



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**ERNESTO DE CARVALHO DOMINGUES**

**HIDRODINÂMICA E PROCESSOS DE TRANSPORTE NA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DE PERNAMBUCO**

Recife

2017

ERNESTO DE CARVALHO DOMINGUES

**HIDRODINÂMICA E PROCESSOS DE TRANSPORTE NA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia-PPGO, da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE como requisito para obtenção do título de doutor em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Física.

Linha de pesquisa: Plataforma continental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

Recife

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária: Neide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

D671h Domingues, Ernesto de Carvalho.  
Hidrodinâmica e processos de transporte na plataforma continental de Pernambuco / Ernesto de Carvalho Domingues. – Recife, 2017.  
101 f.: il. fig. tab.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.

Inclui Referências e Anexos.

1. Oceanografia. 2. Massas de água. 3. Circulação. 4. Nordeste do Brasil. I. Schettini, Carlos Augusto França (Orientador). II Título.

551.46 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2018/25

## **Hidrodinâmica e processos de transporte na plataforma continental de Pernambuco**

Tese apresentada ao Departamento de Oceanografia da Universidade federal de Pernambuco como requisito para obtenção de título de doutor em Oceanografia.

**Orientador:** Prof. Carlos Augusto França Schettini

Defendida e aprovada em 28 de julho de 2017

### **Banca examinadora**

---

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini  
Programa de Pós Graduação em Oceanografia- PPGO/ UFPE

---

Prof. Dr. Piero Luigi Fernandes Mazzini  
Romberg Tiburon Center for Environmental Studies - RTC

---

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto  
Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica-PPGG/ UFPA

---

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos  
Programa de Pós Graduação em Oceanografia- PPGO/ UFPE

---

Prof. Dr. Eliane Cristina Truccolo  
Unite States Geological Survey - USGS

Dedico este trabalho à minha esposa Luana  
Teixeira Sinimbu e aos meus filhos José  
Ernesto Teixeira Domingues e Valentina  
Teixeira Domingues.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto: *Hidrodinâmica e processos de transporte na plataforma continental de Pernambuco*. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior-CAPES pelo provimento de bolsa de pós graduação nível doutorado. Ao meu orientador Carlos Augusto França Schettine e a toda equipe do laboratório de Hidrodinâmica Costeira-Lahico: Andressa Montebelo, Barbara Pinheiro, Cristielen Pereira, Eliane Truccolo, Felipe Facó, José Cavalcante Filho e Marília Cerqueira. E a todos que torceram e me apoiaram nessa jornada de grandes desafios.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a descrição sazonal da hidrografia, hidrodinâmica e balanço de calor na plataforma continental de Pernambuco, na borda oeste do Atlântico tropical. A área de estudo está situada entre 7,5 e 9° de latitude sul, com largura da ordem de 35 km de largura e cerca de 190 km de extensão, e profundidade de quebra em torno de 60 m de profundidade. Dados de salinidade e temperatura foram obtidos em campanhas hidrográficas mensais entre março de 2012 e maio 2013 em um transecto na região central da área de estudo. Duas campanhas mais abrangentes foram realizadas no inverno (Agosto de 2013) e no verão (janeiro de 2014) cobrindo toda a área de estudo (4600 km<sup>2</sup>). Quatro campanhas com estação fixa de 24 horas realizadas no verão e inverno, em condições de marés de quadratura e sizígia, quando foram coletados dados de temperatura e salinidade em intervalos de 30 minutos, além de correntes e dados meteorológicos. Também foram realizados dois fundeio de Perfilado Acústico por efeito Doppler (ADCP) para registro de dados de correntes, no inverno e no verão. Os principais resultados são: (1) a variação sazonal de temperatura variou entre 26°C em setembro e 29,5°C em abril, com um atraso de dois meses entre a temperatura mínima e máxima do ar atmosférico; (2) a salinidade não apresentou variabilidade sazonal e os valores médios ficaram entre 36,5 e 37,0 psu; (3) a média de temperatura e salinidade das campanhas no inverno e no verão foram de 26,5 e 27,6°C e 37,1 e 36,7 psu, respectivamente; (4) nas campanhas de 24 horas o maior gradiente de temperatura foi encontrado no verão e em sizígia 1,2°C, e o maior gradiente de salinidade foi no inverno no período de sizígia de 0,4 psu; (5) a Água Tropical (AT) foi dominante, contabilizando 95% a 97%, com a presença de Água Costeira (AC) limitada na região próximo da costa; (6) a velocidade de corrente média na coluna d'água no inverno e no verão foi de 0,11 e 0,06 m/s, respectivamente, refletindo o regime sazonal dos ventos; (7) as correntes no inverno foram predominantes na direção norte, com um pequeno período de inversão para direção sul. Estes episódios ocorreram quando houve o relaxamento do vento e com a periodicidade entre 6-13 dias. Tal periodicidade pode estar associada com a instabilidade atmosférica em latitudes mais elevadas; (8) as correntes no verão foram fracas, quando as marés contabilizaram 75% e 43% da variância nas correntes transversais e longitudinal respectivamente; (9) não houver diferenças relevantes no balanço de calor no verão e no inverno.

Palavras-chave: Massas de água. Circulação. Nordeste do Brasil.

## ABSTRACT

The seasonal hydrography and currents of the Northeastern Brazilian continental shelf between 7.5 and 9°S are reported. The local continental shelf is narrow (~ 35 km) and shallow, with the shelf break at 60 m depth. Salinity and temperature data were collected monthly by means of hydrographic surveys between March 2012 and May 2013 across the shelf in a single transect in the central part of the study area (Figure 2). Also, two further campaigns were carried out along (during) winter (August 2013) and summer (January 2014), covering the whole study area (4,600 km<sup>2</sup>). Four euryhaline campaigns were realized for 24 hours each, two at summer and other two at winter, in condition of spring and neap tide, when were collect temperature and salinity data each 30 min, beyond current and meteorological data. Also were mooring two Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) for to register current data, at winter and summer. The main results are: (1) The seasonal temperature ranges from 26°C in September to 29.5 °C in April, with a 2-month lag related to the minimum and maximum air temperature; (2) The salinity did not present a clear seasonal pattern, fluctuating between 36.5 and 37.0 psu throughout the year; (3) The mean temperature and salinity from the campaigns were 26.5 and 27.6 °C and 37.1 and 36.7 psu, respectively; (4) In the 24 hrs campaigns the higher temperature gradient was found in the summer in the spring tide 1.2 °C, and the bigger salinity gradient was at winter in the spring tide 0.4 psu; (5) The Tropical Water was dominant, accounting for 95% to 97%, with presence of Coastal Water limited to the inner shelf; (6) The mean current in winter and in summer were 0.11 and 0.06 m/s, similarly to the seasonal wind regime; (7) The currents in winter were predominantly northwards, with short period of inverted southward current direction; These episodes were related to something periods of wind relaxation and with periodicity between 6-13 days, depicted with wavelet analysis. This periodicity may be associated with atmospheric instabilities in higher latitudes. (8) The currents in summer were sluggish, when the tides accounted with 75 and 43% of the variance in the cross-shelf and long-shelf current components; (9) Didn't relevant difference between the heat budget at summer and winter.

Keywords: Water masses. Circulation. Brazilian northeast shelf.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1: CIRCULAÇÃO DA BORDA OESTE DO ATLÂNTICO TROPICAL (MODIFICADO DE DENGLER ET AL., 2004). AS LINHAS VERMELHAS REPRESENTAM CORRENTES SUPERFICIAIS E AS AZUIS CORRENTES SUB SUPERFICIAIS. AS CORRENTES EM DESTAQUE INDICAM A CORRENTE SUL EQUATORIAL (CSE), A SUBCORRENTE NORTE DO BRASIL (SCNB), CORRENTE NORTE DO BRASIL (CNB), SUBCORRENTE EQUATORIAL (SCE), A CONTRA CORRENTE NORTE EQUATORIAL (CCNE) E A CORRENTE PROFUNDA DE CONTORNO OESTE (CPCO)..... 19
- FIGURA 2: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. PONTOS PRETOS NUMERADOS INDICAM AS ESTAÇÕES REALIZADAS DURANTE OS CRUZEIROS DE AGOSTO DE 2013 E JANEIRO DE 2014. PONTOS AZUIS INDICAM AS ESTAÇÕES DOS LEVANTAMENTOS MENSIS. AS ESTRELAS AMARELAS INDICAM A LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA E DO FUNDEIO DO ADCP. .... 25
- FIGURA 3: VARIAÇÃO ANUAL DA (A) TEMPERATURA E (B) PRECIPITAÇÃO EM RECIFE, (C) VELOCIDADE (LINHA CONTÍNUA) E DIREÇÃO DO VENTO (LINHA TRACEJADA E EM NOTAÇÃO METEOROLÓGICA) EM IPOJUCA, E (D) SOMATÓRIO DA DESCARGA FLUVIAL NO LITORAL DE PERNAMBUCO. .... 26
- FIGURA 4:VARIAÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA (A) E SALINIDADE (B) NA PLATAFORMA INTERNA NO PERÍODO ENTRE MARÇO DE 2012 E MAIO DE 2013. A ÁREA SOMBREADA COM AZUL CLARO REPRESENTA OS EXTREMOS DE MÁXIMO E MÍNIMO, E A ÁREA SOMBREADA COM AZUL ESCURO REPRESENTA O DESVIO PADRÃO DA MÉDIA INDICADA PELA LINHA. .... 42

FIGURA 5: DIAGRAMA TS PARA A CAMPANHA DE INVERNO (A) E VERÃO (B), COM RESPECTIVOS HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA DE TEMPERATURA E SALINIDADE. AS LINHAS TRACEJADAS INDICAM AS ISOPICNAIS EM SIGMA-T ( $\Sigma T$ ).....	42
FIGURA 6: (A) IMAGEM COM A MÉDIA DE SALINIDADE SUPERFICIAL NA BORDA OESTE DO ATLÂNTICO SUL (WORLD OCEAN ATLAS, NOAA/NCEI, MÉDIA 5 A 50M), (B) A VISTA MERIDIONAL COM A VARIAÇÃO DA SALINIDADE SUPERFICIAL (AMOSTRADAS AO LONGO DA LINHA PONTILHADA (A)) COM AS INTERSEÇÕES DAS MÉDIAS DE SALINIDADE ENCONTRADAS NO INVERNO (AGOSTO, 2013) E NO VERÃO (JANEIRO, 2014) NA ÁREA DE ESTUDO. A BARRA PRETA (B) INDICA A LATITUDE DA ÁREA DE ESTUDO. ....	43
FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DE TEMPERATURA (°C) NO INVERNO (FIGURAS DA ESQUERDA) E NO VERÃO (FIGURAS DA DIREITA), COM DADOS DE SUPERFÍCIE (FIGURAS SUPERIORES) E DE FUNDO (FIGURA DE BAIXO).....	45
FIGURA 8: DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DE SALINIDADE PARA AS CAMPANHAS REALIZADAS NO INVERNO (FIGURAS DO LADO ESQUERDO) E VERÃO (FIGURAS DO LADO DIREITO), COM DADOS DE SUPERFÍCIE (FIGURAS SUPERIORES) E DE FUNDO (FIGURAS DE BAIXO). ....	47
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DOS TRANSECTOS NORTE (SEÇÃO VIII, EM CIMA), CENTRAL (SEÇÃO V, MEIO) E SUL (SEÇÃO I, EM BAIXO) DA ÁREA DE ESTUDO FIGURA 3.....	51
FIGURA 10: DISTRIBUIÇÃO DE SALINIDADE DOS TRANSECTOS NORTE (SEÇÃO VIII, EM CIMA), CENTRAL (SEÇÃO V, MEIO) E SUL (SEÇÃO I, EM BAIXO) DA ÁREA DE ESTUDO FIGURA 3.....	52

FIGURA 11: PRINCIPAIS ELIPSES DE MARÉ PARA A PROFUNDIDADE MÉDIA DAS CORRENTES (TABELA 4) PARA 45 DIAS DE COLETAS ENTRE AGOSTO E SETEMBRO DE 2013. ....	56
FIGURA 12:SÉRIES TEMPORAIS DO NÍVEL DA ÁGUA (A) STICK PLOTS DO VENTO LOCAL (B), EM NOTAÇÃO OCEANOGRÁFICA) E CORRENTES (C) PARA O INVERNO (PAINÉIS ESQUERDOS) E PARA O VERÃO (PAINÉIS DIREITOS).....	58
FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO POLAR DO VENTO (A, B) E CORRENTES (C, D) NO INVERNO E (A, C) E NO VERÃO (B, D).....	59
FIGURA 14:VELOCIDADE DA CORRENTE EM CORES, VARIAÇÃO DA MARÉ NA PARTE SUPERIOR DA FIGURA E DIREÇÃO DAS CORRENTES EM STICKPLOT PELA COLUNA D'ÁGUA PELO TEMPO, DURANTE OS 43 DIAS DE COLETAS. ....	60
FIGURA 15: SÉRIE TEMPORAL DE BAIXA FREQUÊNCIA LONGITUDINAL À PLATAFORMA (AZUL) E TRANSVERSAL A PLATAFORMA (VERMELHO), DO VENTO E (A) E DAS CORRENTES (B). NA FIGURA A, A SETAS NEGRAS INDICAM CARACTERÍSTICAS DESCRITAS NO TEXTO; NA B, OS QUADRADOS PRETOS INDICAM AS CORRENTES GEOSTRÓFICAS SEMANAIS RETIRADOS DA ALTIMETRIA VIA SATÉLITE (FONTE: SITE CMEMS) E OS PONTOS AZUIS A CORRENTE MÉDIA AO LONGO DA PLATAFORMA PARA 7 DIAS DE PERÍODO, SINÓTICO ÀS CORRENTES GEOSTRÓFICAS. ....	66
FIGURA 16: ANÁLISE DE ONDELETAS E O ESPECTRO DE ENERGIA PELO TEMPO EM DIAS JULIANOS NO PERÍODO DE INVERNO DA COMPONENTE PARALELA À LINHA DE COSTA ENTRE O VENTO (A) E A CORRENTE (B), E A ANÁLISE DE ONDELETAS COM O ESPECTRO DE FASE ENTRE AS COMPONENTES PARALELAS À LINHA DE COSTA ENTRE O VENTO E A CORRENTE (C).....	66

FIGURA 17: VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO EM NOTAÇÃO METEOROLÓGICA (A), TEMPERATURA ATMOSFÉRICA (B), ALTURA DA MARÉ (C), VELOCIDADE E DIREÇÃO DA CORRENTE EM NOTAÇÃO OCEANOGRÁFICA (D), SALINIDADE (E) E TEMPERATURA DA ÁGUA (F) PARA A CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO SECO NA QUADRATURA. ....	69
FIGURA 18: DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADE DA CORRENTE PELO TEMPO E PELA PROFUNDIDADE. ....	70
FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA (A) E SALINIDADE (B) POR TODA COLUNA D'ÁGUA E PELO TEMPO PARA CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO SECO NA QUADRATURA. ....	70
FIGURA 20: VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO EM NOTAÇÃO METEOROLÓGICA (A), TEMPERATURA ATMOSFÉRICA (B), ALTURA DA MARÉ (C), VELOCIDADE E DIREÇÃO DA CORRENTE EM NOTAÇÃO OCEANOGRÁFICA (D), SALINIDADE (E) E TEMPERATURA DA ÁGUA (F) PARA A CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO SECO NA SIZÍGIA. ....	72
FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DA CORRENTE PELA COLUNA D'ÁGUA DURANTE UM CICLO DE APROXIMADAMENTE 24HRS. ....	73
FIGURA 22: DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA (A) E SALINIDADE (B) POR TODA COLUNA D'ÁGUA E PELO TEMPO PARA CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO SECO NA SIZÍGIA. .....	73
FIGURA 23: VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO EM NOTAÇÃO METEOROLÓGICA (A), TEMPERATURA ATMOSFÉRICA (B), ALTURA DA MARÉ (C), VELOCIDADE E DIREÇÃO DA CORRENTE EM NOTAÇÃO OCEANOGRÁFICA (D), SALINIDADE (E) E	

TEMPERATURA DA ÁGUA (F) PARA A CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO CHUVOSO NA QUADRATURA.....	75
FIGURA 24: VELOCIDADE DA CORRENTE EM TODA COLUNA D'ÁGUA DURANTE A CAMPANHA REALIZADA NOS DIAS 20 E 21 DE SETEMBRO DE 2013 NO PERÍODO DE SIZÍGIA. ....	76
FIGURA 25: DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA (A) E SALINIDADE (B) POR TODA COLUNA D'ÁGUA E PELO TEMPO PARA CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO CHUVOSO NA SIZÍGIA. ....	76
FIGURA 26: VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO EM NOTAÇÃO METEOROLÓGICA (A), TEMPERATURA ATMOSFÉRICA (B), ALTURA DA MARÉ (C), VELOCIDADE E DIREÇÃO DA CORRENTE EM NOTAÇÃO OCEANOGRÁFICA (D), SALINIDADE (E) E TEMPERATURA DA ÁGUA (F) PARA A CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO CHUVOSO NA QUADRATURA.....	78
FIGURA 27: VELOCIDADE DA CORRENTE EM TODA COLUNA D'ÁGUA DURANTE A CAMPANHA REALIZADA NOS DIA 28 E 29 DE SETEMBRO DE 2013 NO PERÍODO DE QUADRATURA. ....	79
FIGURA 28: DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA (A) E SALINIDADE (B) POR TODA COLUNA D'ÁGUA E PELO TEMPO PARA CAMPANHA REALIZADA NO PERÍODO SECO NA QUADRATURA. ....	79
FIGURA 29: MÉDIA DA TEMPERATURA DOS PRIMEIRO 1.5M DA ÁGUA (SUPERFÍCIE) E A TEMPERATURA DO AR. ....	82
FIGURA 30: BALANÇO DE CALOR EM (W/M <sup>2</sup> ) PARA AS CAMPANHAS REALIZADAS NO VERÃO (A E B) E NO INVERNO (C E D).....	85

FIGURA 31: FIGURA COM DADOS DE VELOCIDADE DA CORRENTE EM CORES QUENTES E FRIAS E A DIREÇÃO EM STICK PLOTS POR CAMADA DE ÁGUA NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO DURANTE 138 DIAS DE COLETAS NO MÊS DE JULHO AS CORRENTES ESTIVERAM PRÓXIMO DE  $1 \text{ m.s}^{-1}$  PRINCIPALMENTE NA SUPERFÍCIE E DURANTE O PERÍODO DE COLETA A DIREÇÃO PREDOMINANTE DA CORRENTE ESTEVE PARA A DIREÇÃO NORTE NORDESTE, A NÃO SER NO FIM DA COLETA QUANDO A CORRENTE VIROU PARA SUL COM INTENSIDADE DE APROXIMADAMENTE  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$  NAS CAMADAS MAIS SUPERFICIAIS. .... 98

FIGURA 32: GAIOLAS DA FAZENDA MARINHA DE CULTIVO DE BEIJUPIRÁ INSTALADAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO PELO DEPAQ/UFRPE NA BATIMETRIA DE 25 M. .... 100

## LISTA DE TABELA

<b>TABELA 1:</b> VALORES CLIMATOLÓGICOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PARA RECIFE (RAMOS ET AL., 2009), VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA IPOJUCA, E SOMATÓRIO DAS DESCARGAS FLUVIAIS DOS PRINCIPAIS RIOS DE DESEMBOCA NO LITORAL DE PERNAMBUCO, E RESPECTIVOS VALORES MÉDIOS ANUAIS.	27
<b>TABELA 2:</b> LISTA DAS CAMPANHAS DE LEVANTAMENTO DE DADOS UTILIZADAS, INDICANDO A DATA, O NÚMERO DE ESTAÇÕES REALIZADAS E OS VALORES MÉDIOS (AVG), DESVIO PADRÃO (STD), MÍNIMO	33
<b>TABELA 3:</b> SUMÁRIO DAS COLETAS COM O NÚMERO DAS CAMPANHAS, DATA DE INÍCIO E TÉRMINO, LOCALIZAÇÃO, HORA QUE A CAMPANHA INICIOU, DURAÇÃO, FASE DA LUA, PERÍODO EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE CHUVA, A QUANTIDADE DE AMOSTRAS E QUAIS DADOS FORAM COLETADOS.	36
<b>TABELA 4:</b> CONSTITUINTES HARMÔNICOS DE MARÉ (T.C.) OBTIDOS PARA O REGISTRO DE NÍVEL DE ÁGUA DURANTE AGOSTO E SETEMBRO DE 2013.	55
<b>TABELA 5:</b> PRINCIPAIS CONSTITUINTES DA CORRENTE OBTIDAS DE 45 DIAS DE REGISTRO ENTRE AGOSTO E SETEMBRO DE 2013.	55
<b>TABELA 6:</b> RESUMO DO BALANÇO DE CALOR NOS 4 EXPERIMENTOS.	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	ÁREA DE ESTUDO .....	22
<b>2</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
5.1	HIDROGRAFIA .....	39
5.2	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA E SALINIDADE .....	44
5.3	HIDRODINÂMICA.....	54
5.4	BALANÇO DE CALOR.....	68
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>91</b>
	ANEXO I .....	98
	ANEXO II .....	99

## 1 INTRODUÇÃO

A tese abordará os temas relacionados à hidrografia, hidrodinâmica e ao balanço de calor na plataforma continental de Pernambuco. Ela está apresentada de forma contínua onde apresentaremos a motivação para realização da tese, o abstract, o resumo, uma introdução geral, material e métodos os resultados e discussão e as principais conclusões dos três temas relacionados.

Plataformas continentais são região submersas localizadas entre a linha de costa e a quebra de talude apresentam declive médio de 1:500 e próximo do talude e de 1:20 (Talley et al., 2011). É a região onde ocorre interações entre o estuário e o oceano, usualmente é dividida em setor interno, médio e externo, refletindo condições mais rasas no primeiro, e oceânicas no último (Wright, 1995). A dinâmica neste ambiente é controlada pelas marés, regime de ventos, efeitos baroclínicos e interações com a circulação oceânica de meso escala (Bowden, 1983).

A plataforma continental brasileira varia em poucos quilômetros como encontrado no estado da Bahia ( ~8km), a centenas de quilômetros como a do estado do Pará (300 km), a profundidade de quebra de plataforma varia entre 60 e 180 m ( Castro, 1990; Manso et al., 2003). No Nordeste a largura média da plataforma é de 40 km e a profundidade de quebra está entre 50 e 60 m (Vital et al., 2010). As características hidrográficas, representadas pelos campos de distribuição de salinidade e temperatura são bastante variáveis e dependem da latitude, geologia, interação com a atmosfera e proximidade de eflúvio de

grandes rios. A temperatura é principalmente influenciada pelo balanço radiativo local (latitude) e pela interação com o oceano adjacente (e.g. ressurgência).

A salinidade é principalmente influenciada pela interação com o oceano adjacente, mas na porção interna o efeito da contribuição continental pode ser importante. Segundo Castro (2006) a massa de água tropical é predominante na região, com temperaturas acima de 20°C e salinidades superiores a 36 psu (Emilson, 1961). É esperado que ocorra a presença de águas costeiras com salinidade baixa e temperaturas altas na plataforma interna próximo às dezenas de pequenos estuários que ocorrem ao longo da costa ou em áreas relativamente mais largas perto de estuários de rios maiores (e.g. Rio São Francisco, entre os estados de Alagoas e Sergipe e o Rio Parnaíba no Piauí).

A plataforma continental de Pernambuco possui 187 km de linha de costa, é uma plataforma estreita ( 35 km) quando comparada com plataformas da região norte do Brasil e possui pouca contribuição de água doce pelos pequenos rios distribuídos por toda a costa. Fatos que indicam que as características hidrodinâmicas estejam fortemente associadas à circulação oceânica de meso-escala.

