	-1,6
Alt. Min. Quadratura (m)	-0,7	-0,9	-0,9	-0,7
M2 (m)	1,2	1,3	1,1	1,1
S2 (m)	0,4	0,4	0,3	0,3
K1 (m)	0,04	0,09	0,1	0,10
O1 (m)	0,09	0,1	0,1	0,09
Número de Forma (n)	0,10	0,08	0,10	0,12
Dif. de Fase em relação ao Sensor 01 (min) $\pm 10\%$	-	14	16	30
Localização	816506 mE	812214 mE	800754 mE	806608 mE
UTM 22 M	9905949 mS	9894869 mS	9896561 mS	9887484 mS

3.5 SALINIDADE

Os dados de salinidade foram coletados em duas estações, sensores 02 (Figura 17) e 03 (Figura 18), durante um período de 48 dias, a partir do dia 10 de setembro de 2013. Optou-se por essa disposição de sensores para correlacionar a influência da Baía do Marajó junto ao FL. A salinidade na região teve variação temporal média de 1,6, observou-se também que a variação diária conjunta à maré obedece esse padrão da média temporal em ambos.

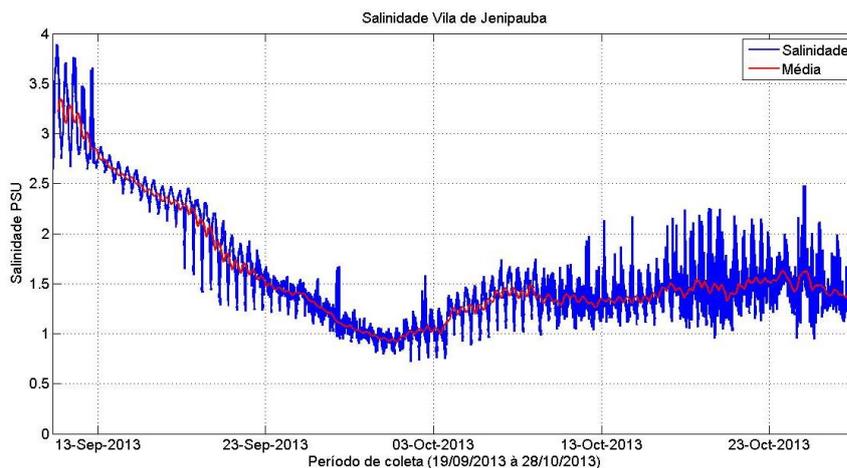


Figura 17: Série temporal de salinidade obtida com o sensor 02.

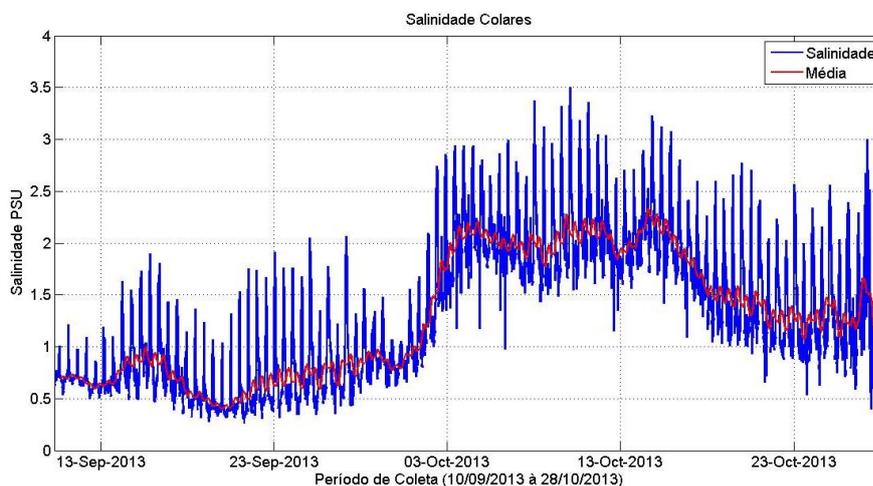


Figura 18: Série temporal de salinidade obtida com o sensor 03.

O início da série mostra uma diferença de salinidade considerável, sensor 02 em 3,25 e o sensor 03 em 0,7. Durante um período de 23 dias observou-se decaimento de salinidade no sensor 02 e um relativo aumento de salinidade no sensor 03, onde esteve próximo de 1,75 e 1,03, respectivamente. Após esse período há um abrupto aumento de salinidade no sensor 03, flutuou em torno 1,80 e no sensor 02 há uma correspondência média em torno de 1,4.

Em resumo os resultados coletados e apresentados neste trabalho propuseram um mapa conceitual (Figura 19) que apresenta de pose dos parâmetros aferidos nas campanhas o comportamento observado e proposto aos mesmos.

