



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS
TROPICAIS

PEDRO PAULO DE FREITAS

MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA CIRCULAÇÃO SOBRE A
PLATAFORMA CONTINENTAL DO CEARÁ - BRASIL

FORTALEZA, CEARÁ

2015

PEDRO PAULO DE FREITAS

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA CIRCULAÇÃO SOBRE A
PLATAFORMA CONTINENTAL DO CEARÁ - BRASIL**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais.

Área de concentração: Oceanografia Física

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres
Teixeira

FORTALEZA, CEARÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

F937m Freitas, Pedro Paulo de.

Modelagem hidrodinâmica da circulação sobre a plataforma continental do Ceará - Brasil / Pedro Paulo de Freitas. – 2015.

97f.: il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2015.

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientação: Prof^o. Dr^o. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. Marés - Ceará. 2. Circulação oceânica. I. Título.

CDD 551.464

PEDRO PAULO DE FREITAS

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA CIRCULAÇÃO SOBRE A
PLATAFORMA CONTINENTAL DO CEARÁ - BRASIL**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Oceanografia Física

Aprovada em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira
Universidade Federal do Ceará - UFC
Orientador

Profa. Dra. Maria Oziléia Bezerra Menezes
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Membro Externo

À minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por representar meu ponto de equilíbrio na superação de mais uma etapa acadêmica. Agradeço a minha mãe, Célia Freitas, que me proporciona todo suporte e incentivo, do estrutural ao emocional. A minha amada companheira Andreia Alves, por todo amor e compreensão. Aos meus amigos de graduação que se mostraram presentes até essa etapa. Ao meu orientador e amigo Prof. Carlos, pela paciência e dedicação em me dá todo suporte teórico e prático para a realização adequada do trabalho. Aos amigos do Laboratório de Oceanografia Física (LOF), Marcus Vinícius, Pedro Morais, Iury Simões, Thiago Parente, Liana Bittencourt, Samuel Valentim, Edie Pinheiro, Thaynara Lima, Cecília Colares, Profa. Camila e Prof. Geraldo pelas experiências trocadas nesses 2 anos. Por fim, agradeço a FUNCAP, processo PJP-0072-00115.01.00/12 e o CNPQ, processo 483850/2012-8 pelo incentivo financeiro para a existência de infra-estrutura necessária para a realização do trabalho.

“A dúvida é o princípio da sabedoria.”

(Aristóteles)

RESUMO

O trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espacial e temporal da circulação da PCCE através do modelo Regional Ocean Modelling System (ROMS), quantificando e qualificando as principais forçantes da circulação. O modelo foi configurado para realizar uma simulação de 10 anos em 20 níveis verticais. Foram realizados 2 experimentos, denominados PCCE-1 e PCCE-2, os quais distinguem-se entre si em decorrência da presença unicamente do forçante de maré no primeiro cenário e da maré somado a todos os demais forçantes (Vento, Fluxo de Água, Fluxo de Calor e descarga dos rios) no segundo. Dessa forma o presente trabalho fez uso de banco de dados disponíveis, além de resultados publicados. De uma forma geral a modelagem da variabilidade espacial e temporal da circulação da PCCE através do modelo ROMS apresentou desempenho satisfatório na representação dos cenários almejados. A circulação residual de maré na PCCE, apresenta direções bem definidas na enchente e vazante, com velocidades máximas maiores na sizígia com 2.0 cm/s e mais modestas na quadratura com 1.2 cm/s, ambas no processo de enchente. Em relação a importância da forçante local, que consiste no cisalhamento do vento ao longo da PCCE, constata-se uma sazonalidade bem evidente, com um primeiro semestre de intensidades brandas, enquanto o segundo semestre caracteriza-se com ventos mais intensos, o que se reflete na hidrodinâmica da PCCE. A circulação na PCCE apresenta predominância de correntes longitudinais com frequência maregráfica, onde as componentes de maré explicam para a componente normal de velocidade 87,6% e 98% de sua variabilidade no primeiro e segundo semestre, enquanto 45,2% e 38% refere-se a explicação para a componente paralela durante o primeiro e o segundo semestre, respectivamente. Embora o objetivo do trabalho seja avaliação da hidrodinâmica na PCCE, foi constatado pela primeira vez instabilidades hidrodinâmicas adjacentes a plataforma, especificamente ao largo do Platô do Ceará, no qual é possível observar um vórtice girando no sentido anti-horário com velocidades entre 0.2 a 0.4 m/s no primeiro semestre e entre 0.2 e 0.3m/s no segundo semestre, denominado no presente trabalho como Vórtice do Ceará. As vazões dos principais tributários da PCCE apresentam maior influência na estrutura halina da plataforma durante o primeiro semestre, período em que as vazões são mais intensas. Ainda sobre a estrutura vertical termo-halina na PCCE, é possível observar no primeiro semestre a presença da AT nas bordas da PE da PCCE, na isóbata de 100 metros, enquanto durante o segundo semestre a PE e região adjacente apresentam estrutura verticalmente homogênea, o que dá indícios de uma penetração da AT e interação com a AC da plataforma. Esse cenário é suportado pelas séries temporais dos termos da equação do movimentos, nas quais conclui-se o domínio dos termos advectivos na PM e PE da PCCE, o que indica uma interação entre circulação sazonal da CNB com a circulação na PE da PCCE. O presente trabalho constitui uma importante contribuição à modelagem hidrodinâmica da PCCE através da avaliação da sazonalidade da circulação média e da estrutura termohalina, da distribuição espacial da circulação residual de maré, bem como a quantificação da dominância dos termos GP e de atrito na circulação da PI e dos termos advectivos na PM e PE da PCCE.

Palavras-chave: Circulação Residual de Maré. Vórtice do Ceará. Balanço dinâmico.

ABSTRACT

We aim to understand the spatial and temporal variability of the circulation on the PCCE and its main forcing using the Regional Ocean System (ROMS). We performed 10 years of simulation using 20 vertical sigma levels. We used two experiments: PCCE-1 forced only by tides and PCCE-2 forced with tides, winds, and water and heat fluxes. We used historical data and published results to validate the model. Our simulations were able to reproduce the spatial and temporal variability of the circulation within the PCCE. The tidal residual circulation presents a well-defined circulation during ebb and flood tides, with maximum values (2.0 cm/s) occurring during flood spring tides. The wind-forced circulation presents a well-defined seasonality with maximum values occurring during the second half of the year. The circulation within the PCCE is dominated by tidal zonal currents. Tides explain 87.6% and 98% of the total variability of the cross-shore currents during first and second half of the year, respectively, and 45.2% and 38% of the along-shore currents. For the first time a counterclockwise eddy is reported around the Platô do Ceará, with velocities between 0.2 and 0.4 m/s. Due to the larger discharge the influence of the main rivers of the PCCE is more evident during the first half of the year. During the first half of the year the presence of the Tropical Water is present at the external shelf a possible influence of the North Brazil Current. These results are supported by the diagnostics results from the model, where the dynamical balance of the external and middle shelf are dominated by the advective terms of the motion equation. The present work is an important contribution to the knowledge of the PCCE circulation. For the first time, a baroclinic model has been used to study the seasonality of the circulation and the thermal structure of the PCCE. We also studied the spatial variability of the residual tidal circulation and dynamical balance of the PCCE.

Keywords: Residual Tide Circulation. Ceará Eddy. Dynamic Balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da região de estudo (retângulo). As linhas contínuas demarcam as linhas isobatimétricas em metros.	20
Figura 2	Batimetria da Plataforma Continental do Estado do Ceará.	22
Figura 3	Grade da área de estudo com as isóbatas de 100 m e 1000. m.	25
Figura 4	Intensidade do stress do vento do forçante do modelo PCCE.	27
Figura 5	Fluxo de calor do forçante do modelo PCCE	28
Figura 6	Fluxo de água do forçante do modelo PCCE	28
Figura 7	Comparação das médias mensais climatológicas das velocidades do vento do INMET e ERA para Fortaleza, Acaraú e Jaguaruana (Ce).	30
Figura 8	Comparação das normais climatológicas do INMET de precipitação e evaporação com o ERA (Fortaleza).	31
Figura 9	Comparação das normais climatológicas do INMET de precipitação e evaporação com o ERA (Acaraú).	31
Figura 10	Intensidade média da corrente superficial de 8 anos de simulação do modelo PCCE - 1º Semestre.	37
Figura 11	Intensidade média da corrente superficial do modelo HYCOM/NCODA dos anos de 2003, 2005 e 2006 - 1º Semestre.	38
Figura 12	Intensidade média da corrente superficial de 8 anos de simulação do modelo PCCE - 2º Semestre.	38
Figura 13	Intensidade média da corrente superficial do modelo HYCOM/NCODA dos anos de 2003, 2005 e 2006 - 2º Semestre.	39

Figura 14	Componente Normal de velocidade do modelo PCCE sem maré - Integrada na coluna de água	41
Figura 15	Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE sem maré - Integrada na coluna de água	42
Figura 16	Componente Normal de velocidade do modelo PCCE com maré - Superfície	42
Figura 17	Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE com maré - Superfície	43
Figura 18	Componente Normal de velocidade do modelo PCCE com maré - Fundo ...	43
Figura 19	Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE com maré - Fundo ...	44
Figura 20	Comparação da TSM do MODIS e do Modelo PCCE.	45
Figura 21	Mapa de localização das bóias 36 e 37 ARGOS.	46
Figura 22	Comparação da temperatura e da salinidade entre o ponto 36 Argos e modelo PCCE.	46
Figura 23	Comparação da temperatura e da salinidade entre o ponto 37 Argos e modelo PCCE.	47
Figura 24	Maré Residual do modelo nas estações de Jaguaribe, Fortaleza, Pecém e Acaraú.	49
Figura 25	Correntes de maré residual de enchente do modelo - Sizígia.	50
Figura 26	Correntes de maré residual de vazante do modelo - Sizígia.	50
Figura 27	Correntes de maré residual de enchente do modelo - Quadratura.	51
Figura 28	Correntes de maré residual de vazante do modelo - Quadratura.	51

Figura 29	Circulação superficial submaré média - 1º Semestre.	53
Figura 30	Circulação superficial submaré média - 2º Semestre.	53
Figura 31	Circulação de fundo submaré média - 1º Semestre.	54
Figura 32	Circulação de fundo submaré média - 2º Semestre.	54
Figura 33	Corrente integrada submaré média - 1º Semestre.	56
Figura 34	Corrente integrada submaré média - 2º Semestre.	56
Figura 35	Temperatura superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	58
Figura 36	Temperatura superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	59
Figura 37	Temperatura de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	60
Figura 38	Temperatura de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	60
Figura 39	Salinidade superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	61
Figura 40	Salinidade superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	62
Figura 41	Salinidade de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	63
Figura 42	Salinidade de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	64
Figura 43	Densidade superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	66
Figura 44	Densidade superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	66
Figura 45	Densidade de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	67

Figura 46	Densidade de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	68
Figura 47	Seção de Jaguaribe de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	69
Figura 48	Seção de Jaguaribe de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	70
Figura 49	Seção de Jaguaribe de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	70
Figura 50	Seção de Jaguaribe de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	71
Figura 51	Seção de Jaguaribe de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	71
Figura 52	Seção de Jaguaribe de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	72
Figura 53	Seção de Fortaleza de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	73
Figura 54	Seção de Fortaleza de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	73
Figura 55	Seção de Fortaleza de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	74
Figura 56	Seção de Fortaleza de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	74
Figura 57	Seção de Fortaleza de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	75
Figura 58	Seção Fortaleza de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre. .	75
Figura 59	Seção de Acaraú de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	76
Figura 60	Seção de Acaraú de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	77
Figura 61	Seção de Acaraú de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	77

Figura 62	Seção de Acaraú de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	78
Figura 63	Seção de Acaraú de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.	78
Figura 64	Seção de Acaraú de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.	79
Figura 65	Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Jaguaribe.	82
Figura 66	Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Jaguaribe.	82
Figura 67	Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Fortaleza.	83
Figura 68	Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Fortaleza.	84
Figura 69	Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Acaraú.	85
Figura 70	Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Acaraú.	85
Figura 71	Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (ubar) e meridional (vbar) - Jaguaribe	87
Figura 72	Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (ubar) e meridional (vbar) - Fortaleza	87
Figura 73	Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (ubar) e meridional (vbar) - Acaraú	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Vazões dos rios do Estado do Ceará segundo Molinasi(2006)	29
Tabela 2	Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Fortaleza)	30
Tabela 3	Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Acará)	30
Tabela 4	Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Jaguaruana)	30
Tabela 5	Comparação entre as Normais Climatológicas de Evaporação e Precipitação do INMET e os dados do ERA (Fortaleza)	32
Tabela 6	Comparação entre as Normais Climatológicas de Evaporação e Precipitação do INMET e os dados do ERA (Acará)	32
Tabela 7	Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Porto do Mucuripe(Fortaleza)	35
Tabela 8	Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Porto do Pecém	35
Tabela 9	Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Acará	36
Tabela 10	Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Jaguaribe	36
Tabela 11	Comparação das Correntes de maré (m/s) do modelo PCCE e observado por Dias(2011) - Chuva	40
Tabela 12	Comparação das Correntes de maré (m/s) do modelo PCCE e observado por Dias(2011) - Seca	40
Tabela 13	Comparação entre a Salinidade média do modelo PCCE e a de Dias(2013) na PI, PM e PE	47

Tabela 14	Comparação entre a Temperatura média do modelo PCCE e a de Dias(2013) na PI, PM e PE	48
-----------	---	----

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AT	Água Tropical
AC	Água Costeira
ARDENS	Densidade do ar
CA	Coefficiente de arrasto
CNB	Corrente Norte do Brasil
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
ETOPO5	<i>Earth Topography 5-minute</i>
FSW	Fluxo de Ondas Curtas
FLW	Fluxo de Ondas Longas
FLH	Fluxo de Calor Latente
FSH	Fluxo de Calor Sensível
GATE	<i>Global Atlantic Tropical Experiment</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
HYCOM	<i>Hybrid Coordinate Ocean Model</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCODA	<i>Navy Coupled Ocean Data Assimilation</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PCCE	Plataforma Continental do Ceará
PCB	Plataforma Continental Brasileira
PNM	Pressão ao Nível do Mar
ROMS	<i>Regional Ocean Modelling System</i>
TSM	Temperatura Superficial do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VP	Vorticidade Potencial
VR	Vorticidade Relativa
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Área de Estudo	19
1.1.1	Clima	20
1.1.2	Geologia	21
1.1.3	Marés e Correntes	22
1.2	Objetivo Geral	22
1.3	Objetivos Específicos	23
2	MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1	Grade	24
2.2	Condição de Contorno e Inicial	25
2.3	Forçantes	26
2.4	Análise dos Forçantes	29
2.4.1	Vento	29
2.4.2	Precipitação e Evaporação	30
2.5	Configuração do Modelo	32
2.6	Experimentos	32
2.6.1	Cenário PCCE-1	33
2.6.2	Cenário PCCE-2	33
2.7	Calibração e Validação	33
2.7.1	Metodologia de Calibração e Validação	33
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1	Validação	35
3.1.1	Nível	35
3.1.2	Correntes	36
3.1.2.1	Fora da Plataforma	36
3.1.2.2	Plataforma Continental	39
3.1.3	Temperatura e Salinidade	44
3.2	Circulação Residual de Maré	48

3.3	Circulação induzida pelo vento e componentes termo-halinas	52
3.3.1	Correntes	52
3.3.2	Campo Termo-halino.....	58
3.3.2.1	Temperatura	58
3.3.2.2	Salinidade	61
3.3.2.3	Densidade	64
3.3.2.4	Seções Verticais	68
3.4	Diagnóstico do modelo	80
3.4.1	Seções Latitudinais Médias	86
4	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

As áreas costeiras são de extrema importância para as populações, tanto no que diz respeito à economia, desempenhando o papel fundamental como via de troca entre mercados, como por oferecer uma gama de recursos naturais e serviços vitais aos seres humanos. Além disso, as zonas costeiras apresentam uma alta biodiversidade, principalmente nos trópicos, estando entre os mais ricos repositórios da biodiversidade marinha (MOBERG; RÖNNBÄCK, 2003).

No aspecto físico, a plataforma continental e a zona costeira são ambientes bastante energéticos, nos quais as variações de temperatura da água, salinidade, nível do mar e correntes são mais expressivos do que no oceano aberto. As condicionantes hidrodinâmicas que regem a circulação da plataforma podem ser ranqueadas por vento, marés astronômicas, marés meteorológicas, campo de densidade, contribuição continental e ondas (BOWDEN, 1983; COLLING, 2001).

As escalas de tempo associadas a estes fenômenos estão relacionadas com a localização geográfica, o que determinará o regime de marés, o sistema de ventos e aporte fluvial; a morfologia da plataforma continental e fisiografia da linha de costa, o que influenciará na interação com processos oceânicos de escala maior; e a proximidade de desembocaduras de estuários, o que afetará nos gradientes de densidade horizontais e verticais.

Posto isso, o conhecimento da circulação e das características termohalinas destas regiões é de fundamental importância, a fim de dar subsídio à compreensão de sua ecologia e realizar um gerenciamento ambiental eficaz. Tais informações são essenciais para uma relação sustentável entre as diversas atividades econômicas normalmente desenvolvidas nestes locais e seu ambiente natural e humano.

Especificamente, a região da Plataforma Continental do Ceará (PCCE) possui reconhecida importância ecológica e socioeconômica para o Estado e para o país. Algumas das principais atividades econômicas do Estado estão relacionadas à região costeira, como, por exemplo, as indústrias do turismo, carcinicultura, atividades porto-industrial e a pesca predominantemente artesanal (SILVA; LIMA, 2011).

A presença destas atividades na região a torna susceptível a diversos impactos ambientais, como, por exemplo, à descarga de esgotos domiciliares e industriais sem tratamento, poluição por resíduos sólidos, lançamento de efluentes ricos em nutrientes pelas atividades de carcinicultura, liberação de hidrocarbonetos pela atividade portuária, transporte de espécies exóticas através de água de lastro, atividades de dragagem, entre outros.

Além disso, ao longo da extensão da PCCE, existem diversos atributos morfológicos, fisiográficos e oceanográficos que a tornam cientificamente interessante para a Oceanografia Física, como a proximidade da Corrente Norte do Brasil (CNB), mudanças da orientação da costa, largura reduzida da plataforma e a presença de vários estuários. Sabe-se, por exemplo, que a plataforma externa e talude adjacente a PCCE são dominados por processos oceânicos de larga escala com a presença da CNB. Estudos usando bio-indicadores indicam que possivelmente os efeitos climatológicos da CNB são sentidos até profundidades da ordem de 50 m

(MARQUES et al., 2007).

Embora seja evidente a importância científica, socioeconômica e ambiental, bem como as suscetibilidades a impactos ambientais na PCCE, existem poucas publicações na literatura especializada versando sobre a Oceanografia Física nesta região, em específico utilizando modelos numéricos para qualificar e quantificar forçantes hidrodinâmicos.

A região do oceano Atlântico Equatorial foi foco de alguns experimentos oceanográficos importantes, tais como o EQUALANT I no ano de 1963, e o *Global Atlantic Tropical Experiment*(GATE) em 1974. Tais projetos propiciaram condições para a realização de medições de velocidade na costa brasileira, entre eles destaca-se os resultados apresentados por Luedemann(1967), por exemplo, os quais indicaram a existência de uma corrente com um fluxo para noroeste com velocidades superiores a 23 cm/s. Posteriormente Metcalf e Stalcup(1967) e Metcalf(1968) nomearam tal corrente como Corrente Costeira Norte do Brasil. Luedmann e Pereira(1976), por sua vez, durante o programa GATE em 1974, constataram a mesma corrente com velocidades oscilando entre 23 a 35 cm/s, fluindo para noroeste.

Contudo, tais trabalhos consistem em medições após a quebra da plataforma. Para a PCCE há uma carência em dados, existindo apenas três artigos publicados utilizando dados observacionais (SIGNORINI; MIRANDA, 1983; SOARES; CASTRO, 1996; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013). Em comum estes trabalhos mostraram que a circulação na direção normal à costa é dominada pela forçante de maré semi-diurna e modulada pela brisa marinha, enquanto que na direção paralela à costa a circulação é geralmente unidirecional e forçada principalmente pelo vento.

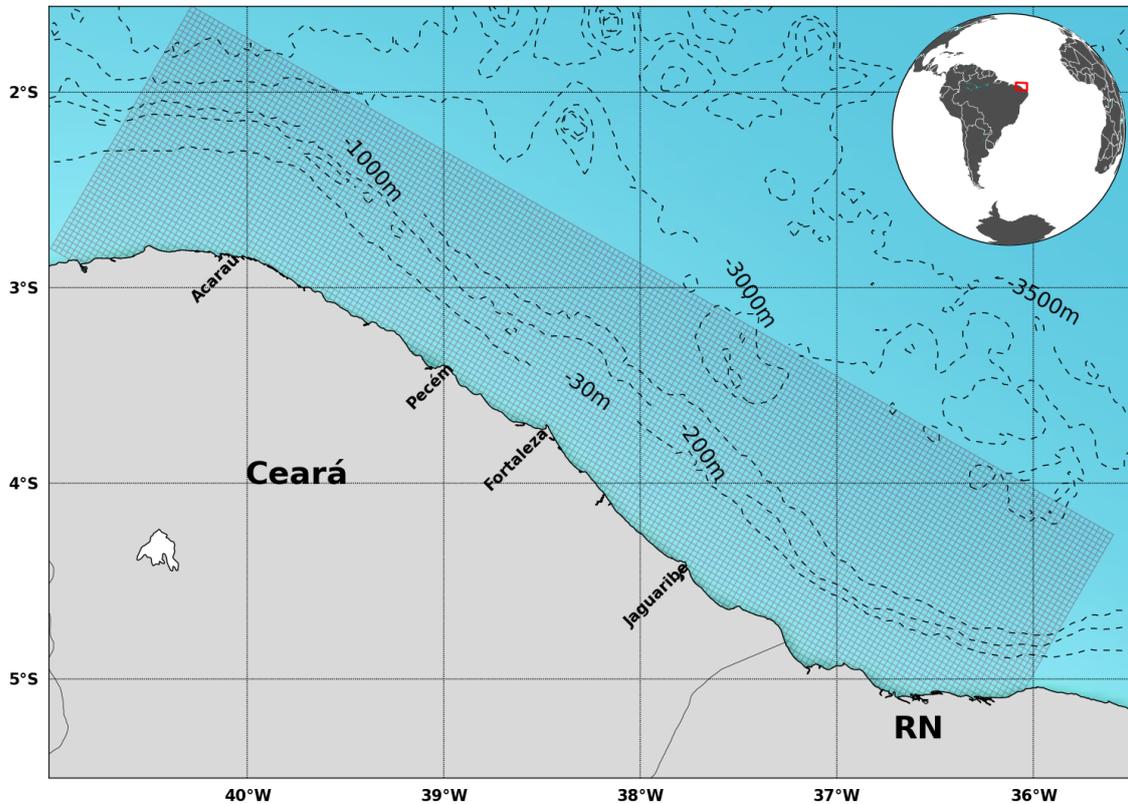
Apesar de a modelagem computacional ter se tornado uma importante ferramenta para estudos de hidrodinâmica, apenas um artigo utilizando modelagem numérica foi publicado sobre a circulação da PCCE. Neste estudo, Soares e Castro(1996) estudaram a resposta barotrópica das águas da PCCE à forçante do vento estacionária e transiente através de um modelo numérico hidrodinâmico e dados observados durante março de 1979. Os trabalhos observacionais citados, foram baseados em fundeios curtos que não permitem uma avaliação da variabilidade da circulação em períodos maiores do que 10 dias. Do mesmo modo, o modelo implementado por Soares e Castro(1996) permite apenas a solução do fluxo barotrópico da PCCE.

Como é notado, existem poucos trabalhos sobre a hidrodinâmica na PCCE e ainda há muito a ser feito para a adequada compreensão dos mecanismos de circulação da região. Neste contexto, o presente trabalho visa contribuir no incremento de informações acerca deste tema, de modo a subsidiar informações para um gerenciamento costeiro e ambiental adequado a partir da compreensão da circulação na PCCE.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho abrange a PCCE e adjacências, limitando-se nas longitudes de 35.7°O a 41°O e nas latitudes de 1°S a 6°S e está representada na figura 1 juntamente com as linhas isobatimétricas.

Figura 1: Mapa da região de estudo (retângulo). As linhas contínuas demarcam as linhas isobatimétricas em metros.



Fonte: O autor(2015)

Para o entendimento da hidrodinâmica da região faz-se necessário avaliação preliminar das características climáticas, geológicas e geomorfológicas da área, além de um resgate do que se tem de informação sobre os processos físicos da região. Tais atributos, são descritos nas seções subsequentes.

1.1.1 Clima

O Estado do Ceará encontra-se na região nordeste do Brasil, que do ponto de vista climático é considerada semi-árida por apresentar substanciais variações temporal e espacial da precipitação pluviométrica e elevadas temperaturas ao longo do ano (AZEVEDO; SILVA; RODRIGUES, 1998).

De um modo geral, pode-se afirmar que o regime de chuva no Estado do Ceará é governado por quatro mecanismos principais: 1) Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); 2) Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); 3) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, 4) Frentes Frias, e 5) Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (UVO; BERNDTSSON, 1996).

Contudo, a ZCIT é considerada fator dominante na determinação da quantidade de chuvas no setor norte do nordeste do Brasil. A ZCIT consiste em uma zona de grande nebulosidade que migra através dos ventos Alísios sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14°N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2 a 4°S entre fevereiro a abril (FERREIRA; MELLO, 2005). Essa sazonalidade do deslocamento da ZCIT contribui para a formação de 2 estações bem distintas ao longo do ano em relação a pluviosidade no Estado do Ceará, uma chuvosa que ocorre durante o primeiro semestre e uma outra de baixos índices pluviométricos no segundo semestre.

Além da influência nos padrões pluviométricos, a dinâmica da ZCIT acarreta um padrão sazonal na intensidade e direção dos ventos na costa cearense, onde no primeiro semestre ocorre uma predominância de ventos alísios de nordeste, enquanto o segundo semestre é caracterizado por ventos de sudeste de maior intensidade.

1.1.2 Geologia

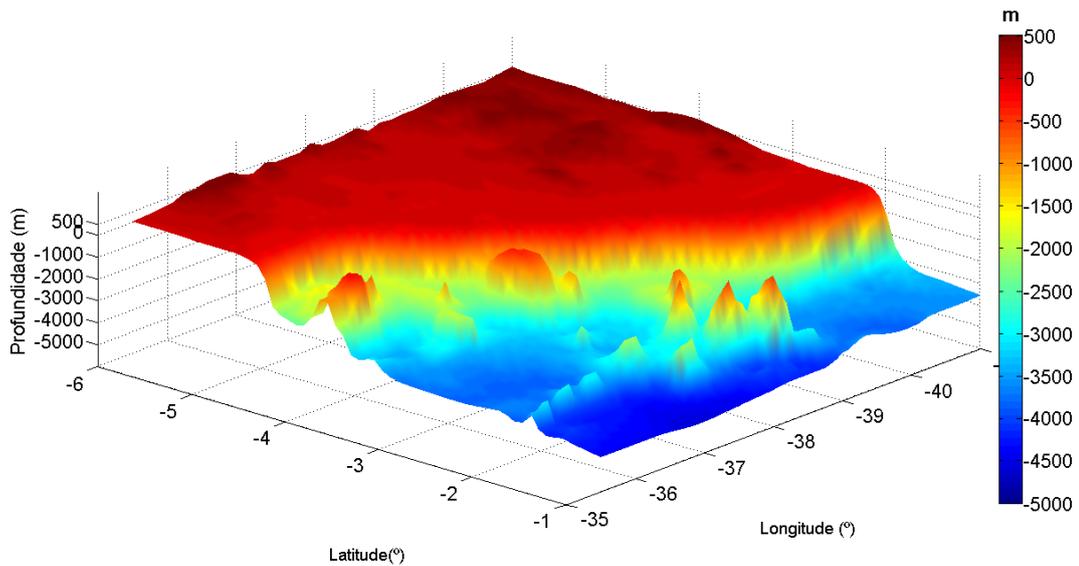
A região nordeste da Plataforma Continental Brasileira (PCB), por sua vez, está submetida a uma condição climática de semi aridez, fato esse que se reflete nas vazões dos rios e na dinâmica de material sedimentar na interface continente-plataforma. Dessa forma, o baixo aporte fluvial acarreta em um pequeno transporte de sedimentos terrígenos (material silto-argiloso) ao ambiente marinho costeiro (SALES; MELO; FREIRE, 1994; COUTINHO, 1995; FILHO et al., 2007).

A PCCE está inserida nesse contexto climático e oceanográfico, apresenta pouca declividade (1:670 a 1:1000) até 70 metros de profundidade e uma largura maior na porção oeste, com 100 Km, enquanto na porção leste torna-se mais estreita com valor de 40 Km.

Utilizando como critérios a morfologia e a distribuição dos sedimentos, pode-se dividir a Plataforma Continental do Nordeste (PCN) em três setores: plataforma interna, compreendendo a área entre a linha de praia e a isóbata de 20 metros; plataforma média, situada entre as isóbatas de 20 a 40 metros, marcada por relevo regular; e a plataforma externa começando da isóbata de 40 metros até a borda da plataforma (COUTINHO, 1976).

A batimetria da PCCE, obtida a partir do banco de dados ETOPO 5 é apresentada na figura abaixo.

Figura 2: Batimetria da Plataforma Continental do Estado do Ceará.



Fonte: O autor(2015)

1.1.3 Marés e Correntes

A PCCE está submetida a uma condição de maré semi-diurna, constituindo uma forçante importante na hidrodinâmica da plataforma, dominando a circulação perpendicular à costa, enquanto a circulação paralela à linha de costa é controlada pelo vento (SIGNORINI; MIRANDA, 1983; VIANNA; MENEZES, 2006; SCHETTINI; MAIA; TRUCCOLO, 2011; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2011).

Avaliações das correntes paralelas e perpendiculares a costa do Ceará foram realizadas por Signorini e Miranda (1983) e Vianna e Menezes(2006). O primeiro trabalho analisou dados de correntes coletados no ponto $03^{\circ}06'S$ e $38^{\circ}49.5'O$ entre 13 de março até 23 de abril de 1979 na isóbata de 41 metros. Além disso, foram utilizados dados de ventos provenientes da estação meteorológica do aeroporto de Fortaleza. Um dos principais resultados desse estudo é que a componentes zonal (u) e meridional (v) das correntes na PCCE apresentam frequência maregráfica e sub-maregráfica, respectivamente. O segundo trabalho, por sua vez, realizou uma análise espectral de dados de correntes coletados no ponto $4^{\circ}19'S$ e $37^{\circ}15'O$, na isóbata de 50 metros, próximo a Ponta Grossa (Ce); e constatou que 56% da variância na componente u e 61% na componente v são explicadas pela banda maregráfica. Enquanto que, 42% em u e 36% em v foram observadas em frequência sub-maregráfica.

1.2 Objetivo Geral

Estudar a variabilidade espacial e temporal da circulação da PCCE através do modelo *Regional Ocean Modelling System* (ROMS), quantificando e qualificando as principais forçantes da circulação.

1.3 Objetivos Específicos

- A determinação da variabilidade espacial da circulação residual de maré;
- A determinação da importância da forçante local (cisalhamento do vento agindo sobre a PCCE).
- A determinação da sazonalidade da PCCE através da determinação da circulação média e da estrutura termohalina durante o primeiro e segundo semestre;
- A determinação da influência da variação temporal do fluxo fluvial na estratificação da PCCE e na geração de circulação gravitacional;
- A importância da CNB na circulação da PCCE.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar os objetivos propostos foi usado o *Regional Ocean Modelling System* (ROMS), o qual consiste em um modelo de código aberto, superfície livre, de diferenças finitas, coordenadas sigma e equações primitivas, amplamente usado pela comunidade científica para diversas variações de aplicações (HAIDVOGEL et al., 2000; MARCHESIELLO; MCWILLIAMS; SHCHEPETKIN, 2003; PELIZ et al., 2003; LORENZO, 2003; DINNIMAN; KLINCK; JR., 2003; BUDGELL, 2005; WARNER; GEYER; LERCZAK, 2005; WILKIN et al., 2005).

A aplicação do ROMS para estudos hidrodinâmicos de escala costeira e estuarina é amplamente difundida (HAIDVOGEL et al., 2000; HETLAND, 2005; BLAAS et al., 2007; TEIXEIRA, 2010), embora na área de estudo da PCCE exista apenas um trabalho de Dias(2013).

A descrição detalhada dos algoritmos que compõem o ROMS é encontrada nos trabalhos de Shchepetkin e McWilliams (1998,2003a,2005).

2.1 Grade

Para a realização dos experimentos hidrodinâmicos da PCCE no ROMS, foi confeccionada uma grade, estendendo-se de 1°S a 6°S e 35.7°O a 41°O, bem como sua orientação foi estabelecida de forma paralela as isóbatas da plataforma. A construção da grade foi feita em três etapas.

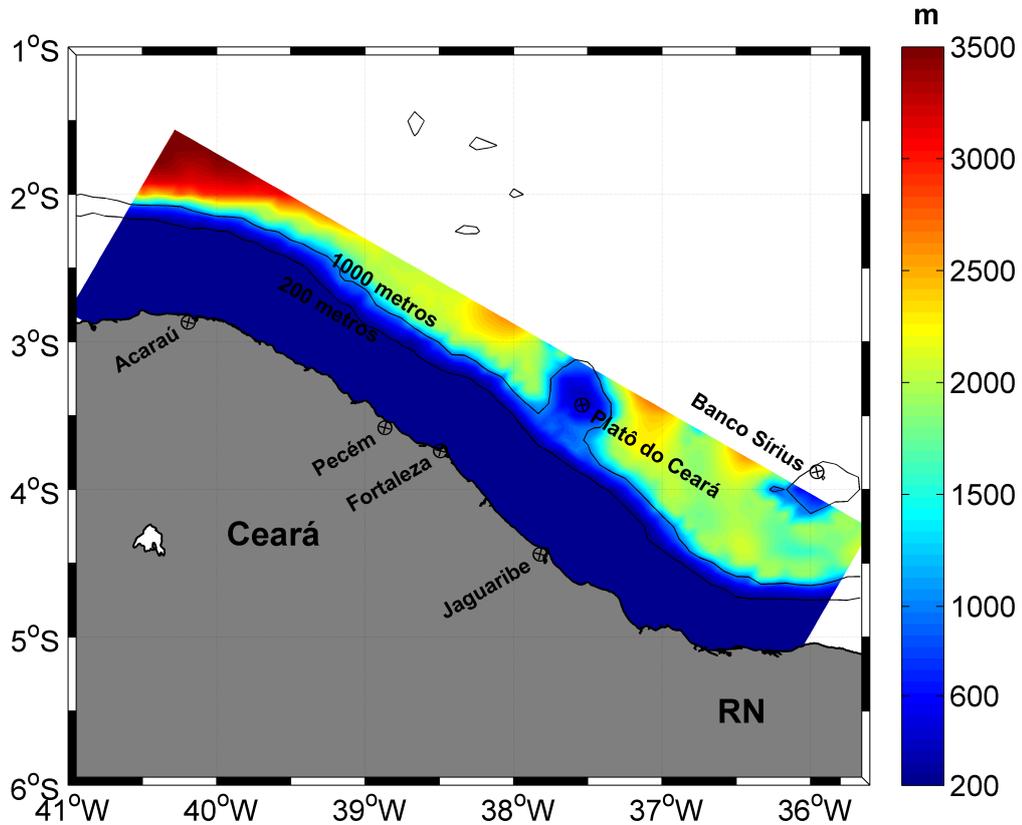
O primeiro procedimento foi o de extração da batimetria da área, a qual é oriunda do banco de dados *Earth Topography 5-minute* (ETOPO5), disponibilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). A segunda etapa consiste na suavização da batimetria com a finalidade de minimizar erros referente ao gradiente de pressão.

A última etapa constitui na criação propriamente da grade, com o processo de suavização, edição de uma máscara terra/oceano e rotação da mesma. A rotação da grade foi de 30° e fez-se necessária em decorrência da orientação da costa do Ceará. A resolução da grade foi de 3000 metros, com 54 pontos em X e 201 em Y, totalizando 10854 pontos e uma profundidade variando de 4 a 3571 metros.

Por fim, foram estabelecidos 20 níveis verticais, a fim de se resolver espacialmente os processos envolvidos na circulação e a complexa batimetria e morfologia da região. Foi utilizada a formulação da coordenada sigma de Shchepetki e McWilliams(2005), enquanto o alongamento vertical foi o formulado por Shchepetki e McWilliams((SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2009)).

O produto final da grade da área de estudo está representado juntamente com as linhas batimétricas na figura (3).

Figura 3: Grade da área de estudo com as isóbatas de 100 m e 1000. m.



Fonte: O autor(2015)

2.2 Condição de Contorno e Inicial

As condições de contorno usadas para a superfície livre e o campo de velocidade, foram de Radiação de Chapman e Flather, enquanto para o campo de velocidade 3D e de salinidade e temperatura foram de Radiação e *Nudging* ou relaxamento (FLATHER, 1976; CHAPMAN, 1985; MARCHESIELLO; MCWILLIAMS; SHCHEPETKIN, 2001).