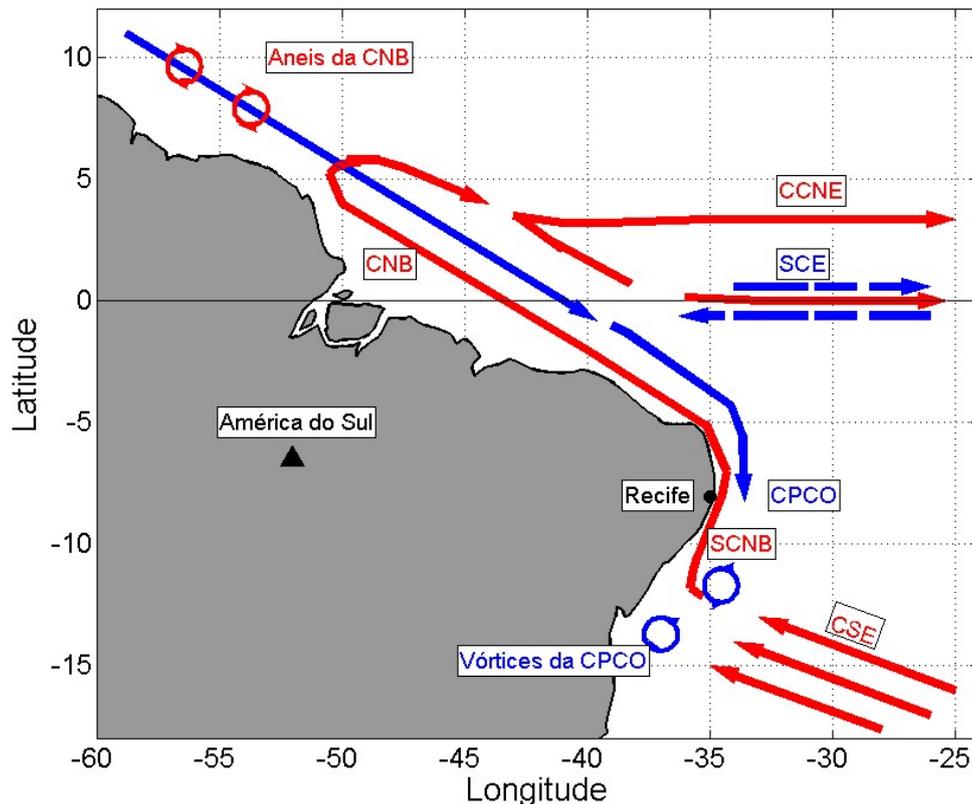
A circulação do Oceano Atlântico tropical da borda oeste é apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A bifurcação da corrente sul equatorial (CSE) varia de forma sazonal na borda oeste do Oceano Atlântico. No mês de julho a bifurcação se dá mais ao sul na latitude de 17° S e no mês de novembro ela se desloca para norte e bifurca em 13 °S apresentando o topo da corrente em 200 m (Rodrigues et al., 2007), onde na divisão da corrente forma a Corrente do Brasil (CB) que segue na direção sul até próximo de 40° S de latitude (Silveira et al., 2000) e a Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB) que segue na

direção norte. Assim, é esperado que as características hidrográficas da Plataforma Continental em estudo sejam diretamente relacionadas com a Água Tropical (AT) advectada pela CSE.

Em regiões profundas temos a presença da Corrente Profunda de Contorno Oeste (CPCO) que traz água da Groelândia, porém sem influência direta na Plataforma Continental do Atlântico Oeste Tropical (Dengler, et al., 2004).

Os estudos hidrográficos para a Plataforma Continental Brasileira foram realizados principalmente para as regiões sudeste, sul e norte realizados pelos grandes institutos oceanográficos localizados em São Paulo e no Rio Grande do sul (Emilsson, 1961; Miranda, 1985; Carvalho et al., 1998; Pereira et al., 2007; Moller et al., 2008; Hille et al., 2008, entre outros), os estudos realizado no norte do país são frutos do grande interesse mundial no Rio Amazonas e Pará (Geyer et al. 1996 e Dias et al. 2013).

Figura 1: Circulação da borda oeste do Atlântico tropical (modificado de Dengler et al., 2004). As linhas vermelhas representam correntes superficiais e as azuis correntes sub superficiais. As correntes em destaque indicam a Corrente Sul Equatorial (CSE), a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), Corrente Norte do Brasil (CNB), Subcorrente Equatorial (SCE), a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) e a Corrente Profunda de Contorno Oeste (CPCO).



Fonte: O autor.

Os climas tropicais e equatoriais se apresentam diferentes em vários aspectos do clima temperado. A maior diferença é no balanço de energia, tendo em vista a quantidade de radiação solar que as regiões tropicais e equatoriais recebem. A variação de temperatura nas regiões tropicais é uniforme durante todo o ano, nessas regiões ocorre a ausência de estação fria e o volume de precipitação é o que define as estações. A região equatorial é a mais quente no globo, onde o ar ao chegar nesta região ele se aquece, expande-se e flui

naturalmente para cima. No movimento de ascensão o ar aquecido ao subir se esfria e suas moléculas se condensam causando precipitação continua neste paralelo. No equador ocorre a convergência dos ventos alísios, este ponto de encontro também é conhecido como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde são encontradas as máximas temperaturas da superfície do mar (Baptista, 2000).

A superfície marinha é o limite mais baixo da atmosfera terrestre, as variações dos parâmetros físicos interferem nas condições do tempo e do clima, controla as condições da atmosfera e interage diretamente com a oceanografia química e biologia. A temperatura é um parâmetro chave para a qualidade física da água, por sua influência na ecologia, além de influenciar nas propriedades químicas e de forma indireta em outros parâmetros físicos da água como a salinidade por exemplo (Webb & Zhang, 2004; Kawai, et al.,2007). O aquecimento diurno intenso da camada superficial do mar ocorre geralmente quando as condições de vento são baixas (Flament, et al.,1993). E a compreensão do comportamento diário da temperatura superficial do mar (TSM) é fundamental para se entender o mecanismo de interação oceano-atmosfera.

O ciclo diurno da convecção atmosférica pode ser interpretado como uma resposta do aquecimento da superfície da terra decorrente à incidência solar. Durante o dia a convecção aumenta elevando a temperatura superficial, onde a máxima é atingida no fim da tarde e em regiões oceânicas a máxima é atingida no início da noite. Ao anoitecer a temperatura diminui e a convecção decresce fazendo a temperatura atingir os registros mínimos no início da manhã. (Souza & Rocha, 2006).

Experimentos sobre a variabilidade de parâmetros físicos em ciclos diurnos em plataformas continentais na borda oeste do oceano Atlântico tropical não são comuns, principalmente na região Nordeste. Estudos desse gênero foram realizados na região sudeste e sul do Brasil resultado de pesquisas realizadas pelos centros oceanográficos da Universidade de São Paulo e do Rio grande do Sul (Zavialov, et al., 2000). Na região do atlântico equatorial podemos citar trabalhos sobre a variação diurna, em regiões oceânicas, resultado do projeto PIRATA '*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*' e do projeto Milênio (Leonardo, 2010; Cohen et al.,2001).

## 1.1 ÁREA DE ESTUDO

A Plataforma Continental de Pernambuco (PCP) possui 187 km de extensão e 35 km largura, com profundidade de quebra de plataforma entre 50 e 60 m (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O leito é constituído de sedimento terrígeno e carbonático biogênico. Uma característica regional é a presença de uma linha paralela a linha de costa de rochas calcárias submersas e semisubmersas ao longo de quase toda a sua extensão (Manso et al., 2003).

O clima regional é semiárido embora a faixa litorânea apresente clima tropical úmido. A temperatura média anual em Recife é 25,8 °C, com valores médios mensais variando entre 24,1 e 26,9 °C em julho e janeiro, respectivamente (Tabela 1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**A). O clima de onda na região apresenta a altura significativa mínima de 0,97 m e máxima de 3,37 m com média de 1,5 m, o pico de período é de 8 a 10 s e direção de incidência entre LSE (105 °) e S (182 °) com direção média de SE (139 °) (Pereira et al., 2010). A taxa de precipitação na costa é da ordem de 2.400 mm/ano (Ramos et al., 2009), sendo influenciada pela orografia local pela formação da Serra da Borborema (Pereira, 2013). A distribuição das chuvas apresenta forte modulação sazonal, com máximo de precipitação entre junho e julho (Tabela 1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.** B). O regime pluviométrico é bastante variável anualmente em função do El Niño Oscilação Sul (Andreoli e Kayano, 2007).

O regime de ventos local é dominado pelo sistema semipermanente de alta pressão do Atlântico Sul. A análise de dados de vento registrados no período entre 2000 e 2007 na estação meteorológica de Ipojuca (-8,51 S e -35,00 W; Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto de Pesquisas

Espaciais (INPE), mostram que a velocidade média mensal do vento varia entre 7,5 m / s no verão (dezembro e janeiro) e quase 10 m/s no inverno (agosto e setembro), com direção predominante de leste no verão e sudeste no inverno (Tabela 1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.C**).

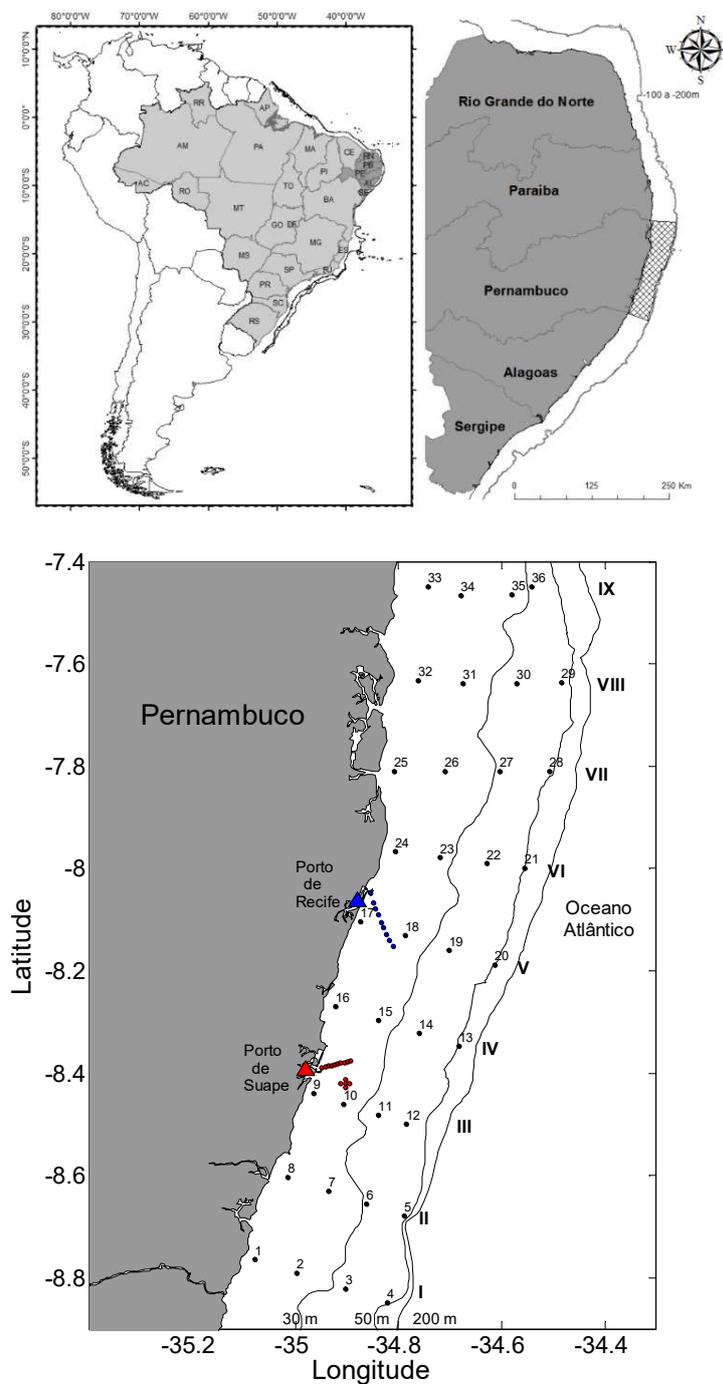
A contribuição fluvial direta na PCP advém de uma série de pequenos rios costeiros que totalizam uma drenagem de 26.800 km<sup>2</sup> (MMA, 2006). Os principais rios são: Rio Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Formoso, Sirinhaém e Una. A descarga destes rios é determinada pelo regime de chuvas costeiras (Zona da Mata), mas também pelo clima semiárido na Zona do Agreste, onde a precipitação é consideravelmente menor, o que resulta em descargas relativamente baixas (Schettini et al., 2016). A vazão média anual integrada é da ordem de 120 m<sup>3</sup>/s, com a variação anual respondendo diretamente ao regime pluviométrico (Tabela 1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.D**). Dentre estes rios, o Rio Capibaribe é particularmente relevante, uma vez que seu estuário atravessa a Região Metropolitana de Recife, e é uma fonte potencial de poluentes para a plataforma adjacente (Schettini et al., 2016; Maciel et al., 2016).

As marés regionais são do tipo semidiurna com fator de forma de 0,09. O fator de forma da maré (F) é obtido pela razão entre a soma das amplitudes dos principais constituintes harmônicos diurnos e a soma das amplitudes dos principais constituintes harmônicos semidiurnos (Pugh, 1987), calculado como  $F = (O_1 + K_1) / (M_2 + S_2) = 0,09$ . Constituintes harmônicos de maré para o litoral de Pernambuco estão disponíveis em FEMAR (2000). A altura de maré pode variar entre 0,7 e 2,5 m em condições de quadratura e sizígia, respectivamente.

Informações sobre as características termohalinas e circulação para a PCP são escassas. Um estudo realizado em 2005 utilizando cartões de deriva mostrou que as correntes na plataforma são preferencialmente para norte durante o inverno (junho), e para o sul durante o verão (fevereiro; Lira et al., 2010). Embora a maioria das recuperações de cartões lançados (5000 em cada lançamento) tenha sido reportada dentro de uma dezena de quilômetros a partir do lançamento, o registro mais distante para o norte foi no Maranhão (~ 1.300 km), e para o sul foi na Bahia (~ 1.000 km). Dados obtidos a partir de um fundeio de meia água na plataforma do Rio Grande do Norte (-5,04 S e -35,20 W), em uma profundidade de 35 m, no período entre dezembro de 2001 a julho de 2002, indicaram que correntes para o setor nordeste contabilizou 52,2 %, e para o setor sudeste contabilizou 32,5% das observações, com intensidade entre 0,05 e 0,10 m/s (Hazin et al., 2008). A temperatura durante este período variou entre 25,8 ° C (julho) a 28,7 ° C (fevereiro).

A região oceânica ao largo da plataforma é dominada pela Sub-Corrente Norte do Brasil, gerada a partir da bifurcação da CSE em torno de 10,5 ° S, e com transporte para norte da ordem de 21 Sv, tendo como característica valores de salinidade elevados da ordem de 37 (Silveira et al., 1994; Marin, 2009). A temperatura superficial é da ordem de 28 ° C, com a termoclina permanente a partir de 100 m (Schott et al., 2005; Silva et al., 2009). Estes valores de salinidade e temperatura caracterizam a Água Tropical.

Figura 2: Localização da área de estudo. Pontos pretos numerados indicam as estações realizadas durante os cruzeiros de agosto de 2013 e Janeiro de 2014. Pontos azuis indicam as estações dos levantamentos mensais. As estrelas amarelas indicam a localização da estação meteorológica e do fundeio do ADCP.

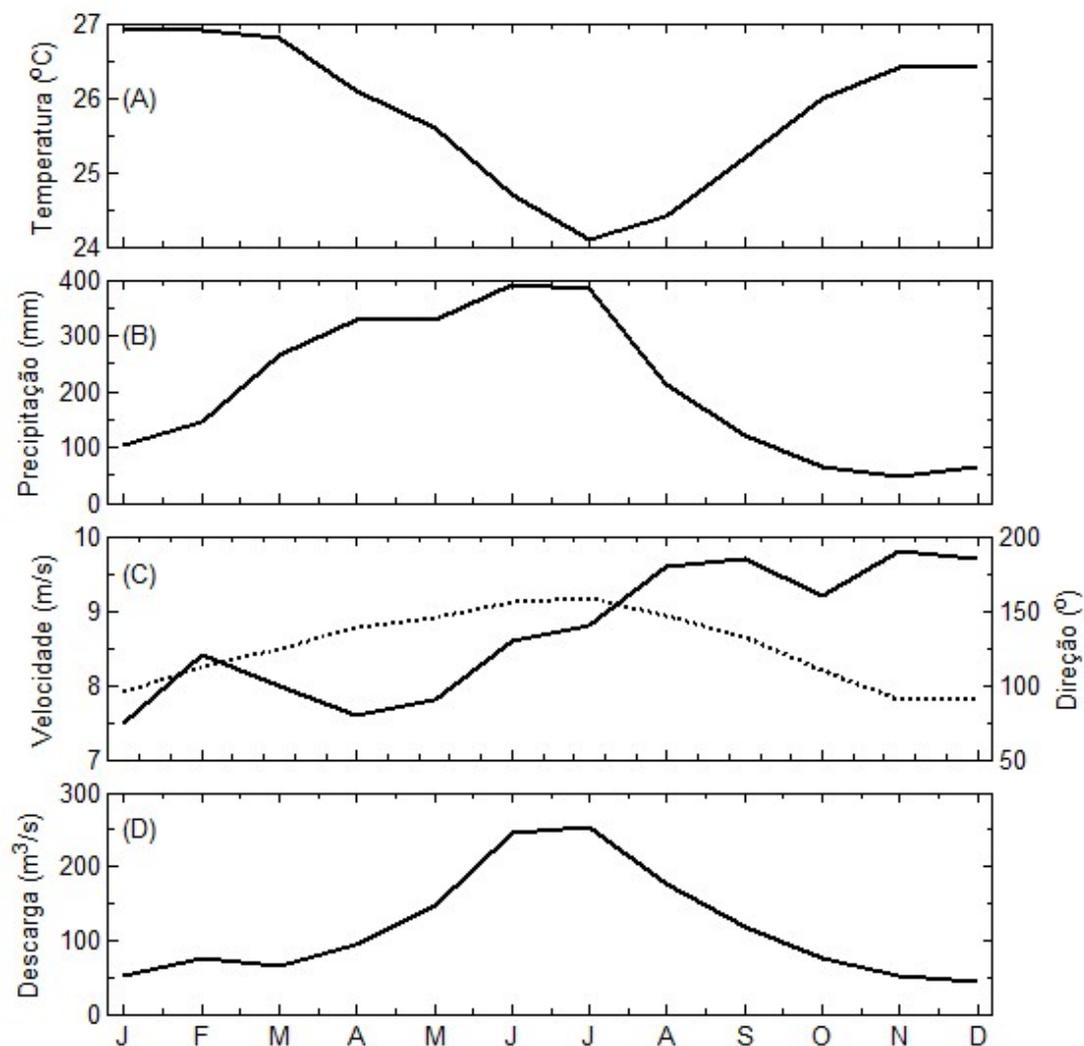


Fonte: O autor.

A dinâmica neste ambiente é regida pelas marés, regime de ventos, efeitos baroclínicos e interações com a circulação oceânica de meso escala (Lentz et al., 2004; Knoppers et al.,1999). O padrão de chuva se apresenta de forma sazonal, com máximas de precipitação no meses de junho e julho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**).

Figura 3: Variação anual da (A) temperatura e (B) precipitação em Recife, (C) velocidade (linha contínua) e direção do vento (linha tracejada e em notação

meteorológica) em Ipojuca, e (D) somatório da descarga fluvial no litoral de Pernambuco.



Fonte: O autor.

**Tabela 1:** Valores climatológicos de temperatura do ar e precipitação para Recife (Ramos et al., 2009), velocidade e direção do vento para Ipojuca, e somatório das descargas fluviais dos principais rios de desemboca no litoral de Pernambuco, e respectivos valores médios anuais.

	Temp.	Precip.	Vento		Descarga
	(°C)	(mm)	Vel. (m/s)	Dir. (degree)	(m <sup>3</sup> /s)
Jan	26,9	103,4	7,5	96	52,0
Fev	26,9	144,2	8,4	112	74,5
Mar	26,8	264,9	8	124	65,5
Abril	26,1	326,4	7,6	139	94,3
Mai	25,6	328,9	7,8	145	147,6
Jun	24,7	389,6	8,6	156	245,4
Jul	24,1	385,6	8,8	158	253,5
Ago	24,4	213,5	9,6	147	177,1
Set	25,2	122,5	9,7	132	118,2
Out	26,0	66,1	9,2	110	74,7
Nov	26,4	47,8	9,8	90	52,0
Dez	26,4	65,0	9,7	91	44,4
Média	25,8	204,8	8,7	124,9	116,6

## **2 HIPÓTESES**

As hipóteses adotadas para o presente estudo são que a massa de água predominante na plataforma continental de Pernambuco é a massa de água tropical (AT), que as correntes são regidas pelo regime de vento que para a região são em direção ao norte no inverno e na direção sul no verão, e que as massas de água ganham calor na plataforma continental em estudo.

### 3 OBJETIVOS

A tese tem como objetivo principal compreender os processos hidrográficos e hidrodinâmicos na plataforma continental de Pernambuco. E como objetivos secundários realizar uma análise descritiva da hidrografia sazonal, assim como analisar os padrões sazonais de corrente durante os períodos de agosto de 2013 e janeiro de 2014. E apresentar um estudo sobre o balanço de calor em ciclos diurnos realizando comparações sazonais e em momento de lua de quadratura (pouca variação de maré) e sizígia (elevada variação de maré) a partir de dados oceanográficos e meteorológicos coletados *in loco* fruto de 4 cruzeiros oceanográficos.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de vários levantamentos de oportunidade e em duas campanhas oceanográficas específicas para o estudo (Tabela 2). Neste trabalho são denominadas campanhas de oportunidade as expedições oceanográficas que foram realizadas aproveitando o deslocamento de rotina de embarcações em rotas aproximadamente perpendiculares à linha de costa em duas localidades, uma ao largo de Recife e outra ao largo de Suape, distantes cerca de 30 km uma da outra (pontos vermelhos e azuis na Figura 2). A navegação ao largo de Recife objetivou atividades de manutenção em uma fazenda de cultivo de peixes marinhos em alto mar, e a navegação ao largo de Suape objetivou atividades de monitoramento ambiental da dragagem do porto. Foram realizadas um total de 7 levantamentos no primeiro caso e 10 levantamentos no segundo. Em ambos os casos dados de temperatura e salinidade foram registrados em intervalos de 1 km a partir da costa até cerca de 25 m de profundidade, e até cerca de 12 km mar fora.

Os levantamentos de dados foram realizados em diferentes meses do ano, permitindo assim uma avaliação temporal da variabilidade termohalina da plataforma interna. Em todas as campanhas foi utilizado um instrumento CTD (Conductivity Temperature and Depth) da marca JFE-Advantech modelo Rinko-Profiler, com taxa de aquisição de 10 Hz, resolução para temperatura de 0,001 °C e resolução para condutividade de 0,001 mS / cm. Valores de salinidade foram convertidos utilizando PSS-78 (Escala Prática de Salinidade, Unesco, 1981).

As campanhas oceanográficas ao longo da Plataforma Continental de Pernambuco – PCP (Tabela 2) foram realizadas nas condições modais de inverno (agosto de 2013) e verão (janeiro de 2014). Perfis verticais de CTD foram realizados em 36 estações distribuídas em 9 transectos aproximadamente perpendiculares à linha de costa (I a IX; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), cada transecto com 4 estações entre as profundidades de 7 m até a quebra de plataforma (~ 60 m). Estas campanhas abrangeram principalmente o litoral de Pernambuco, cobrindo uma extensão de 160 km e largura média de 40 km (~ 6,400 km<sup>2</sup>). Os dados de salinidade e temperatura foram descritos em termos da sua variação média sazonal, dos diagramas TS de inverno e verão, distribuições espaciais de superfície e fundo e em seções transversais.

