



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**ALEX COSTA ALVES**

**CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DA PLATAFORMA INTERNA DO  
NORDESTE PARAENSE**

Belém  
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**ALEX COSTA ALVES**

**CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DA PLATAFORMA INTERNA DO  
NORDESTE PARAENSE**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Geofísica da Universidade  
Federal do Pará, para a obtenção do título  
de mestre em Geofísica Marinha.**

**Orientador: Alessandro Luvizon Bérghamo.**

Belém  
2014

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

---

Alves, Alex Costa, 1986.  
Características hidrodinâmicas da plataforma interna do nordeste paraense / Alex Costa Alves. -  
2014.  
40 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Alessandro Luvizon Bérghamo  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2014.

1. Hidrodinâmica. 2. Transportes - Pará. 3. Plataforma continental - Pará. I. Título.

CDD 22. ed. 388.098115

---

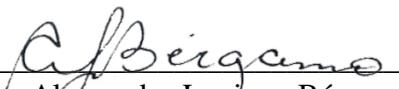
**ALEX COSTA ALVES**

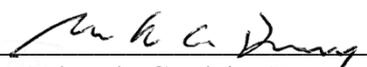
**CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DA PLATAFORMA INTERNA DO  
NORDESTE PARAENSE**

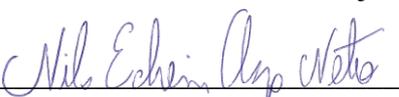
**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Geofísica da Universidade  
Federal do Pará, para a obtenção do título  
de mestre em Geofísica Marinha.**

Data de aprovação: 28 / 08 / 2014

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Alessandro Luizzon Bérqamo  
Universidade Federal do Pará

  
Prof. Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes  
Universidade Federal de Itajubá

  
Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto  
Universidade Federal do Pará

## RESUMO

Neste trabalho buscou-se caracterizar a hidrodinâmica da plataforma continental próxima à costa nordeste do Estado do Pará em pontos adjacentes aos municípios de Salinópolis e Marapanim. A escolha do período de aquisição dos dados ocorreu levando-se em conta a contribuição do rio Tocantins, que apresenta uma maior descarga durante o mês de abril e menor descarga durante o mês de setembro. Os dados tratados ao longo deste trabalho são referentes à duas estações ancoradas iniciadas nos dias 11 de setembro de 2013 e 25 de abril de 2014, ambas com 25 horas de duração. Durante as estações, foram obtidos não só dados hidrodinâmicos (componente longitudinal da corrente) como também dados hidrográficos (temperatura, salinidade e densidade). Com isso, foi possível calcular os transportes resultantes de massa e volume. As observações foram realizadas empregando dois perfiladores acústicos de corrente por efeito Doppler e registradores de salinidade, temperatura e pressão. O tratamento dos dados inclui a filtragem por meio de médias móveis e interpolações para análise dos resultados em profundidade adimensional. Os resultados hidrográficos revelaram uma possível influência da drenagem continental durante o período de aquisição. A comparação entre as correntes de água e eólica mostram que durante os experimentos a influência do vento não foi determinante na circulação e os cálculos de transportes indicam uma circulação predominantemente influenciada pela maré e aporte de água doce.

**Palavras-chave:** Plataforma Continental, Transporte, Hidrodinâmica, Pará.

## ABSTRACT

This study aims to characterize the hydrodynamics of the continental shelf near the northeast coast of Pará state of in adjacent points to the municipalities of Salinópolis and Marapanim. The choice of the period of data acquisition took into account the contribution of the Tocantins River, which has a higher discharge during the month of April and lower discharge during September. Data were collected at two anchored stations on September 11, 2013 and April 25, 2014, both of 25 hours duration. Each as obtained data were not only hydrodynamic (longitudinal component of current) and hydrographic data (temperature, salinity and density), it was possible to calculate the transport of mass and volume. The observations were performed using a couple of acoustic Doppler current profilers and salinity, temperature and pressure data recorders. The data processing included filtering by moving averages and interpolation to analyze the results in dimensionless depth. The hydrographic results revealed a possible influence of continental drainage during the acquisition period. The comparison between water currents and wind during the experiments showed that the influence of the wind was not relevant in the circulation. The transport calculations indicate a circulation predominantly influenced by tide and freshwater contributions.

**Keywords:** Continental Shelf, Transport, hydrodynamics, Pará.

*Dedico este trabalho aos meus pais.*

*Be water, my friend!*

***Bruce Lee***

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Américo da Silva Alves e Maria do Socorro Bastos Costa, principais responsáveis por esse momento tão importante em minha vida, por todo o esforço que fizeram para que eu pudesse continuar meus estudos e por sempre estarem ao meu lado.

Agradeço aos meus irmãos Adriano Costa Alves e Andréia Costa Alves por acreditarem em mim e pela paciência e compreensão que tiveram durante todos esses anos em que me dediquei aos meus estudos. Agradeço também ao meu primo Maick que sempre torceu por mim mesmo estando longe.

Agradeço às minhas sobrinhas Gabrielly e Andressa por fazer minha vida mais feliz, mesmo quando tudo parece difícil.

Agradeço ao meu orientador o Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bérghamo pela orientação prestada durante a realização deste trabalho, ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geofísica e a Universidade Federal do Pará pela estrutura cedida, sem a qual não seria possível a conclusão deste trabalho. Agradeço às secretárias Benildes Lopes e Lucibela Cardias por serem sempre tão prestativas.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Ambientes Marinhos (INCT - AmbTropic).

Por fim, agradeço a todos que colaboraram de maneira direta e indireta para a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Série histórica da descarga fluvial do Tocantins (Renan Peixoto, comunicação pessoal).....	17
Figura 2 - Região amostral na costa oriental do Pará. (Fonte: NOAA, 2014).....	18
Figura 3 - Equipamentos usados durante os experimentos: (a) CTD e (b) ADCP. (Fotos: seabird.com e rdinstruments.com, respectivamente).....	19
Figura 4 - Dados de vento durante o experimento F1. (Fonte: www.inmet.gov.br, 2013).....	24
Figura 5 - Dados de vento durante o experimento F2 - parte II. (Fonte: www.inmet.gov.br).....	24
Figura 6 - Níveis de precipitação na Plataforma do nordeste paraense durante os meses de setembro de 2013 e abril de 2014. ....	25
Figura 7 - Comparativo entre a oscilação da maré e (a) a velocidade média de $u$ e (b) a velocidade média de $v$ ao longo da coluna de água, durante o experimento F1.....	26
Figura 8 - Isolinhas de velocidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F1. ....	26
Figura 9 - Isolinhas de (a) temperatura, (b) Salinidade e (c) densidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F1. ....	27
Figura 10 - Variação temporal (a) altura da maré (b) e do transporte instantâneo de massa ao longo da coluna de água durante o experimento F1.....	28
Figura 11 - Isolinhas de (a) temperatura, (b) Salinidade e (c) densidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte I. ....	29
Figura 12 - Comparativo entre a oscilação da maré e a velocidade média ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte II. ....	30
Figura 13 - Isolinhas (a) da velocidade $u$ e (b) da velocidade $v$ em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte II.....	30
Figura 14 - Perfis de salinidade referentes às estações 10 (setembro/2013) e 12 (abril/2014).....	31

Figura 15 - Comparativo entre os dados medidos e filtrados em momentos distintos do fundeio F1..... 38

Figura 16 - Comparativo entre os dados filtrados e interpolados em momentos distintos do fundeio F1..... 39

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
INTRODUÇÃO.....	14
ÁREA DE ESTUDO .....	15
MÉTODO DE PESQUISA.....	16
Propriedades hidrodinâmicas e hidrográficas.....	18
Decomposição de velocidade .....	19
Processamento e representação gráfica .....	20
Transportes de massa e volume.....	21
RESULTADOS .....	23
Vento e precipitação .....	23
Experimento F1 .....	25
Experimento F2 - parte I.....	28
Experimento F2 - parte II .....	29
Perfis hidrográficos .....	31
DISCUSSÃO .....	33
CONCLUSÕES .....	34
AGRADECIMENTOS .....	35
REFERÊNCIAS .....	35
ANEXO I.....	38
ANEXO II.....	40

## APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas a Plataforma Amazônica tem sido campo de estudo de grupos de pesquisas nacionais e internacionais que têm contribuído para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos recorrentes dessa região (Cavalcante, 2007; Geyer *et al.*, 1991; Nittrouer e Demaster, 1996; Silva, Araújo e Bourlès, 2005).

Muitas dessas pesquisas buscam caracterizar a circulação e os processos de mistura na Plataforma quanto à influência do aporte fluvial e do vento (Cavalcante, 2007; Geyer *et al.*, 1991; Lentz, 1995).

Neste trabalho é feita uma caracterização hidrodinâmica representativa do entorno de duas estações ancoradas sobre a Plataforma do Nordeste Paraense, em períodos distintos.

Este trabalho é apresentado no formato de artigo, conforme as regras do Programa de Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará. Assim, a forma escrita da dissertação possui um texto de apresentação, um capítulo, que consiste do trabalho a ser submetido ao *Journal Coastal of Research* e dois anexos, o primeiro sobre o controle de qualidade dos processos de filtragem e interpolação e o segundo sobre os problemas que ocorreram durante as campanhas.

## INTRODUÇÃO

De um modo geral, os processos de mistura e transporte que ocorrem no interior dos estuários<sup>1</sup> se devem à drenagem continental e ao gradiente longitudinal de salinidade provocado pela diluição de água do mar. Estas forças, somadas às oscilações da maré e à ação do vento, acabam contribuindo também na caracterização do oceano adjacente (Dias, Castro e Lacerda, 2011; Silva, Araújo e Bourlès, 2005; Miranda, Castro e Kjerfve, 2002), como é o caso da área do oceano Atlântico equatorial adjacente à região norte do Brasil onde Geyer *et al.* (1991) identificam como uma região que apresenta acentuadas variações nos transportes de sedimentos.

Para Silva, El-Robrini e Santos (2001), a mistura vertical de águas rasas ao longo da plataforma continental amazônica é influenciada consideravelmente pelas correntes de maré, enquanto Cavalcante (2007) relata que essas correntes também contribuem na distribuição de florestas de mangues.

A região nordeste da plataforma amazônica, região de interesse deste estudo, conta com a contribuição de pequenos sistemas estuarinos ao longo da costa, assim como de grandes rios que abastecem a Baía do Marajó, entre eles o rio Tocantins. A série histórica da vazão do rio Tocantins, obtida no site da Agência Nacional das Águas (<http://www.ana.gov.br/>), mostra uma maior descarga entre os meses de março e abril e menor descarga entre os meses de setembro e outubro.

Cavalcante (2007) identificou uma massa de água superficial de baixa salinidade na Plataforma Continental Paraense, em frente à região de Bragança (PA). Diante disso, para orientar a análise e encontrar novos caminhos de investigação, considera-se a hipótese da contribuição do aporte continental gerando gradientes verticais de salinidade na região amostrada.