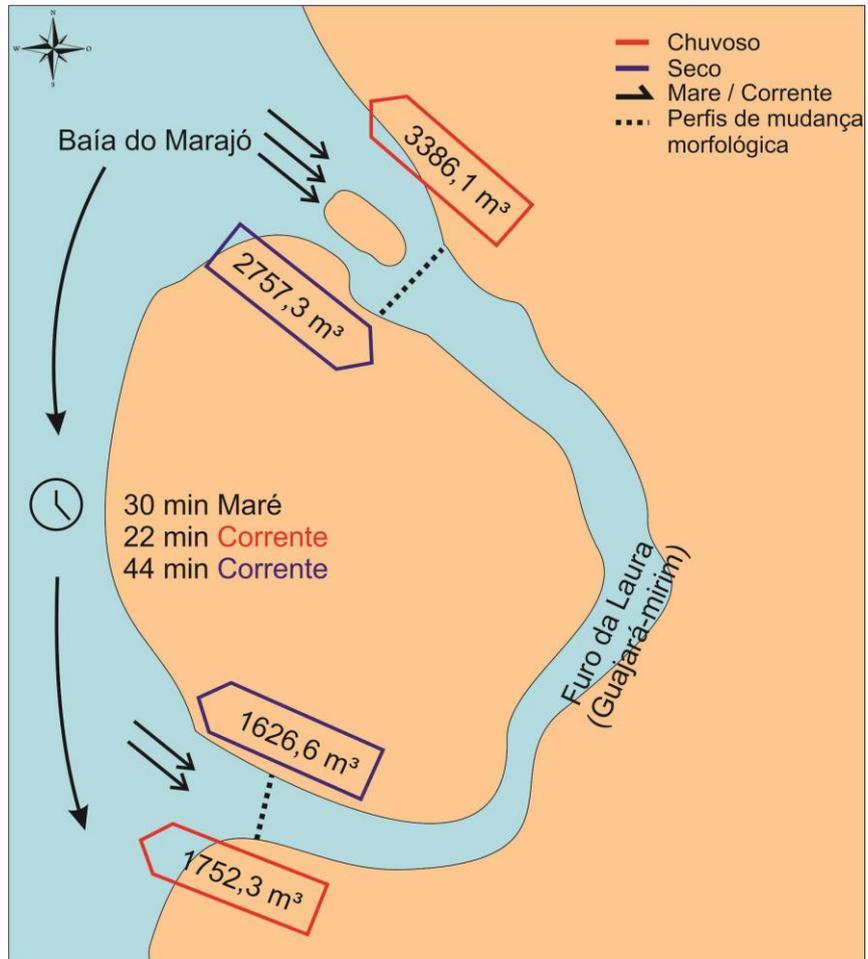


Figura 19 Mapa conceitual de propriedades e parâmetros.

5 – DISCUSSÃO

A boca norte do canal, por conta da corrente perpendicular de retorno atuante no transporte, intemperismo do material particulado em suspensão, tem vários bancos de areia em sua entrada, processo descrito em Suguio (2003), além da existência de uma ilha junto a desembocadura norte, onde à leste, está sob processo depocisional, ou seja, o material suspenso é carregado pelas correntes de maré que se assemelham as correntes de turbidez Walker (1984). Com frequência, nas regiões convexas de deposição, nos meandros do furo, fez-se visível em baixa-mar o ambiente de planície costeira além da vegetação característica, caracterizado por Suguio (2003) & Menezes (2008).

A região da desembocadura norte é dinamicamente mais intensa que a desembocadura sul, uma vez que a área da seção 1 é quase cinco vezes maior que a da seção 2, as correntes superficiais são mais intensas que as próximas ao fundo, assim como as velocidades de vazante mais intensas que as de enchente em ambas as desembocaduras, padrão também observado por Ferreira (2013) no Rio Paracaurari, Ilha do Marajó, que se encontra sob influência das adjacências da área de estudo deste trabalho. Por sua vez, a velocidade do fluxo depende não somente do volume de águas, como também, da declividade, da forma da seção dentre outros parâmetros, a mudança na interação desses eventos, conseqüentemente alterará nas condições de transporte, erosão e deposição.

A relação do transporte de volume com a curva de maré oferece uma avaliação do comportamento hidrodinâmico (MATOS *et al.*, 2011), quanto à competência e capacidade de transporte de sedimentos em suspensão durante esses eventos, uma vez que o regime pluviométrico presente na região, característica marcante dos períodos de sazonalidade (INMET, 2014), influenciaram diretamente nesses fatores e conseqüentemente nos resultados mais elevados de velocidade e transporte encontrados no período chuvoso.

