



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Anna Luiza Pacheco Dalbosco

Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina

Florianópolis
2019

Anna Luiza Pacheco Dalbosco

Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina

Tese submetida ao Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de doutor em Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Davide Franco, Dr.
Coorientador: Martinho Marta-Almeida, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dalbosco, Anna Luiza Pacheco
Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa
Catarina / Anna Luiza Pacheco Dalbosco ; orientador,
Davide Franco, coorientador, Martinho Marta-Almeida, 2019.
123 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Oceanografia. 3. Circulação
Oceânica. 4. Modelagem numérica. 5. Hidrodinâmica costeira.
I. Franco, Davide. II. Marta-Almeida, Martinho. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Anna Luiza Pacheco Dalbosco

Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Janini Pereira Dr.(a)

Instituição Universidade Federal da Bahia

Prof.(a) Cátia Regina Pinto, Dr.(a)

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Rodrigo do Carmo Barletta Dr.

Instituição AsterGEO

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia Ambiental.

Prof.(a) Maria Eliza Hassemer, Dr.(a)

Coordenador(a) do Programa

Prof. Davide Franco, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2019.

Esse trabalho é dedicado ao amor. Demonstrado a mim pelo apoio da minha família e paciência da minha namorada.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) da Universidade Federal de Santa Catarina e todos os lahimarianos que tonaram mais leve e divertido todo o processo.

Ao meu orientador Davide Franco, pela grande troca de conhecimento realizada durante todos esses anos nos papos científicos e políticos.

Ao Instituto Espanhol Oceanográfico (IEO – sede A Coruña) pela oportunidade de realização de estágio sanduíche. Especialmente ao professor responsável, Manuel Ruiz Villarreal, que não poupou esforços em disponibilizar toda a estrutura necessária para implementação do nosso modelo numérico.

Ao meu coorientador Martinho Marta-Almeida, que dividiu comigo todo seu conhecimento de forma tão prática e generosa. Sem a sua parceria e dedicação esta pesquisa não teria se completado dessa maneira.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado. Sem o financiamento público não há ciência.

RESUMO

Este trabalho investigou os padrões de escoamento na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina a partir de séries de dados medidos e modelagem numérica. Foram coletados dados de correntes, nível e temperatura de fundo através do fundeio de ADCP entre 30/03/2014 à 29/04/2016, a uma profundidade de 22m, em área dentro dos limites da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo. A análise dos dados medidos indicou um escoamento resultante para sul e um padrão sazonal de estratificação da coluna d'água ligado ao padrão de correntes. Durante a primavera e verão as correntes fluem com maior intensidade para sul e a coluna d'água se estratifica com águas frias no fundo e água quente na superfície. Já durante o inverno as correntes para sul se enfraquecem ocorrendo períodos de reversão do escoamento para norte e a coluna d'água se mantém homogênea. A partir de simulações numéricas hidrodinâmicas realizadas como modelo ROMS, foi possível verificar que os padrões e variabilidades interanuais e sazonais identificados em escala regional foram também identificados na região entorno da Ilha de Santa Catarina. Ratificando a o alto nível de influência dos processos regionais nos padrões medidos em ambientes rasos sobre a Plataforma Continental Interna de Santa Catarina (PCISC). O modelo numérico ROMS e as forçantes utilizadas nas simulações representaram satisfatoriamente o escoamento e os padrões termohalinos da PCISC.

Palavras-chave: Correntes na plataforma continental interna. Modelagem hidrodinâmica. Padrões termohalinos.

ABSTRACT

This study investigated the flow patterns in the Internal Continental Shelf of Santa Catarina from measured data series and numerical modeling. Data of currents, level and background temperature were collected through the ADCP fence between 03/30/2014 to 04/29/2016, at a depth of 22m, in an area within the limits of the Arvoredo Marine Biological Reserve. The analysis of the measured data indicated a resulting flow to the south and a seasonal stratification pattern of the water column connected to the current pattern. During the spring and summer the currents flow with greater intensity to the south and the column of water stratifies with cold waters in the bottom and hot water on the surface. Already during the winter the currents to the south are weakened occurring periods of reversion of the flow towards north and the water column remains homogeneous. From hydrodynamic numerical simulations performed as a ROMS model, it was possible to verify that the interannual and seasonal patterns and variabilities identified on a regional scale were also identified in the region around the Island of Santa Catarina. Ratifying the high level of influence of regional processes on the standards measured in shallow environments on the Internal Continental Shelf of Santa Catarina (PCISC). The numerical model ROMS and forces used in the simulations satisfactorily represented the flow and thermohaline patterns of the PCISC.

Keywords: Internal continental shelf currents. Hydrodynamic modeling. Thermohaline patterns.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo local que engloba a Ilha de Santa Catarina e Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.	19
Figura 2 - Área de estudo – regional. As linhas pontilhadas indicam os limites das Plataforma Continental Sudeste-Sul Brasileira. A área em amarelo indica a Plataforma Continental de Santa Catarina (PCSC) e o retângulo em vermelho indica a área de estudo de abrangência local. (Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo).....	20
Figura 3 - Representação esquemática das principais correntes na PCSSB. A linha pontilhada indica o fluxo bidirecional.....	21
Figura 4 - Campos médios sazonais da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM em hPa) e do vento a 10 m (m/s) para o período de 1989 e 2010 (DEGOLA, 2013).	23
Figura 5 - Pontos de descargas hidrológicas na PCSSB com vazão média superior a 50 m ³ /s. As barras horizontais indicam a vazão relativa de cada descarga. Vazões médias: Iguape = 524 m ³ /s, Paranaguá = 76 m ³ /s, Guaratuba = 90 m ³ /s, Itapocu = 106 m ³ /s, Itajaí = 484.....	25
Figura 6 - Diagrama de Temperatura-Salinidade com base em dados medidos do Cabo de São Tomé (RJ) ao Chuí (RS). A Água Subtropical Antártica (ASA/SASW) não é comumente descrita na PCSC. Modificado de Macedo-Soares et al. (2014).	28
Figura 7 - Diagrama de Temperatura-Salinidade para as coletas de inverno e verão realizadas na estação do Cabo de Santa Marta (SC). Os pontos marcados em cinza com a indicação 76B indicam a identificação de fenômeno de ressurgência. Modificado de Moller et al. (2008)....	29
Figura 8 - Localização de fundeio do ADCP e pontos de coleta de dados com CTD do Projeto MAArE.	31
Figura 9 - Fluxograma das etapas de decomposição espectral das séries de dados medidas pelo ADCP de nível, correntes e temperatura.	34
Figura 10 - Série de dados medidos de nível no primeiro quadro, velocidade barotrópica da componente u e v da corrente no segundo quadro e terceiro quadro e temperatura no quarto quadro. As séries plotadas são médias diárias para melhor visualização.	35
Figura 11 - Espectro de densidade de potência do nível horário medido pelo ADCP.	36
Figura 12 - Séries temporais do nível medido pelo ADCP e suas componentes derivadas do processo de decomposição espectral. No nível meteorológico são evidenciados períodos de superelevação (azul) e subsidência (amarelo).	39

Figura 13 - Histogramas das séries de nível observado, mareal, de baixa frequência e meteorológico.....	40
Figura 14 - Gráfico de valores diários da componente de baixa frequência do nível decimado (FRANCO et al., 2017).	41
Figura 15 - Espectro de densidade de potência do nível observado e suas componentes decompostas.	42
Figura 16 - Perfis de velocidade da corrente horária em todas células medidas para componente u no quadro superior e componente v no quadro inferior.	43
Figura 17 - Histograma de distribuição da direção e magnitude da corrente dos dados medidos pelo ADCP.....	43
Figura 18 - Rosa das correntes médias medidas nas camadas de superfície, meio e fundo.	44
Figura 19 - Espectro de densidade de potencia da corrente observada (média para toda coluna d'água).	45
Figura 20 - Decomposição espectral do componente u da corrente medida pelo ADP.	47
Figura 21 - Decomposição espectral do componente v da corrente medida pelo ADP.	48
Figura 22 - Espectro de Densidade de Potência (m^2/cph e m^2/cpd) para as componentes u e v da corrente observada e decomposta nas frequências não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica.....	49
Figura 23 - Rosas das correntes medidas (observada) e decompostas em frequência (mareal, não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica). Atentar para alteração de escala para a corrente de baixa frequência. *Atentar para alteração de escala na rosa de baixa frequência	50
Figura 24 - Rosas das correntes decompostas em frequência (mareal, não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica) para a camada de superfície, meio e fundo. Atentar para alteração de escala nas rosas de baixa frequência.	51
Figura 25 - Corrente baroclínica de baixa frequência para todas as camadas medidas.....	52
Figura 26 - Rosa de corrente resultante da subtração da componente de baixa frequência da corrente total observada.....	52
Figura 27 - Rosas de correntes médias da coluna d'água pra cada estação do ano.	53
Figura 28 - Médias sazonais para cada camada vertical medida das componentes u e v da corrente nos quadros superiores e da magnitude e direção da corrente nos quadros inferiores.	54
Figura 29 - Massas d'água identificadas através dos dados medidos por CTD na região no entorno da Rebio Arvoredo. Modificado de FRANCO et al. (2017).	56

Figura 30 - No quadro superior estão plotadas a Temperatura Superficial do Mar (TSM - extraída das imagens OSTIA) diária e decomposta em baixa frequência, e a temperatura de fundo (medida pelo ADCP) decimada em dados diários e decomposta em baixa frequência. As linhas pontilhadas referem-se às médias de todo o período medido. No quadro inferior a diferença entre a temperatura de fundo e a superficial.	58
Figura 31 - Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.	59
Figura 32 - Representação da variação espacial do ciclo anual do ASAS para a média dos dados analisados entre 1989 e 2010. Modificado de Degola (2013).	60
Figura 33 - Índice MEI que define a ocorrência e intensidade dos fenômenos de El Niño e La Niña. As linhas verticais em vermelho indicam o início e fim da coleta de dados do Projeto MAARÉ. A linha cinza tracejada indica o intervalo de erro do índice de $\pm 0,5$. Dados obtidos em: https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/ . O índice MEI é obtido a partir de função que inclui cinco variáveis: Pressão atmosférica no nível do mar, Temperatura da superfície do mar, Componentes zonais e meridionais do vento na superfície do mar e radiação de ondas longas.	61
Figura 34 - Limites horizontais máximos das três grades numéricas utilizadas no modelo. Na imagem também é possível visualizar a batimetria final interpolada para as grades numéricas, nas linhas batimétricas de 100 m, 1000 m, 2000 m e 3000 m.	65
Figura 35 - Pontos de lançamento de água doce no modelo numérico. Os pontos vermelhos indicam as séries com dados diários medidos, e os pontos azuis séries climatológicas com dados médios.	67
Figura 36 - Médias mensais das descargas continentais inseridas no modelo (entre os anos 2014, 2015 e 2016). Os rios do trecho norte e sul foram apresentados com suas vazões somadas para melhor visualização.	69
Figura 37 - Limites dos 30 níveis sigma da grade numérica D2 na latitude $27^{\circ}15'S$, região da Rebio Arvoredo.	70
Figura 38 – No quadro superior: séries temporais de temperatura simulada na camada de fundo e superfície. No quadro central: séries temporais de temperatura de fundo simulada e	

medida pelo ADCP. No quadro inferior: Diferença entre a temperatura de fundo simulada e medida. O RMSE apresentado é o médio para toda a série.....	73
Figura 39 - Séries temporais de nível total medido e simulado (primeiro quadro), de nível mareal medido e simulado (segundo quadro), de nível meteorológico medido e simulado (terceiro quadro) e nível de baixa frequência medido e simulado (quarto quadro). As séries de nível total e mareal foram apresentadas apenas para dois meses para melhor visualização. ...	73
Figura 40 - Séries temporais das componentes u (quadros superiores) e v (quadro inferiores) das correntes medidas e simuladas observadas, e decompostas nas bandas mareal e submareal.	74
Figura 41 - Rosas de corrente para as componentes submareal, meteorológica e de baixa frequência para os dados medidos (esquerda) e simulados (direita).	75
Figura 42 - Pontos de extração de dados para análise dos resultados simulados. Foram extraídos dados em dois perfis transversais (P) e quatro séries temporais (S): P2 na latitude da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo até a isóbata de 100m, P3 na latitude do sul da Ilha de Santa Catarina até a isóbata de 100m, S1 na latitude de Itajaí na profundidade de 100m, S2a no mesmo ponto de levantamento de dados do Projeto MAArE, S2b na latitude da Rebio Arvoredo em profundidade de 100m, S3a na latitude do sul da Ilha de Santa Catarina na isóbata de 30m e S3b na isóbata de 100m, e S4 na latitude do Cabo de Santa Marta na isóbata de 100m.	76
Figura 43 - Mapas horizontais da corrente barotrópica média para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. Os vetores indicam a magnitude e direção e a cor de fundo representa a componente v (longitudinal) da corrente. As isobatimétricas correspondem às profundidades de 200m e 3000m.	78
Figura 44 - Mapas horizontais de temperatura média anual na camada superficial (esquerda) e de fundo (direita) para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. A isoterma de 20 °C é indicada na linha branca. As análises foram limitadas a isobatimétricas de 200 m.	80
Figura 45 - Mapas horizontais de salinidade média anual na camada superficial (esquerda) e de fundo (direita) para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. As isohalinas de 36 (limite da AT) e 33.5 (limite da ASP) são identificadas nas linhas brancas. As análises foram limitadas a isobatimétrica de 200m.	81
Figura 46 - Perfis transversais extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) de temperatura média para os anos de 2014, 2015 e 2016.	83

Figura 47 - Perfis transversais extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) de salinidade média para os anos de 2014, 2015 e 2016.....	84
Figura 48 - Diagramas de Temperatura e Salinidade realizados a partir de séries temporais extraídas nas latitudes de Itajaí (S1), Rebio Arvoredo (S2b), Sul da Ilha de Santa Catarina (S3b) e Cabo de Santa Marta (S4), em ponto da plataforma com profundidade de 100m, para os três anos simulados.	85
Figura 49 - Temperatura (°C), Salinidade (psu), Nível (m) e velocidades médias mensais (m/s) das componentes u e v da corrente simulada extraída no ponto S2a (Rebio Arvoredo), na profundidade de 20 m.	87
Figura 50 - Mapas horizontais da corrente média superficial e de fundo para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. Os vetores indicam a magnitude e direção e a barra de cores representa a componente v da corrente. A área pontilhada indica os limites da Rebio Arvoredo.....	89
Figura 51 - Perfis verticais das velocidades ao longo do perfil P2 (Rebio Arvoredo). No quadro superior são indicados os valores médios para todos os anos. Nos quadros inferiores, os valores médios para cada ano da componente transversal (esquerda) e longitudinal (direita).	91
Figura 52 - Rosas direcionais das correntes extraídas nos pontos S2a (Rebio Arvoredo, isóbata de 20m) e S2b (Rebio Arvoredo, isóbata de 100m). São apresentadas as correntes decompostas na banda meteorológica e de baixa frequência para os três anos simulados.	93
Figura 53 - Séries temporais extraídas no ponto P2 (Rebio Arvoredo na profundidade de 20m) e decompostas em baixa frequência. Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.	95
Figura 54 - Séries temporais extraídas no ponto P3a (Sul da Ilha de Santa Catarina na profundidade de 30m) e decompostas em baixa frequência. Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.	96

Figura 55 - Mapas de correntes nos quadros superiores, temperatura nos centrais e salinidade nos inferiores para os meses de julho (inverno, à esquerda) e fevereiro (verão à direita). As linhas vermelhas indicam a localização dos perfis transversais extraídos (P2 e P3), e as cruces pretas o ponto das séries temporais (S2a e S3a).....	97
Figura 56 - Perfis transversais da temperatura e salinidade extraídas no perfil P2 (Rebio Arvoredo) e P3 (Ilha de Santa Catarina). Os perfis representam a média mensal entre os 3 anos simulados.....	99
Figura 57 - Perfis transversais das componentes u e v da corrente extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) e P3 (Ilha de Santa Catarina). Os perfis representam a média mensal entre os 3 anos simulados.....	101
Figura 58 - Diagramas de temperatura e salinidade para os dados extraídos no mês de fevereiro (verão) e julho (inverno) durante os três anos de simulação em 4 pontos distribuídos na PCSC ao longo da isobatimétrica de 100m.	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos hidrodinâmicos e de caracterização de massas d'água realizados na Plataforma Continental de Santa Catarina.....	26
Quadro 2 - Localização do fundeio e dados de configuração do equipamento.....	30
Quadro 3 - Profundidade de todas as células medidas para as estações de coleta de dados de corrente.....	33
Quadro 4 - Constituintes harmônicas do nível do mar identificadas a partir de análise harmônica (neste quadro são apresentadas apenas as constituintes com amplitudes iguais ou superiores a 0,005 m).	37
Quadro 5 - Variância das componentes do nível observado, componente mareal e não mareal, componente não mareal decomposta em submareal e residual e, por fim, componente submareal decomposta em baixa frequência e meteorológica.....	40
Quadro 6 - Parâmetros estatísticos básicos de magnitude da corrente e das velocidades nas componentes u (leste-oeste) e v (norte-sul) em m/s.	44
Quadro 7 - Decomposição em variância da corrente barotrópica horária.	49
Quadro 8 - Parâmetros termohalinos utilizados para classificação das massas d'água neste trabalho.....	55
Quadro 9 - Dados utilizados como condição inicial e de forçamento para o modelo numérico, e suas respectivas bases de origem e resolução.....	66
Quadro 10 - Descargas continentais da PCSSB que foram incluídas como dados de entrada no modelo numérico. Os rios 1 à 7 estão inseridos no mesmo traçador denominado “rios trecho Norte” (marcados em azul) e os rios 12 à 17 no traçador “rios trechos Sul” (marcados em roxo).	68
Quadro 11 - Principais parâmetros das grades numéricas e de configuração do modelo.	70
Quadro 12 - Profundidade de cada nível sigma para o ponto da grade de mesma coordenadas de fundeio do ADCP do Projeto MAArE. Marcado em cinza o trecho da coluna d'água compreendido pelos dados válidos medidos pelo ADCP.....	72
Quadro 13 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de velocidade da corrente (m/s) extraídas nos pontos S1 (Itajaí na profundidade de 100 m) e S4 (Cabo de Santa Marta na profundidade de 100 m).....	79

Quadro 14 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de temperatura e salinidade extraídas nos pontos S1 (Itajaí na profundidade de 100 m) e S4 (Cabo de Santa Marta na profundidade de 100 m).....	82
Quadro 15 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de temperatura e salinidade extraídas no ponto S2a (Rebio Arvoredo na profundidade de 20 m).	83
Quadro 16 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de velocidade da corrente extraídas no ponto S2a (Rebio Arvoredo na profundidade de 20 m)..	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC Água Costeira

ACAS Água Central do Atlântico Sul

APP Água da Pluma do Prata

AP Água de Plataforma

ASP Água Subtropical de Plataforma

AT Água Tropical

CB Corrente do Brasil

CCB Corrente Costeira do Brasil

CM Corrente das Malvinas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISC Ilha de Santa Catarina

PC Plataforma Continental

PCI Plataforma Continental Interna

PCISC Plataforma Continental Interna de Santa Catarina

PCSC Plataforma Continental de Santa Catarina

PCSSB Plataforma Continental Sudeste-Sul do Brasil

PCSE Plataforma Continental Sudeste

REBIO ARVOREDO Reserva Biológica Marinha do Arvoredo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	HIPÓTESES	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	ESTRUTURA DA TESE	18
2	ÁREA DE ESTUDO	19
2.1	PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESDE-SUL DO BRASIL	20
2.2	PLATAFORMA CONTINENTAL DE SANTA CATARINA.....	25
3	ANÁLISE DAS CORRENTES NA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO COM BASE EM DADOS MEDIDOS	30
3.1	DADOS	30
3.2	PROCESSAMENTO E ANÁLISES	32
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.3.1	Nível	36
3.3.2	Correntes	42
3.3.3	Análises integradas	55
4	ESTUDO NUMÉRICO DA CIRCULAÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DE SANTA CATARINA	62
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO	63
4.1.1	Regional Ocean Modeling System.....	63
4.1.2	Domínios e batimetria	64
4.1.3	Condições iniciais e forçantes	65
4.1.4	Descargas hidrológicas	66
4.1.5	Configuração da simulação.....	69
4.2	VALIDAÇÃO.....	71
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76

4.3.1	Variabilidades anuais	77
4.3.2	Padrões sazonais	94
5	CONCLUSÕES.....	104
	REFERÊNCIAS.....	107

1 INTRODUÇÃO

Os processos oceanográficos na plataforma continental possuem um grande impacto na vida humana, pois influenciam diretamente aspectos ambientais e econômicos como a pesca, dinâmica sedimentar, disponibilidade de nutrientes, transporte de larvas, navegação, dispersão de poluentes, entre outros (HALPERN et al., 2008; MANN; LAZIER, 2006; LENTZ, 2012). Por essa razão, a circulação nas plataformas continentais passou a ser o tópico de diversos estudos especialmente a partir da década de setenta (BUMPUS, 1973; VOORHIS et al., 1976; CSANADY, 1976; KIRWAN et al., 1978; SMITH, 1978; BLANTON, 1981; ALLEN et al., 1983). Inicialmente estes estudos focavam principalmente em descrever as circulações nas plataformas através de dados medidos em expedições de levantamento oceanográfico ou por derivadores. Estas primeiras caracterizações hidrodinâmicas da plataforma continental focaram-se também em avaliar a relação entre as correntes medidas e o vento ao longo da costa e suas relações com a dinâmica das massas d'água. E foram de grande importância para o avanço no entendimento da tensão de cisalhamento de vento como mecanismo primordial na forçante do campo de velocidades na plataforma (CSANADY, 1997). A partir da década de 90, com os avanços na capacidade computacional e dos modelos numéricos, foram desenvolvidos estudos mais complexos a respeito das diferentes forçantes que regem o escoamento e também das relações entre áreas mais rasas e profundas da plataforma (STECH; LORENZZETTI, 1992; PALMA et al., 2004; DINNIMAN; KLINCK, 2004).

O Projeto SACC, intitulado “International Consortium for the Study of Oceanic Related Global and Climate Changes in South America”, surgiu no final da década de 90 com o intuito de produzir conhecimento sobre a circulação na Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste e entender a sua influência nos ecossistemas marinhos e no clima regional. Diversos estudos produzidos neste projeto (CAMPOS et al., 2000; PIOLA et al., 2000; SILVEIRA, 2000; ZAVIALOV et al., 2002; SOARES et al., 2001; PARISE et al., 2003; PALMA et al., 2008; MOLLER et al., 2008; PALMA et al., 2009; MATANO et al., 2010) servem de base para esta pesquisa e elucidaram questões importantes acerca dos mecanismos que regem as principais correntes e massas d'água presentes na Plataforma Continental Sul-Sudeste do Brasil (PCSSB). A hidrodinâmica dessa região, que se estende do Rio Grande do Sul ao Rio de Janeiro, é conduzida por forçantes que em geral podem ser classificadas em duas categorias: (i) as que atuam diretamente na plataforma continental, como o vento e as

variações espaciais e temporais de densidade; e (ii) as que são comunicadas desde o talude através da quebra de plataforma, como as marés, gradientes de pressão e trocas de massa (CASTRO et al., 2006).

O escoamento na Plataforma Continental de Santa Catarina (PCSC) possui fluxo dominante para sudoeste, com correntes mais fracas durante o outono e mais intensas na primavera (CASARES PINTO, 1998; PALMA et al., 2008). Atualmente, acredita-se que a componente submareal é a forçante que controla as correntes ao longo da costa, enquanto que os fluxos perpendiculares à costa apresentam maior influência da maré (alta frequência) (CASARES PINTO, 1998; CECÍLIO, 2006). Outros autores também atribuem um papel importante na determinação da circulação da PCSC às componentes de baixa frequência, que podem estar associadas à Corrente do Brasil (CB), a ondas de plataforma vindas do Sul e a variações de nível do mar geradas por fluxo geostrófico (HIRATA, 2008; PALMA et al., 2008; PIMENTA et al., 2006).

Os estudos descritos acima sugerem que a circulação na PCSC é conduzida por forçantes de diferentes escalas (temporais e espaciais) e natureza. Porém, essas relações até o momento não foram diretamente verificadas e descritas. Especialmente na Plataforma Continental Interna (PCI), que são ambientes mais complexos devido a diversidade de agentes atuantes e da influência da morfologia do fundo e linha de costa (MITCHELL et al., 2015; NOERNBERG; ALBERTI, 2015). Portanto, esse estudo visa descrever a circulação na região de entorno da Ilha de Santa Catarina e Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, situada na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina (PCISC). Identificar padrões sazonais e anuais no comportamento das correntes e distribuição das massas d'água na região, assim como avançar na compreensão da relação entre as forçantes regionais e o escoamento local. Com esse fim, foram analisados dados medidos na PCISC e foi implementado um modelo numérico regional hidrodinâmico.

1.1 HIPÓTESES

Com base em revisão bibliográfica e análise preliminar de dados medidos na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina (PCISC), as seguintes hipóteses foram formuladas e serão testadas:

1. A hidrodinâmica na PCISC é conduzida principalmente por forçantes que atuam na banda submareal;
2. Os padrões hidrodinâmicos da PCISC além da sazonalidade, apresentam também variabilidade interanual bem definida, regida por fenômenos climáticos de larga escala;
3. O escoamento e os padrões termohalinos identificados PCISC possuem relação com a circulação de mesoescala do Atlântico Sudoeste;

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar os padrões de escoamento na Plataforma Continental de Santa Catarina (PCSC) frente às situações meteorológicas locais e processos de mesoescala, através da análise de dados medidos e da implementação de um modelo numérico regional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o escoamento na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina (PCISC) e suas principais contribuições energéticas através de dados medidos;
- Descrever as variabilidades interanuais e sazonais da circulação e padrões termohalinos na PCSC;
- Verificar a relação entre o escoamento local e as forçantes regionais.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

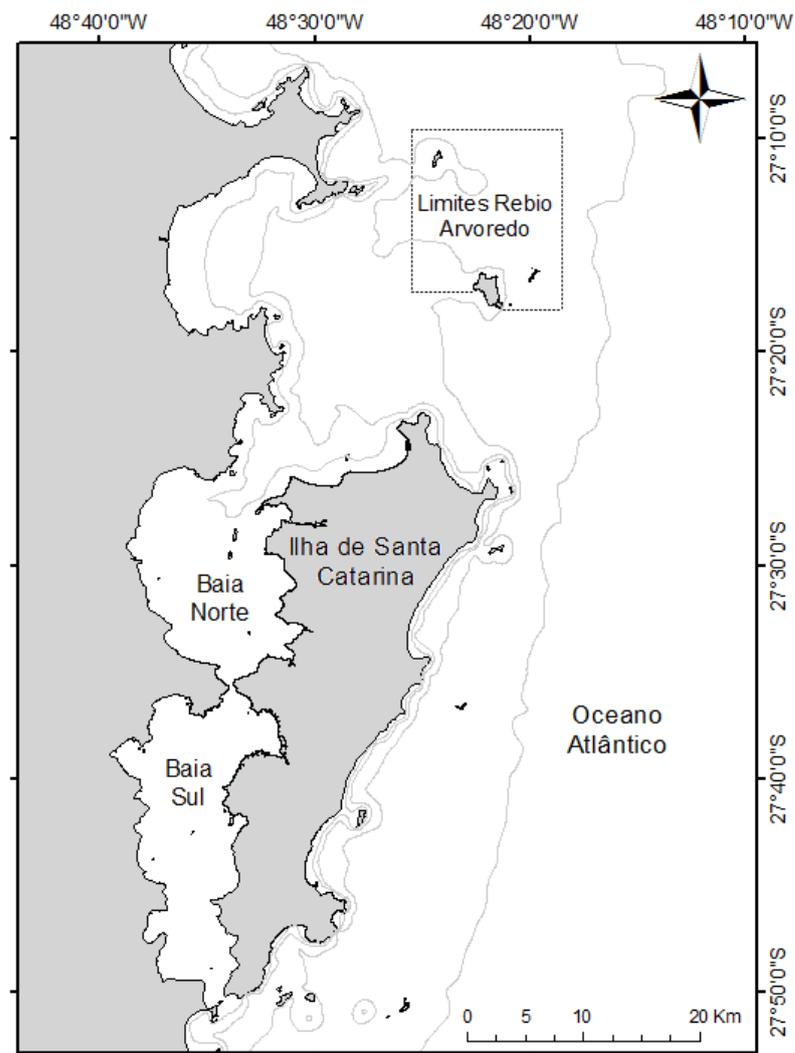
A tese está estruturada em 5 capítulos:

- Capítulo 1: Apresenta a introdução do trabalho com contextualização acerca do tema da pesquisa, os objetivos e os artigos científicos vinculados à tese.
- Capítulo 2: Faz uma revisão bibliográfica dos estudos hidrodinâmicos na plataforma continental na área de estudo.
- Capítulo 3: Descreve a análise realizada sobre uma série de dados medidos de nível, corrente e temperatura na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.
- Capítulo 4: Discorre sobre a implementação de um modelo numérico hidrodinâmico regional e os principais resultados extraídos até o momento.
- Capítulo 5: Apresenta as conclusões e principais contribuições decorrentes da elaboração desse projeto.

2 ÁREA DE ESTUDO

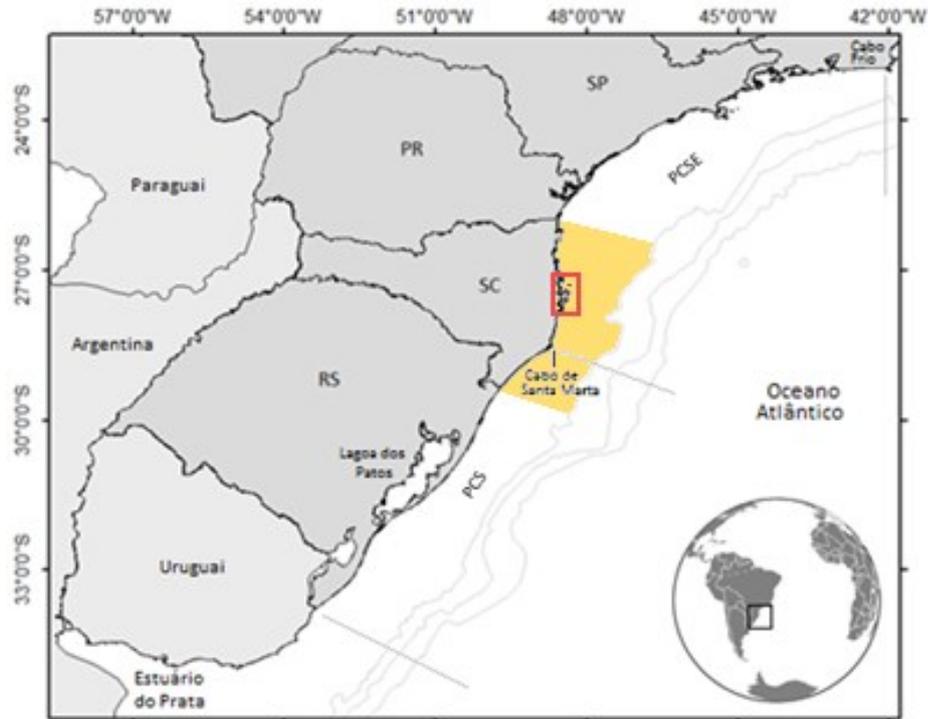
O estudo a ser apresentado tem como região de interesse a PCSC, especialmente a região ao redor da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo, entre as latitudes $27^{\circ}00'S$ e $27^{\circ}60'S$ (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo local que engloba a Ilha de Santa Catarina e Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.



Porém, para compreender de forma satisfatória o escoamento nessa região, se faz necessário incluir neste estudo uma breve caracterização hidrodinâmica das Plataformas Continentais Sudeste (PCSE) e Sul (PCS) do Brasil. A PCSE estende-se de Cabo Frio – RJ ($22,8^{\circ}S$) ao Cabo de Santa Marta - SC ($28,6^{\circ}S$), e a PCS vai do Cabo de Santa Marta até o Chuí – RS ($33,45^{\circ}S$) (Figura 2).

Figura 2 - Área de estudo – regional. As linhas pontilhadas indicam os limites das Plataforma Continental Sudeste-Sul Brasileira. A área em amarelo indica a Plataforma Continental de Santa Catarina (PCSC) e o retângulo em vermelho indica a área de estudo de abrangência local. (Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo).