Para este trabalho foram realizadas duas campanhas, uma para o período de maior descarga e a outra para o de menor descarga. Durante os experimentos, realizados através de estações ancoradas pelo período de 25 horas (2 ciclos completos de maré semi-diurna), foram adquiridos dados hidrodinâmicos (intensidade e direção de correntes) e hidrográficos (temperatura, salinidade e pressão) representativos para o entorno da posição geográfica onde foram realizadas as medições.

---

<sup>1</sup> “Um estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado com ligação livre com o oceano adjacente, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela drenagem continental”, (Dyer, 1973).

O principal objetivo deste trabalho é identificar as principais forçantes responsáveis pelo transporte das águas na região de estudo. Assim, espera-se gerar subsídios para estudos de dispersão de sedimento e outras propriedades neste ambiente, além de contribuir na atuação dos grupos de pesquisa nesta região, uma vez que a maioria dos trabalhos se concentra na região a noroeste da foz do rio Amazonas (Silva *et al.*, 2009).

O estudo aqui apresentado é parte das ações do grupo de pesquisa **GT1.2 - Plumas Fluviais do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Ambientes Marinhos** que junto à outros grupos de trabalho, pretende investigar a heterogeneidade espaço-temporal da costa brasileira compreendida entre as regiões Norte e Nordeste, estabelecer padrões de respostas desses ambientes e suas resiliências às mudanças climáticas, assim como gerar mecanismos que permitam a transferência efetiva de informação para os principais atores sociais de modo descentralizado, garantindo acesso irrestrito a todos os dados e conhecimentos pretéritos e a serem gerados (INCT – AmbTropic - <http://www.inctambtropic.org/>).

## **ÁREA DE ESTUDO**

Muitas das particularidades do clima equatorial se devem à interação termodinâmica das correntes de vento e das correntes marítimas dos hemisférios Norte e Sul, isso torna a Amazônia uma região interessante para vários grupos de pesquisa em Oceanografia, Meteorologia e Geofísica.

A pesquisa, Plumas Fluviais – INCT/AmbTropic, que originou o presente trabalho foi realizada na região costeira do nordeste do Pará (figura 2) em uma área limitada, aproximadamente, entre as latitudes 0° 6' N e 0° 04' S e longitudes 48° 30' W e 46° 00' W, na região geográfica entre a Baía do Marajó e o estuário do Caeté, abrangendo a região costeira adjacente aos municípios de Curuçá, Marapanim, Salinópolis, São João de Pirabas e Bragança.

O nordeste paraense é marcado, entre outras coisas, pela forte presença de mangues, segundo Souza Filho (2005) a costa amazônica ao longo dos estados do Pará e Maranhão detém o maior cinturão contínuo de manguezais do planeta, com uma área de 7.591,09 km<sup>2</sup>.

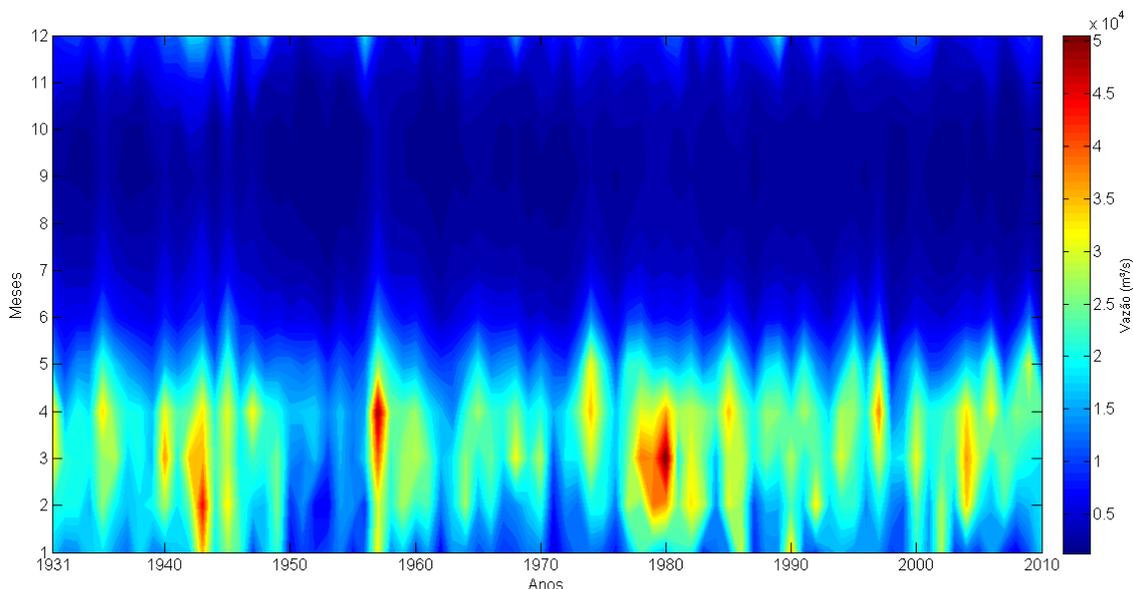
A maré na região amazônica é predominantemente semidiurna, tendo como principais componentes espectrais, a semidiurna lunar  $M_2$  (período de 12,4 horas) e a semidiurna solar  $S_2$  (período de 12 horas), de acordo com Vinzón e Gallo (2004). Esta região tem uma amplitude de maré de aproximadamente 3 m durante marés de quadratura e 4 m em marés de sizígia (Thom, 1984) caracterizando uma região de meso-maré (Davies, 1964). A circulação oceânica próxima à plataforma continental é marcada pelo sistema Corrente Norte do Brasil e Subcorrente Norte do Brasil (componente de subsuperfície). Silva *et al.* (2009) explicam que esse sistema “transporta água quente do Atlântico Sul para noroeste, ao longo da costa brasileira, cruzando a linha do Equador em direção ao Atlântico Norte”.

A respeito da região amazônica, Cavalcante (2007) lembra que esta apresenta um clima quente e úmido e seu período de seca ocorre entre os meses de junho e novembro. De acordo com Silva, El-Robrini e Santos (2001), esta área está sujeita a ação predominante dos ventos alísios de nordeste com valores médios próximos a  $7,0 \text{ m s}^{-1}$  nos períodos mais secos e nos períodos chuvosos, próximos a  $4,9 \text{ m s}^{-1}$ .

Ao estudar algumas características climáticas, entre elas a precipitação pluviométrica do período de 1960 a 1990 do Estado do Pará, Silva *et al.* (2000), através do método de Köppen, classificaram essa microrregião com o subtipo climático “Am” (clima tropical com precipitação média mensal inferior a 60 mm durante períodos secos e precipitação total anual média maior que 1500 mm) e apontaram que a “distribuição espacial da precipitação do Estado mostra a região Nordeste com as de maiores índices pluviométricos”.

## **MÉTODO DE PESQUISA**

Inicialmente, a primeira campanha oceanográfica para levantamento de informações ocorreria durante o mês de março de 2013, período no qual a descarga fluvial do Rio Tocantins apresenta seus valores máximos (Figura 1), mas devido ao atraso gerado por problemas operacionais, acabou sendo adiada para a primeira quinzena do mês de setembro, do mesmo ano.



**Figura 1 - Série histórica da descarga fluvial do Tocantins (Renan Peixoto, comunicação pessoal).**

O trabalho baseia-se em dados obtidos *in situ* em duas estações ancoradas, ocorridas durante os experimentos do projeto INCT – Ambtropic, entre os dias 11 e 12 de setembro de 2013 (período de baixa descarga do rio Tocantins) e entre os dias 25 e 26 de abril de 2014 (período de alta descarga do rio Tocantins).

A primeira estação ancorada com 25 horas de duração (experimento F1), localizada nas coordenadas  $0^{\circ} 25' 58,5''$  S e  $47^{\circ} 16' 26,4''$  W, à aproximadamente 23,6 km do município de Salinópolis (figura 2), iniciou às 14 h 46 min do dia 11 de setembro de 2013 e terminou às 16 h 03 min do dia seguinte, durante o experimento foram realizados 24 perfis hidrográficos e hidrodinâmicos, da superfície às proximidades do fundo submarino.

A segunda estação ancorada (experimento F2) foi prevista com 25 horas de duração para a aquisição de dados hidrográficos e hidrodinâmicos, em perfis verticais ao longo da coluna de água, mas problemas operacionais impossibilitaram o levantamento simultâneo dessas propriedades. Portanto, as propriedades hidrodinâmicas foram obtidas no ciclo de maré posterior ao levantamento hidrográfico. Dessa forma, o experimento 2, foi dividido em duas partes: a primeira, em dados hidrográficos e a segunda, em dados hidrodinâmicos.

O experimento F2 - parte I (com 25 horas de duração) localizado nas coordenadas  $0^{\circ} 26' 32,8''$  S e  $47^{\circ} 34' 49,3''$  W teve início às 17 h 10 min do dia 25 de abril de 2014 e terminou às 18 h 11 min do dia seguinte.

O experimento F2 - parte II (com 14 horas de duração) foi realizado nas mesmas coordenadas do experimento F2 - parte I, iniciando às 13 h 10 min do dia 26 de abril de 2014 e encerrando às 03 h 16 min do dia seguinte, neste experimento não houve aquisição de dados hidrográficos.

Durante a primeira campanha foi realizado um perfilamento hidrográfico (estação 10) nas coordenadas  $0^{\circ} 24' 15,5''$  S e  $47^{\circ} 17' 13,6''$  W, uma distância de aproximadamente 34 km a oeste do experimento F1, os dados da estação 10 foram utilizados para verificar as características registradas no entorno de F1.

Da mesma forma, durante a segunda campanha foi realizado, também, um perfilamento hidrográfico (estação 12) nas coordenadas  $0^{\circ} 24' 18,1''$  S e  $47^{\circ} 15' 33,6''$  W, uma distância de aproximadamente 36 km a leste de F2.