Tabela 2: Lista das campanhas de levantamento de dados utilizadas, indicando a data, o número de estações realizadas e os valores médios (AVG), desvio padrão (STD), mínimo

#	Campanha	aa-mm-dd	NP	T <sub>MIN</sub>	T <sub>AVG</sub>	T <sub>MAX</sub>	T <sub>STD</sub>	S <sub>MIN</sub>	S <sub>AVG</sub>	S <sub>MAX</sub>	S <sub>STD</sub>
1	Recife	12-03-08	10	28,5	28,6	28,6	>0,1	31,1	36,9	37,1	0,4
2	Recife	12-04-13	10	28,4	28,6	28,7	>0,1	35,3	37,3	37,4	0,2
3	Recife	12-05-11	10	27,8	28,3	28,3	>0,1	36,1	37,4	37,6	0,1
4	Recife	12-07-20	7	26,4	26,7	26,8	0,1	36,4	36,6	37,0	0,2
5	Recife	12-09-06	17	25,8	26,0	26,3	0,1	30,9	37,0	37,7	0,5
6	Recife	12-10-11	19	26,0	26,3	26,5	0,1	29,9	36,6	37,2	0,7
7	Recife	12-11-24	19	26,1	27,0	28,0	0,5	35,4	37,0	37,6	0,3
8	Suape	12-11-30	28	26,5	27,4	28,3	0,4	33,9	36,7	37,0	0,3
9	Suape	12-12-14	26	25,5	27,3	28,6	0,7	36,8	37,0	37,3	0,1
10	Suape	12-12-20	26	25,9	26,9	28,7	0,9	36,5	37,0	37,2	0,1
11	Suape	13-01-10	28	27,7	28,2	29,1	0,3	36,2	37,0	37,1	0,1
12	Suape	13-02-22	26	28,2	28,5	29,4	0,2	34,1	37,1	37,2	0,1
13	Suape	13-02-28	26	28,5	28,8	29,9	0,2	37,0	37,2	37,5	>0,1
14	Suape	13-03-14	20	27,6	28,9	29,6	0,4	37,0	37,2	37,9	0,1
15	Suape	13-04-04	20	29,0	29,2	30,6	0,2	36,4	37,3	37,4	0,5
16	Suape	13-04-13	9	28,4	28,6	28,7	>0,1	35,3	37,3	37,4	0,2
17	Suape	13-05-20	26	27,9	28,0	28,6	0,1	34,9	36,5	36,9	0,3
18	PCP	13-08-16	35	25,2	26,5	27,3	0,4	35,2	37,1	37,4	0,2
19	PCP	14-01-09	36	24,8	27,6	28,8	0,5	35,6	36,7	37,1	0,1

Durante as campanhas oceanográficas também foram coletados dados de nível da água, velocidade e direção de correntes registrados com o ADCP instalado ao largo de Recife (-8,15 S e -34,85 W, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na campanha de agosto de 2013 foi utilizado um ADCP da marca

Sontek modelo Argonaut XR de 750 kHz, e na campanha de janeiro de 2014 foi utilizado um ADCP da marca Nortek modelo Aquadopp Profiler de 1000 kHz. Em ambos os casos os equipamentos foram configurados para registrarem dados em intervalos de 1 hora, a partir de médias de 3 minutos à uma taxa de aquisição de 2 Hz. Na campanha de inverno o período de registro foi de 17 de agosto até 29 de setembro de 2013 (43 dias), e na campanha de verão o período de registro foi de 10 até 18 de janeiro de 2014 (9 dias). Para caracterizar os dados de correntes para os períodos de coletas foram feitos gráficos de direção e intensidade no formato stick plot e polar com as médias de coluna d'água das duas estações e um painel com a velocidade e direção por toda coluna d'água para o período de inverno.

Os dados de correntes foram analisados em termos de velocidade média da coluna de água, decomposta para as componentes transversal (U) e longitudinal (V) à linha de costa ( $40^\circ$  em relação ao norte verdadeiro),  $18^\circ$  graus da declinação da costa mais  $22^\circ$  da declinação magnética. De cada componente foi adicionalmente decomposta em componentes harmônica e não-harmônica, aplicando-se análise harmônica de marés através do pacote de rotinas Utide para Matlab (Pawlowicz, *et al.*, 2002). Dados auxiliares de vento sinóticos aos registros de correntes foram obtidos para a estação meteorológica do aeroporto de Recife ( $-8,13$  S e  $-34,91$  W; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

A partir da inspeção visual dos registros de vento e corrente não-harmônica longitudinal foi identificada uma possível associação entre um e outro principalmente nos dados de corrente coletados no inverno. Sobre estes dados foram determinados os espectros de potência, a coerência de energia pela análise de ondeletas e o espectro de fase seguindo os procedimentos descritos

em Torrence e Compo (1998), e Grinsted et al., (2004), bem como analisado a coerência de energia entre eles.

Para realizar a análise do balanço de calor foram realizadas 4 expedições oceanográficas em um ponto fixo na coordenada geográfica de longitude 34.9° W e latitude 8.4° S, com profundidade de 22 m, em frente ao porto de Suape, na cidade de Ipojuca, no estado de Pernambuco (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As campanhas oceanográficas ocorreram no verão e no inverno em marés de sizígia e quadratura com o auxílio de embarcações de pequeno porte, os dois primeiros embarques foram realizados em campanhas de monitoramento ambiental relacionadas às obras de dragagem do Porto de Suape e as duas últimas campanhas foram realizadas através do projeto financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), intitulado '*Hidrodinâmica e processos de transporte na plataforma continental de Pernambuco*'. Um resumo das expedições está descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Sumário das coletas com o número das campanhas, data de início e término, localização, hora que a campanha iniciou, duração, fase da lua, período em relação aos níveis de chuva, a quantidade de amostras e quais dados foram coletados.

Nr	Datas	Localização (Lon, Lat)	Início da campanha	Duração (h)	Fase da lua	Período	Quantidade de perfis
1	19 a 20.02.13	34,9° W 8,4° S	11:00 AM	29	Quadratura	Verão	59
2	26 a 27.02.13	34,9° W 8,4° S	1:40 PM	29	Sizígia	Verão	59
3	20 a 21.09.13	34,9° W 8,4° S	2:07 PM	24	Quadratura	Inverno	49
4	28 a 29.09.13	34,9° W 8,4° S	2:02 PM	24	Sizígia	Inverno	49

A medição dos dados de temperatura e salinidade também foram realizadas através de perfis com instrumento CTD (acrônimo de conductivity, temperature and Depth), da marca JFE, o CTD registrou dados a cada 0.1 m. Os dados adquiridos nos primeiros 0.5 m foram excluídos, devido ao tempo (~ 20 segundos) que o equipamento precisa ficar parado na superfície da água até estabilizar, este procedimento ocorre justamente nessa faixa de profundidade. Os perfis foram feitos a cada 30 minutos, durante um período mínimo de 24 horas. Nas campanhas realizadas no verão, os dados de corrente foram coletados utilizando instrumentos ADCP (acrônimo de Acoustic Doppler Current Profiler) da marca Nortek modelo Aquadopp Profiler de 1000 kHz, o instrumento esteve fundeado durante todo o ciclo de 24hrs, a taxa amostral foi de 1 dado a

cada 20 minutos. E nas campanhas realizadas no inverno foi utilizado um ADCP da marca RDI modelo Workhorse Sentinel de 1200 kHz, instalado em um suporte na lateral da embarcação com os sensores voltados para baixo, a taxa de coleta de dados foi de 1 dado a cada 2 segundos. Os dados de corrente das 4 campanhas foram reamostrados para 1 dados a cada 30 min como os dados coletados pelo CTD.

Nos cruzeiros realizados no verão os dados meteorológicos foram adquiridos através de uma estação meteorológica da marca Airmar com resolução para temperatura de  $0,1^{\circ}\text{C}$  e para velocidade de  $0,1\text{ m/s}$ , a estação esteve instalada na embarcação durante todo o período de coleta, a taxa amostral foi de 1 dado a cada 1,7 segundos. Nas campanhas de inverno a estação meteorológica esteve instalada no late clube de Recife (coordenada  $34,87^{\circ}\text{W}$ ;  $8,07^{\circ}\text{S}$ ) na beira do mar em uma altitude de 15 metros, utilizou-se a mesma taxa de aquisição de dados que foi adotada nas campanhas de verão. Mas devido a quedas na energia elétrica no late clube de Recife a estação meteorológica não coletou dados na primeira campanha de inverno, por este motivo utilizamos dados sinóticos da estação meteorológica do aeroporto de Recife ( $-8,13\text{ S}$  e  $-34,91\text{ W}$ ). Os dados sinóticos de vento passaram por um ajuste baseado na correlação entre os dados coletados pela estação oceanográfica nas outras 3 campanhas com dados sinótico da estação do aeroporto no mesmo período. Por meio da correlação dos dados foi possível gerar uma equação de ajuste onde foi possível realizar o ajuste dos dados coletados pela estação meteorológica do aeroporto.

Os dados coletados pelo CTD, ADCP e estação meteorológica foram baixados utilizando os softwares específicos de cada fabricante, onde utilizando esses softwares é possível converter o formato dos arquivos em ASCII (acrônimo de American Standard Code for information Interchange) neste formato é possível visualizar os valores registrados e processar os dados em programas específicos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 HIDROGRAFIA

A variação temporal de temperatura e salinidade médias obtidas a partir dos levantamentos de oportunidade (17 campanhas) entre março de 2012 e maio de 2013 são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** As duas localidades onde foram realizadas as coletas estão aproximadamente 30 km de distância uma da outra, representadas na cor vermelha (porto de suape) e azul (porto de Recife) na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A variação da temperatura apresentou um comportamento que reflete a variabilidade sazonal, porém com uma defasagem de dois meses em relação aos valores da temperatura do ar. A menor temperatura foi registrada no início de setembro (2012), e a máxima registrada no início de abril (2013), com uma amplitude térmica de 3° C. Não é possível identificar um padrão sazonal para a salinidade. Contudo, ainda que estes dados reflitam as condições hidrográficas costeiras, o menor valor de salinidade média foi de 36,5. A temperatura e salinidade média para todo o conjunto de dados foram de  $27,8 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$  e  $37,0 \pm 0,3$  psu, respectivamente, indicando uma variabilidade temporal relativamente pequena.

Os diagramas TS para o verão e inverno estão apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Em ambos os casos há o predomínio de Água Tropical (AT), com poucas ocorrências de Água Costeira (AC) ( $S < 36,5$ ). Os valores médios e desvio padrão de temperatura foram de  $26,5 \pm 0,3$  e  $27,6 \pm 0,5$  °C, para inverno e verão, respectivamente, e de salinidade foram de  $37,1 \pm 0,3$  e  $36,7 \pm 0,1$ , na mesma ordem. Na campanha de inverno a variação térmica

da Água Tropical ficou entre 25 e 27 °C, enquanto que no verão a amplitude térmica foi entre 24,8 e 28,7 °C, indicando a presença de águas da camada superior da termoclina permanente.

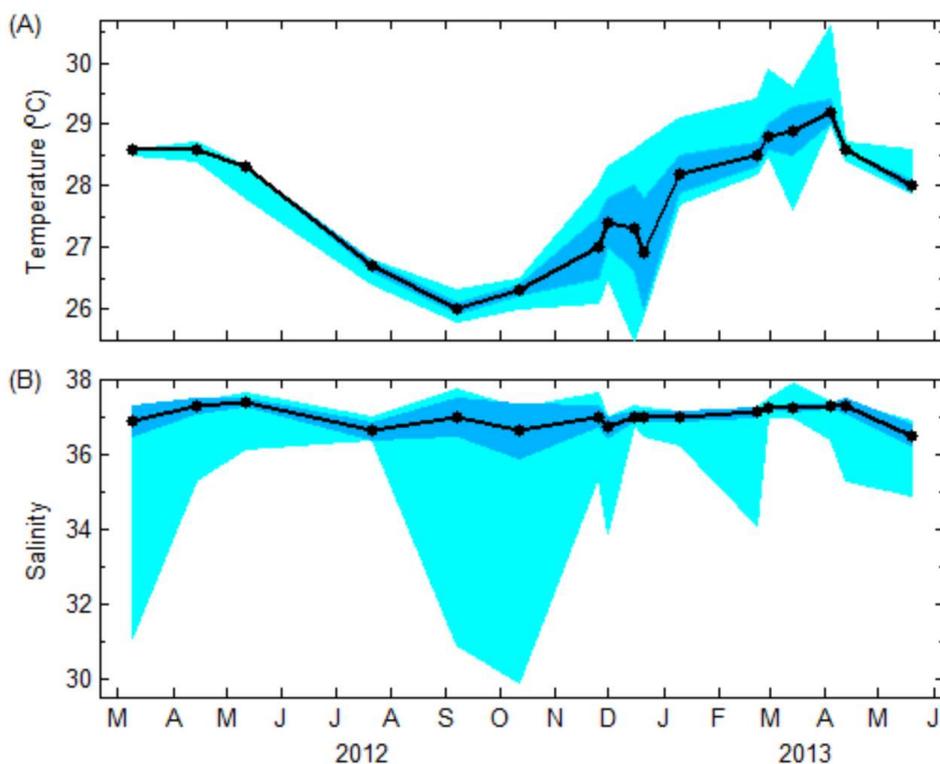
Os valores de temperatura das campanhas de inverno e verão foram coerentes com a variabilidade sazonal (menor no inverno, maior no verão), coerente com o balanço radiativo anual (Merle et al., 1980). Os valores de salinidade, por outro lado, apresentam comportamento antagônico em relação ao aporte fluvial, com maior salinidade média registrada no inverno quando o aporte fluvial é máximo. Contudo, a despeito do maior valor médio, os menores valores de salinidade foram registrados no inverno, da ordem de 35. Considerando valores de salinidade limítrofes de 37 no inverno e 36.5 no verão como típicos de AT, a presença de AC foi de 5,0 e 2,9% no inverno e verão, respectivamente, com uma contribuição de água fluvial de 0,9 e 0,4%, na mesma ordem.

A dominância de AT durante todo o ano, a reduzida presença de AC e a plataforma em estudo ser considerada estreita, sugerem uma forte interação entre plataforma e oceano adjacente. No oceano adjacente ocorre a SCNB que é originada da bifurcação da CSE, transportando águas quentes e com salinidade elevada do Atlântico Sul Tropical (Silveira et al., 1994; Schott et al., 2005). A bifurcação da CSE na costa brasileira apresenta migração meridional ao longo do ano alcançando latitudes mais ao norte ( ~10° S) no verão e mais ao sul no inverno ( ~20° S) no inverno (Stramma and England, 1999; Rodrigues et al., 2007; Soutelino et al., 2011). **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra o histórico meridional da salinidade ao longo da margem oeste do Atlântico Sul a partir do Word Ocean Atlas (NOAA/NCEI), dados superficiais de

5 a 50m. A interseção da média de salinidade (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**B) encontrada nos dados coletados no período de verão (janeiro de 2014) sugere que a origem esteja em  $\sim 10^\circ$  S, e no inverno podendo estar entre  $13,5^\circ$  e  $19^\circ$  S.

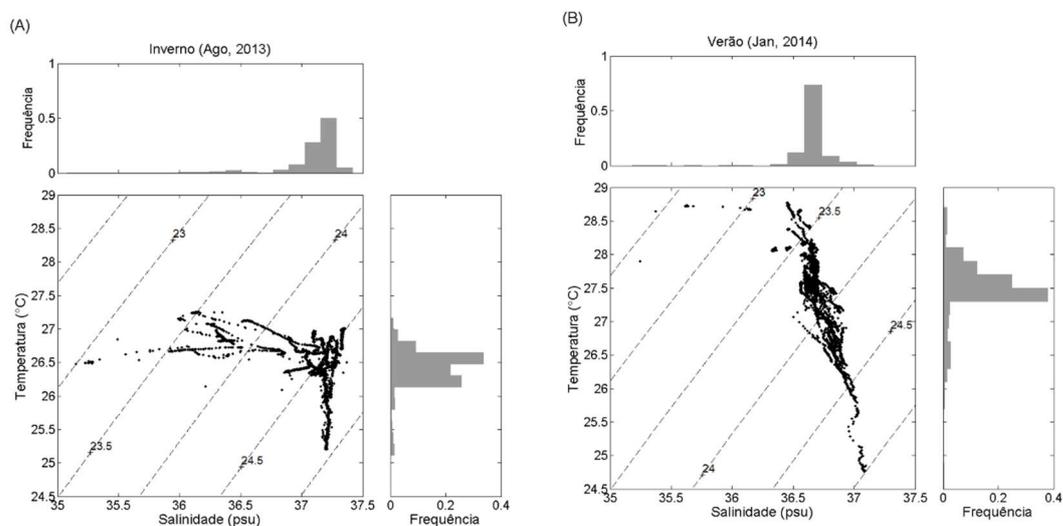
Os maiores valores de salinidade foram registrados no inverno, em dissonância com o maior aporte fluvial no período, indicam que: (1) o aporte fluvial não tem papel importante na diluição da AT para formar AC, e (2) o que sugere que as características termo-halinas da plataforma são determinadas principalmente pela interação com a circulação oceânica de meso-escala.

Figura 4: Variação temporal da temperatura (A) e salinidade (B) na plataforma interna no período entre março de 2012 e maio de 2013. A área sombreada com azul claro representa os extremos de máximo e mínimo, e a área sombreada com azul escuro representa o desvio padrão da média indicada pela linha.



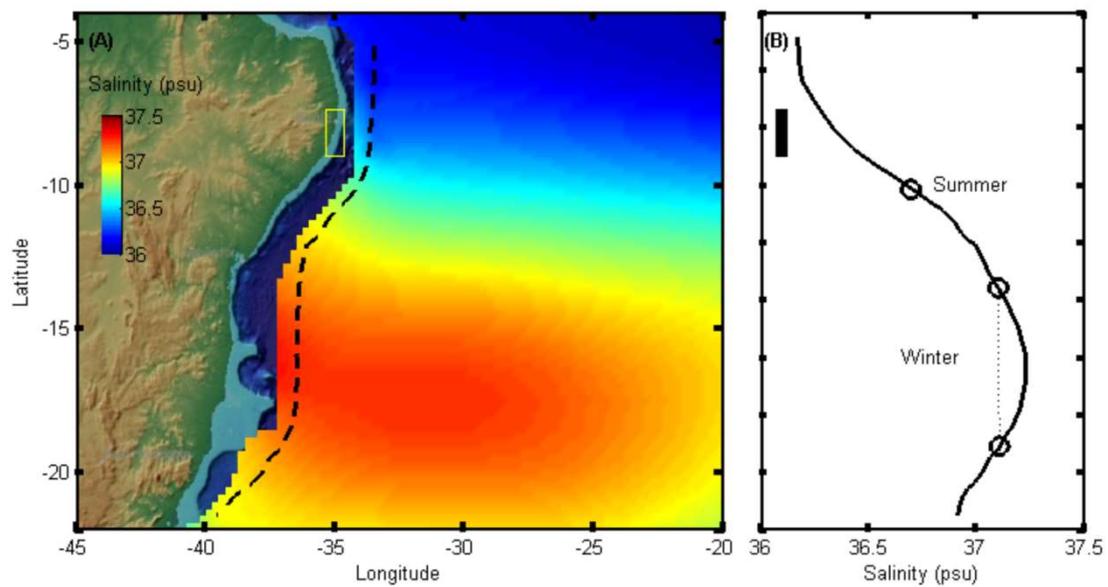
Fonte: O autor.

Figura 5: Diagrama TS para a campanha de inverno (A) e verão (B), com respectivos histogramas de frequência de temperatura e salinidade. As linhas tracejadas indicam as isopicnais em Sigma-t ( $\sigma T$ ).



Fonte: O autor.

Figura 6: (A) imagem com a média de salinidade superficial na borda oeste do Atlântico Sul (world Ocean Atlas, NOAA/NCEI, média 5 a 50m), (B) a vista meridional com a variação da salinidade superficial (amostradas ao longo da linha pontilhada (A)) com as interseções das médias de salinidade encontradas no inverno (agosto, 2013) e no verão (janeiro, 2014) na área de estudo. A barra preta (B) indica a latitude da área de estudo.



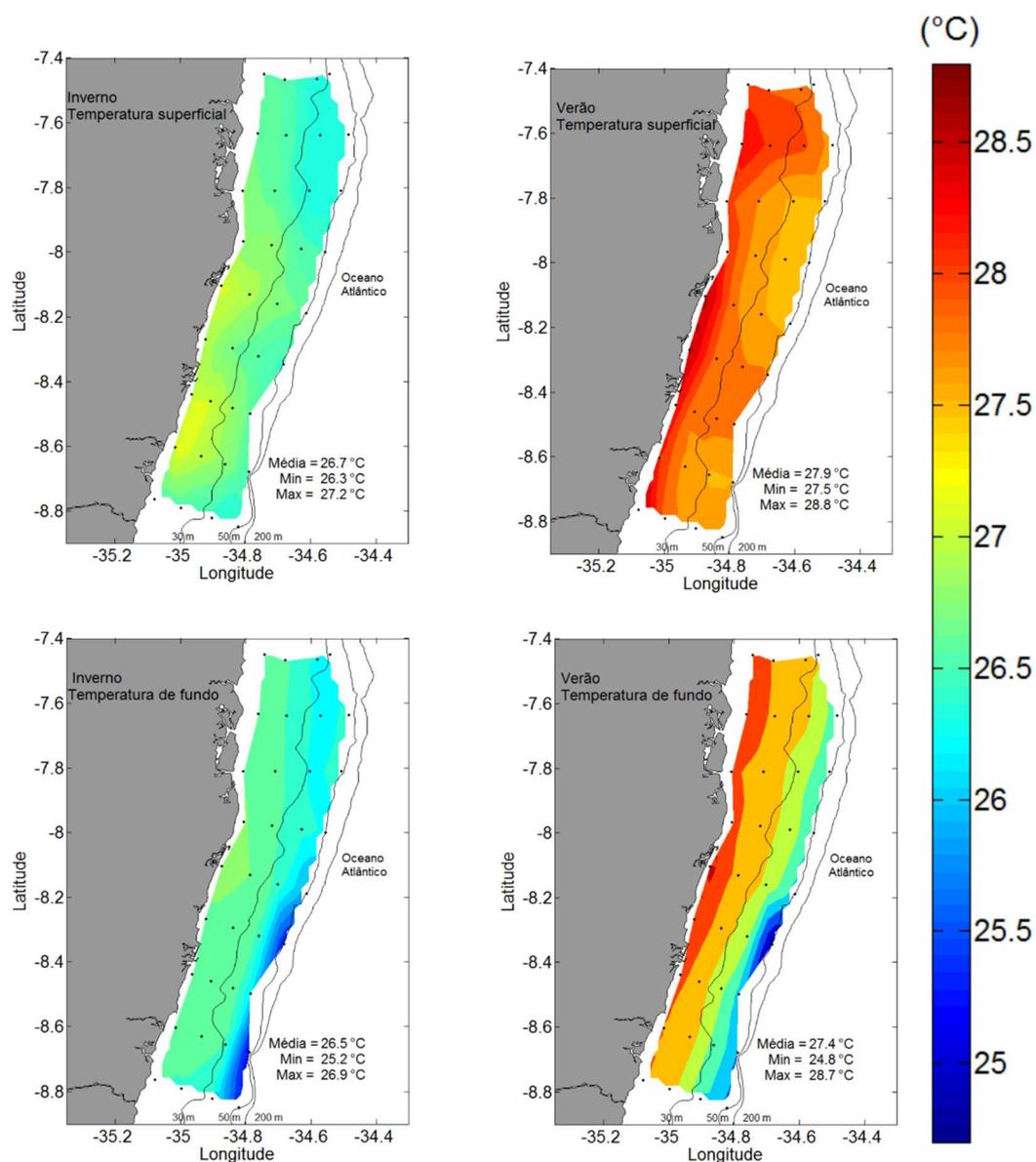
Fonte: O autor.

## 5.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA E SALINIDADE

A distribuição horizontal da superfície e próximo ao fundo da temperatura e salinidade estão apresentadas nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 8, respectivamente. Foram utilizados os valores médios entre 0.5 e 2 m de profundidade para caracterizar a distribuição superficial, e os valores médios dos 2 m junto ao fundo. As distribuições de fundo obviamente representam diferentes profundidades, variando entre 5 m na porção norte interna até 40/50 m nas estações mais externas.

A temperatura média superficial foi de  $26,7 \pm 0,3$  °C no inverno e de  $27,9 \pm 0,3$  °C no verão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os valores médios de temperatura no fundo foram de  $26,5 \pm 0,4$  °C e  $27,4 \pm 0,82$  °C, para inverno e verão, respectivamente. No inverno a distribuição da temperatura na superfície e no fundo foram relativamente mais homogêneas do que no verão. O gradiente térmico médio de superfície através da plataforma foi  $-0,03$  °C / km no verão, e  $-0,02$  °C / km no inverno, enquanto que no fundo os gradientes térmicos foram  $-0,03$  °C / km no inverno e  $-0,07$  °C / km no verão. Os maiores gradientes observados no inverno foram observados no fundo e na porção sul próximo da quebra da plataforma, onde foram registrados valores de temperatura mais baixos, da ordem de 25° C. Este padrão também foi observado no verão, porém mais intenso, o que sugere uma maior intrusão de águas do topo da termoclina permanente sobre a plataforma. Isto tem um papel importante para ecologia e para os recursos pesqueiros, tendo em vista que a entrada dessa água pode contribuir no aumento da produtividade local em um meio oligotrófico (Freire and Pauly, 2010).

Figura 7: Distribuição horizontal de temperatura (°C) no inverno (Figuras da esquerda) e no verão (Figuras da direita), com dados de superfície (Figuras superiores) e de fundo (Figura de baixo).