A maré característica é do tipo semi-diurna, com duas baixa-mares e duas preamares durante um dia, número de forma 0,10 (MIRANDA, 2002), porém, devido o tempo que a Terra leva para concluir uma rotação completa com relação a lua, que é de aproximadamente 24 horas e 50 minutos, conhecido como dia lunar, conseqüentemente as preamares e baixa-mares se apresentam com níveis diferentes.

Características inerentes à morfologia do canal, meandros, bancos e planícies costeiras, fazem com que o tempo médio em relação aos sensores 01 e 02 e os sensores 03 e 04 seja reduzido, fazendo com que haja uma diminuição na defasagem entre esses pares de sensores, fato plausível e aplicável, uma vez que, os sensores 01 e 02 estão sob influência direta da

cooscilação de maré proveniente da Baía e os sensores 03 e 04 se encontrarem em uma região de estreitamento do rio, inserindo um acréscimo na velocidade de propagação da onda e posterior aumento de sua amplitude, obedecendo as condições de continuidade, como advoga Miranda (2002).

A salinidade mostrou valores concordantes com outros trabalhos na área estando em um intervalo de não mais que 4 PSU (SANTOS *et al.*, 2007; DIAS & LIMA 2003; RAMOS, 2005 & BALTAZAR *et al.*, 2011), vê-se e faz-se importante salientar no início da série, em específico, no sensor 02 a estruturação de uma tendência de salinidade elevada e que apesar da diferença de salinidade observada entre os sensores, 02 e 03, a correlação entre os dois é evidente, visto que, a baía mostra sua influência sobre o FL, quando próximo de 03 de outubro há, após a redução apresentada na série do sensor 03, uma tênue elevação da salinidade em conjunta resposta ao sensor 02 a esta variação, estabilizando o parâmetro da série temporal. As propriedades de vazão, velocidade do fluxo, direção da corrente, assim como as demais características da descarga líquida de determinado ambiente, são importantes fontes de conhecimento do ponto de vista do transporte de propriedades, mas também para as linhas de atuação que envolve a sedimentologia e a geomorfologia (SUGUIO & BIGARELLA, 1990).

6 – CONCLUSÕES

No levantamento hidrodinâmico notou-se inversão de corrente lateral nas duas seções, onde na seção 1 observam-se dois canais de entrada e saída nos dois períodos de coleta, bem como, na seção 2 onde no período chuvoso há dois canais de entrada e saída, no entanto, no período seco a resultante é somente vazante, uma vez que, o regime pluviométrico, menos atuante, não contribui para esse fim.

As características de salinidade, obtidas no período seco em 2013, indicam uma tendência de diluição de sal dentro e fora do FL, com salinidade abaixo de 4.

O padrão de enchente e vazante do FL dá-se pelas duas desembocaduras, com defasagem de 22 minutos. Frisa-se a importância da investigação da região central do canal, uma vez que, o fluxo no FL tem mesmo sentido nas suas desembocaduras, há existência do que é conhecido como tombo de maré.

No transporte resultante de volume do período chuvoso as duas desembocaduras tem comportamento de exportadores de material, no entanto, no período seco a Seção 1, em detrimento ao que ocorre na Seção 2 que mantém seu comportamento de exportador, se comporta como importadora de material, assim, denota-se que nesse período a desembocadura norte estaria atuando como mantenedora de materiais e/ou nutrientes para o sistema do FL nesse período, fato este que tange a localização da desembocadura norte e sua inerência aos processos dinâmicos provenientes do corpo hídrico adjacente, Baía do Marajó.

Em resumo observou-se que o comportamento hidrodinâmico ocorre de maneira complementar em suas duas desembocaduras, ocorrendo vazante e enchente de forma simultânea com certa defasagem, 44 minutos, encontra-se sob regime de maré semidiurna com macromaré, tem um considerável transporte de volume de 7885 m³ e 2373 m³ para as desembocaduras da seção 1 e seção 2 nos picos de enchente, respectivamente; as cotas batimétricas variaram de 0 m a -10 m com média em torno de -5,5 m; e salinidade média em torno de 1,6.

Para estudos futuros no que tange a coleta de dados sugere-se uma abordagem mais detalhada do regime de corrente com mais *transects* evidenciando os momentos de estufa de enchente e vazante, uma abordagem na região central do FL, além de levantamento de sedimento de fundo com confecção de diagrama de Shepard (1954) e Perjup (1988), bem como, perfis de salinidade para classificação do sistema segundo diagrama de Hansen & Rattray (1966). Uma sondagem sísmica junto à batimetria coletada do FL revelaria mais sobre sua origem

estrutural, uma vez que sua morfologia peculiar e suas delimitações indiquem uma possível origem estrutural de falha transcorrente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geofísica (PPGf/UFGA), Laboratório de Oceanografia Física (LOF) , Laboratório Institucional de Oceanografia Geológica e Geofísica (LIOG) e ao Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), pelo apoio instrumental e principalmente humano. Trabalho executado com recursos do Projeto MIZCA – CT-HIDRO 2010. AF é bolsista de MSC da CAPES 161710/2012-3.