2.1 PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESDE-SUL DO BRASIL

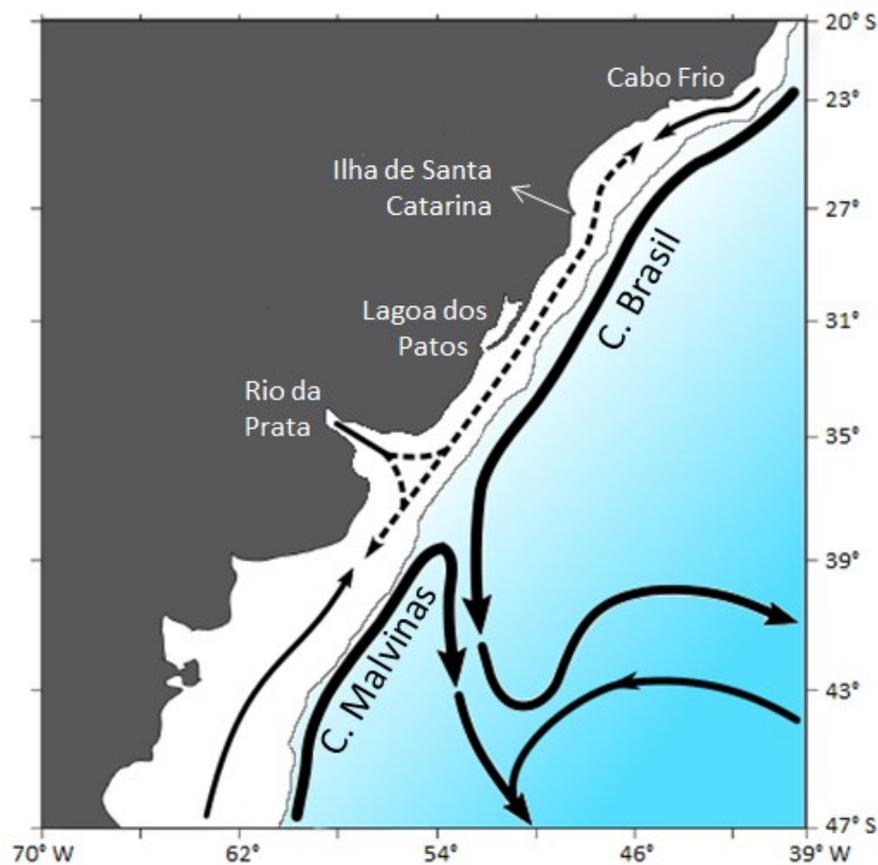
A Plataforma Continental Sudeste-Sul Brasileira (PCSSB) compreende as Plataformas Continentais Sudeste (PCSE) e Sul (PCS) do Brasil. A PCSSB se estende por aproximadamente 1700 km com uma profundidade média de 70 m e profundidade da quebra da plataforma continental que varia entre 120 e 180 m. As porções mais estreitas estão localizadas na região de Cabo Frio, Cabo de Santa Marta e região em frente à porção norte da Lagoa dos Patos. Já a porção mais larga, com aproximadamente 230 km, está situada na faixa latitudinal da cidade de Santos.

Segundo Castro et al. (2006), que realizaram extenso levantamento de estudos hidrodinâmicos sobre a PCSSB, a distribuição das propriedades hidrográficas das massas de água e sua circulação são condicionadas por forçantes meteorológicas, pelas correntes de contorno oeste de origem tropical e subtropical, bem como pela influência direta ou remota da descarga fluvial de sistemas estuarinos e lagunares.

Quanto às correntes de contorno oeste, a PCSSB é altamente influenciada pela Corrente do Brasil (CB) que tem sua origem no Giro Subtropical do Atlântico Sul, mais

especificamente na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Desde a sua origem, a CB percorre 3 mil km até encontrar a Corrente das Malvinas (CM) entre 37°S e 40°S de acordo com a época do ano (MATANO et al., 2010) (Figura 3). Neste percurso, a CB flui para sul sobre uma margem continental de topografia complexa e sofre influência das condições climáticas e até de aportes continentais significativos como a Lagoa dos Patos e a Bacia do Prata (MARONE et al., 2010). Na camada superficial (0 à 200m) transporta uma massa de água oligotrófica, quente e salina denominada Água Tropical (AT, $T > 20^{\circ}\text{C}$ e $S > 36,4$) (MIRANDA, 1985; CASTRO; MIRANDA, 1998; SILVEIRA, 2004; SOUTELINO et al., 2013). E em torno de 20 °S a CB incorpora a Água Central do Atlântico Sul (ACAS, $6^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}$ e $34,6 < S < 36,4$) na profundidade de picnoclina (em torno de 400m) (MIRANDA, 1985; CASTRO; MIRANDA, 1998; STRAMMA; ENGLAND, 1999; MARONE et al., 2010).

Figura 3 - Representação esquemática das principais correntes na PCSSB. A linha pontilhada indica o fluxo bidirecional.



No sentido oposto à CB flui a Corrente das Malvinas (CM). A CM é originada da deflexão da Corrente Circumpolar Antártica e transporta Água Subantártica (ASA, $T < 15^{\circ}\text{C}$ e

33,7 < S < 34) (SARUKHANYAN, 1987; MATANO, 2001). A colisão dessas duas correntes, conhecida como Confluência Brasil-Malvinas, ocorre próxima a foz do rio da Prata, e origina uma região de intensa variabilidade (MATANO et al., 2010).

Enquanto na plataforma continental externa o escoamento é regido por estas correntes de mesoescala, na plataforma continental média e interna da PCSSB as correntes são forçadas principalmente por gradientes de pressão devido às descargas continentais e tensão de cisalhamento do vento (CASTRO, 1998). No trecho sul da PCSSB, a entrada de um grande volume de água doce pelo Rio da Prata e Lagoa dos Patos cria um gradiente lateral de salinidade que induz um fluxo resultante para o norte (Corrente Costeira do Brasil – CCB ou Corrente do Rio Grande - CRG) que pode alcançar a latitude de 25,2°S no inverno (ZAVIALOV; MOLLER, 1998; SOARES; MOLLER, 2001; ZAVIALOV et al., 2002; SOUZA; ROBINSON, 2002).

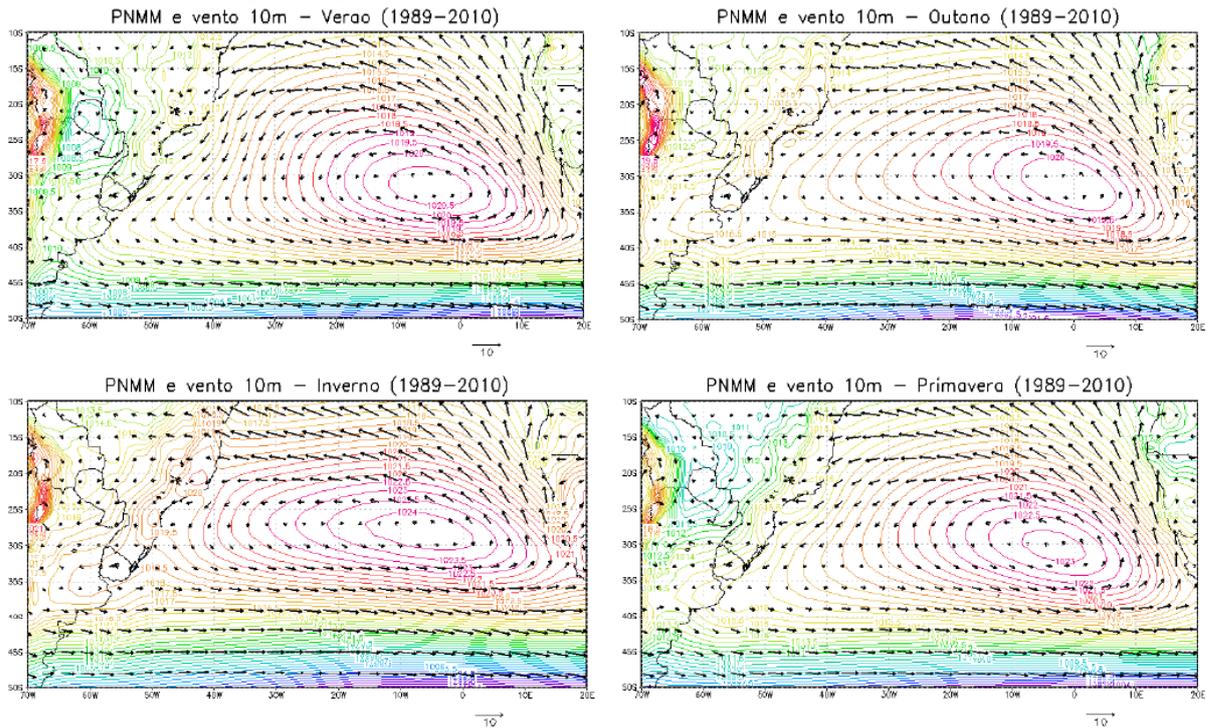
Nesse encontro de massas d'água distintas transportadas pela Corrente do Brasil e das Malvinas e despejadas pelo Rio da Prata e Lagoa dos Patos, forma-se a Frente Subtropical de Plataforma (FSP). A FSP divide a plataforma do Atlântico sudoeste em duas regiões distintas: uma região norte com águas quentes e salgadas de origem tropical e subtropical, e uma região sul com águas frias e menos salinas de origem subantártica continental (PIOLA et al., 2000). Os mecanismos de deslocamento da FSP e penetração da Corrente Costeira do Brasil (CCB) ainda não foram totalmente elucidados, mas acredita-se que estejam relacionados com a oscilação da Frente Subtropical do Atlântico Sul e à sazonalidade dos sistemas meteorológicos atuantes na região (PIOLA, et al., 2000; SOUZA; ROBINSON, 2002; SOARES, 2003)

Dois sistemas meteorológicos principais condicionam a sazonalidade de larga escala do regime de ventos na PCSSB: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os Sistemas Meteorológicos Frontais (SMFs) (SATYAMURTY et al., 1998). A presença do ASAS sobre o mar próximo ao litoral sudeste do Brasil gera um fluxo atmosférico básico sinótico de direção predominante nordeste sobre esta região (KAMPEL et al., 1997). Enquanto que a passagem dos sistemas frontais é caracterizada pelo giro de vento no sentido anti-horário para o quadrante sul.

Além da alternância entre estes dois sistemas meteorológicos principais, o padrão de ventos na região também é influenciado pela variabilidade de intensidade e localização dos próprios sistemas (Figura 4). O ASAS durante o verão desloca-se para sul e se enfraquece (valores mínimos de 1020 hPa em fevereiro). Enquanto no inverno, a alta pressão se fortalece

(valores máximos de 1024,5 hPa em agosto) e o centro da alta se desloca para o norte (DEGOLA, 2013). Além disso, o ASAS ainda apresenta uma variação longitudinal significativa, com deslocamento para oeste nos meses de fevereiro e agosto e para leste nos meses de março, abril e outubro (MACHEL et al., 1998; DEGOLA, 2013).

Figura 4 - Campos médios sazonais da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM em hPa) e do vento a 10 m (m/s) para o período de 1989 e 2010 (DEGOLA, 2013).



A variabilidade de posição e intensidade do ASAS modula diretamente os padrões de ventos do quadrante norte e leste na região, que por sua vez influenciam na atuação dos sistemas meteorológicos frontais (frentes frias). No verão e primavera, devido a posição do ASAS e maior gradiente de pressão atmosférica entre o atlântico e o continente, os ventos de nordeste se intensificam. Durante o inverno e outono, com o ASAS mais deslocado ao norte e gradientes de pressão mais amenos, os ventos de nordeste ficam mais amenos e os ventos do quadrante sul passam a atuar mais fortemente. Esse padrão sazonal pode ainda ser afetado pelos processos interanuais de El Niño e La Niña.

Essa sazonalidade indicada nos sistemas meteorológicos é identificada nos padrões de correntes, temperatura e salinidade da PCSSB. Especialmente na plataforma continental interna onde o vento se torna uma forçante mais importante do que no trecho médio e externo da plataforma, onde o escoamento é fortemente influenciado pela Corrente do Brasil (CB)

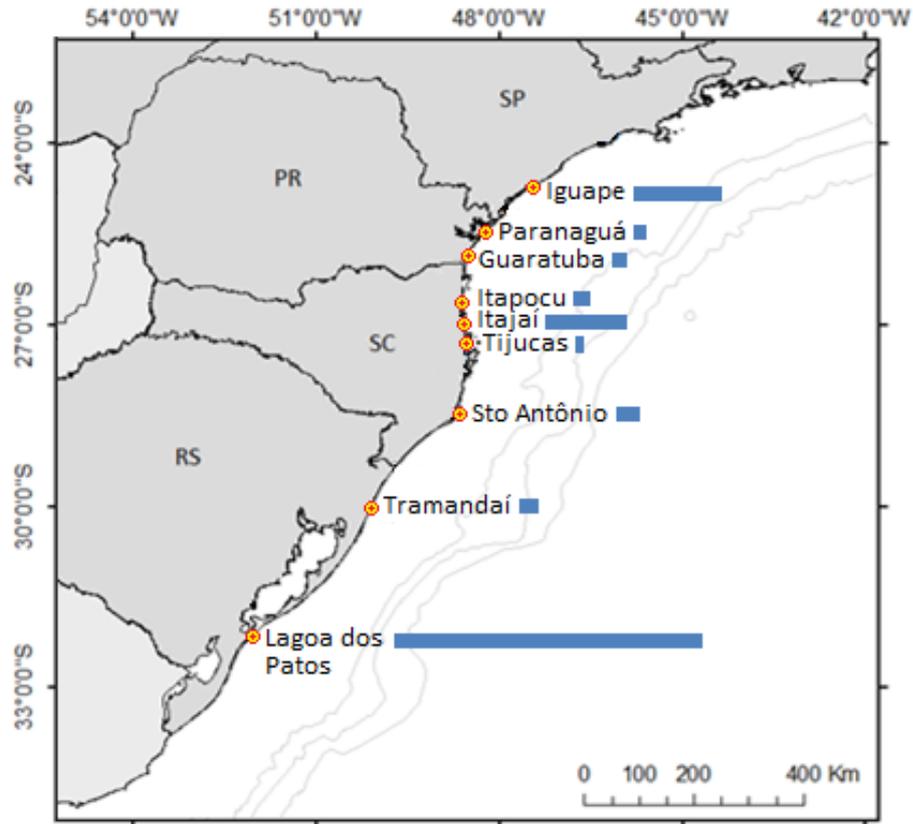
(CAMPOS et al., 1995; CASTRO; MIRANDA, 1998; CASTELÃO et al., 2004; PALMA et al., 2008). No trecho norte da PCSSB (até o Cabo de Santa Marta) há um escoamento para sudoeste que é geostroficamente conduzido pelos ventos de nordeste (PALMA et al., 2004). Esse fluxo se fortalece durante a primavera e verão e se enfraquece durante o outono e inverno, podendo até ser revertido com fluxo para nordeste (PALMA et al., 2004; PALMA et al., 2008; CECÍLIO, 2006). Com isso, na Plataforma Continental de Santa Catarina, temos uma maior influência das massas de água trazidas pela Corrente do Brasil (Água Tropical - AT e Água Central do Atlântico Sul – ACAS) durante a primavera e o verão, e das massas d'água vindas do sul (Água Subtropical de Plataforma – ASP e Água da Pluma do Prata - APP) durante o outono e inverno (PIOLA et al., 2008; CASTRO et al., 2014)

Já no trecho sul da PCSSB, que compreende a costa do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina até o Cabo de Santa Marta, a corrente foi classificada como bidirecional. Fluindo para sul durante a primavera e verão com forte influência da Corrente do Brasil (CB) (CASTRO; MIRANDA, 1998; CASTRO et al., 2006). E para norte em modo barotrópico no outono e inverno sob influência da Corrente das Malvinas (CM) e das elevadas descargas continentais do Prata e Lagoa dos Patos (SOARES; MOLLER, 2001; ZAVIALOV et al., 2002; ZAVIALOV; MOLLER, 2002; SOUZA; ROBINSON, 2002).

A Lagoa dos Patos é a fonte de água doce mais significativa da PCSSB (Figura 5), já que os grandes rios da região sul e sudeste do Brasil afluem para Bacia do Prata (CARVALHO et al., 1996). Mesmo não desaguando na PCSSB, a pluma do rio da Prata tem grande influência nos padrões termohalinos na região sul da PCSSB, especialmente durante o inverno (CASTRO; MIRANDA, 1998; PIOLA et al., 2000; MOLLER et al., 2008; MATANO et al., 2010).

Os rios da PCSSB, com exceção da Lagoa dos Patos, são pouco estudados quanto a sua influência nas regiões costeiras adjacentes. O rio Itajaí, por exemplo, mesmo tendo uma vazão significativa (Figura 5), nunca teve a influência da sua pluma analisada em regiões próximas, como a Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo.

Figura 5 - Pontos de descargas hidrológicas na PCSSB com vazão média superior a 50 m³/s. As barras horizontais indicam a vazão relativa de cada descarga. Vazões médias: Iguape = 524 m³/s, Paranaguá = 76 m³/s, Guaratuba = 90 m³/s, Itapocu = 106 m³/s, Itajaí = 484 m³/s



2.2 PLATAFORMA CONTINENTAL DE SANTA CATARINA

A circulação e distribuição das massas d'água na PCSC tem sido estudada de forma mais consistente desde a década de noventa através da análise de dados medidos na plataforma. No Quadro 1 estão listados os principais estudos que contribuíram para o conhecimento dos processos oceanográficos na região até o momento.

A PCSC compreende um trecho de aproximadamente 350 km entre as latitudes 26° e 29°20' S. Casares Pinto (1998) e Hirata (2008) documentaram a primeira série de dados consistentes de correntes medidas no trecho externo da PCSC. Segundo a análise dos autores, o escoamento na região possui um fluxo dominante para sudoeste com correntes mais fracas durante o outono e mais intensas na primavera. Em análise espectral, Casares Pinto (1998) encontrou picos de alta energia na banda mareal, meteorológica (entre 3,5 e 10,6 dias) e de baixa frequência, indicando a Corrente do Brasil como uma importante forçante na plataforma externa e sugerindo estudos futuros a cerca da influência dos processos de mesoescala na

região. Ainda relacionou o fluxo perpendicular a batimetria às componentes mareais da corrente, e o fluxo paralelo à linha de costa às componentes submareais.

Quadro 1 - Estudos hidrodinâmicos e de caracterização de massas d'água realizados na Plataforma Continental de Santa Catarina.

Ano	Autores	Descrição
1998	Casares Pinto	Dados medidos por 3 correntógrafos, entorno da latitude 26°40'S, nas profundidades 30, 75 e 130 metros entre fevereiro de 1996 e janeiro de 1997.
1998	Carvalho et al	Dados medidos de temperatura e salinidade durante 4 cruzeiros realizados entre novembro de 1994 e julho de 1995. Os dados foram obtidos 63 pontos distribuídos ao longo de 15 perfis perpendiculares a costa entre Barra Velha (26,55°S) e Rebio Arvoredo (26,27°S)
2006	Pimenta et al	Dados de corrente medidos indiretamente pelo deslocamento de boia wave rider instalada a 35 km da costa a 78 metros de profundidade por um período de 203 dias (março a outubro de 2002).
2008	Moller et al	Dados medidos de temperatura e salinidade ao longo de 11 perfis transversais ao longo da plataforma continental entre Mar del Plata (Argentina) e Bombinhas (SC). Foram realizados 2 cruzeiros, um em agosto de 2003 e outro em fevereiro de 2004.
2008	Hirata	Dados medidos por 3 correntógrafos, entorno da latitude 26°40'S, nas profundidades 30, 75 e 130 metros entre fevereiro de 1996 e janeiro de 1997
2009	Pereira et al	Caracterização de feições oceanográficas na PCSC através de imagens de temperatura e clorofila da superfície do mar no ano de 2013.
2009	Hille	Dados medidos de temperatura e salinidade em 5 cruzeiros realizados em 2005 e 2006. Foram amostrados dados em 11 seções transversais localizadas entre Torres e Itapoá, compreendendo toda a costa catarinense.
2013	Cechinel	Dados medidos de temperatura e salinidade em 3 cruzeiros realizados em novembro de 2010 e janeiro e março de 2011. Foram amostrados dados em 13 seções transversais que alcançavam a isóbata de 50 m localizadas entre Laguna e Itapoá.
2014	Macedo-Soares et al	Dados medidos de temperatura e salinidade coletados em 2 cruzeiros realizados em dezembro de 2010 e janeiro de 2011. Foram amostrados dados do RS ao RJ, sendo 4 perfis transversais localizados na costa de SC.
2016	Barletta et al	Dados de onda, correntes e nível medidos por 3 ADCPs na região norte da Ilha de Santa Catarina entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014. E levantamento de dados de temperatura e salinidade em 15 pontos para o mesmo período, sendo realizadas duas campanhas em cada estação do ano.

Esse mesmo comportamento descrito no parágrafo anterior foi identificado por Barletta et al. (2016) que analisou dados medidos de correntes em três estações na região norte da Ilha de Santa Catarina com alinhamento da linha de costa totalmente distintas uma das outras. Os autores verificaram que as correntes na estação da Praia de Canasvieiras, onde a linha de costa tem eixo leste-oeste e é protegida da entrada de sistemas do quadrante sul e leste, a corrente mareal é a componente principal na composição do espectro total. Já as correntes medidas na Praia de Moçambique, região a leste da Ilha de Santa Catarina orientada no eixo norte-sul e totalmente exposta, foram atribuídas primariamente à forçante do vento.

Hirata (2008), a partir do mesmo conjunto de dados analisado por Casares Pinto (1998), avaliou a variabilidade da corrente apenas na componente de baixa frequência e verificou que diferentes mecanismos forçam essa componente. Na faixa de frequência entre 2-6 dias sugeriu uma forçante de vento atuando em região ao sul do fundeio originando uma corrente baroclínica aprisionada na plataforma externa e talude. Para as oscilações com períodos entre 7-10 dias indicou estarem relacionadas a uma onda de plataforma formada nas proximidades de Mar de Plata e que se propaga em modo barotrópico junto com os sistemas atmosféricos. As frequências superiores a 15 dias não foram analisadas mas foi sugerida uma relação com os processos de mesoescala, como a Corrente do Brasil (CB).

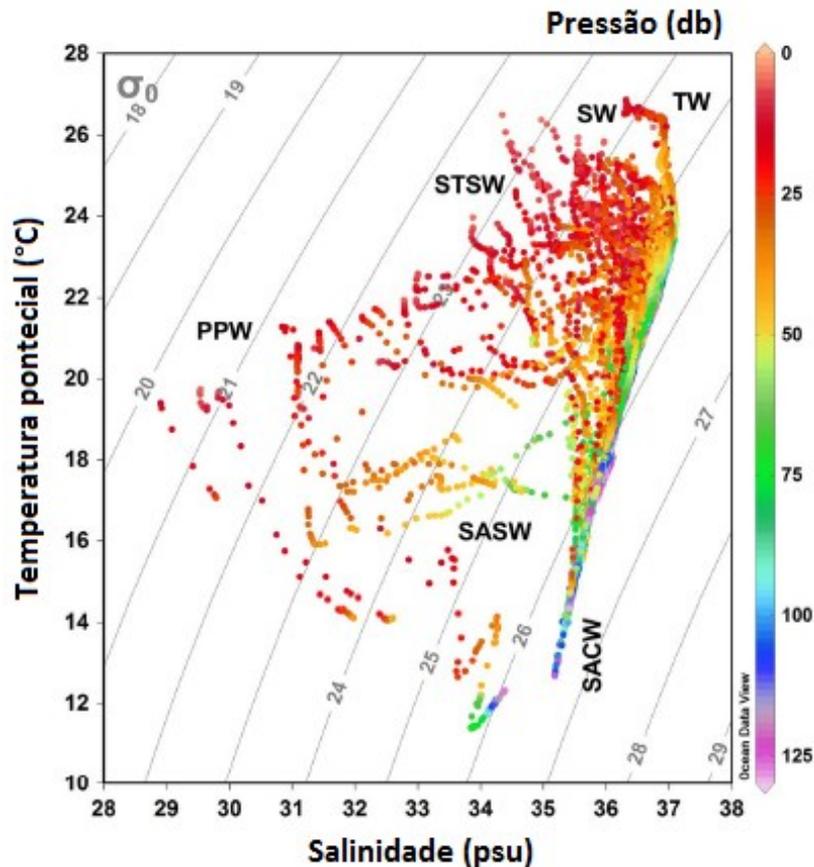
Pimenta et al. (2006) em análises na plataforma continental média encontrou uma relação mais forte da corrente com o nível em baixa frequência do que com a tensão do vento local. Indicando que as correntes, mesmo na porção média da plataforma, podem sofrer forte influência de processos gerados remotamente e que não estão correlacionados diretamente com o vento local como o esperado. Os dados ainda indicaram correntes fluindo para norte durante o fim do outono e inverno em eventos que chegaram a permanecer por 10 dias.

Através da análise de imagens de satélite, Pereira et al. (2009) também identificaram feições nos meses de julho e agosto que, segundo os autores, estão relacionadas as águas da pluma do prata transportadas para a região durante esse período. O estudo ainda registrou afloramentos da ACAS (Água Central do Atlântico Sul) durante o verão na região costeira entre o Cabo de Santa Marta e o sul da Ilha de Santa Catarina.

A ACAS (SACW), conjuntamente com a Água Tropical (AT/TW), Água Subtropical de Plataforma (ASP/STSW), Água da Pluma do Prata (APP/PPW), Água de Plataforma (AP/SW) e Água Costeira (AC/CW), são as principais massas de água encontradas durante todo o ano na PCSC (CARVALHO et al, 1998, MOLLER et al., 2008; HILLE, 2009; CECHINEL, 2013; MACEDO-SOARES et al., 2014; BARLETTA et al., 2016). No diagrama

TS realizado por Macedo-Soares et al. (2014) a partir de dados obtidos entre o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Sul é possível verificar a distribuição destas massas quanto aos seus índices termohalinos (Figura 6).

Figura 6 - Diagrama de Temperatura-Salinidade com base em dados medidos do Cabo de São Tomé (RJ) ao Chuí (RS). A Água Subtropical Antártica (ASA/SASW) não é comumente descrita na PCSC. Modificado de Macedo-Soares et al. (2014).



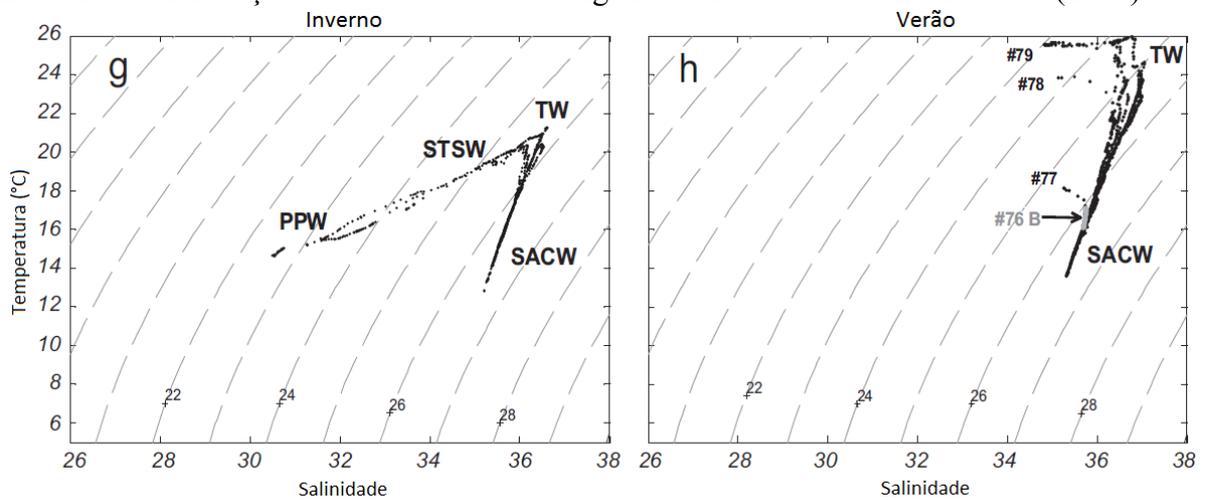
Em análises realizadas em regiões mais rasas (até a isóbata de 40 m), a forte influência da AC sempre é destacada, sendo identificada em todas as estações do ano e com maior intensidade no norte do estado (HILLE, 2009; CECHINEL, 2013; BARLETTA et al., 2016).

Quanto a sazonalidade destas águas na PCSC, dois comportamentos típicos são descritos para a região (Figura 7):

- Situação de primavera-verão: coluna d'água estratificada com a presença da AC na superfície, AP e AT em meia água e ACAS no fundo. Podendo haver eventos de afloramento da ACAS na superfície (CARVALHO et al., 1998; HILLE, 2008; CECHINEL, 2013);

- Situação de outono-inverno: coluna d'água homogênea causada pela subsidência costeira devido ao aumento da influência dos ventos de sul. Nesse período é observada a influência continental indireta na região através da presença de águas frias e de baixa salinidade (APP e ASP) trazidas pela Corrente Costeira do Brasil. A AT e ACAS são empurradas para a região média e externa da plataforma (PIOLA et al., 2000 e 2005; PIMENTA et al., 2005; MOLLER et al., 2008; MACEDO-SOARES et al., 2014; BARLETTA et al., 2016).

Figura 7 - Diagrama de Temperatura-Salinidade para as coletas de inverno e verão realizadas na estação do Cabo de Santa Marta (SC). Os pontos marcados em cinza com a indicação 76B indicam a identificação de fenômeno de ressurgência. Modificado de Moller et al. (2008).



3 ANÁLISE DAS CORRENTES NA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO COM BASE EM DADOS MEDIDOS

Nesta seção será apresentada a análise de dados de corrente, nível e temperatura medidos na plataforma continental interna de Santa Catarina. O capítulo compreende descrição da coleta dos dados, o processamento e as análises aplicadas, discussão dos resultados obtidos e conclusões.

3.1 DADOS

Os dados de velocidade da corrente, nível e temperatura do mar foram medidos por um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profile*) fundeado na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (Rebio Arvoredo) (Quadro 2 e Figura 8). O levantamento faz parte do Projeto de Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno (Projeto MAArE – www.maare.ufsc.br). O Projeto foi executado entre os anos de 2013 e 2017 com financiamento da PETROBRAS em uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a equipe técnica da Rebio Arvoredo.

O equipamento foi instalado no fundo marinho em uma estrutura de 1 metro, a aproximadamente 21,4 metros de profundidade, com os transdutores apontando para a superfície. Foi configurado para gravar dados em células de 1 metro ao longo da coluna d'água, com taxa de aquisição de 1 Hz, tempo de amostragem de 300 segundos e intervalo de amostragem de 1 hora. O período de aquisição dos dados foi de 30/03/2014 à 29/04/2016.

Quadro 2 - Localização do fundeio e dados de configuração do equipamento

Coordenadas	Profundidade	Taxa de amostragem	Taxa de aquisição	Intervalo de amostragem
27°15'11,46"S 48°24'04,37"O	22 m	300 s	1 Hz	1 hora

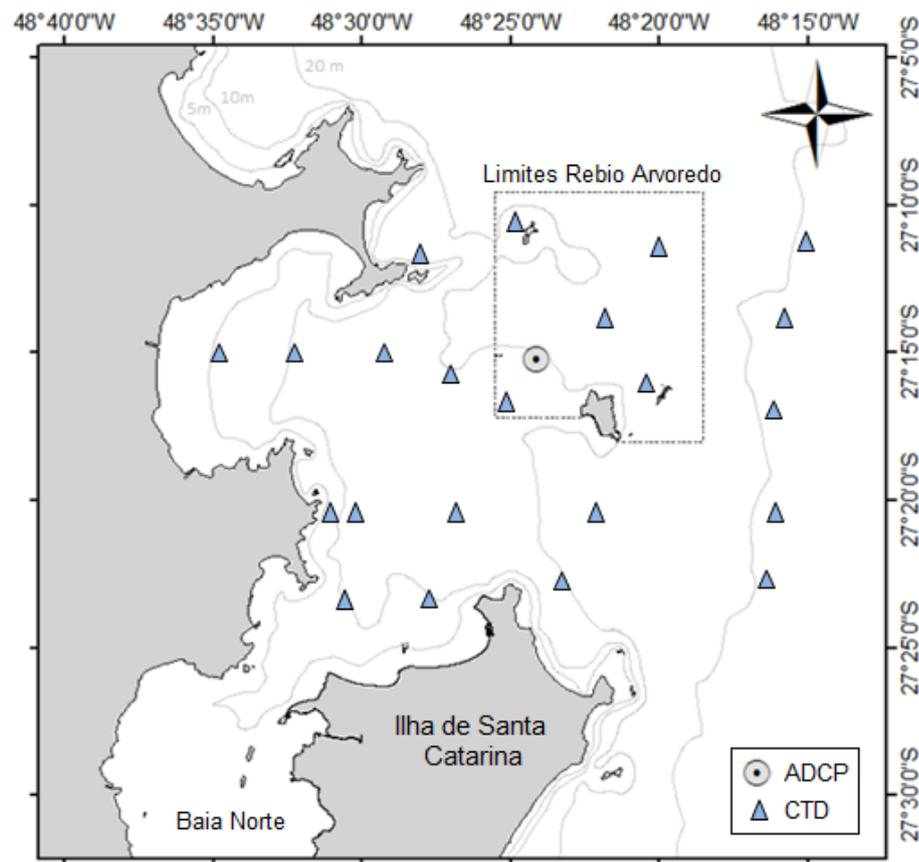
Com essas configurações, a primeira célula medida estava a 2 metros do fundo (estrutura + *blank distance* + ½ do tamanho da célula). Como essa primeira célula foi excluída na análise de consistência, a primeira célula válida coletou dados a uma profundidade de 3 metros (Quadro 3).

Além dos dados coletados por ADCP, foram medidos com CTD (*Conductivity Temperature and Depth*) dados de temperatura e salinidade em 22 pontos ao redor da Rebio

Arvoredo (Figura 8). As campanhas foram realizadas com periodicidade bimestral entre março de 2014 e agosto de 2016.

Maiores informações acerca dos equipamentos, procedimentos de instalação e coletas podem ser encontradas nos relatórios técnicos e livro produzido pelo projeto (SEGAL et al., 2017).

Figura 8 - Localização de fundeio do ADCP e pontos de coleta de dados com CTD do Projeto MAArE.



Para uma melhor compreensão dos fenômenos estudados, a base de dados coletados foi complementada com dados de temperatura da superfície do mar (TSM). Estes dados foram coletados e analisados por Franco et al. (2017) e fazem parte do banco dados do Lahimar (Laboratório de Hidráulica Marítima) para utilização nas pesquisas desenvolvidas no laboratório.