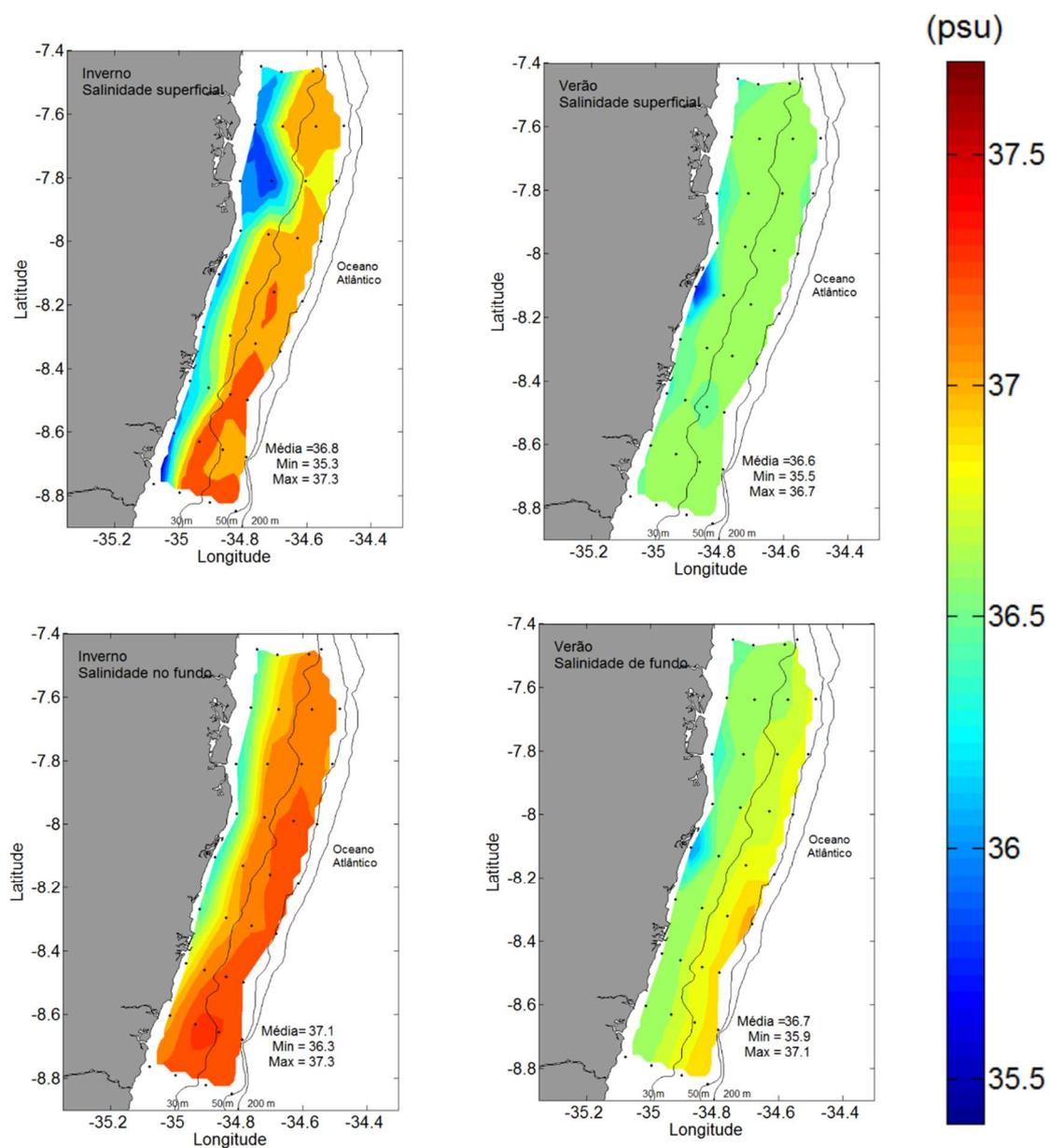
Fonte: O autor.

A salinidade média na superfície e fundo no inverno foi de  $36,8 \pm 0,5$  e  $37,1 \pm 0,28$ , respectivamente, e no verão foi de  $36,6 \pm 0,2$  e  $36,7 \pm 0,2$ , na mesma

ordem (Figura 7). No inverno a distribuição da salinidade apresentou gradiente transversal positivo ao longo de toda a extensão, porém mais intenso na porção norte. O gradiente médio de salinidade de superfície no inverno foi de 0,04 psu/km e no verão de 0,01 psu/km. No fundo o gradiente médio de salinidade foi 0,02 psu/km no inverno e no verão 0,015 psu/km.

Durante o inverno ocorreu uma faixa de menores salinidades próximo da costa ao longo de toda a plataforma, indicando a contribuição dos diversos pequenos rios na formação da AC junto à costa. No verão valores mais baixos que a média de salinidades ocorreu somente próximo à desembocadura do Rio Capibaribe (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A descarga dos rios locais é fortemente determinada pelo clima regional semiárido, onde a descarga é mínima ou ausente durante o verão (período seco), e máxima durante o inverno (período chuvoso). A anomalia registrada no verão próximo da desembocadura do Rio Capibaribe está relacionada ao efeito antrópico do abastecimento de água para a Região Metropolitana de Recife. A descarga do Rio Capibaribe no verão gira em torno de 2 m<sup>3</sup>/s, contudo a contribuição de água de esgoto está em torno de 8 m<sup>3</sup>/s, em um regime perene (Schettini et al., 2016). Mesmo sendo um fluxo relativamente pequeno, esta pequena contribuição contínua influencia anomalias na distribuição de salinidade na plataforma continental, onde a alta salinidade da AT prevalece.

Figura 8: Distribuição horizontal de salinidade para as campanhas realizadas no inverno (figuras do lado esquerdo) e verão (figuras do lado direito), com dados de superfície (figuras superiores) e de fundo (figuras de baixo).



Fonte: O autor.

Foram selecionadas as seções I, V e VIII (Figura 9 e Figura 10) para representar a estrutura termo-halina vertical das porções sul, média e norte da área de estudo, respectivamente. A distribuição seccional da temperatura no inverno foi relativamente mais homogênea do que no verão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). No inverno, os maiores gradientes térmicos foram observados no sul (seção I), com a presença de água relativamente mais fria (~ 25 °C) ocupando um quarto da coluna de água próximo ao fundo. Isto é observado em menor grau na porção central (seção V), e não ocorre no norte (seção VIII). O mesmo padrão é observado no verão, sendo também observado uma intensificação do gradiente térmico horizontal aumentando de norte para o sul. Esses resultados indicam processos de ressurgência na quebra de plataforma.

Ressurgência ocorre na plataforma continental brasileira na região sudeste do Brasil e está relacionada com o vento e o transporte de Ekman (Castelao and Barth, 2006; Aguiar al., 2014). Contudo, os ventos locais desfavorecem a indução de ressurgência pelo vento (Kampf and Chapman, 2016). No mês de janeiro o transporte de Ekman está na direção Sul, aproximadamente paralelo à costa, e em julho existe uma componente de transporte em direção à costa. Para o presente caso é provável que os processos de ressurgência detectados na quebra de talude estejam relacionados com a dinâmica de elevação decorrente da presença da corrente de borda oeste (Tomczak and Godfrey, 1994; Schaeffer et al., 2013 and 2014). O fato foi observado tanto no verão quanto no inverno que pode estar atribuído a presença

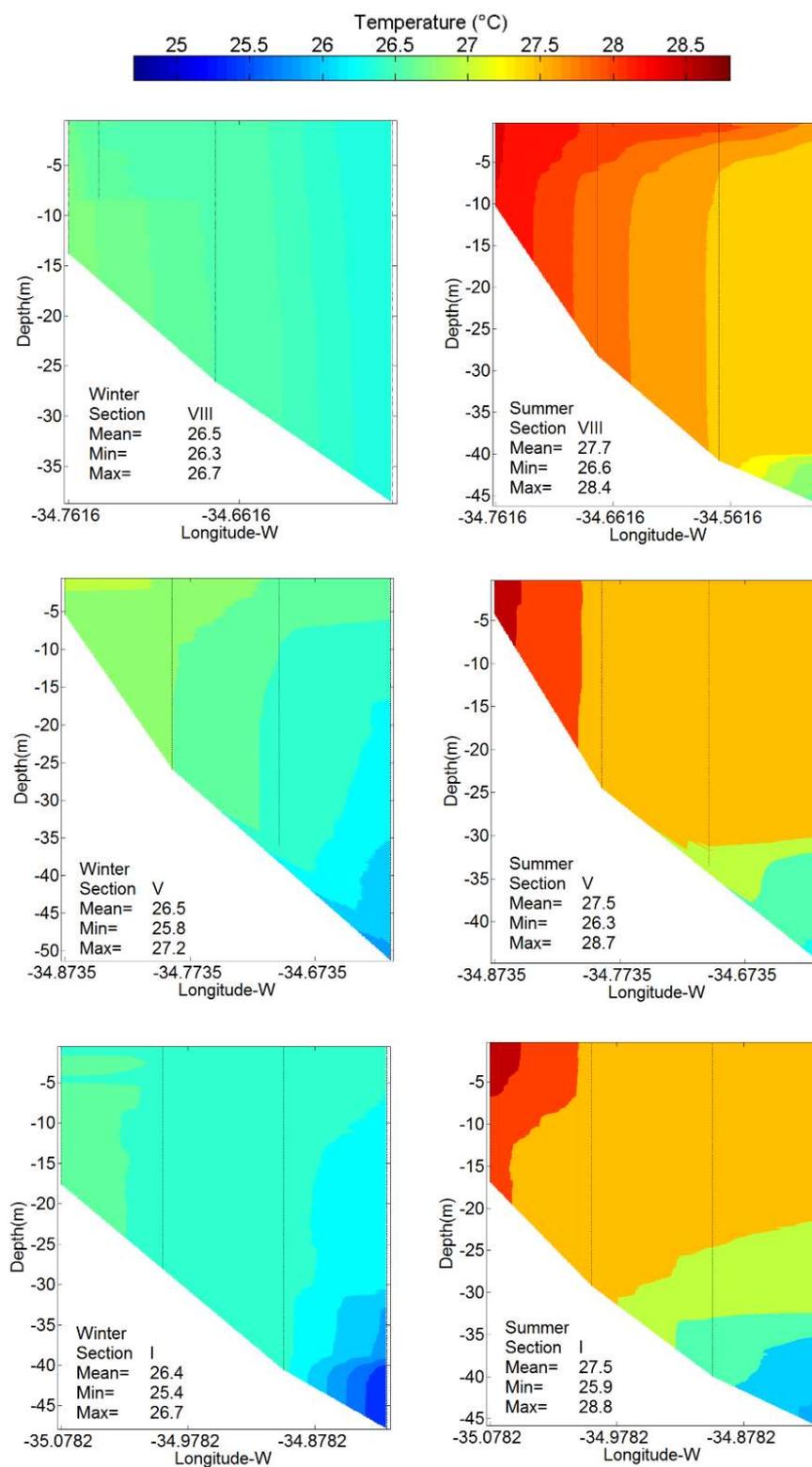
perene da SNBUC (Schott et al., 2005). Nos dois momentos de coleta a intensidade é diminuída gradativamente de sul para norte da área de estudo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na região externa da plataforma de Pernambuco um pouco ao norte da área de estudo existe o platô de Recife. Este platô é uma elevação que possui uma profundidade média de 900m. A presença desta feição morfológica pode ter alguma relação com a circulação de mesoescala na plataforma externa, e talvez seja uma explicação para este comportamento.

Nas duas campanhas águas mais quentes estiveram na plataforma interna (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) o que é possível visualizar também na distribuição horizontal (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O gradiente no verão é mais intenso do que no inverno. As águas mais quentes na plataforma interna podem estar diretamente associadas ao balanço de calor e mistura vertical causado pelas correntes de maré (Simpson and Hunter, 1974). As correntes mais lentas no verão, relatadas no próximo capítulo, podem estar impedindo que ocorra mistura transversal na plataforma, propiciando o maior gradiente térmico nesse período.

A salinidade esteve maior no inverno, onde os maiores gradientes de salinidade foram registrados na plataforma interna nas camadas superficiais (seção I). Isto pode ter acontecido devido à proximidade do Rio Una, aproximadamente 10 km ao sul da seção I. Na parte central e norte o gradiente esteve mais espalhado por toda coluna d'água, sendo maior na camada superficial. As correntes durante o inverno estiveram predominantes para a direção norte, e este padrão de salinidade pode ser explicado pela advecção de águas estratificadas. Durante este deslocamento de água para o norte as marés

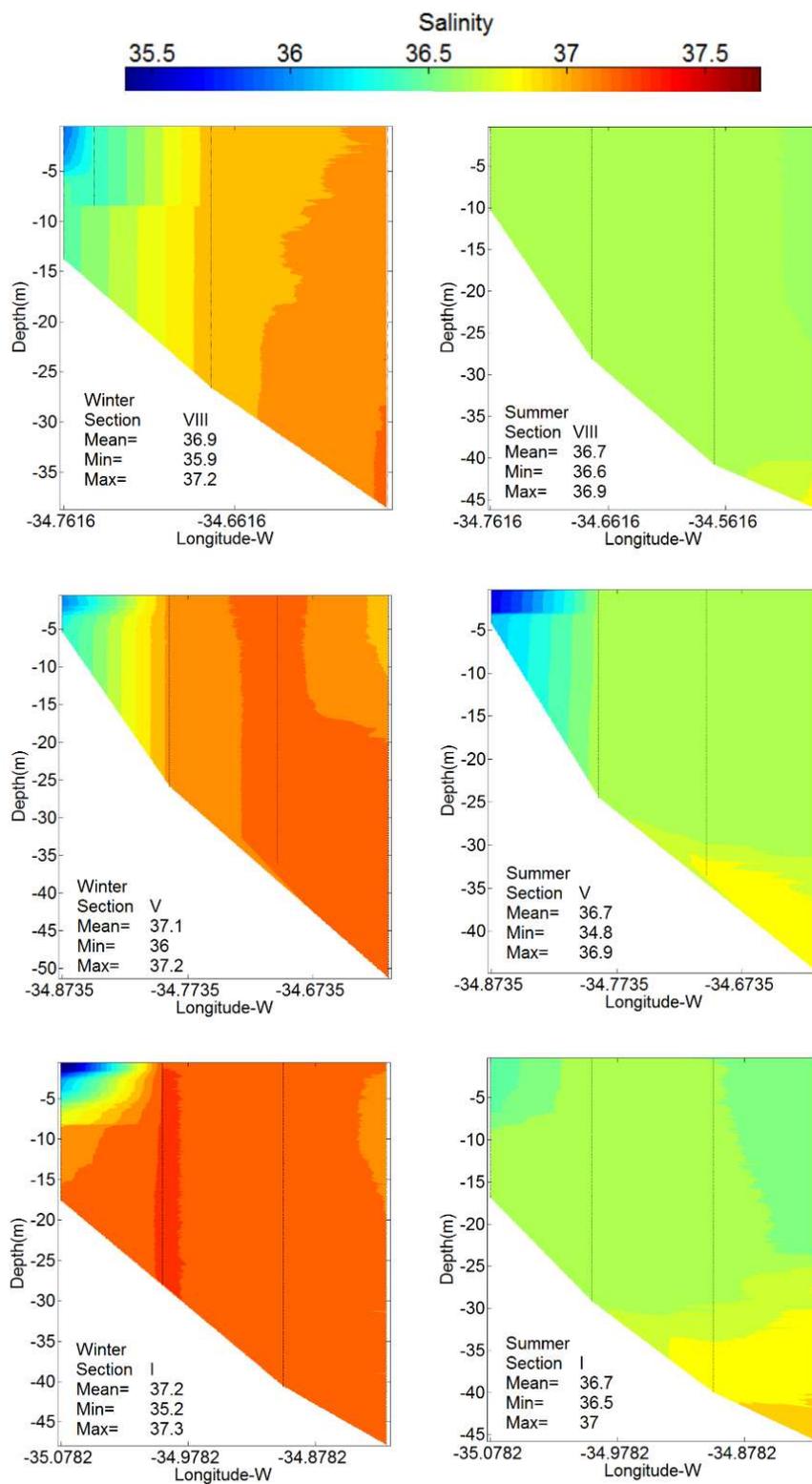
desempenham o papel de misturar a coluna d'água verticalmente (Mooers, 1975; Bowden, 1983). Contudo a entrada de água doce vinda de vários pequenos rios é o que irá sustentar a maior estratificação vertical na plataforma interna. No verão a distribuição foi relativamente mais homogênea nas partes sul e norte (seções I e VIII, respectivamente), com uma notável anomalia na parte central (seção V). Esta anomalia na distribuição de salinidade está diretamente associada com a influência do Rio Capibaribe, onde também é significativa na distribuição horizontal de salinidade superficial e de fundo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, painéis do lado direito).

Figura 9: Distribuição de temperatura dos transectos norte (seção VIII, em cima), central (seção V, meio) e sul (seção I, em baixo) da área de estudo figura 3.



Fonte: O autor.

Figura 10: Distribuição de salinidade dos transectos norte (seção VIII, em cima), central (seção V, meio) e sul (seção I, em baixo) da área de estudo figura 3.



Fonte: O autor.

Os padrões de distribuição de temperatura registrados no inverno e verão mostraram uma variabilidade sazonal e espacial relativamente pequena quando comparado com plataformas continentais na região Sudeste do Brasil, nas plataforma da região sudeste a variabilidade sazonal é causada pela alta variação no balanço de calor superficial, assim como a presença de Águas do Atlântico Central mais frias nas camadas inferiores (Miranda, 1985; Hille, et al., 2008; Moller et al., 2008). A variação de temperatura foi de 2 °C na mesma campanha e em torno de 0,5°C entre as campanhas. Por outro lado, é esperado uma maior variabilidade para a salinidade. A precipitação costeira em julho de 2013 foi de 106 mm, cerca de metade do valor climatológico para julho, de 194 mm (APAC, 2016). É esperado que em anos de maior precipitação haja uma equivalente maior formação de AC, ainda que com o predomínio de AT. Estudos similares na região sul e norte do Brasil encontraram uma variação de mais de 4 psu entre períodos de alta e baixa descarga (Carvalho et al., 1998; Silva et al., 2005), enquanto que no presente estudo a salinidade média no período chuvoso foi 0,5 psu maior do que no período seco.

### 5.3 HIDRODINÂMICA

Nesta seção são apresentados os dados de nível da água e correntes obtidos durante os fundeios de ADCP's e dados de vento costeiro. Os dados obtidos no inverno compreendem um período de 43 dias, enquanto que para o verão há 9 dias. A altura máxima de maré em sizígia foi de 2,63 m, e a menor altura de maré em quadratura foi de 0,76 m (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, A). O sinal harmônico contabiliza 99,7% da variância dos dados de nível da água. Nas Tabela 4 e Tabela 5 estão as principais constituintes de maré para o nível de água e para as correntes, respectivamente.

Os presentes dados representam os primeiros registros confiáveis de correntes na plataforma continental de Pernambuco. Apesar das lacunas ainda existentes os dados representam bem as condições de inverno e verão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As cores quentes e frias representam alta e baixa densidade de observação, as áreas brancas indicam que não houveram registros. Os dados de velocidade e direção pela coluna d'água (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), as setas indicam a direção da corrente na profundidade indicada e na parte superior do painel consta a variação de maré para a campanha de inverno. A série temporal da corrente decomposta em longitudinal e transversal estão apresentadas na (Figura 15)

Tabela 4: Constituintes harmônicos de maré (T.C.) obtidos para o registro de nível de água durante agosto e setembro de 2013.

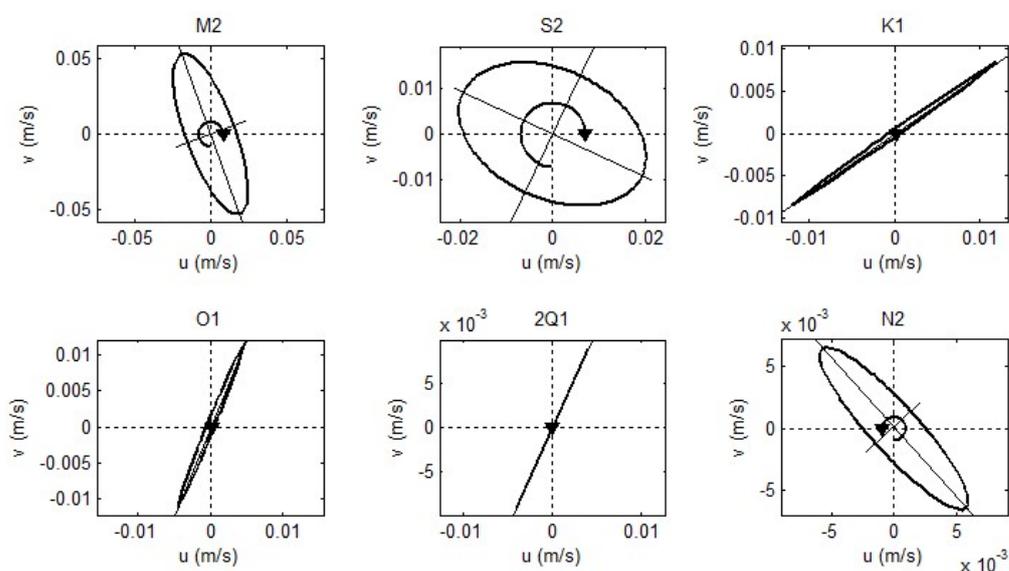
T.C.	Amplitude (m)	Phase (°)	T.C.	Amplitude (m)	Phase (°)
2Q1	0.0038	56.14	L2	0.0174	117.66
Q1	0.0170	98.72	S2	0.3139	126.58
O1	0.0492	139.56	MO3	0.0021	263.75
NO1	0.0025	259.25	M3	0.0063	105.20
K1	0.0350	245.71	SK3	0.0019	278.64
J1	0.0038	347.91	MN4	0.0032	148.81
MU2	0.0171	129.83	M4	0.0079	190.84
N2	0.1371	95.45	MS4	0.0042	313.53
M2	0.7679	110.98	S4	0.0023	196.02

Tabela 5: Principais constituintes da corrente obtidas de 45 dias de registro entre agosto e setembro de 2013.

T.C.	Semi-major axis (m/s)	Semi-minor axis (m/s)	Inclination (degrees)	Phase (degrees)
M2	0.056	-0.016	110	321
S2	0.021	-0.014	155	306
K1	0.015	< -0.001	68	80
O1	0.012	< -0.001	66	319
2Q1	0.010	< -0.001	132	36
N2	0.009	0.002	74	274

As elipses de maré estão apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a elipse diurna apresentou padrão achatado e com toda evolução anti-horária. As constituintes semidiurnas distribuíram energia entre os semieixos com orientação oblíqua para a linha de costa.

Figura 11: Principais elipses de maré para a profundidade média das correntes (Tabela 4) para 45 dias de coletas entre agosto e setembro de 2013.

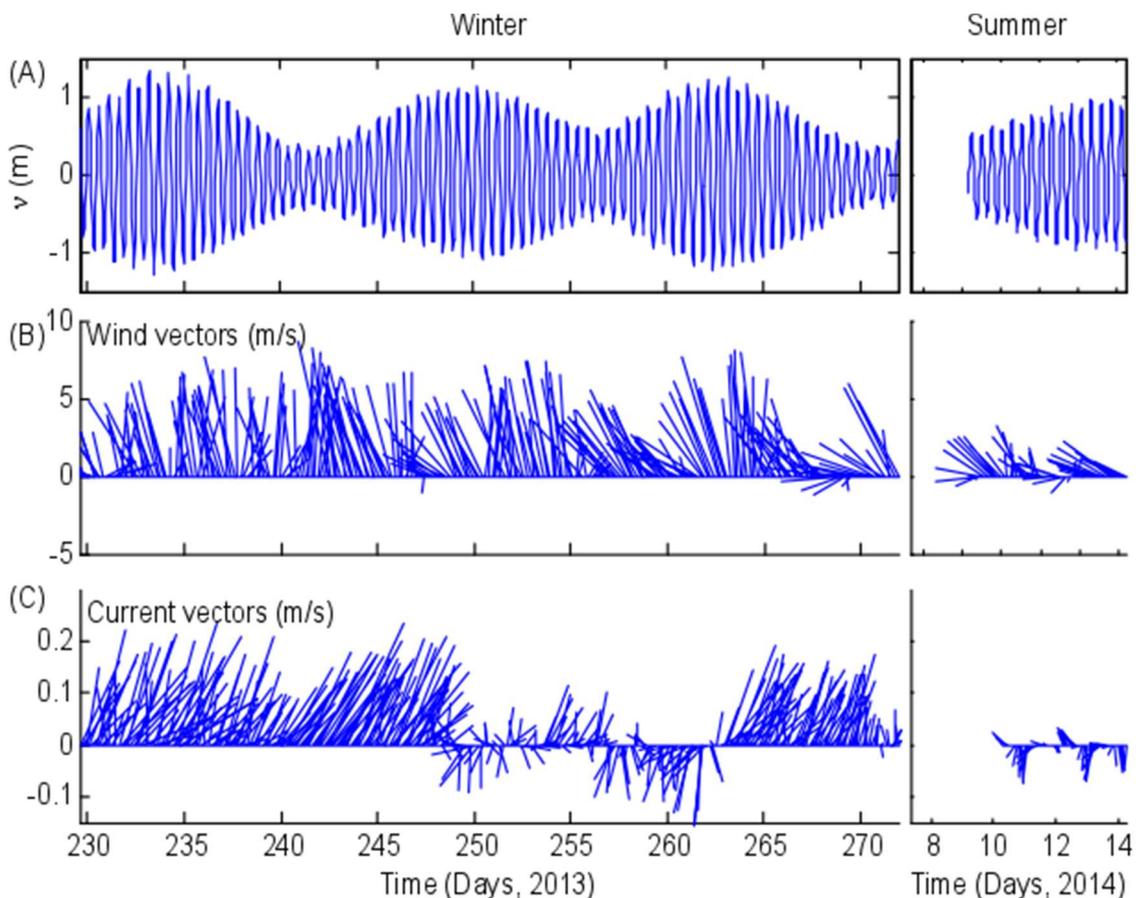


Fonte: O autor.