REFERÊNCIAS

- BALTAZAR, L. R. S.; Menezes, M.O.B.; Rollnic, M., Contributions to the Understanding of Physical Oceanographic Processes of the Marajó Bay – PA, 2011.
- BARROS, D. F.; TORRES, M. F.; FREDOU, F. L. Ictiofauna do estuário de São Caetano de Odivelas e Vigia (Pará, Estuário Amazônico). *Biota Neotrópica*, 2011, 11(2): 367-373, ISSN 1676-0603 (on-line).
- BRITO, C. S. F. de; JÚNIOR, I. F.; TAVARES, M. C. S; SILVA, Z. C. Estatística da Pesca Marítima e Estuarina do Estado do Pará - 1997 a 2002 / Centro de Pesquisa e Gestão e Recursos Pesqueiros do Norte do Brasil (CEPNOR). Belém, PA. 56p, 2002.
- COBRAPHI. Hidrologia e climatologia na região amazônica brasileira. Informação disponível e atividade em desenvolvimento. Seminário Internacional de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, 23 a 27 de julho de 1984, Manaus-AM.
- 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.
- DIAS, J.C. & LIMA, W.N. Preliminary geochemistry outline about organic nutrients and others environmental parameters in estuarine waters. International Conference Mangrove 2003 (Salvador, BA), UFBA, Livro de resumos & Abstract, p.257, 2003.
- GENZ, F.; CIRANO, M.; LESSA, G.C. ProcED: a MATLAB package for processing ADCP estuarine data. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 28, n. 2, June 2010.
- HANSEN, D. V; RATTRAY Jr., M. New Dimensions in Estuary Classification. *Limnology and Oceanography*., n. 3, v. 11, p. 319-325, 1966.
- 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.
- KJERFVE, B. Velocity averaging in estuaries characterized by large tidal range to depth ratio. *Estuarine Coastal Maritime Science* vol. 3:311-323, 1975.
- MASSELINK, G.; HUGHES, M. An introduction to coastal processes and geomorphology. Hodder & Stoughton, London, 354 p, 2003.
- MATOS, M.; AMARO, V. Estudos sistemáticos dos processos hidrodinâmicos sazonais de um sistema fluvio-lacustre na região da Planície Costeira do Amapá, Braail, *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, nº 2, 2011.

- MENEZES, M.; MEHLIG, U.. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. *ACTA AMAZONICA*, vol. 38, pp. 403-420, 2008.
- FERREIRA, G. Caracterização Hidrodinâmica e do Transporte de Sedimentos na Região Fluvio-Estuarina do Rio Paracauari – Ilha De Marajó – Pará. Dissertação de Mestrado, PPGO, UFPE, 2013.
- PERJUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; van GELDER, A. & NIO, S. D. (Ed). *Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies*. D. Reidel, Dordrecht. P. 289-300, 1988.
- RAMOS, C.A.R. Qualidade ambiental, distribuição e densidade do Mesozooplâncton do estuário de Guajará-Miri, Vigia de Nazaré, NE do Estado do Pará. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Amazônia Oriental, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.
- RITTER, R. A.; MONTEIRO, M.V.B.; MONTEIRO, F.O.B.; RODRIGUES, S.T.; SOARES, M.L.; SILVA, J.C.R.; PALHA, M. das D.C.; BIONDI, G.F.; RAHAL, S.C. & TOURINHO, M.M. Ethnoveterinary knowledge and practices at Colares island, Pará state, eastern Amazon, Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 144: 346-352, 2012.
- SANTOS, A.P.E. & LIMA, W.N.; Indicadores geoambientais para o monitoramento de águas estuarinas e sedimentos associados à região metropolitana de Belém/PA. Belém, I Seminário de Iniciação Científica da UEPA, 2007.
- SHEPARD, F.P., Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 24, p. 151-158. 1954.
- SILVA, J.L.M.L. da; GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A.; SANTOS, P.L. dos; ROLIM, P.A.M.; LOBO, W.T. Zoneamento agroecológico do município de Colares, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 77p. (Documentos, 96), 2001.
- SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil. 400 p. 1ª edição, 2003.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. *Ambientes Fluviais*. 2ª ed. UFSC, Paraná, 183p, 1990.
- WALKER, R. G. Turbidities and Associated Coarse Clastic Deposits. In: R. G. Walker (ed.) *Fades Models*, Geoscience Canada Reprint Series 1, 171-188, 1984.