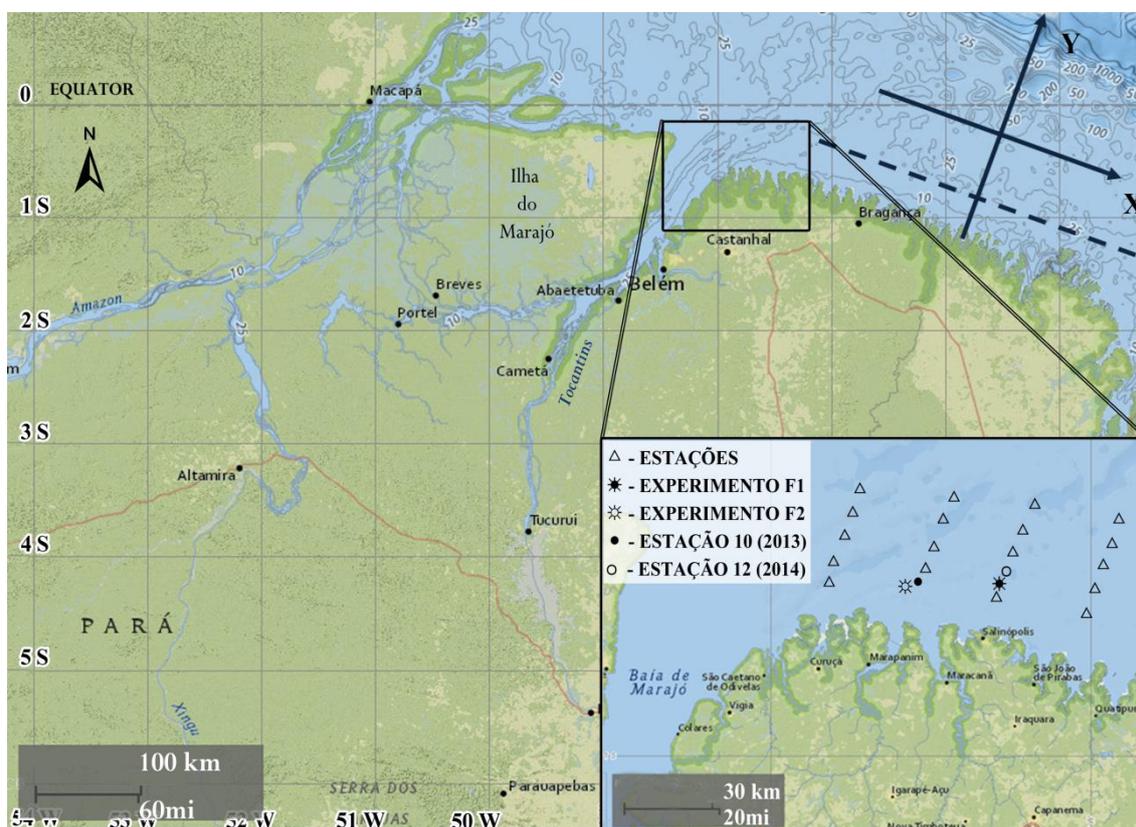


Figura 2 - Região amostral na costa oriental do Pará. (Fonte: NOAA, 2014).

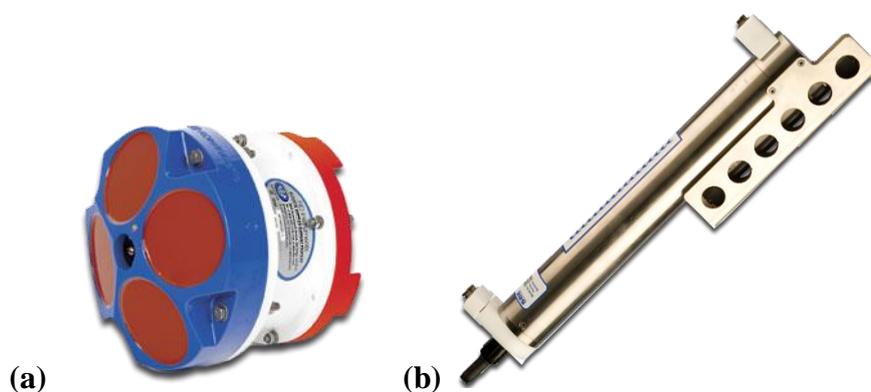
### Propriedades hidrodinâmicas e hidrográficas

As aquisições hidrodinâmicas foram realizadas empregando perfiladores acústicos de corrente por Efeito Doppler ou simplesmente ADCP (acrônimo do inglês

*Acoustic Doppler Current Profiler*) modelo WHRG600 - **Workhorse Rio Grande ADCP** (Teledyne RD Instruments) com frequência de 600 kHz e a acurácia da velocidade da água em relação ao equipamento de  $\pm 0,25\%$  (figura 3a).

Para o levantamento hidrográfico foi utilizado um registrador de dados de salinidade, temperatura e pressão - CTD (acrônimo do inglês *Conductivity, Temperature and Depth*) modelo **SBE 37-SM** (Sea-Bird Electronics, Inc.) de acurácia inicial igual a  $0,003 \text{ mS cm}^{-1}$  para a condutividade,  $0,002 \text{ }^\circ\text{C}$  para a temperatura e  $0,1\%$  de todo o alcance da escala da pressão (figura 3b). Os valores de salinidade encontrados durante os experimentos de março e setembro se baseiam na Escala Prática de Salinidade (EPS-1978).

As densidades foram calculadas pela equação internacional de estado da água do mar à pressão atmosférica (UNESCO, 1981), através da rotina computacional desenvolvida por Morgan (1994).



**Figura 3 - Equipamentos usados durante os experimentos: (a) ADCP e (b) CTD. (Fotos: seabird.com e rdinstruments.com, respectivamente).**

### **Decomposição de velocidade**

Para analisar a distribuição espacial e temporal das propriedades hidrodinâmicas em relação à costa, foi definido um sistema de coordenadas XY (figura 2) cujo eixo das abscissas seja aproximadamente paralelo à linha da costa, assim, a direção e o sentido da corrente serão referidos ao eixo  $O_x$  desse novo sistema.

Após a redução do eixo de coordenadas magnético ao eixo XY, foi obtida as seguintes equações para o cálculo do módulo da componente  $u$  paralela à linha de costa e  $v$  perpendicular à linha de costa:

$$\mathbf{u} = V \cos \left\{ \left[ 90^\circ - (dd - D) \right] + \gamma \right\}. \quad (1)$$

e

$$\mathbf{v} = V \sin \left\{ \left[ 90^\circ - (dd - D) \right] + \gamma \right\} \quad (2)$$

Onde  $V$  é o módulo da velocidade  $\vec{V}$ ,  $dd$  é ângulo formado entre o eixo norte magnético e o vetor velocidade e  $\gamma$  é o ângulo que equivale à rotação horária sofrida pelo sistema de coordenadas geográfico. Mais detalhes sobre o processo de rotação a um eixo de coordenadas específico podem ser consultados em Miranda, Castro e Kjerfve (2002).

Para esse trabalho foi usada a declinação magnética  $D$  igual a  $20,05^\circ$ , dado referente ao ponto ( $0^\circ 21' 1,4''$  S e  $47^\circ 48' 43,0''$  W) do dia 07 de setembro de 2013 (fonte: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>). O ângulo de rotação horária necessário para que o eixo  $Ox$  seja aproximadamente paralelo à costa é igual a  $20^\circ$ . Dessa forma a velocidade positiva  $\mathbf{u}$  estará orientada positivamente em sentido leste-sudeste (ESE) e negativamente em sentido oeste-noroeste (ONO). A velocidade  $\mathbf{v}$  estará orientada positivamente ao largo da costa.

### Processamento e representação gráfica

Os dados hidrográficos e hidrodinâmicos levantados foram processados em ambiente MATLAB<sup>®2</sup>, através de rotinas específicas desenvolvidas para esse trabalho, tomando por base os métodos e rotinas propostos por Bérghamo *et al.* (2002). Os dados brutos de ADCP foram carregados por meio da rotina RDPADCP de Pawlowicz (1998).

Para a filtragem dos dados foi aplicado o método de médias móveis. Neste método, à medida que são realizadas as leituras dos dados no espaço amostral, são feitas médias dos dados que compõem uma determinada janela. Os resultados são inseridos na janela seguinte e conseqüentemente os dados mais antigos são desprezados (Morettin & Toloí, 1981).

---

<sup>2</sup> MATLAB<sup>®</sup> é marca registrada da empresa The MathWorks Inc., 24 Prime Park Way, Natick, Massachusetts, 01760, USA.

A princípio, a profundidade local foi considerada como uma função do tempo dada por  $h = h(t)$ , portanto, suscetível às variações decorrentes das oscilações da maré. Para minimizar os efeitos dessas variações, a profundidade de amostragem  $z$  foi convertida na profundidade adimensional  $Z$ , definida por:

$$Z = \frac{z}{h(t)}, \quad (3)$$

tal como indicado por Kjerfve (1975).

Em seguida, os perfis verticais das propriedades de interesse foram discretizadas em 11 profundidades ao longo da coluna de água a intervalos de 1/10 da profundidade adimensional. Onde,  $Z = 0$  e  $Z = 1$  indicam a superfície e o fundo, respectivamente.

Para essa discretização foi efetuada uma interpolação numérica através do método *cubic spline*. Esse método consiste em um ajuste dos dados por meio de polinômios do terceiro grau, com derivadas primeiras e segundas contínuas (Pennington, 1970).

### Transportes de massa e volume

Para os cálculos de transportes resultantes de massa e volume, considerou-se os dados hidrográficos e hidrodinâmicos distribuídos de forma discreta no espaço e no tempo. Se considerarmos uma propriedade genérica  $P(Z, t)$  discretizada no tempo e no espaço sua média temporal será dada por

$$\langle P(Z_j) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T P(Z_j, t) dt. \quad (4)$$

Onde o símbolo  $\langle \rangle$  significa a média temporal e  $j = 0, 1, 2, \dots, 10$ . Como os valores da propriedade genérica correspondem a  $n$  interpolações à  $\Delta t$  constante, ao longo do período  $T$ , com  $T = n\Delta t$ , pode-se reescrever a equação anterior da seguinte forma:

$$\langle P(Z_j) \rangle = \frac{1}{n} \left[ \frac{P(Z_j, t_0)}{2} + \sum_k P(Z_j, t_k) + \frac{P(Z_j, t_n)}{2} \right]. \quad (5)$$

Onde  $k=1,2,3,\dots,n-1$  e  $t_n - t_0 = T$ .

Considerando  $P(Z, t)$  em um determinado momento  $t$ , sua média ao longo da coluna de água será:

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{h} \int_0^h P(z, t) dz = \int_0^1 P(Z, t) dZ. \quad (5)$$

Onde a barra sobre  $P$  indica a média espacial e  $0 < z < h$  ou  $0 < Z < 1$ . Como em geral  $P(Z, t)$  não é conhecida analiticamente, seu resultado pode ser obtido numericamente pela equação:

$$\bar{P}(t) = \frac{1}{10} \left[ \frac{P(0, t)}{2} + \sum_j P(Z_j, t) + \frac{P(1, t)}{2} \right]. \quad (7)$$

Onde  $j=1,2,3,\dots,9$ .

Para casos onde a seção transversal é conhecida apenas em um perfil vertical, pode-se calcular o transporte resultante de volume representativo para o entorno da posição geográfica onde foi feito o experimento. Neste caso, o transporte de resultante volume é dado por:

$$\langle T_{volume} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{u}(t) h(t) dt = \langle \bar{u}h \rangle. \quad (8)$$

Onde  $T$  é o período de maré e  $\langle \bar{u}h \rangle$  numericamente igual a  $\langle \bar{u}hB \rangle$ , sendo  $B$  a largura unitária de dimensão  $L$  da área representativa em cada experimento. Portanto, as dimensões do transporte serão  $L^3 T^{-1}$ .

Usando a equação 4 para equações desconhecidas analiticamente, é possível calcular seu resultado numericamente com:

$$\langle T_{volume} \rangle = \frac{1}{n} \left[ \frac{\bar{u}(t_0)h(t_0)}{2} + \sum_k \bar{u}(t_k)h(t_k) + \frac{\bar{u}(t_n)h(t_n)}{2} \right]. \quad (9)$$

Em que  $n$  é o número de intervalos contidos no período de maré considerado.