Os dados de TSM foram coletadas a partir da base de dados OSTIA, fornecidos pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset>). Os dados possuem resolução temporal diária e espacial de 0,05° (~6 km). Por possuir uma alta resolução espacial, essa base foi utilizada para extrair

uma série diária de TSM em local próximo ao fundeio do ADCP. Possibilitando assim comparações entre as temperaturas superficiais (OSTIA) e de fundo (ADCP). Foram adquiridas imagens cobrindo o Oceano Atlântico Sul (entre as longitudes 55°W e 30°W e as latitudes 6°N e 38°S) desde abril de 2006 até abril de 2016.

3.2 PROCESSAMENTO E ANÁLISES

Todos os dados medidos passaram por análise de consistência. Onde foram verificados e eliminados valores fora dos limites de medição do equipamento, *outliers* fora dos 5 sigmas, valores repetidos consecutivos e zeros.

Os dados de corrente tiveram sua declinação magnética corrigida e das 19 células medidas, 16 foram consideradas válidas. Os dados de corrente não foram rotacionados pois já se encontram alinhados a linha de costa. Para as análises de estrutura da coluna d'água, foram definidos extratos referentes à camada da superfície, meio e fundo (Quadro 3).

Após consistência dos dados, foi realizada análise estatística básica e decomposição espectral das séries. Para a decomposição espectral das séries temporais observadas (Y_o) foi utilizada uma técnica clássica de decomposição em frequência. As séries horárias medidas pelo ADCP foram decompostas em componentes independentes.

Para as séries de corrente e nível, inicialmente foi identificada a componente de maré (Y_m) através do pacote `t_tide` (PAWLOWICZ et al., 2002) desenvolvido para uso no matlab. Subtraindo a componente mareal do sinal total, temos a componente não mareal ($Y_{nm} = Y_o - Y_m$). Esta componente contém contribuições importantes na faixa de dias e semanas (escala sinótica) e na escala sazonal, porém ainda mantém um residual de alta frequência (Y_{res}). Para identificar e excluir esta componente de alta frequência foi aplicado o filtro passa-baixa LP33 (FLAGG et al., 1976; BEARDSLEY et al., 1985), resultando na componente submareal ($Y_{subm} = Y_{nm} - Y_{res}$).

A componente submareal filtrada (sem o residual de alta frequência) representa agora escalas de processos meteorológicos, sazonais e interanuais. Assim, a taxa horária fica redundante e a série foi decimada a cada 6 horas ($Y_{subm}(d)$). Aplicando a média móvel de 21 dias na série de submaré decimada tem-se a componente de baixa frequência (Y_{bf}). E por fim, subtraindo a baixa frequência encontrada da série de submaré decimada, tem-se a contribuição meteorológica ($Y_{met}(d) = Y_{subm}(d) - Y_{bf}(d)$).

Quadro 3 - Profundidade de todas as células medidas para as estações de coleta de dados de corrente.

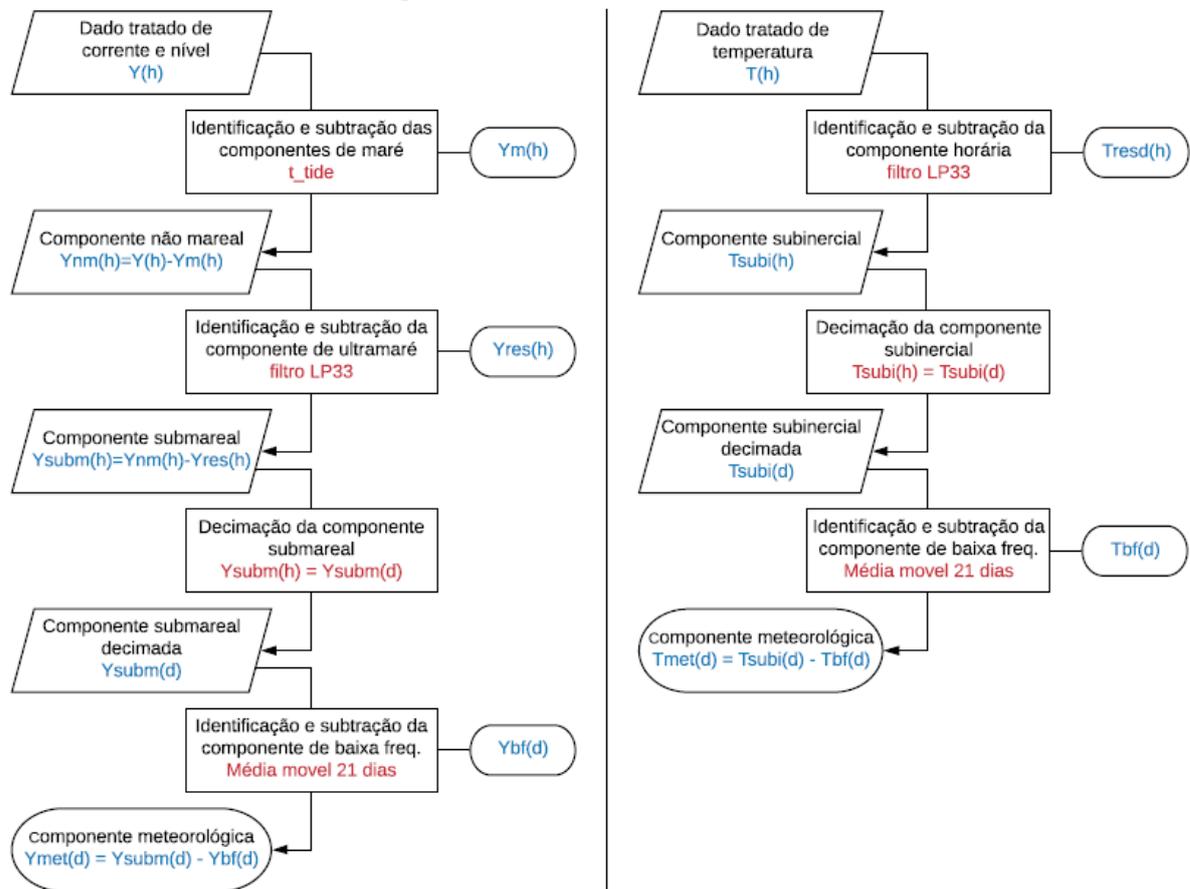
Nº da célula medida	Camada	Cota a partir do fundo (m)	Profundidade a partir da superfície (m)
1	Fundo	3	18,4
2		4	17,4
3		5	16,4
4		6	15,4
5		7	14,4
6		8	13,4
7	Meio	9	12,4
8		10	11,4
9		11	10,4
10		12	9,4
11		13	8,4
12	Superfície	14	7,4
13		15	6,4
14		16	5,4
15		17	4,4
16		18	3,4

Para a série de temperatura medida pelo ADCP a decomposição espectral seguiu os passos descritos a seguir. Inicialmente, para compatibilizar os dados do ADCP (no fundo – horário) com o os dados de satélite (superficial – diário), os dados horários do ADCP foram filtrados com o pl33 (filtro de 33 horas), retirando as variações na escala diurna ($T_{resd}(h)$) e obtendo a componente subinercial ($T_{subi}(h)$). A componente subinercial da temperatura foi em seguida decimada para valores diários ($T_{subi}(D)$). Aplicando a média móvel de 21 dias sobre a série de temperatura subinercial decimada extrai-se a componente de baixa frequência ($T_{bf}(d)$). E excluindo a componente de baixa frequência da temperatura subinercial decimada, tem-se a componente meteorológica da temperatura ($T_{met}(d) = T_{subi}(d) - T_{bf}(d)$).

Um fluxograma com a síntese do processo de decomposição espectral das séries medidas é apresentado na Figura 9.

As distribuições de energia das séries de corrente e nível observados e frequências decompostas foram analisadas por meio da estimativa de espectro de potência. Para isso foi utilizado o consolidado método de sobreposição e soma de Welch, com 50% de sobreposição e com janela Hamming. Para as séries horárias foi definida uma janela de 40 dias, e para as séries decimadas (dados a cada 6 horas) foi usada uma janela de 365 dias.

Figura 9 - Fluxograma das etapas de decomposição espectral das séries de dados medidas pelo ADCP de nível, correntes e temperatura.

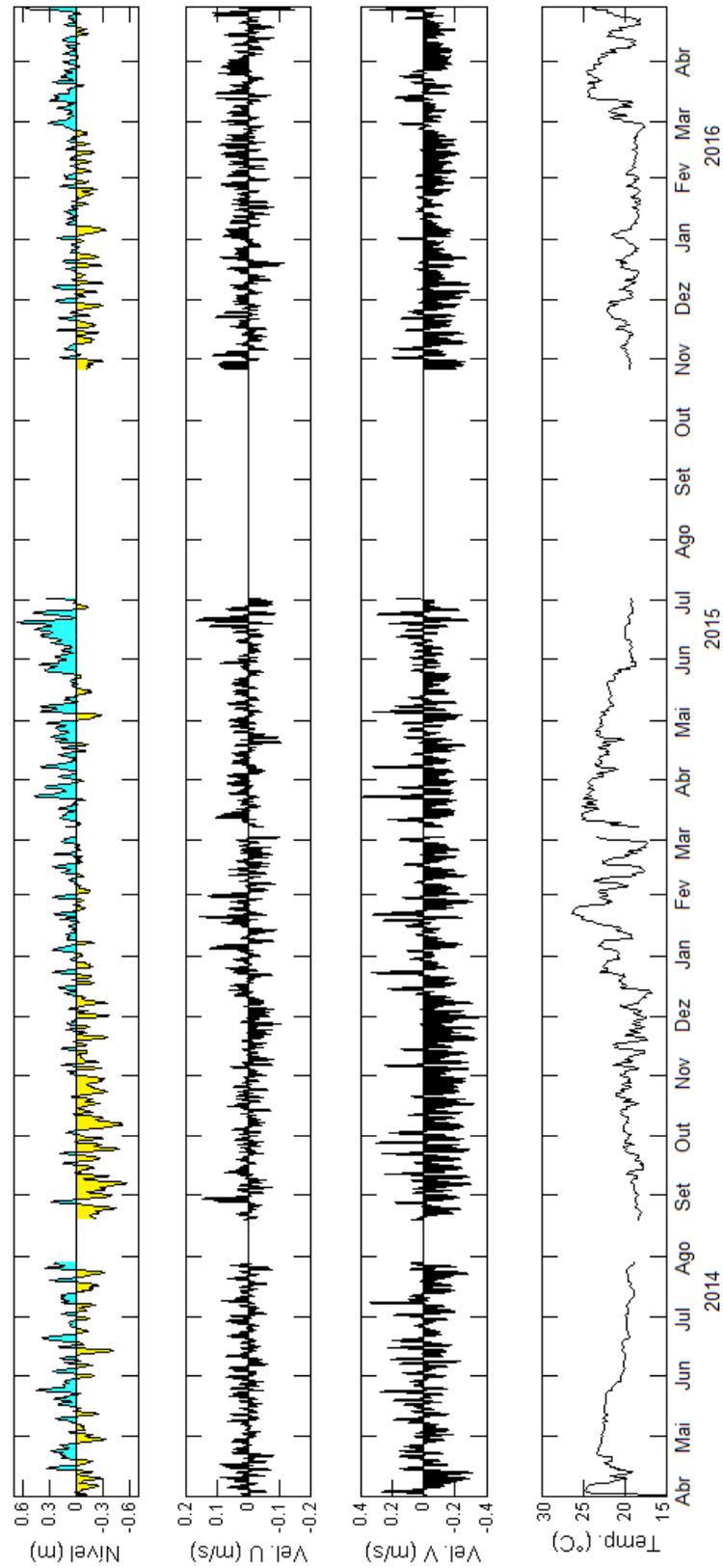


A partir dos dados de temperatura e salinidade coletados pelo CTD foram plotados diagramas TS a fim de identificar as massas d'água presentes na região.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries temporais de dados medidos, já validados (Figura 10), apresentaram uma cobertura temporal de 81,4%. Os dois períodos com falhas significativas de dados ocorreram por avarias no equipamento decorrente de atividades ilegais de pesca (28/07/2014 à 18/08/2014) e falha na configuração do ADCP (02/07/2015 à 26/10/2015). A seguir é apresentada uma análise detalhada dos dados medidos de nível e corrente e uma análise integrada dos dados hidrodinâmicos com os dados de temperatura e forçantes atmosféricas.

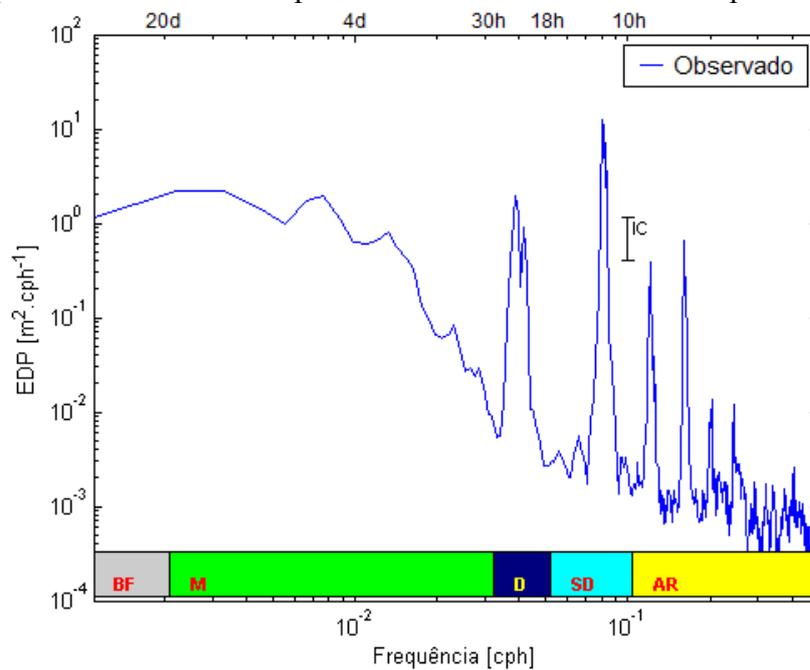
Figura 10 - Série de dados medidos de nível no primeiro quadro, velocidade barotrópica da componente u e v da corrente no segundo quadro e terceiro quadro e temperatura no quarto quadro. As séries plotadas são médias diárias para melhor visualização.



3.3.1 Nível

Através da análise do espectro de densidade de potência fica clara a importante contribuição das componentes de maré e meteorológicas na composição energética do nível medido na Rebio Arvoredo (Figura 11). Na banda mareal se destacam as componentes semidiurnas, diurnas e de água rasa. Na meteorológica é possível verificar um pico entorno do período de 6 dias, provavelmente associado à passagem dos sistemas frontais.

Figura 11 - Espectro de densidade de potência do nível horário medido pelo ADCP.



No Quadro 4 são apresentadas as componentes identificadas em análise harmônica em toda série medida. Como já identificado no espectro de densidade de potência, as componentes semidiurnas (0,55 m) se mostraram como as mais significativas na contribuição da amplitude total de maré (1,04 m), seguida pelas componentes diurnas (0,26 m) e de água rasa (0,19 m).

Os níveis na Rebio Arvoredo foram classificados como regime de maré mista com predomínio semidiurno, com fator de forma no valor de 0,46. As amplitudes de maré máximas de sizígia identificadas no período foram de 0,54 m e mínimas de quadratura de 0,12 m. A altura de onda de maré na região variou então entre 0,25 m até ~1,3 m, caracterizando um regime de micro maré.

Quadro 4 - Constituintes harmônicas do nível do mar identificadas a partir de análise harmônica (neste quadro são apresentadas apenas as constituintes com amplitudes iguais ou superiores a 0,005 m).

Componente		SNR	Amplitude (m)			Fase (graus)	
			Valor	Erro	Total	Valor	Erro
Diurnas	2Q1	83	0,006	0,1	0,247	11	8
	SIG1	45	0,005	0,1		38	11
	Q1	2108	0,032	0,1		53	2
	RHO1	49	0,005	0,1		52	11
	O1	24251	0,108	0,1		73	0
	P1	895	0,021	0,1		126	8
	S1	96	0,007	0,1		351	8
K1	8233	0,063	0,1	133	1		
Semidiurnas	2N2	356	0,013	0,1	0,527	117	3
	MU2	508	0,016	0,1		92	2
	N2	3158	0,039	0,1		136	1
	NU2	76	0,006	0,1		150	6
	H1	56	0,005	0,1		268	8
	M2	100382	0,222	0,1		63	0
	H2	44	0,005	0,1		189	8
	L2	687	0,018	0,1		52	2
	T2	65	0,006	0,1		72	7
	S2	45665	0,149	0,1		60	0
K2	4772	0,048	0,1	51	1		
Água rasa	MO3	168	0,015	0,1	0,18	304	5
	M3	875	0,033	0,1		154	2
	SO3	155	0,014	0,1		74	6
	MK3	141	0,013	0,1		51	5
	SK3	61	0,009	0,1		212	8
	MN4	508	0,018	0,1		31	2
	M4	2924	0,043	0,1		77	1
	MS4	631	0,020	0,1		170	2
	MK4	42	0,005	0,1		167	11
	2MK5	61	0,005	0,1		305	8
2MS6	162	0,005	0,1	224	4		

As séries temporais resultantes do processo de decomposição espectral do nível medido pelo ADCP estão apresentadas na Figura 12. É possível notar que a banda mareal e não mareal possuem a mesma ordem de grandeza, enquanto que a componente residual é insignificante em relação à banda submareal. A importância das componentes mareais, de baixa frequência e meteorológica na composição das variações do nível local também pode ser verificada nos histogramas apresentados na Figura 13 e Quadro 5.

O Quadro 5 quantifica as relações entre as componentes do nível do mar na Rebio Arvoredo. A banda de frequência mareal é responsável por 61% da variabilidade do nível local, sendo a frequência submareal a segunda mais significativa com 38%. Dentro da componente submareal, a banda meteorológica contribui com 68% para as oscilações do nível e a baixa frequência com 32%.

Ainda nas séries temporais (Figura 12), foi possível observar que a banda submareal apresentou uma tendência geral de subsidência nos meses de inverno e primavera, e de sobre-elevação durante o verão e o outono. Porém, apesar dessa tendência sazonal encontrada, os anos analisados apresentaram intensidades distintas desse comportamento. O processo de subsidência no ano de 2014 alcançou valores máximos de -0,12 m no inverno e -0,09 m na primavera, enquanto no ano de 2015 o máximo foi de -0,04 m na primavera (não houve coleta de dados no inverno de 2015). Já a tendência de sobre-elevação no ano de 2015 alcançou valores máximos de 0,13 m no outono e 0,05 m no verão, enquanto que em 2016 o verão apresentou valor de 0,02 m.

Analisando as duas bandas de frequência que formam o nível submareal (baixa frequência e meteorológica) foi possível notar que a componente de baixa frequência foi a maior responsável por estes processos de subsidência e sobre-elevação apontados (Figura 12). Sobrepondo os níveis de baixa frequência para cada ano medido, verifica-se uma diferença de fase entre os anos (Figura 14). Em 2014 foi possível verificar uma tendência de sobre-elevação durante o inverno e subsidência na primavera. Esse comportamento concorda com o padrão comumente descrito para a região. Onde no inverno, devido a maior influência dos sistemas frontais na região, o nível do mar em baixa frequência tende a aumentar. Enquanto no verão, os fortes ventos de nordeste, por balanço geostrófico, rebaixam o nível do mar na costa (CASTRO; LEE, 1995; SOUZA; SCHETTINI, 2014; PALMA et al., 2008).

Figura 12 - Séries temporais do nível medido pelo ADCP e suas componentes derivadas do processo de decomposição espectral. No nível meteorológico são evidenciados períodos de superelevação (azul) e subsidência (amarelo).

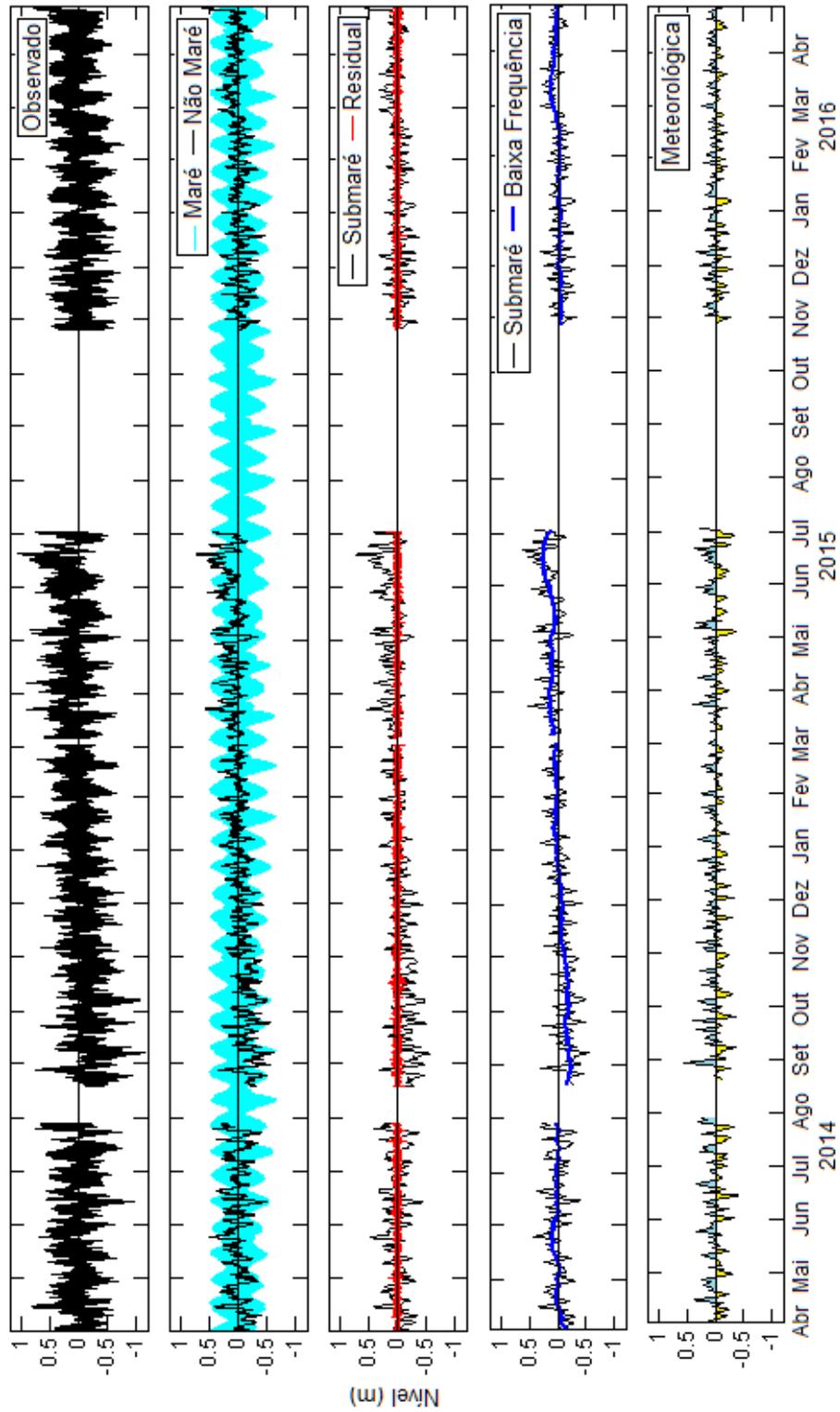
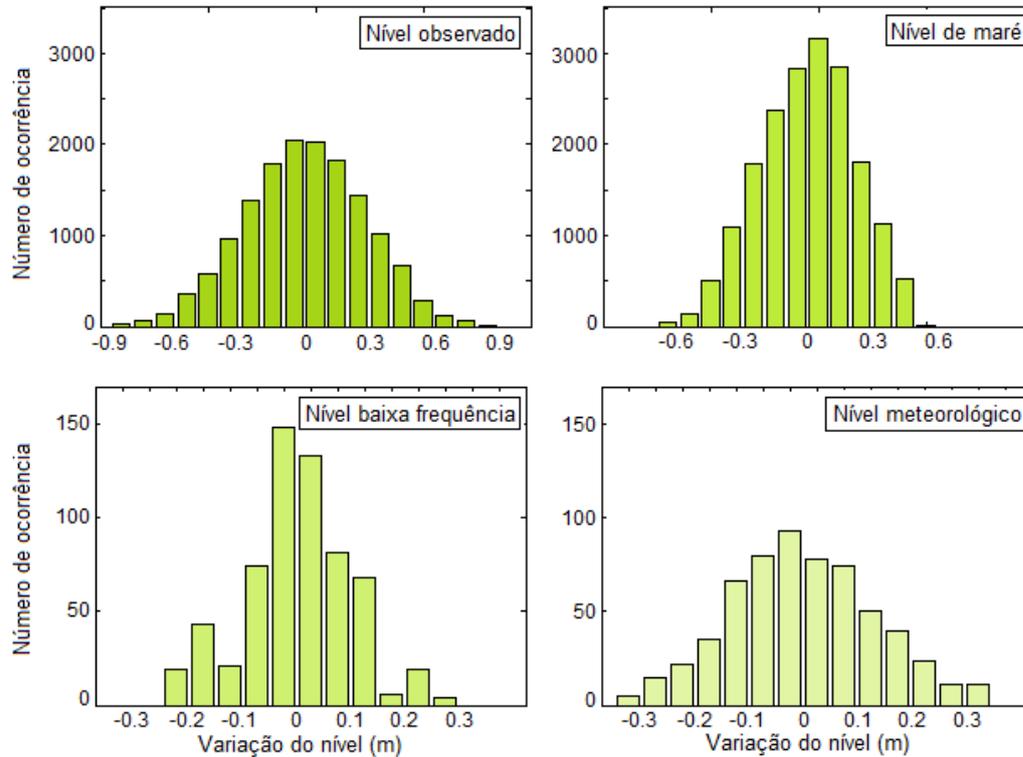


Figura 13 - Histogramas das séries de nível observado, mareal, de baixa frequência e meteorológico

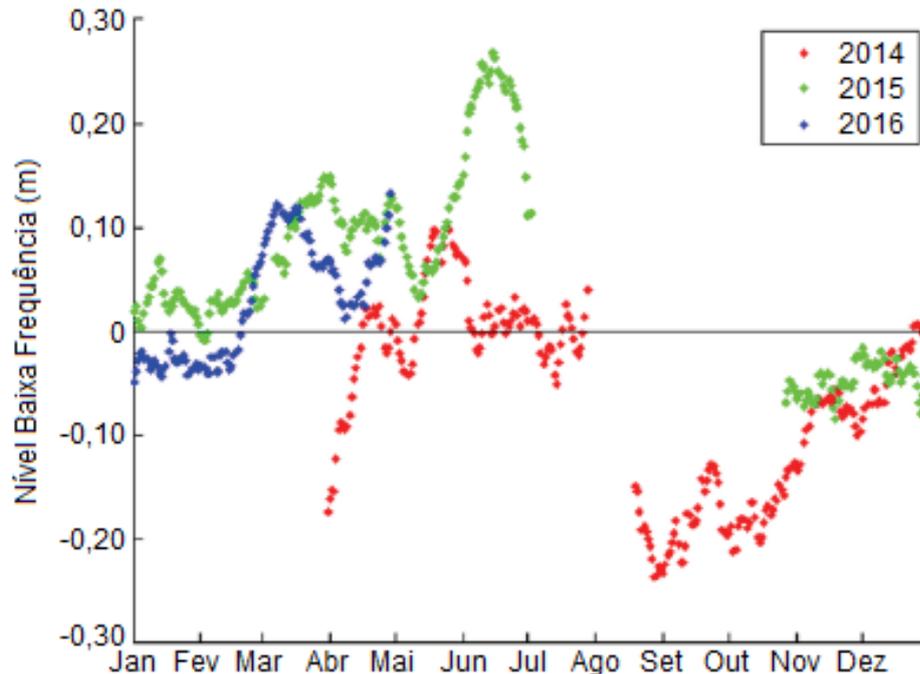


Quadro 5 - Variância das componentes do nível observado, componente mareal e não mareal, componente não mareal decomposta em submareal e residual e, por fim, componente submareal decomposta em baixa frequência e meteorológica.

Componente em frequência	Variância	
Observado	787,5	100%
Maré	477,9	61%
Não Maré	309,6	39%
Residual	7,4	1%
Submaré	302,2	38%
Baixa Frequência	101,1	32%
Meteorológica	215,1	68%

Já o ano de 2015 apresentou sobre-elevação durante todo o primeiro trecho medido do ano (janeiro à julho) e rebaixamento na primavera. E 2016 apresentou subsidência no verão e sobre-elevação no outono. Esse comportamento evidencia modulações de baixa frequência com períodos superiores aos amostrados

Figura 14 - Gráfico de valores diários da componente de baixa frequência do nível decimado (FRANCO et al., 2017).

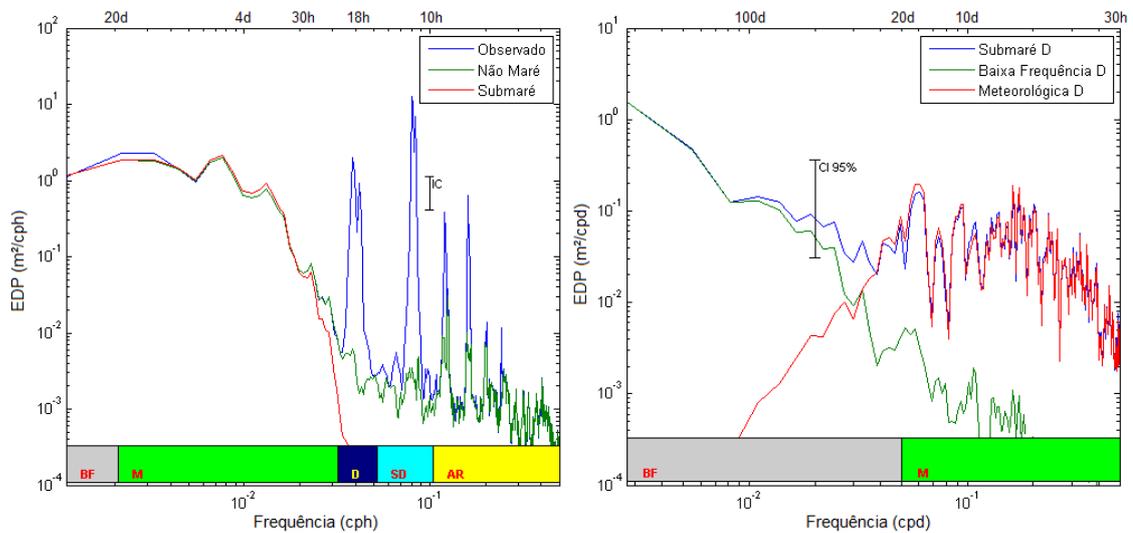


O espectro de densidade de potência das componentes do nível observado e bandas decompostas (Figura 15) indica um claro pico de energia em torno do período de 5 dias (taxa horária) e 15 dias (taxa diária) para a componente submareal. Na decomposição da banda submareal em baixa frequência e meteorológica, é possível notar que esses picos se mantêm na banda meteorológica. Indicando que estes, possivelmente, representam a duração da passagem dos sistemas frontais (~5 dias) e o intervalo de tempo de entrada dos sistemas na região (~15 dias).

A partir da componente meteorológica filtrada, foram identificados os eventos meteorológicos que ocorreram no período de medição. Estes foram definidos a partir da inversão do nível do mar, como eventos de subida ou descida.

A frequência de ocorrência dos eventos de sobre-elevação e subelevação foram praticamente iguais. Porém, os eventos de subsidência apresentaram uma duração média maior que os de sobre-elevação, podendo chegar até a 9 dias. Enquanto o período máximo de um evento de subsidência foi de 5 dias.

Figura 15 - Espectro de densidade de potência do nível observado e suas componentes decompostas.



3.3.2 Correntes

A série temporal de corrente medida pelo ADCP na Rebio Arvoredo está apresentada integralmente na Figura 16. A corrente apresentou uma maior intensidade na componente v (ao longo da costa) com um predomínio do escoamento para sul (Figura 17). A magnitude média da corrente foi de 0,172 m/s, com contribuição de 68,47% da componente v e 31,53% da componente u .

Para a componente u , a velocidade média para leste foi de 0,073 m/s, e máxima para oeste foi de 0,076 m/s. Além das intensidades semelhantes, estas correntes também apresentaram um padrão de ocorrência bastante equilibrada (Quadro 6). Ao analisar a componente u ao longo da coluna d'água verificou-se que esse equilíbrio entre as correntes leste/oeste não se dá em uma distribuição ao longo do tempo, e sim em uma inversão de sentido entre as camadas. Com predomínio no sentido leste na superfície, e oeste na camada de fundo (Figura 18).

A componente v apresentou velocidade média positiva (para norte) de 0.129 m/s e negativa (para sul) de 0.162 m/s. Além de mais intensa, a componente v com sentido sul também foi a mais frequente no período medido (Figura 17). Esse escoamento resultante para sul também já foi identificado em estudos na região por Casares Pinto (1998), Cecílio (2006) e Palma, et al. (2008). Assim como valores muitos semelhantes de velocidade média da componente v foram medidos na plataforma externa do Rio Grande do Sul (0,16 m/s;

ZAVIALOV, 2002) e na plataforma interna de Santa Catarina (0,12 m/s; CASARES PINTO, 1998).

Figura 16 - Perfis de velocidade da corrente horária em todas células medidas para componente u no quadro superior e componente v no quadro inferior.