No experimento numérico da PCCE, a condição de contorno e a condição inicial foram construídas a partir de dados do *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) e *Navy Coupled Ocean Data Assimilation* (NCODA). O HYCOM possui resolução horizontal de $1/12^\circ$ e 26 níveis verticais, sendo forçado com os dados sinóticos atmosféricos provenientes do modelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Foram dados de salinidade, temperatura, velocidade (componente u e v) e variação do nível do mar (Zeta) do período de 2008 a 2012 em uma área de grade de 0° a 7°S e 35°O a 42°O em todos os níveis verticais.

A partir do cálculo de médias mensais climatológicas, os dados oriundos do HYCOM/NCODA foram interpolados na grade da PCCE e utilizados para a criação da condição de contorno e inicial.

2.3 Forçantes

O modelo hidrodinâmico na PCCE foi forçado por maré, fluxo de água, fluxo de calor e vento. No total, foram construído 3 forçantes, 1 para maré e 2 a partir de fluxo de água, calor e *stress* do vento.

As elevações e correntes de maré das principais constituintes harmônicas, M2, S2, N2, O1 e K1, foram obtidas a partir do modelo *TPOX8.0/Poseidon Global Inverse Solution* (EGBERT; BENNETT, 1994; EGBERT; EROFEEVA, 2002). Esses dados foram interpolados para cada ponto de grade e usados como condição de contorno lateral de elevação e correntes externas do modelo.

O ERAinterim (ERA) constitui uma re-análise atmosférica global de 1979 que é continuamente atualizada, apresenta uma resolução espectral de 80Km em 60 níveis verticais e é um projeto mantido pela *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF).

Foram usados dados do ERA de 1979 a 2012 de precipitação, evaporação, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar, umidade do ar, calor latente, calor sensível, ondas curtas, ondas longas, velocidade do vento em u e v a 10 metros da superfície. Foram calculadas médias mensais climatológicas para todas variáveis.

Os dados de velocidade do vento a 10 metros, temperatura do ar e umidade do ar, foram utilizados para cálculo da temperatura e umidade específica do ar, que por sua vez foi utilizada para o cálculo do coeficiente de arrasto do vento (ca) e densidade do ar ($ardens$). A partir do ca e $ardens$, foi possível calcular o *stress* do vento com o uso da velocidade. As equações (1), (2) e (3) representam o cálculo da velocidade e *stress* do vento em u e v , respectivamente. Após o cálculo, a velocidade e o *stress* do vento foram rotacionados de acordo com a inclinação da grade.

$$velocidade = \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad (1)$$

$$sustr = ca * ardens * u * vel \quad (2)$$

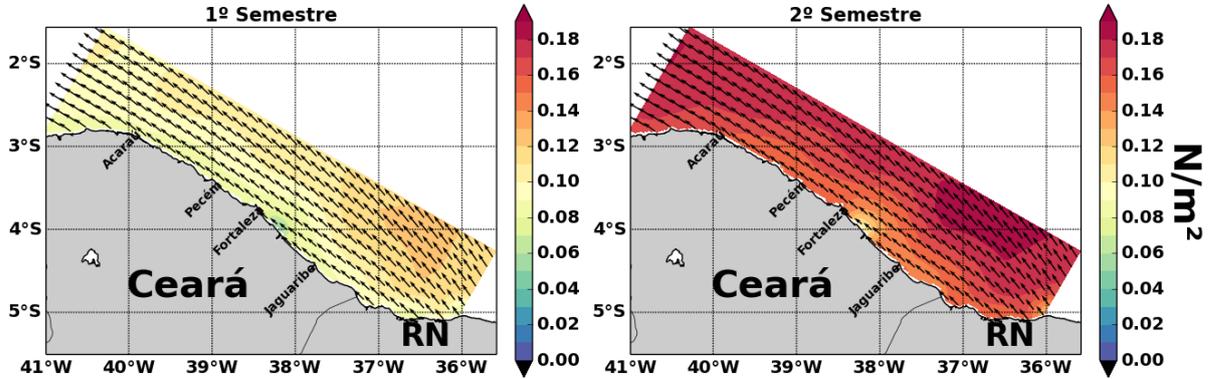
$$svstr = ca * ardens * v * vel \quad (3)$$

A dinâmica do vento ao largo da PCCE apresenta relação com a dinâmica sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SERVAIN; PICAUT; BUSALACCHI, 1985). A ZCIT apresenta migração sazonal de sua posição no hemisfério norte, em torno de 14°N, para o hemisfério sul, com posição em torno de 2°S a 4°S.

Dessa forma durante os meses de fevereiro a abril o posicionamento da ZCIT é no hemisfério sul, muito próximo ao equador, o que acarreta o domínio de ventos alísios de nordeste atuando na costa da PCCE durante esse período. Durante o segundo semestre, especificamente os meses de agosto a outubro, a ZCIT encontra-se no hemisfério norte, o que acarreta um regime de ventos no atlântico tropical predominante de ventos alísios de sudeste e leste (FERREIRA; MELLO, 2005).

As distribuições das intensidades dos stress de vento ao longo da PCCE durante o primeiro e segundo semestre são apresentadas na figura 4.

Figura 4: Intensidade do stress do vento do forçante do modelo PCCE.



Fonte: O autor(2015)

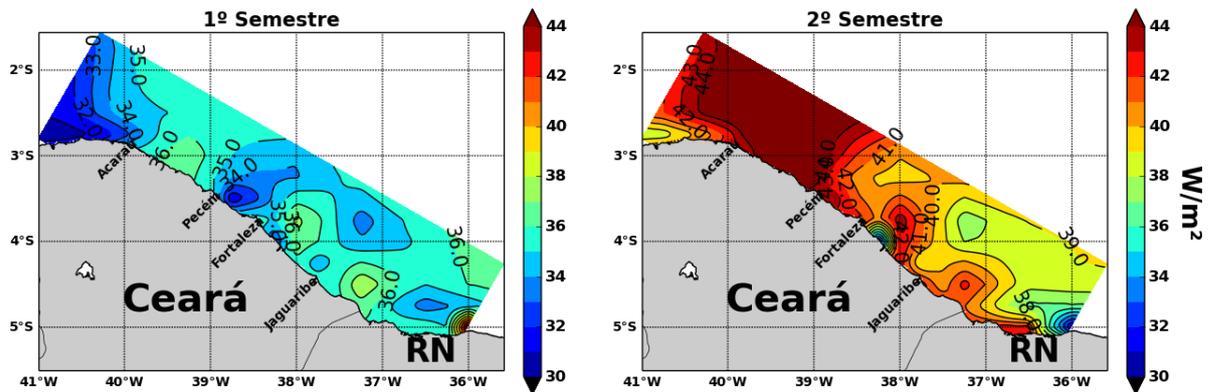
As variações de stress no primeiro semestre ficaram entre 0.05 N/m^2 e 0.13 N/m^2 , o que seria equivalente a mínimos e máximos de velocidade de 6 m/s a 10 m/s . No segundo semestre, por sua vez, as intensidades de stress ficaram entre 0.11 N/m^2 a 0.21 N/m^2 , variação essa proporcional a velocidades de vento de 9.7 m/s a 12 m/s .

Para calcular o fluxo de calor total ($shflux$), médias mensais do ERA de calor latente (flh), calor sensível (fsh), ondas curtas (fsw) e ondas longas (flw) foram utilizadas conforme a fórmula na equação(4).

$$shflux = fsw + flw + fsh + flh \quad (4)$$

A distribuição do fluxo de calor ao longo da PCCE da atmosfera para o oceano no primeiro e segundo semestre é apresentado na figura 5. Nela é possível constatar um fluxo positivo em ambos os semestres, o que significa ganho de calor na região. O fluxo de calor do forçante foi corrigido pela TSM da região, com dados oriundos do MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e através dos dados de ondas curtas do ERA foi realizada a correção da penetração do fluxo de calor na coluna de água.

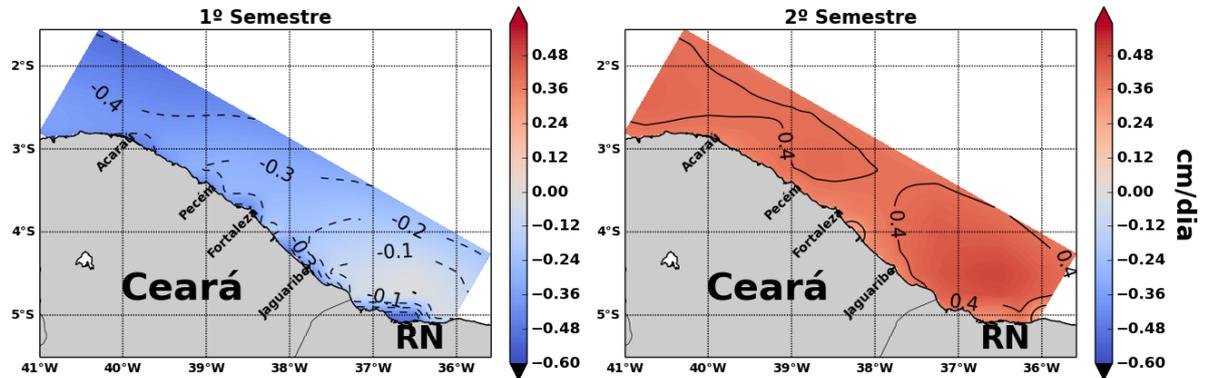
Figura 5: Fluxo de calor do forçante do modelo PCCE



Fonte: O autor(2015)

Por fim, o fluxo de água foi calculado pela diferença das médias mensais climatológicas de Evaporação e Precipitação, advindos do ERA. As médias semestrais dos forçantes estão representadas na figura 6. Os valores negativos indicam índices de precipitação maior que de evaporação, enquanto que valores positivos significam evaporação superior a precipitação. Dessa forma, a PCCE ganha água no primeiro semestre e perde no segundo semestre.

Figura 6: Fluxo de água do forçante do modelo PCCE



Fonte: O autor(2015)

Com o objetivo de se avaliar a influência das descargas dos rios na estrutura termo-halina da PCCE, foi criado um forçante com os valores médios de descarga dos cinco principais rios do Estado, são eles: rio Jaguaribe, rio Pacoti, rio Cocó, Rio Ceará e rio Acaraú.

Haja vista a não existência de monitoramentos de vazão de longo prazo e próximo as desembocaduras dos citados rios, optou-se por usar o trabalho de Molisani(2006) como referência para determinação das vazões dos estuários dos rios Pacoti, Cocó, Ceará e Acaraú, enquanto os valores de vazão para o rio Jaguaribe foram obtidos pela Agência Nacional de Águas(ANA, 2006).

A ANA(2006) apresenta uma série histórica das vazões do estuários do rio Jaguaribe, o qual teve bruscas alterações ao longo do tempo após as numerosas obras de açudagem na bacia

do Jaguaribe. Desse modo, considerou-se 2 valores de vazões para o estuário do rio Jaguaribe, um de 250 e outra de $50 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ para o primeiro e segundo semestre, respectivamente. A pouca variação das vazões ao longo das estações justifica a opção por valores unitários que representem um semestre inteiro.

O trabalho de Molisani(2006), por sua vez, caracteriza o aporte fluvial de água para os principais estuários do Estado do Ceará, realizando estimativas numéricas. Desse modo o trabalho estimou 2 valores de vazão para cada estuários, referente ao primeiro e o segundo semestre, respectivamente. Os valores de vazão usados para a criação do forçante com o rio são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Vazões dos rios do Estado do Ceará segundo Molinasi(2006)

Estuário	1º Semestre	2º Semestre
Jaguaribe	$250\text{m}^3\text{s}^{-1}$	$50\text{m}^3\text{s}^{-1}$
Acaraú	$31\text{m}^3\text{s}^{-1}$	$1\text{m}^3\text{s}^{-1}$
Pacoti	$19\text{m}^3\text{s}^{-1}$	$1\text{m}^3\text{s}^{-1}$
Cocó	$6\text{m}^3\text{s}^{-1}$	$3\text{m}^3\text{s}^{-1}$
Ceará	$5\text{m}^3\text{s}^{-1}$	$1\text{m}^3\text{s}^{-1}$

Fonte:ANA (2006) e Molisani (2006)

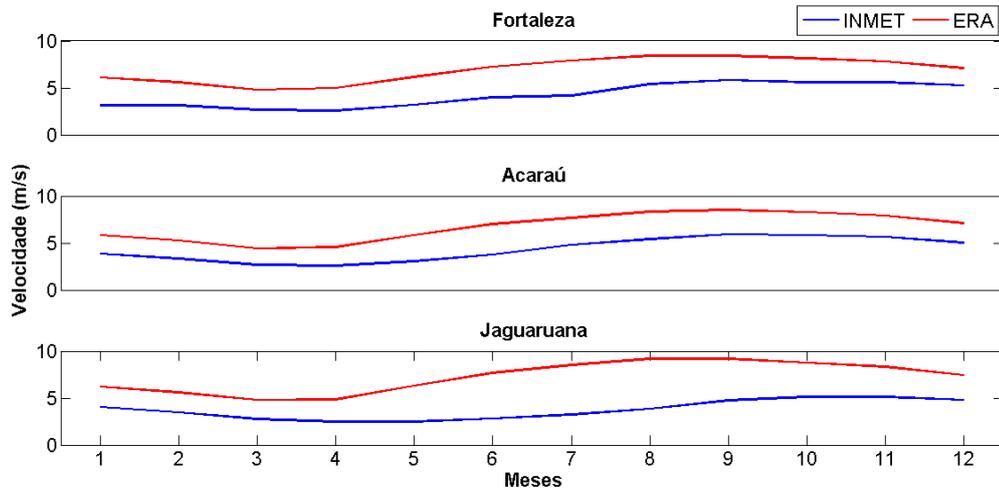
2.4 Análise dos Forçantes

Utilizando dados de ventos da estação meteorológica do Aeroporto de Fortaleza e do INMET, além de climatologias de precipitação e evaporação (FUNCEME, 2014), foi realizada uma análise da qualidade dos forçantes construídos para a modelagem na PCCE.

2.4.1 Vento

A partir das componentes u e v do vento rotacionadas, foi calculada a velocidade resultante. Desse modo, as médias mensais de velocidade do INMET e do ERA para Fortaleza (-2.82°S e -38.47°O), Acaraú (-2.82°S e -40.15°O) e Jaguaruana (-4.78°S e 37.76°O) são apresentadas na figura 7.

Figura 7: Comparação das médias mensais climatológicas das velocidades do vento do INMET e ERA para Fortaleza, Acaraú e Jaguaruana (Ce).



Fonte: O autor(2015)

De uma forma geral, os dados do ERA superestimam os dados coletados *in situ*. Contudo, quando calculadas as médias semestrais para os dados do INMET e ERA, essas diferenças são de no máximo 3.38 m/s. As diferenças entre as médias semestrais estão apresentadas nas tabelas(1),(2) e (3).

Tabela 2: Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Fortaleza)

Período	<i>in situ</i>	ERA	Diferença
1º Semestre	3.10 m/s	5.80 m/s	-2.7 m/s
2º Semestre	5.30 m/s	7.95 m/s	-2.65 m/s

Fonte:O autor (2015)

Tabela 3: Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Acaraú)

Período	<i>in situ</i>	ERA	Diferença
1º Semestre	3.19 m/s	5.48 m/s	-2.29 m/s
2º Semestre	5.42 m/s	7.96 m/s	-2.54 m/s

Fonte:O autor (2015)

Tabela 4: Comparação da intensidade do vento INMET x ERA (Jaguaruana)

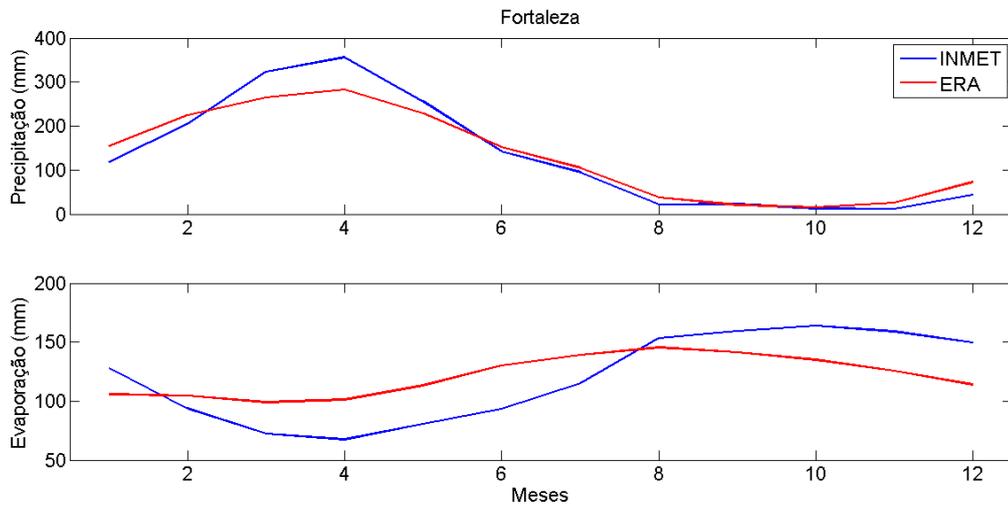
Período	<i>in situ</i>	ERA	Diferença
1º Semestre	3 m/s	5.49 m/s	-2.49 m/s
2º Semestre	4.48 m/s	7.86 m/s	-3.38 m/s

Fonte:O autor (2015)

2.4.2 Precipitação e Evaporação

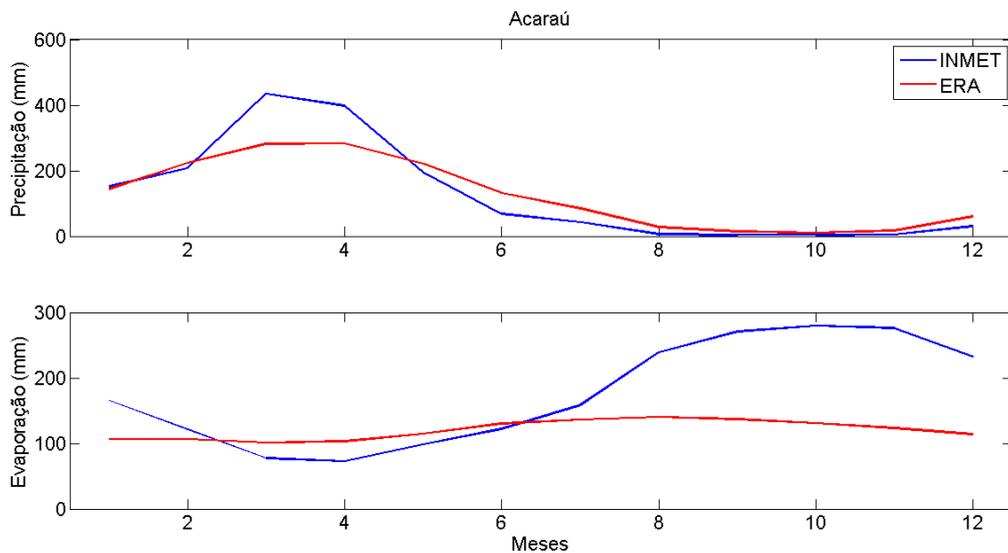
Os valores das normais climatológicas do INMET de 1961 a 1990 de Fortaleza (3.76°S e 38.6°O) e Acaraú (4.56°S e 37.76°O) (RAMOS, 2009) foram comparados com valores médios mensais climatológicos de precipitação e evaporação do ponto mais próximo às estações do ERA. As comparações são apresentadas nas figuras 8 e 9.

Figura 8: Comparação das normais climatológicas do INMET de precipitação e evaporação com o ERA (Fortaleza).



Fonte: O autor(2015)

Figura 9: Comparação das normais climatológicas do INMET de precipitação e evaporação com o ERA (Acaráú).



Fonte: O autor(2015)

Embora ambas bases de dados apresentem mesmo comportamento ao longo do ano, o ERA superestima os valores de precipitação e evaporação, salvo um momento, em Acaraú, para evaporação, quando a partir de agosto os dados passam a ser subestimados. De acordo com Ramos(2009) o balanço médio de precipitação e evaporação para Fortaleza é de 1608.4mm e 1435.2mm, enquanto para Acaraú é de 1545.2mm e 2114.8mm, respectivamente. Já o encontrado com os dados do ERA no mesmo ponto são de 2643mm e de 2422mm de precipitação e evaporação em Fortaleza, enquanto para Acaraú é de 2673.7mm e 2429mm. O resumo desses resultados são apresentados na tabela abaixo.

Os valores de precipitação e evaporação do INMET e do ERA apresentam grandes dife-

Tabela 5: Comparação entre as Normais Climatológicas de Evaporação e Precipitação do INMET e os dados do ERA (Fortaleza)

Dados	Precipitação	Evaporação	Precipitação - Evaporação
INMET	1608.4 mm	1435.2 mm	173.2 mm
ERA	2643 mm	2422 mm	221 mm

Fonte:O autor (2015)

Tabela 6: Comparação entre as Normais Climatológicas de Evaporação e Precipitação do INMET e os dados do ERA (Acará)

Dados	Precipitação	Evaporação	Precipitação - Evaporação
INMET	1545.2 mm	2114.8 mm	-569.6 mm
ERA	2673.7 mm	2429 mm	244.7 mm

Fonte:O autor (2015)

renças onde em todos os valores totais, os dados do ERA estão superestimados. Contudo, essas grandes diferenças são reduzidas quando se analisa o balanço total do fluxo de água, que consiste na diferença entre precipitação e evaporação. Para Fortaleza, a diferença entre o balanço do INMET e do ERA foi de -47.8 mm, enquanto para Acaraú foi de -325mm, onde esse valor negativo significa superestimação pelos dados do ERA.

2.5 Configuração do Modelo

O modelo foi configurado para realizar uma simulação de 10 anos em 20 níveis verticais, com um passo de tempo barotrópico de 30 segundos, enquanto que para o baroclínico foi estabelecido 90 segundos a cada passo de tempo barotrópico. A saída do modelo foi salva a cada 24 horas, a medida que as médias foram salvas em um outro arquivo em um passo de 24.8 horas de simulação. Esse valor de armazenamento das médias deve-se ao ciclo completo de uma onda de maré que é em torno de 24 horas e 50 minutos, desse modo a média elimina o efeito da maré.

Foram estabelecidas ao longo da PCCE cinco estações para avaliação dos experimentos numéricos. As estações estabelecidas foram: Acaraú, Pecém, Fortaleza e Jaguaribe, as quais apresentam saídas salvas a cada 1 hora de simulação. A maior frequência na saída das estações, propiciam uma análise com maior resolução temporal das variáveis, como por exemplo para maré, que será utilizada no processo de calibração e validação.

Após 10 anos de simulação completados, a função Diagnóstico é ativada, função essa que promove a quantificação dos termos da equação do movimento, tais como: aceleração líquida, coriolis, advecção horizontal e vertical, viscosidade horizontal e vertical, *stress* de superfície e fundo e a contribuição do gradiente de pressão.

2.6 Experimentos

Foram realizados 2 experimentos, denominados PCCE-1 e PCCE-2, os quais distinguem-se entre si em decorrência da presença unicamente do forçante de maré e da maré somado a todos os demais forçantes, respectivamente. Tais experimentos são apresentados abaixo.

2.6.1 Cenário PCCE-1

O primeiro experimento numérico da PCCE foi forçado pelo forçante de maré criado a partir do modelo *TPOX8.0*. Essa simulação tem como objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal da circulação de maré e componente residual e determinar a importância dos ciclos diurnos de maré (cheia/ vazante) nos campos de velocidade residual.

2.6.2 Cenário PCCE-2

O segundo experimento numérico da PCCE é similar ao primeiro, porém, distinguiu-se pela presença de forçantes do fluxo de água, calor e vento, além da presença das descargas fluviais dos estuários do rio Jaguaribe, Pacoti, Cocó, Ceará e Acaraú. O objetivo desse cenário é determinar a influência da variação temporal do fluxo fluvial no campo termo-halino da PCCE e na geração de circulação gravitacional; bem como investigar a importância da CNB na circulação da PCCE.

2.7 Calibração e Validação

2.7.1 Metodologia de Calibração e Validação

A incipiente disponibilidade de dados hidrodinâmicos na PCCE torna a modelagem na região um trabalho desafiador na validação e calibração do modelo. Dessa forma o presente trabalho fez uso de banco de dados disponíveis, além de resultados publicados (SOARES; CASTRO, 1996; DIAS, 2011; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

Para avaliação do campo de correntes fora da plataforma, os resultados dos primeiros 2 anos foram descartados tendo em vista que esse período foi o de estabilização do modelo. Posteriormente a saída dos 8 anos restantes foi comparada com as saídas do modelo *HYCOM/NCODA* durante os anos de 2003, 2005 e 2006 de velocidade superficial durante o 1º e 2º semestre. As velocidades na plataforma, por sua vez, foram comparadas com os dados de: Signorini(1983), Soares e Castro(1996), e Dias(2011). Signorini(1983) realizou estudo sobre as correntes de maré e de baixa frequência próxima a quebra da plataforma nordeste do Brasil, especificamente na PCCE, utilizando dados de corrente no ponto 03°06'S, 38°49,5'W. O ponto de coleta encontra-se na isóbata de 41 metros e a coleta de dados de velocidade se deu em três pontos da coluna de água, um a 8 metros da superfície, outro a 16 e 36.

Soares e Castro(1996) estudou a resposta das águas da PCCE à forçante do vento estacionário e transiente através de um modelo numérico hidrodinâmico, onde a corrente modelada descreveu o padrão da corrente observada por dados *in situ*, os mesmos utilizados por Signorini(1983).

Dias(2011) realizou um fundeio, ao largo da plataforma do rio Jaguaribe, onde foram coletados dados de correntes na posição 4°5'S e 37°35'W, numa isóbata de 30 metros, com um período de 13 de junho de 2009 até 14 de outubro de 2009, totalizando 120 dias de amostragem.

Para a comparação entre os resultados obtidos no modelo e os obtidos por Signorini(1983) e Soares e Castro(1996), foi escolhido um ponto na grade, próximo ao ponto da coleta dos dados observados, na isóbata de 37 metros, além de representar a saída do modelo no tempo equivalente ao dos dados observados, o qual estende-se de 14 de março a 23 de abril.

Dias(2011,2013), por sua vez, analisou dados de corrente, temperatura e salinidade obtidos de dois cruzeiros oceanográficos realizados na porção oeste da PCCE, região adjacente ao rio Jaguaribe, em duas condições distintas de precipitação, determinadas como estação chuvosa (1º semestre) e estação seca (2º semestre). Tais dados, junto com dados de temperatura da superfície do mar provenientes do satélite MODIS foram utilizados para a avaliação das saídas de temperatura e salinidade do modelo.

A calibração e validação da constituinte de maré deu-se por meio da comparação dos principais constituintes harmônicos obtidos a partir de dados de nível do IBGE no porto do Mucuri(3.71°S 38.48°W) e no porto do Pecém (3.54°S 38.82°O) e da FEMAR de Acaraú(-2.82°S,-40.15°O) e Jaguaribe(-4°30'S,-37°46'O).

Foi realizada uma análise harmônica dos campos de velocidade e elevação do nível com a finalidade de se quantificar o componente residual da maré (PAWLOWICZ; BEARDSLEY; LENTZ, 2002). Através da análise harmônica obteve-se os valores de amplitude e fase para as cinco principais constituintes (O1,K1,M2,S2,N2). Foi realizada o cálculo da diferença entre os dados observados e modelados através do cálculo do erro percentual, representado na equação abaixo:

$$desvio(\%) = \frac{(Obs - Mod)}{Obs} * 100 \quad (5)$$

Onde o erro é obtido pela razão da diferença entre o observado (Obs) e o modelado (Mod) pelo observado vezes 100. A partir disso, os campos das correntes de sub-maré do modelo foram comparados com a literatura para a região (SOARES; CASTRO, 1996; DIAS, 2011; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

Por fim, dados de temperatura e salinidade em 2 pontos da grade coletados por bóias ARGOS, ponto 36(-2.6450°S e -38.1660°W) e ponto 37(-2.1810°S e -39.0050°W) foram utilizados para avaliação do campo termo-halino do modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Validação

Após a realização dos cenários hidrodinâmicos no modelo, faz-se necessário a realização da validação, que consiste em uma avaliação e comparação dos resultados gerados no modelo com dados coletados *in situ*. Quando o modelo apresenta uma reprodução satisfatória nos pontos da grade onde se comparou com dados reais, considera-se que tal desempenho pode ser atribuído ao restante da grade.

Contudo, quando há divergências entre os resultados do modelo e os dados *in situ*, deve-se quantificar as diferenças e analisar as origens dos erros. Na maioria dos casos, os erros identificados no processo de validação estão associados a escala temporal dos dados e o grau da resolução do modelo (CHASSIGNET et al., 2002).

3.1.1 Nível

Os resumos das comparações entre observado e modelado dos harmônicos de maré através do cálculo do erro percentual são apresentados nas tabelas abaixo. Os dados observados são oriundos do porto do Mucuripe, Fortaleza (3° 42.9'S e 38° 28.6'W), porto do Pecém (3° 32.8'S e 38° 48.7'W), Acaraú (2° 50.0'S e 40° 08.5'W) e Jaguaribe (4° 30.0'S e 37° 46.0'W) e os modelados do ponto de grade mais próximo.

Tabela 7: Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Porto do Mucuripe(Fortaleza)

Constituintes	Amp.obs	Amp.mod	Var amp	Erro amp %	Fase obs	Fase mod	Var fase	Erro fase %
O1	0,07	0,07	0,00	0,00	252	263	-10,62	-4,21
K1	0,07	0,08	-0,01	-7,82	183	260	-77,06	-42,03
M2	0,98	0,97	0,01	0,79	140	241	-101,01	-71,95
S2	0,35	0,35	0,00	0,20	163	246	-82,73	-50,74
N2	0,22	0,21	0,02	8,03	331	241	90,55	27,35

Fonte:O autor (2015)

Tabela 8: Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Porto do Pecém

Constituintes	Amp.obs	Amp.mod	Var amp	Erro amp %	Fase obs	Fase mod	Var fase	Erro fase %
O1	0,08	0,07	0,01	10,77	251	265	-14	-5,59
K1	0,08	0,08	0,00	0,00	184	261	-77	-41,80
M2	0,91	0,99	-0,08	-8,91	140	243	-103	-73,25
S2	0,30	0,35	-0,05	-18,18	163	247	-84	-51,58
N2	0,20	0,21	-0,01	-7,58	174	242	-68	-38,91

Fonte:O autor (2015)

Na estação do porto do Mucuripe, Fortaleza, as componentes diurnas de maré (O1 e K1), apresentam erros percentuais que oscilam entre 0% em O1 a -7,82% em K1, de modo que essa última encontra-se superestimada pelo modelo. As demais constituintes, semidiurnas, apresentam um padrão de subestimação variando de 0,20% em S2 a 8,03% em N2. Para as

fases, de um modelo geral o modelo superestimou as mesmas, com exceção da componente harmônica N2, que apresentou erro percentual positivo de 27,35%.

Na estação do porto do Pecém, de um modo geral, as amplitudes das componentes harmônicas diurnas variam entre 0% em K1 e 10,77% em O1, havendo desse modo subestimação da última. Para as amplitudes semidiurnas, o modelo superestima em todas as constituintes, com variação do erro percentual oscilando entre -7,58% em N2 a 18,18% em S2. As fases analisadas no Pecém, apresentam um padrão de superestimação para todas as componentes, com erros variando entre -5,59% em O1 a -73,25% em M2.

Tabela 9: Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Acaraú

Constituintes	Amp.obs	Amp.mod	Var amp	Erro amp %	Fase obs	Fase mod	Var fase	Erro fase %
O1	0,04	0,08	-0,04	-93,25	238	268	-30	-12,72
K1	0,09	0,09	0,00	0,00	260	259	1	0,43
M2	0,94	1,04	-0,10	-10,69	233	246	-13	-5,65
S2	0,29	0,36	-0,07	-25,61	258	253	5	1,93
N2	0,24	0,23	0,01	4,11	153	246	-93	-60,63

Fonte:O autor (2015)

Tabela 10: Comparação dos harmônicos de maré modelados (mod) e observados (obs) - Jaguaribe

Constituintes	Amp.obs	Amp.mod	Var amp	Erro amp %	Fase obs	Fase mod	Var fase	Erro fase %
O1	0,06	0,06	-0,01	-10,00	193	259	-66	-33,94
K1	0,07	0,07	0,00	0,00	230	261	-31	-13,32
M2	0,86	0,88	-0,02	-2,73	137	237	-100	-73,16
S2	0,27	0,31	-0,05	-17,28	158	241	-83	-52,42
N2	0,23	0,19	0,04	17,85	177	236	-59	-33,51

Fonte:O autor (2015)

Na estação do Acaraú, ocorre a maior diferença entre amplitudes observadas e modeladas, na componente O1 com um valor de -0,04, caracterizando uma superestimação de quase o dobro do observado, embora para a outra componente diurna, K1, obteve-se um erro percentual de 0%. Nas componentes semidiurnas, somente na constituinte N2 há subestimação do modelo, nas restantes (M2 e S2) o modelo superestima as amplitudes.

Por fim, a estação do Jaguaribe apresenta comportamento similar nas amplitudes em relação as outras estações, de um modo geral superestimando, com exceção em K1 com 0% e em N2 com 17,82% de erro percentual. As fases, por sua vez, encontram-se superestimadas em todas as componentes, cenário similar ao obtido para o porto do Pecém.

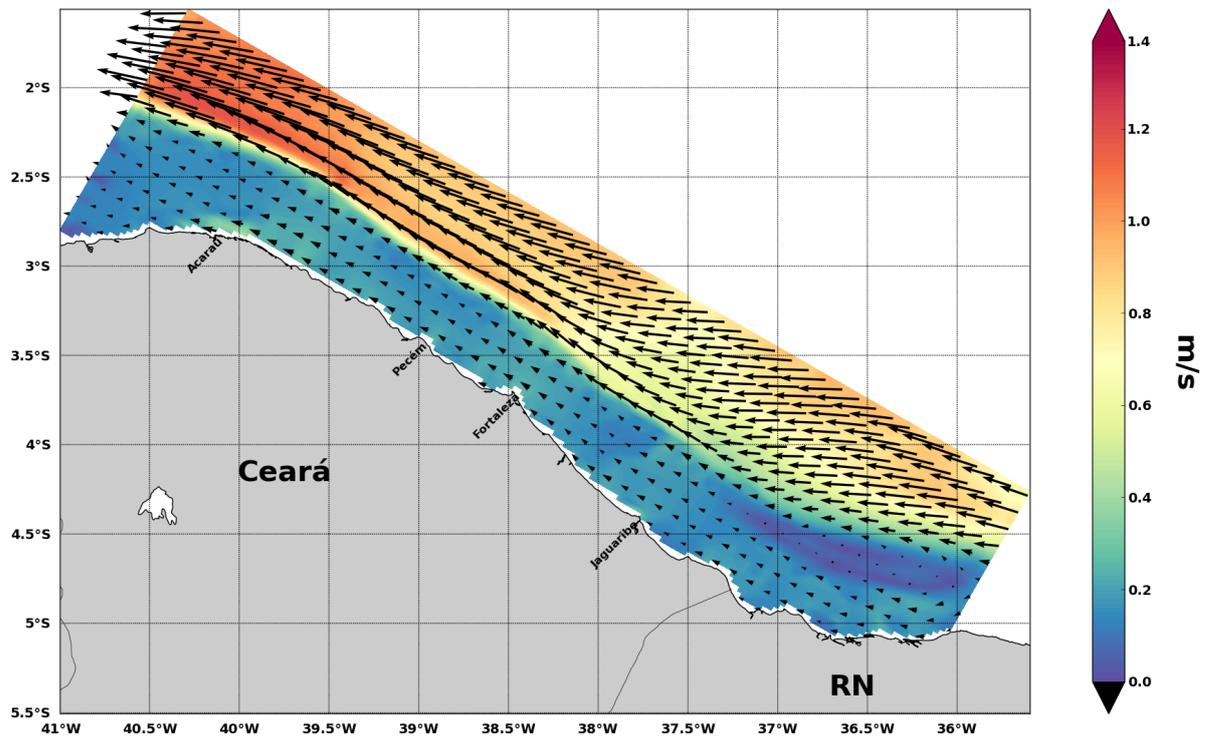
3.1.2 Correntes

3.1.2.1 Fora da Plataforma

A CNB circunda a porção norte da grade do modelo da PCCE, após a quebra da plataforma. A CNB constitui uma corrente de contorno oeste no oceano Atlântico, importante no transporte de água e calor através do Equador para o hemisfério norte. A sazonalidade de seu transporte é evidenciada com máximo entre Julho e Agosto com 36 Sv e decrescendo ao longo do ano até o mínimo ser atingido entre abril e maio com 13 Sv (JOHNS; LEE, 1998).