Durante a campanha de verão a variação da altura de maré ficou entre 1,09 e 1,94 m (Figura 12A) valores similares aos encontrados no litoral do Ceará por Frota et al., (2016), onde destacam a ausência de efeitos meteorológicos no nível da água (marés meteorológicas). Diferentemente dos padrões encontrados ao longo de plataformas continentais no sul do Brasil (Castro e Lee, 1995; Truccolo et al., 2006).

As séries temporais de vento e correntes são apresentadas como *stick-plots* (em notação oceanográfica; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), e em diagramas de distribuição polar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. A velocidade média dos ventos no período de inverno foi de 4,8 m/s, com valor máximo da ordem de 11 m/s, e sentido predominante para NNO. No verão a velocidade média do vento foi de 3,7 m/s, com valores máximos de 6,7 m/s, no sentido predominante para ONO. No inverno a velocidade média da coluna d'água da corrente foi de 0,11 m/s, com valores máximos na ordem de 0,42 cm/s (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As velocidades mais elevadas foram registradas na região superficial da coluna d'água, e as intensidades mais fracas na faixa de água próximo ao fundo, decorrente ao estresse do fluido com substrato o que causa essa diminuição gradativa da superfície até chegar ao fundo. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível verificar que no dia 31 de agosto de 2013 a velocidade da água se manteve em torno de 0.42 m/s durante um ciclo inteiro de maré (~13 hrs). No ano de 2011 foi realizado um levantamento em parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, utilizando um ADCP fundeado durante 138 dias entres os meses de junho ao mês outubro e foi registrado velocidade na superfície da coluna d'água próximo de 1 m/s no mês de julho (Anexo I), velocidade elevada para plataformas continentais, neste registro a direção da corrente foi predominante para norte nordeste durante quase todo o período de coleta, apenas no início no mês de outubro houve uma inversão de sentido de aproximadamente 180° levando água para o sul do país.

Figura 12: Séries temporais do nível da água (A) stick plots do vento local (B), em notação oceanográfica e correntes (C) para o inverno (painéis esquerdos) e para o verão (painéis direitos).

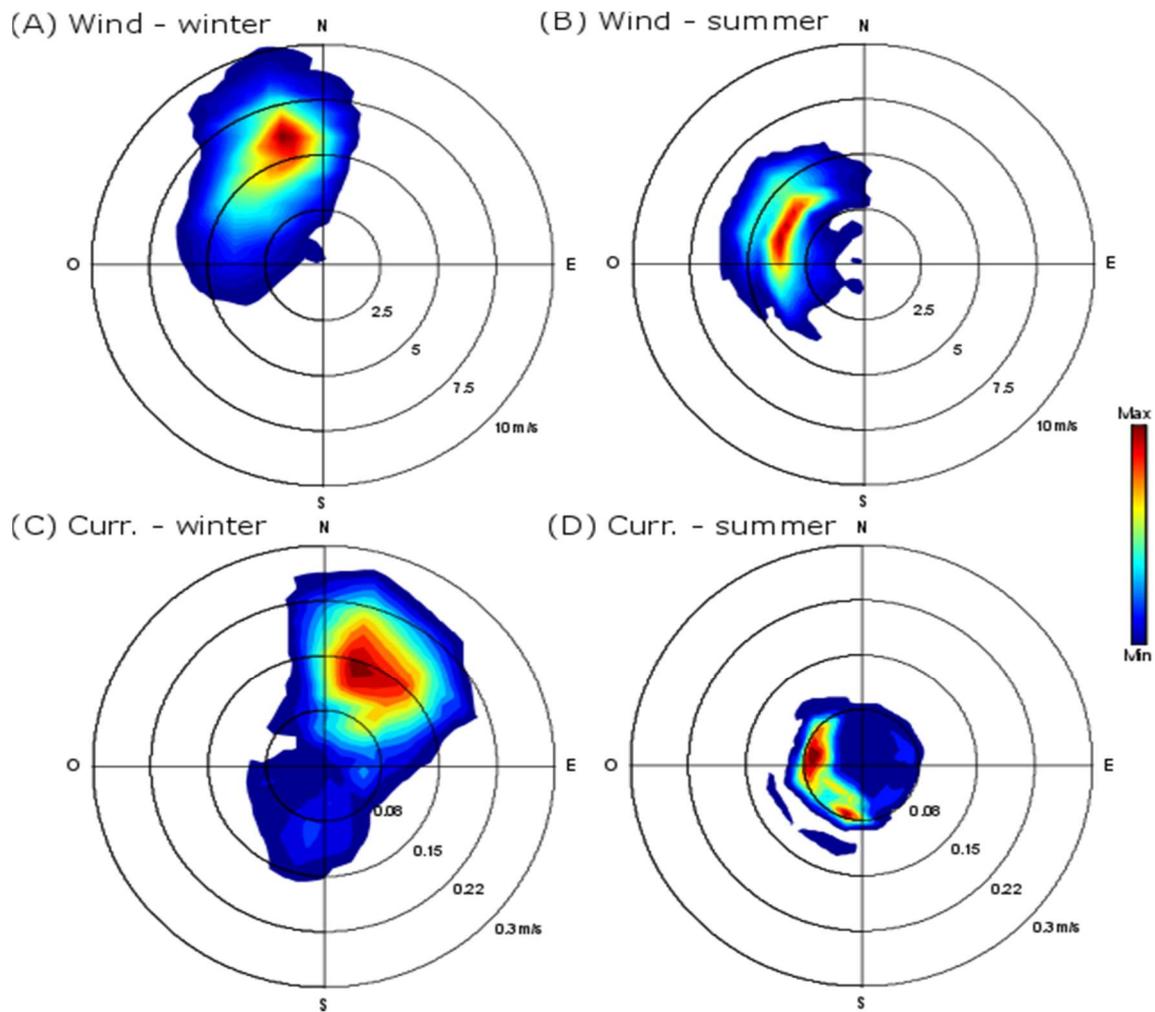


Fonte: O autor.

O sentido predominante da corrente foi para NNE (69%) paralelo à linha de costa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, C e D), a linha de costa possui uma inclinação de  $18^\circ$  em relação ao norte. No verão a velocidade média da coluna d'água de correntes foi de 0,06 m/s, com valor máximo de 0,14 m/s. A direção apresentou uma moda paralelo à linha de costa para sul sudoeste, e outra para o sentido da costa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Durante o inverno as correntes de maré (harmônicas) contabilizaram 59% e 16%

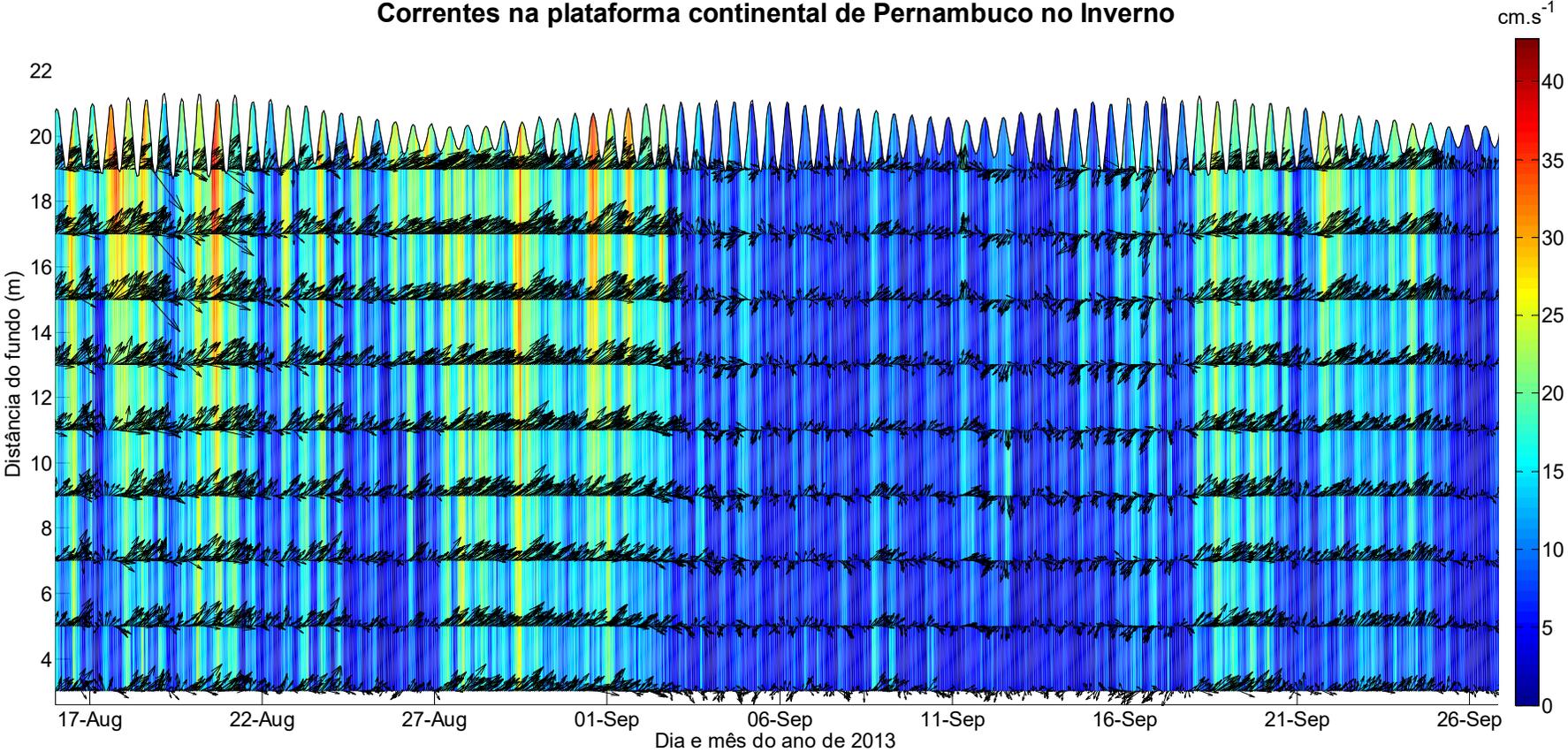
da energia das correntes transversal e longitudinal, respectivamente. No verão a energia associada com marés foi 76% e 43% para a componente transversal e longitudinal, respectivamente.

Figura 13: Distribuição polar do vento (A, B) e correntes (C, D) no inverno e (A, C) e no verão (B, D).



Fonte: O autor.

Figura 14: Velocidade da corrente em cores, variação da maré na parte superior da figura e direção das correntes em stickplot pela coluna d'água pelo tempo, durante os 43 dias de coletas.



O conhecimento dos marinheiros locais (velejadores, Pescadores e trabalhadores de aquicultura) é que as correntes são fortes no inverno com predominância em direção norte, como descrito por Hazin et al., (2008) e Lira et al. (2010). Portanto o primeiro aprendizado obtido com os nossos dados é a existência de inversões no sentido da corrente durante o inverno. Entre os dias 250 e 265 do ano de 2013 a intensidade das correntes diminuiu até inverter o sentido para direção sul. Os padrões das correntes responderam ao comportamento de mudanças no vento como pode ser visualizado na figura de stick-plots (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** B e C) e nos dados de baixa frequência na componente longitudinal do vento e da corrente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O vento relaxou no dia 247, seguido pela desaceleração da corrente subsequente a inversão de direção no dia 250. Esta inversão teve duração de aproximadamente um dia. No dia 250 o vento esteve forte novamente através da corrente longitudinal até o dia 251, mas a corrente não retornou a mesma intensidade permanecendo abaixo de 0.1 m/s. Entre o dia 257 ao dia 263 ocorreu uma segunda inversão no sentido da corrente, aparentemente uma resposta ao relaxamento do vento entre os dias 255 e 261.

Inicialmente a hipótese era que os comportamentos das correntes seriam explicados principalmente pelos ventos locais, similarmente reportado por Teixeira et al. (2013) em um trabalho desenvolvido em uma plataforma continental no estado da Bahia na latitude de 18 °S. Contudo a correlação entre os dados sinóticos de vento e corrente foi de apenas 0.3, aumentando para um máximo de 0.4 com um atraso de fase de 25 horas. Também fizemos uma correlação com o vento remoto usando os dados da boia PIRATA ( 8°S/30°W,

540 km da costa), e a correlação foi ainda pior. Então para realizar uma correlação mais clara utilizamos uma análise de ondeletas (wavelet), a qual é mais indicada para dados com processos não estacionários (Jay e Kukulka 2003). **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a wavelet do espectro de energia o vento e a corrente longitudinal e a coerência do espectro de fase entre eles. As cores quentes indicam maior energia na banda específica (eixo-y, dias) e no período específico de tempo em ao longo do dado (eixo-x). A linha grossa sólida representa 5% de nível de significância e a linha fina indica cone de influência.

A coerência e a fase do espectro estão na **Erro! Fonte de referência não encontrada.C**, onde as cores indicam a coerência e as setas indicam a fase. A fase da primeira variável (vento) para a segunda variável (correntes) é medida pelo sentido horário da seta. Setas apontando para direita ( $\rightarrow$ ) indica que a variável está em fase ( $0^\circ$ ); seta apontando para baixo ( $\downarrow$ ) significa que a segunda variável está atrasada da primeira variável em  $90^\circ$ ; seta para esquerda ( $\leftarrow$ ) indica variáveis fora de fase ( $180^\circ$ ); seta para cima ( $\uparrow$ ) significa que a primeira variável está atrasada da segunda em  $90^\circ$ . Existe alta coerência das correntes com o vento relatado especialmente para as partes 'C', 'D' e 'E', e esteve sem coerência na parte 'F'. A parte que mostrou alta coerência na banda de 1-3 dias a partir do dia 245 parece não ter sentido por não existir alta energia no vento ou na corrente no mesmo tempo e na mesma banda de frequência. Para as principais partes que apresentam coerência a corrente esteve atrasado do vento em  $45^\circ$ , no qual isto significa aproximadamente entre 0,6 a 1,2 dias para as bandas de frequência de 3,5 - 6 e 8 - 13 dias, respectivamente.

O pico de energia das correntes na banda de 3,5 - 6 dias ocorreu associada com os eventos de inversão da direção nos dias 248 - 252 e 257 - 263. Esses eventos relacionados com três momentos em que a intensidade do vento relaxou indicados pelas setas pretas na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Realizando uma análise de correlação cruzada entre o vento e as correntes entre os dias 245 e 265, a correlação aumenta para 0,5 (onde antes estava em 0,3 para toda a série), chegando ao máximo de 0,6 (antes 0,4 para toda a série) com um atraso de fase de 0,7 dias das correntes para o vento, destacado pelo espectro de coerência **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Embora o registro de correntes para o período de verão compreenda somente 9 dias, é esperado que o resultado represente razoavelmente bem as condições de verão, quando o vento predominante incide quase ortogonalmente à linha de costa e é mais brando. Para o período de inverno, é interessante observar que no período entre os dias 250 e 265 as correntes foram bem mais brandas do que no resto do registro, sendo de certa forma um resultado inesperado. Caso os registros tivessem sido obtidos somente neste período, o diagnóstico do padrão de correntes seria bastante distorcido da realidade, e enfatiza a necessidade de registros longos para uma avaliação adequada de correntes em plataforma. Este padrão sugere que o padrão dos ventos intensificou as correntes longitudinais durante este período. Vale a pena registrar que os ventos transversais à costa não relaxaram, especialmente no primeiro e no terceiro evento.

Quando os ventos longitudinais à costa sopraram constantemente, as correntes estiveram firmes para direção norte, embora a coerência entre as oscilações dos sinais fosse fraca (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O padrão ondulatório das correntes entre os dias 230 e 240 com um período de cerca de 2,5 – 3 dias e pode ser explicado pelo período inercial ode oscilação (86 horas ou 3,6 dias). Contudo, este padrão é claro apenas neste período.

Devido a plataforma continental de Pernambuco ser estreita possibilita que processos de pequena escala tempo nas adjacências da plataforma afetem a circulação. O que sugere a comparação entre a corrente longitudinal coletada e a corrente geostrófica fora da plataforma calculada através de dados de altimetria por satélite (Mullet et al., 2012). Existiram apenas 6 semanas de dados de corrente geostrófica para o período, como demonstrado pelos quadrados pretos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** B. Exceto no dia 255, quando possivelmente é o vento que estar direcionando as correntes, a correlação foi de 0.7 para os outros valores.

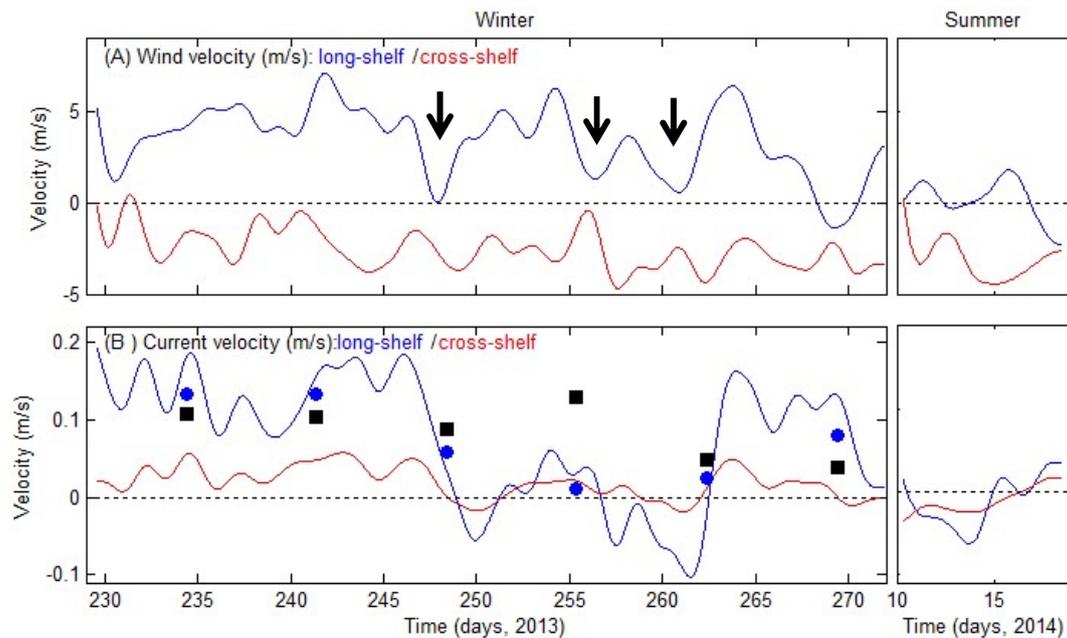
Não é do escopo do presente trabalho realizar uma análise meteorológica sinótica profunda, através de uma pergunta, o que está causando o relaxamento do vento no inverno na plataforma continental em questão? Isto é interessante por que o período de concentração de energia do vento mostrado pelo espectro de energia na análise de ondeletas representa mesma a periodicidade das frentes frias na região sudeste do Brasil (Stech e Lorenzetti, 1992). A precipitação local é causada principalmente pelo sistema sinótico do Atlântico Sul (Chaves e Cavalcanti, 2001). Embora também seja afetada por frentes frias ou resto delas que atingem latitudes mais baixas (Kousky, 1979). Desta forma pode ser possível que o relaxamento dos ventos que afetam as correntes

apresenta alguma conexão com a instabilidade atmosférica subtropical no inverno.

A ocorrência de uma componente frequente com sentido da costa durante o verão é um padrão inesperado, pois as correntes tendem a se alinhar principalmente no eixo paralelo à costa. Este padrão sugere a presença de uma célula de circulação através da plataforma, o que pode ter importante implicação nos processos de transporte e interação entre costa e oceano.

Os dados de corrente coletados no verão não permitem realizar uma análise mais profunda por corresponder a um período curto de registros. A intensidade dos ventos é fraca fato que favorece o domínio da maré nas correntes longitudinais e transversais à costa. A presença de correntes em direção a linha de costa é notável na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** D, no entanto também pode representar um efeito visual devido ao curto registro para o período. Os dados de inverno mostram as correntes indo em direção ao mar aberto e também indo em direção à costa, embora não tenham sido representativos para o período (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**C). As correntes residuais em nas correntes transversais são importantes para trocas de propriedade entre o continente e a plataforma (Brink, 2016) com reflexo nas propriedades da água e transferência biológicas. A partir dos dados do presente trabalho é possível formular um modelo básico que as correntes fora da plataforma estão associadas à corrente longitudinal para norte na plataforma e vice-versa, para as correntes em direção à costa estariam associadas a uma corrente de longo prazo na direção sul, onde no inverno a primeira situação predomina a segunda.

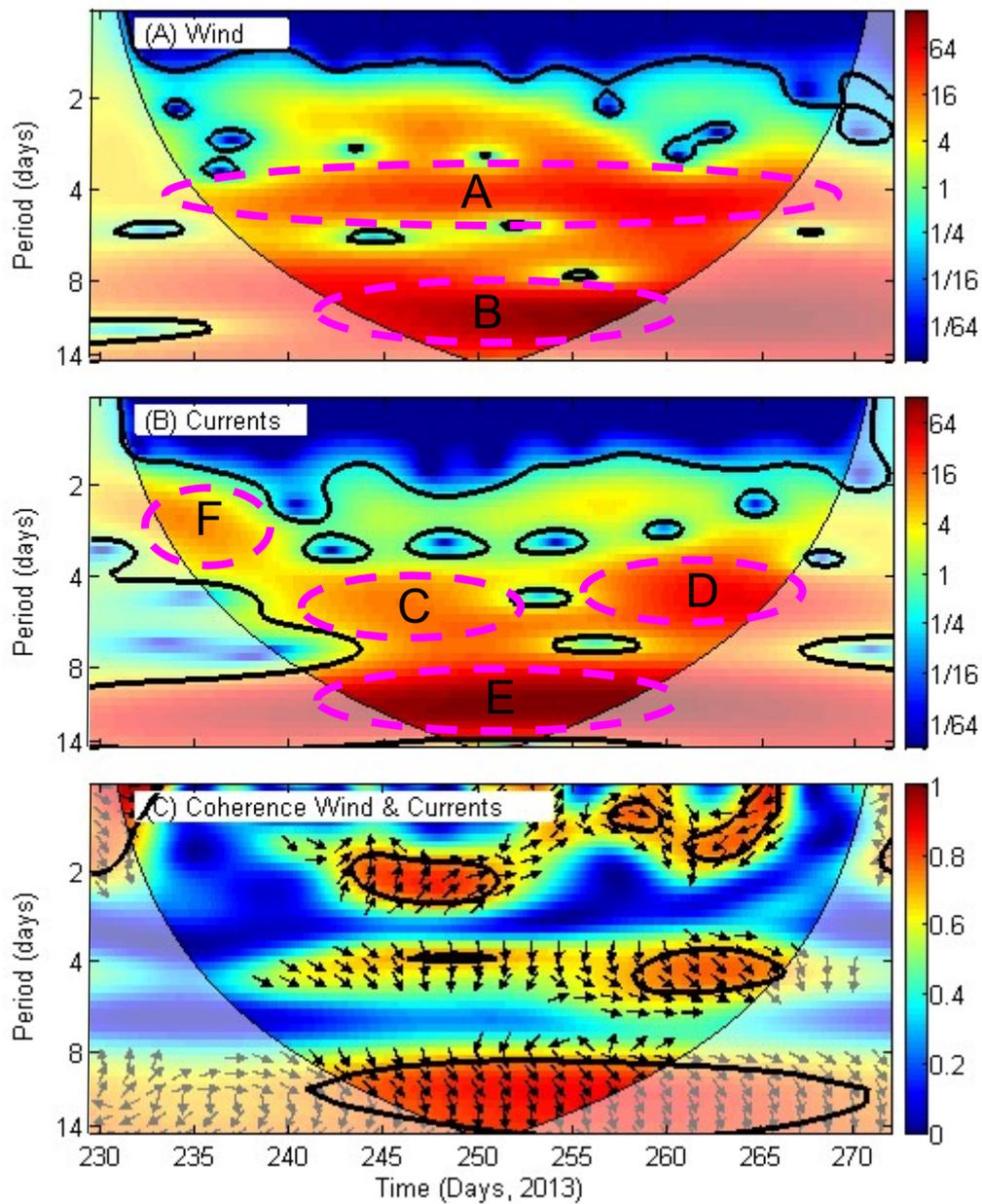
Figura 15: Série temporal de baixa frequência longitudinal à plataforma (azul) e transversal a plataforma (vermelho), do vento e (A) e das correntes (B). Na figura A, a setas negras indicam características descritas no texto; na B, os quadrados pretos indicam as correntes geostróficas semanais retirados da altimetria via satélite (fonte: site CMEMS) e os pontos azuis a corrente média ao longo da plataforma para 7 dias de período, sinótico às correntes geostróficas.