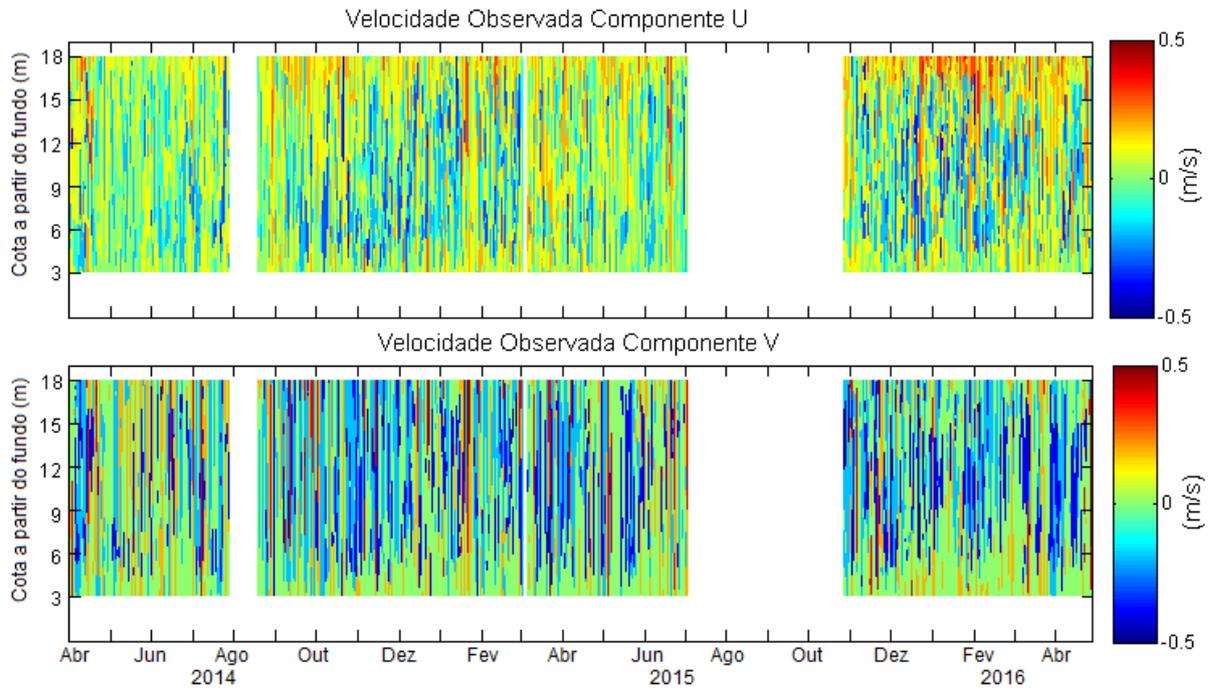
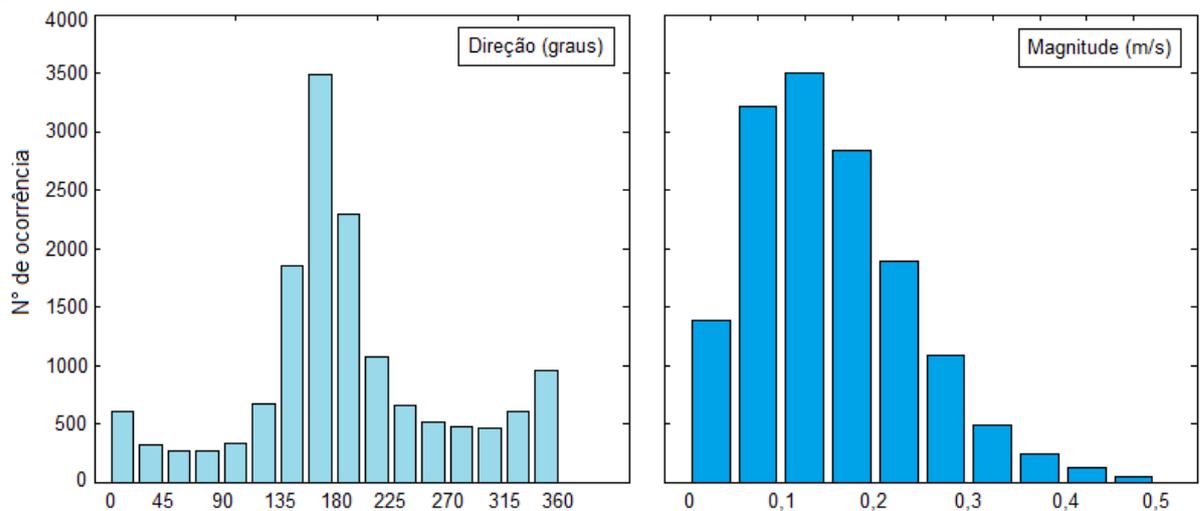


Figura 17 - Histograma de distribuição da direção e magnitude da corrente dos dados medidos pelo ADCP.

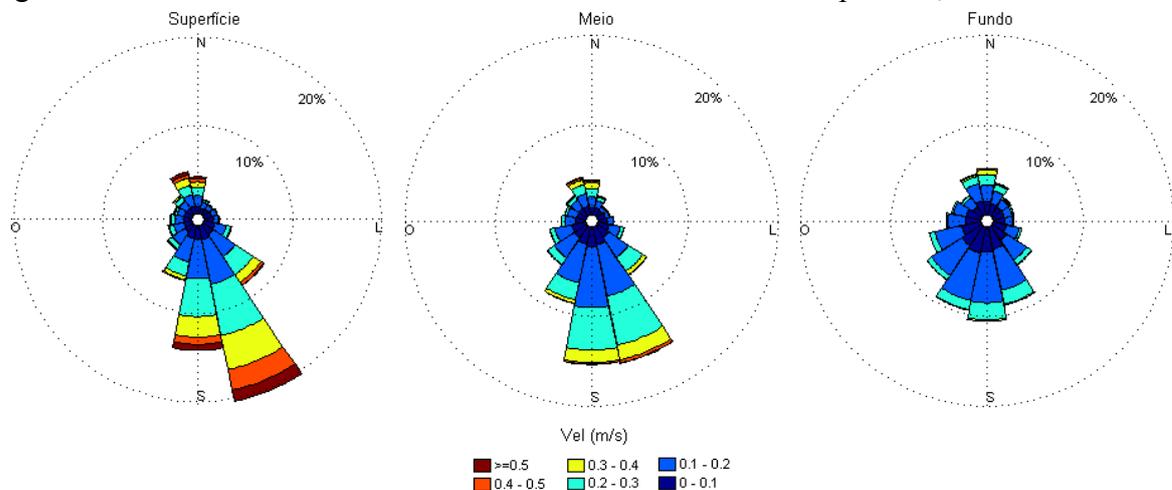


Quadro 6 - Parâmetros estatísticos básicos de magnitude da corrente e das velocidades nas componentes u (leste-oeste) e v (norte-sul) em m/s.

Parâmetros		Valor
Magnitude da corrente (m/s)	Média	0.172
	Mediana	0.156
	Máxima	1.006
	Desvio Padrão	0.107
	Contribuição em u	31.53%
	Contribuição em v	68.47%
Velocidade em u (m/s)	Média	0.003
	Média p/ Oeste	0.076
	Média p/ Leste	0.073
	Máxima p/ Oeste	0.441
	Máxima p/ Leste	0.373
	Ocorrência p/ Oeste	50.61%
	Ocorrência para Leste	49.39%
Velocidade em v (m/s)	Média	-0.069
	Média p/ Sul	0.162
	Média p/ Norte	0.129
	Máxima p/ Sul	1.013
	Máxima p/ Norte	0.762
	Ocorrência p/ Sul	72.26%
	Ocorrência para Norte	27.74%

Ao longo das camadas (Figura 18) foi possível notar que as correntes com fluxo para sul possuem uma maior intensidade na superfície que vai gradativamente sendo reduzida até o fundo. Já a corrente que flui para norte (positiva) apresenta uma intensidade constante ao longo da coluna d'água. Indicando que estas correntes são geradas por processos distintos, resultando em uma corrente de caráter baroclínico para sul e barotrópico para norte.

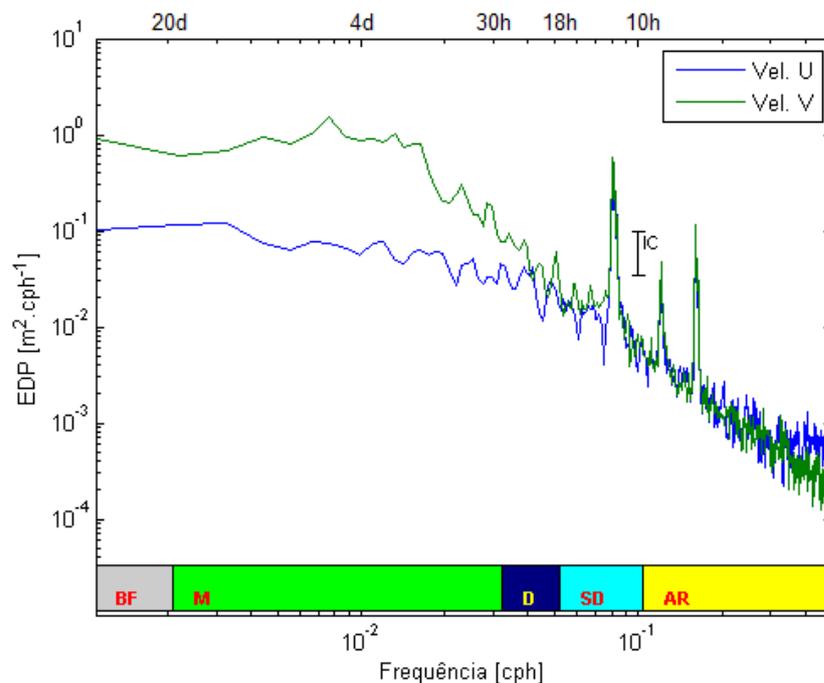
Figura 18 - Rosa das correntes médias medidas nas camadas de superfície, meio e fundo.



Por se tratar de medição realizada em ambiente raso e próximo à ilhas e ao continente, a velocidade e a direção do escoamento medido se mostrou fortemente influenciado pela geomorfologia local. Na região da Rebio Arvoredo, as correntes fluem nas direções norte-sul, paralelamente à linha de costa, e sofrendo interferência das ilhas que formam a reserva. Mas claramente, a geomorfologia apenas desenha os caminhos do escoamento principal (eixo norte-sul) e ameniza ou intensifica as velocidades (CECÍLIO, 2006; PALMA et al., 2008). Sendo outras forçantes, que serão abordadas mais a frente, as responsáveis pela composição do espectro energético total do fluxo em si.

O espectro de densidade de potência para a corrente barotrópica (em u e v) é mostrado na Figura 19. Nele ficaram evidentes as contribuições da componente de maré na banda semidiurna, 1/3 diurna e 1/4 diurna. E também da componente submarel em picos entorno de 3 e 6 dias. Observa-se também que a componente v apresenta, a partir da faixa submarel, energia com uma ordem de grandeza superior à componente u. Indicando uma forte influência das bandas meteorológicas e de baixa frequência na componente longitudinal à costa.

Figura 19 - Espectro de densidade de potencia da corrente observada (média para toda coluna d'água).



Para compreender melhor a importância de cada frequência de energia na composição das correntes medidas, foi realizada a decomposição espectral. Nas séries decompostas da componente u (Figura 20) já fica clara a importância da corrente de maré para o fluxo perpendicular à batimetria, com a componente mareal apresentando intensidade semelhante a não mareal. Já nas séries decompostas da componente v (Figura 21), a banda submareal se mostrou como a principal contribuinte do espectro total. O espectro de densidade das componentes decompostas é apresentado na Figura 22.

A componente mareal foi responsável por 12,95% da contribuição para o escoamento local (Quadro 7). Como já havia sido observado no espectro de potência (Figura 19), as componentes semidiurnas foram as mais significativas e representaram 60% da contribuição, seguidas das componentes sazonais com 24%. A corrente de maré tem um fluxo bem definido no sentido noroeste-sudeste com velocidade média de 0,107 m/s (Figura 23), fluindo para sudeste durante a preamar e para noroeste na baixamar. Sendo uma componente importante especialmente no fluxo estabelecido através da costa (CASARES PINTO, 1998; MESQUITA; HARARI, 2003).

Na decomposição em variância da componente submareal pode-se verificar as parcelas atribuídas a componente meteorológica e de baixa frequência (Quadro 7, Figura 20 e Figura 21).

A componente na banda meteorológica domina a frequência submareal (86,88%). A corrente gerada por essa componente tem sentido preferencial norte-sul e velocidades máximas de 0,6 m/s para norte (Figura 23). Os picos de energia observados na corrente meteorológica entre 3 e 6 dias possivelmente estão associados a passagem dos sistemas frontais na região (CASTRO; LEE, 1995; GREGORIO, 2014).

Figura 20 - Decomposição espectral do componente u da corrente medida pelo ADP.

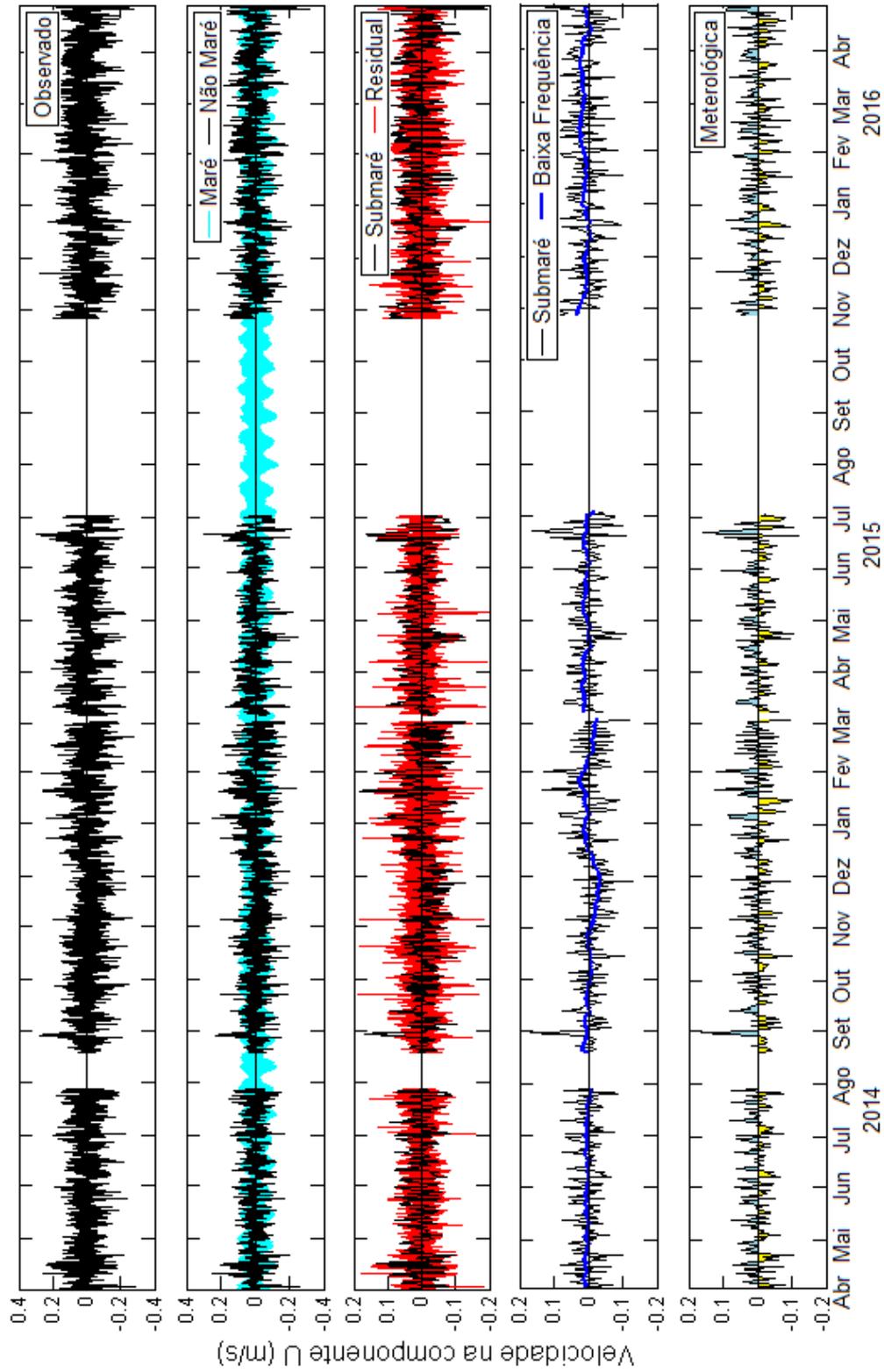


Figura 21 - Decomposição espectral do componente v da corrente medida pelo ADP.

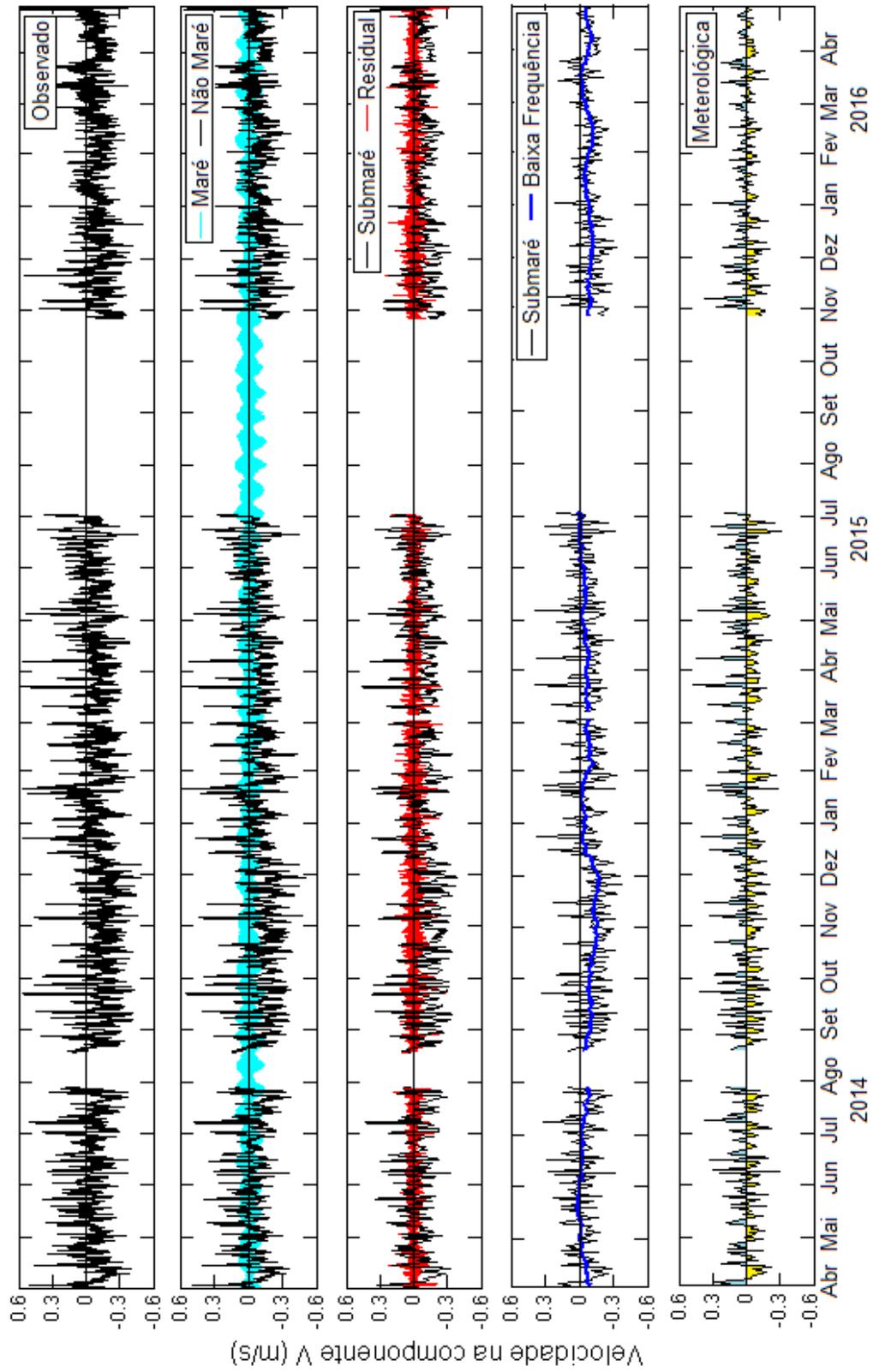
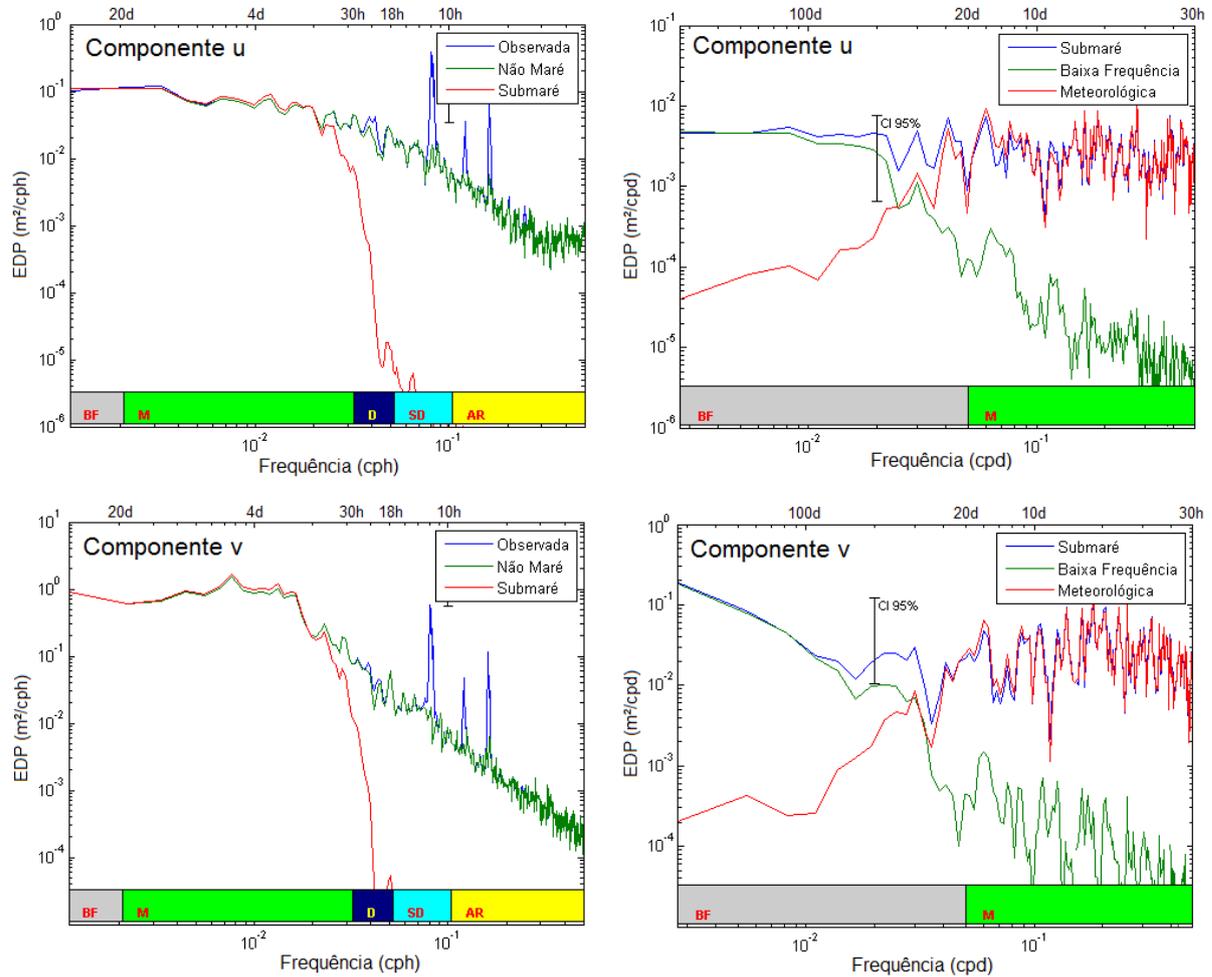


Figura 22 - Espectro de Densidade de Potência (m^2/cph e m^2/cpd) para as componentes u e v da corrente observada e decomposta nas frequências não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica.



Quadro 7 - Decomposição em variância da corrente barotrópica horária.

Corrente	m^2/s^2	%
Observada	0,0286	100%
Maré	0,0037	12.95%
Não Maré	0,0249	87.05%
Submaré	0,0221	77.26%
Residual	0,0028	9.79%
Submaré	0,0221	100%
Meteorológica	0,0192	86,88%
Baixa Frequência	0,0029	13,12%

Apesar do predomínio da banda meteorológica na corrente submareal, a componente de baixa frequência também apresenta um papel importante. Durante quase todo o período medido, essa componente fluiu para o quadrante sul com velocidade de até 0,2 m/s (Figura 23 e Figura 24). Em apenas um breve período no mês de junho de 2014, a corrente se inverteu

em modo barotrópico (Figura 25). Mesmo contribuindo apenas com 13,12% da variância da componente submareal, essa consistência da componente de baixa frequência foi a grande contribuição para que a resultante do escoamento da corrente total observada no período medido tenha se dado para sul. Na Figura 26 é apresentada uma rosa de correntes gerada a partir da subtração da componente de baixa frequência da corrente total observada. Nela, é possível verificar que sem a contribuição da baixa frequência, a resultante da corrente se inverteria para o quadrante norte.

Figura 23 - Rosas das correntes medidas (observada) e decompostas em frequência (mareal, não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica). Atentar para alteração de escala para a corrente de baixa frequência. *Atentar para alteração de escala na rosa de baixa frequência

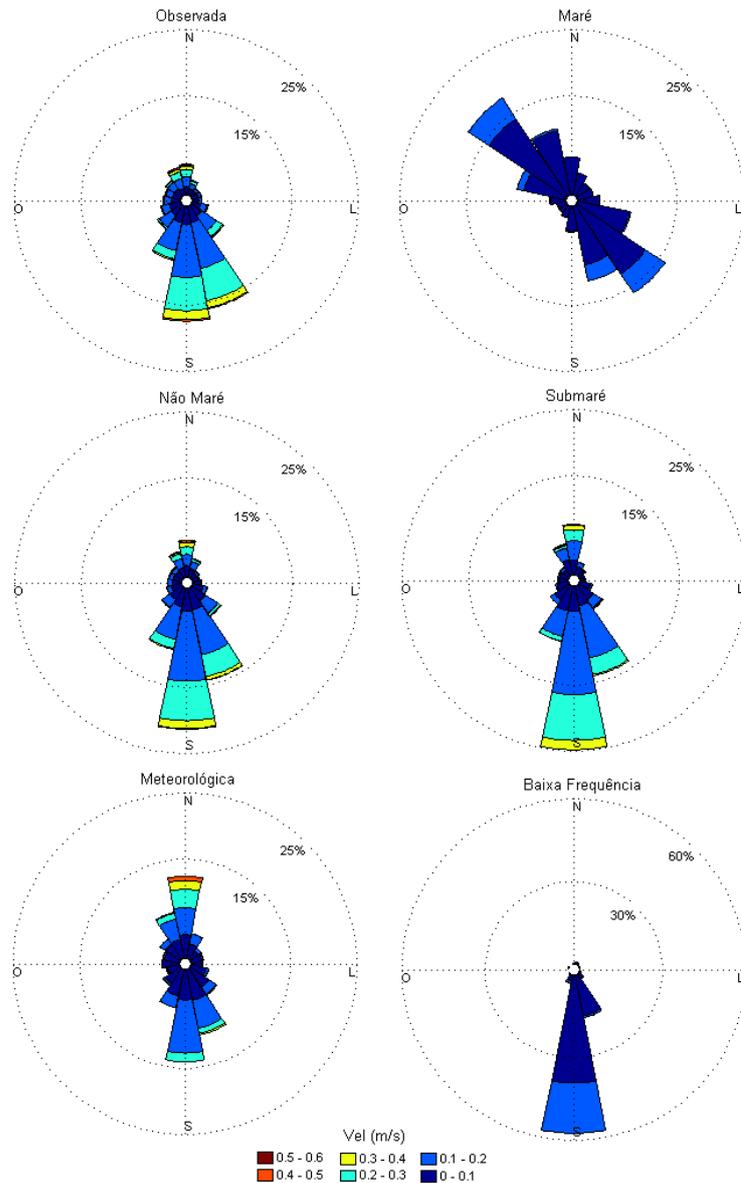


Figura 24 - Rosas das correntes decompostas em frequência (mareal, não mareal, submareal, baixa frequência e meteorológica) para a camada de superfície, meio e fundo. Atentar para alteração de escala nas rosas de baixa frequência.

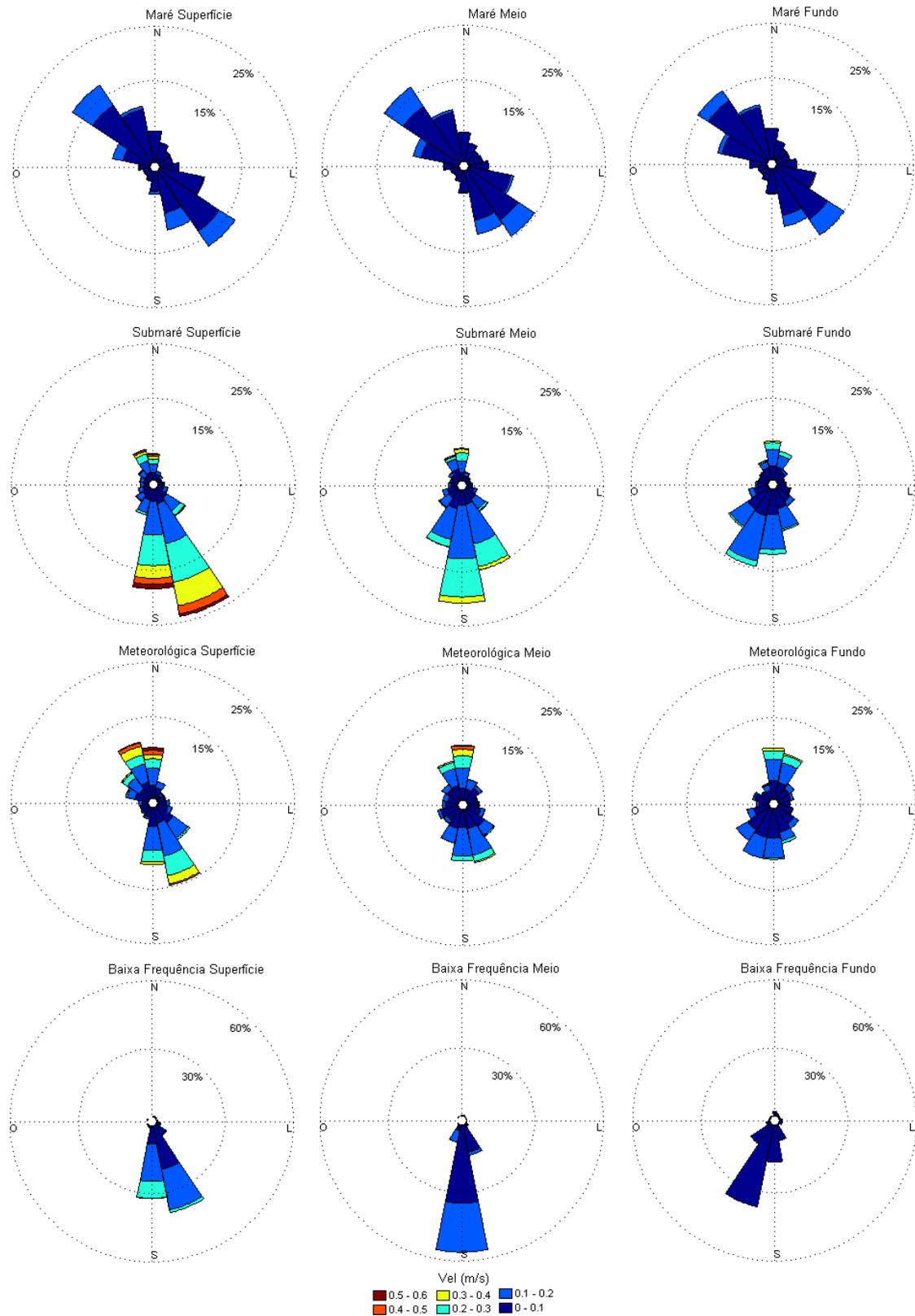


Figura 25 - Corrente baroclínica de baixa frequência para todas as camadas medidas.