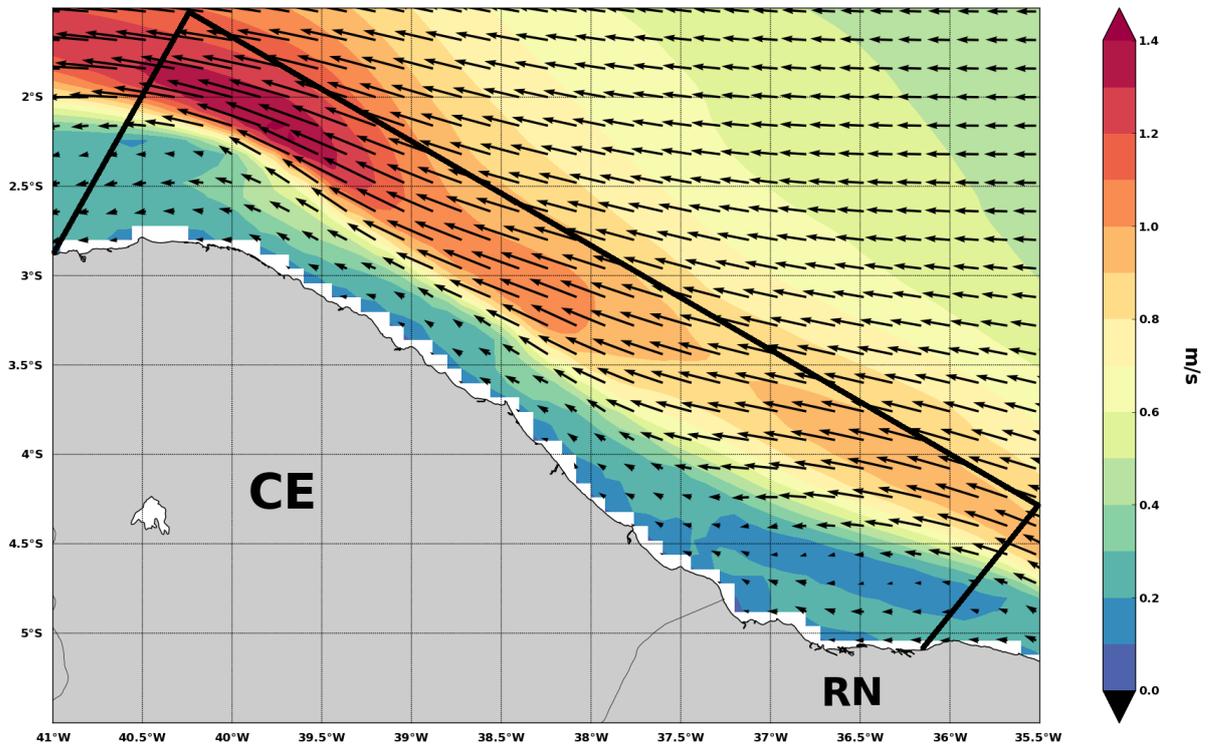
Embora os objetivos da modelagem do presente trabalho constituem-se no entendimento da dinâmica na plataforma, a representação da CNB no modelo torna-se importante para validação e qualificação do modelo, como também para avaliações da sua influência na hidrodinâmica da PCCE. Desse modo, as saídas do HYCOM/NCODA servirão para análise da reprodução da sazonalidade semestral da intensidade da corrente no modelo. Tais comparações são apresentadas nas figuras 10 e 11, onde as cores representam a intensidade da corrente em metros por segundo e as setas a direção da mesma.

Figura 10: Intensidade média da corrente superficial de 8 anos de simulação do modelo PCCE - 1º Semestre.



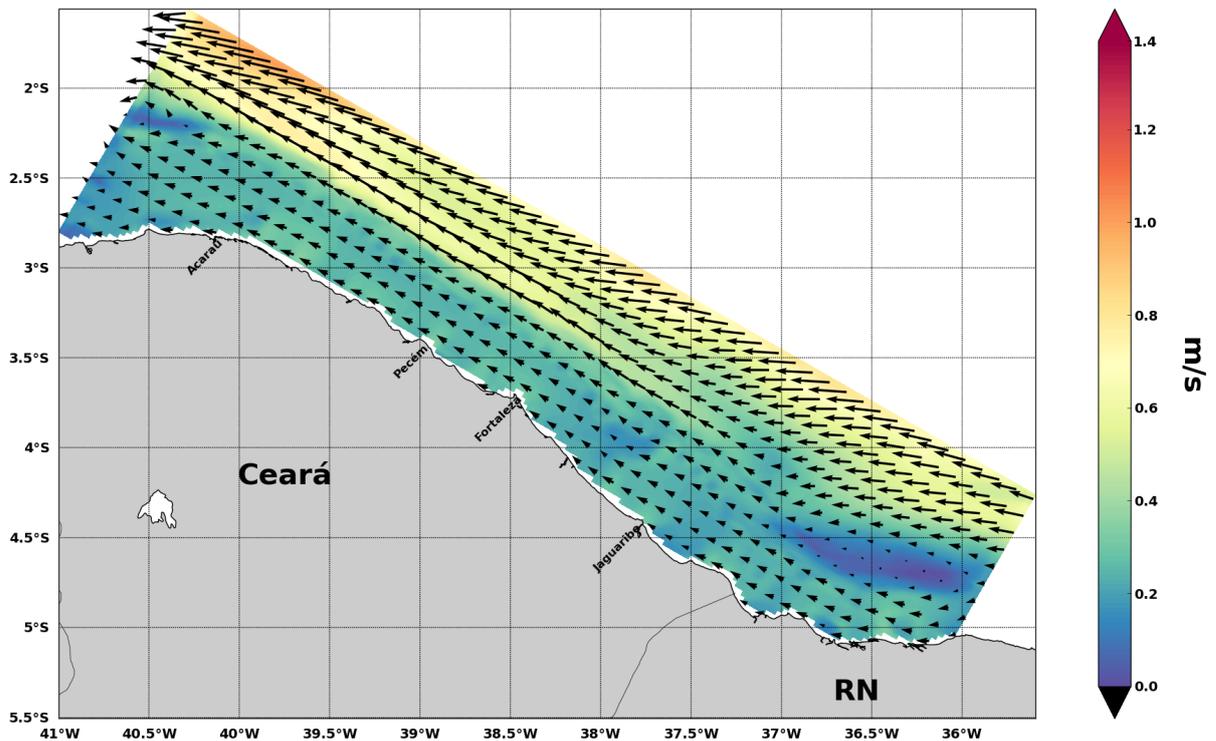
Fonte: O autor(2015)

Figura 11: Intensidade média da corrente superficial do modelo HYCOM/NCODA dos anos de 2003, 2005 e 2006 - 1º Semestre.



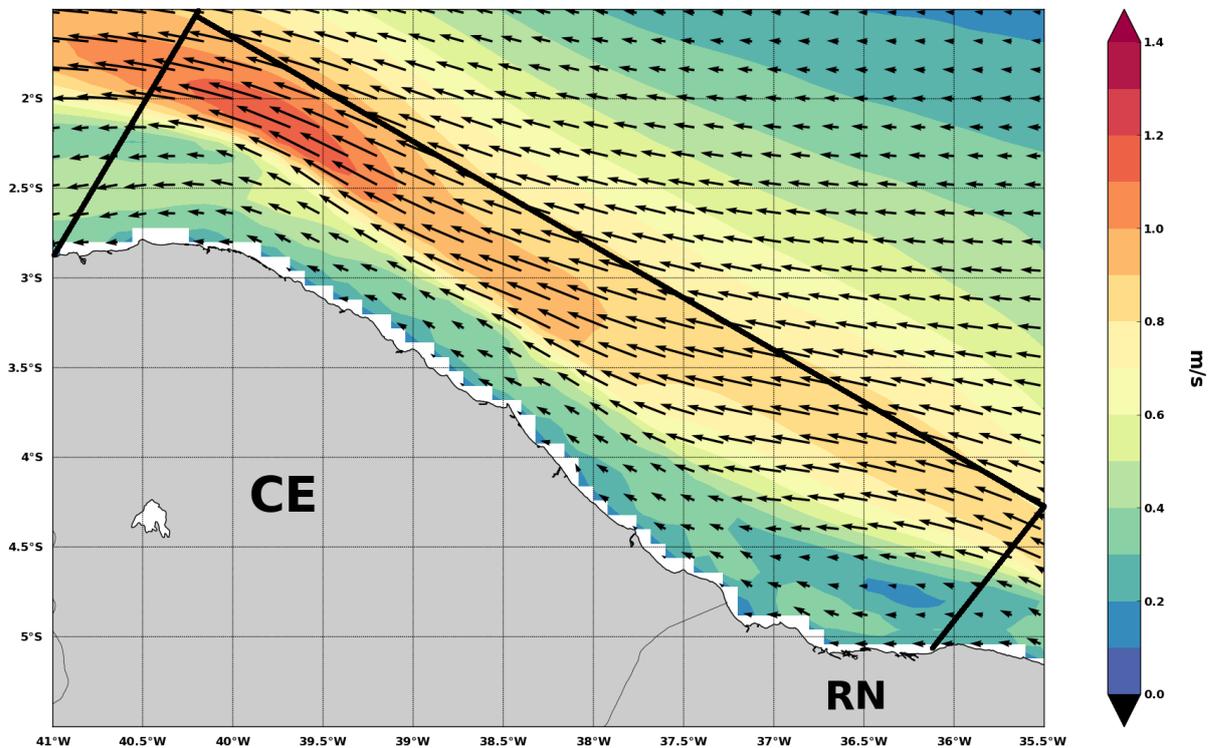
Fonte: O autor(2015)

Figura 12: Intensidade média da corrente superficial de 8 anos de simulação do modelo PCCE - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 13: Intensidade média da corrente superficial do modelo HYCOM/NCODA dos anos de 2003, 2005 e 2006 - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Avaliando a média do primeiro semestre, é perceptível a maior intensidade da CNB, principalmente na porção noroeste da grade do modelo, com velocidades máximas de 1.2 m/s, cenário similar representado pela saída do HYCOM/NCODA, embora nesse as velocidades máximas na mesma direção atingem picos 1.4 m/s. No segundo semestre a intensidade da corrente é menor, com máximo de 1.1, m/s e 1.2 m/s para o modelo da PCCE e do HYCOM/NCODA, respectivamente. Tal comportamento sazonal corrobora com as estimativas geostróficas de Silveira *et al*(1994), de uma CNB mais forte no primeiro semestre e fraca no segundo.

3.1.2.2 Plataforma Continental

Para o campo de correntes na plataforma, as saídas do modelo foram comparadas com os dados publicados por Signorini(1983), Soares e Castro(1996), e Dias(2011).

O trabalho de Dias(2011) descreve que as componentes de maré, no período de chuva, são mais importantes para a componente normal de velocidade, explicando até 65% de sua variância, enquanto na componente paralela a maré explica 30% da variabilidade. Essa condição é observada no modelo, no qual encontra-se valores de 87.6%, e 45.2% para as componentes normal e paralela, respectivamente. No período de seca, Dias(2011) apresenta que as correntes de maré explicam 85% da variância da componente normal e 21% da componente paralela. No modelo, para o mesmo período, a explicação da corrente de maré é de 98% e 38% para a componente normal e paralela, respectivamente. As diferenças entre os valores percentuais

do modelo e do observado devem-se provavelmente ao fato de o modelo ter sido forçado com valores médios climatológicos de *stress* de vento que são em geral menos intensos do que os observados por Dias(2011).

As comparações entre as variações de velocidades de maré na componente normal e paralela para estação de chuva e seca em uma estação do modelo próximo ao fundeio realizado por Dias(2011) são apresentadas nas tabelas 10 e 11 abaixo.

Tabela 11: Comparação das Correntes de maré (m/s) do modelo PCCE e observado por Dias(2011) - Chuva

	SUPERFÍCIE			
	Normal (modelo)	Normal (observado)	Diferença (Normal)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.26	-0.4	0.14	35
Máximo	0.28	0.37	0.09	24
	Paralela (modelo)	Paralela (observado)	Diferença (Paralela)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.05	-0.2	0.15	75
Máximo	0.05	0.2	0.15	75
	FUNDO			
	Normal (modelo)	Normal (observado)	Diferença (Normal)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.1	-0.02	0.08	400
Máximo	0.1	0.02	0.08	400
	Paralela (modelo)	Paralela (observado)	Diferença (Paralela)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.03	-0.02	-0.01	50
Máximo	0.03	0.02	-0.01	50

Fonte: O autor(2015)

Tabela 12: Comparação das Correntes de maré (m/s) do modelo PCCE e observado por Dias(2011) - Seca

	SUPERFÍCIE			
	Normal (modelo)	Normal (observado)	Diferença (Normal)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.31	0.31	0	0
Máximo	0.31	0.31	0	0
	Paralela (modelo)	Paralela (observado)	Diferença (Paralela)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.05	-0.2	0.15	75
Máximo	0.06	0.2	0.14	70
	FUNDO			
	Normal (modelo)	Normal (observado)	Diferença (Normal)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.2	-0.06	-0.14	233
Máximo	0.2	0.06	-0.14	233
	Paralela (modelo)	Paralela (observado)	Diferença (Paralela)	erro percentual (%)
Mínimo	-0.03	-0.02	-0.01	50
Máximo	0.03	0.02	-0.01	50

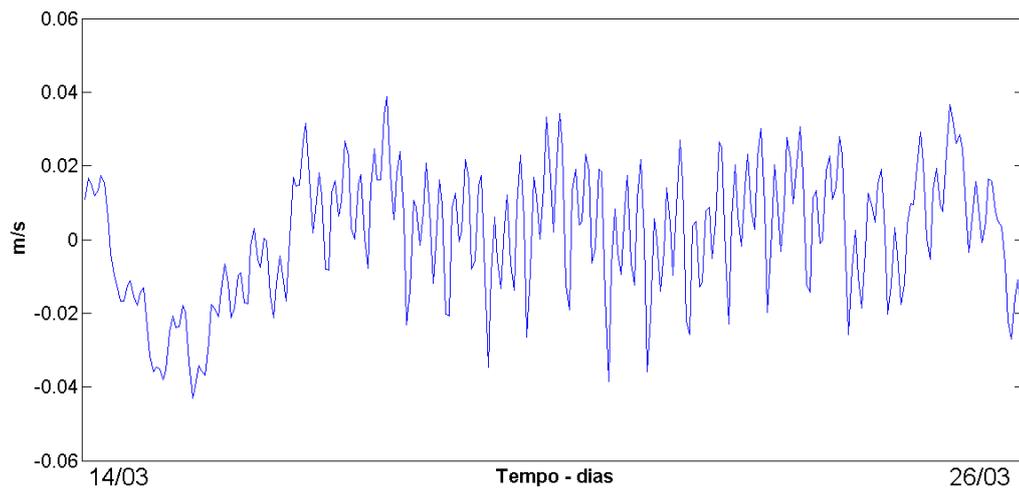
Fonte: O autor (2015)

De um modo geral o modelo subestima os valores observado por Dias(2011), com diferenças variando de 0 a 0,15 m/s. Contudo, ressalta-se a situação para as componentes normal no fundo e componentes paralela na superfície, nas quais existem uma discrepância com relação aos dados do Dias(2011) e o modelo; acarretando erros de 400% e 233%. Essas grandes diferenças não são observadas nas comparações com os dados de Soares e Castro(1996) e Signorini(1983), como será discutido a seguir. Acredita-se que Dias(2011) apresentou as componentes normal no fundo e paralela na superfície trocadas.

Usando velocidades de vento de 6.7 m/s e 7.5 m/s para meses de inverno e verão, respectivamente Soares e Castro(1996) apresenta velocidade modeladas e observadas para a componente paralela de 0.1 e 0.15 m/s, respectivamente. No modelo da PCCE, a componente paralela sem maré apresentou uma variação de mínimo e máximo de -0.02 e 0.13. Na componente normal, Soares e Castro(1996) encontrou valores modelados e observados em torno de 0.05 m/s. Essas últimas não chegam a ser zero por duas razões: variação topográfica e a forma da costa não retilínea; o que proporciona condições para a geração de gradientes de pressão. Na PCCE, a componente normal, sem a maré, apresentou variação de -0.02 e 0.04, respectivamente.

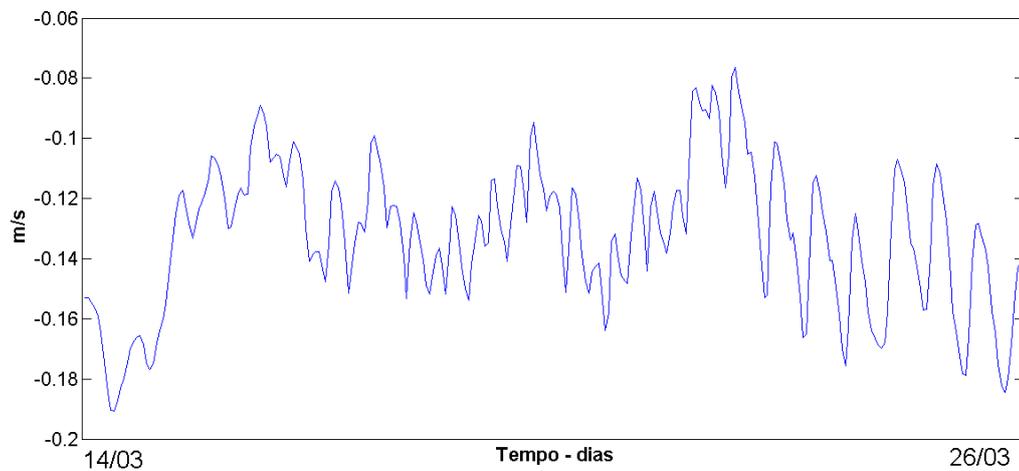
Dessa forma, ambas as componentes, normal e paralela, apresentaram valores próximos ao encontrado pelos dados observados de Soares e Castro(1996). As figuras 14 e 15 abaixo representam as variações da componente normal e paralela sem a maré do modelo ao largo de Jaguaribe, na isóbata de 37 metros, durante o período equivalente de observações apresentado por Soares e Castro(1996), de 14 a 26 de março.

Figura 14: Componente Normal de velocidade do modelo PCCE sem maré - Integrada na coluna de água



Fonte: O autor(2015)

Figura 15: Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE sem maré - Integrada na coluna de água

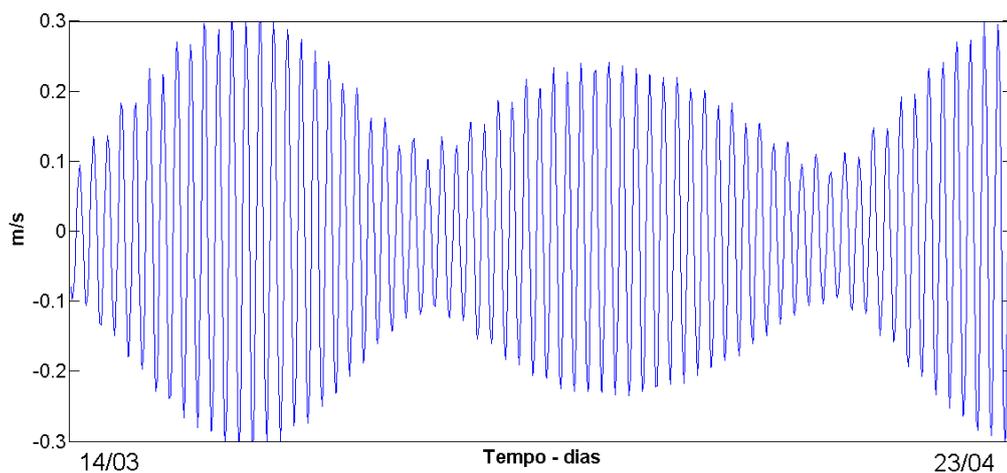


Fonte: O autor(2015)

Os valores negativos da componente paralela de velocidade indicam predominância de um fluxo ao longo da plataforma para Noroeste, condição de direção encontrado por Dias(2011) e Soares e Castro(1996).

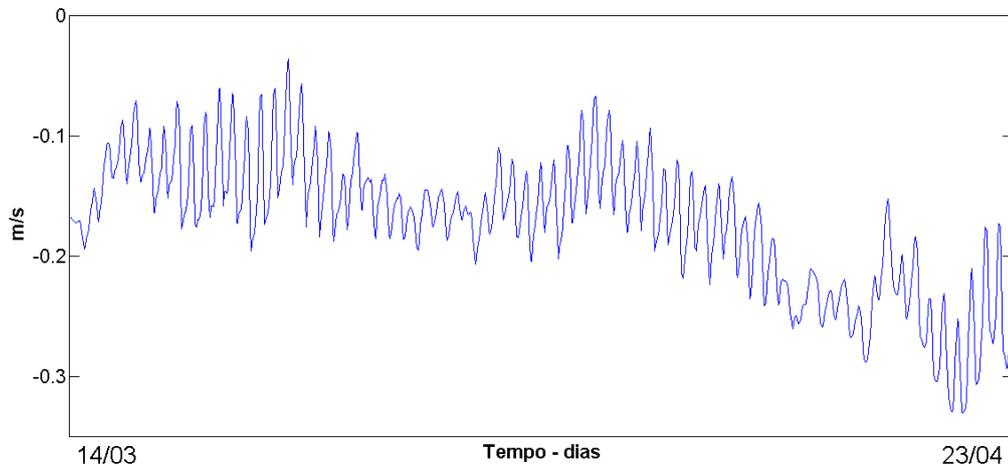
Para a comparação com os dados observados apresentados por Signorini(1983), foram utilizados as componentes normais e paralelas com maré. As variações temporais da componente normal e paralela de velocidade na superfície em um ponto do modelo ao largo de Jaguaribe, na isóbata de 37 metros, durante o período 14 de março a 23 de abril são apresentadas nas figuras 16 e 17, respectivamente.

Figura 16: Componente Normal de velocidade do modelo PCCE com maré - Superfície



Fonte: O autor(2015)

Figura 17: Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE com maré - Superfície

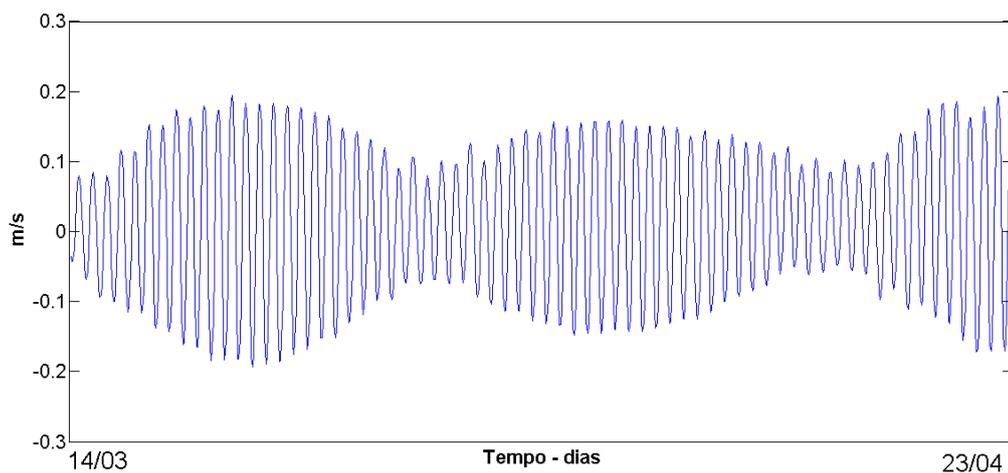


Fonte: O autor(2015)

Na superfície, a componente normal de velocidade do modelo oscilou entre -0,3 e 0,3 m/s, enquanto para a componente paralela, os valores foram de -0,03 e -0,33 m/s. Os valores de oscilações de ambas as componentes ao longo do tempo na superfícies são similares aos apresentados por Signorini(1983).

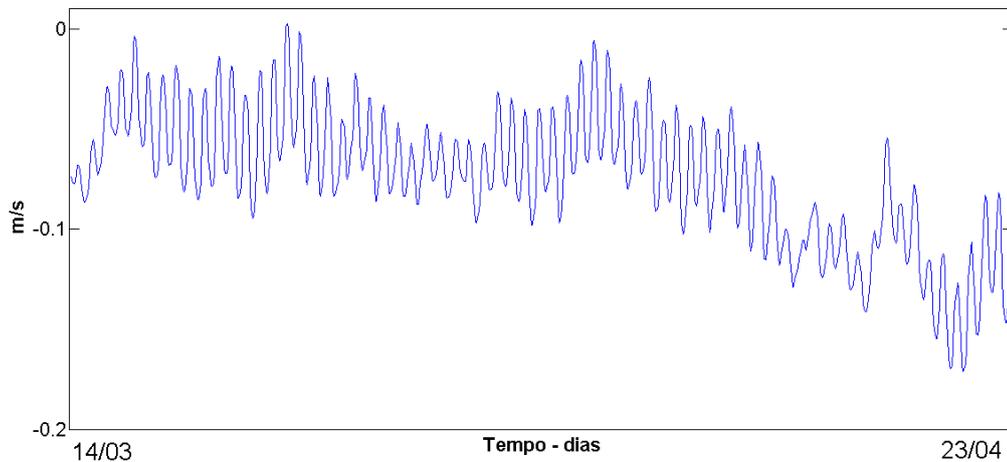
Por sua vez, as variações temporais da componente normal e paralela de velocidade no fundo na mesma isóbata e período são apresentadas nas figuras 18 e 19.

Figura 18: Componente Normal de velocidade do modelo PCCE com maré - Fundo



Fonte: O autor(2015)

Figura 19: Componente Paralela de velocidade do modelo PCCE com maré - Fundo



Fonte: O autor(2015)

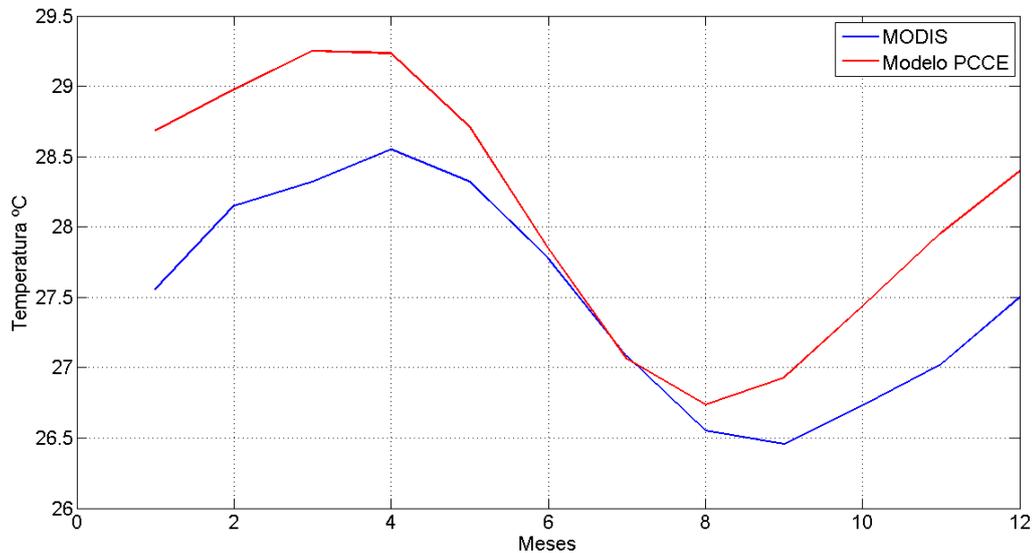
No fundo, o modelo gerou velocidades da componente normal variando entre -0.2 e 0.2 m/s. Tal variação é similar a apresentada pelos dados observados médios de Signorini(1983), embora existam picos na sizígia de 0.3 m/s no trabalho citado. Para a componente paralela, os valores oscilaram entre 0 a -0.17 m/s. Tal cenário subestima o módulo do valor máximo de 0.25 m/s encontrado por Signorini(1983). Contudo, o modelo representa de forma adequada um fluxo na maior parte do tempo em direção noroeste, algo representado pelos valores negativos de velocidade.

As diferenças constatadas no processo de calibração são esperadas, haja vista o modelo estar sendo forçado por valores climatológicos de vento, em geral mais fracos do que os observados. Desconsiderando os valores dúbios apresentados por Dias(2011) para a componente normal no fundo e paralela na superfície; o modelo apresenta comportamento quantitativo próximo aos campos de velocidade apresentados por Signorini(1983) e Soares e Castro(1996) nas citadas componentes e demais. Dessa forma, considera-se que o modelo represente de forma satisfatória qualitativamente e quantitativamente as correntes na PCCE.

3.1.3 Temperatura e Salinidade

A variação climatológica mensal de temperatura da saída do modelo PCCE ao largo de Fortaleza, foi comparada com dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtidos por sensoriamento remoto oriundo do satélite MODIS. A comparação é representada na figura 20.

Figura 20: Comparação da TSM do MODIS e do Modelo PCCE.



Fonte: O autor(2015)

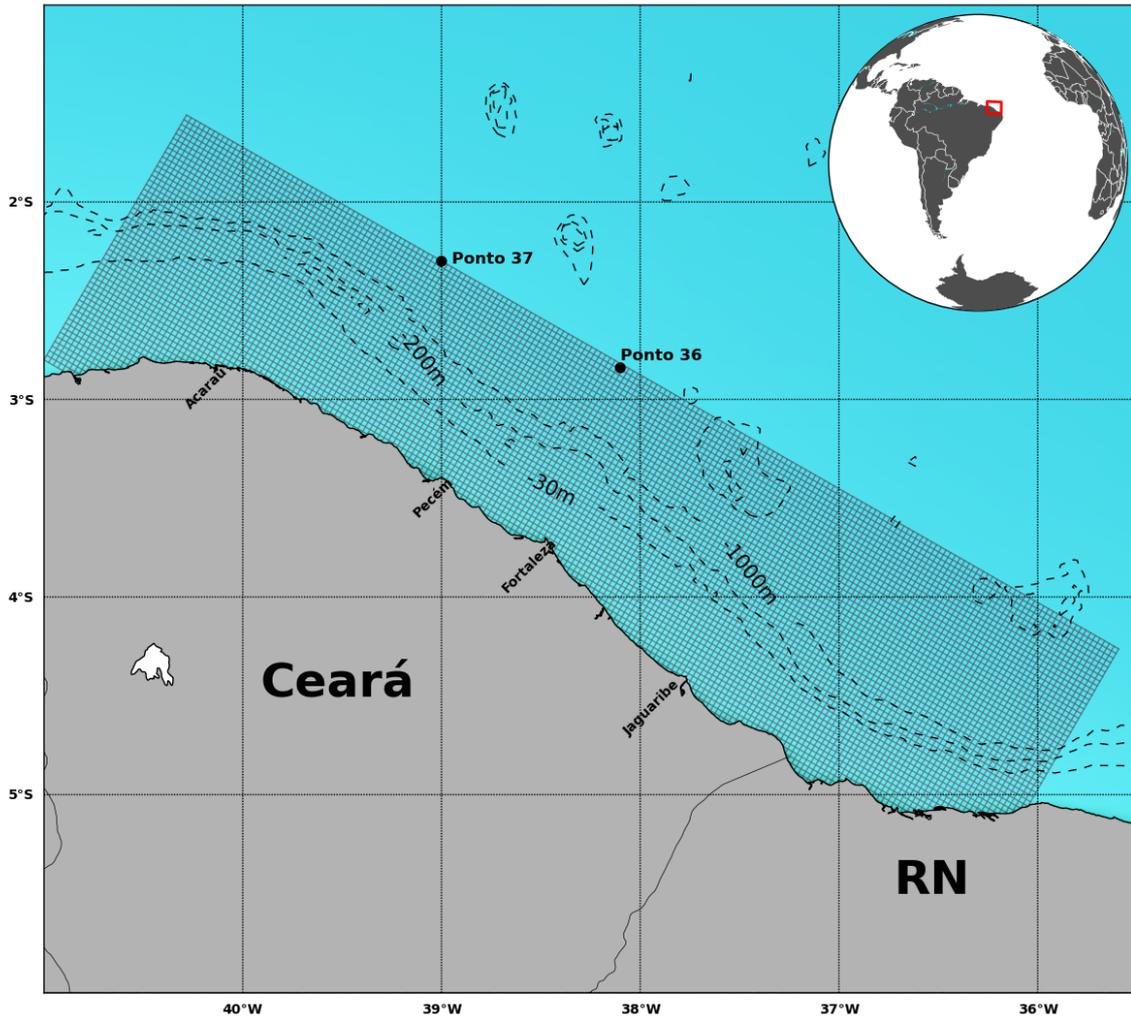
O valor máximo registrado pelo MODIS foi de 28.5°C, enquanto a saída do modelo da PCCE apresentou máxima de 29.2°C, uma diferença -0.7°C. A mínima do MODIS é de 26.4°C, enquanto o modelo gerou temperaturas mínima de 26.7°C, apresentando dessa forma diferença de -0.3°C.

Contudo, de um modo geral, o modelo representa de forma adequada a variação de temperatura ao longo do ano, com maiores temperaturas no primeiro semestre, máximas em abril, enquanto no segundo semestre, período de maior intensidade dos ventos, há temperatura mais amenas, com mínimos em torno do meses de agosto e setembro.

A validação da estrutura vertical de temperatura e salinidade no modelo da PCCE, foi realizada através da comparação dos dados de duas bóias ARGOS.

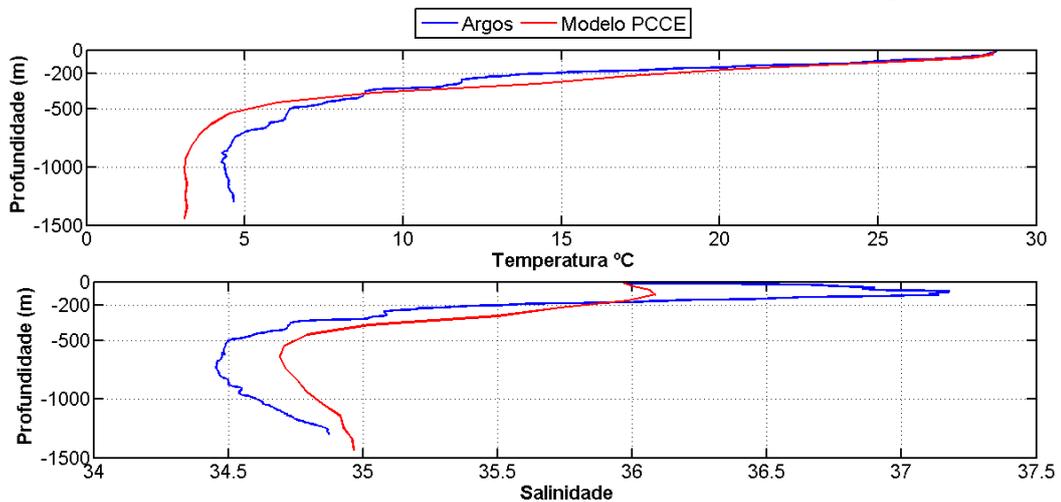
Os pontos de grade mais próximos às posições dessas bóias, bem como as comparações entre os perfis de temperatura e salinidade dos pontos 36 e 37 ARGOS juntamente com a saída do modelo são apresentadas nas figuras 21,22 e 23.

Figura 21: Mapa de localização das bóias 36 e 37 ARGOS.



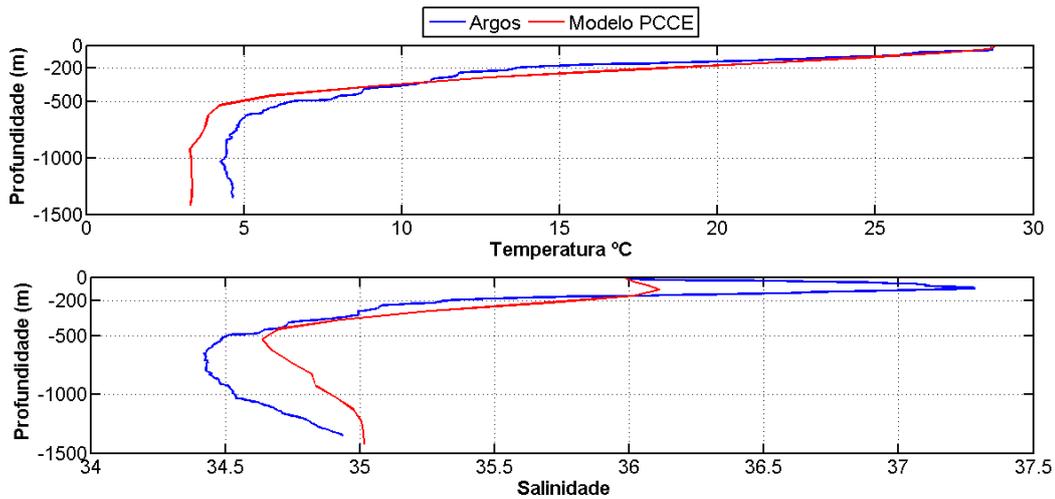
Fonte: O autor(2015)

Figura 22: Comparação da temperatura e da salinidade entre o ponto 36 Argos e modelo PCCE.



Fonte: O autor(2015)

Figura 23: Comparação da temperatura e da salinidade entre o ponto 37 Argos e modelo PCCE.