Da mesma forma, é possível calcular a quantidade de massa transportada em perfil vertical representativo para uma seção transversal, neste caso a equação considerada será:

$$T_{massa} = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{\rho} \bar{u} h dt = \langle \bar{\rho} \bar{u} h \rangle. \quad (10)$$

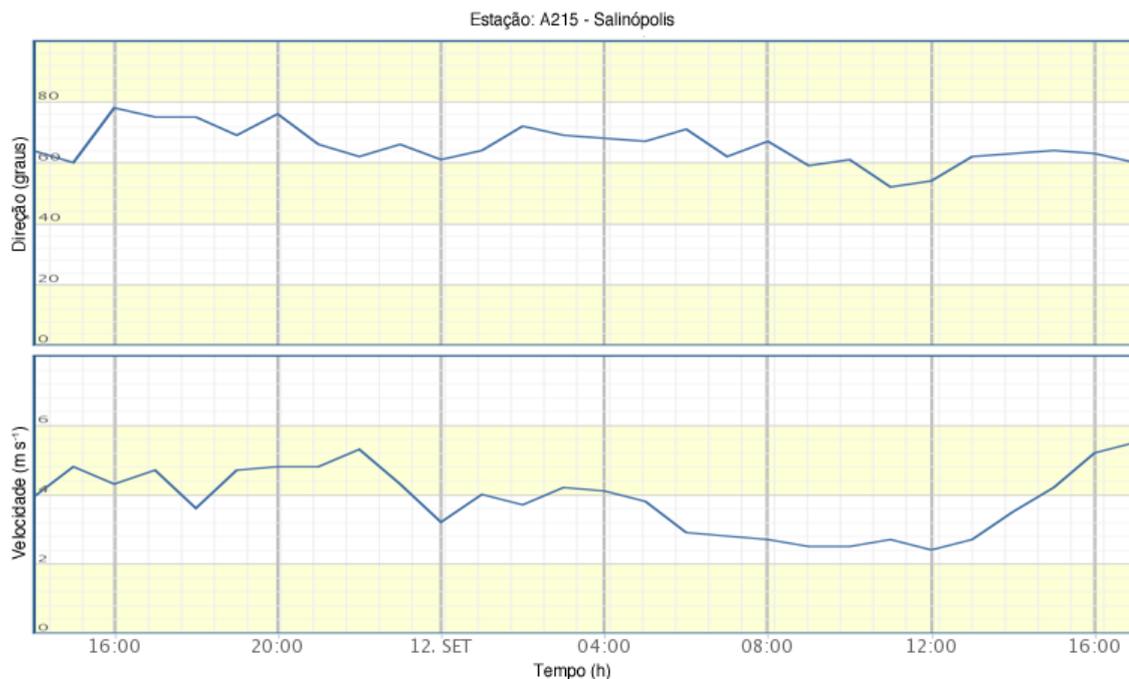
Onde  $\rho$  é a densidade da água e as dimensões do transporte são  $ML^{-1}T^{-1}$ .

Mais detalhes sobre o cálculo de transportes de massas e volumes podem ser consultados em Miranda *et al.* (2002).

## RESULTADOS

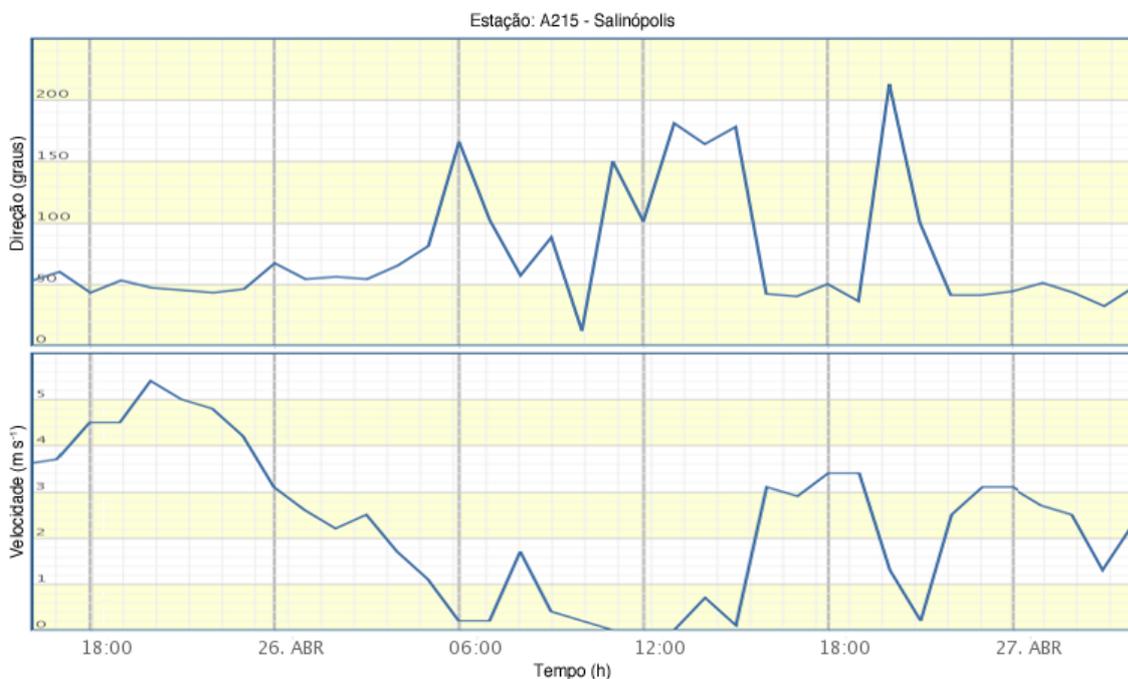
### Vento e precipitação

O experimento F1 (setembro de 2013) ocorreu durante a maré de quadratura. A direção do vento se manteve a nordeste, com direções próximas de  $80^\circ$  e  $50^\circ$ . As velocidades mínimas e máximas foram de aproximadamente  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  e  $6,0 \text{ m s}^{-1}$ , a variação entre esses valores iniciou por volta de 12 h 00 min do dia 12, antes disso a velocidade se manteve próxima de  $4 \text{ m s}^{-1}$  (figura 4).



**Figura 4 - Dados de vento durante o experimento F1. (Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), 2013).**

O experimento F2 (abril de 2014) ocorreu durante a transição entre as marés de quadratura e sizígia. O nível de precipitação em Salinópolis durante o experimento foi mínimo. A direção do vento se manteve a nordeste, com poucos momentos a noroeste, o valor máximo esteve próximo de  $200^\circ$  e mínimo próximo de  $0^\circ$ . As velocidades mínimas e máximas foram de quase  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  e  $5,3 \text{ m s}^{-1}$  (figura 5).



**Figura 5 - Dados de vento durante o experimento F2. (Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).**

O nível de precipitação durante o experimento F1 foi mínimo, enquanto que durante os experimentos F2 (entre os dias 25 e 26 abril de 2014) foi abaixo de 5 mm (figura 6).

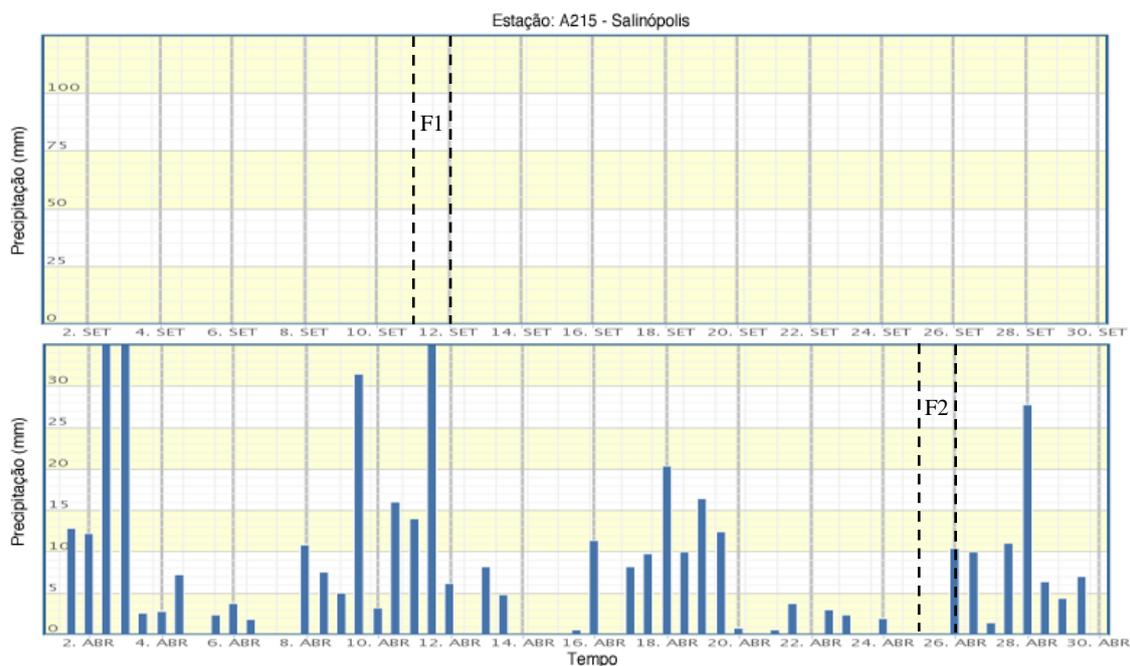
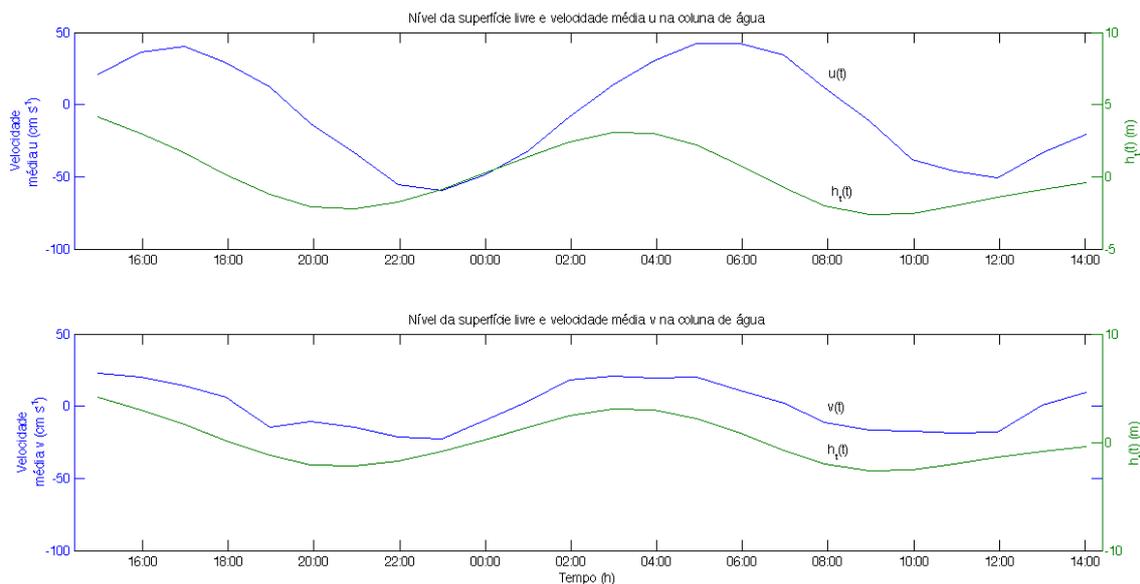


Figura 6 - Níveis de precipitação na Plataforma do nordeste paraense durante os meses de setembro de 2013 e abril de 2014.