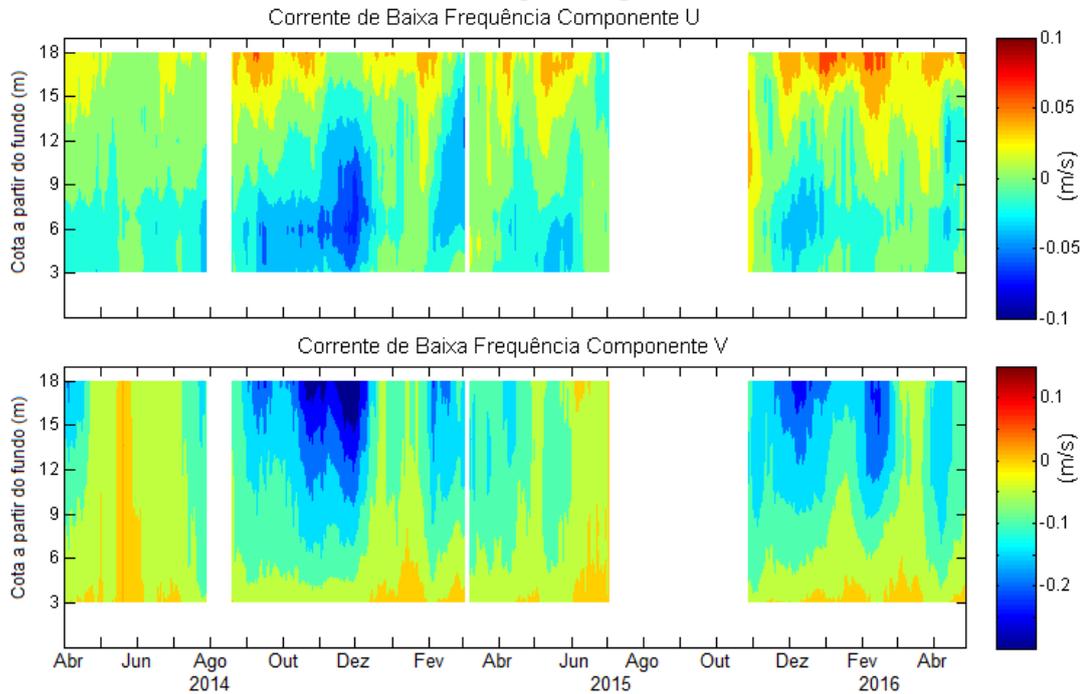
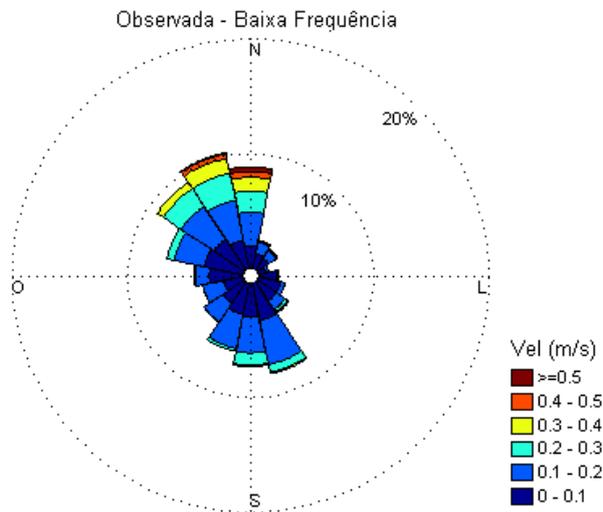


Figura 26 - Rosa de corrente resultante da subtração da componente de baixa frequência da corrente total observada.



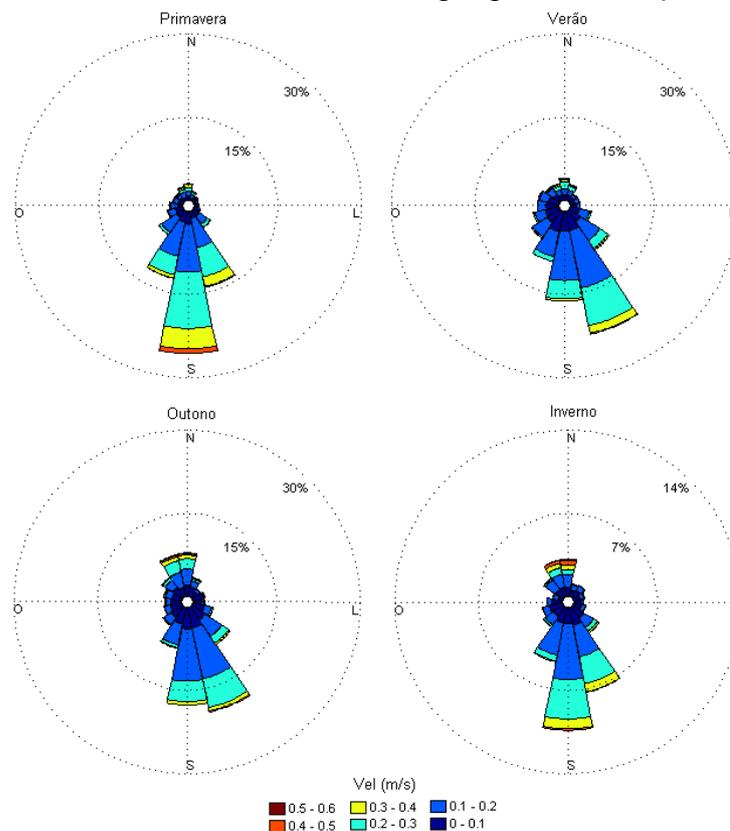
O padrão de magnitude e direção encontrado nas correntes meteorológicas e de baixa frequência é resultado da forte influência de dois principais sistemas atmosféricos que atuam no atlântico sul: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os Sistemas Meteorológicos Frontais (SMFs) (CASTRO; MIRANDA, 1998).

O ASAS é um sistema de alta pressão formado pela alta radiação solar incidente na região tropical (NIMER, 1979), e se mantém de forma persistente ao longo do tempo. É classificado como um sistema de alta semipermanente devido as suas variações de posição e intensidade especialmente ao longo do ano (ITO, 1999). Isso quer dizer, que as correntes da PCSC estão constantemente sob influência do ASAS, o que gera essa corrente de baixa frequência praticamente uniforme fluindo para sul.

Os ventos locais, que determinam o escoamento meteorológico na região, são regidos principalmente pela relação entre o ASAS e as passagens dos SMFs. Que por sua vez são moduladas ao longo do ano devido a posição e intensidade do ASAS e magnitudes dos SMFs.

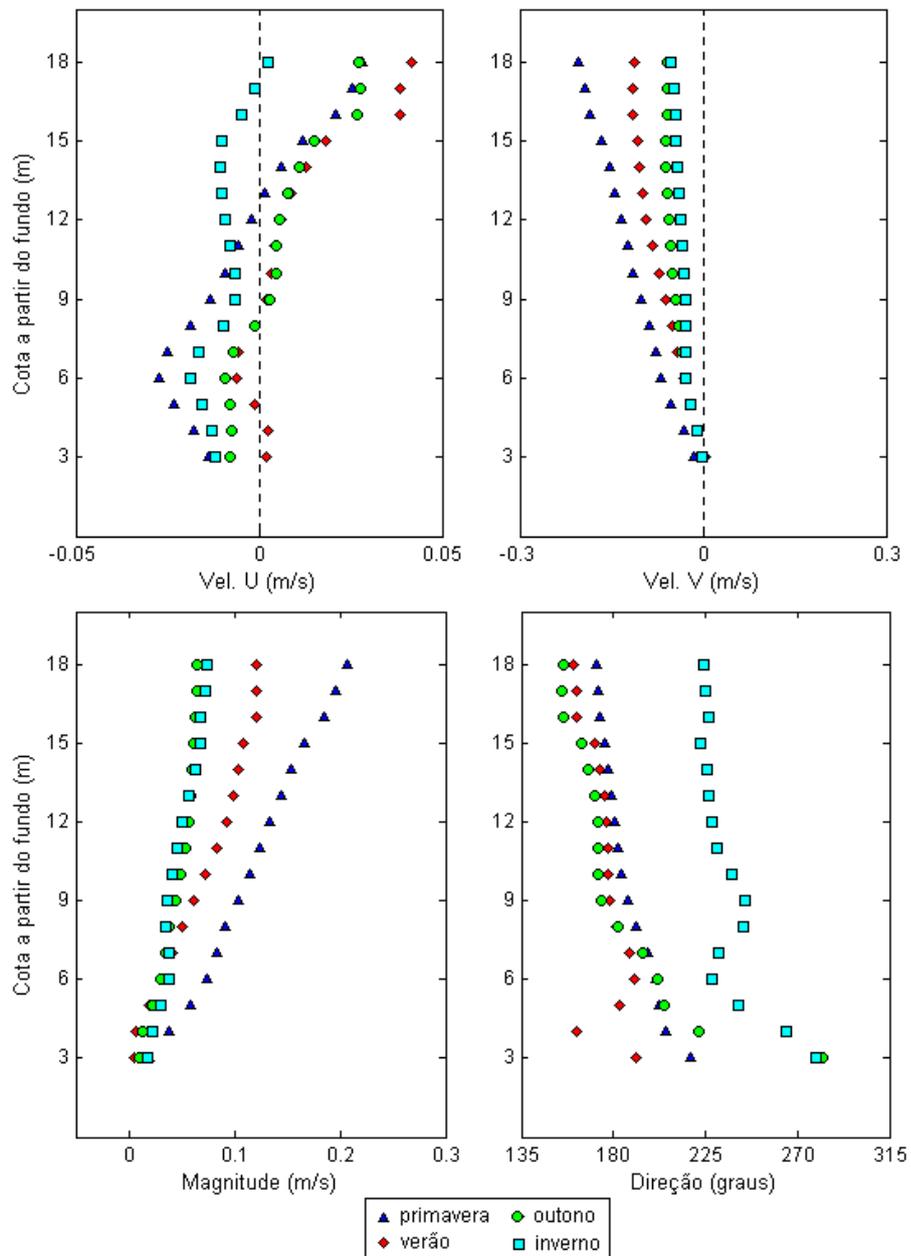
Essa sazonalidade na relação entre os sistemas atmosféricos foi identificada nas correntes medidas na PCSC. Onde se verificou uma maior intensidade e predomínio das correntes fluindo para sul na primavera e verão. E enfraquecimento das correntes, e períodos maiores de reversão da corrente para norte, no outono e no inverno (Figura 27 e Figura 28). Corroborando com o padrão sazonal identificado por Casares Pinto (1998) e Palma et al. (2004).

Figura 27 - Rosas de correntes médias da coluna d'água pra cada estação do ano.



As correntes da camada superficial são as que mais variam ao longo das estações, especialmente quanto à magnitude. Uma variação na direção também pode ser notada especialmente durante o inverno, onde as correntes resultantes se movem para oeste. Ainda quanto à direção, é importante observar que a oscilação das correntes na componente u (leste-oeste), fluindo para leste na superfície e oeste no fundo, se manteve ao longo de todas as estações (Figura 28). Apenas sendo intensificada ou atenuada com a sazonalidade.

Figura 28 - Médias sazonais para cada camada vertical medida das componentes u e v da corrente nos quadros superiores e da magnitude e direção da corrente nos quadros inferiores.



3.3.3 Análises integradas

A partir dos dados de salinidade e temperatura medidos pelas campanhas bimestrais de CTD foram identificadas as massas d'água presentes na região entorno da Rebio Arvoredo (Figura 29). As águas foram classificadas de acordo com os parâmetros termohalinos definidos para a região de interesse por Miranda (1982), Castro Filho (1996) e Moller et al. (2008) (Quadro 8). Castro Filho (1997) indica a Água Costeira (AC) como sendo a água menos salina presente na plataforma, porém não indica um intervalo termohalino para sua identificação. Neste trabalho a AC foi classificada como a água menos salina (inferiores a 33,5) com temperatura superior a 20°C. Criando, portanto, um limite nessa isoterma para a influência da Água da Pluma do Prata (APP). Sabendo-se que, a APP é identificada na região apenas durante o outono e inverno (PIMENTA et al., 2005; MOLLER et al., 2008)

Quadro 8 - Parâmetros termohalinos utilizados para classificação das massas d'água neste trabalho.

Massas d'água	Intervalos termohalinos
Água Tropical (AT)	$T > 20^{\circ}\text{C}; S > 36,4$
Água Subtropical de Plataforma (ASP) (para verão e inverno)	$T > 18,5^{\circ}\text{C}; 33,5 < S < 36$
	$T > 14^{\circ}\text{C}; 33,5 < S < 36$
Água Costeira (AC)	$T > 20^{\circ}\text{C}; S \leq 33,5$
Água da Pluma do Prata (APP)	$10^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}; S \leq 33,5$
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	$6^{\circ}\text{C} < T < 18,5^{\circ}\text{C};$ $34,6 < S < 36,4$

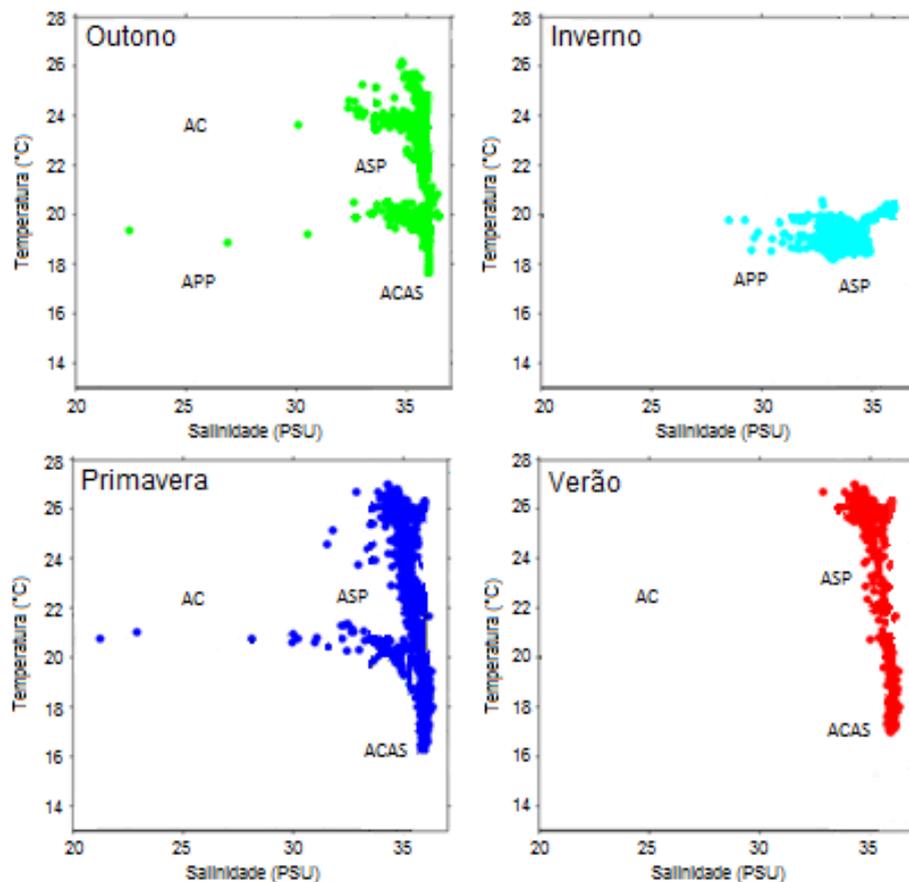
A AT não foi identificada na região. A AT é transportada em superfície pela Corrente do Brasil, e dificilmente chega até a plataforma interna sem sofrer processo de mistura com outras massas de água. Sendo mais comumente encontrada, em sua forma pura, na porção externa da plataforma (MACEDO-SARES et al., 2014).

A APP, concordando com trabalhos anteriores que descrevem sua dispersão sobre a PCSSB (PIMENTA et al., 2005; BURRAGE et al., 2008; MOLLER et al., 2008), foi identificada apenas no outono e mais fortemente no inverno. A AC, que representa as águas menos salinas de maior temperatura, ou seja, a influência hidrológica de rios próximos, apresentou uma maior influência na região durante o outono e a primavera.

A Água Subtropical de Plataforma (ASP) foi a massa de água que dominou a Plataforma Continental Interna de Santa Catarina (PCISC) durante as medições em todas as estações do ano. A predominância dessa massa de água no sul da PCSSB já foi apontada em estudos anteriores com dados medidos e modelados (MACEDO-SOARES; MENDONÇA et

al., 2016). A formação da ASP ocorre da mistura entre a APP e a AT. Se diferenciando da Água de Plataforma (AP), originada em latitudes mais baixas, quanto a origem da água continental na mistura com a AT. Ou seja, estudos realizados na porção sul da PCSSB, atribuem as águas menos salinas identificadas à ASP. Enquanto que estudos no trecho norte da PCSSB, classificam como AP as águas menos salinas encontradas.

Figura 29 - Massas d'água identificadas através dos dados medidos por CTD na região no entorno da Rebio Arvoredo. Modificado de FRANCO et al. (2017).



Porém a Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo, pelas características geomorfológicas da costa sul brasileira, encontram-se em uma região de transição que ainda apresenta uma forte influência das águas vindas do sul. Mas que também recebe aportes continentais importantes do rio Tijucas e dos rios ao norte com elevada vazão como rio Itajaí e rio Ribeira do Iguape.

Por isso, acredita-se que a massa de água aqui caracterizada como ASP, na verdade contenha massas de águas de diferentes origens. Onde aquelas entorno da temperatura de 20°C estão associadas a ASP “clássica” definida por Moller et al. (2008), originada em latitudes mais altas. E aquelas com temperatura mais elevadas sejam massas formadas

localmente ou ao norte da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo. Essa identificação de diferentes assinaturas térmicas dentro da ASP já tinha sido anteriormente observado por Piola et al. (2008). E nos diagramas de temperatura e salinidade sazonais aqui apresentados, fica bem evidente o sinal da ASP de maior temperatura durante a primavera e o verão, quando as águas de sul não chegam na região. E o sinal da ASP de menor temperatura no outono e inverno, quando chegam também as águas da pluma do prata.

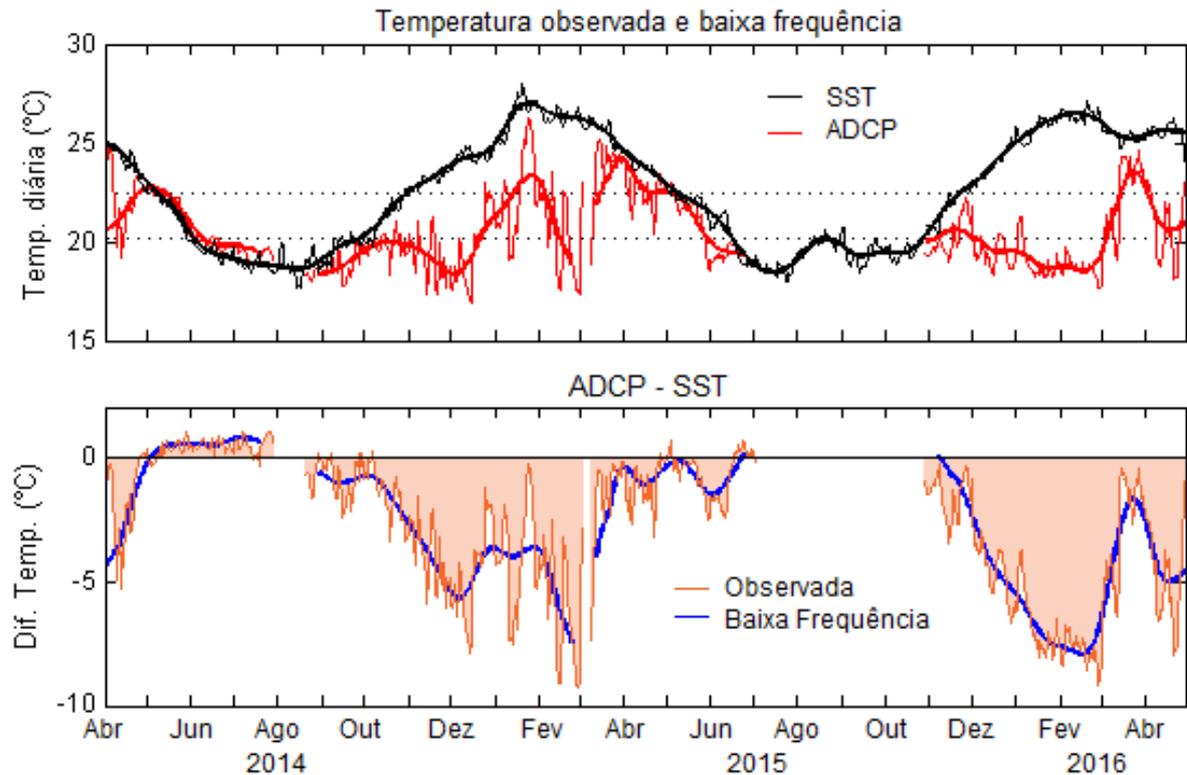
A Água Central do Atlântico Sul (ACAS), transportada pela camada inferior da Corrente do Brasil, foi identificada com maior frequência na região durante a primavera e verão. Durante essas estações a coluna d'água se estratifica, a ACAS avança sobre a plataforma continental interna e domina toda a região de fundo, podendo aflorar em eventos de ressurgência (CARVALHO et al., 1998; HILLE et al., 2008). Com a chegada do outono, a ACAS começa novamente a ser empurrada para a plataforma externa até não ser identificada durante o inverno na plataforma interna (CASTRO, 2014).

Esse padrão sazonal encontrado na distribuição das massas d'água apresentada, e a estratificação indicada pela literatura nos meses de primavera e verão, são também observados na série de dados de temperatura de fundo (medidas pelo ADCP) e superfície (TSM das imagens de satélite OSTIA) na Rebio Arvoredo (Figura 30).

Na análise das séries foi possível identificar um padrão de estratificação da coluna d'água que se inicia na primavera e alcança seu máximo no verão. E que começa a ser quebrado durante o outono até chegar a uma condição homogênea no inverno quando a temperatura de fundo e superfície praticamente se igualam. Importante destacar que o processo de estratificação que se iniciou no final de 2015 e começo de 2016 foi mais intenso que o ocorrido no ano anterior (2014-2015).

E ainda dois comportamentos importantes merecem ser pontuados: i) a coluna d'água se mantém homogênea quando a temperatura na superfície se encontra abaixo de valor próximo à média anual da temperatura de fundo (20,4 °C, linha pontilhada no gráfico), e tende a se estratificar quando a temperatura superficial ultrapassa este valor; ii) a coluna d'água estratificada tende a se homogeneizar quando a temperatura superficial começa a reduzir e ultrapassa o valor médio anual da temperatura de superfície (22,5 °C, linha pontilhada no gráfico).

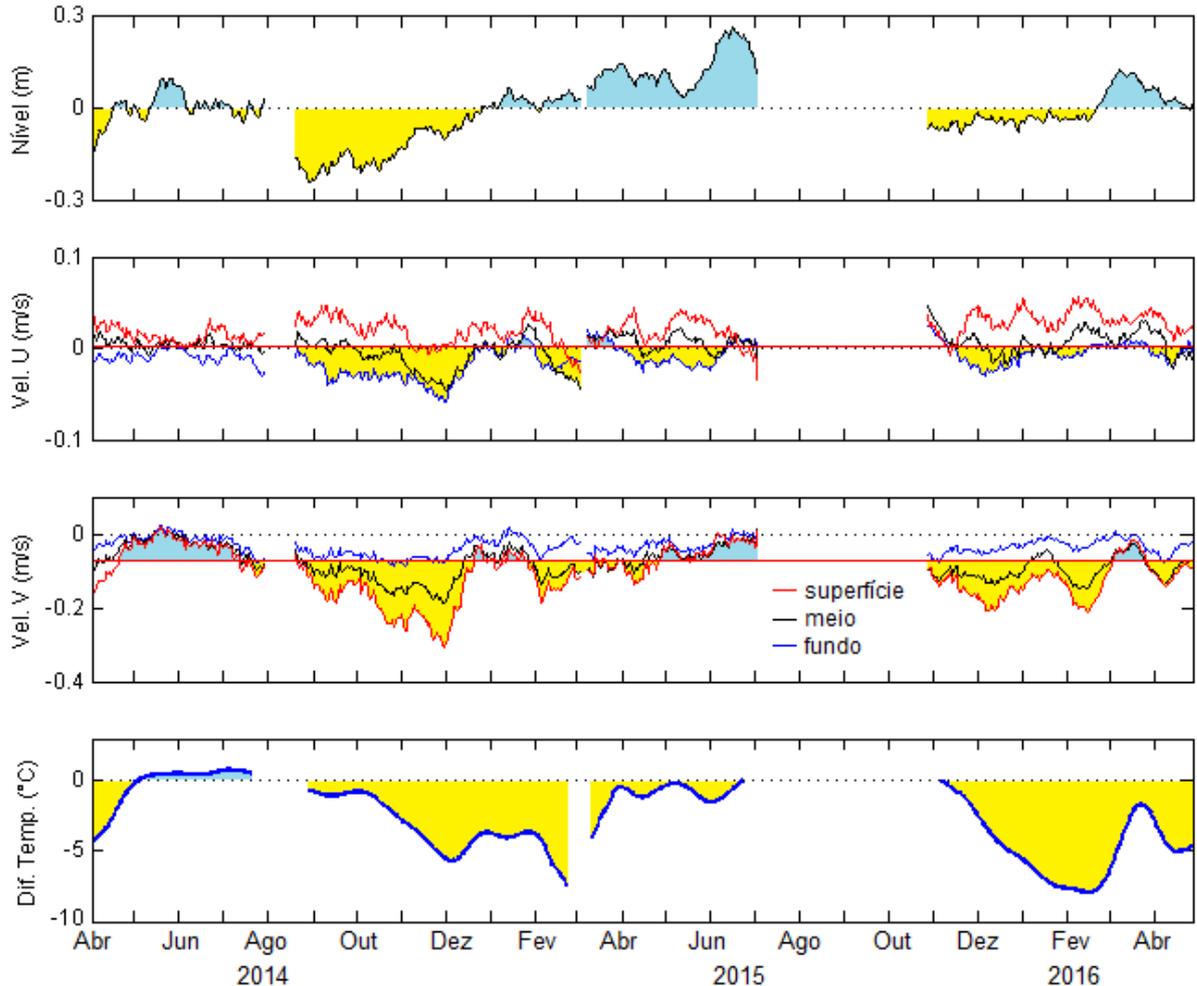
Figura 30 - No quadro superior estão plotadas a Temperatura Superficial do Mar (TSM - extraída das imagens OSTIA) diária e decomposta em baixa frequência, e a temperatura de fundo (medida pelo ADCP) decimada em dados diários e decomposta em baixa frequência. As linhas pontilhadas referem-se às médias de todo o período medido. No quadro inferior a diferença entre a temperatura de fundo e a superficial.



A fim de melhor compreender os processos hidrodinâmicos responsáveis por esse comportamento da temperatura, foi plotado um gráfico conjunto de nível, correntes da componente longitudinal e transversal e a estratificação da temperatura (temperatura superficial subtraída da temperatura de fundo) (Figura 31).

A partir dessa análise foi possível verificar que durante o período em que a coluna d'água se apresentou homogênea (maio à outubro) o escoamento ao longo da costa (baixa frequência) foi barotrópico, dificultando a estratificação. Além disso, a componente longitudinal da corrente apresentou intensidades inferiores a média, indicando um enfraquecimento da componente de baixa frequência nesse período, favorecendo inversões de fluxo para norte gerados pela componente meteorológica.

Figura 31 - Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.



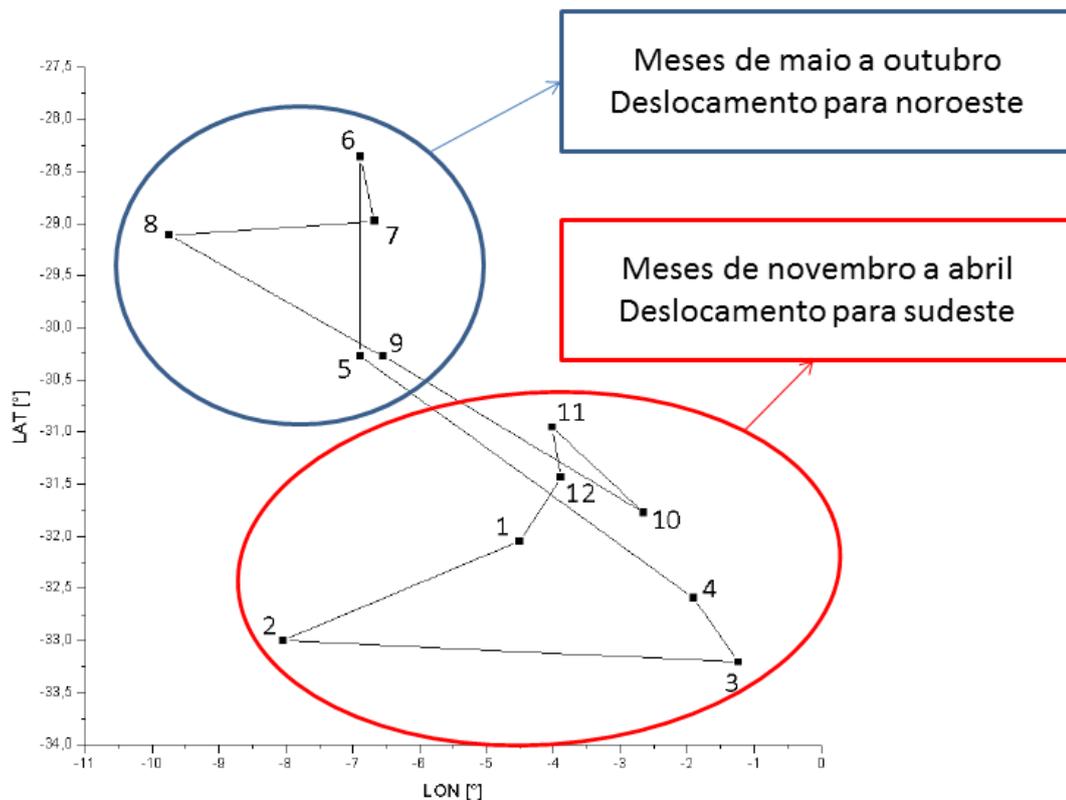
Esse comportamento da corrente só voltou a acontecer entre maio e junho de 2015 e brevemente em março de 2016, períodos onde novamente a coluna d'água tendia a homogeneidade. Esses períodos também coincidem com momentos de sobre-elevação do nível do mar.

Já durante o período de estratificação da coluna d'água (novembro à abril), a corrente assume um comportamento baroclínico fluindo para sudeste na superfície e sudoeste no fundo. Ou seja, a camada superficial escoava para fora da costa enquanto a camada de fundo fluía para as regiões mais rasas. O nível nesses períodos apresentou subsidência, com valores mais intensos em 2014. É interessante observar que durante o período de estratificação mais

intenso (dezembro de 2015 a abril de 2016) a componente da corrente transversal à costa se mantém com magnitude elevada na superfície praticamente durante todo este período.

Acredita-se que a sazonalidade das correntes e da distribuição das massas d'água na região da Rebio Arvoredo esteja fortemente ligada a variabilidade do ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul). O período de homogeneidade na coluna d'água e correntes de baixa frequência mais amenas (outono e inverno) ocorreram nos meses em que o ASAS tende a se deslocar para norte, enfraquecendo os ventos de nordeste que atuam na região e permitindo uma maior penetração dos SMFs (TCHERNIA, 1981; DEGOLA, 2013). Enquanto o período de estratificação da coluna d'água e correntes intensas para o quadrante sul (primavera e verão) se deram nos meses em que o ASAS está mais posicionado a sul e gerando um maior gradiente de pressão atmosférica com o continente, intensificando os ventos de nordeste (Figura 32).

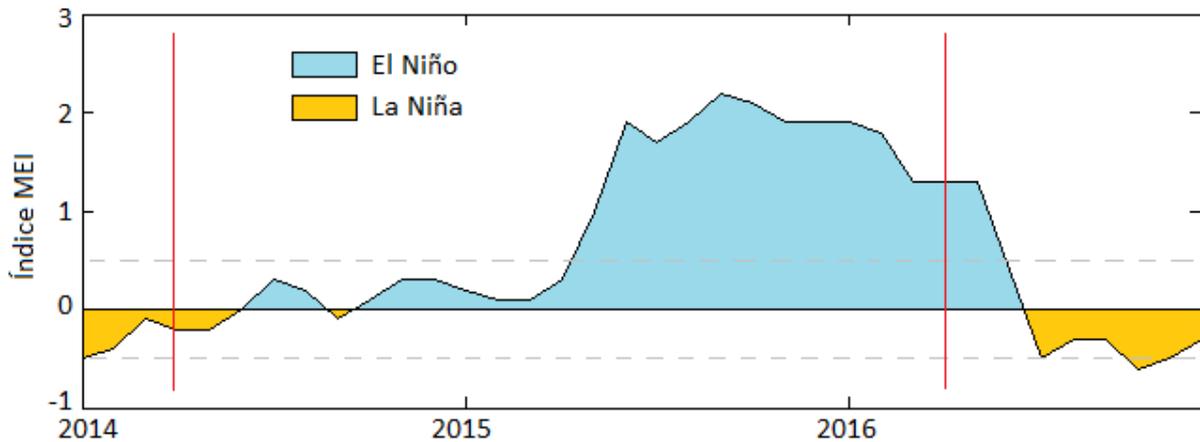
Figura 32 - Representação da variação espacial do ciclo anual do ASAS para a média dos dados analisados entre 1989 e 2010. Modificado de Degola (2013).



Já a variabilidade de intensidade dos processos observados no nível, corrente e temperatura entre os anos medidos possivelmente se deve a atuação do El Niño durante o período amostrado. O fenômeno de El Niño ocorrido no ano de 2015 foi o terceiro mais

intenso medido desde o início das análises em 1951 (Figura 33). A atuação do El Niño altera o padrão de chuvas na América do Sul e o posicionamento do ASAS. E com isso interfere diretamente nos padrões de ventos e correntes termohalinas que governam e influenciam o escoamento na PCSSB.

Figura 33 - Índice MEI que define a ocorrência e intensidade dos fenômenos de El Niño e La Niña. As linhas verticais em vermelho indicam o início e fim da coleta de dados do Projeto MAArE. A linha cinza tracejada indica o intervalo de erro do índice de $\pm 0,5$. Dados obtidos em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>. O índice MEI é obtido a partir de função que inclui cinco variáveis: Pressão atmosférica no nível do mar, Temperatura da superfície do mar, Componentes zonais e meridionais do vento na superfície do mar e radiação de ondas longas.