Fonte: O autor(2015)

A partir dessas comparações, pode-se afirmar que o modelo representa de forma satisfatória a estrutura térmica vertical da área em questão em ambos os perfis até uma profundidade de 500 metros. O modelo também representa de forma correta a profundidade da termoclina, em torno de 150 a 200 metros. Contudo, abaixo de 500 metros o modelo apresenta uma subestimação de 1.13°C no primeiro perfil e de 0.95°C no segundo perfil.

Em tratando-se da salinidade, o modelo representa de forma qualitativamente satisfatória a variação da estrutura halina vertical, com a haloclina delimitada na profundidade de 150 metros. Contudo subestima os valores máximos de salinidade de subsuperfície no em torno de 100 metros de profundidade. Acredita-se que este problema advém da condição de contorno utilizada.

Para avaliar os valores de salinidade e temperatura do modelo na plataforma, foram utilizados 3 pontos na grade nas isóbatas de 10, 30 e 40 metros, de modo a delimitar a plataforma em interna (PI), média (PM) e externa (PE), respectivamente. Tais pontos foram pré-determinados ao largo do Jaguaribe, de modo a possibilitar as comparações com Dias(2011) e Dias(2013). O resumo das salinidades e temperaturas médias da isóbata de 30 metros ao largo de Jaguaribe no primeiro e segundo semestre são apresentadas nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Comparação entre a Salinidade média do modelo PCCE e a de Dias(2013) na PI, PM e PE

	1ºSemestre - Modelo		1ºSemestre - Observado		2ºSemestre - Modelo		2ºSemestre - Observado		Diferença
Salinidade Média	34.46		32.99		35.74		36.73		
									0.99
Salinidade Média	35.51		35.53		36.2		36.25		-0.05

Fonte:O autor (2015)

De forma geral, em comparação com Dias(2013), o modelo superestima a salinidade no primeiro semestre, com diferença máxima de 1.47 unidade de salinidade, enquanto subestima no segundo semestre, com diferença máxima de 0.9 unidade de salinidade. Entretanto, para a PM/PE, o modelo subestima a salinidade em ambos os semestres com diferenças pequenas

quando comparadas ao da PI. De um modo geral, o modelo representa a salinidade na plataforma de forma similar aos dados observados por Dias(2013).

Tabela 14: Comparação entre a Temperatura média do modelo PCCE e a de Dias(2013) na PI, PM e PE

	PI					
	1ºSemestre - Modelo	1ºSemestre - Observado	Diferença	2ºSemestre - Modelo	2ºSemestre - Observado	Diferença
Temperatura Média	28.87°C	29.05°C	-0.18°C	27.73°C	27.68°C	0.05°C
	PM/PE					
Temperatura Média	28.64°C	28.04°C	0.6°C	27.4°C	27.0°C	0.4

Fonte: O autor (2015)

O modelo representa de forma adequada a sazonalidade dos campos médios de temperatura na plataforma, com as maiores ocorrendo no primeiro semestre, enquanto o segundo semestre caracteriza-se com temperaturas mais amenas, sazonalidade essa constatada pelos dados de Dias(2011). De um modo geral o modelo superestima os valores de temperatura observados por Dias(2011).

A maior parte das diferenças constatadas na validação devem-se ao fato de o modelo estar sendo forçado por campos de dados climatológicos. Dessa forma, conclui-se que o modelo representa de forma satisfatória as sazonalidades e escalas de variação dos campos termohalinos e hidrodinâmicos na PCCE.

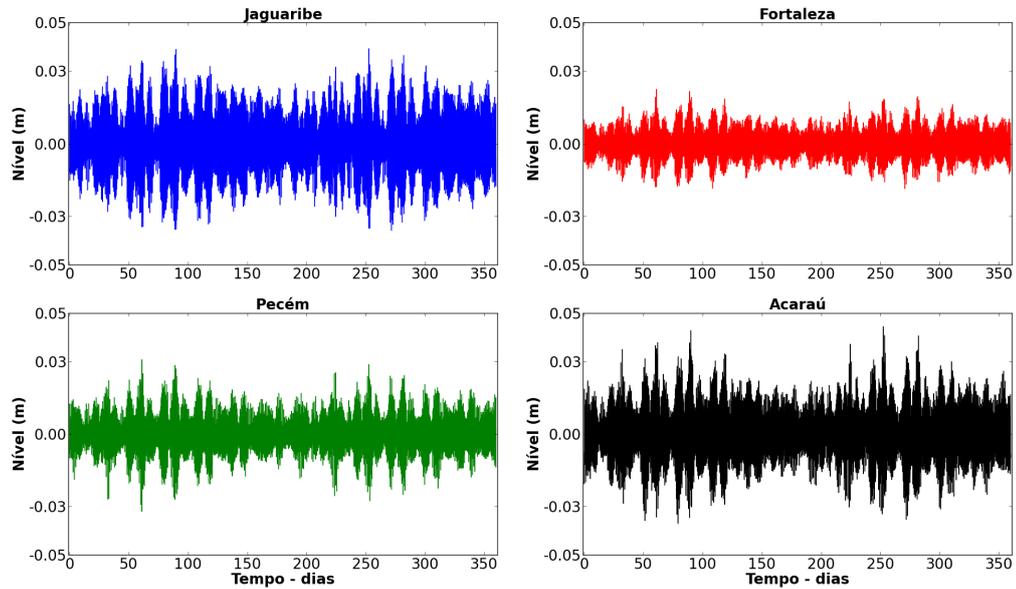
3.2 Circulação Residual de Maré

A maré na PCCE será avaliada a partir da saída do cenário PCCE-1, o qual foi forçado apenas pela componente de maré gravitacional.

Nas plataformas continentais a interação entre constituintes de maré de diferentes períodos, as diferenças de tempo entre os picos de enchente e de vazante e as restrições causadas pela morfologia de fundo e da linha de costa, contribuem para a produção de distorções e assimetrias das elipses de maré, que por sua vez irão originar as marés residuais e as correntes residuais de maré (WRIGHT, 1999).

Para a PCCE, através da análise harmônica foi realizada a retirada da componente astronômica de maré, obtendo-se assim a componente de circulação residual. As séries temporais de um ano de maré residual nas estações de Jaguaribe, Fortaleza, Pecém e Acaraú, advindas do cenário PCCE-1, são apresentadas na figura 24.

Figura 24: Maré Residual do modelo nas estações de Jaguaribe, Fortaleza, Pecém e Acaraú.

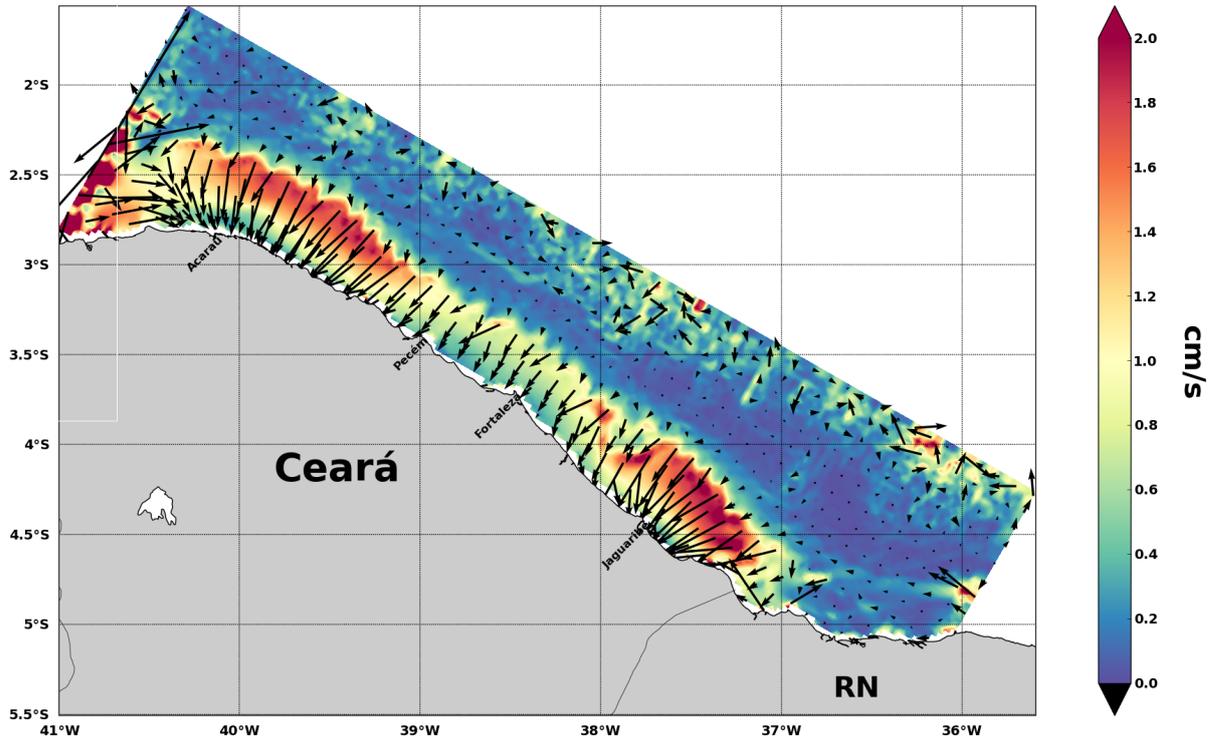


Fonte: O autor(2015)

As maiores variações de maré residual foram constatadas nas estações de Jaguaribe e Acaraú, ambas com oscilações entre -0.03 e 0.04, enquanto as demais estações, Fortaleza e Pecém, apresentaram variações mais modestas. Fortaleza apresentou uma maré residual oscilando em mínimos e máximos de -0.01 a 0.02, enquanto Pecém apresentou mínimos e máximos de -0.03 e 0.03, respectivamente. A escala de oscilação da maré residual em torno de 0,05 metros na PCCE corrobora com a variância padrão para áreas do oceano tropical (PUGH, 1987).

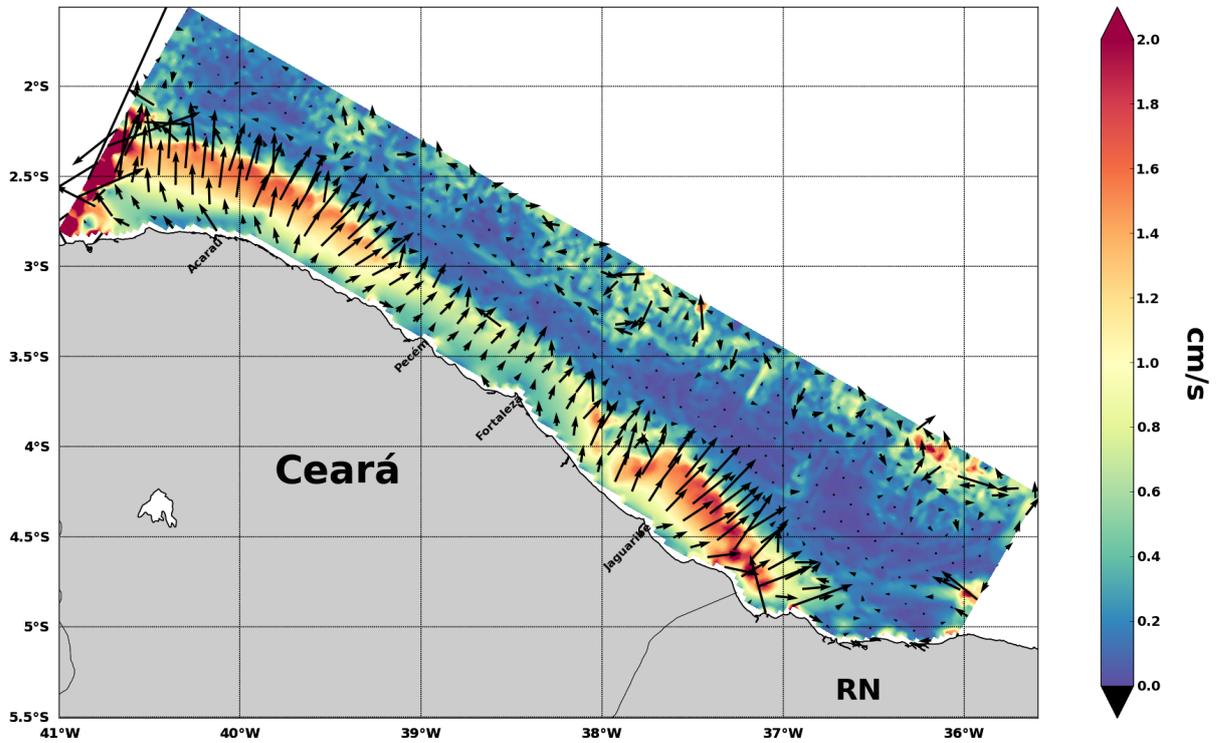
De um modo geral, as correntes de maré residual apresentam direções bem definidas e velocidades na escala de cm/s (WRIGHT, 1999). Por isso as variações das correntes residuais de maré ao longo da PCCE estão apresentadas nas figuras 25,26,27 e 28 na respectiva escala de grandeza.

Figura 25: Correntes de maré residual de enchente do modelo - Sizígia.



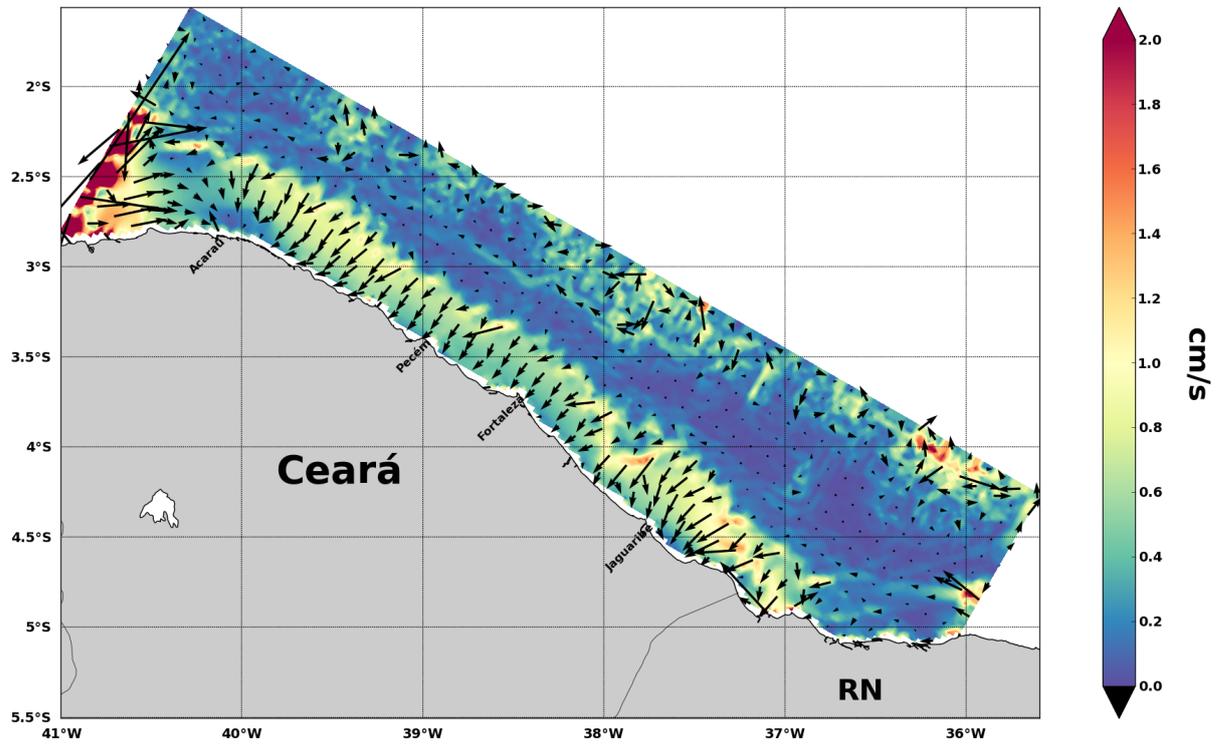
Fonte: O autor(2015)

Figura 26: Correntes de maré residual de vazante do modelo - Sizígia.



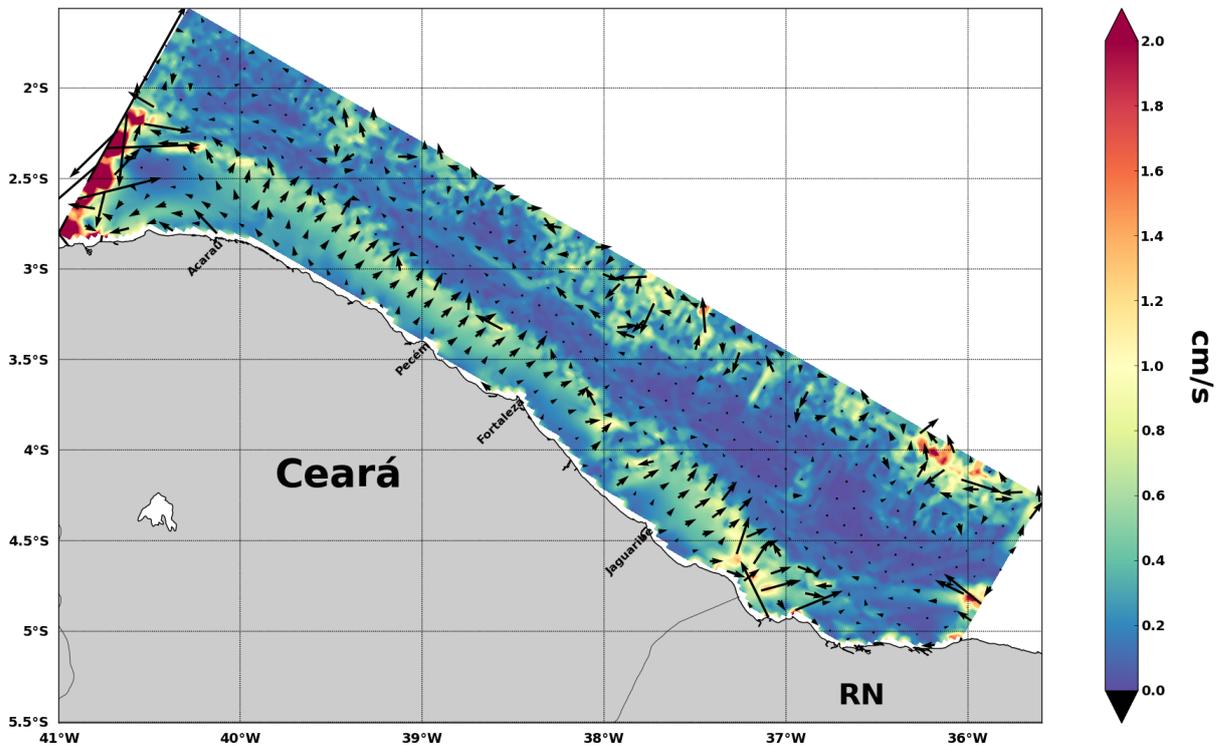
Fonte: O autor(2015)

Figura 27: Correntes de maré residual de enchente do modelo - Quadratura.



Fonte: O autor(2015)

Figura 28: Correntes de maré residual de vazante do modelo - Quadratura.



Fonte: O autor(2015)

Assim como definido por Wright(1999), as correntes de maré residuais ao longo da PCCE

apresentaram direções bem definidas durante os fluxos de enchente e vazante, com velocidades mais intensas para os picos de enchente do que para a vazante, tanto em período de sizígia como em quadratura. Contudo, as intensidades máximas e mínimas foram distintas para os 2 referidos períodos, onde na sizígia a velocidade oscila entre 0 cm/s e 2.0 cm/s, enquanto para a quadratura a variação ficou entre 0 cm/s e 1.2 cm/s. Esses valores de mínimos e máximos são apresentados desconsiderando os picos de velocidades no contorno oeste da grade, causados por instabilidades numéricas da condição de contorno do modelo.

É perceptível que as velocidades apresentam intensidade crescente a medida que se aproximam da costa, tal fato ocorre em decorrência das menores profundidades e conseqüentemente, maior interação entre a onda de maré e o fundo. Contudo, existem duas exceções da figura 25 à 28 em relação à maiores velocidades próximas à costa. A primeira ocorre no contorno norte da grade, ao largo da plataforma do Rio Grande do Norte e a segunda localiza-se ao largo de Fortaleza, próximo a quebra da plataforma. Nesses dois pontos é perceptível velocidades em torno de 0.6 cm/s, enquanto ao redor as velocidades são nulas. Esta situação deve-se a morfologia de fundo, onde ao largo do Rio Grande do norte tem-se o Banco Sirius, enquanto ao largo de Fortaleza, após a quebra da plataforma, tem-se o Platô do Ceará (MARTINS; COUTINHO, 1981), feições essas que exercem influência na interação do fundo com a onda de maré e, conseqüentemente, na circulação residual de maré.

Em uma análise anual, esse cenário de variabilidade espacial da circulação residual de maré não apresenta mudanças significativas, tendo em vista que a interação entre as correntes de maré e a morfologia da plataforma serão similares (CHENG; GARTNER, 1985). Outro aspecto relevante sobre as correntes residuais é que mesmo apresentando velocidades muito baixas (2cm/s) comparadas com as velocidades de maré (40cm/s), essas podem ser significativamente consideráveis para a movimentação de material sedimentar na plataforma ou para populações de peixes que usam a corrente para poupar energia em seus deslocamentos (WRIGHT, 1999).

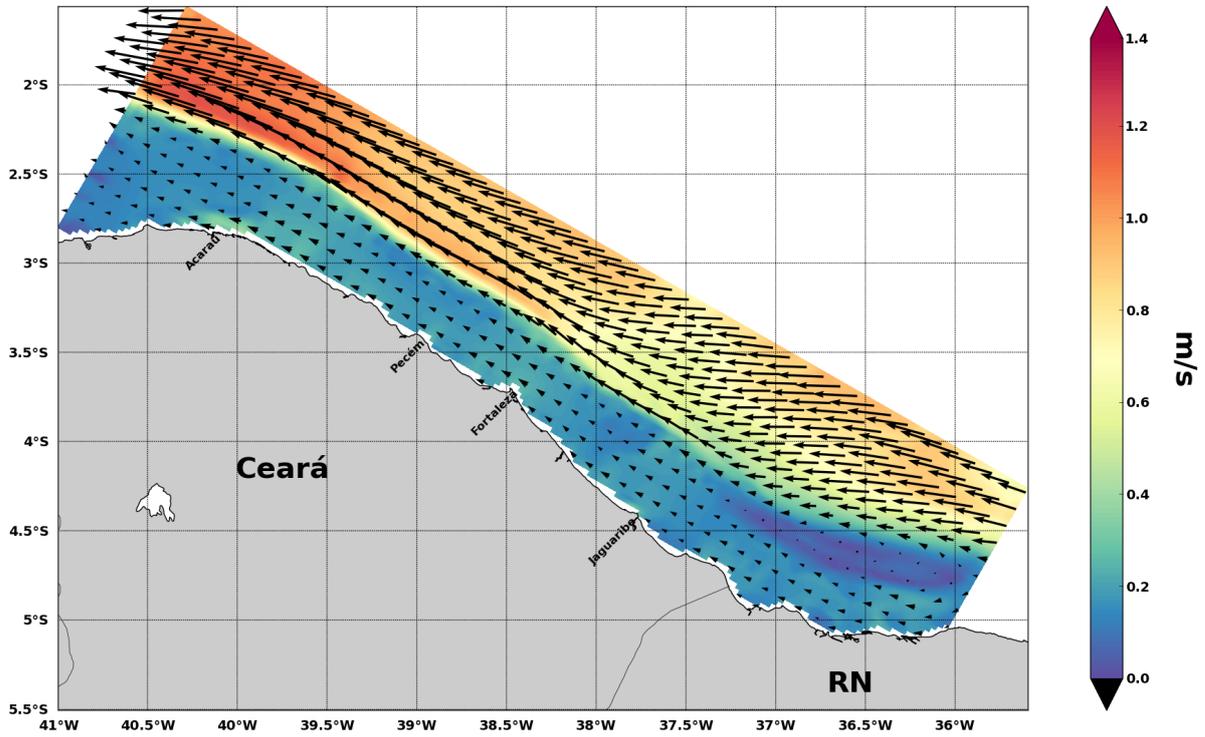
3.3 Circulação induzida pelo vento e componentes termo-halinas

Essa seção e suas respectivas subseções tratam dos resultados advindos do cenário hidrodinâmico PCCE-2, o qual apresenta forçantes a partir do fluxo de água, calor e vento, bem como da presença das descargas fluviais dos estuários do rio Jaguaribe, Pacoti, Cocó, Ceará e Acaraú. A escala temporal dos processos na plataforma continental tratados nessa seção são submaregráficos.

3.3.1 Correntes

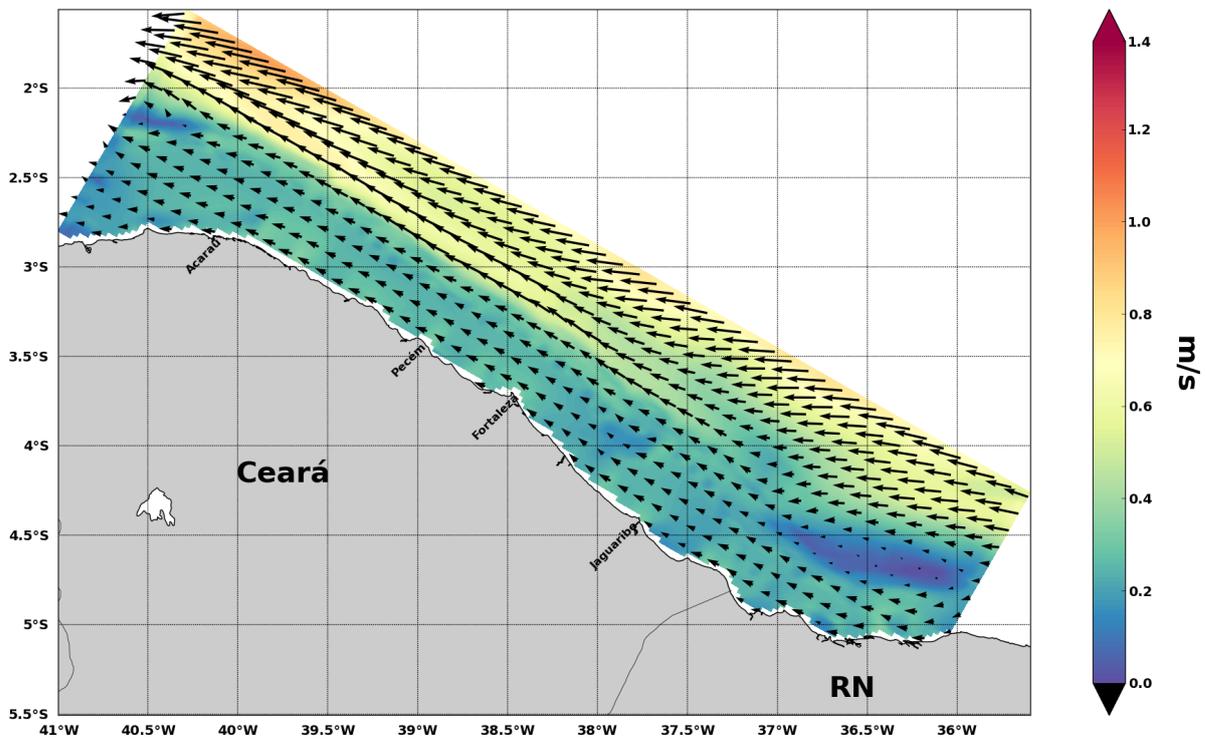
A distribuição dos campos de velocidade de superfície e de fundo ao longo da PCCE estão representados nas figuras 29,30, 31 e 32.

Figura 29: Circulação superficial submaré média - 1º Semestre.



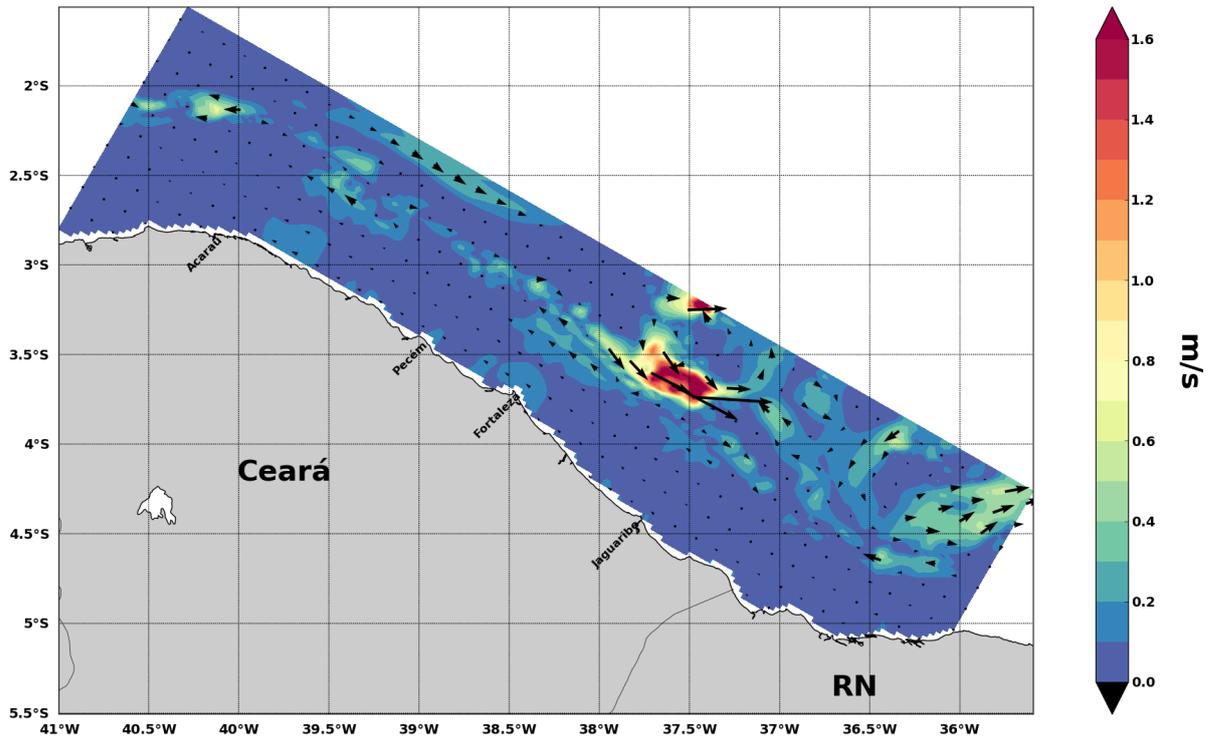
Fonte: O autor(2015)

Figura 30: Circulação superficial submaré média - 2º Semestre.



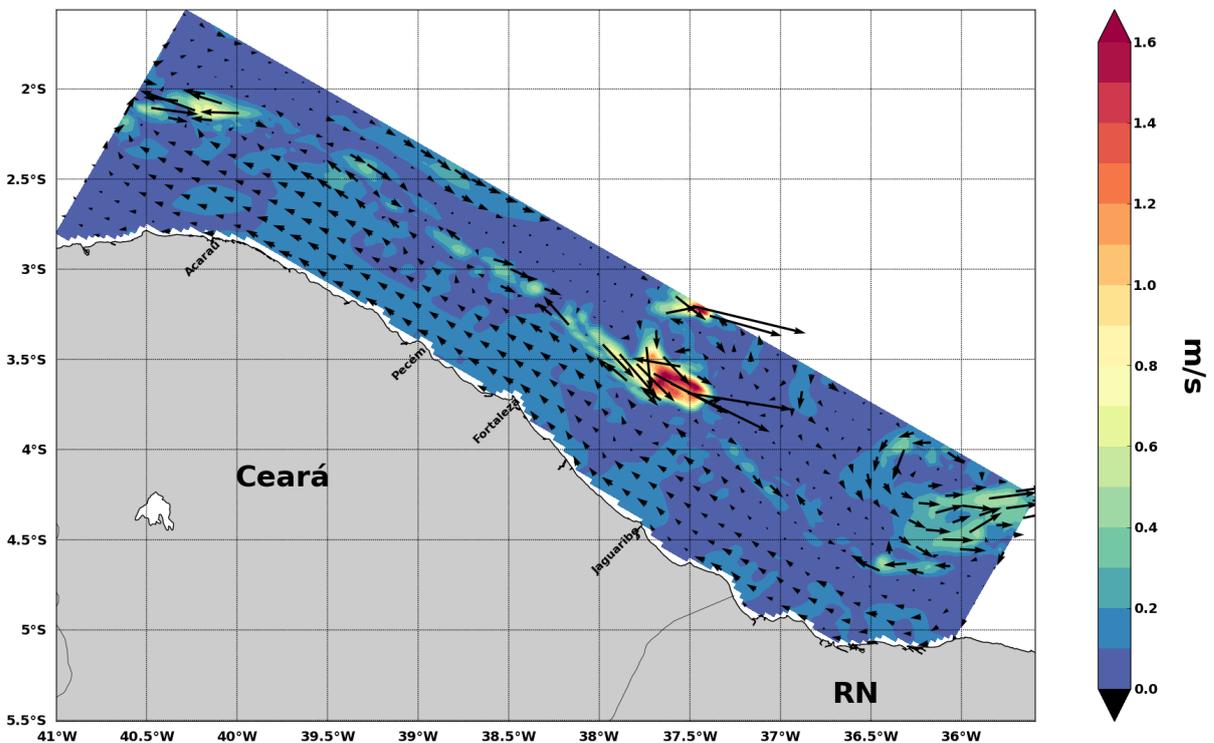
Fonte: O autor(2015)

Figura 31: Circulação de fundo submaré média - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 32: Circulação de fundo submaré média - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Na superfície, onde encontra-se a CNB, constata-se as velocidades máximas de 1.4 m/s

a 1.1 m/s no primeiro e segundo semestre, respectivamente. Esse cenário condiz com a variabilidade da intensidade da CNB, que apresenta máximo transporte durante os meses de Julho e Agosto e decresce ao longo do segundo semestre atingindo seu mínimo nos meses de abril e maio (JOHNS; LEE, 1998).

Para a PCCE as velocidades superficiais caracterizaram-se menos intensas no primeiro semestre, com um predomínio de intensidades de 0.2 m/s a 0.3 m/s, enquanto que no segundo semestre a variação foi de 0.4 m/s a 0.5 m/s. Tal cenário é produto, sobretudo, da variação sazonal da direção e da intensidade dos ventos na região, que tornam-se mais intensos no segundo semestre, como demonstrado na figura 4. Embora apresentem intensidades distintas, ambos semestres apresentaram um fluxo das correntes paralelo as isóbatas e em direção noroeste. Esse comportamento hidrodinâmico corrobora com levantamentos anteriores realizados para a PCCE (SOARES; CASTRO, 1996; DIAS, 2011).

As correntes de fundo na PCCE apresentaram comportamento similar ao das correntes superficiais, com uma dinâmica de fundo mais intensa durante o segundo semestre. No primeiro semestre, as velocidades de fundo na plataforma atingiram valores entre 0 m/s a 0.1 m/s. Contudo, embora existam picos de 0.1 m/s durante esse período, a maior parte da plataforma apresenta velocidades em torno 0 m/s 0.05 m/s. Tais valores são correspondentes as velocidades de fundo observadas no trabalho de Signorini e Miranda (1983) durante os meses de março e abril. Durante o segundo semestre, os valores mínimos e máximos para a plataforma são 0 m/s e 0.2 m/s. A maior intensidade dos ventos característica do período, propicia uma maior intensidade das correntes de fundo e um maior domínio ao longo da plataforma de velocidades da ordem de 0.1 m/s a 0.2 m/s.¹

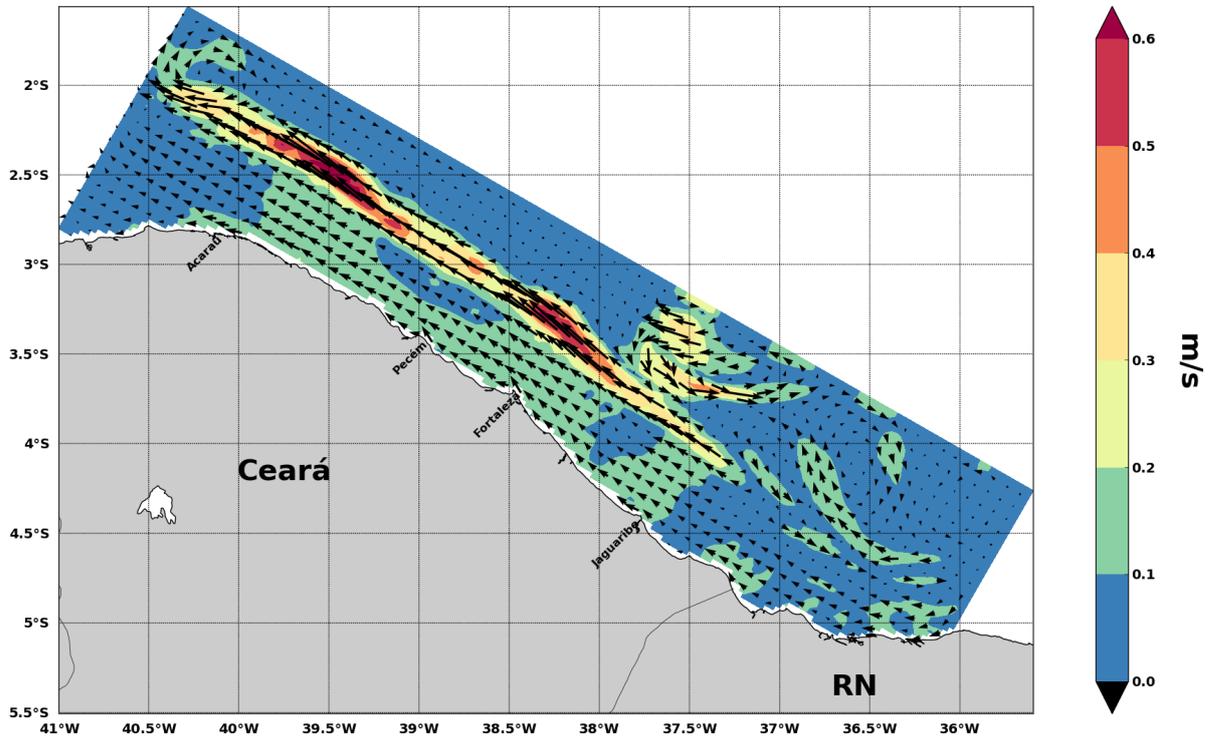
A interação entre a circulação na plataforma induzida pelo vento e a topografia costeira tem forte efeito na hidrodinâmica de águas rasas (CASTELAO; BARTH, 2006, 2007).