### Experimento F1

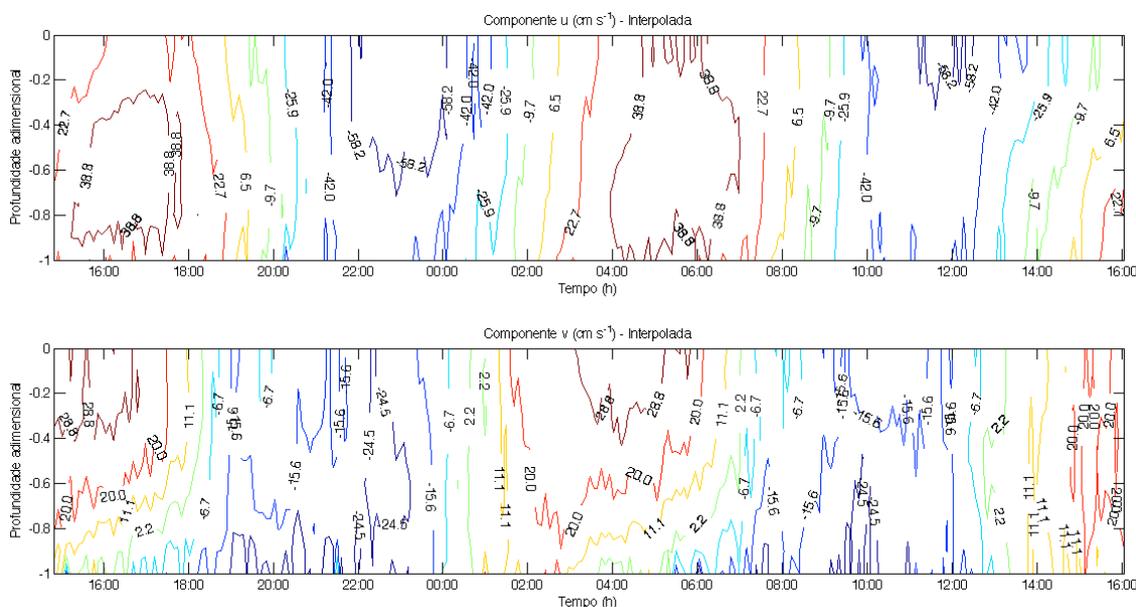
Durante o fundeio F1 houve duas marés baixas, a primeira por volta de 21 h 00 min do dia 11 de setembro de 2013 e a segunda por volta de 09 h 00 min do dia seguinte, a preamar ocorreu por volta de 03 h 00 min do dia 12.

Os valores médios atingidos pelas componentes de velocidade paralela e transversal à costa foram de  $-5,9 \text{ cm s}^{-1}$  e  $-1,0 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente. A profundidade média local foi de 24,5 m e a maré oscilou pouco mais que 5,0 m entre as estofas de enchente e vazante com amplitude média de 2,6 m, caracterizando, de acordo com a classificação de Davies (1964), uma região de meso-maré conforme aponta Thom (1984). A oscilação registrada apresenta característica de onda mista (figura 7).



**Figura 7 - Comparativo entre a oscilação da maré e (a) a velocidade média de  $u$  e (b) a velocidade média de  $v$  ao longo da coluna de água, durante o experimento F1.**

Os valores máximos atingidos pela componente  $u$  da velocidade foram:  $-58,2 \text{ cm s}^{-1}$  para enchente e  $38,8 \text{ cm s}^{-1}$  para vazante. As mudanças no sentido de propagação da corrente ocorreram por volta de 20 h 00 min, 02 h 00 min, 8 h 00 min e 14 h 00 min. Os valores máximos atingidos pela componente  $v$  da velocidade foram:  $-24,5 \text{ cm s}^{-1}$  para enchente e  $28,8 \text{ cm s}^{-1}$  para vazante, neste caso a mudança no sentido de propagação da velocidade ao longo de toda a coluna de água ocorreu por volta de 18 h 30 min, 00 h 30 min, 07 h 00 min e 13 h 00 (figura 8).

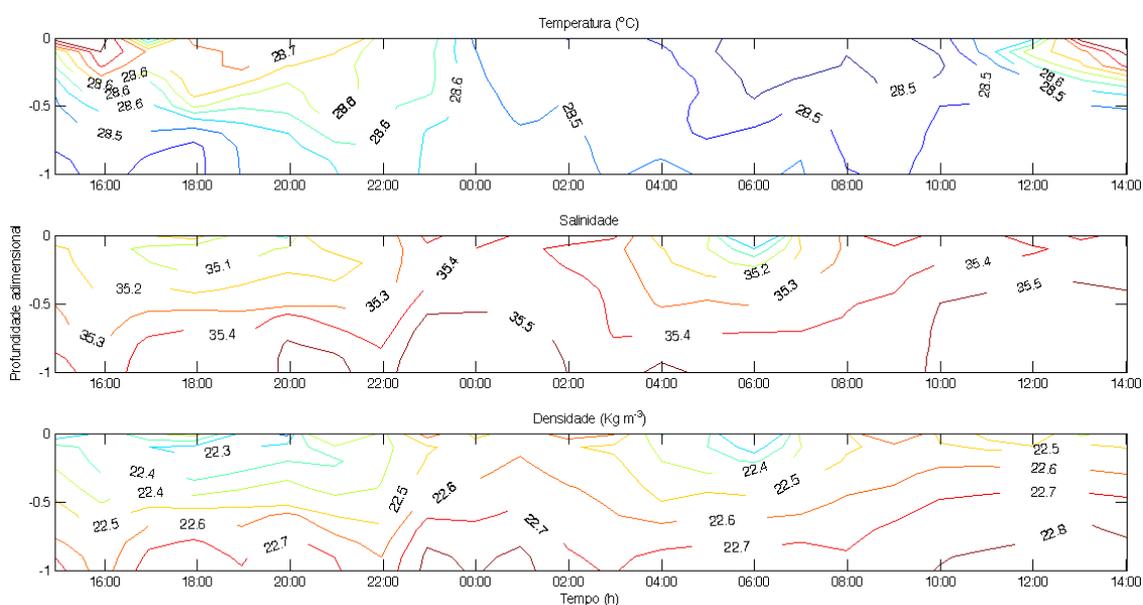


**Figura 8 - Isolinhas de velocidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F1.**

As variações da temperatura, salinidade e densidade ao longo da coluna de água e durante todo o fundeio foram muito pequenas, com a presença de poucos gradientes verticais. O maior valor de temperatura registrado foi de 28,7 °C, entre 18 h 00 min e 21 h 00 min, próximo à superfície. A menor temperatura registrada foi de 28,5 °C e a temperatura média da água foi de 28,5.

A distribuição de salinidade apresentou muitas semelhanças com a distribuição de densidade, com ambas indicando águas verticalmente homogêneas durante todo o período da maré. O maior valor de salinidade registrado foi de 35,5 e o menor, de 31,1, com valor médio igual a 35,3.

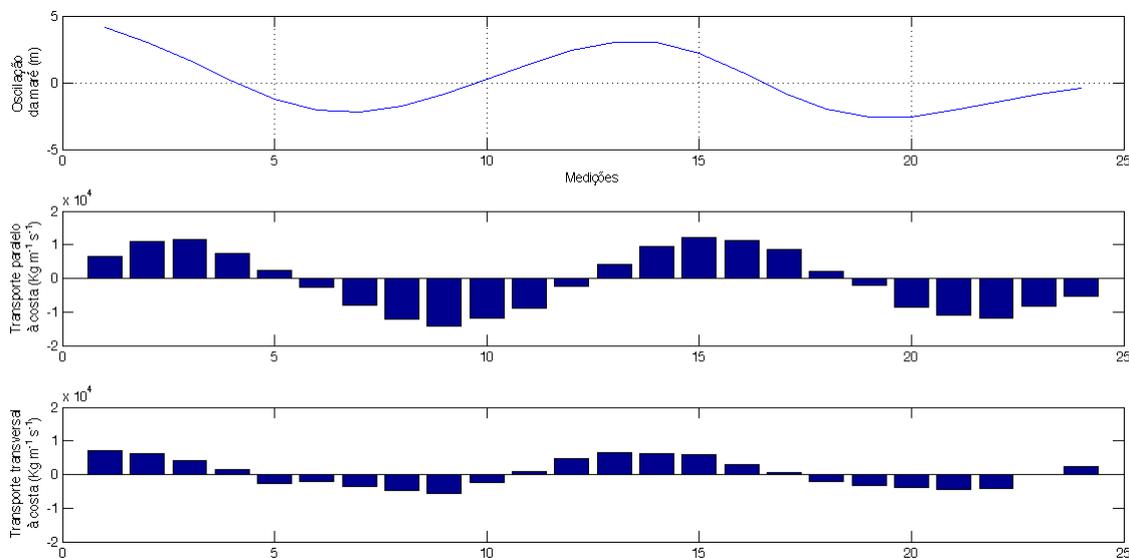
Para a anomalia de densidade, o maior valor registrado foi de 22,8 kg m<sup>-3</sup> e o menor, de 22,3 kg m<sup>-3</sup> (figura 9), com valor médio igual a 22,6 kg m<sup>-3</sup>.



**Figura 9 - Isolinhas de (a) temperatura, (b) Salinidade e (c) densidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F1.**

O transporte de massa no entorno do fundeio F1, durante dois ciclos de maré, foi obtido numericamente por meio da equação 9, baseada na distribuição das componentes de velocidade paralela e transversal à costa e na densidade média na coluna de água. Os transportes instantâneos durante o experimento apresentaram uma feição cíclica que acompanha a oscilações da maré com uma defasagem de 2,0 horas em relação às estofas de maré vazante e enchente (figura 10). O resultado gráfico mostra a ocorrência de uma assimetria entre os transportes de enchente e vazante, sendo o transporte de massa

resultante devido à  $u$  igual a  $-9,3 \times 10^2 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e o transporte resultante de volume obtido por meio da equação 8 foi igual a  $-0,9 \times 10^{-6} \text{ Sv}$  (sigla da unidade de medida Sverdrup, que equivale a  $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). O transporte de massa resultante devido à  $v$  foi igual a  $2,2 \times 10^2 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e o transporte resultante de volume, igual a  $0,2 \times 10^{-6} \text{ Sv}$ .