4 ESTUDO NUMÉRICO DA CIRCULAÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DE SANTA CATARINA

Conforme análise dos dados medidos descrita no Capítulo 3, verificou-se que o escoamento na região da Rebio Arvoredo apresentou um fluxo resultante para sul e um padrão sazonal bem claro. Onde a coluna d'água se estratifica e as correntes fluem para sul durante o verão e primavera. E no outono e inverno estas correntes se enfraquecem, permitindo uma maior influência das correntes que fluem para norte que homogeneízam a coluna d'água e trazem águas frias da região sul. Dentro deste padrão sazonal apontado, foi ainda observada uma variabilidade interanual. Que possivelmente se relaciona com a predominância do escoamento para sul em baixa frequência durante todo o período medido.

Foram também identificadas duas massas d'água distintas dentro do padrão termohalino indicado como Água Subtropical de Plataforma (ASP): uma encontrada na primavera, verão e outono, com sinal de temperatura mais elevado (entorno de 25°C) e outra identificada no outono, inverno e primavera com uma assinatura térmica inferior (entorno de 20°C). Acredita-se que esta água com influência costeira de maior temperatura, devido ao escoamento resultante para sul, esteja relacionada com os rios ao norte da Rebio Arvoredo, especialmente o Rio Itajaí.

Essas constatações, realizadas a partir dos dados locais medidos, indicam a existência de uma relação entre a hidrodinâmica e massas d'água locais com forçantes regionais e processos de larga escala de frequência interanual. Surgindo assim, a necessidade da implementação de um modelo hidrodinâmico com maior abrangência espacial e temporal, que nos permita verificar de forma direta essas relações apontadas.

Este capítulo descreve o processo de implementação e validação do modelo numérico, os resultados e análises realizadas nas saídas do modelo, discussões e conclusões.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

A implementação deste modelo numérico hidrodinâmico teve como objetivo simular, de forma realista, o escoamento na PCSC e região adjacente. O modelo utilizado foi o *Regional Ocean Modeling Systems* (ROMS).

4.1.1 Regional Ocean Modeling System

Durante fase de pesquisa a cerca dos modelos numéricos que atendiam aos objetivos deste estudo, verificou-se que o ROMS tem sido amplamente utilizado em pesquisas com escopos muito semelhantes a esta, inclusive na costa brasileira, com excelentes resultados (MARTA-ALMEIDA et al., 2006; LIU et al., 2009; SILVA et al., 2009 AMORIM et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; LAMAS et al., 2017).

O ROMS é um modelo numérico tridimensional, de superfície livre que resolve as equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds usando os pressupostos hidrostáticos e de Boussinesq (HAIDVOGEL et al., 2008; SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Tem seus códigos modulares escritos em Fortran (F90/F95) e usa processamento em C para ativar as várias opções físicas e numéricas que oferece.

As equações primitivas são discretizadas na vertical utilizando sistema de coordenadas S (terrain-following). Esse tipo de coordenada permite a aplicação de resolução variável, podendo aumentar a resolução nas áreas de interesse (SONG; HAIDVOGEL, 1994). Os modelos que utilizam essa classe de coordenada apresentam uma maior sensibilidade à topografia, o que resulta em erros de gradiente de pressão. Porém, os algoritmos do ROMS são projetados para reduzir tais erros (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2003). Na horizontal, as equações primitivas são calculadas usando coordenadas ortogonais curvilíneas ajustadas ao contorno em uma grade irregular do tipo Arakawa-C escalonada. A formulação geral de coordenadas curvilíneas inclui coordenadas cartesianas (métricas constantes) e esféricas (métricas variáveis) (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Para o momento, as equações são resolvidas usando um esquema de escalonamento de tempo explícito dividido que requer tratamento especial e acoplamento entre os modos barotrópico (rápido) e baroclínico (lento). Um número finito de etapas de tempo barotrópico, dentro de cada etapa baroclínica, é realizado para evoluir as equações de momento de superfície livre e verticalmente integradas. Atualmente, todas as equações 2D e 3D são

discretizadas por tempo usando um algoritmo de previsão temporal de terceira ordem (Leap-Frog) e corretor (Adams-Molton), que torna o intervalo de tempo mais preciso e robusto (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Todos os algoritmos e formulações que compõe o modelo e seus módulos são descritos com detalhes em: Shchpetkin e McWilliams (2003 e 2005), Haidvogel et al. (2008) e na página do modelo (myroms.org).

4.1.2 Domínios e batimetria

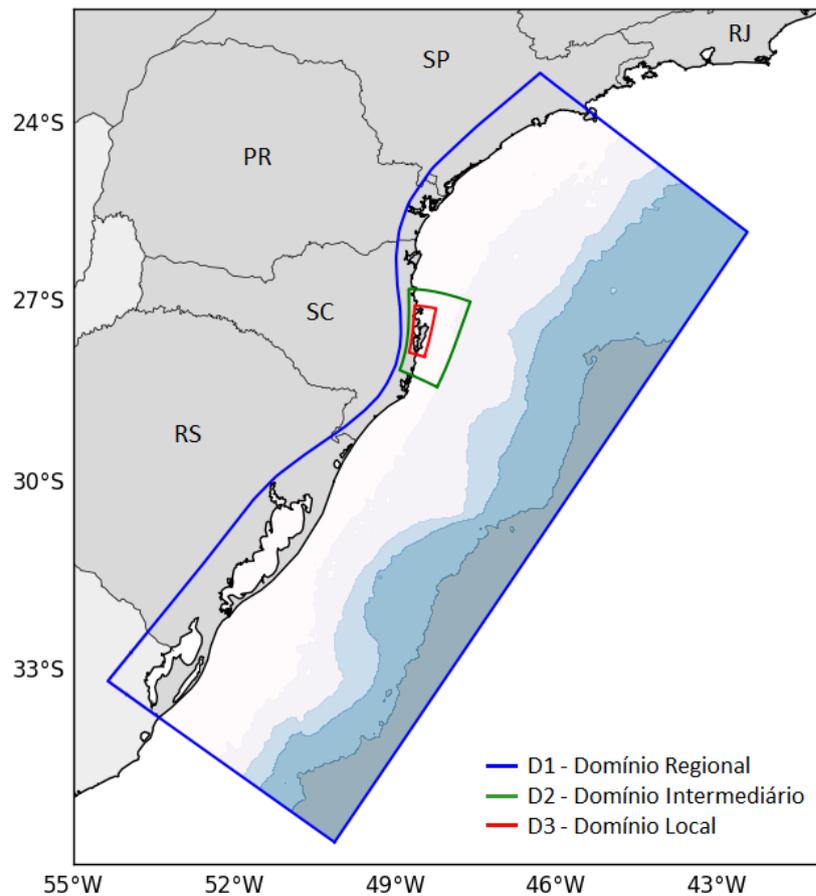
O domínio do modelo implementado compreendeu a região entre as latitudes 23°07'S e 35°40'S e longitudes 54°20'O e 42°24'O. A fim de obter uma maior resolução na área de interesse, foi necessário o aninhamento de 3 grades numéricas (Figura 34), descritas a seguir:

- Domínio regional (D1): cobriu uma área oceânica de aproximadamente 590.000 km², compreendendo a região da plataforma e talude continental e parte da planície. Com um domínio de 124x349 células, a resolução horizontal média foi de 4,4x4,3 km, variando entre 7,9x7,7 km e 3,0x2,9 km nas áreas de maior interesse.
- Domínio intermediário (D2): este domínio trata-se de um domínio de transição que teve como único objetivo manter a estabilidade numérica para se chegar na resolução desejada na grade local. Foi construído com base no D1, com uma taxa de refinamento de 1:3. Cobriu uma área oceânica de aproximadamente 10.000 km² na plataforma continental central de Santa Catarina. Com um domínio de 131x143 células, a resolução horizontal média foi de 1,1x1,1 km, variando entre 1,6x1,5 km e 0,9x0,9 km.
- Domínio local (D3): englobou toda a plataforma continental adjacente à Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo, cobrindo uma área oceânica de 3.000 km². Foi construído com base no D2, com uma taxa de refinamento de 1:5. Com um domínio de 242x367 células, a resolução horizontal média foi de 230x222 m, variando entre 285x255 m e 192x189 m.

A batimetria utilizada para interpolação nas grades numéricas foi obtida combinando os dados do ETOPO1 com a base de dados batimétricos do Lahimar. O ETOPO1 é um

modelo de relevo global que integra topografia da terra e a batimetria oceânica com resolução espacial de 1 minuto de arco (AMANTE; EAKINS, 2009). A base de dados do Lahimar é composta pelas Cartas batimétricas DHN e levantamentos batimétricos locais. Esta base foi inserida apenas na região de entorno da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo.

Figura 34 - Limites horizontais máximos das três grades numéricas utilizadas no modelo. Na imagem também é possível visualizar a batimetria final interpolada para as grades numéricas, nas linhas batimétricas de 100 m, 1000 m, 2000 m e 3000 m.



4.1.3 Condições iniciais e forçantes

Como forçamento de superfície foram utilizados os dados do modelo atmosférico Climate Forecast System Reanalysis – CFSR (SAHA et al., 2010) disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Os dados possuem resolução espacial de 0,3° e resolução temporal de 6 horas (Quadro 9). Os parâmetros extraídos do CFSR para forçamento do modelo foram: cobertura de nuvem, humidade, pressão atmosférica, radiação, precipitação, temperatura e vento (u e v).

Como condição inicial e de contorno lateral (para o domínio regional – D1), foram usados dados de elevação, temperatura da água, salinidade e velocidade das correntes (u e v). Os dados, diários e com resolução espacial de $1/12^\circ$, foram extraídos do modelo global *Hybrid Coordinate Data Assimilation – Navy Coupled Ocean Data Assimilation – HYCOM-NCODA* (WALLCRAFT et al., 2009). Nas 10 células da fronteira do domínio regional foi aplicado um relaxamento (*nudging*) em direção aos dados HYCOM (célula externa).

Quadro 9 - Dados utilizados como condição inicial e de forçamento para o modelo numérico, e suas respectivas bases de origem e resolução.

Variáveis	Base de dados	Resolução
Dados temperatura da água, elevação, salinidade e velocidade das correntes	HYCOM-NCODA	$\sim 0,08^\circ$; diária
Dados atmosféricos (pressão atmosférica, precipitação, cobertura de nuvem, radiação, humidade, temperatura e velocidade do vento)	CFSR	$0,3^\circ$; 6h
Constantes harmônicas de maré (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, MS4, MN4)	TPXO	$\sim 0,08^\circ$

Para o forçamento das marés foram inseridas as constituintes harmônicas extraídas do modelo TPXO (EGBERT; EROFEEVA, 2002). O modelo é baseado na resolução de equações barotrópicas de maré e para o Oceano Atlântico produz 11 constituintes de maré distribuídas em uma grade de resolução $1/12^\circ$, são elas: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, M4, MS4 e MN4.

Todas as bases de dados citadas acima já tiveram sua utilização em modelos numéricos amplamente avaliada e validada (PALMA et al., 2004; VELEDA et al., 2012; HAK-SOO et al., 2013; SANDVIK et al., 2016; AGUIAR et al., 2018;

4.1.4 Descargas hidrológicas

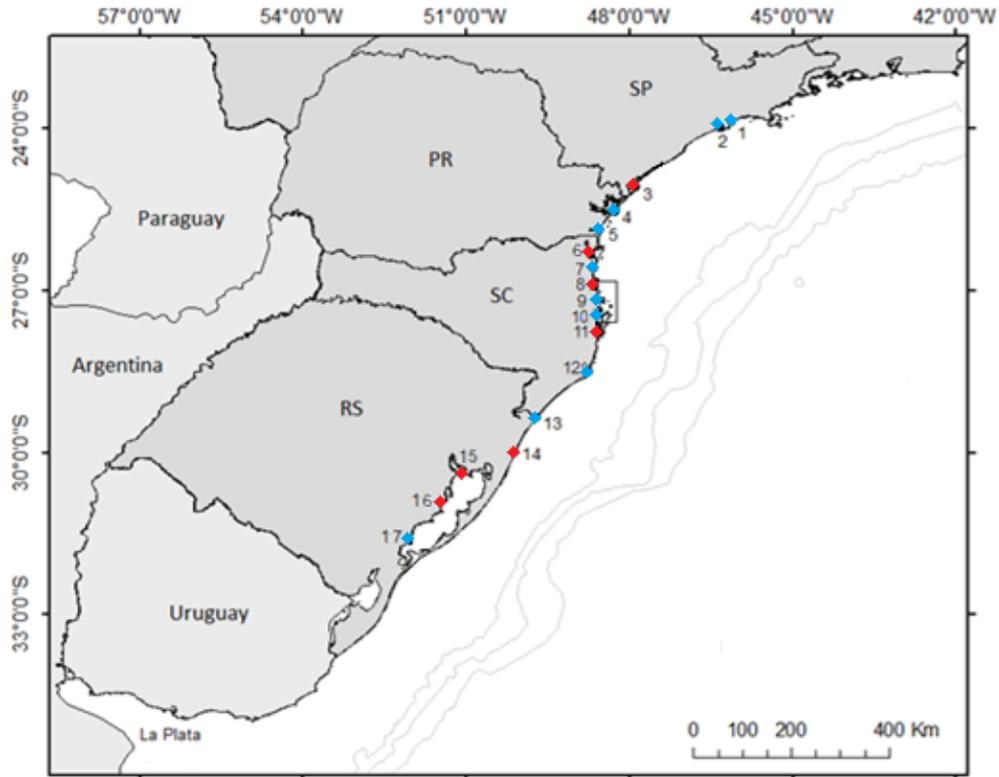
Para simular o efeito da entrada das águas continentais nos processos costeiros da PCSC, as vazões de 17 rios e estuários foram inseridas no modelo (Figura 35 e Quadro 10).

Os dados, em sua maioria, foram obtidos no portal hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA). As estações de coleta de dados da ANA geralmente não ficam próximas à desembocadura dos rios. Então, por um cálculo simples de proporção de área da bacia hidrográfica, os dados de vazão obtidos nas estações foram recalculados a fim de obter a descarga na foz dos rios.

A taxa temporal dos dados da ANA é diária. Porém, muitas das estações não possuíam dados medidos para o período de configuração do modelo (2013 a 2015). Nestes

casos, foi utilizada uma série de média mensal extraída da série temporal diária medida em anos anteriores.

Figura 35 - Pontos de lançamento de água doce no modelo numérico. Os pontos vermelhos indicam as séries com dados diários medidos, e os pontos azuis séries climatológicas com dados médios.



O volume total das descargas continentais de estuários, baías e lagoas foi definido através da soma dos principais rios contribuintes destes sistemas. Com exceção da Laguna de Santo Antônio que foi definida apenas pela vazão do Rio Tubarão, que é o maior contribuinte da laguna (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2002). Todos os rios utilizados nos somatórios são mostrados abaixo:

- Bacia de Santos: somatório das vazões dos rios Quilombo, Cubatão, Moji, Jurubatuba, Piaçabuçu e Boturoca;
- Baía de Paranaguá: somatório dos rios Cachoeira, Tagaçaba, Nhundiaquara e Guaraqueçaba;
- Baía de Guaratuba: somatório do rio São João e Rio Cubatão;
- Baía de Babitonga: somatórios dos rios Cubatão Norte, Pirabeiraba e Três Barras.

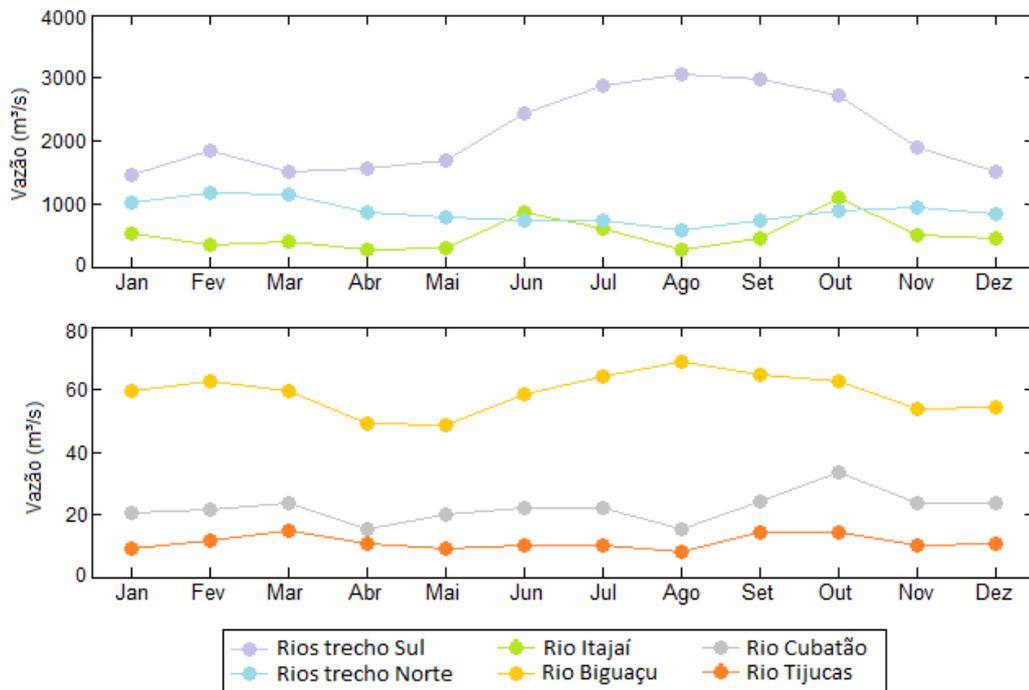
Quadro 10 - Descargas continentais da PCSSB que foram incluídas como dados de entrada no modelo numérico. Os rios 1 à 7 estão inseridos no mesmo traçador denominado “rios trecho Norte” (marcados em azul) e os rios 12 à 17 no traçador “rios trechos Sul” (marcados em roxo).

Descargas continentais	Fonte dos dados	Resolução Temporal	Vazão média (m ³ /s)
1. Rio Itapanhau (SP)	2015 Labsid	Média única	19,96
2. Baía de Santos (SP)	ANA	Média Mensal	31,62
3. Rio Ribeira do Iguape (SP)	ANA	Diário	524,76
4. Baía de Paranaguá (PR)	ANA	Média Mensal	76,89
5. Baía de Guaratuba (PR)	ANA	Média Mensal	90,96
6. Baía da Babitonga (SC)	ANA	Diário	36,04
7. Rio Itapocu (SC)	ANA	Média Mensal	106,62
8. Rio Itajaí (SC)	ANA	Diário	484,64
9. Rio Tijucas (SC)	ANA	Média mensal	58,22
10. Rio Biguaçu (SC)	Relação de área com Rio Cubatão Sul	Média Mensal	11,11
11. Rio Cubatão Sul (SC)	ANA	Diário	21,44
12. Laguna Santo Antônio (SC)	ANA	Média Mensal	141,11
13. Rio Mampituba (RS)	ANA	Média Mensal	45,28
14. Rio Tramandaí (RS)	ANA	Diário	115,40
15. Lago Guaíba (RS - LP)	2006 Vaz et al	Diário	1168,46
16. Rio Camaquã (RS - LP)	2006 Vaz et al	Diário	310,55
17. Canal São Gonçalo (RS - LP)	2014 Seiler	Média Mensal	362,54

Os rios que não possuíam estações de coleta de dados tiveram suas vazões definidas por uma relação de área com rio mais próximo (Rio Biguaçu) ou por revisão bibliográfica (Rio Itapanhau e Canal São Gonçalo).

Para avaliar a dispersão da pluma das águas continentais, 6 traçadores do tipo corante (dye, não conservativo) foram configurados. Um para os rios da região norte, quatro para os rios próximos a Rebio Arvoredo e Ilha de Santa Catarina e um para os rios da região sul (Quadro 10 e Figura 36).

Figura 36 - Médias mensais das descargas continentais inseridas no modelo (entre os anos 2014, 2015 e 2016). Os rios do trecho norte e sul foram apresentados com suas vazões somadas para melhor visualização.



4.1.5 Configuração da simulação

O modelo foi configurado para simular os anos de 2013 (aquecimento), 2014, 2015 e 2016. A resolução horizontal do domínio (como descrito detalhadamente no item 4.1.2) varia entre 4,4 km (domínio regional) e 226 m (domínio local), sendo a área de entorno da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo a região de maior resolução.

A coordenada vertical foi discretizada em 30 níveis sigma, com resolução aumentada na superfície (3 vezes) e no fundo (2 vezes) (Figura 37). Os principais parâmetros de configuração do modelo numérico são mostrados no Quadro 11.

As saídas do modelo possuem resolução diária (médias). Mas campos horários foram calculados em pontos pré-determinados (*stations*) na região em torno da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo. Sendo um deles posicionado no ponto de fundeio do ADCP do Projeto MAArE para utilização no processo de validação.

Toda a simulação foi preparada durante estágio-sanduíche realizado no Instituto Espanhol Oceanográfico sob orientação dos pesquisadores Martinho Marta-Almeida e Manuel Ruiz-Villarreal. As simulações foram rodadas em um supercomputador do Centro

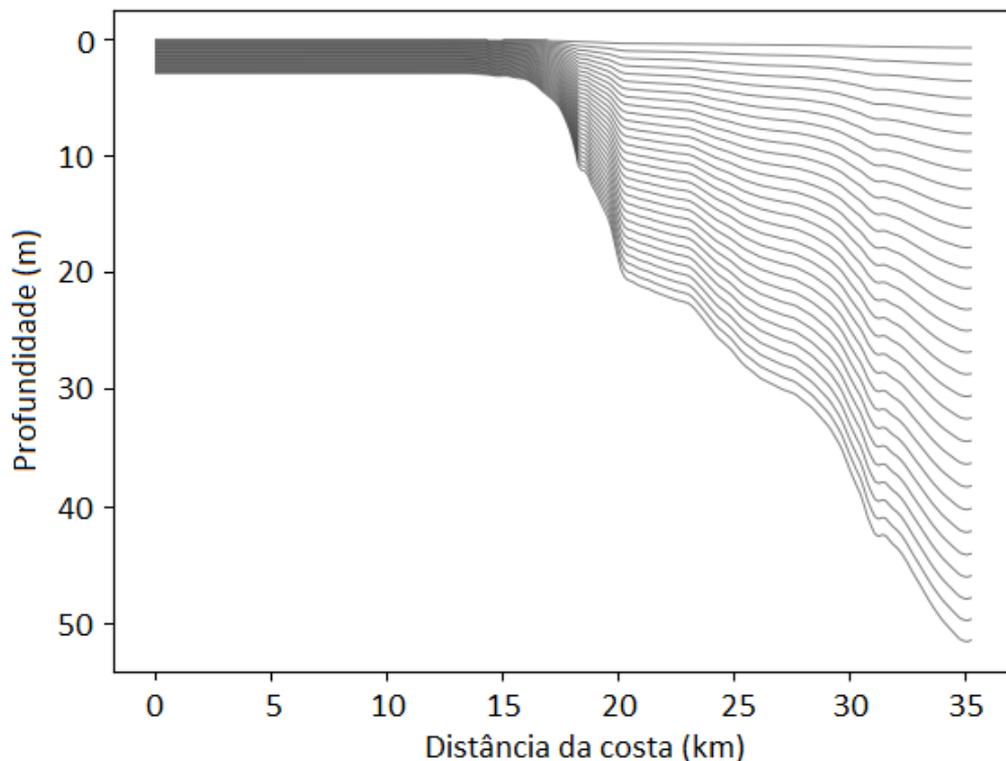
Tecnológico de Supercomputação da Galícia (CESGA). E os resultados são acessados via *OpenLDAP*.

Quadro 11 - Principais parâmetros das grades numéricas e de configuração do modelo.

Número de pontos de grade na direção i, leste-oeste (Lm)	122; 131; 242*
Número de pontos de grade na direção j, norte-sul (Mm)	347; 143; 367*
Número de níveis sigma (N)	30
Resolução média	4,4 km; 1,2 km; 226 m*
Parâmetro de controle da coordenada-s da superfície	3
Parâmetro de controle da coordenada-s do fundo	2
Profundidade mínima	3 m
Passo de tempo baroclínico	240 s
Passo de tempo barotrópico	20 s
Coefficiente de atrito de fundo linear	0,0003 m/s
Largura da camada de amortecimento	10 células

* Valores para o domínio regional, intermediário e local, respectivamente.

Figura 37 - Limites dos 30 níveis sigma da grade numérica D2 na latitude 27°15'S, região da Rebio Arvoredo.



4.2 VALIDAÇÃO

A análise dos resultados de um modelo numérico de simulação realista é um passo fundamental para identificar os pontos fortes e frágeis do modelo numérico implementado como um todo (suas configurações e forçantes aplicadas).

Para verificar a capacidade do modelo em reproduzir a circulação da Plataforma Continental de Santa Catarina (PCSC) e sua sazonalidade, foram comparadas as séries temporais de dados medidos pelo ADCP durante o projeto MAArE (corrente, nível e temperatura de fundo) com os dados horários extraídos do modelo no mesmo ponto de fundeio do ADCP. A fim de que os mesmo estratos verticais da coluna d'água medidos e modelados sejam comparados, foram extraídas as profundidades de cada nível sigma nesse ponto e compatibilizadas com as camadas medidas pelo ADCP (Quadro 12).

Analisando os dados modelados de temperatura no fundo e na superfície, verificou-se que a simulação foi capaz de representar o processo de estratificação da coluna d'água observado in situ durante os meses de primavera e verão, e de homogeneização no outono e inverno (Figura 38, quadro superior). Ao comparar apenas os dados de temperatura de fundo simulados (camada sigma 5) com os dados medidos pelo ADCP, nota-se que apesar do modelo responder bem as modulações sazonais de temperatura da região, alguns episódios extremos de estratificação foram subestimados (Figura 38, quadro central e inferior). O RMSE médio da temperatura para todo o período avaliado foi de 2,18 °C.

As séries temporais de nível simulado e medido são apresentadas na Figura 39. O nível total simulado representou satisfatoriamente as variações de nível medidas (RMSE = 0,23 m). Para verificar mais detalhadamente a acurácia do modelo na representação das diferentes bandas energéticas que compõem o sinal total, foi realizada a decomposição espectral do nível medido e simulado. A componente mareal e de baixa frequência foram bem representadas pela simulação, sendo a componente meteorológica a maior responsável pelo erro total.

As componentes u e v da velocidade da corrente barotrópica simulada e medida são apresentadas na Figura 40. A componente u simulada apresentou valores subestimados em relação aos dados medidos. A componente u da corrente medida apresentou um desvio padrão de 0,07 e valores oscilando entre -0,29 e 0,29 m/s. Enquanto os valores simulados apresentaram valores entre -0,16 e 0,17 m/s e um desvio padrão de 0,03. O RMSE da

componente u foi de 0,20 m/s, correspondendo praticamente a metade da oscilação do valor simulado. Sendo a componente submareal a banda energética com maior erro associado.

Quadro 12 - Profundidade de cada nível sigma para o prumo da grade de mesma coordenadas de fundeio do ADCP do Projeto MAARÉ. Marcado em cinza o trecho da coluna d'água compreendido pelos dados válidos medidos pelo ADCP.

Camadas	Níveis sigma	Profundidade (m)
Fundo	1	21,6587
	2	20,914
	3	20,1633
	4	19,4049
	5	18,6409
	6	17,8729
	7	17,1020
	8	16,3297
	9	15,5572
	10	14,7858
	11	14,0165
	12	13,2502
Meio	13	12,4878
	14	11,7299
	15	10,9769
	16	10,2294
	17	9,4876
	18	8,7516
	19	8,0218
Superfície	20	7,2980
	21	6,5803
	22	5,8688
	23	5,1632
	24	4,4637
	25	3,7700
	26	3,0821
	27	2,4000
	28	1,7236
	29	1,0527
	30	0,3875

Já a simulação da componente v das correntes representou com melhor acurácia os dados medidos, com RMSE de 0,14 m/s (Figura 40). Assim como na componente u, a componente submareal foi a maior contribuinte do erro total identificado.

Figura 38 – No quadro superior: séries temporais de temperatura simulada na camada de fundo e superfície. No quadro central: séries temporais de temperatura de fundo simulada e medida pelo ADCP. No quadro inferior: Diferença entre a temperatura de fundo simulada e medida. O RMSE apresentado é o médio para toda a série.

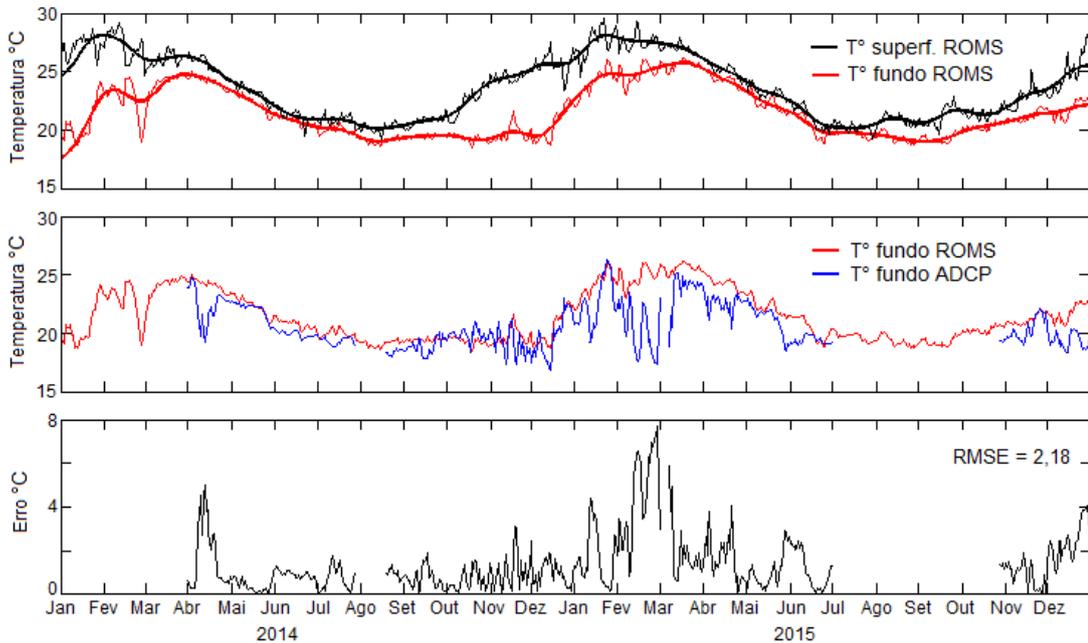


Figura 39 - Séries temporais de nível total medido e simulado (primeiro quadro), de nível mareal medido e simulado (segundo quadro), de nível meteorológico medido e simulado (terceiro quadro) e nível de baixa frequência medido e simulado (quarto quadro). As séries de nível total e mareal foram apresentadas apenas para dois meses para melhor visualização.