Embora não seja o foco do trabalho, ao largo de Fortaleza, próximo a quebra da plataforma, encontra-se um monte submarino com topo plano, profundidade de 230 a 260 metros, denominado Platô do Ceará (COUTINHO, 1996). Nesta região é constatado picos de velocidade de fundo da ordem 1.6 m/s nas figuras 31 e 32 com setas que indicam a direção de um vórtice, o qual não foi relatado anteriormente na literatura científica.

Essa instabilidade hidrodinâmica em decorrência da forma do fundo foi identificada também durante a análise do campo de maré residual, da figura 25 à 28. A circulação próxima a quebra da plataforma apresenta maior influência da circulação oceânica, no caso da CNB, de modo que o fluxo que antes seguia em uma profundidade da ordem de 1500 metros, passa no Platô do Ceará para uma profundidade 230 metros, como referido por Coutinho (1996), causando a formação de vórtices e outras instabilidades hidrodinâmicas.

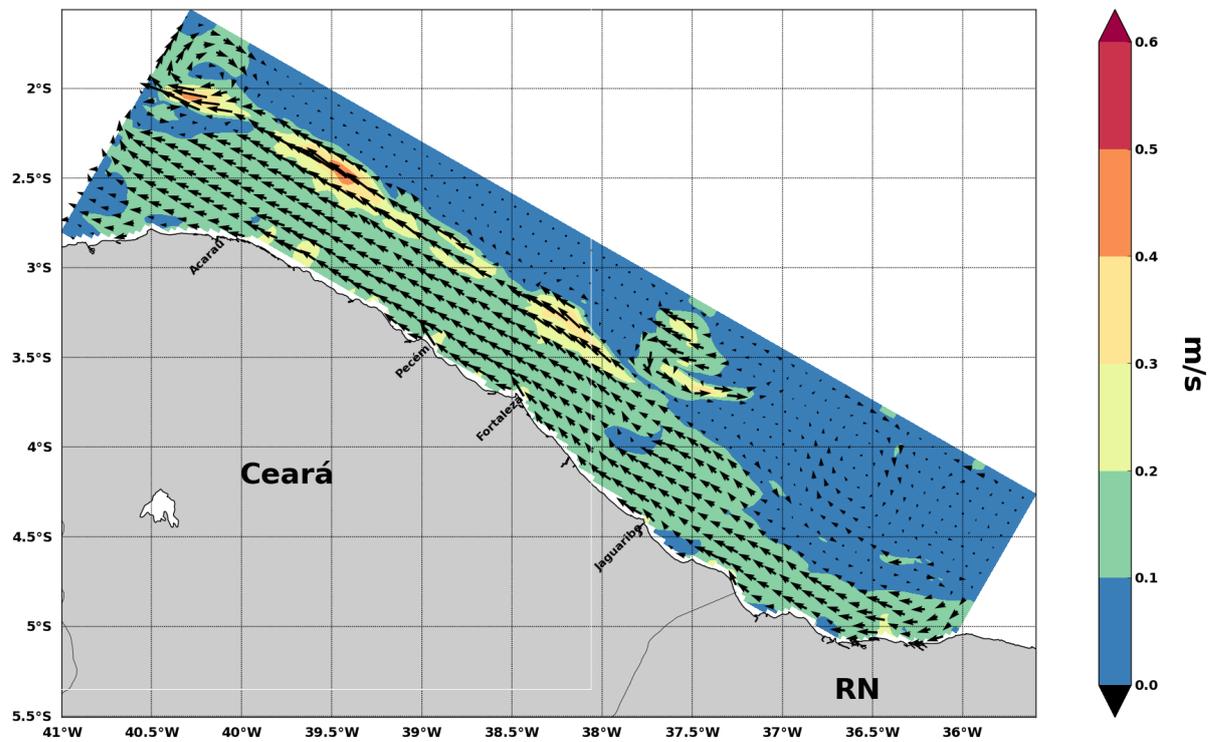
As correntes integradas na coluna de água apresentadas nas figuras 33 e 34 representam claramente o vórtice citado e a sazonalidade da circulação na PCCE.

Figura 33: Corrente integrada submaré média - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 34: Corrente integrada submaré média - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

A circulação integrada na coluna de água segue comportamento similar aos campos de

velocidade de superfície e de fundo discutidos anteriormente, com velocidades mais intensas no segundo semestre do que no primeiro. Além da maior intensidade, o segundo semestre apresenta um campo de velocidade de 0.2 m/s a 0.3 m/s quase que uniforme, diferente do primeiro semestre no qual a menor intensidade dos ventos faz com que grandes áreas fiquem caracterizadas com velocidades entre 0 m/s e 0.1 m/s.

Por outro lado, o campo de velocidade da circulação adjacente à PCCE apresentou maior intensidade durante o primeiro semestre em relação ao segundo, seguindo desse modo o comportamento sazonal da intensidade da CNB.

As correntes integradas tornam mais clara a estrutura do vórtice com um giro no sentido anti-horário e que denominaremos aqui de Vórtice do Ceará. Tal cenário faz total sentido físico, tendo em vista que correntes oceânicas interagem com os montes submarinos e criam variabilidade considerável no fluxo (BOEHLERT, 1988). Dessa forma, os efeitos físicos podem gerar vórtices de mesoescala que alteram padrões de fluxo à distâncias significativas dos montes submarinos (ROYER, 1978).

Vorticidade consiste em uma característica cinemática do fluxo de um fluido, o qual expressa a tendência de porção do fluido rotar (POND; PICKARD, 1983a). Quando esta grandeza é medida em relação a rotação da terra é denominada Vorticidade Relativa (VR). Desse modo, vórtices circunvizinhos a montes submarinos podem ser entendidos pelo princípio de conservação da Vorticidade Potencial (VP) representado na equação(7) abaixo, onde f representa Coriolis ou Vorticidade Planetária, D a profundidade e ζ é a Vorticidade Relativa (VR), de modo que essa relação deve-se manter constante.

$$VP = \frac{(\zeta + f)}{D} \quad (6)$$

Considerando f constante, tem-se que quando o fluxo aproxima-se do Platô do Ceará, a profundidade irá decrescer, de modo a induzir um decréscimo na VR para que se possa manter um equilíbrio. Contudo, quando a corrente atravessa o monte submarino ocorrerá um aumento na profundidade (D), que por sua vez acarretará em um incremento na VR, de modo a manter a VP constante (KAMENKOVICH, 1986). Esse incremento na VR propicia a formação do Vórtice do Ceará.

Embora o objetivo do trabalho seja o entendimento da hidrodinâmica na plataforma continental, instabilidades hidrodinâmicas como esse Vórtice do Ceará desempenham importantes papéis em processos oceanográficos na interface plataforma e oceano. Segundo Coutinho (1996), por exemplo, essa morfologia movimentada da plataforma (altos fundos, recifes e platôs) entre o Cabo São Roque e Fortaleza podem causar ressurgências orográficas, constituindo dessa forma importantes áreas para pesca.

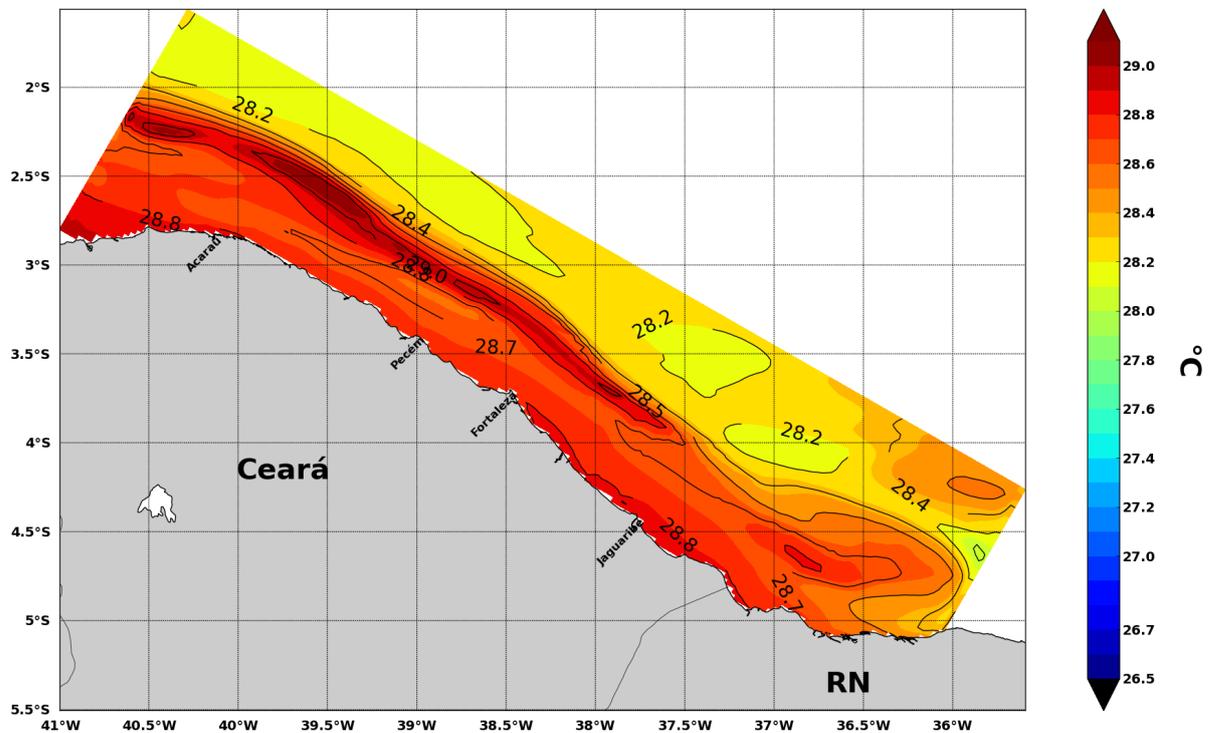
3.3.2 Campo Termo-halino

Nesta seção serão apresentadas as médias semestrais das variações de temperatura, salinidade e densidade na superfície e fundo utilizando as saídas do modelo a partir do 3º ano de simulação. Isso deve-se ao fato de que os dois primeiros anos caracterizam-se como período de estabilização.

3.3.2.1 Temperatura

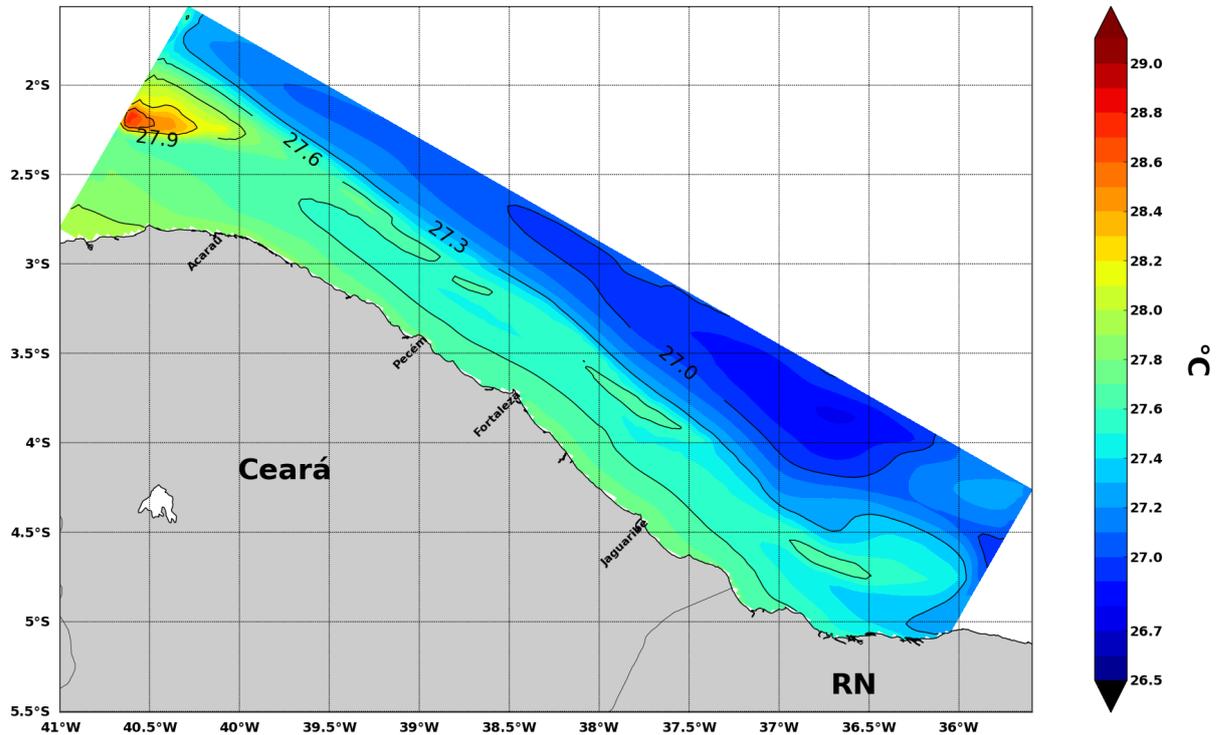
As médias semestrais das variações de temperatura superficial ao longo da PCCE estão apresentadas nas figuras 35 e 36.

Figura 35: Temperatura superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 36: Temperatura superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

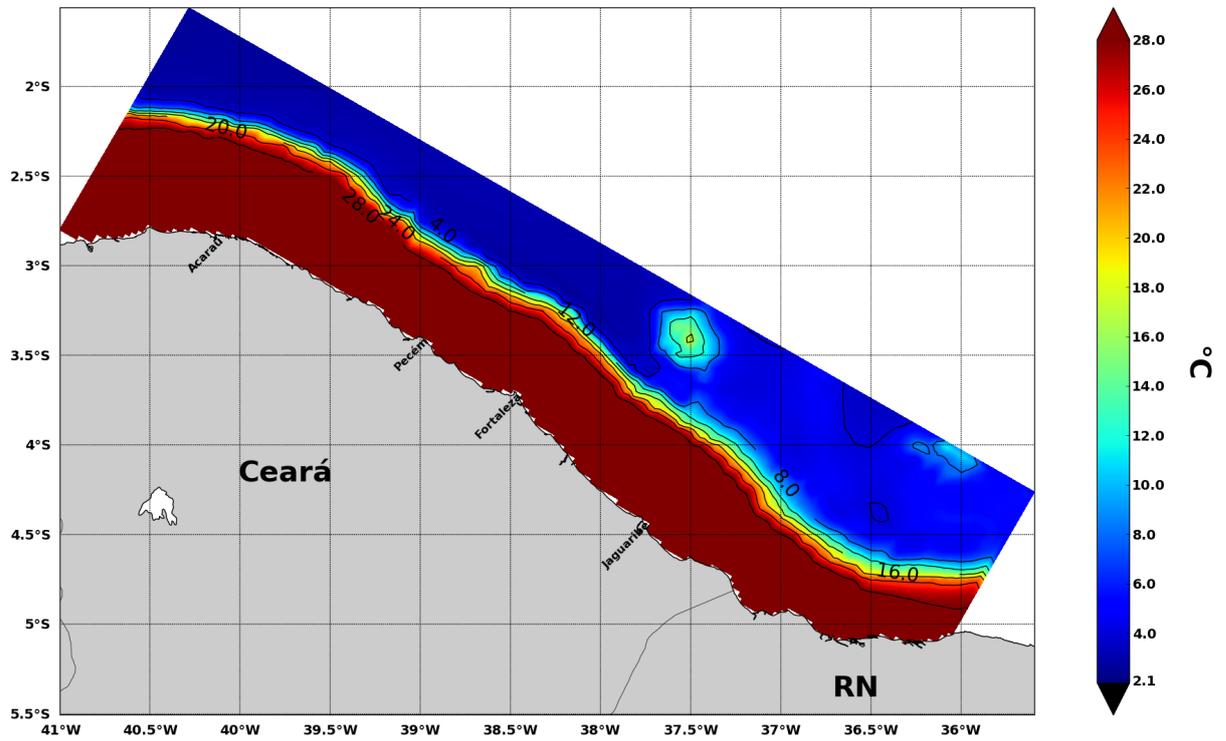
A temperatura na PCCE apresentou uma distribuição aproximadamente zonal, com linhas de mesma temperatura (isotérmicas) em disposição leste-oeste, embora a circulação da plataforma apresente influência em alguns pontos, como entre 37°O e 37.5°O, onde há distorções das isotermais no sentido norte-sul.

A variabilidade da temperatura no primeiro e segundo semestre representa a sazonalidade do fluxo de calor utilizado como forçante na PCCE apresentado na figura 5, o qual irá atingir seu máximo em dezembro e seu mínimo em julho e agosto. Outro fator de influência na sazonalidade da temperatura constitui o *stress* do vento, o qual apresenta maior intensidade no segundo semestre, contribuindo para uma maior mistura na coluna de água, bem como para uma maior dissipação e fluxo de calor do oceano para a atmosfera.

Dentro de uma perspectiva de distribuição da temperatura com orientação meridional na plataforma, a variabilidade em ambos os semestres é pequena, em torno de 0.2°C. Contudo, após a quebra da plataforma, no contorno norte da grade, há ocorrência de temperaturas mais amenas do que na plataforma. Uma importante razão para as águas da plataforma apresentarem temperaturas superiores é em razão da pouca profundidade que propicia uma maior efetividade na absorção de radiação solar (KNAUSS, 2005).

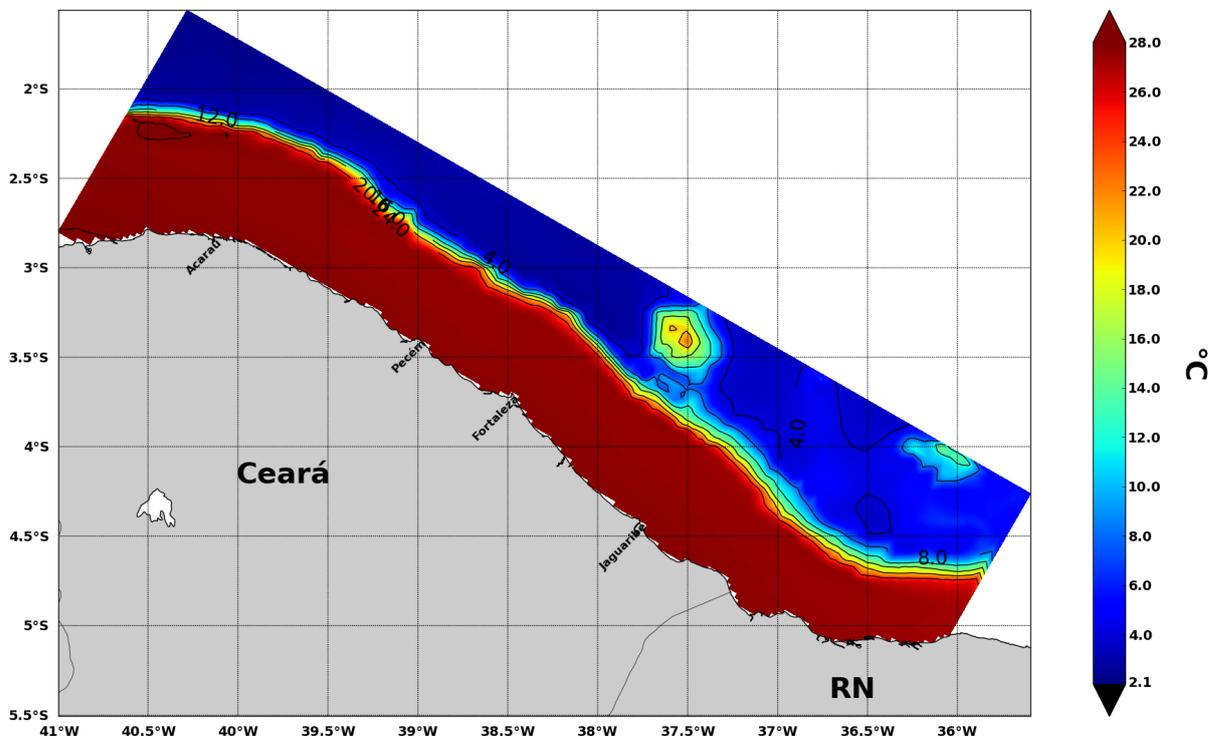
Por sua vez, as médias semestrais das variações de temperatura de fundo estão apresentadas nas figuras 37 e 38.

Figura 37: Temperatura de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 38: Temperatura de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

De um modo geral, a temperatura no fundo apresentou pequena variabilidade ao longo da

plataforma interna e média da PCCE, com temperaturas em torno de 28°C e 27°C no primeiro e segundo semestre, respectivamente. Contudo, na plataforma externa, próximo a quebra da plataforma, há comportamentos sazonais do campo de temperatura, onde no primeiro semestre há isotérmicas bem espaçadas de 28°C, 24°C e 16°C. No segundo semestre, as maiores temperaturas de fundo estão na ordem de 27°C, distribuídas na plataforma interna e média, enquanto na região próximo ao talude, encontram-se isotérmicas de 24°C, 20°C e 16°C, menos espaçadas, indicando variação mais abrupta no campo térmico neste setor.

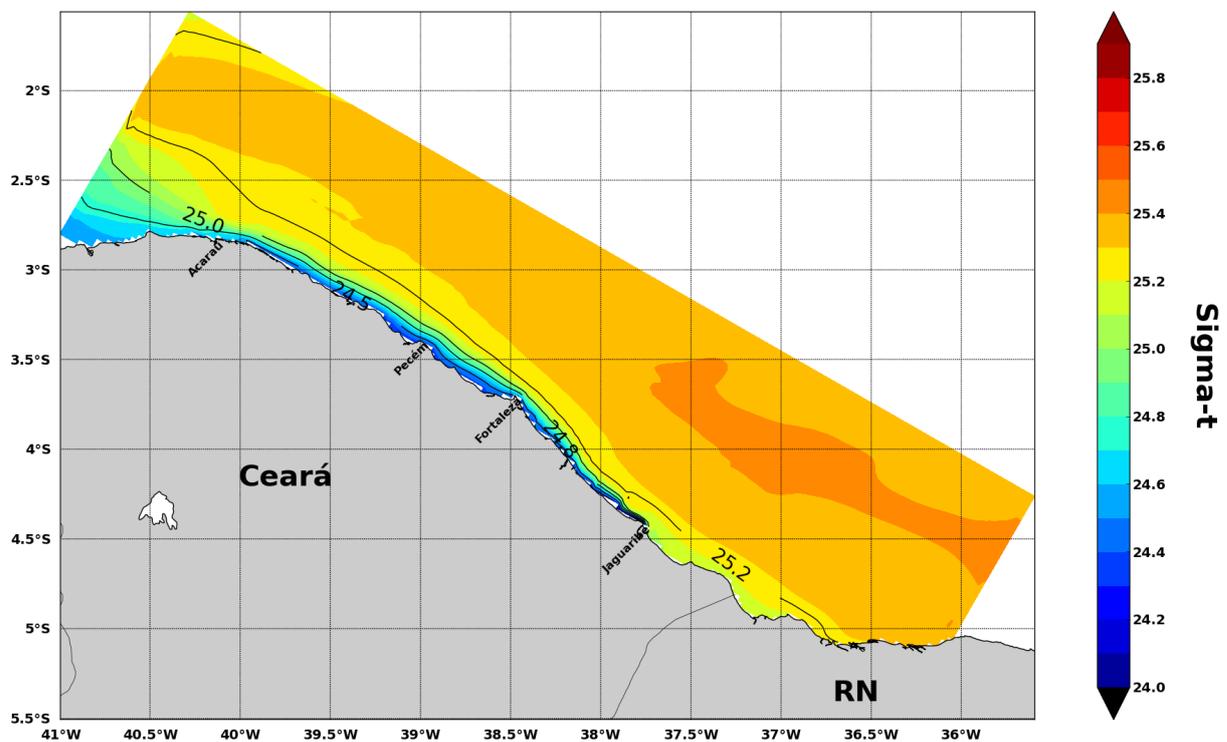
Após a quebra da plataforma, as temperaturas de fundo quase não apresentaram variação, com valores mínimos em torno de 2°C e 4°C. Isso ocorre devido as mudanças sazonais na estrutura da temperatura do oceano estarem na maioria confinadas a camadas superficiais relativamente rasas (KNAUSS, 2005).

Há contudo, duas exceções a esse campo térmico quase estático, uma localizada na porção nordeste da grade e outra ao norte da grade, que correspondem ao banco Síríus e o Platô do Ceará, feições essas que foram discutidas em seções anteriores. A morfologia rasa dessas, permite uma maior penetração e absorção da energia solar ao longo da coluna de água, apresentando, desse modo, temperaturas maiores do que as do campo térmico circunvizinho.

3.3.2.2 Salinidade

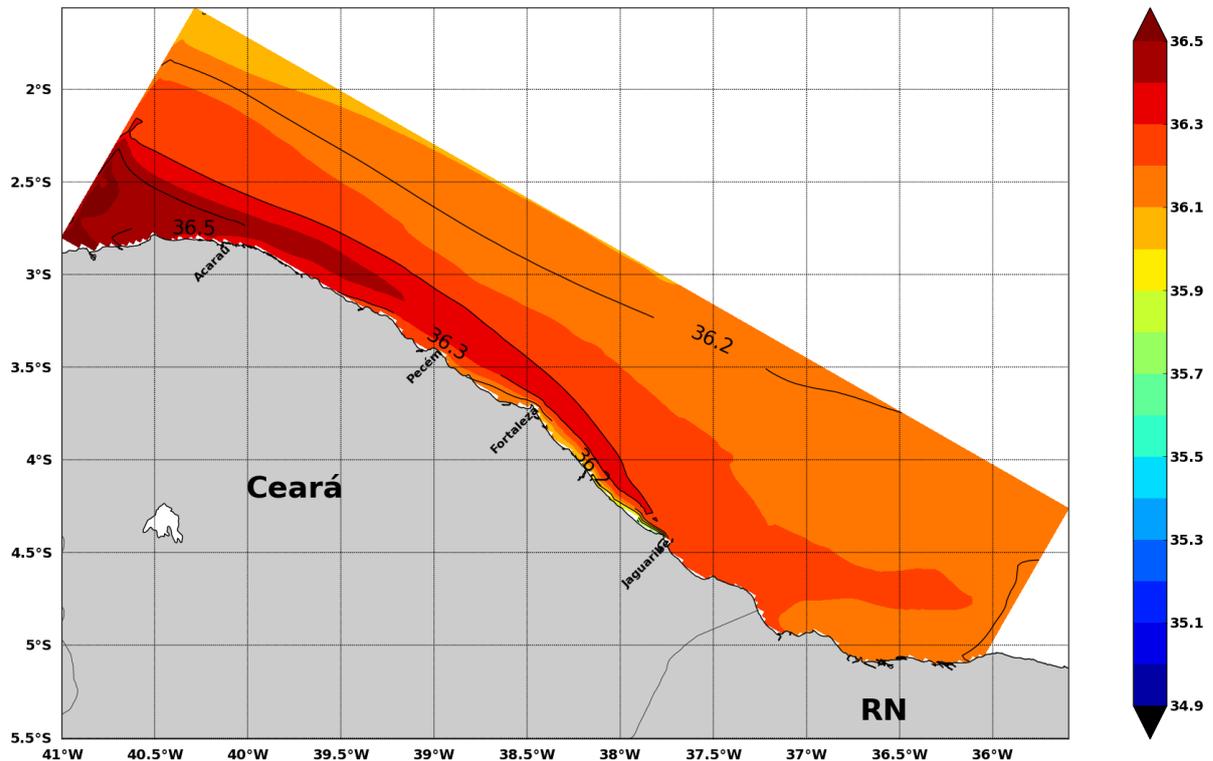
As médias semestrais das variações de salinidade superficial estão apresentadas nas figuras 39 e 40.

Figura 39: Salinidade superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 40: Salinidade superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

O primeiro semestre na PCCE caracteriza-se como período de maiores precipitações, principalmente devido a maior influência da ZCIT na região (FERREIRA; MELLO, 2005; FUNCEME, 2014). Dessa forma, o maior fluxo de água que acomete a região durante esse período faz com que as vazões dos estuários ao longo da plataforma sejam maiores, propiciando, dessa forma, condições para um fluxo de água negativo (ganho de água) nesse período do que no segundo semestre.

Como resultado, no primeiro semestre a PCCE caracterizou-se com salinidades superficiais menores, com mínimos e máximos de 34.9 e 36.0, onde as salinidades mínimas devem-se sobretudo à influência das vazões dos rios Jaguaribe, Pacoti, Cocó, Ceará e Acaraú, os quais propiciam a formação de uma faixa de menor salinidade justaposta a costa de leste para oeste.

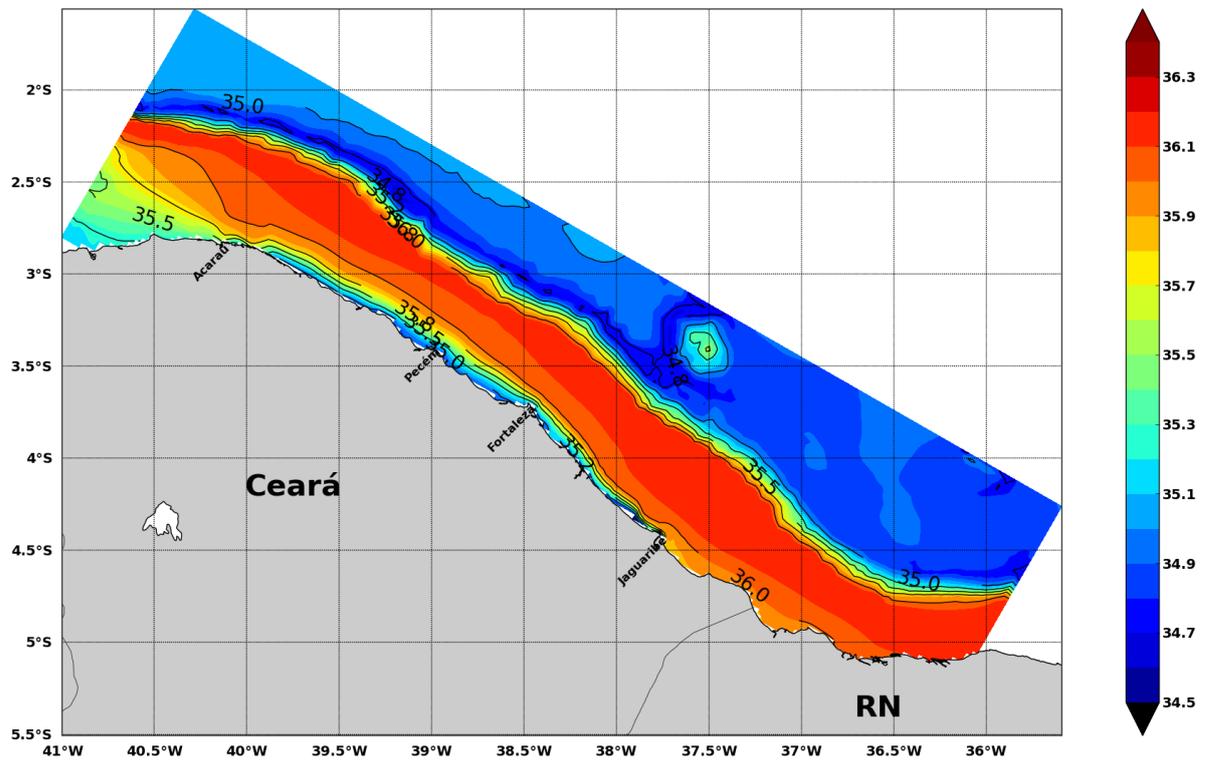
Quanto a distribuição das isohalinas, as mesmas dispõem-se de forma zonal, enquanto em sentido meridional há um aumento da salinidade superficial a medida que afasta-se da plataforma interna. Isso deve-se ao distanciamento da zona de influência das descargas fluviais dos citados estuários.

Durante o segundo semestre, a PCCE apresentou salinidades maiores, com mínimos e máximos de 36.2 e 36.5. Esse cenário deve-se ao fato de o referido período apresentar baixos índices pluviométricos, acarretando vazões mais modestas dos estuários. Além disso, esse período apresenta altas taxas de evaporação, auxiliado principalmente pela maior intensidade dos ventos ao longo da PCCE, o que propicia um fluxo de água sobretudo positivo(perda de água), como é representado nos fluxos de água utilizados como forçante do modelo na figura 6. A

distribuição das isohalinas foi zonal assim como no primeiro semestre, contudo, o campo halino no segundo semestre distingue-se na variação meridional, já que as salinidades diminuem a medida que afasta-se da costa, variando de 36.3 na plataforma interna para 36.2 próximo a quebra da plataforma.

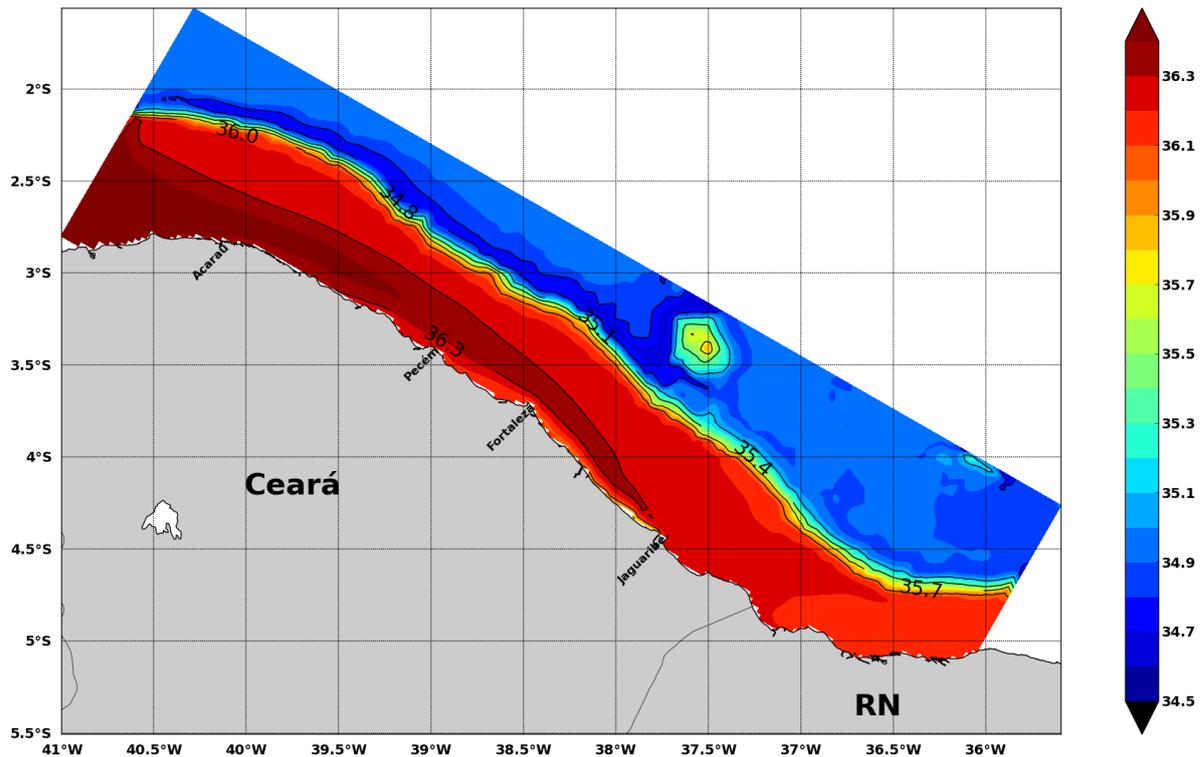
Por sua vez, as médias semestrais das variações de salinidade de fundo estão apresentadas nas figuras 41 e 42.