Fonte: O autor.

Figura 16: Análise de ondeletas e o espectro de energia pelo tempo em dias julianos no período de inverno da componente paralela à linha de costa entre o

vento (A) e a corrente (B), e a análise de ondeletas com o espectro de fase entre as componentes paralelas à linha de costa entre o vento e a corrente (C).



Fonte: O autor.

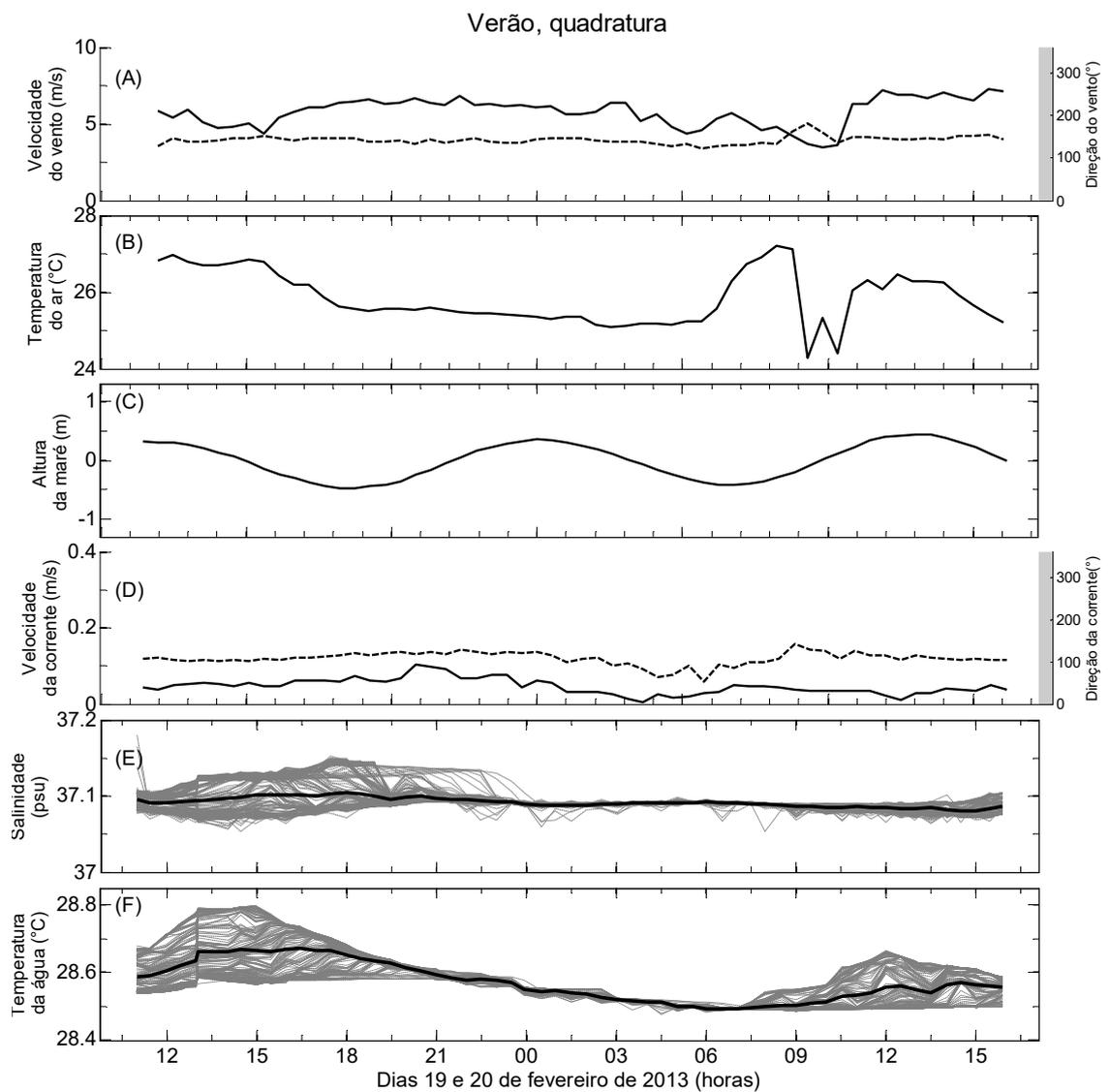
## 5.4 BALANÇO DE CALOR

### Campanha 1

A campanha número 1 foi realizada no período seco, entre os dias 19 e 20 de fevereiro de 2013, em maré de quadratura. A velocidade média do vento foi de  $5,8 \pm 1,07$  m/s atingiu o pico de velocidade de 7,3 m/s (**Erro! Fonte de referência não encontrada. A**). Durante a campanha 1 a temperatura média do ar foi de  $25,8 \pm 0,69$  °C (Figura 17B). A altura da maré foi de 0,9 m, as correntes estiveram fracas com velocidade média da coluna d'água de 0,06 m/s, a intensidade da corrente esteve mais elevada na tarde do dia 19 de fevereiro com valores acima de 0,2 m/s. A direção predominante da corrente foi para sudeste (SE) durante todo o ciclo diurno (**Erro! Fonte de referência não encontrada. D**).

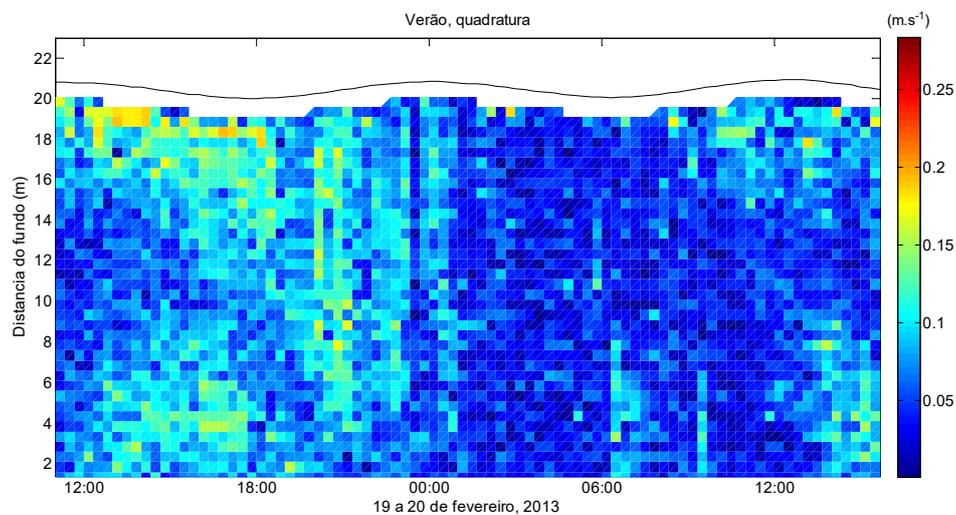
A temperatura da água atingiu o valor máximo de 28,8 °C às 14:40, mantendo-se acima do valor médio ( $28,6 \pm 0,07$  °C) até 20:00 hrs e a temperatura mínima (28,47°C) foi registrada nas primeiras horas do dia 20 de fevereiro às 5:45 hrs (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A salinidade se manteve constante por todo o ciclo, variando apenas 0,2 psu unidade, a máxima (37,2 psu) foi registrada nas camadas mais próximas ao leito marinho (18 m) às 17:45 hrs (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 17: Velocidade e direção do vento em notação meteorológica (A), temperatura atmosférica (B), altura da maré (C), velocidade e direção da corrente em notação oceanográfica (D), Salinidade (E) e temperatura da água (F) para a campanha realizada no período seco na quadratura.



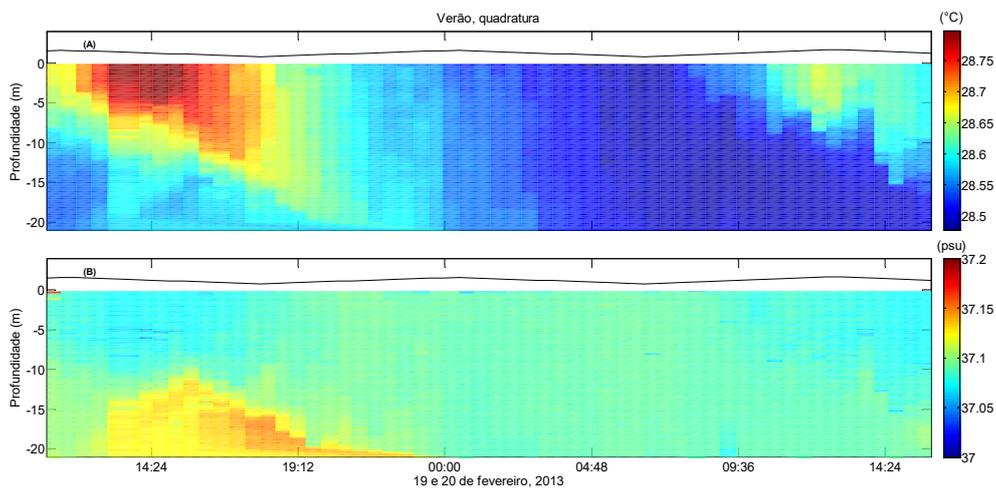
Fonte: O autor.

Figura 18: Distribuição de intensidade da corrente pelo tempo e pela profundidade.



Fonte: O autor.

Figura 19: Distribuição da temperatura (A) e salinidade (B) por toda coluna d'água e pelo tempo para campanha realizada no período seco na quadratura.



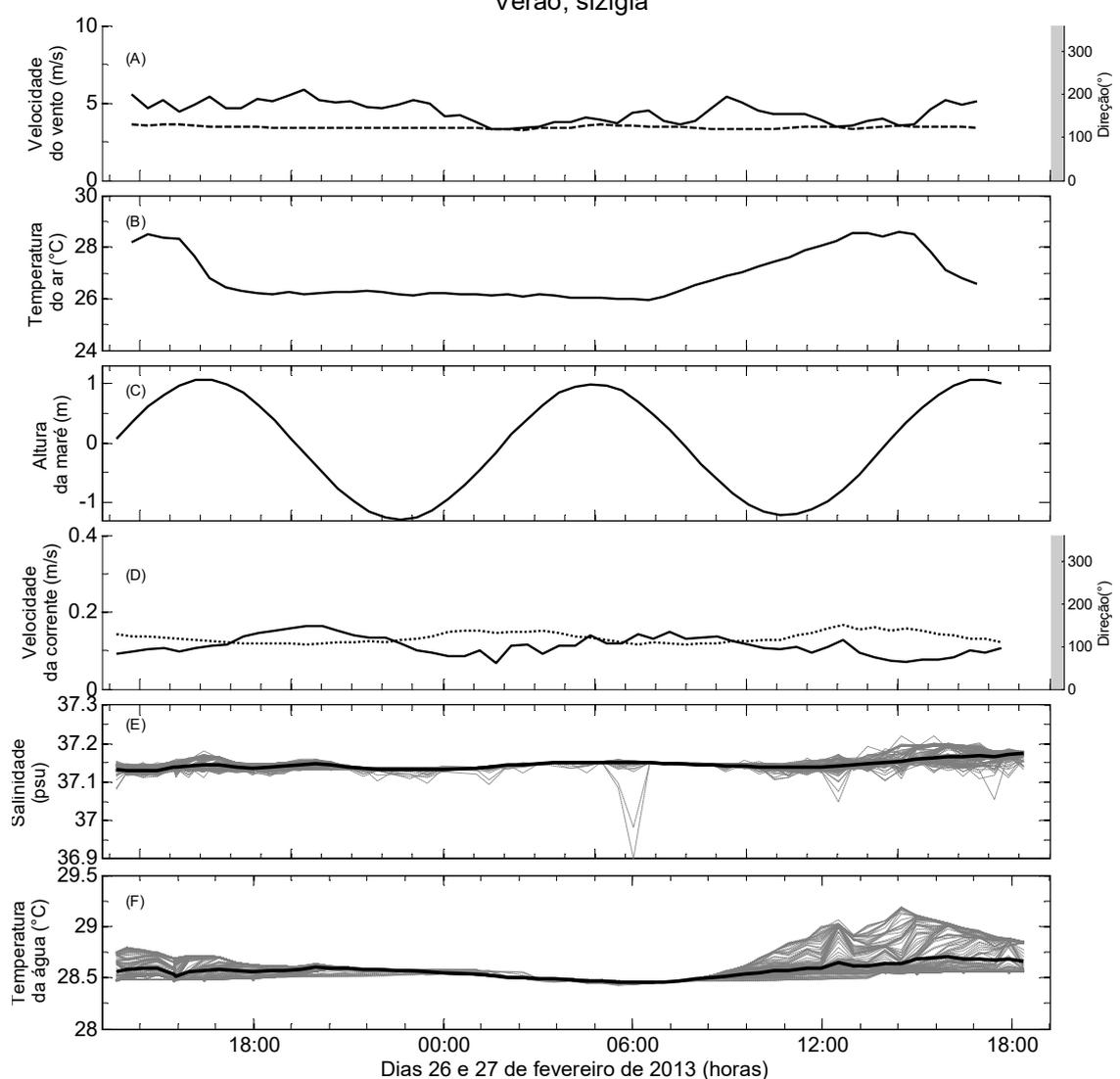
Fonte: O autor.

## Campanha 2

A campanha número 2 foi realizado também no período seco como na campanha número 1 entre os dias 26 e 27 de fevereiro de 2013, em uma maré de sizígia. Nesta campanha a velocidade mínima e máxima do vento estiveram entre 3.3 a 5.9 m/s e a direção soprando de sudeste ( $130^\circ$ ) durante todo o ciclo de 24hrs (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** A), a temperatura média do ar de esteve em  $26,9 \pm 0,9$  °C (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** B). A altura da maré foi de 2,35 m, mais que o dobro do registrado na maré de quadratura registrada na campanha 1 a velocidade média da coluna d'água foi de 0,13 m/s com picos de até 0,3 m/s na superfície da coluna d'água (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

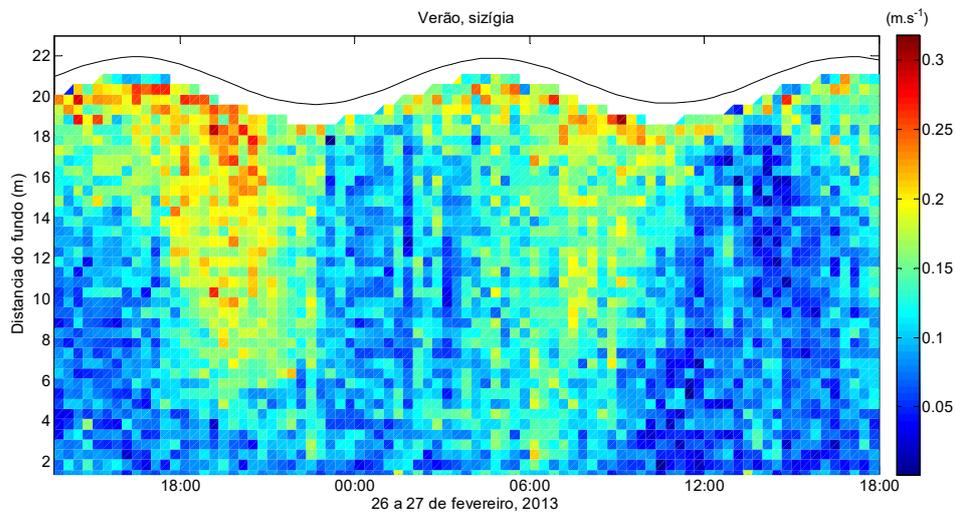
A salinidade manteve-se acima de 37 psu em quase todas as coletas a média foi de  $37,15 \pm 0,007$  psu, variando pouco com mínima e máxima de 36,9 e 37.22 psu, respectivamente. A salinidade foi mais elevada no final da tarde do dia 27 de fevereiro de 2013 na superfície da coluna d'água. A temperatura variou entre  $28,43$  °C a  $29,19$  °C com média de  $28,57 \pm 0,07$  °C (Figura 20F). Assim como no padrão de salinidade as maiores temperaturas foram detectadas na tarde do dia 27 na superfície da coluna d'água (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** A).

Figura 20: Velocidade e direção do vento em notação meteorológica (A), temperatura atmosférica (B), altura da maré (C), velocidade e direção da corrente em notação oceanográfica (D), Salinidade (E) e temperatura da água (F) para a campanha realizada no período seco na sizígia.



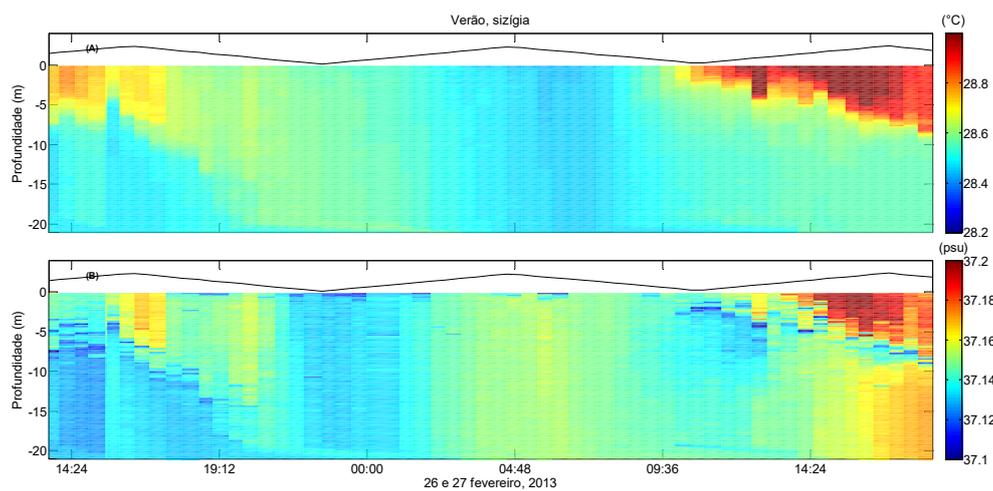
Fonte: O autor.

Figura 21: Distribuição da velocidade da corrente pela coluna d'água durante um ciclo de aproximadamente 24hrs.



Fonte: O autor.

Figura 22: Distribuição da temperatura (A) e salinidade (B) por toda coluna d'água e pelo tempo para campanha realizada no período seco na sizígia.

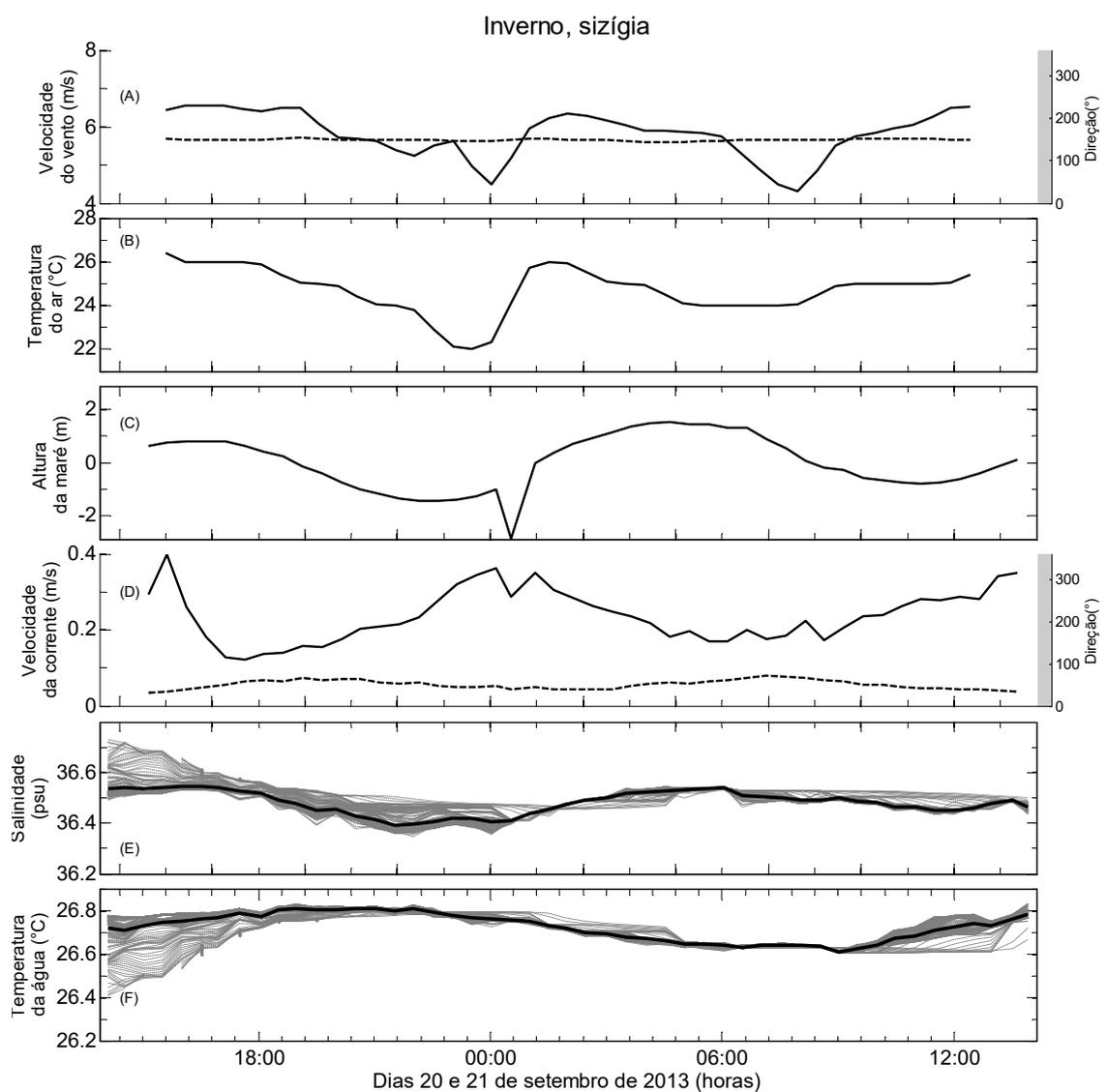


Fonte: O autor.