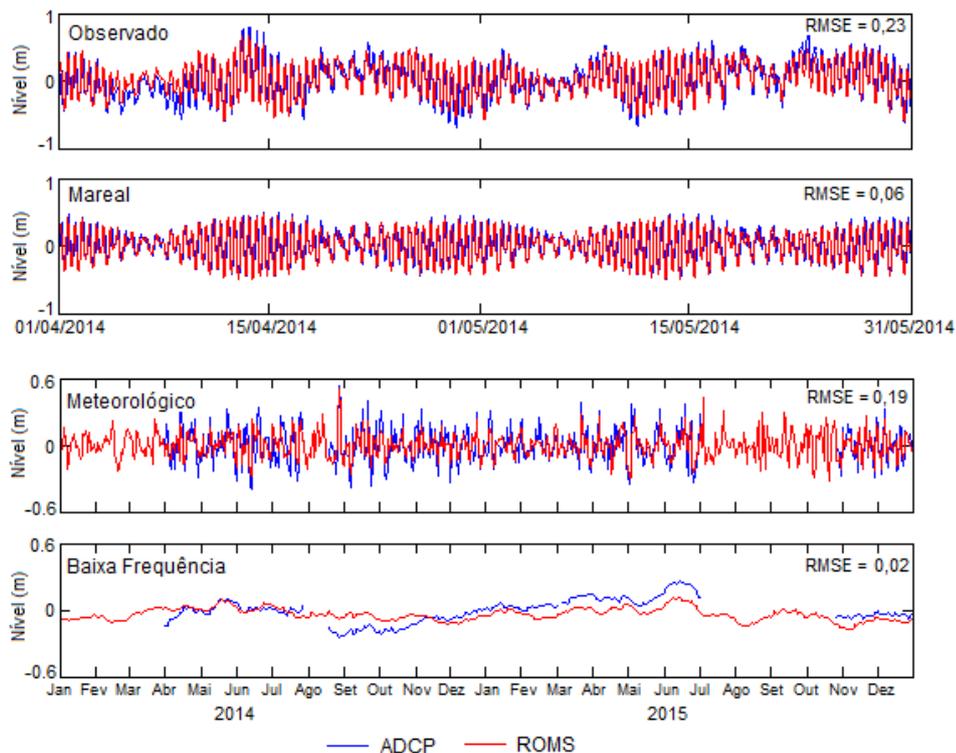
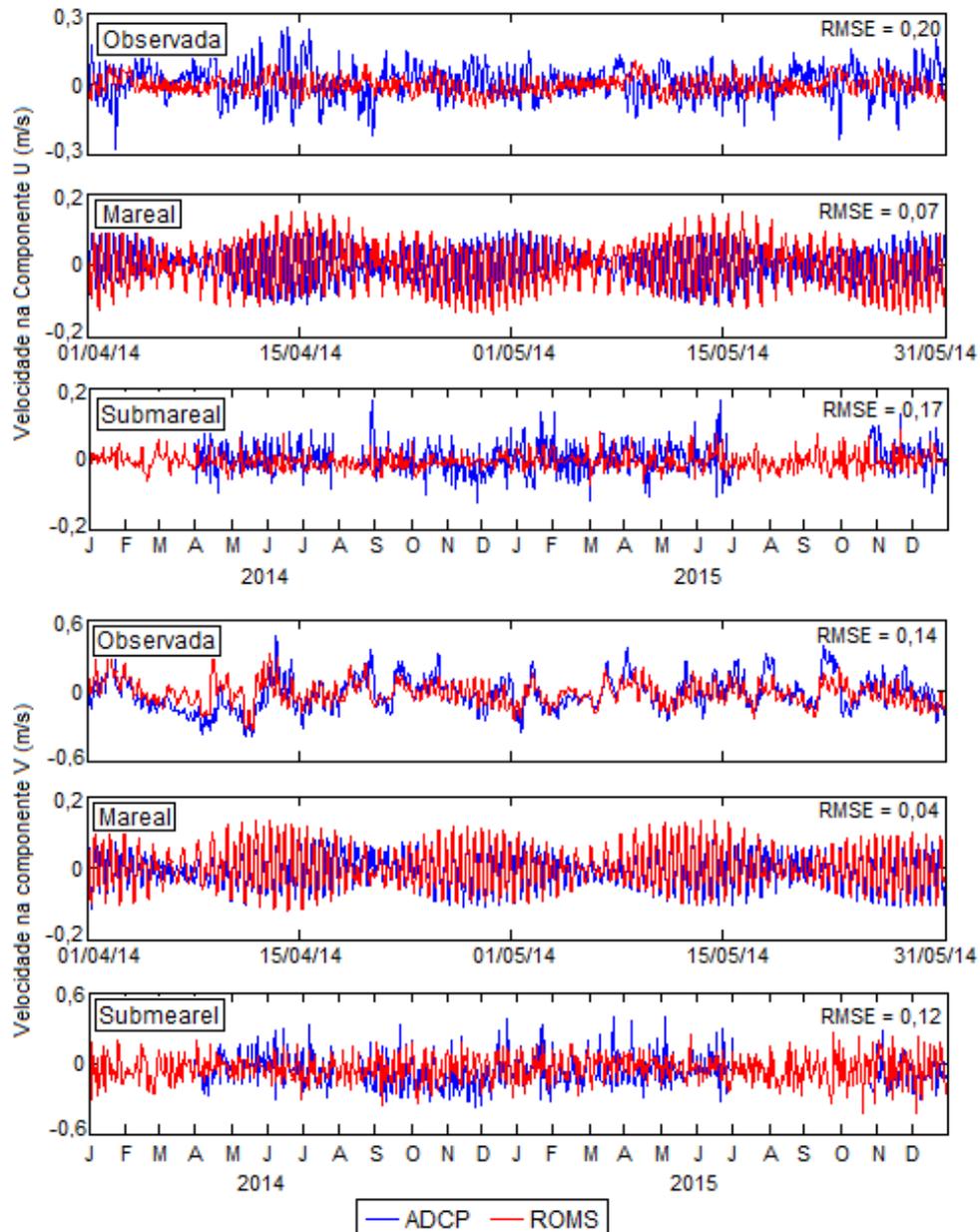
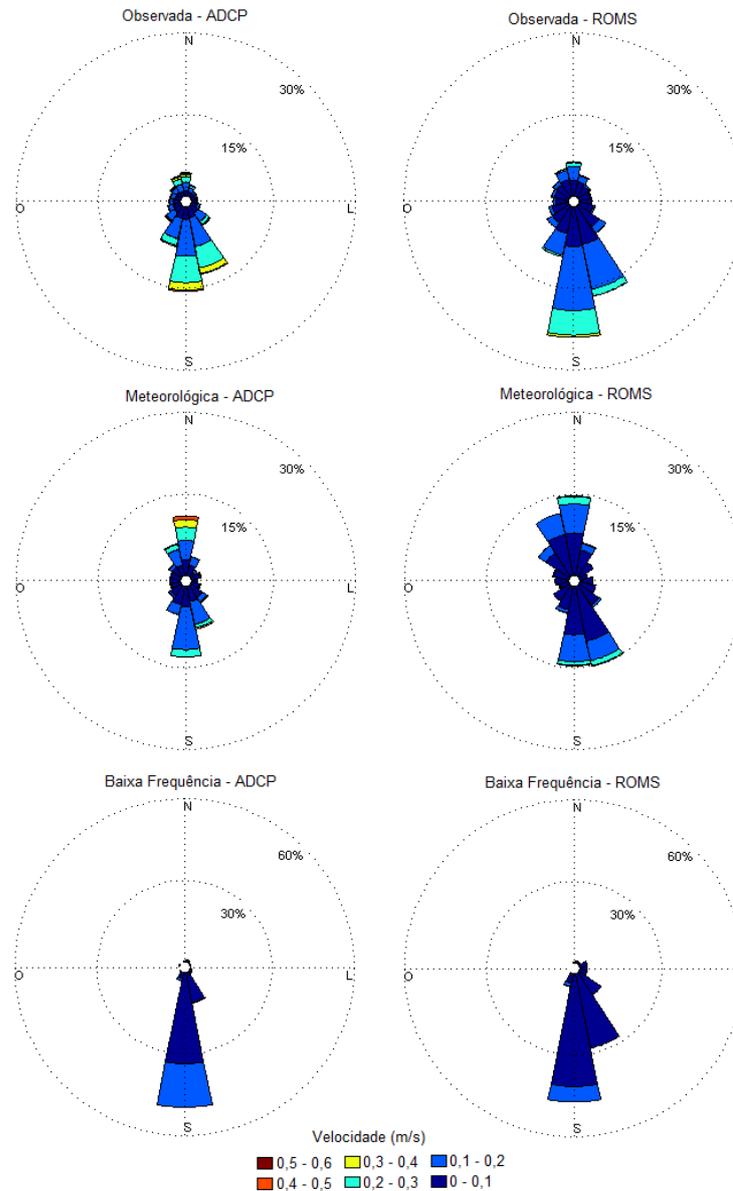


Figura 40 - Séries temporais das componentes u (quadros superiores) e v (quadro inferiores) das correntes medidas e simuladas observadas, e decompostas nas bandas mareal e submareal.



Analisando as correntes simuladas nos aspectos de magnitude e direção do escoamento, podemos observar que o modelo representou bem o padrão do fluxo medido e já caracterizado na região (Figura 41). Com uma predominância do escoamento no eixo longitudinal e resultante para sul. A forçante de baixa frequência se mostrou ser bem representada pela simulação. Enquanto, novamente, a componente meteorológica foi a banda energética de desempenho inferior na representação do comportamento real na região. Especialmente quanto à intensidade das correntes que fluem para norte, resultantes da inversão do fluxo predominante do escoamento gerado pela atuação dos sistemas frontais.

Figura 41 - Rosas de corrente para as componentes submareal, meteorológica e de baixa frequência para os dados medidos (esquerda) e simulados (direita).



Estando a corrente mareal, de baixa frequência e meteorológica (para sul) bem representadas, fica claro que as configurações numéricas e aninhamentos foram realizadas de modo satisfatório. Acredita-se, que a subestimação das correntes meteorológicas para norte esteja associada a resolução dos dados que forçam os sistemas meteorológicos frontais.

O ASAS, por exemplo, é um sistema meteorológico de grandes dimensões. Logo, a resolução do modelo atmosférico consegue representar bem seus gradientes de pressão. Em contrapartida, os SMFs ocupam pequenas áreas e seus intensos gradientes de pressão ocorrem em uma faixa estreita. A baixa resolução do modelo atmosférico possivelmente não consegue

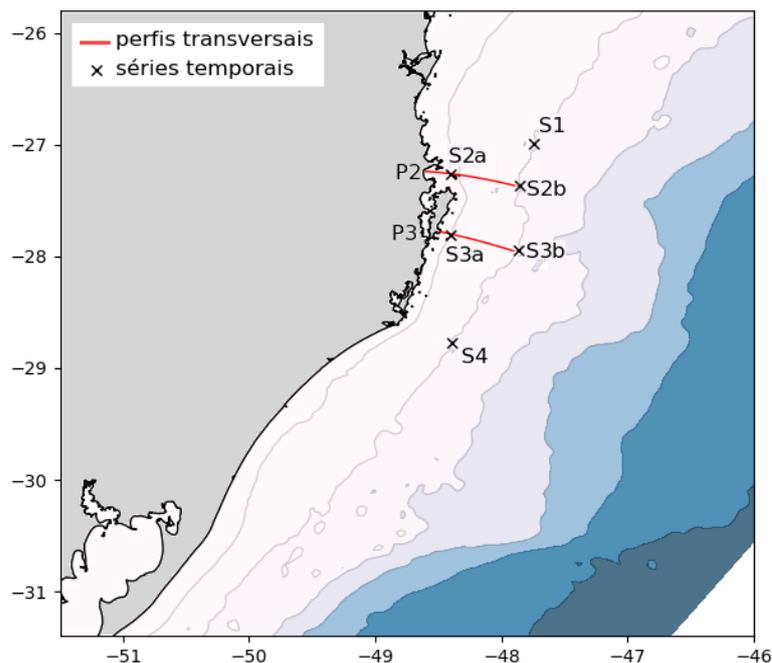
representar a real intensidade destes sistemas. E conseqüentemente, o modelo hidrodinâmico também subestima as correntes geradas por eles. Pezzi (2016) utilizando a mesma base de dados atmosférica em seu modelo, também verificou que estes representam bem o padrão atmosférico regional mas subestimam a intensidade dos sistemas frontais.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação serão apresentados com o objetivo de descrever os padrões do escoamento e distribuição das massas d'água no em todo domínio simulado e entorno da Ilha de Santa Catarina (ISC) e Rebio Arvoredo, quanto a sua variabilidade anual e sazonal, e relação entre o padrão observado localmente e o escoamento regional. As localizações dos pontos de extração dos resultados para análise estão indicadas na (Figura 42).

Para os campos horizontais das camadas superficiais e de fundo, foram realizadas médias dos dados entre os níveis sigma 22 e 30 e 1 e 7, respectivamente.

Figura 42 - Pontos de extração de dados para análise dos resultados simulados. Foram extraídos dados em dois perfis transversais (P) e quatro séries temporais (S): P2 na latitude da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo até a isóbata de 100m, P3 na latitude do sul da Ilha de Santa Catarina até a isóbata de 100m, S1 na latitude de Itajaí na profundidade de 100m, S2a no mesmo ponto de levantamento de dados do Projeto MAArE, S2b na latitude da Rebio Arvoredo em profundidade de 100m, S3a na latitude do sul da Ilha de Santa Catarina na isóbata de 30m e S3b na isóbata de 100m, e S4 na latitude do Cabo de Santa Marta na isóbata de 100m.



4.3.1 Variabilidades anuais

Os campos médios anuais de velocidade barotrópica para os 3 anos simulados indicaram padrões regionais semelhantes (Figura 43). Com um fluxo dominante para sul sobre a planície abissal, talude e plataforma continental externa. E um fluxo resultante na direção contrária sobre a plataforma continental interna. O escoamento observado para sul representa a Corrente do Brasil (CB). A CB flui principalmente pela região da borda da plataforma desde a sua origem na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (entre as latitudes 10°S e 14°S) até a Confluência Brasil-Malvinas entorno de 40°S (SILVEIRA et al., 2000; MARONE et al., 2010). Nos mapas de correntes apresentados, é possível notar que nos anos de 2014 e 2015, a CB exerce uma maior influência sobre a plataforma média e externa até a região da Lagoa dos Patos. Enquanto em 2016 indica estar mais restrita à região do talude e plataforma externa.

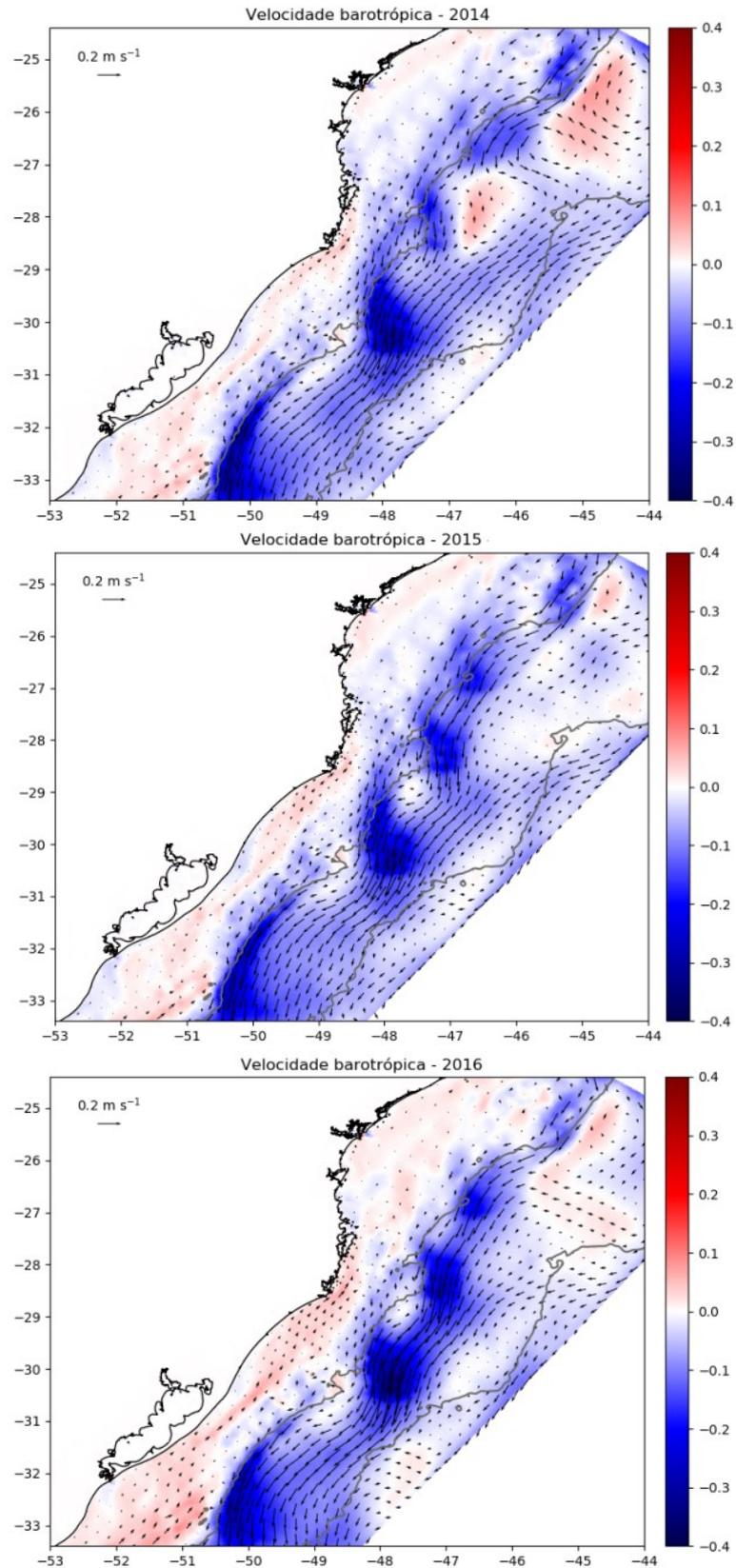
O fluxo médio para norte sobre a plataforma até a ISC representa a Corrente Costeira do Brasil (CCB) (SOUZA; ROBINSON, 2004). Dos três anos simulados, a CCB se apresentou de forma mais intensa em 2016, mesmo ano em que a CB se manteve mais restrita ao talude.

As séries temporais extraídas nos pontos S1 (Itajaí) e S4 (Cabo de Santa Marta) (Quadro 13) quantificam a variabilidade interanual das correntes. Na plataforma continental média ao norte (S1) e ao sul (S4) da Ilha de Santa Catarina (S1), as correntes no ano de 2014 e 2015 apresentaram um escoamento resultante para sul. Com magnitudes resultantes mais intensas em 2014 (-0,027 m/s e -0,035 m/s).

Já durante o ano de 2016, o fluxo médio se inverteu para o quadrante norte (0,017 m/s e 0,008 m/s). Esse ano também apresentou as correntes mais intensas entre todos os anos de simulação, com magnitude média de 0,147 m/s para a latitude de Itajaí e 0,189 m/s para a latitude do Cabo de Santa Marta.

As magnitudes médias das correntes simuladas se assemelham com os dados medidos apresentados por Zavialov et al. (2002). Que encontraram valores positivos para a corrente longitudinal de 0,018 m/s em dados coletados na plataforma do Rio Grande do Sul (32°41'S, 51°27' W). Onde a simulação também indica uma resultante para norte nos anos simulados.

Figura 43 - Mapas horizontais da corrente barotrópica média para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. Os vetores indicam a magnitude e direção e a cor de fundo representa a componente v (longitudinal) da corrente. As isobatimétricas correspondem às profundidades de 200m e 3000m.



Quadro 13 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de velocidade da corrente (m/s) extraídas nos pontos S1 (Itajaí na profundidade de 100 m) e S4 (Cabo de Santa Marta na profundidade de 100 m).

Parâmetros - S1	2014	2015	2016	Totais
Magnitude média	0,117	0,124	0,147	0,129
Magnitude máxima	0,333	0,441	0,437	0,404
Velocidade média em u	0,005	0,009	0,022	0,012
Velocidade média em v	-0,027	-0,017	0,017	-0,009
Ocorrência para leste (u)	50,4%	51,2%	58,9%	53,5%
Ocorrência para oeste (u)	49,6%	48,8%	41,1%	46,5%
Ocorrência para norte (v)	40,0%	42,20%	54,3%	45,5%
Ocorrência para sul (v)	60,0%	57,80%	45,7%	54,5%
Parâmetros - S4	2014	2015	2016	Totais
Magnitude média	0,142	0,149	0,189	0,160
Magnitude máxima	0,527	0,545	0,737	0,603
Velocidade média em u	-0,002	-0,002	0,009	0,002
Velocidade média em v	-0,035	-0,025	0,008	-0,017
Ocorrência para leste (u)	49,6%	49,3%	57,5%	52,12%
Ocorrência para oeste (u)	50,4%	50,7%	42,5%	47,86%
Ocorrência para norte (v)	42,5%	41,9%	50,4%	44,93%
Ocorrência para sul (v)	57,5%	58,1%	49,6%	55,07%

Essa corrente com resultante para norte, que flui desde altas latitudes, transporta águas frias e menos salinas até a Plataforma Continental de Santa Catarina (Figura 44 e Figura 45). Em 2014 e 2015, o alcance médio da pluma de baixa temperatura se limitou à latitude do Cabo de Santa Marta ($\pm 28.7^\circ\text{S}$). Já em 2016 as águas mais frias alcançam a Ilha de Santa Catarina na camada superficial.

A isoterma de 20°C , que segundo alguns autores representa bem o limite entre as águas transportadas pela Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM) sobre a plataforma (SUNYÉ, 1999; SOUZA; ROBINSON, 2002), foi evidenciada nos mapas de temperatura. Possível observar que em 2014 a isoterma, nos valores médios, alcançou a latitude de $32,8^\circ\text{S}$. Enquanto em 2016 ela aparece em 30°S . Uma diferença de alcance entre os anos de aproximadamente 310 km.

Nas águas da PCSC, o ano de 2015 apresentou os maiores valores de temperatura e salinidade média (Quadro 14). Assim como já destacado nos campos regionais de correntes, nos mapas de salinidade é possível verificar uma maior influência da Corrente do Brasil (CB) sobre a plataforma no ano de 2014 e principalmente 2015 (Figura 45). As isohalinas indicadas nos mapas de salinidade indicam a forte influência das massas de água transportadas pela CB na camada superficial (Água Tropical) e de fundo (Água Central do Atlântico Sul) neste ano.

Figura 44 - Mapas horizontais de temperatura média anual na camada superficial (esquerda) e de fundo (direita) para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. A isoterma de 20 °C é indicada na linha branca. As análises foram limitadas a isobatimétricas de 200 m.

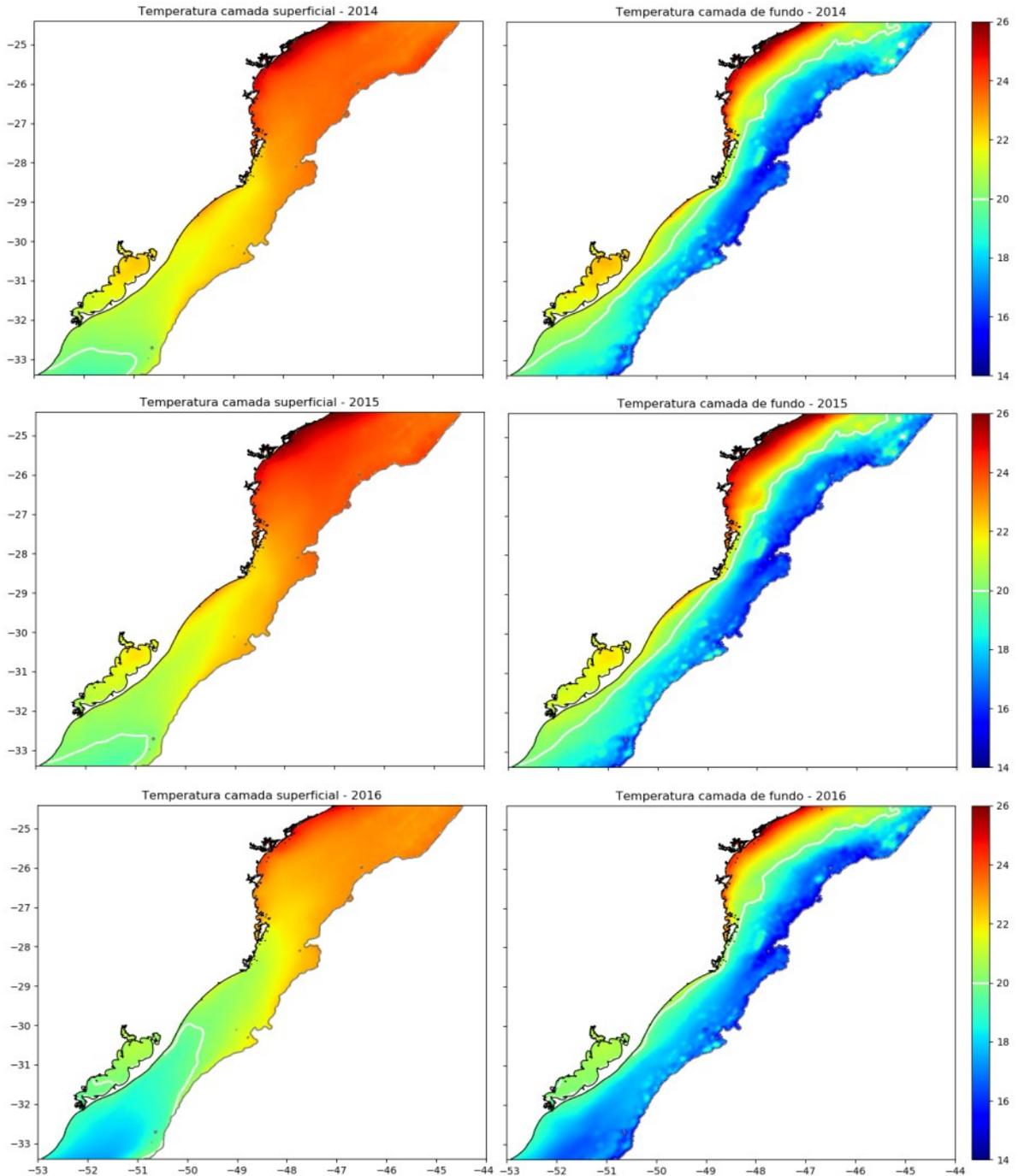
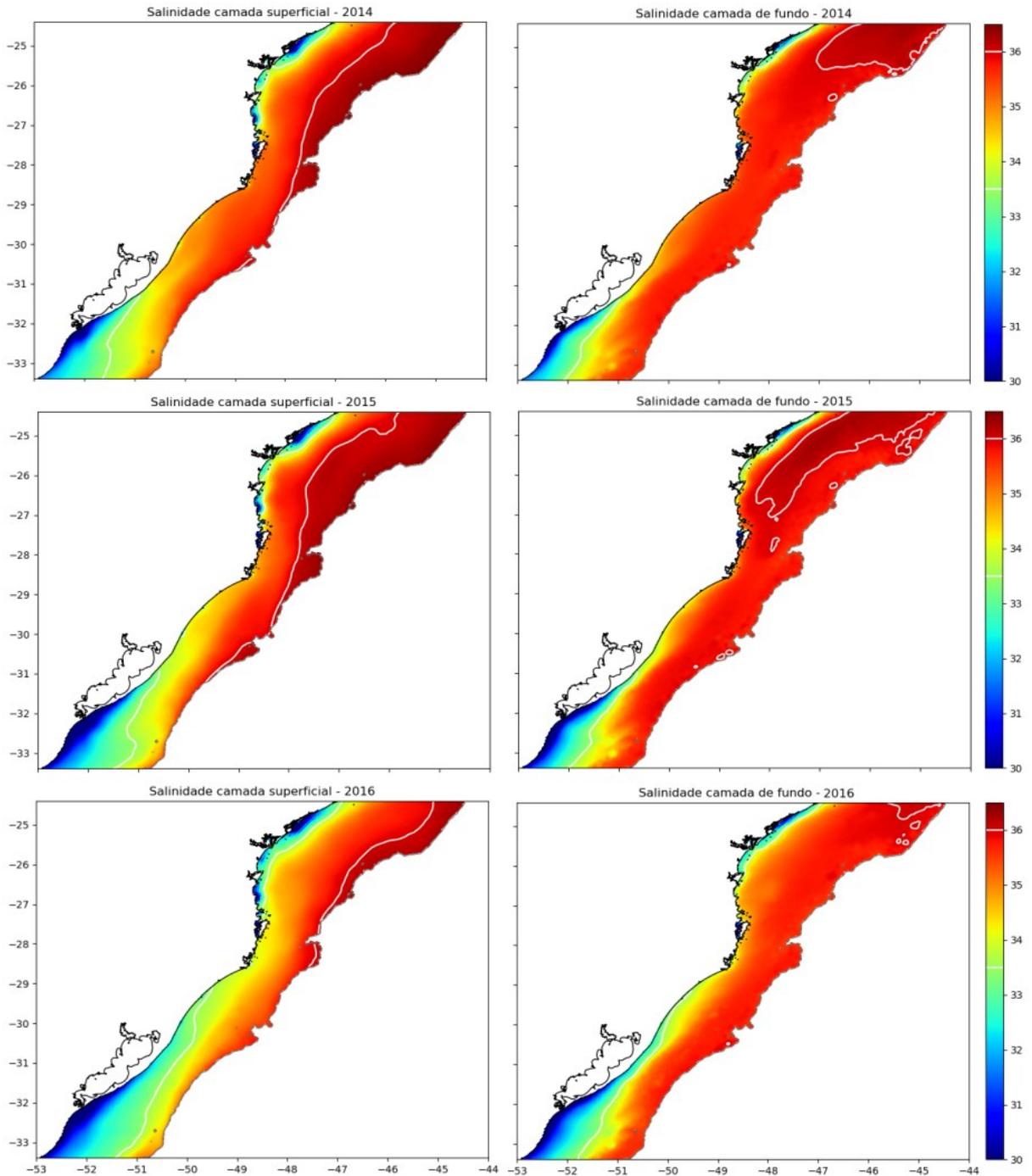


Figura 45 - Mapas horizontais de salinidade média anual na camada superficial (esquerda) e de fundo (direita) para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. As isohalinas de 36 (limite da AT) e 33.5 (limite da ASP) são identificadas nas linhas brancas. As análises foram limitadas a isobatimétrica de 200m.



Interessante destacar que a língua de água fria que foi identificada até o Cabo de Santa Marta no mapa de temperatura superficial média do ano de 2014, não foi identificada como uma pluma de água mais doce no mapa de salinidade. Indicando que essa corrente de

águas frias vinda da região sul não está apenas relacionada a forte descarga hidrológica da foz do Prata e Lagoa dos Patos.

Quadro 14 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de temperatura e salinidade extraídas nos pontos S1 (Itajaí na profundidade de 100 m) e S4 (Cabo de Santa Marta na profundidade de 100 m).

Parâmetros – S1		2014	2015	2016	Total
Temperatura	Máxima	22,53	23,55	22,22	22,76
	Média	20,39	20,69	20,01	20,36
	Mínima	18,43	19,06	17,88	18,45
Salinidade	Máxima	36,44	36,42	35,97	36,27
	Média	35,77	35,92	35,33	35,67
	Mínima	35,38	35,34	34,49	35,07
Parâmetros – S4		2014	2015	2016	Total
Temperatura	Máxima	22,32	22,06	22,75	22,37
	Média	19,53	19,59	19,20	19,44
	Mínima	16,78	16,62	16,48	16,62
Salinidade	Máxima	35,93	35,95	35,77	35,88
	Média	35,54	35,56	35,07	35,39
	Mínima	34,95	34,49	34,09	34,51

Como já descrito no capítulo de dados medidos, o ano de 2015 e início de 2016 foi modulado por um forte El Niño. O aumento na precipitação gerado por esta anomalia, somados às intensas correntes para norte neste ano, resultaram em uma forte penetração de água doce e fria na PCSC. Esse mesmo comportamento termohalino na região já foi identificado por Campos et al. (1999) em anos de El Niño.

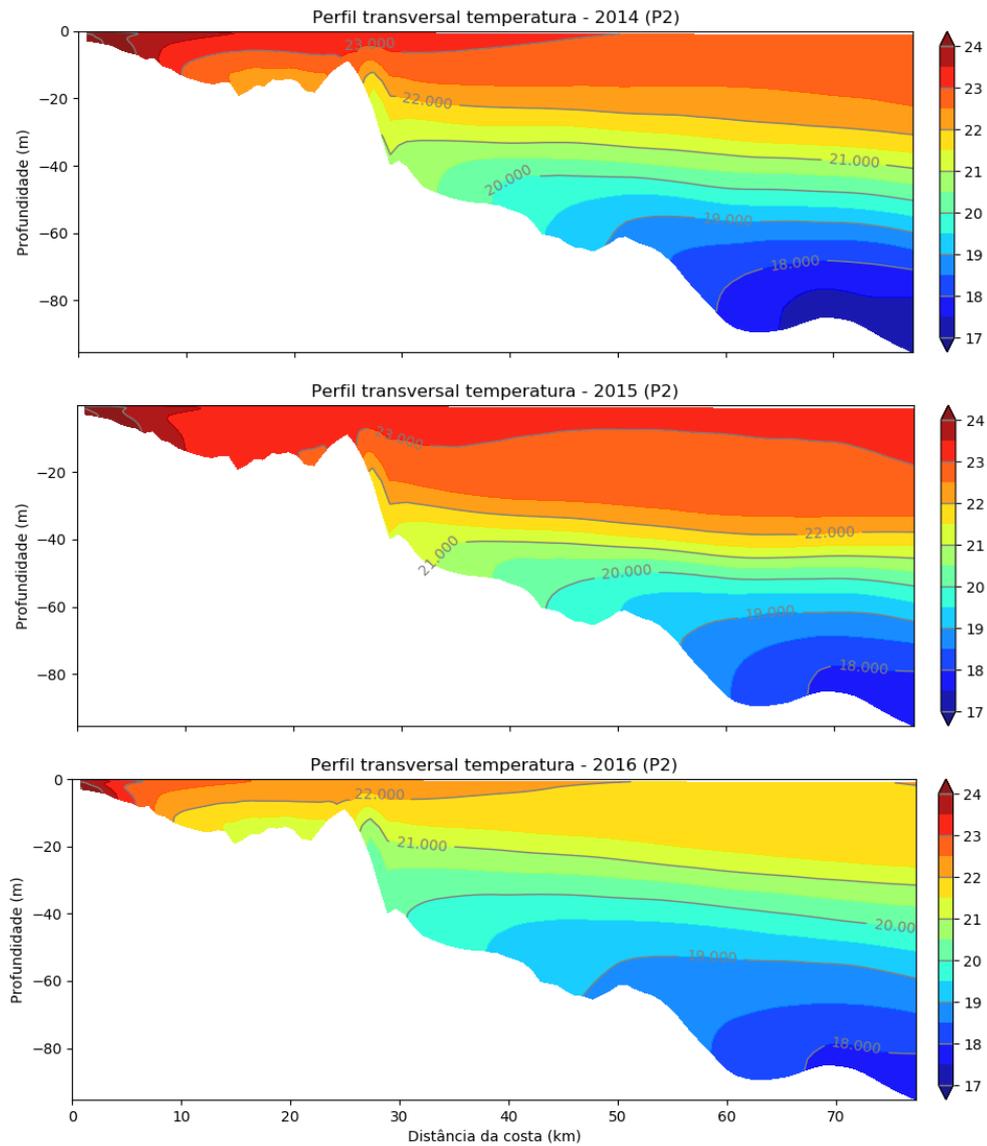
Essa variabilidade anual observada nos padrões termohalinos nos campos regionais também foram encontradas nas águas da Rebio Arvoredo (Quadro 15). Com temperaturas e salinidades mais elevadas em 2015 e baixas temperaturas em 2016. Ficando o ano de 2014 em uma condição mediana entre os outros dois.

A estrutura termohalina ao longo da coluna d'água na Rebio Arvoredo resultou em uma coluna média estratificada em todos os anos simulados (Figura 46 e Figura 47). A estratificação mais intensa ocorreu no ano de 2015. Com temperaturas médias anuais variando de 18°C no fundo a 23°C na superfície em uma profundidade de 90 metros. Já em 2016, na mesma região, o gradiente térmico foi de 3°C.

Quadro 15 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de temperatura e salinidade extraídas no ponto S2a (Rebio Arvoredo na profundidade de 20 m).