Figura 41: Salinidade de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 42: Salinidade de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

O comportamento do campo de salinidade de fundo na PCCE apresentou comportamento similar ao de superfície. Durante o primeiro semestre, as menores salinidades ocorreram na plataforma interna, sob influência das descargas fluviais dos estuários, com uma faixa de baixas salinidades disposta de leste para oeste. No segundo semestre, as maiores salinidades são constatadas na plataforma interna, enquanto a medida que distancia-se da costa a salinidade decresce.

De um modo geral, a PCCE apresenta um cenário de maior uniformidade no campo halino durante o segundo semestre, em decorrência, provavelmente, da maior intensidade dos ventos e processo de mistura na plataforma, além da menor entrada de água doce, fator responsável pela estratificação.

Após a quebra da plataforma a salinidade de fundo constitui-se com pouca variação, com valores em torno de 34.8 e 35 durante o primeiro e o segundo semestre. Novamente a feição do Platô do Ceará devido a menor profundidade destaca-se apresentando salinidades mais elevadas de 35.4 e de 35.7 no primeiro e segundo semestre, respectivamente.

3.3.2.3 Densidade

A propriedade física densidade consiste na quantidade de massa por unidade de volume expressa em quilogramas por metro cúbico (Kg/m^3). Essa propriedade física é apresentada nos próximos mapas como σ_t , que consiste na densidade de uma parcela de água quando a pressão

total é reduzida a atmosférica, mas a salinidade e a temperatura são as medidas (TALLEY et al., 2011). A representação de σ_t ou σ_{stp} é apresentada na equação(7), onde S refere-se a salinidade, T é temperatura e p pressão.

$$\sigma_{stp} = \rho(S, T, p) - 1000(Kg/m^3) \quad (7)$$

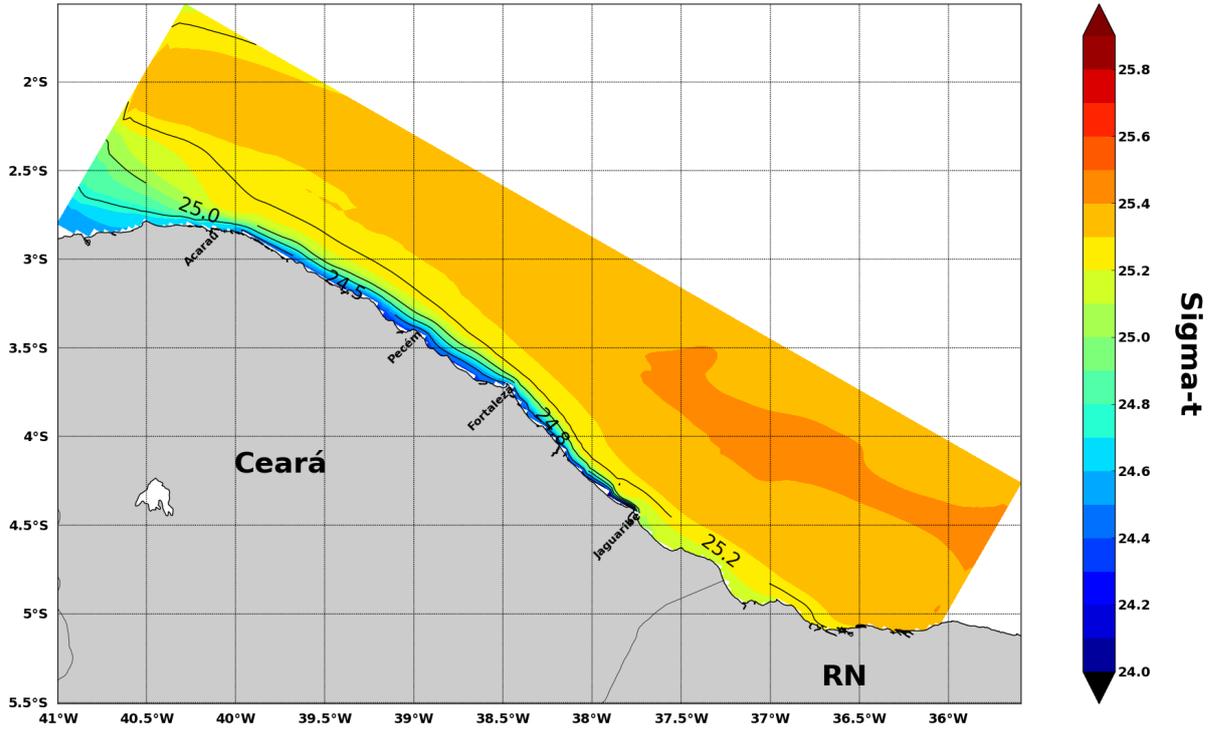
A salinidade, temperatura e pressão exercem efeitos diretos no comportamento da densidade. A relação entre essas três variáveis e a densidade é representada através da equação do estado da água do mar, na equação(8).

$$\rho(S, T, p) = \rho(S, T, 0) / [1 - p/K(S, T, p)] \quad (8)$$

As duas expressões polinomiais da equação(8) apresentam 15 e 27 termos, respectivamente, onde a dependência da pressão está representada na última expressão ([1-p/K(S,T,p)]). Os maiores termos são aqueles lineares em S, T e p, de modo que a equação do estado da água do mar é fracamente não-linear. A partir disso, avalia-se a importância da temperatura e da salinidade para a determinação da densidade, onde de um modo geral, as variações de temperatura dominam a variação da densidade na maior parte do oceano; com importantes exceções onde as águas superficiais são relativamente doces devido grande precipitação ou derretimento de gelo, como que acontece em altas latitudes ou até mesmo nos trópicos, em áreas sobre atuação da ZCIT, a salinidade domina a variação da densidade (TALLEY et al., 2011).

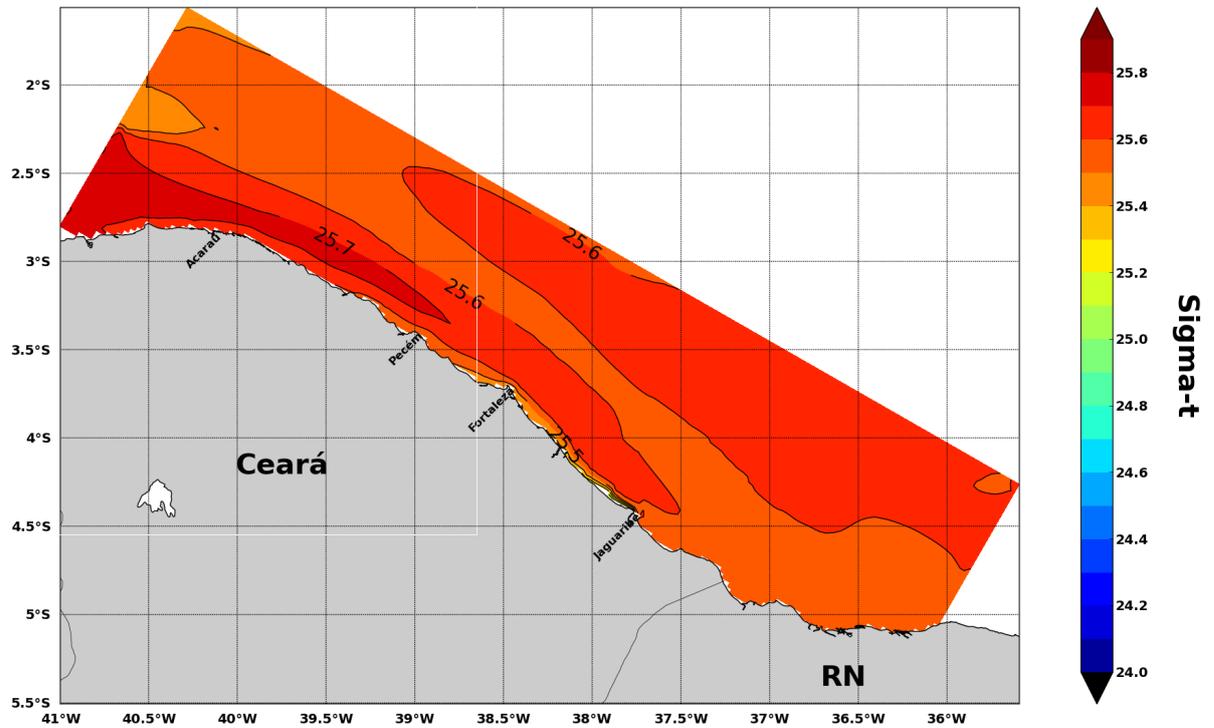
As médias semestrais das variações de densidade superficial ao longo da PCCE estão apresentadas nas figuras 43 e 44 abaixo.

Figura 43: Densidade superficial média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 44: Densidade superficial média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

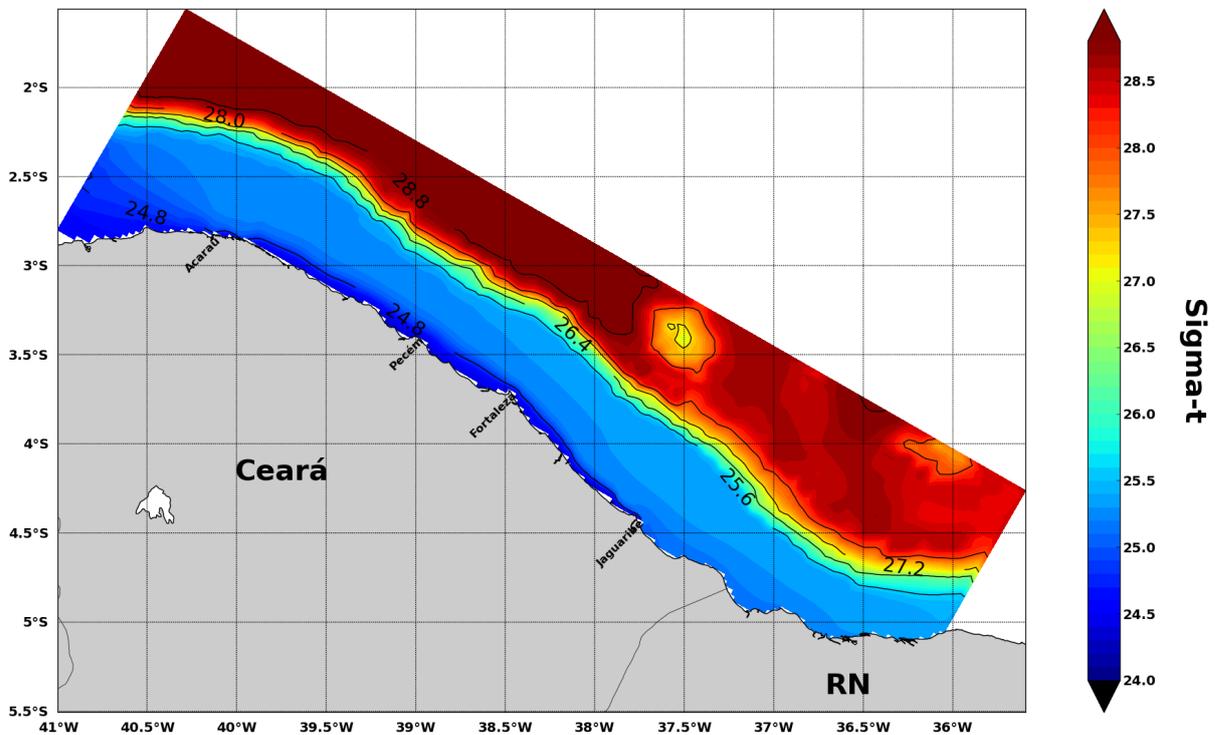
A densidade no primeiro semestre apresentou valores entre 24.5 a 25, onde os menores

valores ocorreram na plataforma interna devido as descargas fluviais dos estuários, comportamento similar ao da salinidade superficial apresentado anteriormente. A partir da plataforma média, a PCCE apresenta uma estrutura de densidade com poucas variações, com valores em torno de 25.4.

No segundo semestre, a PCCE apresenta um campo de densidade com poucas variações, com valores superiores ao do primeiro semestre, oscilando entre 25.5 e 25.7. Esse cenário deve-se aos já descritos campos de temperatura e salinidade superficiais, os quais caracterizam a plataforma como águas mais frias e mais salinas em relação ao primeiro semestre, acarretando em águas mais densas. Além disso, a menor variação ao longo da plataforma também está relacionada com a maior intensidade dos ventos e maior mistura na coluna de água.

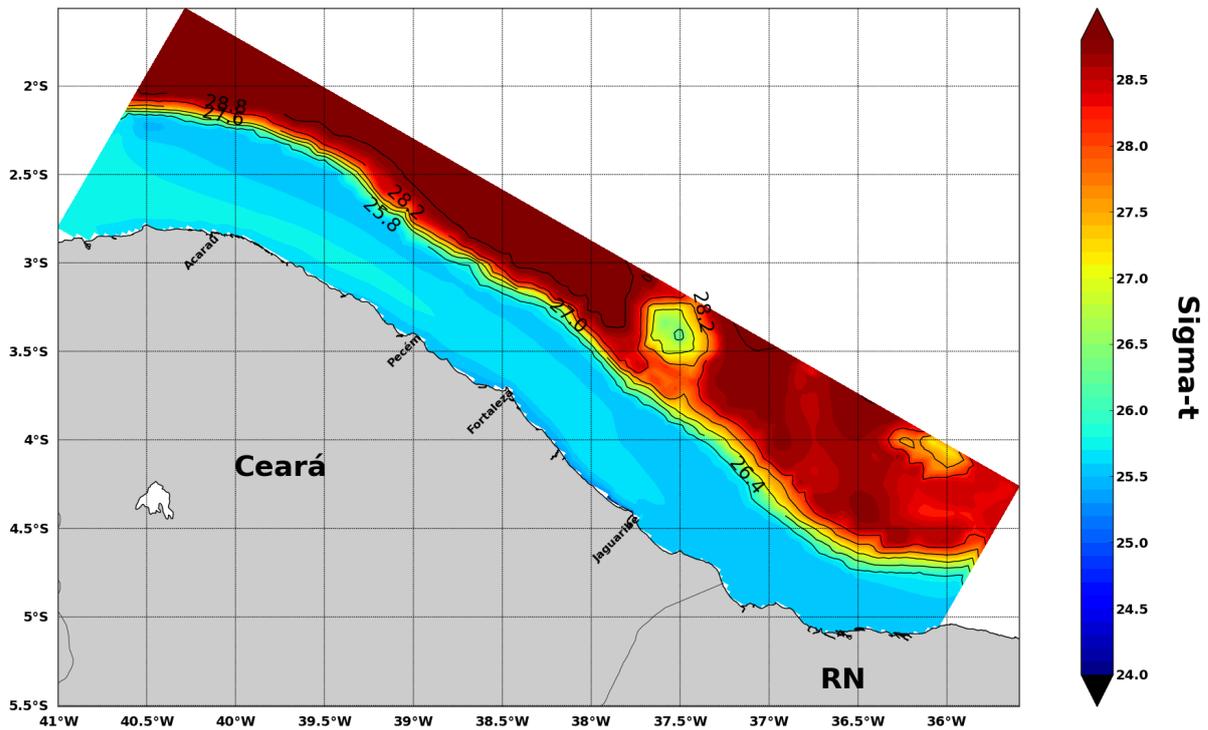
As médias semestrais das variações de densidade de fundo estão apresentadas nas figuras 45 e 46.

Figura 45: Densidade de fundo média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 46: Densidade de fundo média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

No primeiro semestre as densidades de fundo na plataforma variaram de 24.8 próximo a costa à 25.6 nas proximidades da quebra da plataforma. As diferenças entre as densidades de superfície e fundo ficaram em torno de 0.3 ao longo da costa e 0.4 próximo ao talude continental. No segundo semestre a densidade de fundo na plataforma varia de 25.5 a 25.8, caracterizando uma água mais densa que a do primeiro semestre. As diferenças entre a superfície e fundo chegam a 0.2 próximo a costa e na quebra da plataforma, indicando dessa forma menor estratificação na coluna de água.

Após a quebra da plataforma, assim como discutido para temperatura e salinidade, o Platô do Ceará distingue-se em decorrência da sua profundidade reduzida, apresentando densidade oscilando entre 27 e 28.2 no primeiro e segundo semestre, respectivamente. Enquanto ao redor, no contorno norte da grade do modelo, o campo de densidade de fundo caracteriza-se relativamente constante com densidades em torno de 28.8.

3.3.2.4 Seções Verticais

Nesta subseção discuti-se a estrutura de estratificação média semestral da PCCE através de cortes verticais partindo da costa até a quebra da plataforma em 3 estações específicas: Jaguaribe, Fortaleza e Acaraú. Para isso, foram utilizadas as saídas do modelo a partir do 3º ano de simulação, bem como justificado no início da seção.

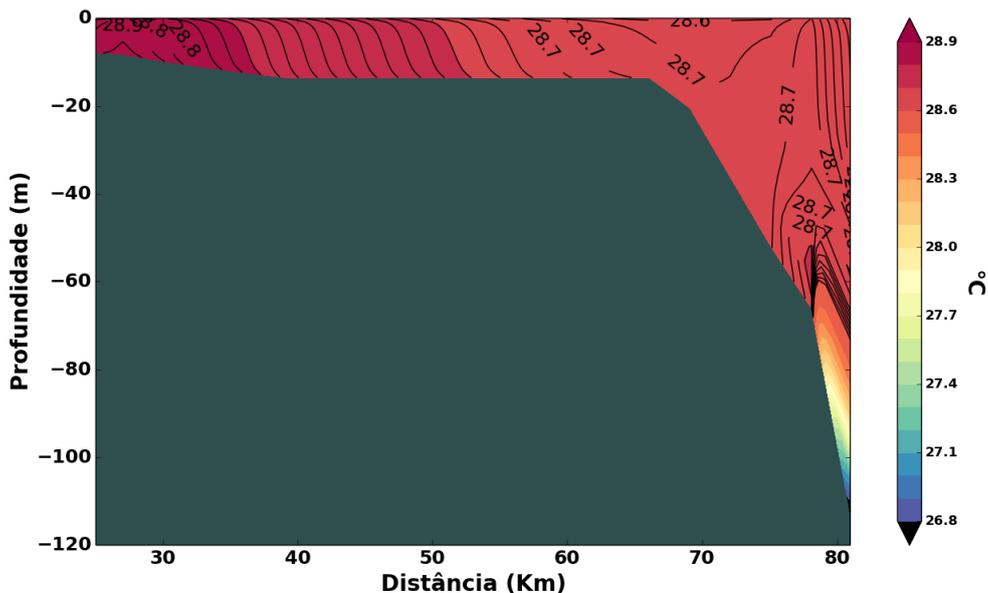
A PCCE apresenta escassos estudos de descrição oceanográfica do campo termo-halino e de sua sazonalidade devido os processos oceanográficos e atmosféricos que afetam a região.

Silva e Arenga(1994) realizou levantamentos na PCCE, como parte do programa REVIZEE, e constatou que a salinidade apresenta pequenas variações sazonais, com valores máximos durante o 2º semestre. Quanto a temperatura, Silva e Arenga(1994) observou que esta permanece homogênea nos primeiros 70 metros da coluna de água, com valores mínimos de 25°C.

Outra importante contribuição para o entendimento da estrutura termo-halina da PCCE foi o trabalho de Dias(2013), o qual analisou dados de temperatura e salinidade obtidos de 2 cruzeiros oceanográficos realizados na porção oeste da PCCE, ao largo do rio Jaguaribe. Dias(2013) identificou a influência de três diferentes massas de água na PCCE: Massa de água do Rio Jaguaribe (Temperatura de 29°C e Salinidade de 30), Massa de Água Costeira (Temperatura de 28°C a 29°C e Salinidade de 34.5 a 36) e Água Tropical(Temperatura de 25°C a 27° e Salinidade de 36).

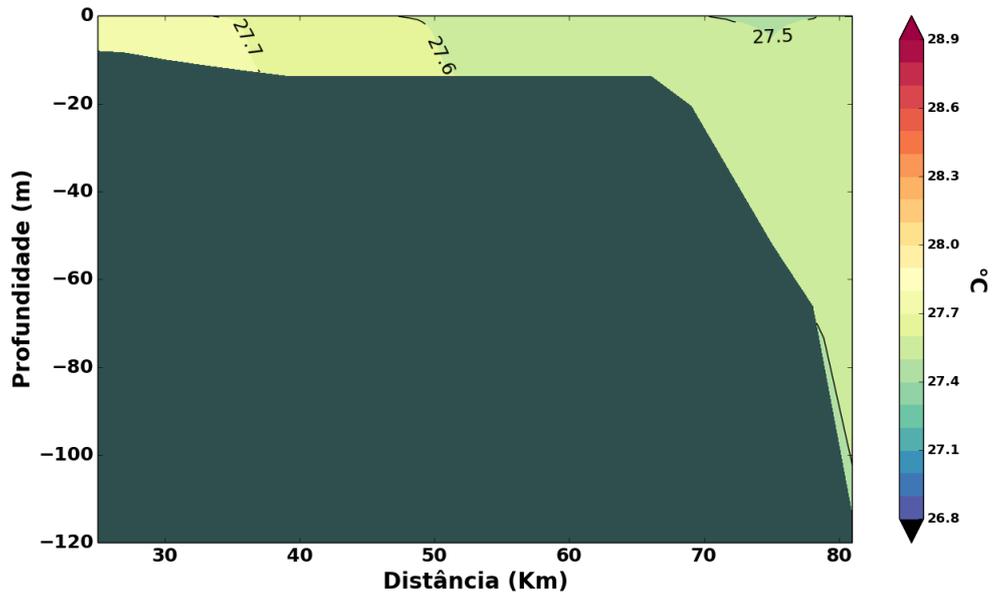
A partir do exposto, as seções verticais de temperatura, salinidade e densidade da estação do Jaguaribe (porção leste da PCCE) são apresentadas da figura 47 a 52 abaixo.

Figura 47: Seção de Jaguaribe de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



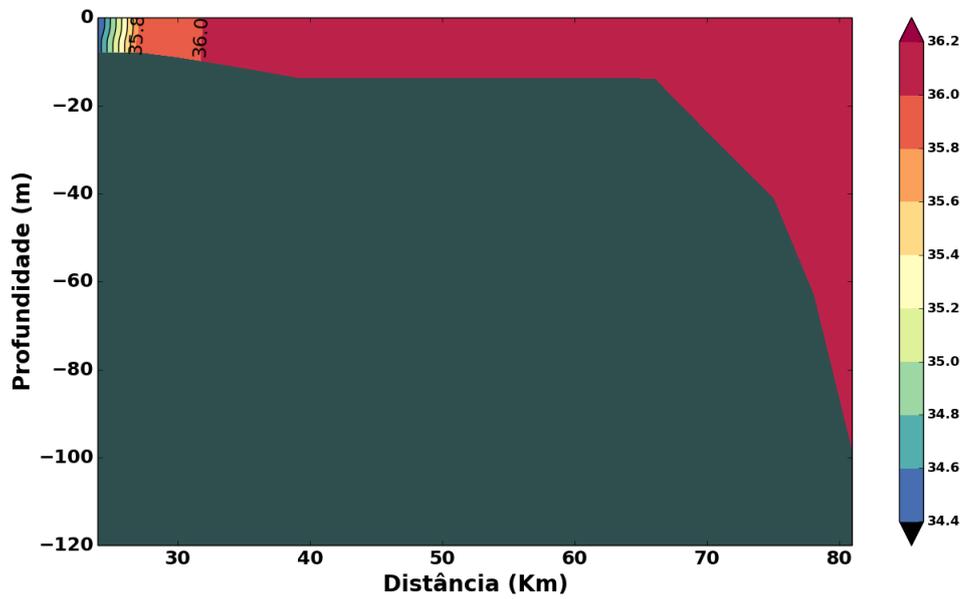
Fonte: O autor(2015)

Figura 48: Seção de Jaguaribe de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



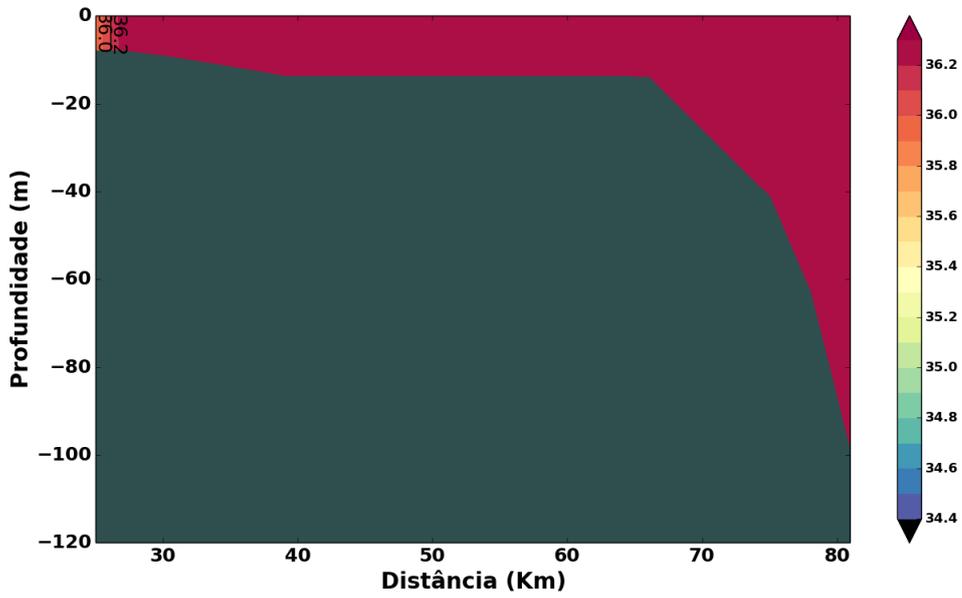
Fonte: O autor(2015)

Figura 49: Seção de Jaguaribe de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



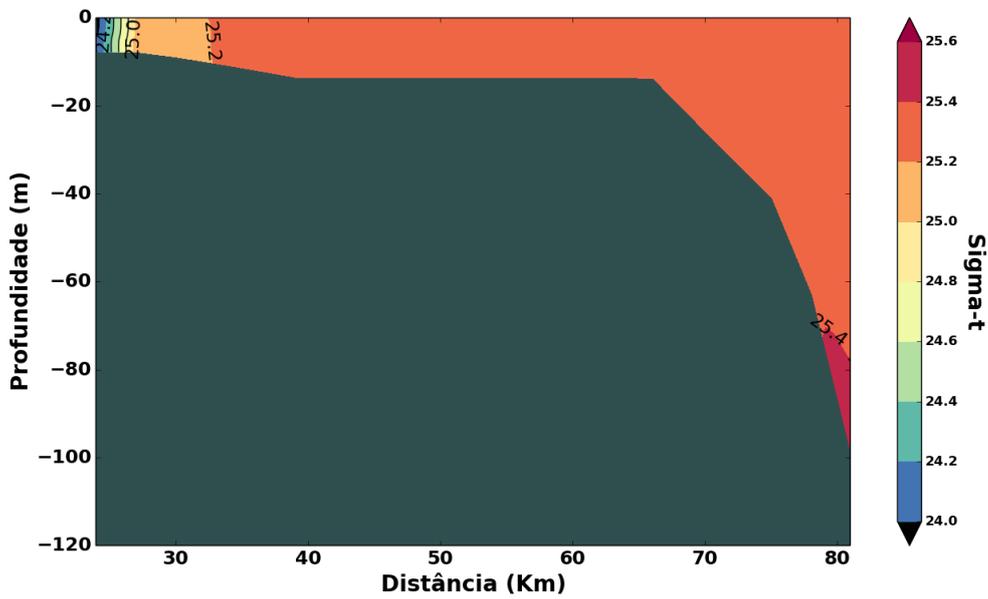
Fonte: O autor(2015)

Figura 50: Seção de Jaguaribe de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



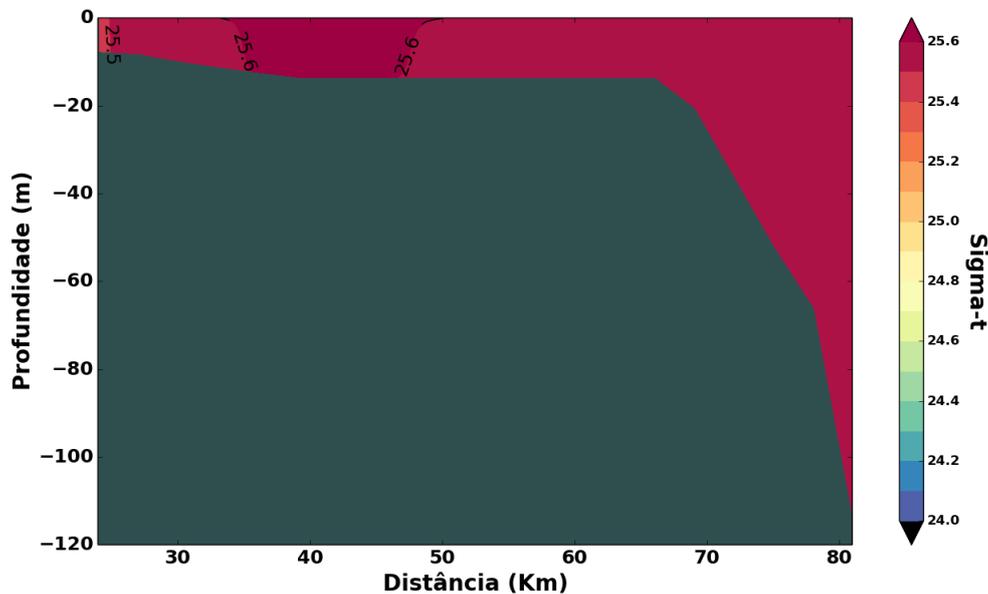
Fonte: O autor(2015)

Figura 51: Seção de Jaguaribe de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 52: Seção de Jaguaribe de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

O distribuição da temperatura na seção comprova os mapas médios de superfície e fundo apresentados anteriormente, com maiores registros próximo a costa decrescendo em direção a quebra da plataforma em ambos os períodos representados. No primeiro semestre, as temperaturas máxima e mínima foram de 28.9°C e 26.8°C. Essa água de menor temperatura está localizada na isóbata de 100 metros e apresenta características térmicas da massa de água Água Tropical (AT), a qual também foi observada por Dias(2013) para o período correspondente. Enquanto que no segundo semestre, as temperaturas foram mais amenas, com máximas e mínimas oscilando entre 27.7°C e 27.5°C, caracterizando um domínio da Água Costeira (AC), com valores dentro do limite de variação apresentado por Silva e Arenga(1994) e constatado por Dias(2013) para o período.

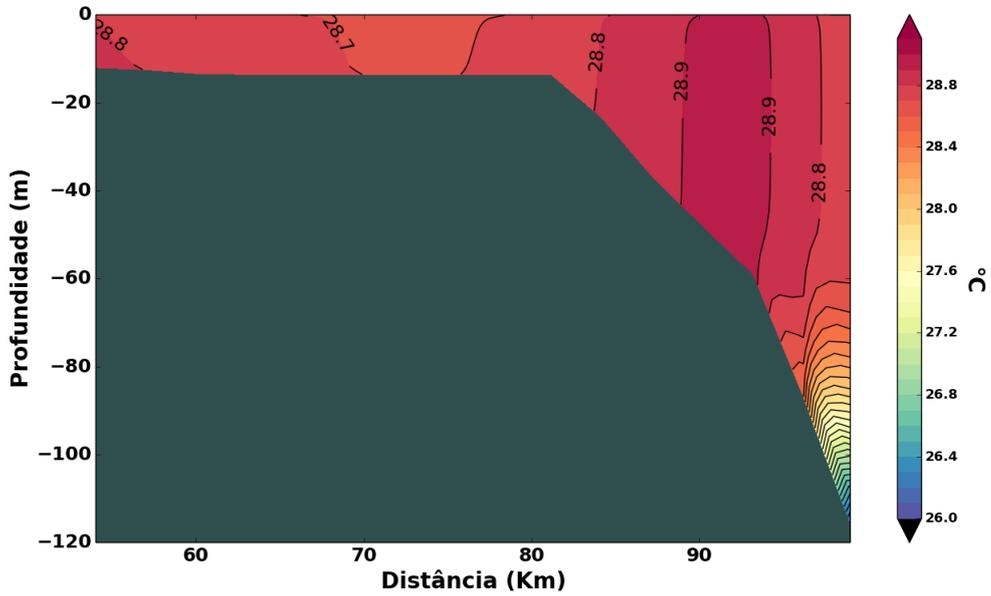
Os valores de salinidade apresentam direta relação com os índices pluviométricos e intensidade das descargas dos principais tributários ao longo da PCCE, de modo a caracterizar o primeiro semestre com salinidades menores. Durante o segundo semestre, a plataforma ao largo de Jaguaribe encontra-se com maiores salinidades e uma coluna de água sem estratificação, com valores entre 36 e 36.2, corroborando com a literatura disponível para a região (SILVA; ALVARENGA, 1994; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

A densidade por sua vez, apresentou durante o primeiro semestre os menores valores, oscilando entre 24.2 Kg/m^3 e 25.4 Kg/m^3 . A água mais densa na isóbata de 100 metros, com densidade de 25.4 Kg/m^3 consiste na AT, que foi observada para o período chuvoso (1º Semestre) no trabalho de Dias(2013). Durante o segundo semestre, a estrutura de densidade da PCCE oscila muito pouco, entre 25.5 Kg/m^3 e 25.6 Kg/m^3 , caracterizando um domínio da AC, assim como também foi observado por Dias(2013) no período seco.

As seções verticais de temperatura, salinidade e densidade da estação de Fortaleza são

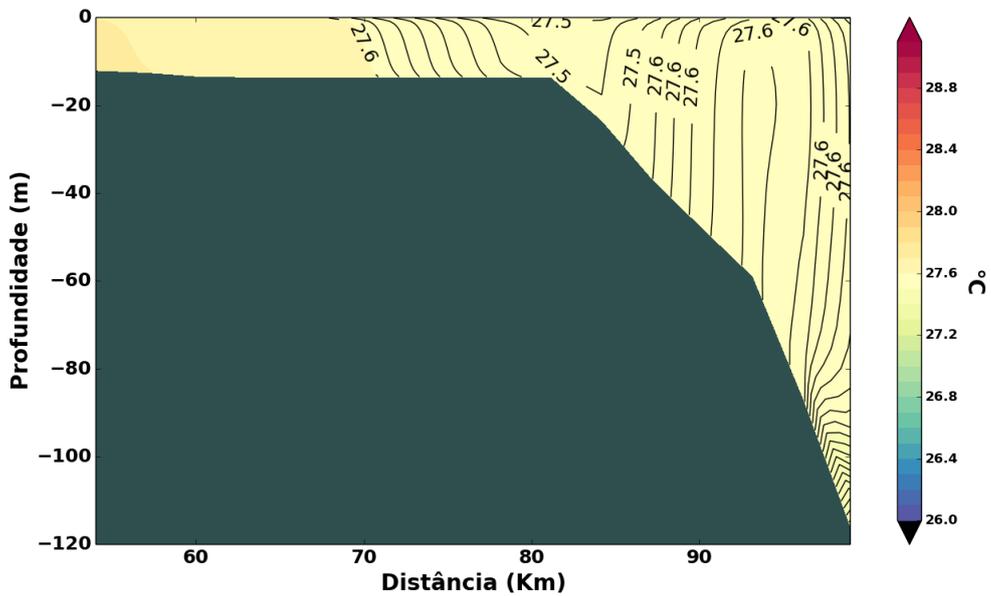
apresentadas da figura 53 a 58.

Figura 53: Seção de Fortaleza de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 54: Seção de Fortaleza de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 55: Seção de Fortaleza de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.

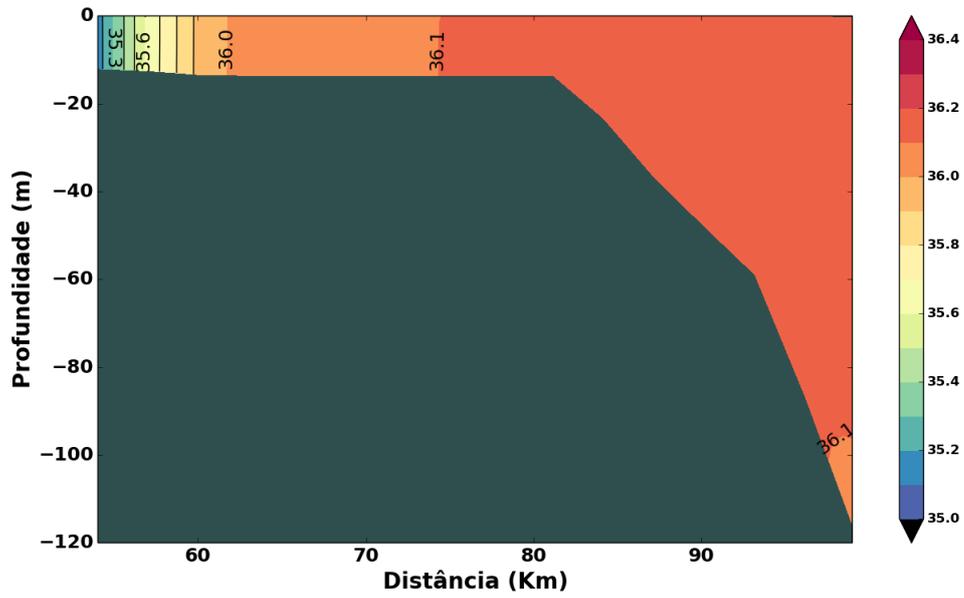


Figura 56: Seção de Fortaleza de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.