### Campanha 3

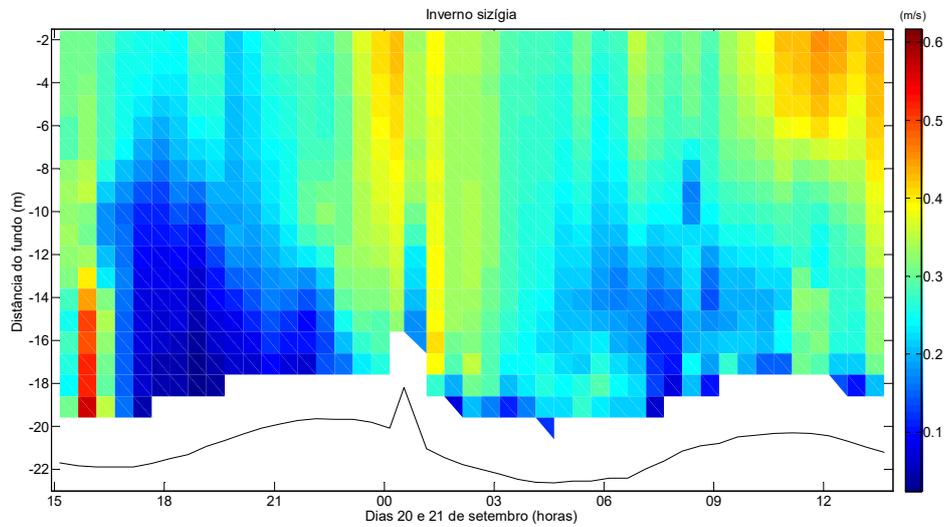
A campanha 3 foi realizada no inverno, na maré de sizígia a direção do vento se manteve soprando de sudeste e a velocidade oscilou de 4.5 a 7 m/s a temperatura do ar atingiu a mínima 22 °C no período da noite e a máxima foi registrada no início do experimento as 14:00 horas. No início do experimento a água do esteve quente na superfície e com o passar do tempo a calor se propagou por toda coluna d'água (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, A) e a máxima foi registrada próximo das 21:30 horas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, F) e a partir desse horário a água começou a perder calor (Figura 23, A). A salinidade seguiu o padrão oposto ao da temperatura, no qual apresentou valores menores quando a temperatura atingiu o máximo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, B). Este comportamento foi diferente aos padrões apresentados nas campanhas anteriores quando a temperatura aumentou e a salinidade também aumentou, isto ocorre devido a evaporação causada no período dos dias que apresentam maior incidência solar. A velocidade da corrente apresentou picos 0.55 m/s os registros de velocidade mais elevada estiveram associados ao período de vazante da maré (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a direção predominante durante todo o experimento da corrente foi em direção nordeste (50°, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, D).

Figura 23: Velocidade e direção do vento em notação meteorológica (A), temperatura atmosférica (B), altura da maré (C), velocidade e direção da corrente em notação oceanográfica (D), Salinidade (E) e temperatura da água (F) para a campanha realizada no período chuvoso na quadratura.



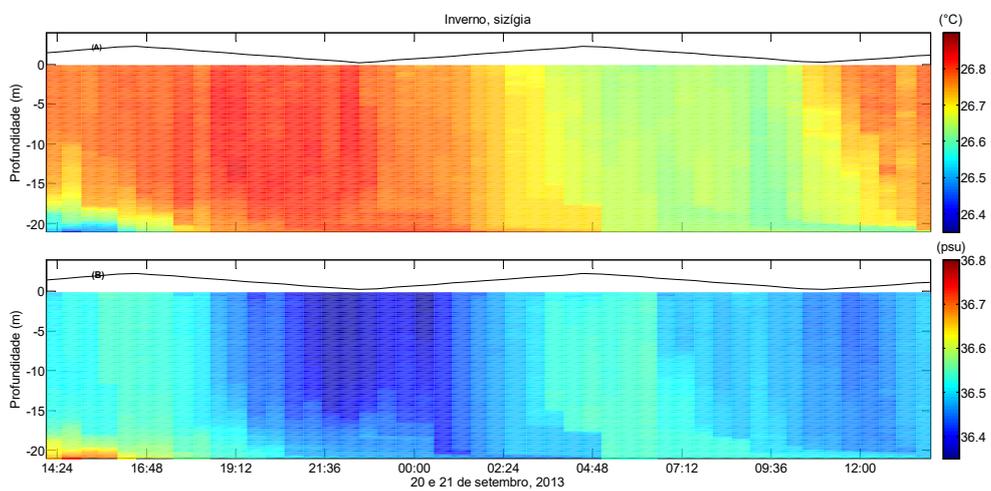
Fonte: O autor.

Figura 24: Velocidade da corrente em toda coluna d'água durante a campanha realizada nos dias 20 e 21 de setembro de 2013 no período de sizígia.



Fonte: O autor.

Figura 25: Distribuição da temperatura (A) e salinidade (B) por toda coluna d'água e pelo tempo para campanha realizada no período chuvoso na sizígia.



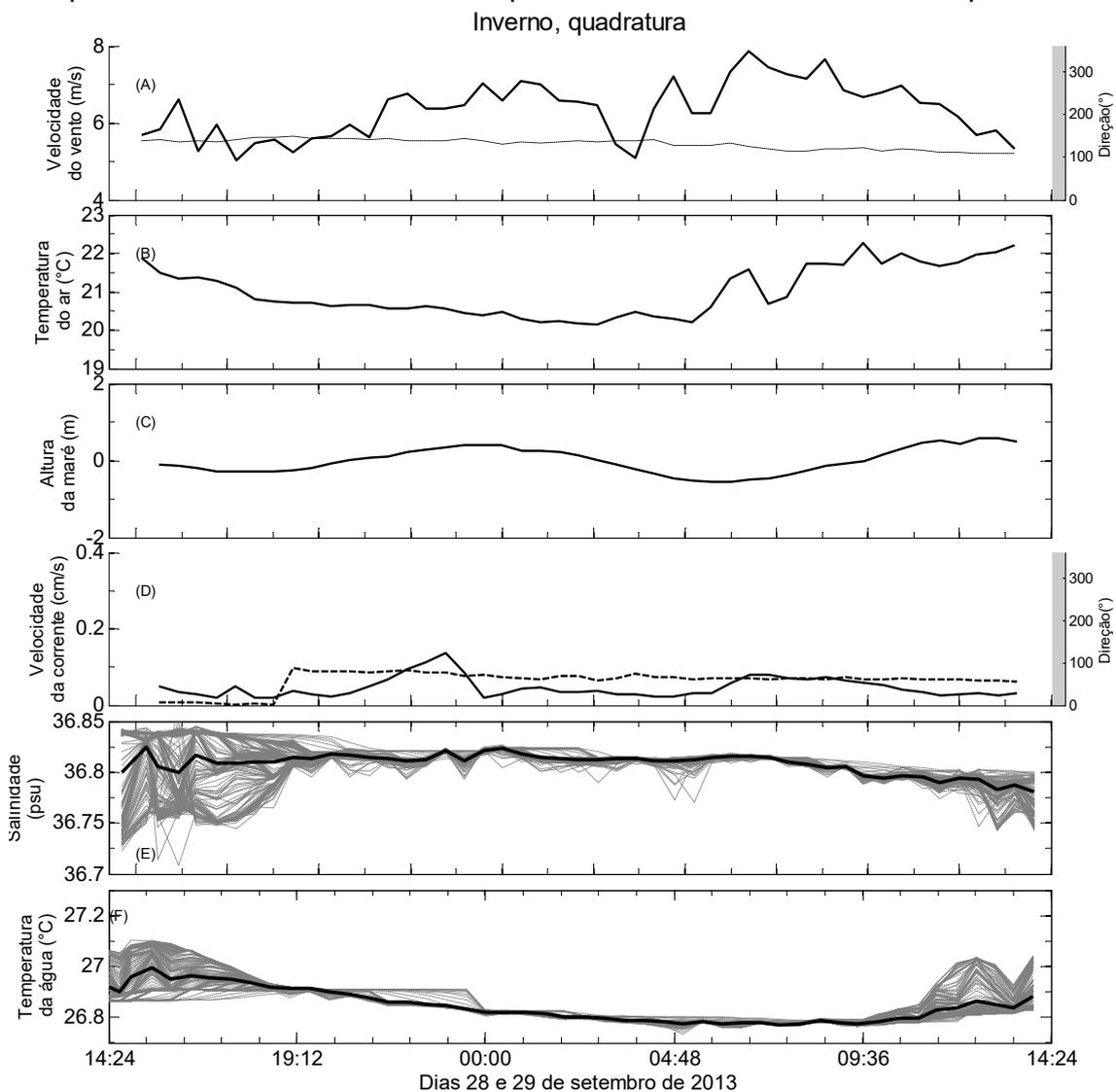
Fonte: O autor.

:

## Campanha 4

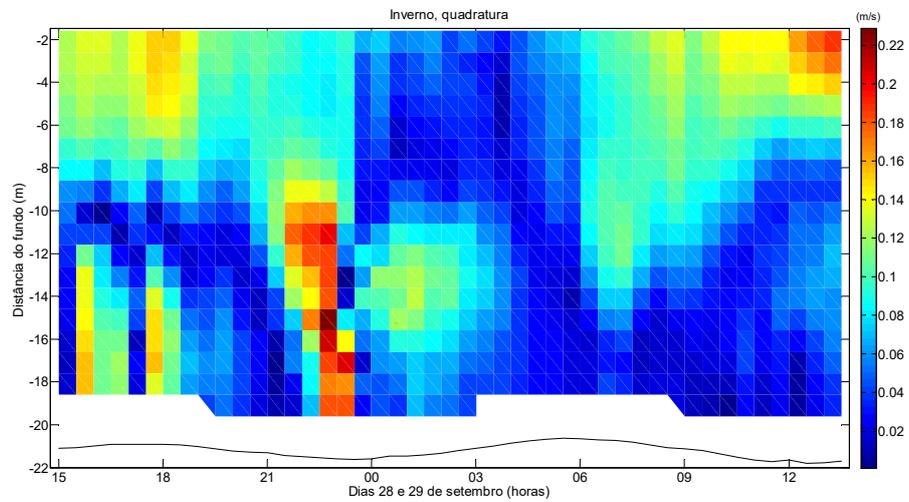
A campanha 4 foi a última expedição realizada para o presente estudo, ela aconteceu durante os dias 28 e 29 de setembro de 2013 em um período de quadratura. Foi nesta campanha que os ventos estiveram mais intensos atingindo 7.86 m/s soprando de sudeste (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, A). Apesar do vento ter soprado forte nesta campanha as correntes foram as mais fracas das quatro campanhas mostrando que para o período amostrado as correntes não apresentaram correlação direta com o vento local (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), assim como a direção da corrente que este no sentido sudeste justamente de onde o vento soprou durante a campanha. E a temperatura do ar foi a mais baixa das quatro expedições variando entre 20,15 e 22,05 °C (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Apesar da temperatura atmosfera ter se mantido com uma média de 21.05 °C a temperatura da água esteve em torno 26,84 °C uma diferença de mais de 5 °C (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, A e F). O comportamento da salinidade foi inverso ao da temperatura diferente do que ocorre quando a temperatura se eleva e acentua o processo de evaporação, assim elevando a salinidade como resposta do acréscimo de temperatura por radiação solar. Os dados indicam que pode estar ocorrendo a interferência de águas costeiras vindas das proximidades do continente e chegando até batimetria de 22 metros, massa de água que apresenta maior temperatura com salinidade menor do que a encontrada na plataforma continental

Figura 26: Velocidade e direção do vento em notação meteorológica (A), temperatura atmosférica (B), altura da maré (C), velocidade e direção da corrente em notação oceanográfica (D), Salinidade (E) e temperatura da água (F) para a campanha realizada no período chuvoso na quadratura.



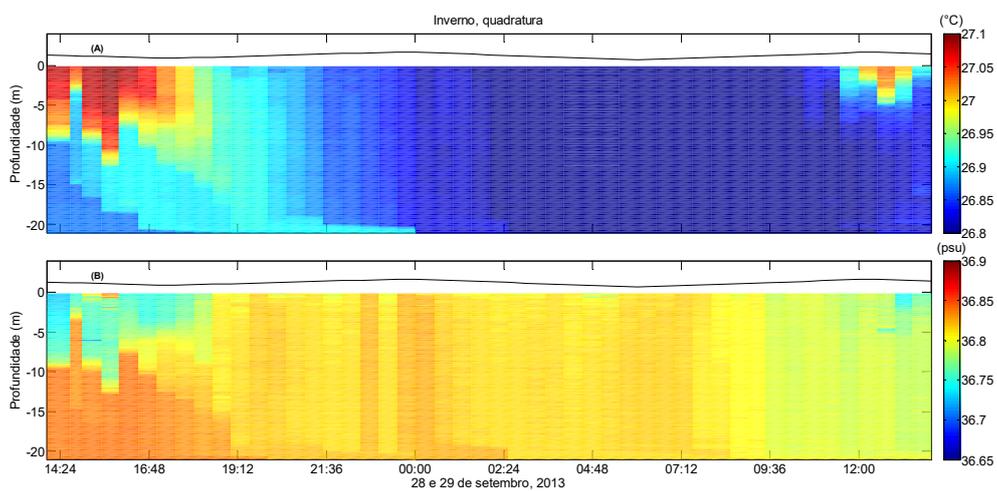
Fonte: O autor.

Figura 27: Velocidade da corrente em toda coluna d'água durante a campanha realizada nos dia 28 e 29 de setembro de 2013 no período de quadratura.



Fonte: O autor.

Figura 28: Distribuição da temperatura (A) e salinidade (B) por toda coluna d'água e pelo tempo para campanha realizada no período seco na quadratura.



Fonte: O autor.

:

Estudos de avaliação da variação diurna de calor são escassos (Rodriguez & Ostos., 2006). Observações da variação do ciclo diurno exigem a coleta de dados de longas series temporais com mensurações frequentes em um ponto fixo, fato que não é muito comum devido ao alto custo para realização de cruzeiros oceanográficos (Zavialov et al., 2000). Devido aos altos custos na obtenção de dados os pesquisadores comumente optam em utilizar dados de satélites. No presente estudo os dados utilizados foram coletados por meio de expedições oceanográficas direcionadas para o estudo

De acordo com Hannah (2004) para o desenvolvimento de estudos sobre o ciclo diurno de calor deve-se realizar uma amostragem de alta resolução com frequência mínima de registros a cada 2 horas, no presente estudo a amostragem ocorreu a cada 30 min, onde esteve de acordo com o descrito pelo autor citado.

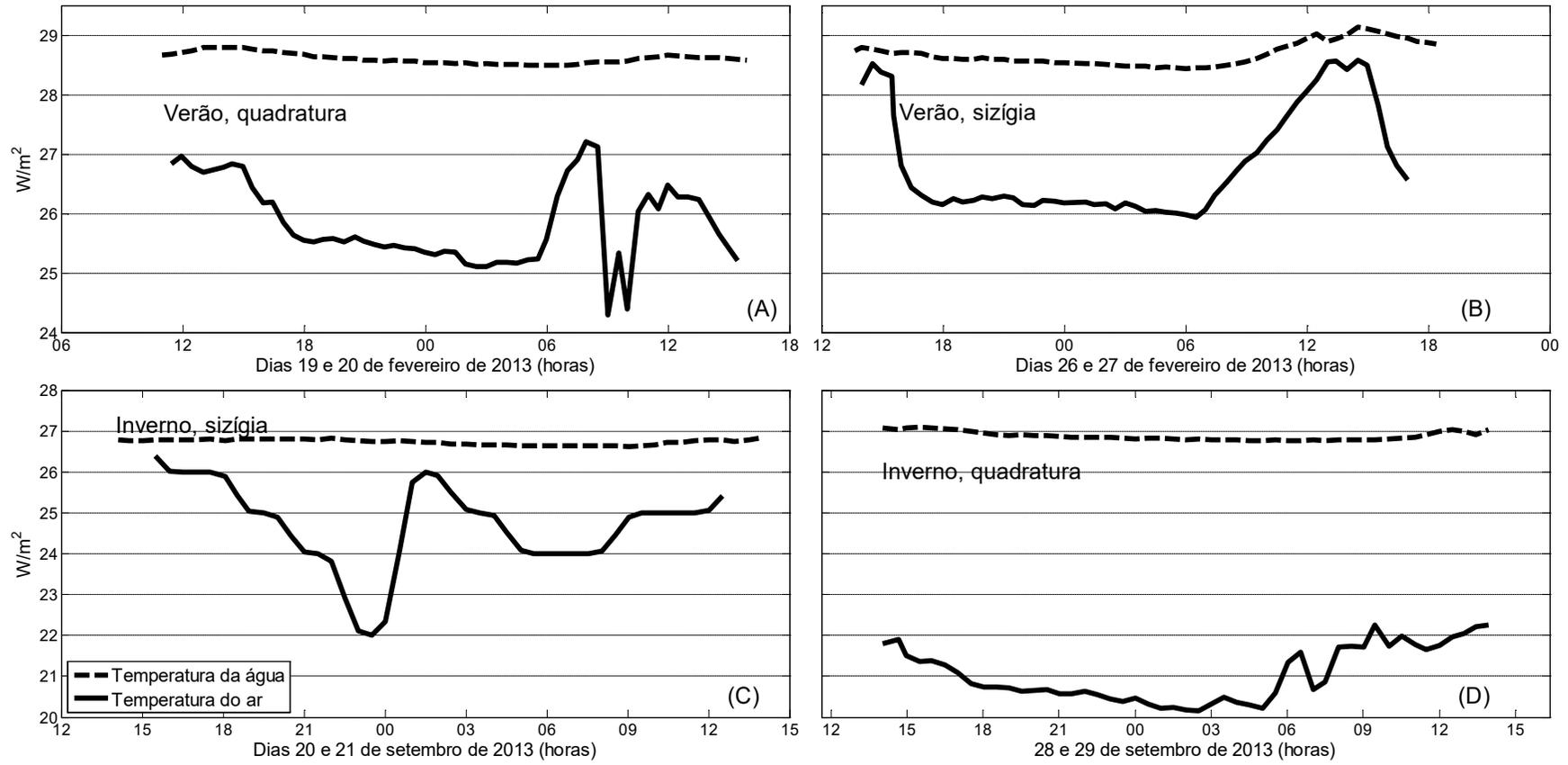
Nas quatro campanhas a média da temperatura da superfície do mar esteve superior às registrada na atmosfera (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), destaque para campanha número 4 onde a diferença entre a atmosfera e a superfície do mar esteve em 6,6 °C as 2:30 horas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, D). A variação da média de temperatura na atmosfera para as 4 campanhas foi de 3 °C e a da água superficial foi constante com média de variação de 0,21 °C. Uma variação modesta quando comparada com a ocorrida na temperatura do ar.

A TSM apresentou correlação significativa nas duas campanhas desenvolvidas no verão, tanto no período de de quadratura (0,55) como na sizígia (0,80). Para o período de inverno, nas duas campanhas a correlação

esteve abaixo de 0,5 na sizígia foi de 0,15 e na quadratura de 0,42. No geral a temperatura superficial mostrou correlação significativa em três das quatro campanhas o que comprova a influência que o calor sensível ( $Q_{se}$ ) infere no balanço de calor.

No ciclo diurno foi contabilizado a diferença entre a temperatura final e a inicial da superfície de cada campanha. Em três de quatro campanhas houve queda na temperatura da água superficial, nas campanhas 1, 2, 3 e 4 a diferença entre a temperatura final pela inicial foi de -0,078, 0,157, -0,006 e -0,047 °C, respectivamente.

Figura 29: Média da temperatura dos primeiros 1.5m da água (superfície) e a temperatura do ar.



Fonte: O autor..

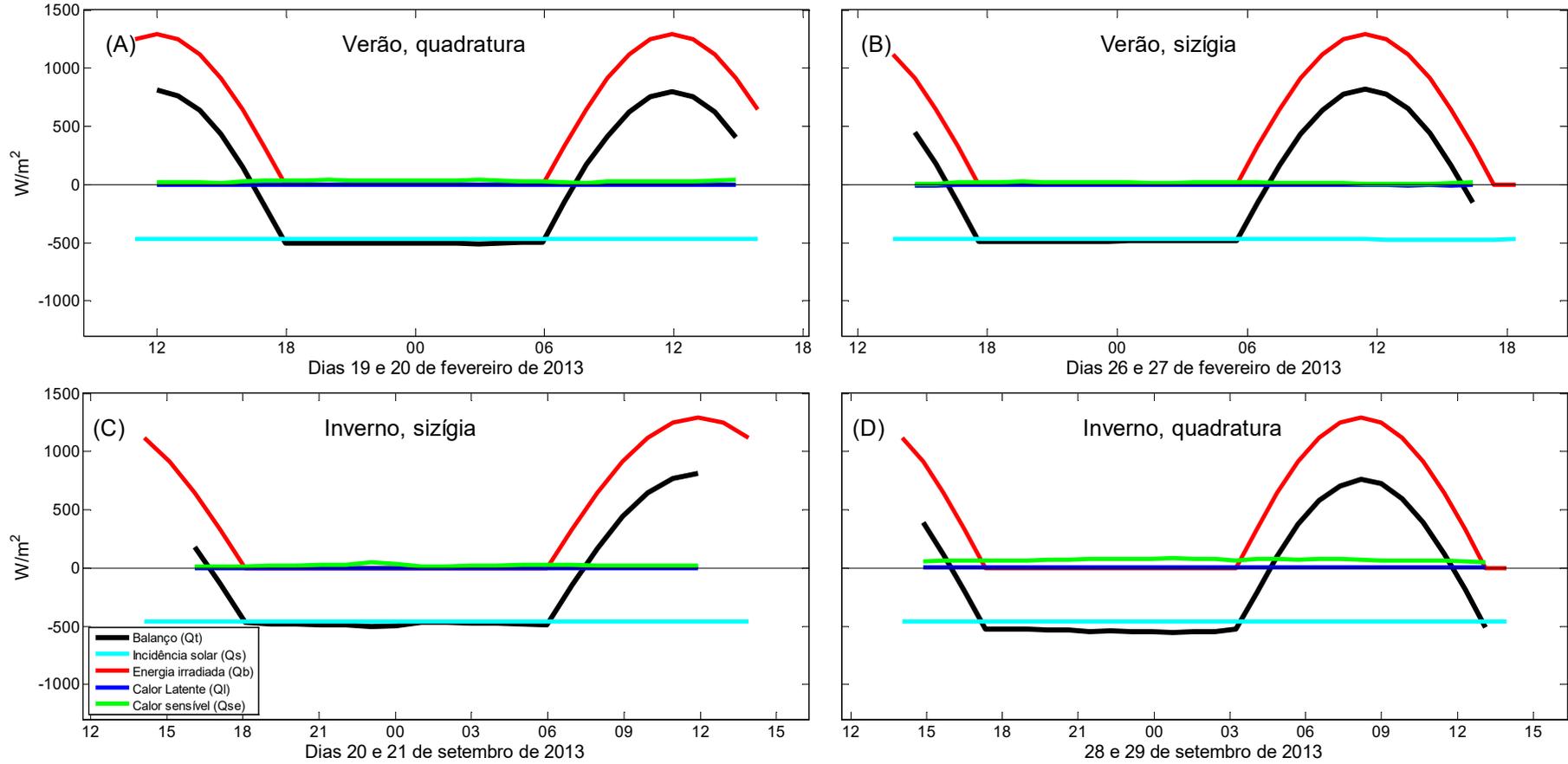
Os balanços de calor para as quatro campanhas apresentaram padrão similar. A diferença entre os termos, Calor total ( $Q_t$ ), apresentou o mesmo padrão entre os quatro termos analisados. O termo  $Q_s$  inseriu em torno de  $459 \text{ W/m}^2$  de energia enquanto a irradiância fez o meio perder cerca de  $463,83 \text{ W/m}^2$ , a média para o calor latente nas quatro campanhas demonstra que o ambiente perdeu calor por evaporação com média baixa em  $-0.46 \text{ W/m}^2$ . E absorveu calor da atmosfera (calor sensível) apresentando média para as quatro campanhas de  $34.32 \text{ W/m}^2$  com destaque para a campanha de número 4, a qual teve as maiores diferenças entre a temperatura do ar e da água.

Em 3 de 4 campanhas houve perda de energia, essa perda se deu principalmente pela variação de calor sensível  $Q_{se}$  (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O fato de não ter levado em consideração o calor advectivo (correntes) para o presente estudo pode ter sido um erro por que a perda de calor nas campanhas 2, 3, 4 nos leva a acreditar que oscilações nos parâmetros físicos da massa de água tropical, presente na plataforma continental de Pernambuco esteja provocando perda de calor principalmente no período de inverno quando as correntes estão mais intensas. Como recomendações finais indica-se que seja inserido o termo advectivo para investigar mais a fundo o balanço de calor na plataforma continental em estudo.

É claro que o conhecimento preciso em escalas temporais, de como são regidos os processos físicos em cada ecossistema aquático tem fundamental

importância para o entendimento da dinâmica biológica (Legendre e Demers, 1984), que afeta diretamente a dinâmica pesqueira local.

Figura 30: Balanço de calor em (W/m<sup>2</sup>) para as campanhas realizadas no verão (A e B) e no inverno (C e D).



Fonte: O autor.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho foi a primeira caracterização hidrográfica para a plataforma continental do estado de Pernambuco. Uma plataforma caracterizada por ser curta (~35 km) e com baixa influência de água doce devido à baixa vazão dos rios locais (120 m<sup>3</sup>/s), além de estar ao norte da bifurcação da corrente sul equatorial.