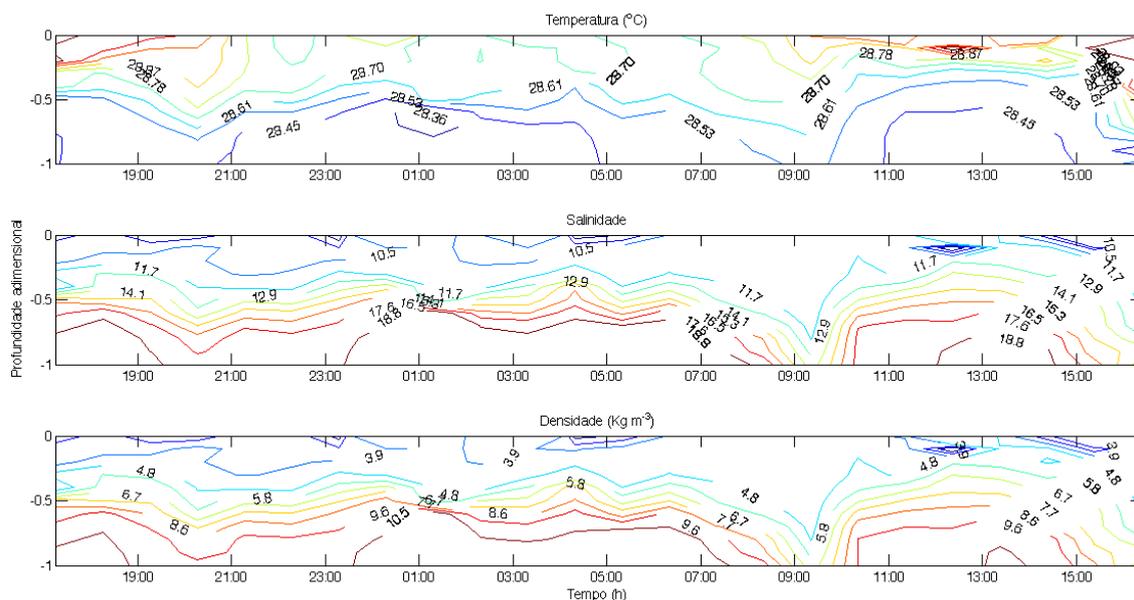
**Figura 10 - Variação temporal (a) altura da maré (b) e do transporte instantâneo de massa ao longo da coluna de água durante o experimento F1.**

### Experimento F2 - parte I

Neste caso, as variações da temperatura, salinidade e densidade na coluna de água e durante todo o período foram maiores em relação ao experimento F1. O maior valor de temperatura registrado foi de  $28,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , entre 18 h 00 min e 19 h 00 min, próximo à superfície. A menor temperatura registrada foi de  $28,3 \text{ }^\circ\text{C}$  e a temperatura média da água foi de  $28,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A distribuição de salinidade apresentou muitas semelhanças com a distribuição de densidade, com uma característica altamente estratificada. O maior valor de salinidade registrado foi de 18,8 e o menor, de 10,5, com valor médio igual a 14,6.

Para a anomalia de densidade, o maior valor registrado foi de  $10,5 \text{ kg m}^{-3}$  e o menor, de  $3,9 \text{ kg m}^{-3}$  (figura 11), com valor médio igual a  $7,0 \text{ kg m}^{-3}$ . A profundidade média local registrada foi de 19,2 m.

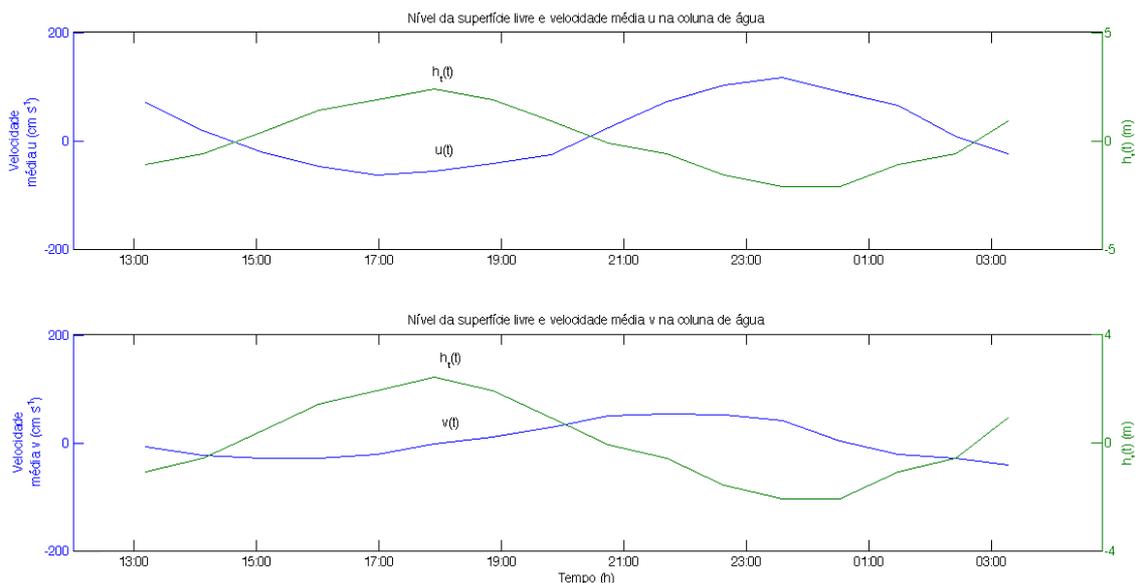


**Figura 11 - Isolinhas de (a) temperatura, (b) Salinidade e (c) densidade em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte I.**

## Experimento F2 - parte II

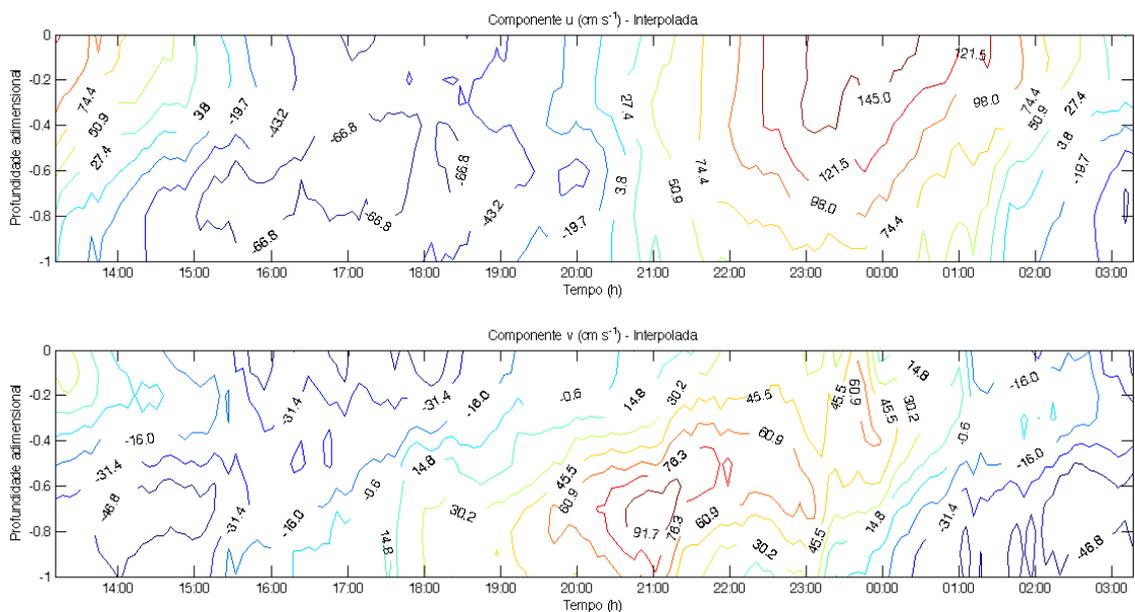
Durante o experimento F2 - parte II houve uma maré alta por volta de 18 h 00 min do dia 26 de abril de 2014 e uma maré baixa por volta de 00 h 00 min do mesmo dia.

Os valores médios atingidos pelas componentes  $u$  e  $v$  foram de  $17,5 \text{ cm s}^{-1}$  e  $-5,2 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente. A profundidade média local foi de 18,4 m e a maré oscilou pouco mais que 5,0 m entre as estofas de enchente e vazante com amplitude média de 2,6 m, caracterizando, de acordo com a classificação de Davies (1964), uma região de meso-maré conforme aponta Thom (1984). A oscilação registrada apresenta característica de onda estacionária (figura 12).



**Figura 12 - Comparativo entre a oscilação da maré e a velocidade média ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte II.**

Os valores máximos atingidos pela componente  $u$  da velocidade foram:  $-66,8$   $\text{cm s}^{-1}$  para enchente e  $145,0$   $\text{cm s}^{-1}$  para vazante. As mudanças no sentido de propagação iniciaram por volta de 13 h 00 min, 20 h 30 min e 1 h 30 min (figura 13).



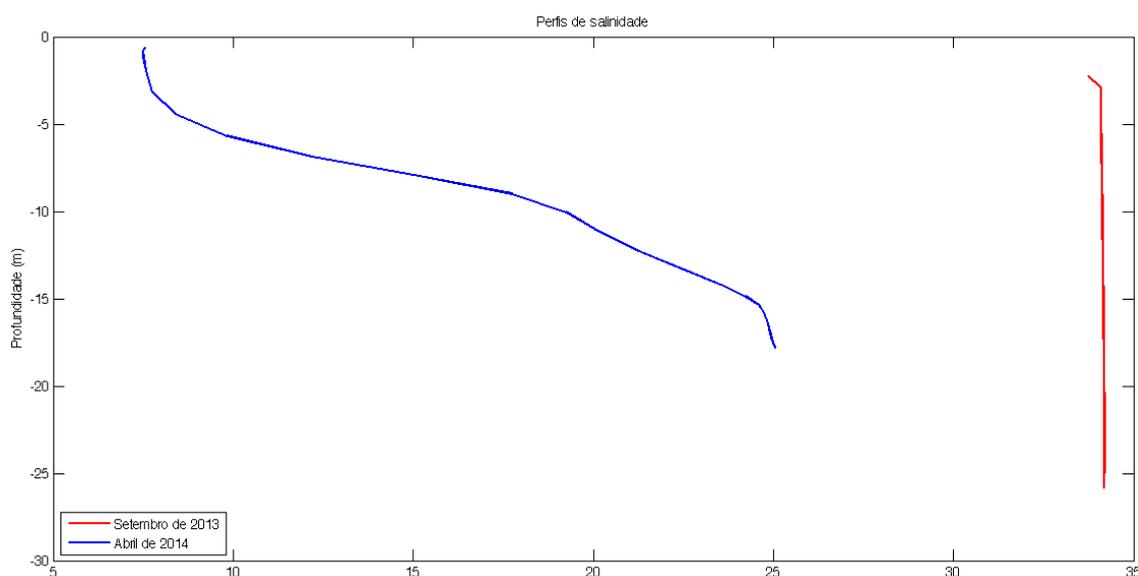
**Figura 13 - Isolinhas (a) da velocidade  $u$  e (b) da velocidade  $v$  em função do tempo e da profundidade adimensional ao longo da coluna de água durante o experimento F2 - parte II.**

Os transportes resultantes de volume devido às componentes  $u$  e  $v$ , obtidos por meio da equação 8 foram iguais a  $2,4 \times 10^{-6}$  Sv e  $0,4 \times 10^{-6}$  Sv, respectivamente.