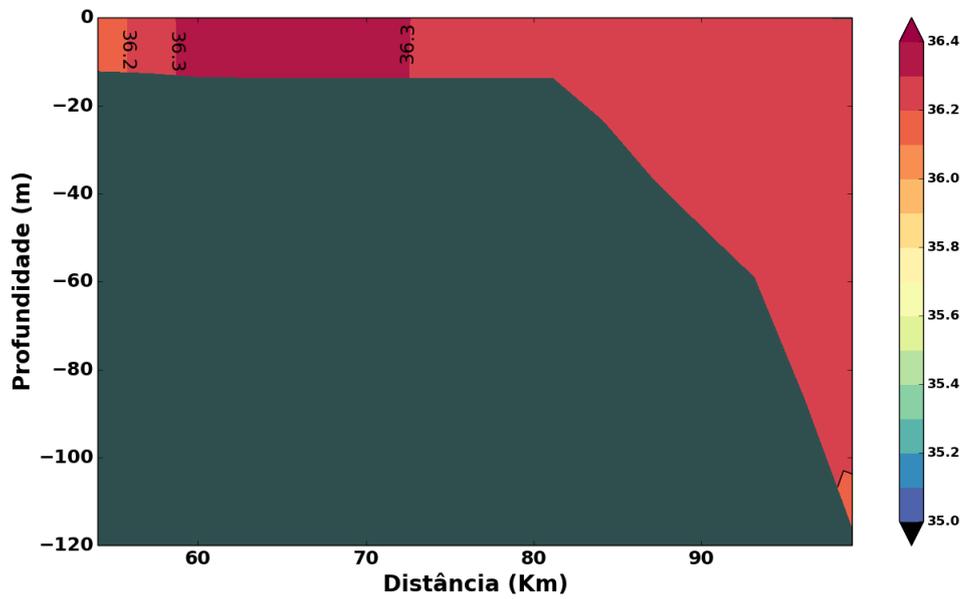
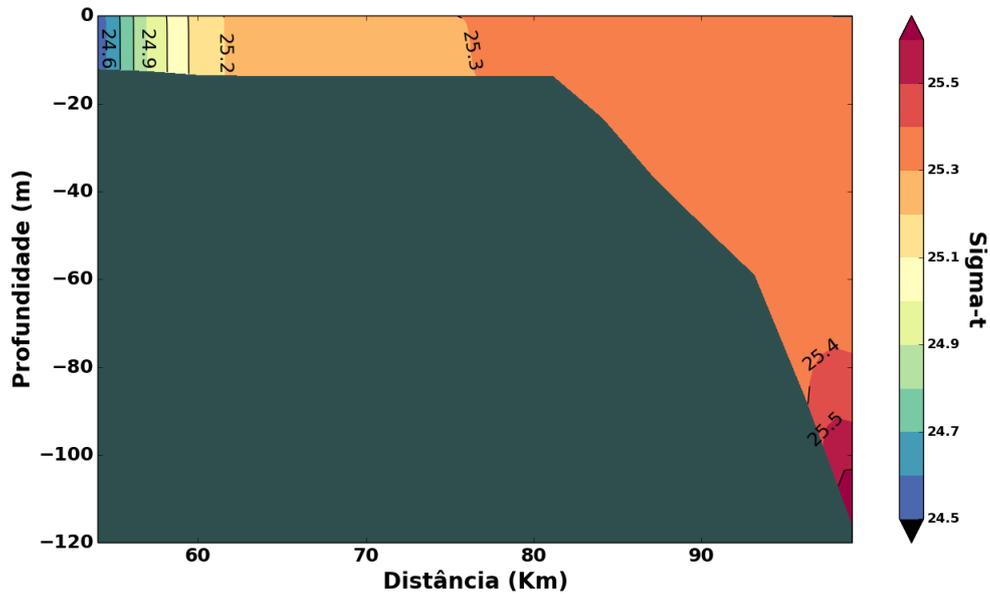
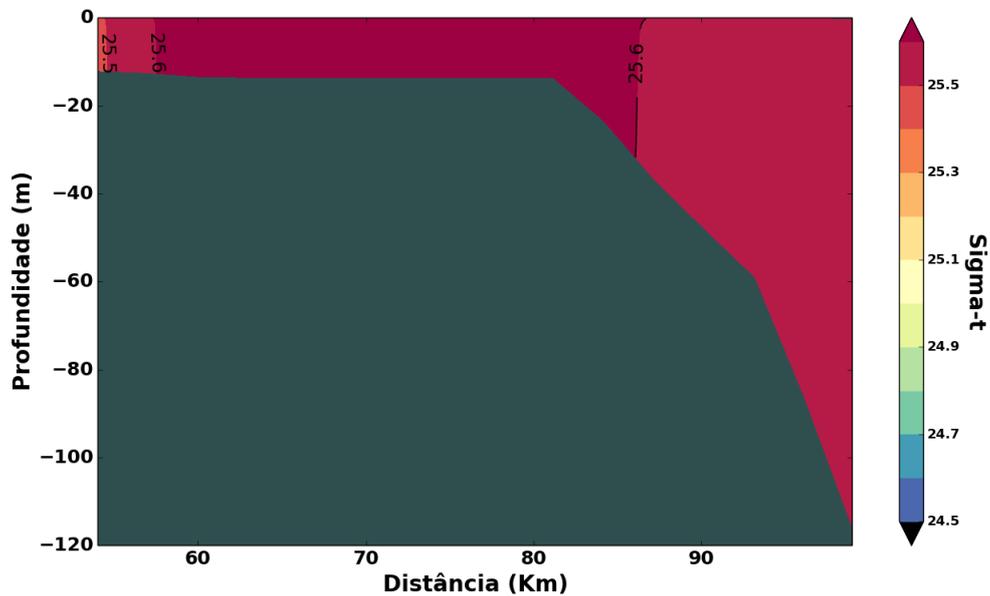


Figura 57: Seção de Fortaleza de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 58: Seção Fortaleza de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

A variação da temperatura ao longo da estação de Fortaleza apresentou valores similares aos apresentados na estação de Jaguaribe, com temperaturas máximas em torno de 28.9°C e 28.8°C. É observada também uma água na isóbata de 100 metros com temperatura de 26°C, característica atribuída a AT, identificada também na estação de Jaguaribe e na bibliografia disponível (DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

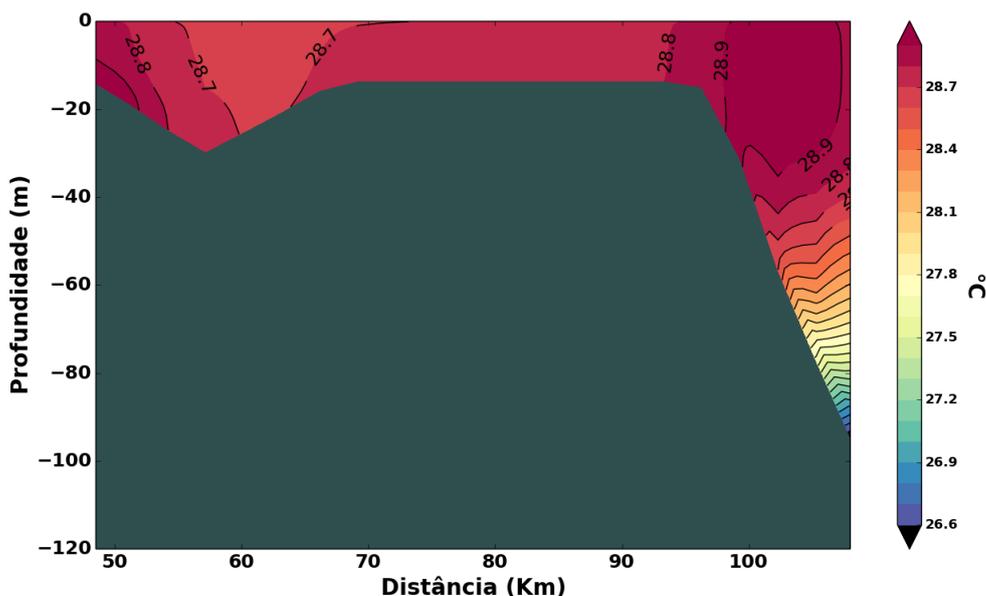
Contudo, a estação de Fortaleza distingue-se na distribuição das isotermias, existindo um aumento da temperatura a medida que afasta-se da costa; valendo ressaltar a disposição das isotérmicas entre as isóbatas de 40 e 60 metros, que indicam uma água que flui justaposta à plataforma com temperaturas de 28.9°C. Por outro lado, no segundo semestre a temperatura na plataforma apresenta comportamento idêntico ao observado ao longo da estação de Jaguaribe, apresentando pequenas variações, com mínimas e máximas entre 27.5°C e 27.6°C.

A salinidade ao longo da plataforma decresce a medida que afasta-se da costa, com salinidades mínimas em torno de 35.3 e máxima de 36.1 em torno da isóbata de 100 metros, valor e posição característicos da AT adjacente a PCCE (DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013). No segundo semestre, as salinidades são maiores, com valores próximo a costa de 36.2 e de 36.3 em direção a plataforma externa. Contudo, na isóbata de 100 metros novamente é possível observar uma isohalina de 36.1, indicando a presença da AT.

Por fim, a densidade ao longo da estação de Fortaleza caracteriza-se com águas menos densas no primeiro semestre, restritas a plataforma interna, com valores 24.6 Kg/m^3 e 24.9 Kg/m^3 , enquanto na plataforma média e externa a água é mais densa com densidades entre 25.2 Kg/m^3 e 25.3 Kg/m^3 . Assim como na estação do Jaguaribe, na isóbata de 100 metros é possível constatar uma água mais densa, com valores entre 25.4 Kg/m^3 e 25.5 Kg/m^3 . Por outro lado, no segundo semestre a estrutura de densidade na plataforma apresenta-se quase homogênea, com mínimo e máximo de 25.5 Kg/m^3 e 25.6 Kg/m^3 , onde já não é mais perceptível a presença da AT.

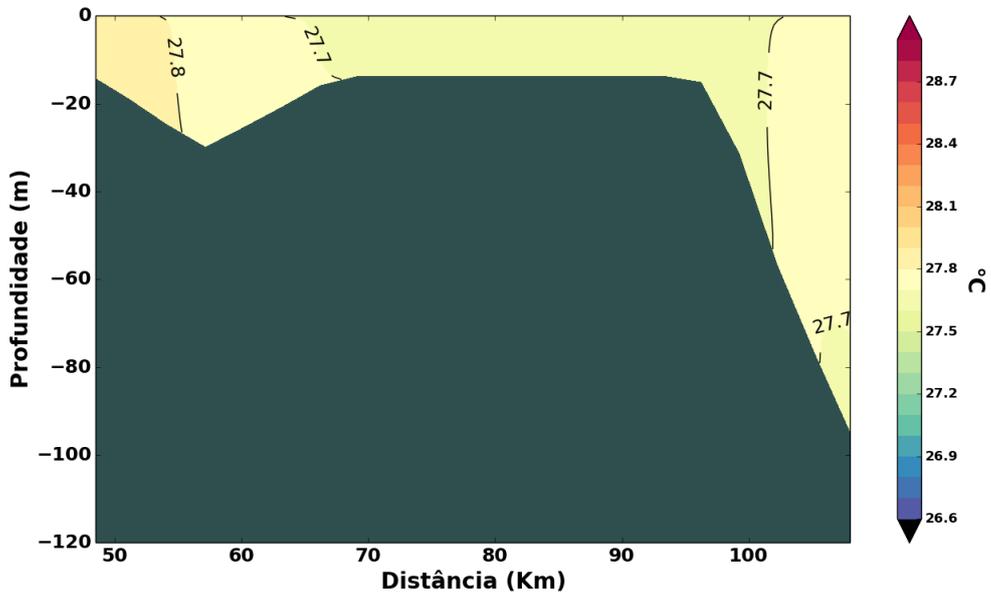
Por fim, da figura 59 a 64, são apresentadas as seções verticais de temperatura, salinidade e densidade da estação do Acaraú, porção oeste da PCCE.

Figura 59: Seção de Acaraú de temperatura média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



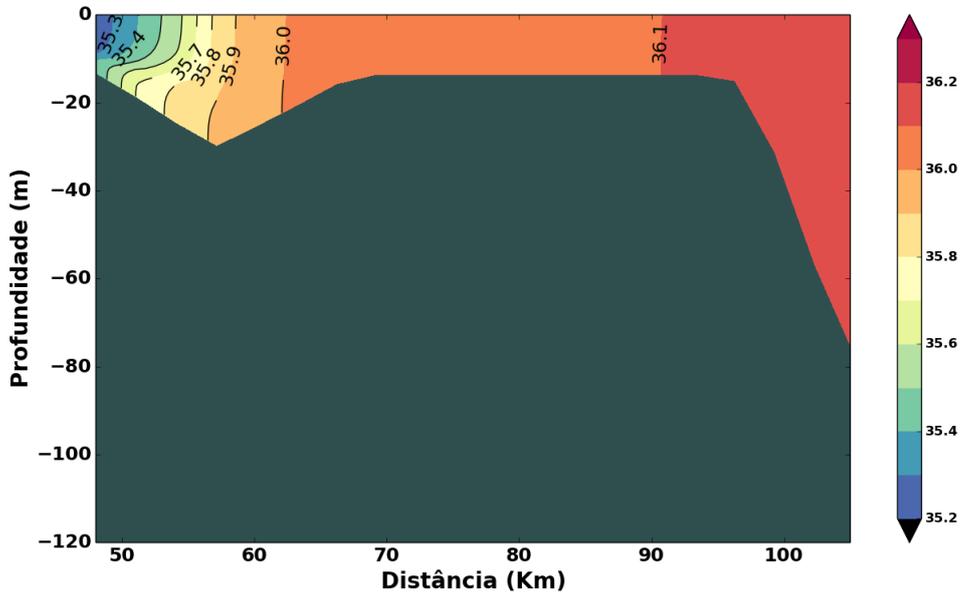
Fonte: O autor(2015)

Figura 60: Seção de Acaraú de temperatura média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



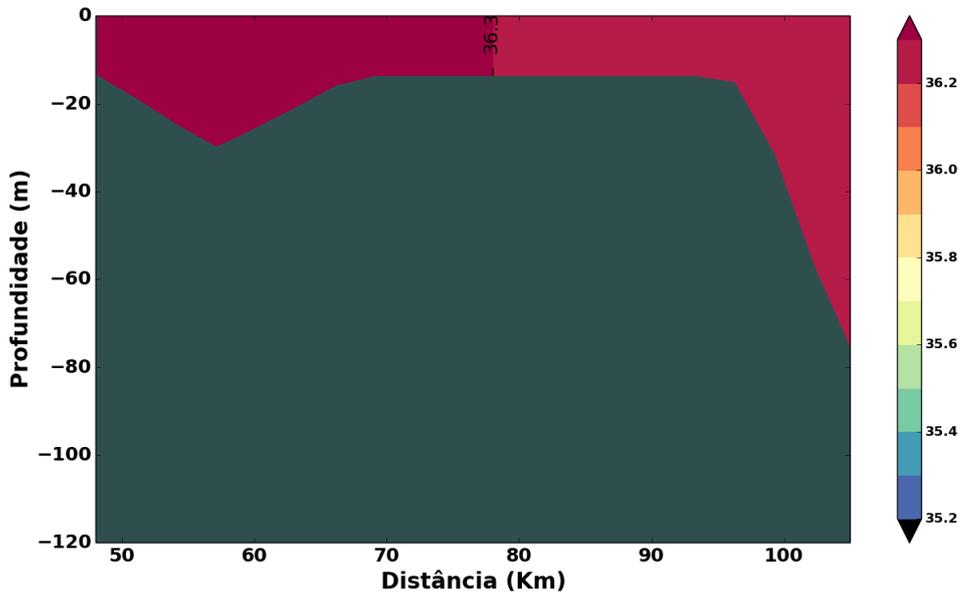
Fonte: O autor(2015)

Figura 61: Seção de Acaraú de salinidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



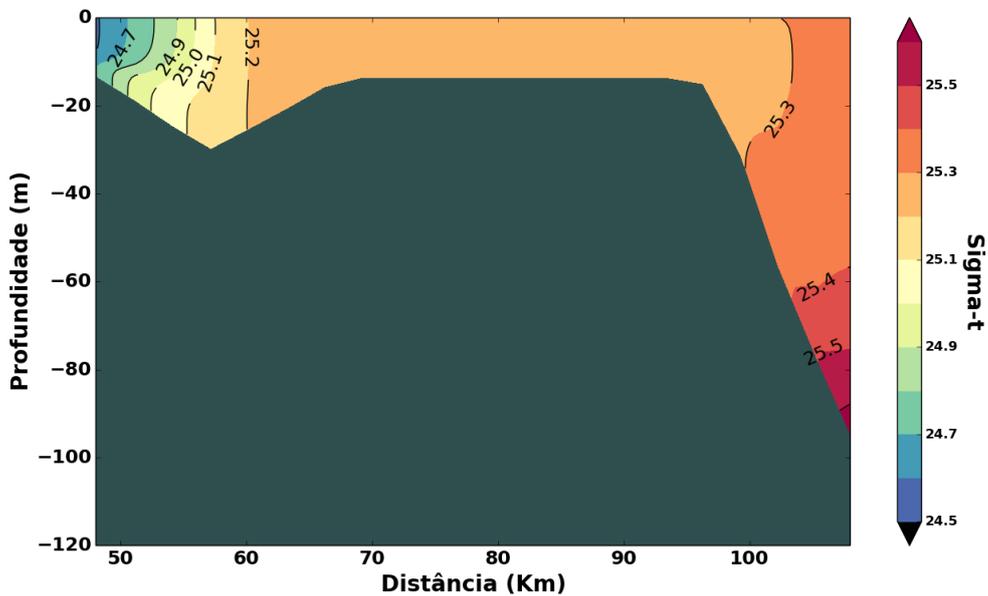
Fonte: O autor(2015)

Figura 62: Seção de Acaraú de salinidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



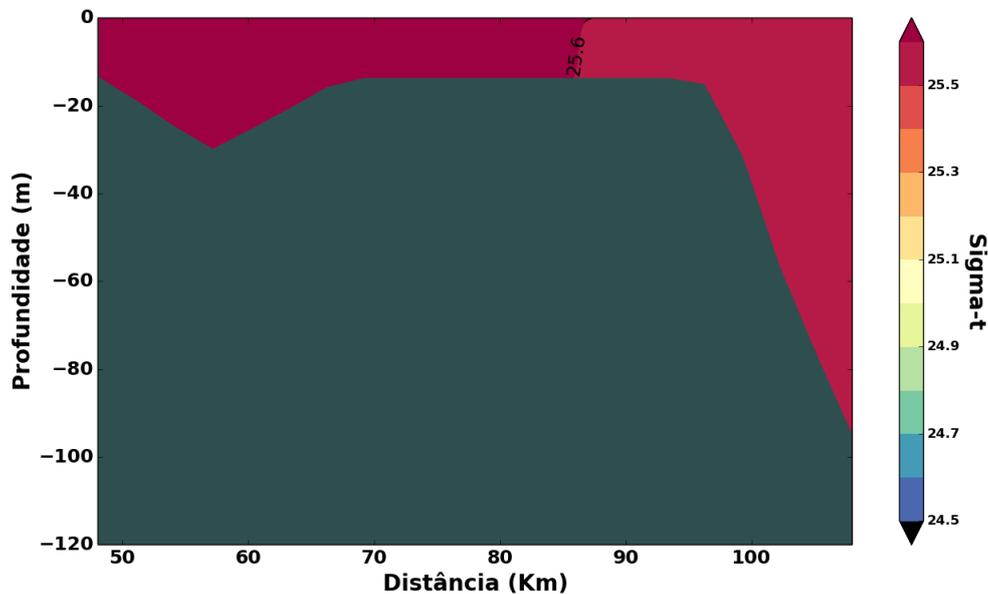
Fonte: O autor(2015)

Figura 63: Seção de Acaraú de densidade média de 8 anos de simulação - 1º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Figura 64: Seção de Acaraú de densidade média de 8 anos de simulação - 2º Semestre.



Fonte: O autor(2015)

Na estação de Acaraú, assim como em Fortaleza, entre as isóbatas de 20 a 40 metros, isotérmicas de 28.9° estão dispostas indicando um fluxo de uma água mais quente do que a da plataforma adjacente. Outro aspecto importante é presença da AT na isóbata de 100 metros, com temperaturas em torno de 26.6°C, similar ao observado nas estações de Jaguaribe e Fortaleza. No segundo semestre a plataforma encontra-se quase que sem nenhuma variação de temperatura, com o valor de 27.8°C próximo a costa e 27.7°C no restante da plataforma.

A salinidade ao longo da estação do Acaraú apresentou valores similares aos observados nas duas estações anteriores, com mínimas entre 35.3 e 35.4 na plataforma interna, aumentando a medida que afasta-se da costa para valores entre 35.9 e 36.1. Vale ressaltar a disposição das isohalinas na plataforma interna, levemente inclinadas, o que indica uma pequena estratificação. Provavelmente isso deve-se a morfologia de fundo na plataforma interna, a qual apresenta uma feição em forma de canal, propiciando o ajustamento da água mais salgada da plataforma média no fundo, enquanto a água mais doce, sob influência das descargas fluviais, ficam em superfície. Por fim, a salinidade no segundo semestre não apresenta variação, com uma plataforma homogênea com o valor de 36.3.

A isopícnais no primeiro semestre reafirmam a leve estratificação presente na plataforma interna, com densidades variando de 24.7 Kg/m³ e 25.1 Kg/m³. Por outro lado, a partir da plataforma média, a estrutura de densidade é homogênea com o valor de 25.2 Kg/m³. Assim como observado nas estações de Jaguaribe e Fortaleza, nas bordas da plataforma externa da estação do Acaraú é constatada uma água mais densa, na isóbata de 100 metros, com densidades oscilando entre 25.4 Kg/m³ e 25.5 Kg/m³. Por fim, no segundo semestre, a estrutura de densidade é completamente homogênea, com uma isopícnal na plataforma média de 25.6 Kg/m³.

Simulações foram realizadas considerando vazões nulas para o primeiro semestre e o re-

sultado obtido foi idêntico aos apresentados no segundo semestre para salinidade e densidade. De um modo geral, na simulação com as descargas fluviais, essas desempenharam papel importante na estratificação na plataforma interna. Nas 3 estações a influência das plumas dos estuários foi constatada nas isopícnais a uma distância em torno de 10 Km da costa.

Outro aspecto relevante é que em todas as estações existem indícios da presença da AT em torno de 100 metros de profundidade durante o primeiro semestre, enquanto no segundo, período de maior intensidade dos ventos na plataforma, que por sua vez produz turbulência e mistura, há uma plataforma externa e região oceânica adjacente mais homogênea. Tais cenários dão indícios de uma mistura entre a AC, presente na plataforma média e externa, e a AT, vinda à plataforma provavelmente em decorrência da circulação oceânica adjacente.

Estudos conduzidos na região norte e nordeste do Brasil indicam que a variabilidade espaço-temporal da CNB com a presença de vórtices e meandros ocorrem adjacentes a plataforma continental (SILVEIRA; MIRANDA; BROWN, 1994; SCHOTT; FISCHER; STRAMMA, 1998; STRAMMA; SCHOTT, 1999). Além disso, o recente trabalho de Dias(2013) constata a influência da AT na plataforma e sua interação com a água costeira no segundo semestre, cenário esse também observado no presente trabalho. Dias(2013) explica essa influência como decorrente do comportamento sazonal da CNB e de seus meandros e vórtices anti-ciclônicos.

Dessa forma, a avaliação da interação entre a circulação na PCCE e a CNB, bem como a quantificação dos processos que dominam a hidrodinâmica na plataforma são apresentados na próxima seção.

3.4 Diagnóstico do modelo

De um modo geral, a Física utilizada para descrever e compreender os movimentos nos oceanos é a Newtoniana. Em Oceanografia Física é conveniente escrever a 2ª Lei de Newton de forma a representar o movimento (a) como resultado do somatório de Forças ($\sum F$) por unidade de massa, matematicamente representada na equação (9).

$$a = \frac{\sum F}{m} \quad (9)$$

A partir disso, conhecer as principais forças atuantes torna-se fundamental para o entendimento dos movimentos no oceano. Segundo Pond e Pickard(1983b), a equação(9) em outras palavras significa:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - 2\Omega \times V + g + F \quad (10)$$

Onde o termo anterior a igualdade consiste na aceleração, o primeiro termo posterior a igualdade refere-se ao gradiente de pressão, o segundo é Coriolis, o terceiro a força da Gra-

vidade (aceleração da gravidade) e o último termo F representa as demais forças atuantes no sistema, nas quais incluem-se os termos não lineares da equação. A não linearidade significa que as incógnitas (termos advectivos e friccionais) ocorrem de forma combinada na equação, como produtos das velocidades por derivadas de velocidades ou como velocidades ao quadrado (POND; PICKARD, 1983b).

Por fim, a equação(10) pode ser decomposta para as três componentes de velocidade nas coordenadas "x", "y" e "z" e as respectivas velocidades "u", "v" e "w", convencionando-se positiva as direções para o leste, para norte e para cima (POND; PICKARD, 1983b). As equações decompostas com a inclusão dos termos advectivos são apresentadas nas equações(11),(12) e (13), onde os termos f e ν_t referem-se a Coriolis e a constante de Viscosidade Turbulenta.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \nabla P_x + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \nabla P_y + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \nabla P_z - g + \nu_t \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (13)$$

O modelo ROMS, por sua vez, usa as equações do movimento na forma para águas rasas, representadas nas equações (14) e (15) para as componentes zonal (U) e meridional (V) de velocidade. Onde f é o parâmetro de Coriolis, g a aceleração da gravidade, ρ_o a densidade, $\frac{\partial \eta}{\partial x}$ e $\frac{\partial \eta}{\partial y}$ são os gradientes de pressão devido a oscilação do nível do mar, H é a profundidade total ($h + \eta$), os termos (τ_x^s, τ_y^s) e (τ_x^b, τ_y^b) são os *stress* de superfície e fundo respectivamente, enquanto que os termos $(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z})$ e $(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z})$ referem-se aos termos advectivos.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_x^s}{\rho_o H} + \frac{\tau_x^b}{\rho_o H} + (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}) = 0 \quad (14)$$

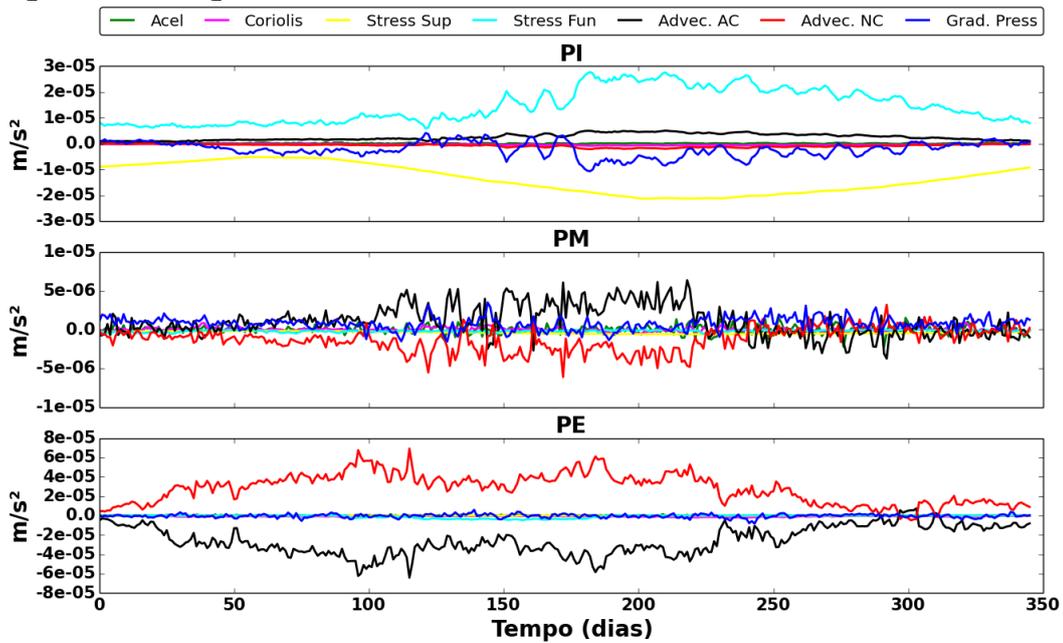
$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu + g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_y^s}{\rho_o H} + \frac{\tau_y^b}{\rho_o H} + (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}) = 0 \quad (15)$$

Desse modo, através da função Diagnóstico, o modelo permite a quantificação de valores temporais médios dos termos das equações (14) e (15) integrados na coluna de água. São utilizados 350 dias de mais um ano de simulação, com saídas médias de 24.8 horas, de forma que a influência da componente de maré é filtrada. Dessa forma a constatação dos processos de interação entre a circulação da plataforma e do oceano, bem como a discriminação dos termos dominantes nas áreas da plataforma continental tornam-se possíveis.

As séries temporais pontuais em u (componente zonal) e em v (componente meridional) na estação do Jaguaribe na Plataforma Interna(PI), Plataforma Média (PM) e Plataforma Externa

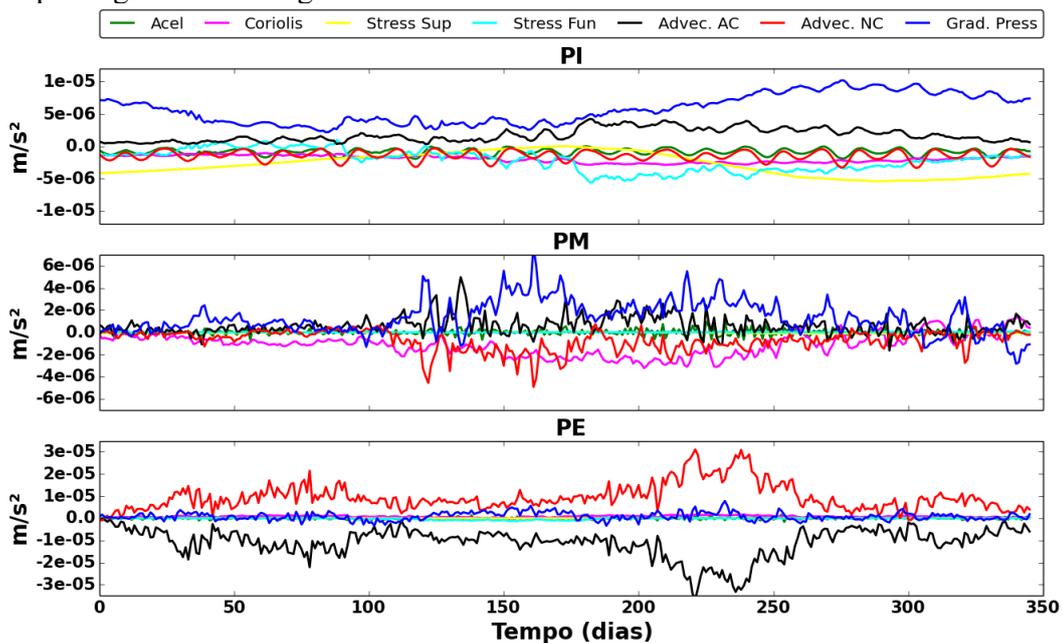
(PE) são apresentados nas figuras 65 e 66. A caixa acima do gráfico discrimina a legenda das linhas, por ordem, de aceleração, Coriolis, *stress* em superfície, *stress* no fundo, advecção ao longo da costa, advecção normal à costa e gradiente de pressão. Os sinais negativos e positivos indicam direções, para oeste e leste, sul e norte, respectivamente.

Figura 65: Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Jaguaribe.



Fonte: O autor(2015)

Figura 66: Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Jaguaribe.



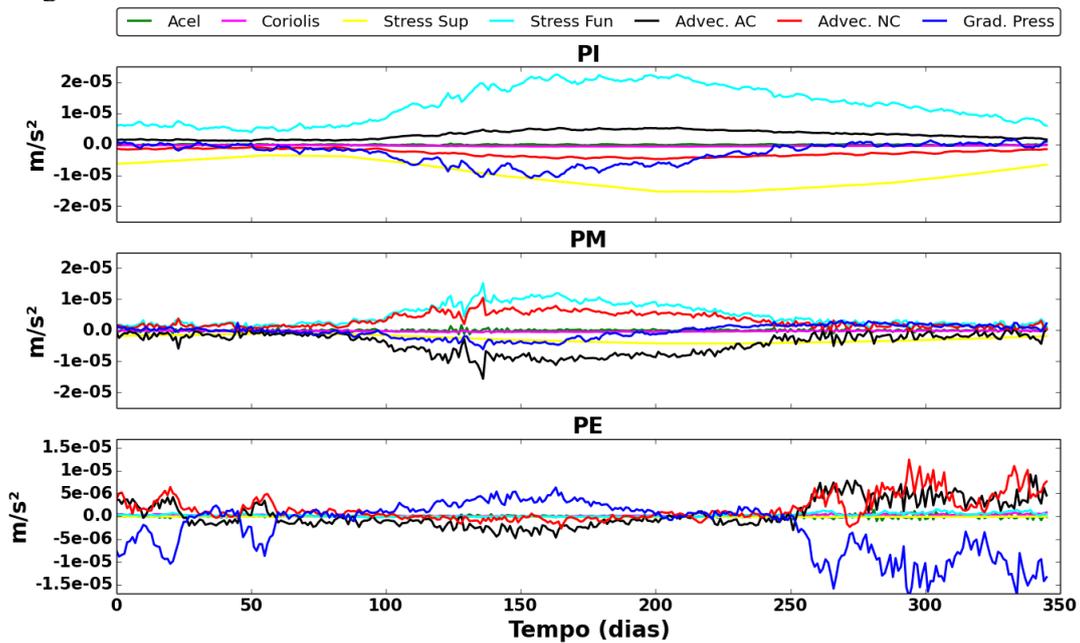
Fonte: O autor(2015)

Avaliando-se a componente U na PI do Jaguaribe, o diagnóstico ao longo de um ano configura um balanço entre os termos de *stress* de superfície e fundo, fato esse relacionado principalmente por a plataforma interna apresentar menores profundidades, tornando os termos não lineares de fricção mais importantes. Para a PM e PE, o balanço ocorre entre os termos advectivos ao longo e normal à costa. A partir das equações (14) e (15) constata-se que como os termos de *stress* são divididos pela profundidade, a medida que a profundidade aumenta a influência dos termos de *stress* diminuem.

O balanço dinâmico na componente V do Jaguaribe caracteriza-se pelo Gradiente de Pressão (GP) e termo Advectivo ao Longo da Costa (Advec.AC) sendo balanceados pelos termos de *stress* e termo Advectivo Normal a Costa (Advec.NC). Na PM o GP e termo Advec.AC são balanceados pelo termo Advec.NC e Coriolis, caracterizando um balanço com menor importância dos termos de *stress*. Para a PE, o balanço atingido é similar ao da componente U, com uma predominância dos termos advectivos.

As séries temporais pontuais para a estação de Fortaleza na PI, PM e PE, por sua vez, são apresentadas nas figuras 67 e 68 abaixo.

Figura 67: Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Fortaleza.



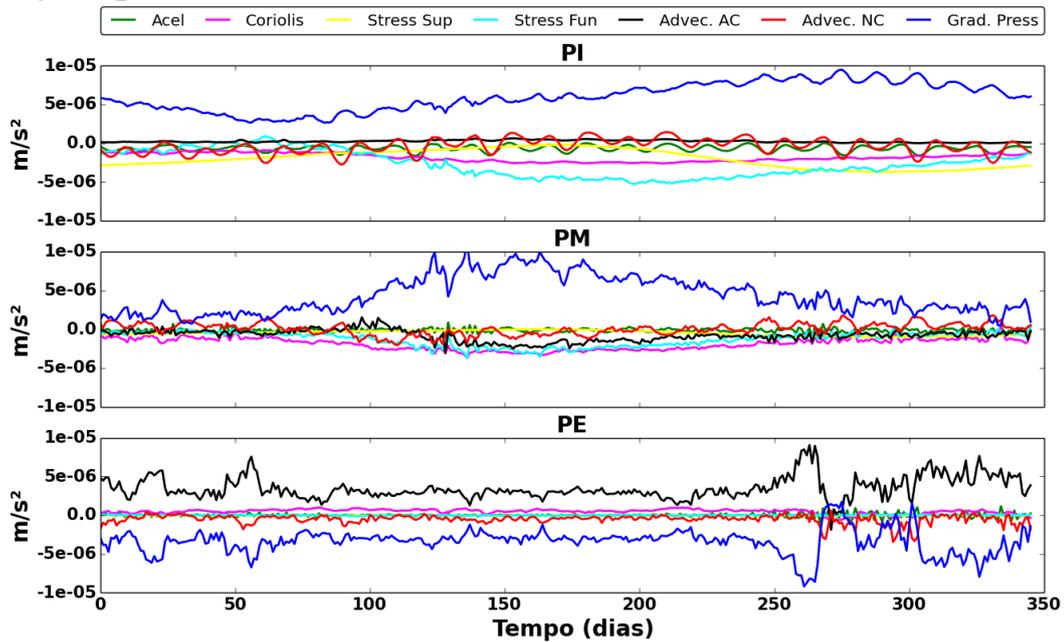
Fonte: O autor(2015)

Na componente U da PI da estação de Fortaleza encontra-se um balanço similar ao encontrado na estação do Jaguaribe, com um balanço entre os termos de *stress* de superfície e fundo. Contudo, nessa estação o termo GP apresenta uma maior importância, sendo balanceado pelo termo Advec.AC. Na PM, a estação de Fortaleza apresenta balanço distinto ao do Jaguaribe, pois os termos de *stress*, sobretudo o de fundo, apresentam papel importante no balanço. Tal balanço fica mais proeminente nas proximidades do segundo semestre, onde o *stress* de fundo e termo Advec.NC são equilibrados pelo *stress* de superfície e o termo Advec.AC. Na PE o termo

GP volta apresentar papel importante, sendo balanceado pelos termos advectivos. Tal balanço torna-se ressaltado na metade do segundo semestre.