O mês de abril apresentou a temperatura e salinidade mais elevadas na plataforma continental. As características termo-halinas são dominadas pela presença da AT, com valores de temperatura acima de 26 °C e salinidade acima de 36,5 psu. A variabilidade anual de temperatura e salinidade é de aproximadamente 3 °C a e 0,5 psu, respectivamente. A AT contabilizou mais do que 95% da massa de água.

A massa de Água Costeira-AC foi outra massa d'água presente na plataforma continental, esta é formada pela entrada de água doce dos pequenos rios distribuídos pela costa. A influência da AC foi relativamente pequena limitada às regiões mais rasas com maior expressividade no período de inverno. Os maiores gradientes térmicos, no referencial horizontal e vertical foram encontrados no verão principalmente na plataforma interna, e os maiores gradientes de salinidade no inverno na plataforma externa.

No verão e no inverno na região onde se inicia a quebra de talude foi observado indicações de ressurgência perene.

A combinação de uma plataforma continental curta e a dominância da AT reforça a hipótese que a hidrografia na plataforma continental em questão está associada aos processos de meso escala.

As correntes no inverno são mais intensas e predominantemente para direção norte, durante o verão as correntes são fracas para direção sul e oeste. Durante o inverno após pequenos períodos de relaxamento dos ventos a velocidade da corrente diminui e a direção inverte sem justificativa. A relação entre o vento e as correntes foi injustificável com os dados analisados. As correntes de maré ao longo da plataforma continental (paralela à costa) contabilizaram 16% da intensidade das correntes ao longo da plataforma. A combinação de uma plataforma continental curta e a dominância da AT, destacada no capítulo anterior reforça a hipótese que a dinâmica na plataforma continental em questão está associada a processos de meso-escala. Durante o verão as correntes foram lentas sem uma direção predominante, comportamento clássico de correntes dominadas por marés. As marés representaram mais do que 75% das correntes da componente perpendicular à linha de costa. Os ventos neste momento atingiram a linha de costa em um ângulo quase perpendicular e as correntes não apresentaram direção predominante um fato que chamou a atenção foi que em alguns momentos houve correntes em direção à costa.

Há evidências que no inverno existe uma conexão entre as correntes da plataforma e as correntes geostróficas presentes no oceano adjacente à plataforma continental.

A TSM na plataforma continental de Pernambuco é maior do que a temperatura atmosférica no verão no inverno independente da fase da lua. No balanço de calor a radiação solar foi similar nos 4 momentos de coleta, e o termo que mais influenciou na perda de calor foi a irradiância ( $Q_b$ ), o calor latente não foi significativo para o balanço térmico o valores estiveram muito próximo de zero. Os resultados para o calor sensível mostram que ocorreu a superfície do mar recebeu calor da atmosfera principalmente no inverno na quadratura quando em algum momento a diferença térmica chegou a  $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

O fato de ter sido constatado que em três campanhas o meio perdeu calor para a atmosfera leva a crer que o Calor Advectivo, transferido pelas correntes pode estar influenciado diretamente no balanço de calor, principalmente no inverno quando o meio cedeu mais de  $100\text{W/m}^2$  (Tabela 6).

Tabela 6: Resumo do balanço de calor nos 4 experimentos.

Termos	A			
	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
Balanço total ( $Q_t$ )	17.79	-47.34	-168.19	-115.47
Radiação Solar ( $Q_s$ )	543.06	427.71	437.55	427.7
Irradiação por onda longa ( $Q_b$ )	469.26	469.75	457.71	458.6
Calor latente ( $Q_l$ )	-3.03	-3.83	0.0012	5.02
Calor sensível ( $Q_{se}$ )	30.15	15.26	21.72	70.18

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados na tese comprovam que a Água Tropical predomina na plataforma continental tanto no verão quanto no inverno. A influência de Água Costeira é pequena devido a pequena contribuição de água doce dos rios que aportam localmente, os quais conjuntamente apresentam vazão média anual de 120 m<sup>3</sup>/s. Foi constatado também a presença de uma massa de água mais fria na quebra da plataforma continental que pode estar relacionada com um processo de ressurgência.

A hipótese que as correntes marinhas na plataforma continental possuem predomínio para norte durante todo o ano não foi confirmada. Durante o inverno as correntes foram predominantes para o norte, porém ocorreram episódios de correntes para o sul associadas com o relaxamento do vento. No verão não há direção predominante.

O balanço de calor não se apresentou como o esperado, o que leva a suspeitar que o termo advectivo influencia de forma significativa no balanço de calor. Em outras pesquisas sobre o balanço de calor os autores indicaram que estudos desse tipo podem ser desenvolvidos em ciclo de 24 hrs, mas pela experiência obtida no presente estudo indicamos a realização de experimentos para avaliação de balanço de calor por um período maior de tempo, ao menos três dias.

Como medidas para melhor entender os processos sobre a hidrodinâmica e hidrografia na plataforma continental de Pernambuco, indica-se que sejam feitas investigações no talude continental através de um fundeio com um

Perfilhador Acústico de Corrente por efeito Doppler-ADCP com sensores de Temperatura, Salinidade e Clorofila acoplados na linha de fundeio realizando coleta durante 1 ano. E também realizar levantamentos através de perfilagem com CTD em todo o talude, uma expedição no verão e outra no inverno.

## REFERÊNCIAS

Andreoli R.V., Kayano M.T., 2007. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade da precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 22, 63-74.

APAC- Agência Pernambucana de água e clima, 2016, <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/> Acesso 21 de outubro de 2016..

Baptista, M.C. 2000. Uma análise do campo de vento de superfície sobre o oceano atlântico tropical e sul usando dados do escaterrômetro do ERS. São José dos Campos, INPE. 131.

Biló, T.C., Silveira, I.C.A., Belo, W.C., Castro, B.M., Piola, A. R., 2014. Methods for estimating the velocities of the Brazil Current in the pre-salt reservoir area off southeast Brazil (23° S–26° S). *Ocean Dynamics*. 64, 1431–1446.

Bowden, K.F. 1983. *Physical oceanography of coastal waters*. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 302pp.

Brink, K.H., 2016. Cross-shelf exchange. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 8,59-78.

Carmen, L.D.B., Valentim, J.L., Jablonski, S., Amaral, A.C.Z., Hazin, F.H.V., Robrini, M.E., 2006. Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Economicamente Exclusiva do Brasil. Brasília,DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), VGate. 2°ed., 37–43.

Campbell, G. S., Norman, J. M., 1998. *An introduction to environmental biophysics*. 2° edição. Springer. USA, 283.

Carvalho, J.L.B., Schettini, C.A.F., Ribas, T.M., 1998. Estrutura termohalina do litoral centro-norte catarinense. *Notas Técnicas da Facimar*. 2, 181-197.

Castelao, R.M. and Barth, J.A. 2006. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of wind stress curl. *Geophysical Research Letters*, 33.

Castro, B.M.F. and Lee, T.N. 1995. Wind-forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf. *Journal of Geophysical Research*, 100(C8):16045-16056.

Castro, B.M.F., 1990. Estado atual do conhecimento dos processos físicos das águas da Plataforma Continental Sudeste do Brasil. *Anais do II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*. ACIESP. 1, 1-19.

Castro, B.M.F., Miranda, L.B., Miyao, S.Y., 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média

escala. Boletim Do Instituto Oceanográfico Da Universidade de São Paulo. 35(2), 135–151.

Chaves, R.R.; Cavalcanti, I.F.A., 2001 Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 2614-2626.

Cohen, J.C.P., 2001. Projeto Desmata: impacto junto ao litoral Atlântico da Amazônia. *Boletim SBMET*. 25. 27-31.

Cohen, J.C.P., Dias, M.A.F.S., Nobre, C.A., 1995. Environmental Condition Associates with Amazonian Squall lines: A case Study. *American Meteorological Society*. 123. 3163-3174.

Daubechies, I., 1990. The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and signal analysis. *IEEE Transactions on informations Theory*. 36 (5), 961-1005.

Dengler, M., Schott, F.A., Eden, C., Brandt, P., Fischer, J., Zantopp, R.J., 2004. Break-up of the Atlantic deep western boundary current into eddies at 8 degrees S. *Nature*. 432, 1018–1020.

Dias, F.J.S., Castro, B.M., Lacerda, L.D., 2013. Continental shelf water masses off the Jaguaribe River (4°S), northeastern Brazil. *Continental Shelf Research*. 66, 123-135.

Emílsson, I., 1961. The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Boletim Do Instituto Oceanográfico*. 11(2), 101–112.

FEMAR – Fundação de Estudos do Mar, 2000. Catálogo de estações maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro, FEMAR (on line <<https://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/prefacio.html>>).

Flament, P., Firing, M., Trefois, C., 1993. Amplitude and horizontal structure of a large diurnal sea surface warming event during the coastal ocean dynamics experiment. *Journal of physical oceanography*., 24, 124-139.

Freire, K.M.F., Pauly, D., 2010. Fishing down Brazilian marine food webs, with emphasis on the east Brazil large marine ecosystem. *Fisheries Research* 105(1), 57-62.

Frota, F. (2015). Correntes Costeiras na plataforma norte do nordeste do Brasil. Programa de pós graduação em Oceanografia-PPGO, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Dissertação de mestrado. 49.

Ganachaud, A., Wunsch, C., 2000. Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrographic data. *Nature*. 408, 453–457.

Geyer, W.R., Beardsley, R. C., Steven, J.L., Candela, J., Limeburner, R., Johns, W. E., Belmiro, M., Soares, D. I., 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*. 16(5-6), 575–616.

Grinsted, A., Moore, J.C., Jevrejeva, S., 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Non linear processes in Geophysics*. 11, 561-566.

Hazin, F.V.H., Wor, C., Lins, J.L.O., Hamilton, S., Travassos, P., Geber, F., 2008. Resultados obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo na plataforma continental do estado do Rio grande do norte, Brasil. *Arquivo de Ciência Do Mar*. 41(1), 30–35.

Hille, E., Schettini, C.A.F., Ribeiro, M.R., 2008. Estrutura termohalina no litoral de Santa Catarina nos anos de 2005 e 2006. In: Braga, E.S. (Org.). *Oceanografia e mudanças globais*. Edusp, São Paulo. 371-382.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, 2010. <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso dia 12 de abril de 2016

Jay, D.A. and Kukulka, T. 2003. Revising the paradigm of tidal analysis – the uses of non-stationary data. *Ocean Dynamics*, 53(3):110-125.

Kousky, V.E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107,1140-1153.

Kawai, Y.,Wada, A., 2007. Diurnal Sea Surface Temperature Variation and Its impacto n the atmosphere and ocean: A review, *Journal of oceanography*., 63,721-744.

Knoppers, B., Ekau, W., Figueiredo, A. G., 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Letters*, 19(3), 171–178.

Knoppers, B., Ekau, W., Figueiredo, A.G. (1999). The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Letters*. 19(3), 171–178.

Webb, B.W., Zhang, Y. 2004. Intra-annual variability in the non-advective heat energy budget of Devon strems and rivers. *Hydrological proceses*, 18, 2117-2146.

Legendre, L., & Demers, S., 1984. Toward dynamic biological oceanography and limnology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 2-19.

Lentz., R. P. beadsley;Steve., 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28(8), 929–937.

Leonardo, F. N.,2010. Variabilidade diurna e sazonal do atlântico equatorial utilizando dados de uma boia (0°S 23°W) do projeto PIRATA. *Centro de estudos do Mar, Paraná*, 52.

Lira, L., Wor, C., Hazin, F.H.V., Braga Jr., H.A.C., Santos, J.C.P., 2010. Estudo de correntes marinhas por meio de lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco. *Arquivos de Ciências do Mar*. 43(1):30-37.

Maciel, D.C., Souza, J.R.B., Taniguchi, S., Bicego, M.C., Schettini, C.A.F., Zanardi, E., 2016. Hydrocarbons in sediments along a tropical Estuary-Shelf Transition Area: Sources and Spatial distribution. *Marine Pollution Bulletin*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.048>.

Manso, V.A.V, Correa, I., Guerra, N., 2003. Morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos-Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Pesquisas Em Geociências*. 30(2), 17–25.

Manso, V.A.V., Coutinho, P.N., Guerra, N.C., Soares, C.F.A., 2006. Pernambuco. *Erosão e Progradação Do Litoral Brasileiro*. 179–196.

Marin, F.O., 2009. A Sub-Corrente Norte do Brasil ao largo da costa do Nordeste. São Paulo, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado. 115.

Merle, J. 1980. Seasonal heat budget in the Equatorial Atlantic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 10:464-469.

Miranda, L.B., 1985. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. *Boletim Do Instituto Oceanográfico*. 33(2), 105–19.

Miranda, J.H., Libardi, P.L., Lier, Q.J., Moraes, S.O., 2015. Física do ambiente Agrícola, *Arquivos de aula*, Capítulo 6.

MMA – Ministério de Meio Ambiente, 2006. Atlântico nordeste oriental: caderno da região hidrográfica. Brasília, MMA. 104 pp.

Moller, O.O.Jr., Piola, A.R., Freitas, A.C., Campos, E.J.D., 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*. 28(13), 1607–1624.

Oliveira G.C.S., Silva Jr.J.P., Nóbrega R.S., Girão, O., 2011. Uma abordagem da geografia do clima sobre eventos extremos de precipitação em Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2, 238-251.

Ortega, L., Martínez,A., 2007. Multiannual and Seasonal Variability of Water Masses and Fronts Over the Uruguayan Shelf. *Journal of Coastal Research*. 23 (3), 618-629.

Pawlowicz, R., Beardsley,B., Lentz, S., 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers & Geosciences*. 28(8), 929–937.

Pereira, A.F., Castro, B.M., Calado, L., Silveira, I.C.A., 2007. Numerical simulation of M2 internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 112(4).

Pereira, M.D., Schettini, C.A.F., Omachi, C.Y., 2009. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de santa catarina através de imagens orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*. 27(1), 81–93.

Pereira, T., 2013. Influência do relevo na precipitação das regiões hidrográficas do litoral norte de Alagoas. *GEOUSP: Espaço e tempo (on line)*. 33,239-253.

Peterson, R.G., Stramma,L., 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanog. Great Britain*. 26, 1-73.

Pickard, G.L., and Emery, W.J., 1982. *Descriptive Physical Oceanography*, New York, Pergamon Press, 64.

Pugh, D.T., 1987. *Tides, surges and mean sea-level*. New York, John Wiley and Sons. 472.

Ramos A.M., Santos L.A.R., Fortes L.T.G., 2009. *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. 465.

Rollnic, M., Medeiros, C., Freitas, I., 2011. Coastal Circulation Along The Southern Metropolitan Region of Recife, Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*. 64, 135–138.

Rodríguez, M., Ostos, E.M., 2006. Heat budget, enrgy storage and hydrological regime in a coastal lagoon. *Limnologica*, 36, 217-227.

Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C., Domingues, E.C., 2016. The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications in the transport of scalars. *Brazilian Journal of Oceanography*. 64 (3), 263-276. (a)

Schettini, C.A.F., Paiva, B.P., Batista, A.L., Oliveira Filho, J.C., Truccolo, E.C., 2016. Observation of an Estuarine Turbidity Maximum in the Highly Impacted Capibaribe Estuary, Brasil. *Brazilian Journal Of Oceanography*. 64(2), 185-190.  
(b)

Schnmiegelow, J.M.M., 2004. O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas. Editora Interferência. Rio de Janeiro. 379.

Schott, F.A., Dengler, M., Zantopp, R., Stramma, L., Fischer, J., Brandt, P., 2005. The Shallow and Deep Western Boundary Circulation of the South Atlantic at 5°–11°S. *Journal of Physical Oceanography*. 35, 2031–2053.

Silva, A.C., Araújo, M., Boulès, B., 2005. Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do amazonas e area oceânica adjacente. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2), 145–157.

Silva, M., Araujo, M., Servain, J., Penven, P., Lentini, C.A.D., 2009. High-resolution regional ocean dynamics simulation in the southwestern tropical Atlantic. *Ocean Modelling*. 30, 256–269.

Silveira, I. C.A. Da, Schmidt, A.C.K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S. De, Ikeda, Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Brazilian Journal of Oceanography*. 48(2), 171–183.

Silveira, I.C.A., Miranda, L.B., Brown, W.S., 1994. On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*. 99 (C11), 22501-22512.

Simpson, J. H., Hunter, J. R., Boeden, K. F., 1974. Front in the Irish Sea. *Nature*. 250 (2).

Souza, E.B., Rocha, E.J.P., 2006. Diurnal variation rainfall in Bragança-PA (Eastern Amazon) during rainy season: Mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 21(3). 142-152.

Stech, J.L., Lorenzetti, A., 1992. The response of the south Brazil bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*. 97 (C6), 9507-9520.

Stramma, L., Peterson, R.G., 1990. The South Atlantic Current. *Journal of Physical Oceanography*. 20, 846-859.

Talley, L.P., Pickard, G.L., Emery, W.J., Swift, J.H., 2011. Descriptive physical oceanography: An introduction. Academic Press, Ed. London, 6° ed., 545.

TAO, W. K., & Simpson, J., 1991: Numerical simulation of a subtropical squall line over Taiwan Strait. *Monthly Weather Review*, 119, 2699-2723.

Teixeira, C.E.P.; Lessa, G.C.; Cirani, M.; Lentini, C.A.D. 2013. The inner shelf circulation on the Abrolhos Bank, 18° S, Brazil. *Continental Shelf Research*, 70(2013):13-26.

Torrence, C., Compo, G.P., 1998. A practical Guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 79 (1), 61-78.

Truccolo, E.C.; Franco, D.; Schettini, C.A.F. 2006. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39(SI):547-552.

UNESCO, 1981. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. Paris. 37, 144.

UNESCO, 1981. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978, UNESCO Techn. Pap. Mar. Sci. 37, UNESCO, Paris, 144 pp.

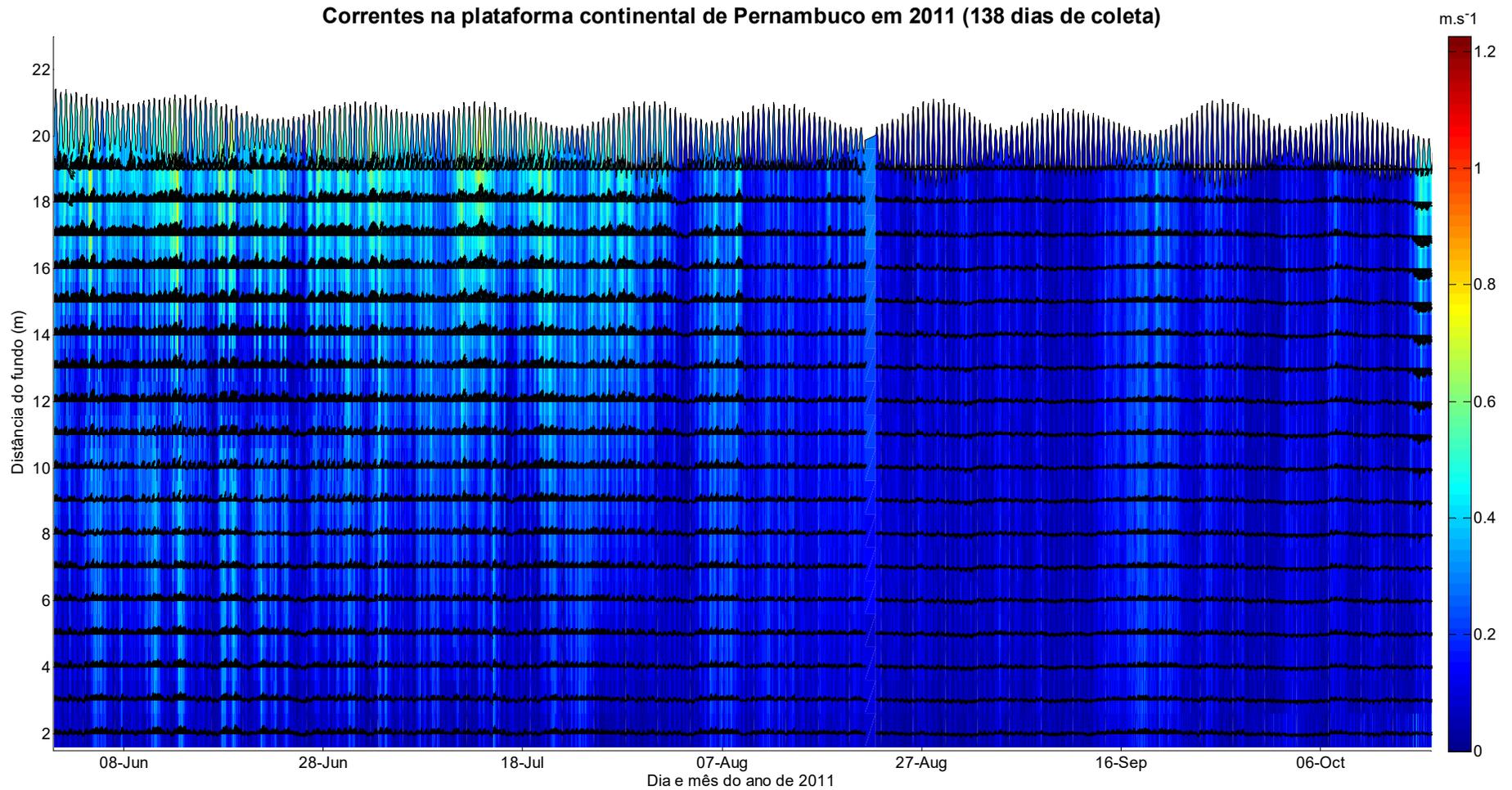
Vital, H., Gomes, M.P., Tabosa, W.F., Frazão, E.P., Luiz, C., Plácido, J.S.Jr., 2010. Characterization of the Brazilian continental shelf adjacent to Rio Grande do Norte State, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*. 58(1), 43–54.

Wright, L.D., 1995. Morphodynamics of inner continental shelves. *Marine Science*. Virginia. 256.

Zavialov, O.P., Sonia, M.F., Galvão, G., Pimenta, F.M., Castelão, G.P., Abdoullaev, S.M., 2000. Diurnal variability on the continental shelf of Southern Brazil. *Continental Shelf Research*. 20, 15-35.

## ANEXO I

Figura 31: figura com dados de velocidade da corrente em cores quentes e frias e a direção em stick plots por camada de água na plataforma continental de Pernambuco durante 138 dias de coletas no mês de julho as correntes estiveram próximo de  $1 \text{ m.s}^{-1}$  principalmente na superfície e durante o período de coleta a direção predominante da corrente esteve para a direção Norte nordeste, a não ser no fim da coleta quando a corrente virou para sul com intensidade de aproximadamente  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$  nas camadas mais superficiais.



## ANEXO II

### Motivação

A ideia de realizar o presente estudo surgiu quando o Laboratório de Piscicultura Marinha-LPM do Departamento de Pesca e Aquicultura-DePAq da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE instalou quatro gaiolas em alto mar (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) para cultivar o peixe beijupirá (*Rachycentron canadum*). Quando o projeto iniciou não se tinha informações detalhadas sobre as correntes nem sobre distribuição espacial e temporal da temperatura e salinidade presentes na plataforma continental de Pernambuco, em maio de 2011 houveram picos de intensidade de corrente que provocaram o arrasto de três âncoras de fundeio do lado de sul, onde cada linha de fundeio pesava aproximadamente 1000 kg entre correntes e âncora, esse arrasto provocou o mal funcionamento de todo o equipamento de cultivo causando a danificação de três gaiolas de cultivo e a morte de mais de 1500 peixes em apenas 1 dia. E a partir desse momento foi iniciado o monitoramento das correntes e dos parâmetros físicos com os instrumentos ADCP e CTD (Acrônimo em inglês de Acoustic Doppler Current Profile e Conductivity Temperature and Depth, respectivamente) em uma parceria entre o Laboratório de hidrodinâmica estuarina-Lahico e o LPM. Os resultados de correntes das campanhas realizadas na fazenda marinha de cultivo de beijupirá não fizeram parte do escopo do presente estudo, mas estão apresentados no Anexo I e os dados de salinidade e temperatura coletados na fazenda marinha foram agrupados com dados de campanhas subsequentes e estão apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Em seguida o projeto

*'Hidrodinâmica e processos de transporte na plataforma continental de Pernambuco'* foi aprovado pelo CNPq, quando possibilitou a realização de expedições oceanográficas específicas para realizar os estudos sobre as correntes e massas d'água na plataforma. Desta forma o presente trabalho trás o primeiro estudo sobre as características sazonais das correntes e massas d'água na plataforma continental de Pernambuco.

Figura 32:Gaiolas da fazenda marinha de cultivo de beijupirá instaladas na plataforma continental de Pernambuco pelo DePAq/UFRPE na batimetria de 25 m.



Fonte: O autor.