## Perfis hidrográficos

Na figura 14, são apresentados os perfis de salinidade referente às estações 10 (realizada em setembro) e 12 (realizada em abril). O perfil obtido em setembro, na estação próxima a localização de F2, apresentou as salinidades mínimas e máximas de 33,7 e 34,1, respectivamente.

O perfil de salinidade referente à estação 12 (obtido em abril), próxima à localização de F1, apresentou valores mínimos e máximos de 7,5 e 25,0, respectivamente.



**Figura 14 - Perfis de salinidade referentes às estações 10 (setembro/2013) e 12 (abril/2014).**

A tabela I apresenta os valores máximos, mínimos e médios das propriedades hidrográficas e hidrodinâmicas medidas e calculadas.

TABELA I – Resultados obtidos durante os experimentos de setembro de 2013 e abril de 2014 na Plataforma Continental do nordeste paraense.

Propriedades		Experimento 1	Experimento 2 Parte I	Experimento 2 Parte II
Componentes de velocidade (cm s <sup>-1</sup> )	$\bar{u}$	-5,9	-	17,5
	$\bar{v}$	-1,0	-	-5,2
	$u_{\text{máx.}}^{(+)}$	38,8	-	145,0
	$u_{\text{máx.}}^{(-)}$	-58,2	-	-66,8
	$v_{\text{máx.}}^{(+)}$	28,8	-	91,7
	$v_{\text{máx.}}^{(-)}$	-24,5	-	-46,8
Salinidade (Escala Prática)	$\bar{S}$	35,3	14,6	-
	$S_{\text{máx.}}$	35,5	18,8	-
	$S_{\text{mín.}}$	31,1	10,5	-
Temperatura (°C)	$\bar{T}$	28,5	28,6	-
	$T_{\text{máx.}}$	28,7	28,8	-
	$T_{\text{mín.}}$	28,5	28,3	-
Anomalia de Densidade (Kg m <sup>-3</sup> )	$\bar{\sigma}_t$	22,6	7,0	-
	$\sigma_t  _{\text{máx.}}$	22,8	10,5	-
	$\sigma_t  _{\text{mín.}}$	22,3	3,9	-
Transporte de Massa (Kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	$[T_M]_X$	$-9,3 \times 10^2$	-	-
	$[T_M]_Y$	$2,2 \times 10^2$	-	-
Transporte de Volume (Sv)	$[T_V]_X$	$-0,9 \times 10^{-6}$	-	$2,4 \times 10^{-6}$
	$[T_V]_Y$	$0,2 \times 10^{-6}$	-	$0,4 \times 10^{-6}$
Profundidade (m)	$\bar{h}$	24,5	19,2	18,4

## DISCUSSÃO

Ao analisar o campo de velocidades, principalmente no experimento F1 (setembro de 2013), não é possível perceber uma influência significativa entre o vento e as correntes, uma vez que na superfície, no intervalo de tempo a partir de 12 h 00 min desse experimento a velocidade da corrente superficial (em sentido ao oeste-noroeste) tende a diminuir, com a inversão no sentido defasada em relação a corrente no fundo, enquanto que a velocidade do vento neste período está aumentando. Ao contrário de Silva (2006) que registrou ventos fluindo na direção leste-oeste durante o mês de setembro de 2001, durante esta pesquisa foram registrados ventos fluindo no quadrante nordeste.

Diferentemente do experimento F1, em F2 - parte II (abril de 2014) é possível perceber uma maior influência do vento, principalmente nas correntes superficiais a partir de 23 h 00 min. Houve um aumento nos transportes resultantes de volume e uma mudança no sentido de propagação.

Em F1 os transportes devido a componente paralela à costa se deram em sentido oeste-noroeste (em direção a Baía do Marajó) e em F2 - parte II, em sentido leste-sudeste (em direção à Bragança). Os transportes resultantes de volume devido à  $u$  em F1 e F2 - parte II foram iguais a  $-0,9 \times 10^{-6}$  Sv e  $2,4 \times 10^{-6}$  Sv, respectivamente. Os transportes resultantes de volume devido à  $v$  em F1 e F2 - parte II foram iguais a  $0,2 \times 10^{-6}$  Sv e  $0,4 \times 10^{-6}$  Sv, respectivamente.

Os resultados hidrográficos mostraram que, durante a primeira campanha (F1), a água apresentou uma característica mais homogênea (figura 9) com maior valor de salinidade (salinidade média igual a 35,3) e perfil vertical com valores máximos e mínimos iguais a 35,5 e 31,1, respectivamente.

Durante a segunda campanha (F2 - parte I), a água apresentou uma característica um pouco mais estratificada, com maiores variações e valores mais baixos de salinidade que durante F1, ao longo de toda a coluna de água. A salinidade média foi igual a 14,6, corroborando, portanto, com os resultados de transporte e reforçando a hipótese proposta nesta dissertação.

Os resultados obtidos estão qualitativamente de acordo com os encontrados na literatura, como por exemplo; na Plataforma do Nordeste Paraense entre março e abril de 2004, onde Cavalcante (2007) identificou uma massa de água com salinidade 12,0 e Silva (2001) identificou, em outubro de 1997, que não houve influência de águas

fluviais na Plataforma próxima a Baía do Marajó, com valores máximos e mínimos, iguais a 37,0 e 35,9, respectivamente.

O perfil de salinidade amostrado na estação 10 (figura 14) apresenta características de águas homogêneas tal como verificado em F1, aproximadamente 30 km distante da estação 10, durante o período de menor aporte de água doce na região. Padrão semelhante foi identificado para a estação 12 e experimento F2 (distantes aproximadamente 30 km), ambos apresentando alta estratificação vertical de salinidade, durante o período de maior aporte de água doce. Esses perfis reforçam os resultados obtidos nas estações ancoradas.

## CONCLUSÕES

Durante a primeira campanha, experimento F1 (de 11 a 12 de setembro de 2013), os perfis hidrográficos não apresentaram estratificação vertical, caracterizando uma região verticalmente homogênea, ao longo de todo o período amostrado. Entretanto, durante o experimento F2 - parte I (de 25 a 26 de abril de 2014), a distribuição temporal dos perfis de salinidade e densidade apresentaram condições de alta estratificação vertical, enquanto os perfis de temperatura, um gradiente vertical e temporal muito pequeno.

O perfil de salinidade registrado na estação 10 (08 de setembro de 2013) distante aproximadamente 30 km do experimento F1 (figura 2), apresentou estratificação vertical semelhante à obtida na estação ancorada F1 (verticalmente homogêneo). Da mesma forma, o perfil de salinidade registrado na estação 12 (28 de abril de 2014) distante aproximadamente 30 km do experimento F2 - parte I (figura 2), apresentou estratificação vertical semelhante à obtida na estação ancorada F2 - parte I (alta estratificação vertical). Conforme os registros de precipitação para a região de Salinópolis (PA), o mês de setembro de 2013 apresentou valores mínimos enquanto uma maior precipitação foi registrada para o mês de abril de 2014. Esses resultados sugerem uma influência do aporte de água doce na estratificação da região amostrada.

A propagação para oeste-noroeste (sentido Bragança-Marajó) dos transportes resultantes de volume e massa coincide com o período de menor descarga registrada para o Rio Tocantins (afluente da Baía do Marajó), assim como o transporte leste-sudeste (sentido Marajó-Bragança) coincide com o período de maior descarga.

Comparando os resultados dos dois experimentos, o transporte resultante de volume foi mais intenso no sentido Marajó-Bragança.

Durante o período de menor aporte fluvial (setembro), o módulo do transporte resultante de volume se aproximou de 0 (zero), mostrando um transporte de águas forçado pela oscilação periódica das correntes de maré.

A mudança no sentido de propagação e na intensidade do transporte resultante de volume aponta para uma possível relação entre a corrente resultante e o aporte de água doce.

Diante disso, sugere-se para trabalhos futuros, com o objetivo de completar os resultados obtidos nesta pesquisa, a realização de estações hidrográficas com períodos de duração mais longos (durante vários ciclos de maré e diferentes períodos sazonais) em vários pontos da plataforma continental.

## **AGRADECIMENTOS**

O autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Ambientes Marinhos (INCT-AmbTropic) e ao Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará.

## **REFERÊNCIAS**

Bérgamo, A. L.; Miranda, L. B. e Corrêa, A. C, 2002. Estuário: Programas para processamento e análise de dados hidrográficos e correntométricos. *Relat. Téc. Inst. Oceanogr.*, (49): 1-16.

Blackman, R.B. & Tukey, J.W. *The Measurement of Power Spectra*. New York: Dover, 1958, appendix B.5, pp. 95-100.

Cavalcante, G. H. 2007. Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté, Pará, Brasil. 138 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense. Niterói.

Davies, J. L., 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphology*, 8, Mortensen Sonderheft, p. 127-142.

Dias, F. J. S.; Castro, B. M., e Lacerda, L. D. 2011. Circulação na Plataforma Continental ao largo do estuário do Rio Jaguaribe (Ceará – Nordeste – Brasil) durante a estação chuvosa de 2009. V *Simpósio Brasileiro de Oceanografia*. São Paulo.

Dyer, K. R. 1973. *Estuaries: A physical introduction*. John Wiley & Sons. London. p. 140.

Geyer, W. R.; Beardsley, R. C.; Candela, J; Castro, B. M.; Legeckis, R. V.; Lentz, S. J; Limeburner, R.; Miranda, L. B., and Trowbridge, J. H. 1991. The Physical Oceanography of the Amazon Outflow. *Oceanography*. 4(1):8–14.

Johns W, E.; Beardsley R. C.; Candela J.; Limeburner R. and Castro B. M. 1998. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, 28: 103–128.

Kjerfve, B., 1975. Velocity averaging in estuaries characterized by a large tidal range to depth ratio. *Estuarine and Coastal Marine Science*, (3): 311-323.

\_\_\_\_\_, B., and Lacerda, L. D., 1993. Mangroves of Brazil. Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part 1: Latin America. ITTO/ISME, Okinawa.

Landis, R. C., 1971. Early BOMEX Results of Sea Surface Salinity and Amazon River Water. *J. Phys. Oceanogr.* 1. 278–281.

Lentz, S. J., 1995. Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon Plume inferred from historical hydrography data. *Journal of Geophysical Research*, 100: 2391-2400.

Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B., 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 51 p.

Morettin, P. A. e Toloí, C. M., 1981. *Modelos para Previsão de Séries Temporais*. Edgard Blucher.

Morgan, P. P., 1994. SEAWATER: A library of MATLAB computational routines for the properties of sea water. CSIRO Marine Laboratories Report 222, 29 p.

Nittrouer, C. A. e Demaster, D. J., 1996. “The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river”, *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 5/6, pp. 553-573.