Essa maior importância dos termos de *stress* na PM e dos termos advectivos na PE durante o segundo semestre podem estar associados a sazonalidade dos ventos da região, onde tal período caracteriza-se por ventos mais intensos. Além disso, os processos advectivos na PE indicam interação da circulação oceânica adjacente à plataforma, constatada anteriormente nas seções verticais de densidade.

Figura 68: Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Fortaleza.

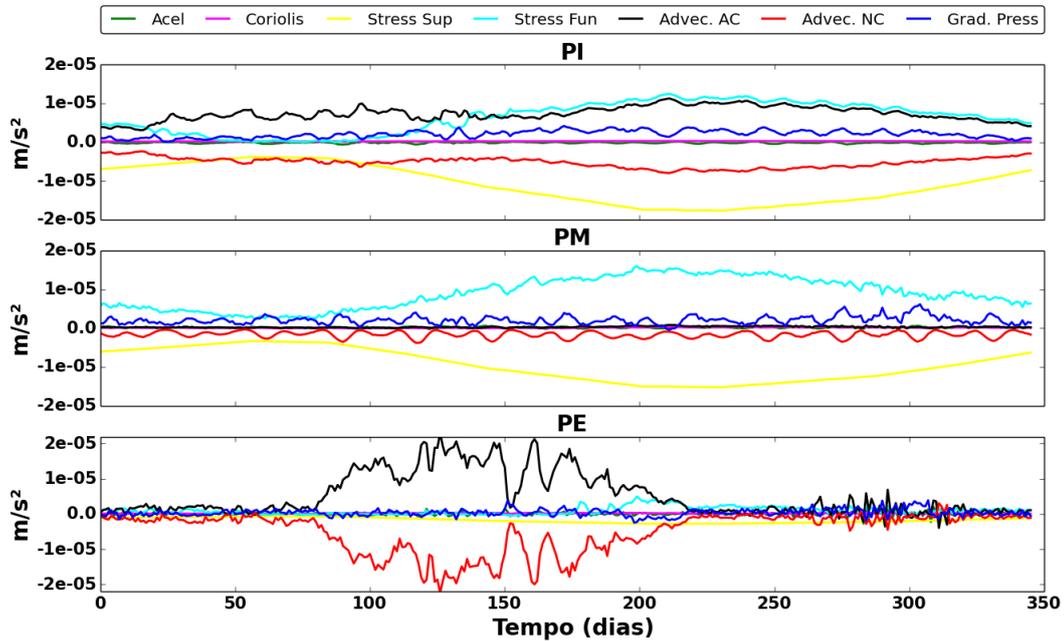


Fonte: O autor(2015)

Para a componente normal à costa, o GP apresenta grande importância na PI e PM, sendo balanceado pelas demais componentes. Vale ressaltar a importância do *stress* de fundo nesses balanços, cenário esse provavelmente relacionado a profundidades relativamente menores nas porções mais interiores da plataforma. Na PE, o GP continua apresentando relevância no equilíbrio, sendo balanceado pelo termo Advec.AC.

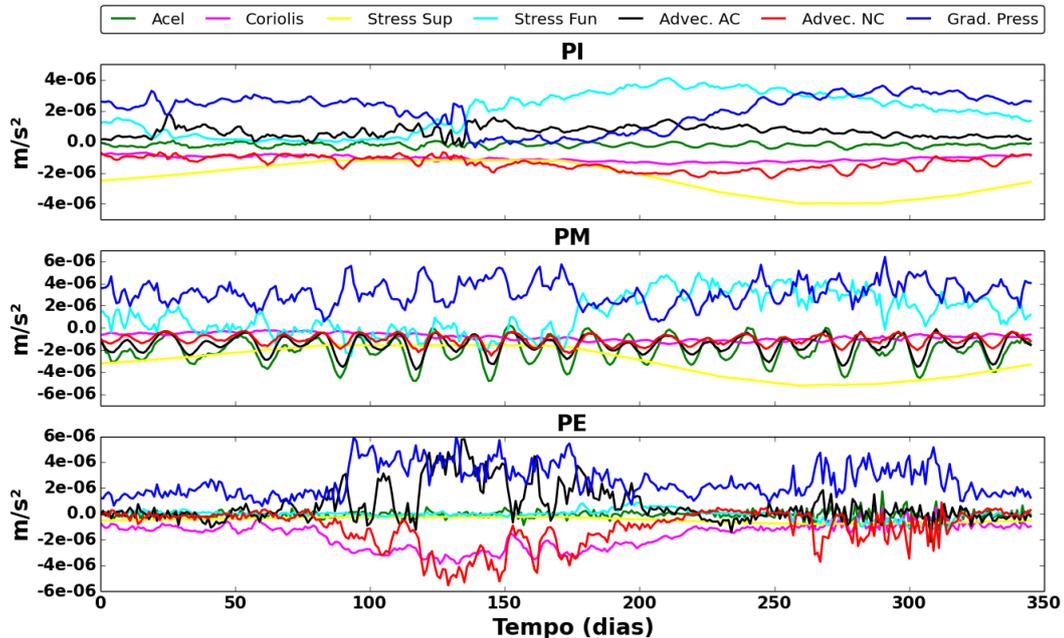
Por fim, as séries temporais pontuais para a estação de Acaraú na PI, PM e PE são apresentadas nas figuras 69 e 70 abaixo.

Figura 69: Diagnóstico médio vertical para a componente zonal (U) da equação do movimento para águas rasas - Acaraú.



Fonte: O autor(2015)

Figura 70: Diagnóstico médio vertical para a componente meridional (V) da equação do movimento para águas rasas - Acaraú.



Fonte: O autor(2015)

Para a componente U, a PI apresentou um balanço similar ao apresentado nas estações de Jaguaribe e Fortaleza, com o termo de *stress* de fundo e o termo de Advec.AC balanceados pelo *stress* de superfície e a Advec.NC. A PM, por sua vez, apresenta cenário similar ao encontrado na PI, com dominância dos termos de *stress*, com uma pequena contribuição dos termos de GP e

Advec.AC. Esse cenário provavelmente deve-se a topografia de fundo irregular e relativamente rasa, contribuindo para a predominância dos citados termos. Os termos advectivos passam a ter maior importância na PE, onde o balanço existente ocorre somente entre os termos advectivos ao longo e normais à costa, similar ao observado na estação de Jaguaribe.

Avaliando a componente V, a PI da estação de Acaraú apresenta os termos de *stress* de fundo e GP sendo balanceados pelo termo de *stress* de superfície e Advec.NC. Na PM ocorre balanço similar, contudo, os termos advectivos e de aceleração apresentam maior importância do que na PI e junto com o termo de *stress* de superfície, realizam o equilíbrio entre os termos de *stress* de fundo e GP. A PE, por sua vez, apresenta um balanço proeminente na metade do ano, com os termos GP e Advec.AC balanceados por Coriolis e Advec.NC.

De um modo geral, os termos advectivos apresentaram grande importância próximo a quebra da plataforma nas 3 estações, onde tal cenário deve-se a abrupta variação da profundidade na direção normal nessa região (SOARES; CASTRO, 1996). Outro aspecto em comum observado nas estações é o balanço entre o GP e os termos de *stress*, principalmente próximo a costa, cenário também observado por Soares e Castro (1996).

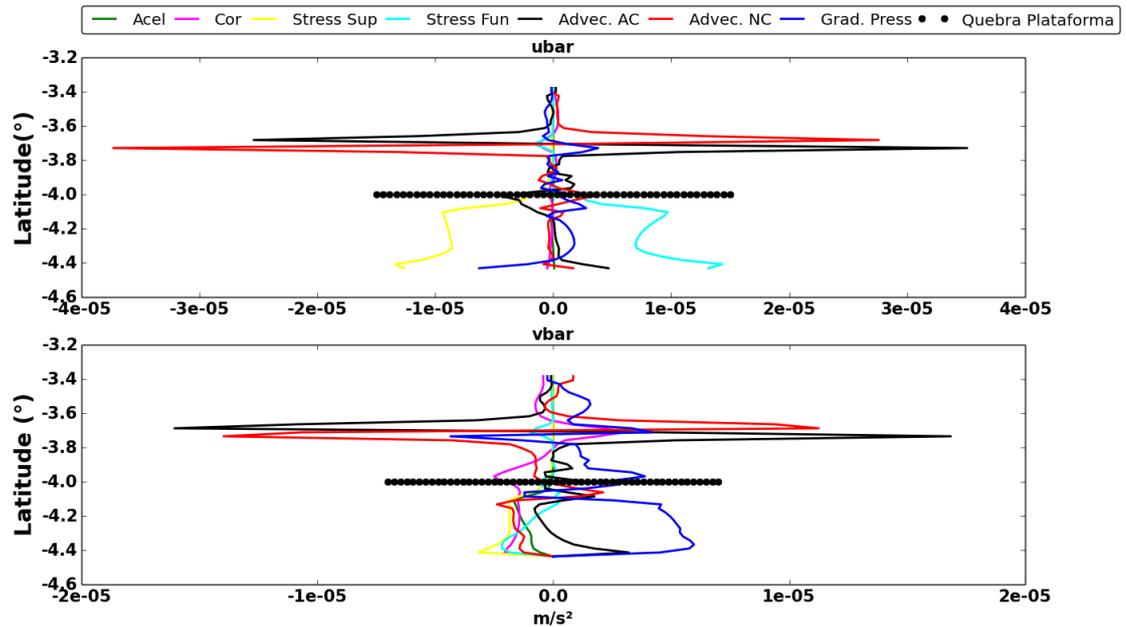
A advecção consiste no processo de transporte de uma propriedade em um fluido. Desse modo, a grande importância dos termos advectivos nos balanços apresentados, principalmente na PM e PE, dão indícios de que há condições hidrodinâmicas favoráveis a penetração de massas de água oceânica na plataforma. Tal cenário foi constatado anteriormente nas seções verticais de Temperatura, Salinidade e Densidade, nas quais é identificada uma água de características termohalinas da AT. Esses cenários dão indícios da influência da CNB na PCCE, corroborando com trabalhos anteriores (MARQUES et al., 2007; DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

A avaliação do balanço médio dos termos da equação do movimento na PCCE são apresentados nas seções latitudinais da próxima subseção.

3.4.1 Seções Latitudinais Médias

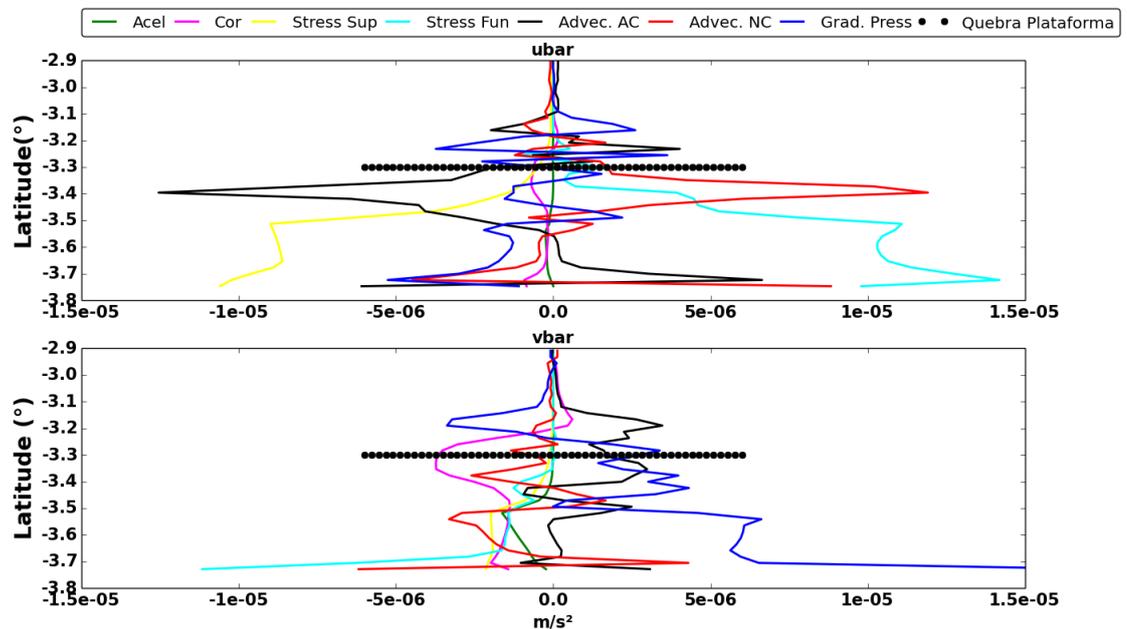
As figuras 71 a 73 apresentam os diagnósticos médios temporais latitudinais dos termos da equação do movimento para águas rasas nas estações de Jaguaribe, Fortaleza e Acaraú. O eixo y representa a latitude, o eixo x é a aceleração em $m.s^{-2}$ com valores positivos e negativos indicando direção para leste e oeste, norte e sul, respectivamente. Os subtítulos referem-se as componentes ao longo da costa (\bar{u}) e normal à costa (\bar{v}).

Figura 71: Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (u_{bar}) e meridional (v_{bar}) - Jaguaribe



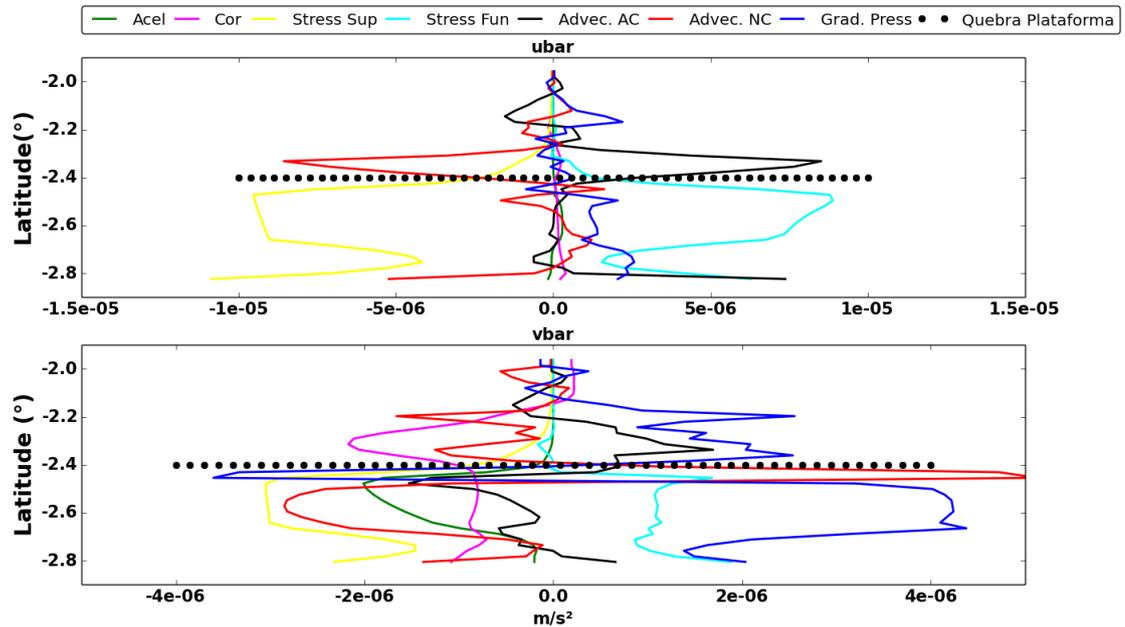
Fonte: O autor(2015)

Figura 72: Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (u_{bar}) e meridional (v_{bar}) - Fortaleza



Fonte: O autor(2015)

Figura 73: Diagnóstico médio temporal latitudinal das componentes zonal (u_{bar}) e meridional (v_{bar}) - Acaraú



Fonte: O autor(2015)

Avaliando-se a componente zonal (u_{bar}), constata-se um balanço entre os termos de *stress* de superfície e fundo em todas as estações, o que indica uma importância do vento na dinâmica paralela a costa na PCCE. Contudo, vale ressaltar o perfil da estação de Fortaleza, onde a medida que se aproxima da quebra da plataforma, os termos advectivos tornam-se mais importantes que os de *stress*, controlando dessa forma o balanço.

Para a componente meridional (v_{bar}), os balanços são distintos. Na estação de Jaguaribe, o GP é balanceado por todos os outros termos da equação. Na estação de Fortaleza, cenário similar é observado, contudo os termos de *stress* de fundo e Advec.NC apresentam relativa maior importância aos demais termos no balanço com o GP próximo a costa. A medida que se aproxima da quebra da plataforma, torna-se proeminente um balanço entre os termos advectivos e entre o GP e Coriolis. Por fim, na estação de Acaraú, os termos GP e *stress* de fundo são balanceados pelo *stress* de superfície, termos advectivos e a aceleração. Contudo a medida que aproxima-se da quebra da plataforma, o balanço caracteriza-se basicamente como um equilíbrio entre GP e o termo Advec.NC.

Existem alguns trabalhos na literatura em Oceanografia Física que realizaram o diagnóstico dos termos da equação do movimento. Lentz *et al.*(1999) avaliou o balanço de *momentum* na PI da Carolina do Norte, enquanto que Liu e Weisberg(2005) realizaram o diagnóstico do balanço de *momentum* na PI do oeste da Flórida. Por fim, Teixeira *et al.*(2013) avaliou o balanço de *momentum* na plataforma interna próximo ao banco de Abrolhos, 18°S, Brasil.

Na componente zonal, os três trabalhos citados acima constataram a importância dos termos de *stress* e contribuição dos ventos na circulação, caracterizando um balanço ageostrófico, similar ao encontrado na PCCE. Contudo, no balanço normal à costa, todos os trabalhos apre-

sentaram um balanço com o termo GP sendo balanceado por Coriolis, caracterizando um balanço geostrófico. Tal cenário diverge do observado na PCCE, onde há uma grande importância dos termos advectivos em relação a Coriolis. Essa diferença deve-se a posição mais setentrional e austral dos citados estudos, o que contribui para uma maior importância do termo de Coriolis.

A importância do termo GP na componente meridional caracteriza a importância do vento e das diferenças de densidade na PCCE, enquanto que próximo à costa a relevância dos termos de *stress* justificam-se em decorrência da menor profundidade. Por fim, a predominância dos termos advectivos próximos a quebra da plataforma dão indícios de penetração de massas de água na plataforma e de influência da circulação da CNB na PE da PCCE.

4 CONCLUSÃO

Pela primeira vez um modelo baroclínico tridimensional foi usado para estudar a circulação na PCCE. O modelo ROMS apresentou desempenho satisfatório na representação dos cenários almejados. Embora tenham existido limitações apresentadas no processo de validação, como por exemplo a superestimação das fases de maré do modelo, de um modo geral os campos hidrodinâmicos e termohalinos foram condizentes aos bancos de dados e bibliografia disponíveis. De uma forma geral, há poucos dados hidrodinâmicos disponíveis para uma perfeita validação dos resultados.

A circulação residual de maré na PCCE, resultado da interação da maré com a morfologia de fundo e linha de costa, apresenta direções bem definidas na enchente e vazante, com as maiores velocidades máximas na sizígia com 0.02 m/s e mais modestas na quadratura com 0.012 m/s, ambas no processo de enchente. Destaca-se as estações de Jaguaribe e de Acaraú as quais apresentam as maiores variações de maré residual ao longo da PCCE.

Além disso, a circulação na PCCE apresenta predominância de correntes longitudinais com frequência maregráfica, onde as componentes de maré explicam para a componente normal de velocidade 87,6% e 98% de sua variabilidade no primeiro e segundo semestre, enquanto 45,2% e 38% refere-se a explicação para a componente paralela durante o primeiro e o segundo semestre, respectivamente.

As intensidades das velocidades integradas na coluna de água da circulação sub-maré estão entre 0.1 e 0.2 m/s no primeiro semestre, enquanto no segundo há um campo de velocidade oscilando entre 0.1 e 0.3 m/s, em decorrência sobretudo da maior intensidade dos ventos. Contudo, mesmo com intensidades distintas, ambos cenários apresentam fluxos paralelos as isóbatas e em direção noroeste.

Embora o máximo de velocidade de corrente residual de maré seja em torno de 6.6% do máximo da circulação de sub-maré, ambas são muito importantes para a hidrodinâmica na PCCE, tendo em vista o seu caráter não cíclico.

Mesmo não sendo o objetivo central do trabalho, foi constatado pela primeira vez instabilidades hidrodinâmicas adjacentes a plataforma, especificamente ao largo do Platô do Ceará, no qual é possível observar um vórtice girando no sentido anti-horário com velocidades entre 0.2 a 0.4 m/s no primeiro semestre e entre 0.2 e 0.3m/s no segundo semestre, denominado no presente trabalho como Vórtice do Ceará.

Em relação a estrutura termohalina na PCCE, a temperatura apresenta uma distribuição zonal das linhas isotérmicas, com águas mais quentes tanto em superfície como no fundo no primeiro semestre, enquanto tem-se águas relativamente mais frias no segundo semestre, apresentando, dessa forma, comportamento análogo a sazonalidade do fluxo de calor para a área de estudo. Para a salinidade, o campo médio caracteriza-se com águas menos salgadas na superfície e fundo durante o primeiro semestre, em decorrência da influência da ZCIT que propicia um maior índice pluviométrico nesse período, enquanto no segundo semestre, as águas superficiais e de fundo da PCCE apresentam salinidades mais elevadas, produto da maior intensidade dos

ventos e das taxas de evaporação. Como resultado dos campos médios de temperatura e salinidade, a PCCE apresenta águas menos densas durante o primeiro semestre e mais densas no segundo semestre, tanto em superfície como no fundo.

As vazões dos principais tributários da PCCE apresentam maior influência na estrutura halina da plataforma durante o primeiro semestre, período em que as vazões são mais intensas. Contudo, não se é observado uma estratificação vertical relevante ao longo da PCCE durante esse período, salvo exceção da estação de Acaraú, na qual a morfologia de fundo na PI propicia condições para uma coluna de água com isohalinas levemente inclinadas. De um modo geral, essa condição de quase inexistente estratificação deve-se ao regime de maré e morfologia rasa da região que incrementa os processos de mistura.

Ainda sobre a estrutura vertical termo-halina na PCCE, é possível observar no primeiro semestre a presença da AT nas bordas da PE da PCCE, na isóbata de 100 metros, enquanto durante o segundo semestre a PE e região adjacente apresentam estrutura verticalmente homogênea, o que dá indícios de uma penetração da AT e interação com a AC da plataforma.

Esse cenário é suportado pelas séries temporais dos termos da equação do movimento, nas quais conclui-se o domínio dos termos advectivos na PM e PE da PCCE. Tal fato indica uma interação entre circulação sazonal da CNB com a circulação na PE da PCCE. Além disso, os balanços médios para a PCCE demonstram importância dos termos GP e *stress* próxima a costa, que por sua vez indicam a relevância do vento e dos termos não lineares na circulação da PI da PCCE.

O presente trabalho constitui uma importante contribuição à modelagem hidrodinâmica da PCCE, tendo em vista o pioneirismo na construção de cenários hidrodinâmicos com a componente baroclínica em 20 níveis verticais. Além disso, foi possível constatar a sazonalidade da circulação média e da estrutura termohalina, avaliar a distribuição espacial da circulação residual de maré, bem como quantificar a dominância dos termos GP e de atrito na circulação da PI e dos termos advectivos na PM e PE da PCCE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Atlas nordeste – abastecimento urbano de água: Alternativas de oferta de água para as sedes municipais da região nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais. Superintendência de Planejamento e Recursos Hídricos. *Documento Técnico*, 82p., Brasília, 2006. Disponível em: <www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/atlas.pdf>.
- AZEVEDO, P. H. V. de; SILVA, B. B. da; RODRIGUES, M. F. G. Previsão estatística das chuvas de outono no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 13, n. 1, p. 19 – 30, 1998.
- BLAAS, M. et al. Sediment-transport modeling on southern Californian shelves: A {ROMS} case study. *Continental Shelf Research*, v. 27, n. 6, p. 832 – 853, 2007. ISSN 0278-4343.
- BOEHLERT, G. W. Current-topography interactions at mid-ocean seamounts and the impact on pelagic ecosystems. *GeoJournal*, Kluwer Academic Publishers, v. 16, n. 1, p. 45–52, 1988.
- BOWDEN, K. F. *Physical oceanography of coastal waters*. Chichester West Sussex New York: E. Horwood Halsted Press, 1983. ISBN 0853126860.
- BUDGELL, W. P. Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region. *Ocean Dynamics*, 2005.
- CASTELAO, R. M.; BARTH, J. A. The relative importance of wind strength and along-shelf bathymetric variations on the separation of a coastal upwelling jet. *Journal of Physical Oceanography*, v. 36, p. 412 – 425, 2006.
- CASTELAO, R. M.; BARTH, J. A. The role of wind stress curl in jet separation at a cape. *Journal of Physical Oceanography*, v. 37, p. 2652 – 2671, 2007.
- CHAPMAN, D. C. Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. *Journal of Physical Oceanography*, v. 15, p. 1060 – 1075, 1985.
- CHASSIGNET, E. et al. The modelling component of ocean forecasting, en route to GODAE. *Symposium on the Global Ocean Data Assimilation Experiment*, p. 1 – 10, 2002.
- CHENG, R. T.; GARTNER, J. W. Harmonic analysis of tides and tidal currents in San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 21, n. 1, p. 57 – 74, 1985. ISSN 0272-7714.
- COLLING, A. *Ocean circulation*. Boston: Butterworth Heinemann, in association with the Open University, 2001. ISBN 978-0750652780.
- COUTINHO, P. N. Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe. Tese de Doutorado Livre. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 119p., 1976.
- COUTINHO, P. N. Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. *Revista de Geologia*, Fortaleza, p. 65 – 75, 1995.
- COUTINHO, P. N. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil - oceanografia geológica. *Documento Técnico*, 96p., Brasília, 1996. Disponível em: <www.mma.gov.br/estruturas/revizee/arquivos/levarte.pdf>.

- DIAS, F.; CASTRO, B.; LACERDA, L. Continental shelf water masses off the jaguaribe river (4s), northeastern brazil. *Continental Shelf Research*, v. 66, p. 123 – 135, 2013.
- DIAS, F. J. da S. Circulação e massas de água na plataforma continental leste do ceará: modelagem numérica e observações. Tese (Doutorado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 332p., 2011.
- DIAS, F. J. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. Circulação na plataforma continental ao largo do estuário do rio jaguaribe (ceará-nordeste-brasil) durante a estação chuvosa de 2009. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, 2011.
- DINNIMAN, M. S.; KLINCK, J. M.; JR., W. O. S. Cross-shelf exchange in a model of the ross sea circulation and biogeochemistry. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 50, n. 22–26, p. 3103 – 3120, 2003.
- EGBERT, G. D.; BENNETT, A. F. Topex/poseidon tides estimated using a global inverse mode. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 24,821 – 24,852, 1994.
- EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 19, p. 183 – 204, 2002.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2005.
- FILHO, W. F. da S. et al. Estruturas rasas na margem equatorial ao largo do nordeste brasileiro (estado do ceará): análise de relevo e anomalias gravimétricas residuais. *Revista Brasileira de Geofísica*, scielo, v. 25, p. 65 – 77, 2007.
- FLATHER, R. A. A tidal model of the northwest european continental shelf. *Mémoires de La Société Royale Des Sciences Liège*, v. 10, p. 141 – 164, 1976.
- FUNCEME. 2014. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/rede-de-monitoramento/postos-pluviometricos>>.
- HAIIDVOGEL, D. B. et al. Model evaluation experiments in the north atlantic basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, v. 32, n. 3–4, p. 239 – 281, 2000.
- HETLAND, R. D. Relating river plume structure to vertical mixing. *American Meteorological Society*, v. 35, 2005.
- JOHNS, W. E.; LEE, T. N. Annual cycle and variability of the north brazil current. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 103 – 128, 1998.
- KAMENKOVICH, V. M. *Synoptic eddies in the ocean*. Dordrecht Boston, 444p: D. Reidel, 1986. ISBN 902771925X.
- KNAUSS, J. *Introduction to physical oceanography*. Long Grove, Il, 320p.: Waveland Press, 2005. ISBN 1577664299.
- LENTZ, S. et al. Momentum balances on the north carolina inner shelf. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, v. 104, n. C8, p. 18205–18226, Aug 1999.

- LIU, Y.; WEISBERG, R. H. Momentum balance diagnoses for the west florida shelf. *Continental Shelf Research*, v. 25, n. 17, p. 2054 – 2074, 2005. Coastal and Shelf Circulation Dynamics and Forecast Coastal and Shelf Circulation Dynamics and Forecasts, {AGU} Ocean Sciences Meeting special session.
- LORENZO, E. D. Seasonal dynamics of the surface circulation in the southern california current system. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 50, n. 14–16, p. 2371 – 2388, 2003.
- LUEDEMANN, E. F. Preliminary results of drift-bottle releases and recoveries in the western tropical atlantic. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, scielo, v. 16, p. 13 – 22, 1967. ISSN 0373-5524.
- LUEDEMANN, E. F.; PEREIRA, S. G. *Some results of drift bottle releases in western equatorial waters during GATE 1974*. São Paulo, 22p.: [s.n.], 1976.
- MARCHESIELLO, P.; MCWILLIAMS, J. C.; SHCHEPETKIN, A. Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. *Ocean Modelling*, v. 3, n. 1–2, p. 1 – 20, 2001. ISSN 1463-5003.
- MARCHESIELLO, P.; MCWILLIAMS, J. C.; SHCHEPETKIN, A. Equilibrium structure and dynamics of the california current system. *Journal of Physical Oceanography*, v. 33, p. 753–783, 2003.
- MARQUES, W. S. et al. Oceanographic parameters in continental margin of the state of ceará (northeastern brazil) deduced from c and o isotopes in foraminifers. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, scielo, v. 79, p. 129 – 139, 2007.
- MARTINS, L.; COUTINHO, P. The brazilian continental margin. *Earth-Science Reviews*, v. 17, n. 1–2, p. 87 – 107, 1981. ISSN 0012-8252.
- METCALF, W. G. Shallow currents along the northeastern coast of south america. *Journal Marine Research*, v. 26, p. 232 – 243, 1968.
- METCALF, W. G.; STALCUP, M. C. Origin of the atlantic equatorial undercurrent. *Journal Geophysical Research*, v. 22, p. 4959 – 4975, 1967.
- MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean & Coastal Management*, v. 46, n. 1–2, p. 27 – 46, 2003. ISSN 0964-5691.
- MOLISANI, M. M.; CRUZ, A. L. V.; MAIA, L. P. Estimativas de descargas fluviais para os estuários do estado do ceará, brasil. *Arquivo de Ciências do Mar*, v. 39, p. 53 – 60, 2006.
- PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in matlab using t tide. *Computers and Geosciences*, v. 28, n. 8, p. 929 – 937, 2002.
- PELIZ, A. et al. Generation and unstable evolution of a density-driven eastern poleward current: The iberian poleward current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 108, 2003.

- POND, S.; PICKARD, G. L. Currents with friction; wind-driven circulation. In: PICKARD, S. P. L. (Ed.). *Introductory Dynamical Oceanography*. Second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1983. p. 100 – 162. ISBN 978-0-08-057054-9.
- POND, S.; PICKARD, G. L. The equation of motion in oceanography. In: POND, S.; PICKARD, G. L. (Ed.). *Introductory Dynamical Oceanography (Second Edition)*. Second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1983. p. 33 – 43. ISBN 978-0-08-057054-9.
- POND, S.; PICKARD, G. L. The role of the non-linear terms and the magnitudes of terms in the equations of motion. In: PICKARD, S. P. L. (Ed.). *Introductory Dynamical Oceanography (Second Edition)*. Second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1983. p. 44 – 62. ISBN 978-0-08-057054-9.
- PUGH, D. *Tides, surges, and mean sea-level*. Chichester New York: J. Wiley, 1987. ISBN 047191505X.
- RAMOS, A. M. *Normais climatológicas do Brasil 1961 a 1990*. Brasília, 465p.: INMET, 2009.
- ROYER, T. C. Ocean eddies generated by seamounts in the north pacific. *Science*, n. 199, p. 1063–1064, 1978.
- SALES, H. B.; MELO, L. M.; FREIRE, G. S. S. Otimização de abertura de algas calcárias de plataforma continental do ceará. *Revista de Química Industrial*, v. 3, p. 03 – 06, 1994.
- SCHETTINI, C. A. F.; MAIA, L. P.; TRUCCOLO, E. C. Análise da variabilidade do nível da água na costa de fortaleza, ceará. *Arquivo de Ciências do Mar*, v. 44, p. 27 – 32, 2011.
- SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 1904 – 1928, 1998.
- SERVAIN, J.; PICAUT, J.; BUSALACCHI, A. J. Chapter 16 interannual and seasonal variability of the tropical atlantic ocean depicted by sixteen years of sea-surface temperature and wind stress. In: NIHOUL, J. (Ed.). *Coupled Ocean-Atmosphere Models*. [S.l.]: Elsevier, 1985, (Elsevier Oceanography Series, v. 40). p. 211 – 237.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. Quasi-monotone advection schemes based on explicit locally adaptive dissipation. *American Meteorological Society*, v. 126, p. 1541 – 1580, 1998.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate. *Journal of Geophysical Research*, v. 108, p. 1 – 34, 2003.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. The regional oceanic modeling system (roms): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, v. 9, n. 4, p. 347 – 404, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500304000484>>.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. Correction and commentary for “ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system” by haidvogel et al., j. comp. phys. 227, pp. 3595–3624. *Journal of Computational Physics*, v. 228, n. 24, p. 8985 – 9000, 2009.

- SIGNORINI, S. R.; MIRANDA, L. B. Tidal and low-frequency currents near the shelf break: Northeastern coast of Brazil. *Journal Physics Oceanography*, p. 2107–2115, 1983.
- SILVA, D. R. F.; LIMA, M. C. Trabalho de campo na zona costeira do Ceará: por uma interpretação densa no percurso Fortaleza. *Revista Discente Expressões Geográficas*, v. 07, p. 253–269, 2011.
- SILVA, L. C. F.; ALVARENGA, J. B. R. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil - oceanografia física da região nordeste. *Documento Técnico*, 200p., Brasília, 1994.
- SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On the origins of the north Brazil current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 99, n. C11, p. 22501–22512, 1994. ISSN 2156-2202.
- SOARES, J.; CASTRO, B. M. F. Numerical modeling of the response of Ceará continental shelf waters to wind stress forcing. *Revista Brasileira de Oceanografia*, scielo, v. 44, p. 135 – 153, 1996. ISSN 1413-7739.
- STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 46, n. 1–2, p. 279 – 303, 1999. ISSN 0967-0645.
- TALLEY, L. D. et al. Chapter 3 - physical properties of seawater. In: SWIFT, L. D. T. et al. (Ed.). *Descriptive Physical Oceanography (Sixth Edition)*. Sixth edition. Boston: Academic Press, 2011. p. 29 – 65. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750645522100034>>.
- TEIXEIRA, C. E. et al. The inner shelf circulation on the Abrolhos bank, 18°S, Brazil. *Continental Shelf Research*, v. 70, n. 0, p. 13 – 26, 2013. ISSN 0278-4343. Oceanography, ecology and management of Abrolhos Bank.
- TEIXEIRA, C. E. P. Dynamics of Spencer Gulf: a numerical study. Tese (Doutorado). School Of Mathematics and Statistics, University Of New South Wales, Adelaide, 199p., 2010.
- UVO, C.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará state rainfall in northeast Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 101, n. D2, p. 4221–4233, 1996. ISSN 2156-2202.
- VIANNA, M. L.; MENEZES, V. V. Singular spectrum analysis of nonstationary tidal currents applied to ADCP data from the northeast Brazilian shelf. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 23, p. 138–151, 2006.
- WARNER, J. C.; GEYER, W. R.; LERCZAK, J. A. Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 110, 2005.
- WILKIN, J. L. et al. A regional ocean modeling system for the long-term ecosystem observatory. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 110, 2005.
- WRIGHT, J. *Waves, tides, and shallow-water processes*. Oxford Boston: Butterworth-Heinemann, in association with the Open University, 1999. ISBN 0750642815.