Pawlowicz, R. <http://www2.ocgy.ubc.ca/~rich/>. 1998. Acesso em: 19 out. 2013.

Pennington, R. H. 1970. Computer methods and numerical analysis. 2 ed., Macmillan. 452 p.

Silva, M. M.; Andrade, V. M. S.; Fontinhas, R. L.; Guimarães, P. L., e Altieri, F., 2000. Mapas médios climatológicos do Estado do Pará. In *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, CD-ROM.

Silva, A. C.; El-Robrini, M.; Santos, M. L. S., 2001. Campo de temperatura e salinidade na plataforma continental do Amazonas, durante a descarga mínima do rio Amazonas: Uma análise ambiental. *Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA*. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/revistaic>> Vol. 1. Nº 1.

\_\_\_\_\_, A. C.; Araújo, M.; e Bourlès, B., 2005. Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. *Revista Brasileira de Geofísica*. Vol. 23(2): 145-157.

\_\_\_\_\_, A. C., 2006. An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results. Tese de doutorado, Departamento de Oceanografia, UFPE, Recife/PE, 156 p.

\_\_\_\_\_, A. C.; Santos, M. L. S.; Araújo, M. C.; Bourlès, B., 2009. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazonica*. Vol. 39 (2). p. 361 – 370.

Souza Filho, P. W. M., 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*. Vol. 23(4). p. 427 – 435.

Thom, B. G., 1984. Coastal landforms and geomorphic processes. In: Snedacker, S., Snedacker (Eds.), *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*. Paris.

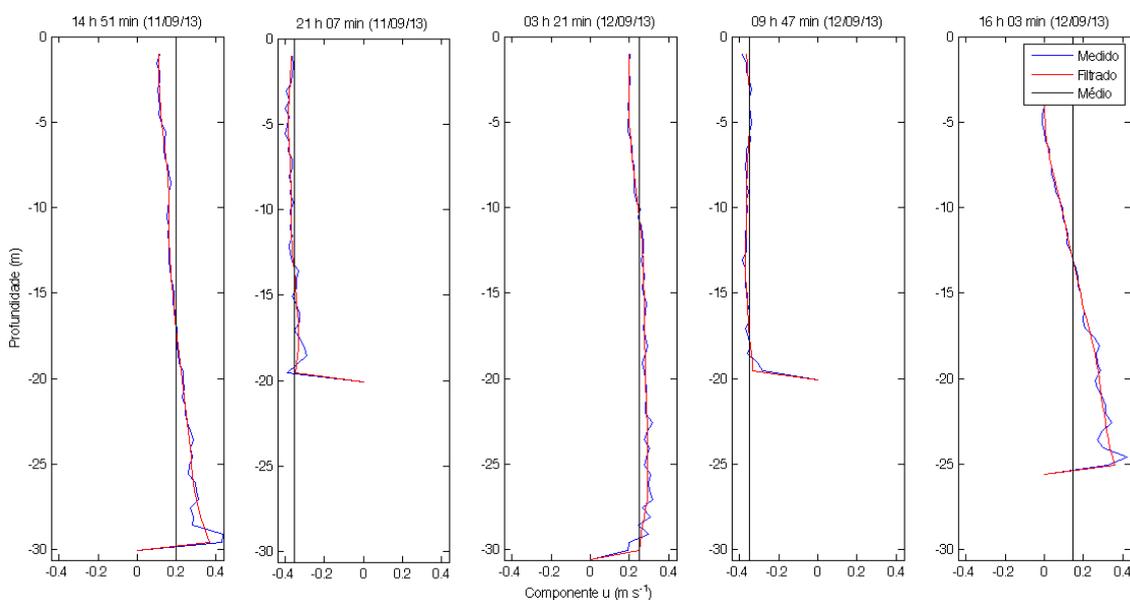
UNESCO, 1981. The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. Unesco Tech. Pap. In *Mar. Sci.* n° 36, 25 p.

Vinzón, S. B.; e Gallo, M. N., 2004. Efeito da vazão fluvial nas componentes harmônicas de maré no estuário do rio Amazonas, In: *XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica*. São Pedro - SP.

## ANEXO I

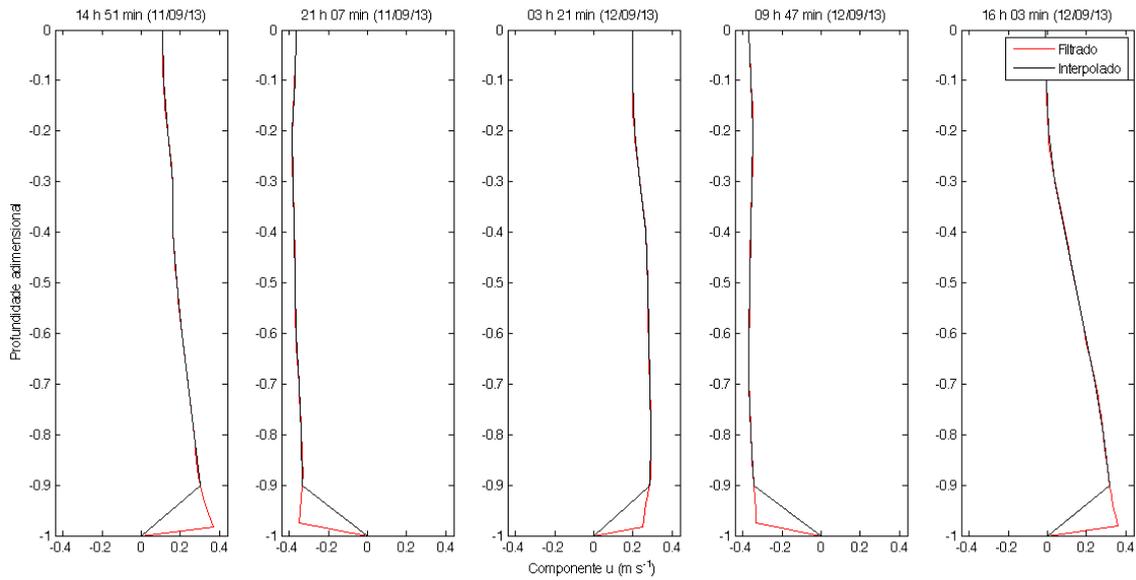
Para efeito de controle de qualidade dos processos de filtragem e interpolação, foram gerados gráficos comparativos entre os dados medidos e filtrados, e destes com os dados interpolados.

Na figura 15 são apresentados cinco gráficos referentes à filtragem. Os perfis consecutivos, obtidos a partir do ADCP, abrangem todo o experimento F1. A análise de cada uma das superposições de perfis brutos e filtrados permite verificar eventuais erros nos dados de entrada e nas filtrações e a correção imediata dos mesmos. Na figura é possível ver também a velocidade média ao longo de toda coluna de água e a profundidade local.



**Figura 15 - Comparativo entre os dados medidos e filtrados em momentos distintos do fundeio F1.**

Na figura 16 temos cinco gráficos referentes à interpolação dos dados filtrados. Em todos os casos foi considerado o princípio da aderência como condição de contorno de fundo, ou seja, atrito máximo resultando em uma corrente de intensidade nula. O procedimento descrito aqui foi repetido em todos os outros experimentos, não só para dados de ADCP como também para dados de CTD.



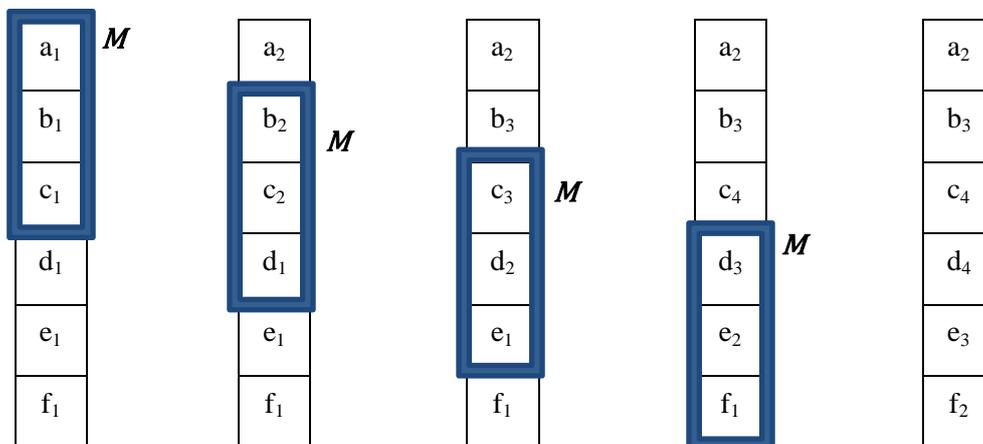
**Figura 16 - Comparativo entre os dados filtrados e interpolados em momentos distintos do fundo F1.**

Para a interpolação dos dados foi usada uma janela definida pela Função Blackman (Blackman & Tukey, 1958):

$$w(m) = 0,42 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi m}{M}\right). \quad (10)$$

Onde  $M$  determina o tamanho da janela, conforme podemos ver abaixo e  $m = 0, 1, 2, \dots, M-1$ .

**1ª média móvel    2ª média móvel    3ª média móvel    4ª média móvel    Resultado**



## ANEXO II

A pesquisa apresentada neste trabalho descreve os resultados obtidos durante três estações ancoradas (duas com 25 horas de duração e outra com 14 horas) em pontos próximos aos municípios de Salinópolis e Marapanim, no nordeste paraense. A primeira estação foi separada por um intervalo de sete meses da segunda e da terceira, sendo a primeira ocorrida em setembro de 2013 e as outras em abril de 2014. Durante as duas campanhas ocorreram diversos problemas. A princípio, a primeira campanha deveria ter ocorrido em março de 2013, mas devido ao atraso na liberação de recursos financeiros do INCT - AmbTropic foi adiada para setembro do mesmo ano, o que representou um atraso de seis meses para o início da pesquisa.

Durante a campanha de setembro houve dois problemas, o primeiro relacionado ao estado de saúde de alguns pesquisadores, isso fez com que os experimentos fossem interrompidos para que eles pudessem desembarcar e o segundo relacionado aos equipamentos: um dos perfiladores de corrente - foram usados dois ADCPs - colidiu em uma estrutura na saída da Baía do Maracanã, portanto, atrasando o fim da campanha.

Inicialmente, era previsto que durante as duas estações fossem coletados dados de velocidade da água usando ADCPs de 300 kHz e 600 kHz, mas o primeiro apresentou falhas durante a campanha de abril e precisou ser substituído pelo ADCP de 600 kHz, infelizmente, apesar de funcionar corretamente, não foi possível usar os dados coletados por esse equipamento, possivelmente por problemas no *software* de armazenamento de informações, isso acabou comprometendo o cálculo de transporte durante o fundeio de 25 horas da campanha de abril. Durante esse experimento, apenas dados hidrográficos foram adquiridos. Além disso, nessa campanha a embarcação apresentou problemas mecânicos deixando a tripulação à deriva por duas vezes, na segunda pane, a campanha precisou ser abortada.