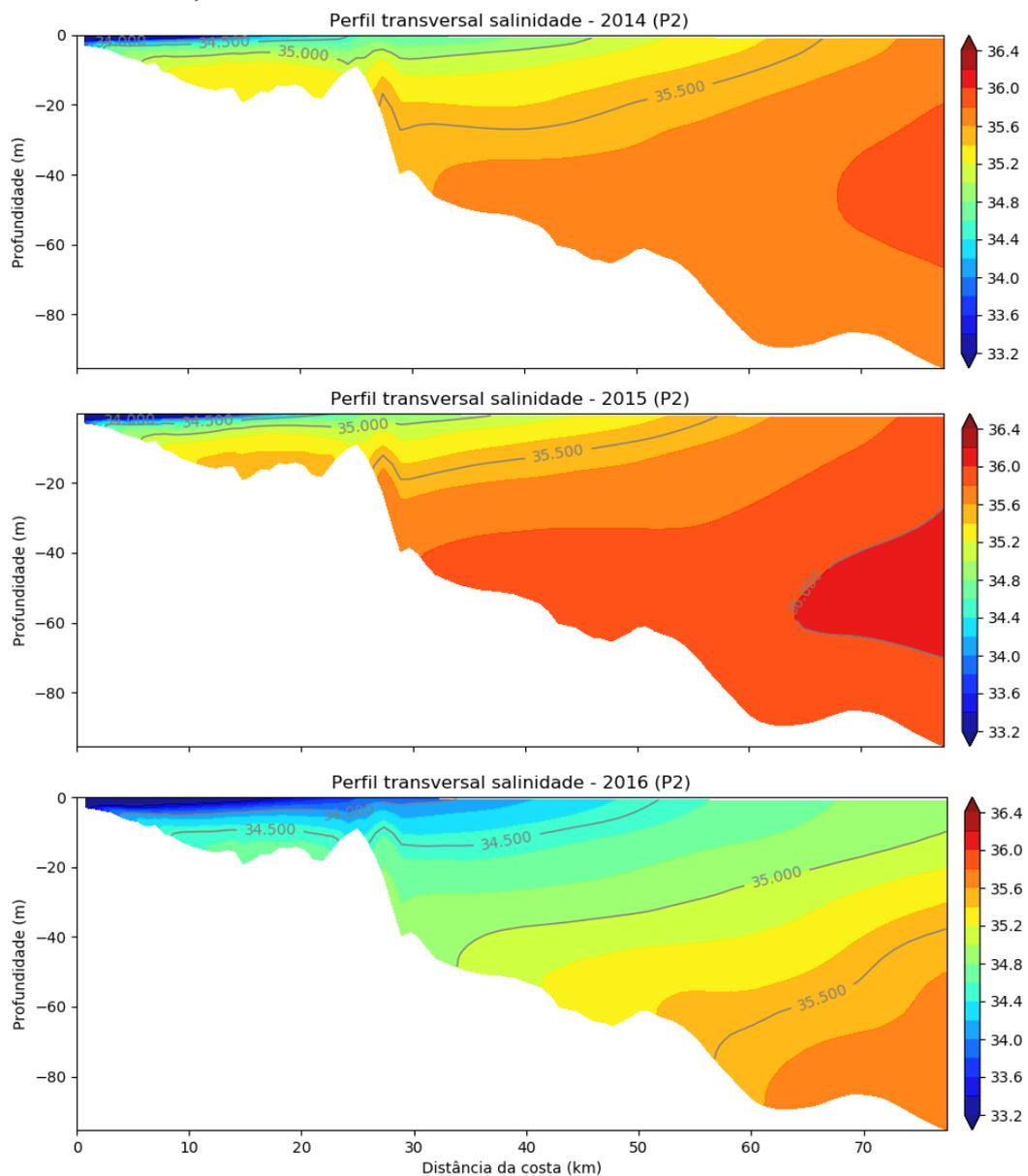
Parâmetros		2014	2015	2016	Total
Temperatura	Máxima	26,83	27,54	26,62	26,99
	Média	22,88	23,24	21,82	22,64
	Mínima	18,61	18,74	16,73	18,02
Salinidade	Máxima	35,45	35,81	35,94	35,73
	Média	34,86	34,94	34,13	34,64
	Mínima	32,60	30,50	31,50	32,76

Figura 46 - Perfis transversais extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) de temperatura média para os anos de 2014, 2015 e 2016.



A estrutura vertical de salinidade se apresentou de forma um pouco distinta da variabilidade anual identificada nas temperaturas. Isso porque o ano de 2016 teve uma forte influência das águas continentais. Reduzindo a salinidade não apenas na camada superficial, mas em toda a coluna d'água e em regiões mais profundas da plataforma. Decorrente do alcance, durante este ano, das águas vindas da região sul. Indicadas nos mapas regionais de corrente, temperatura e salinidade. Mostrando que o transporte destas águas até a região pode alterar as características termohalinas das águas locais da Rebio Arvoredo de maneira integral, e não apenas na camada superficial.

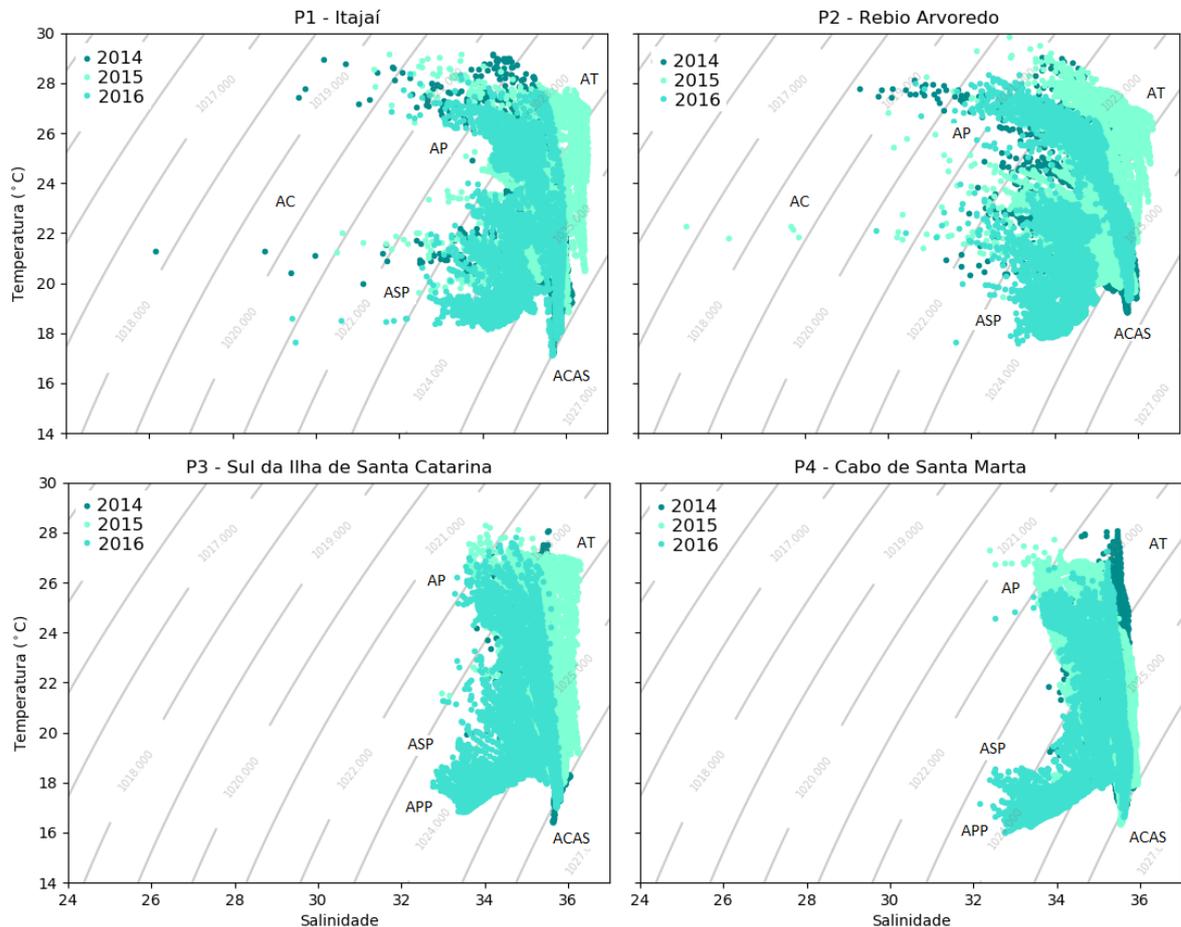
Figura 47 - Perfis transversais extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) de salinidade média para os anos de 2014, 2015 e 2016.



O perfil transversal de salinidade de 2015 apontou uma maior influência das massas d'água transportadas pela Corrente do Brasil (CB) sobre a plataforma neste ano (Figura 48). A isohalina de 36 psu identificada no perfil de salinidade indica a ocorrência de Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

Para verificar a distribuição das massas d'água ao longo da PCSC e sua variabilidade de ocorrência entre os anos simulados, foram plotados diagramas de temperatura e salinidade para 4 regiões distintas da PCSC: Itajaí, Rebio Arvoredo, Sul da Ilha de Santa Catarina e Cabo de Santa Marta.

Figura 48 - Diagramas de Temperatura e Salinidade realizados a partir de séries temporais extraídas nas latitudes de Itajaí (S1), Rebio Arvoredo (S2b), Sul da Ilha de Santa Catarina (S3b) e Cabo de Santa Marta (S4), em ponto da plataforma com profundidade de 100m, para os três anos simulados.



A AT ocorreu de forma mais intensa no ano de 2015. E não foi identificada no Cabo de Santa Marta. A ACAS foi observada em todos os pontos analisados, porém com menor

intensidade na latitude da Rebio Arvoredo. Sendo identificada com maior intensidade nos anos de 2014 e 2016.

A Água Costeira (AC) ocorreu de forma importante na região da Rebio Arvoredo e Itajaí. Estando associada, especialmente, a descarga dos rios Itajaí e Tijucas.

A Água da Pluma do Prata (APP) foi identificada no sul da Ilha de Santa Catarina apenas no ano de 2016. E no Cabo de Santa Marta em todos os anos simulados, mas também com maior intensidade em 2016.

A Água Subtropical de Plataforma (ASP) e Água de Plataforma (AP) foram as massas d'água mais abundantes em todos os pontos durante todos os anos simulados. Com maior influência das águas continentais na região da Rebio Arvoredo e Itajaí. E menor temperatura no sul da Ilha de Santa Catarina e Cabo de Santa Marta.

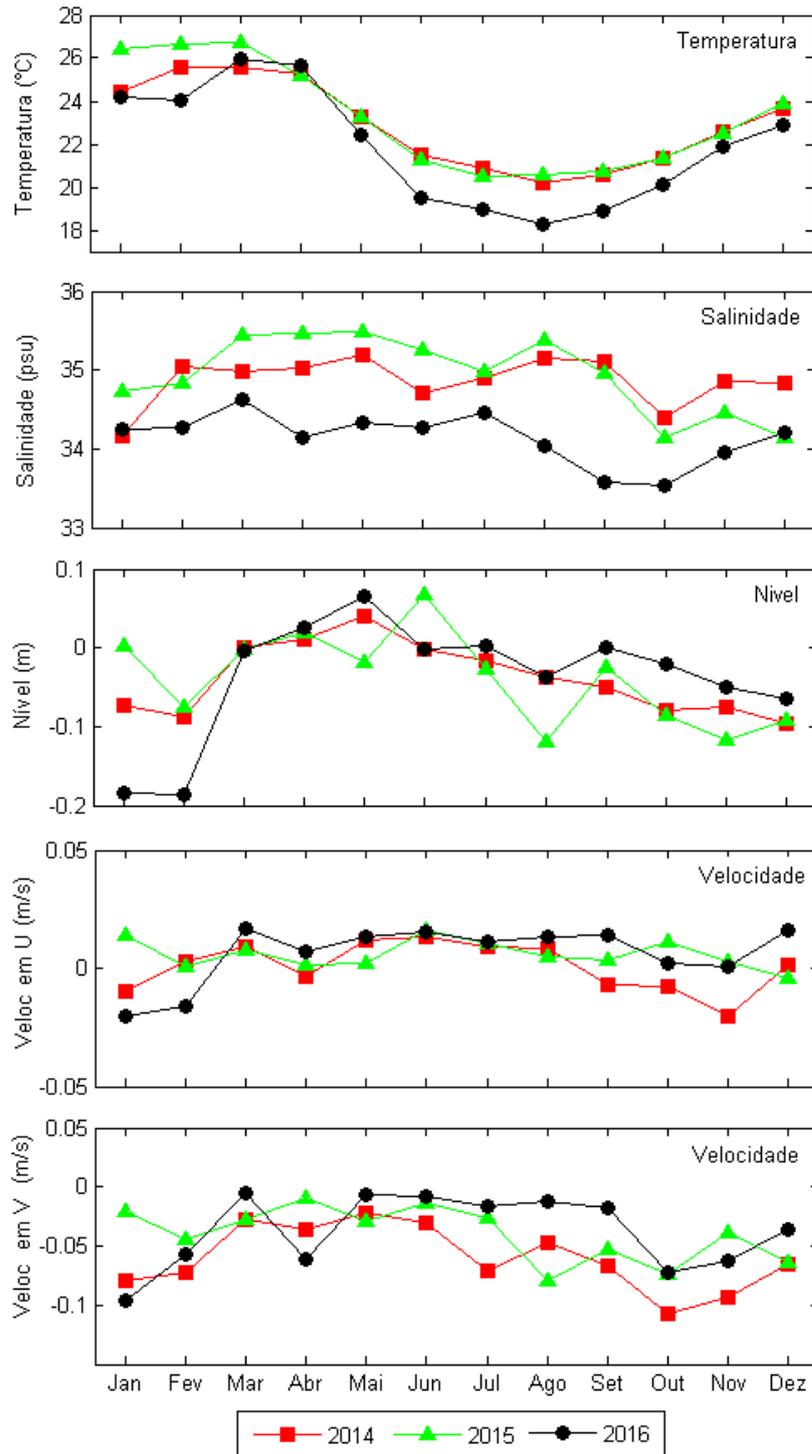
Como descrito até aqui, as modulações anuais nos campos regionais de correntes, temperatura e salinidade se mostraram consonantes com aquelas identificadas na região da Rebio Arvoredo. As médias mensais de cada um destes parâmetros indicam mais claramente a variabilidade anual hidrodinâmica e termohalina encontrada localmente (Figura 49). Que se resumem em:

- Temperatura e salinidade médias mais altas em 2015 (23,24°C e 34,94), mais baixas em 2016 (21,82°C e 34,13) e medianas em 2014 (22,88°C e 34,86) (Quadro 15);
- Correntes médias mais intensas (0,282 m/s) e frequentes para sul em 2014 (79,2%) e com maiores períodos de reversão de fluxo para norte em 2016 (33,7%) (Quadro 16).
- Níveis do mar mais altos durante o outono e primavera de 2016.

Quadro 16 - Parâmetros estatísticos anuais e totais (média de todos os anos) das séries de velocidade da corrente extraídas no ponto S2a (Rebio Arvoredo na profundidade de 20 m).

Parâmetros	2014	2015	2016	Totais
Magnitude média	0,080	0,075	0,073	0,076
Magnitude máxima	0,267	0,282	0,273	0,822
Velocidade média em u	0,001	0,006	0,005	0,004
Velocidade média em v	-0,060	-0,040	-0,037	-0,045
Ocorrência para leste (u)	33,5%	65,2%	63,0%	53,90%
Ocorrência para oeste (u)	43,5%	34,8%	37,0%	38,43%
Ocorrência para norte (v)	20,8%	30,9%	33,7%	28,46%
Ocorrência para sul (v)	79,2%	69,1%	66,3%	71,53%

Figura 49 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidade (psu), Nível (m) e velocidades médias mensais (m/s) das componentes u e v da corrente simulada extraída no ponto S2a (Rebio Arvoredo), na profundidade de 20 m.

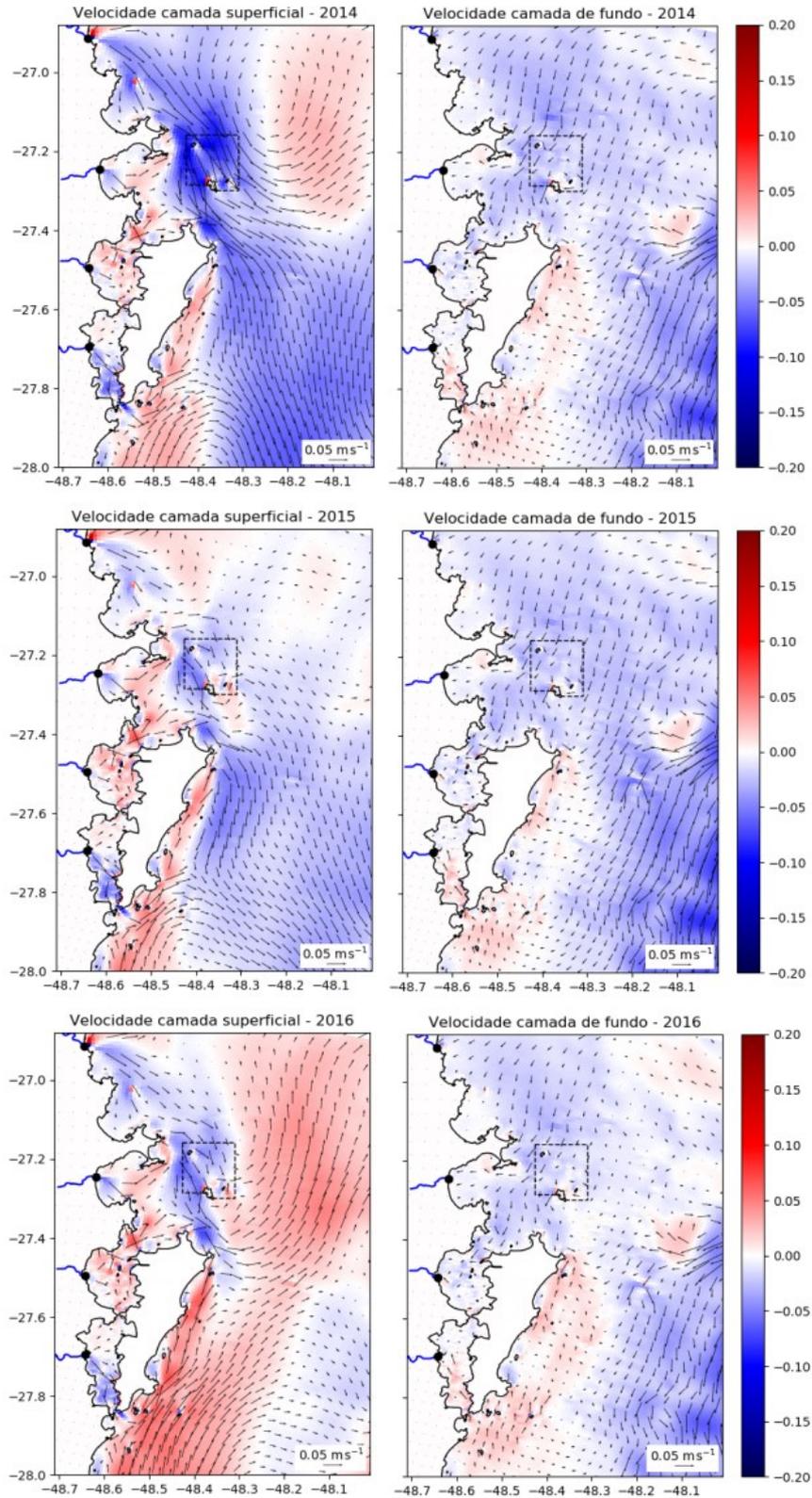


A partir do cenário hidrodinâmico regional definido, foi possível entender com mais clareza o quanto do padrão local se relaciona com o comportamento do escoamento regional.

Observando os mapas de correntes locais para as camadas de fundo e superfície (Figura 50) foi possível compreender de forma mais clara o padrão vertical de escoamento identificado anteriormente nos dados medidos. As correntes dentro Rebio Arvoredo resultaram para sul ao longo de toda coluna d'água, e em todos os anos simulados. As correntes superficiais fluem para região externa da ISC (sudeste), pois são barradas por um fluxo contrário vindo da Baía Norte de Florianópolis. Já as correntes da camada de fundo fluem em direção à costa (sudoeste) sem impedimentos e entram na Baía.

A costa leste da Ilha de Santa Catarina, na camada de fundo e superficial nos três anos simulados, apresentou uma corrente resultante para norte. Apenas variando de intensidade entre os anos e os estratos verticais. A variabilidade anual da região entorno da Ilha de Santa Catarina (ISC) e Rebio Arvoredo seguiu o mesmo padrão identificado no escoamento regional. Com correntes mais intensas para sul em 2014 e um forte fluxo para norte em 2016.

Figura 50 - Mapas horizontais da corrente média superficial e de fundo para os anos de 2014, 2015 e 2016, simuladas pelo domínio D1. Os vetores indicam a magnitude e direção e a barra de cores representa a componente v da corrente. A área pontilhada indica os limites da Rebio Arvoredo



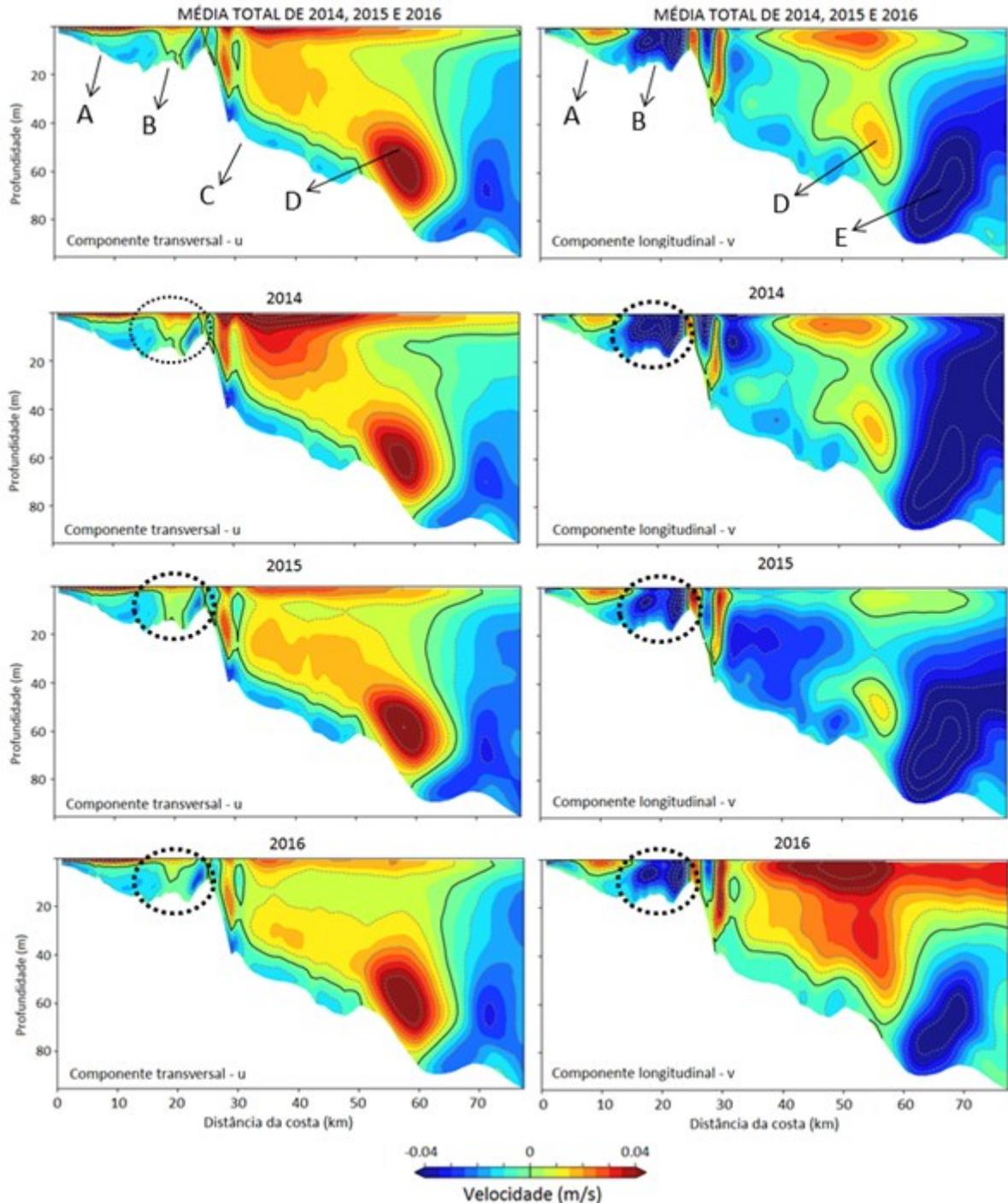
Alguns padrões de correntes se apresentaram de forma bem consistente na análise transversal das velocidades médias na latitude da Rebio Arvoredo (Figura 51). Estes foram identificados e serão descritos a seguir:

- A) Nos 10 primeiros quilômetros da plataforma, como já apontado anteriormente, a coluna d'água apresenta um fluxo bidirecional bem marcado. Com as águas na superfície fluindo para norte devido ao fluxo vindo da Baía Norte, e as águas de fundo fluindo para sul adentrando a baía;
- B) A corrente intensa para sul, distante entorno de 20 km da costa, tem sua direção fortemente influenciada pela geomorfologia local. Com a península de Porto Belo ao norte, ilhas da Rebio Arvoredo à leste, e Baía Norte e Ilha de Santa Catarina ao sul. Essa configuração da costa concentra o escoamento em uma espécie de canal formado entre a Rebio Arvoredo e a costa nordeste da ISC;
- C) Na camada de fundo, na região onde a plataforma apresenta profundidades entre 30 e 65 metros, há um fluxo médio que sobe a plataforma em direção à costa (para sudoeste);
- D) Distante aproximadamente 50 km da costa, próximo ao fundo (entre as isóbatas de 40 e 60 metros), flui uma corrente média para nordeste. A identificação desta corrente nos anos de 2014 e 2015, que foram anos que tiveram suas correntes fortemente direcionadas para sul, indica que esse escoamento deve ser gerado por forçantes de menor frequência e distantes da área analisada. Explorar melhor isso aqui;
- E) Distante aproximadamente 60 km da costa há um fluxo permanente e de grande volume e intensidade para sul. No ano de 2014, essa corrente ocupou toda a coluna d'água. Em 2016, com as fortes correntes para norte, reduziu em tamanho e intensidade. Mas manteve ainda um forte sinal na camada de fundo;

As correntes identificadas na Figura 51 pelas letras D e E serão discutidas com mais detalhes no próximo capítulo de análises sazonais.

Quanto à variabilidade destes padrões identificados entre os anos simulados, a mais evidente é a forte corrente média para norte no ano de 2016. Esse padrão direcional já havia sido apontado nos mapas horizontais de velocidade, mas o perfil vertical mostra a intensidade desse processo ao longo da coluna d'água. Que ocupa não só a superfície com forte intensidade, mas também grande parte da camada central da coluna.

Figura 51 - Perfis verticais das velocidades ao longo do perfil P2 (Rebio Arvoredo). No quadro superior são indicados os valores médios para todos os anos. Nos quadros inferiores, os valores médios para cada ano da componente transversal (esquerda) e longitudinal (direita).



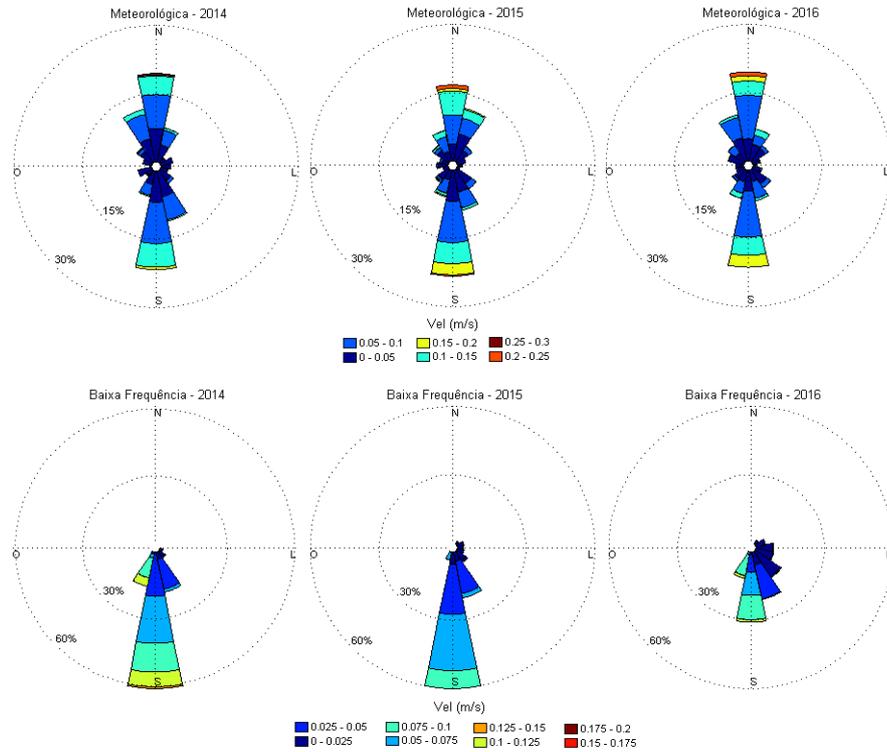
Outra variabilidade importante ocorreu na região contornada pelo círculo pontilhado na Figura 51. Trata-se da mesma região onde foi instalado o ADCP que mediu os dados na Rebio Arvoredo apresentados no capítulo anterior. É possível verificar que a corrente média

anual identificada diminui sua intensidade ao longo dos anos. Sendo mais forte em 2014 e mais fraca em 2016. Concordando com a análise dos dados medidos. Porém, o que é interessante observar, é que sua variabilidade de intensidade acompanha a da corrente que flui também para sul na região mais profunda. Verificando as componentes meteorológicas e de baixa frequência que compõem o sinal da corrente em dois pontos com diferentes profundidades, fica clara a relação entre as componentes de baixa frequência entre a porção interna e média da plataforma (Figura 52). Concordando com a forte relação das correntes na plataforma continental interna e média na PCSE também encontrada por Hahy (2006)

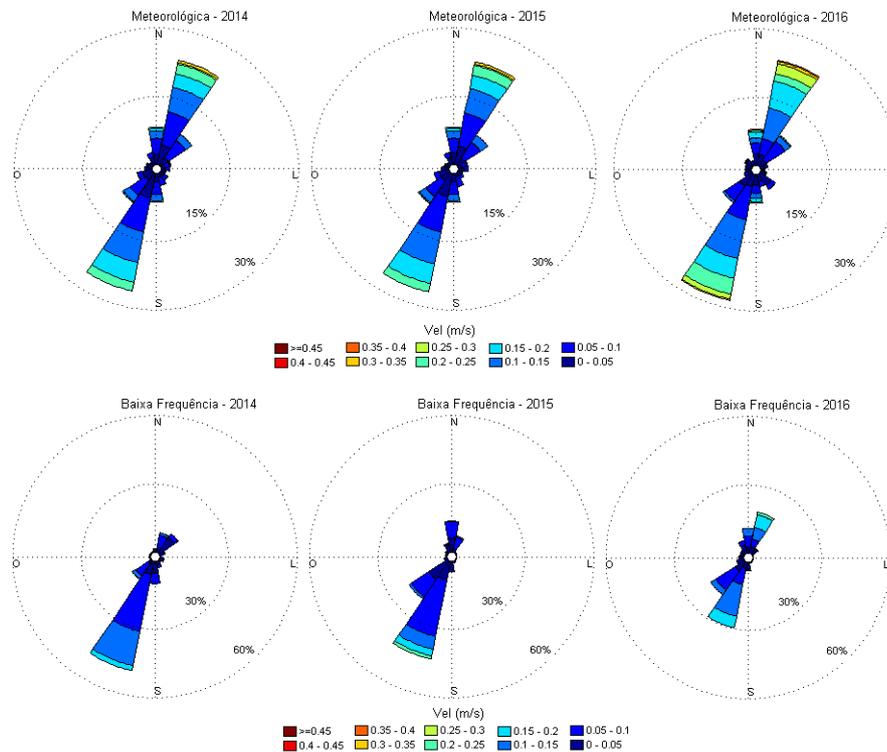
No ano de 2016, a banda de baixa frequência reduziu significativamente a sua intensidade para sul, enquanto a componente meteorológica se intensificou. E aparece, com maior relevância, uma corrente de baixa frequência para nordeste na região central da plataforma. Assad et al (2015) correlacionou a variabilidade interanual de transporte da Corrente do Brasil com o campo de vento aplicado nos modelos. O autor verificou que a variabilidade do vento causada pelo fenômeno El Niño tem grande influência no volume de transporte da CB, especialmente nas camadas superficiais. Aonde os anos com um campo de vento resultante para norte, gerou um forte enfraquecimento da CB. Assim como identificado neste estudo no ano de 2016.

Figura 52 - Rosas direcionais das correntes extraídas nos pontos S2a (Rebio Arvoredo, isóbata de 20m) e S2b (Rebio Arvoredo, isóbata de 100m). São apresentadas as correntes decompostas na banda meteorológica e de baixa frequência para os três anos simulados.

SÉRIE DE CORRENTE EXTRAÍDA NO PONTO S2a (ISÓBATA DE 20m)



SÉRIE DE CORRENTE EXTRAÍDA NO PONTO S2b (ISÓBATA DE 100m)



4.3.2 Padrões sazonais

Neste subcapítulo será analisada a sazonalidade da circulação na região da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo. Assim, serão analisadas as séries temporais e perfis transversais extraídos na latitude da Rebio Arvoredo (S2a e P2) e sul da Ilha de Santa Catarina (S3a e P3) (Figura 55).

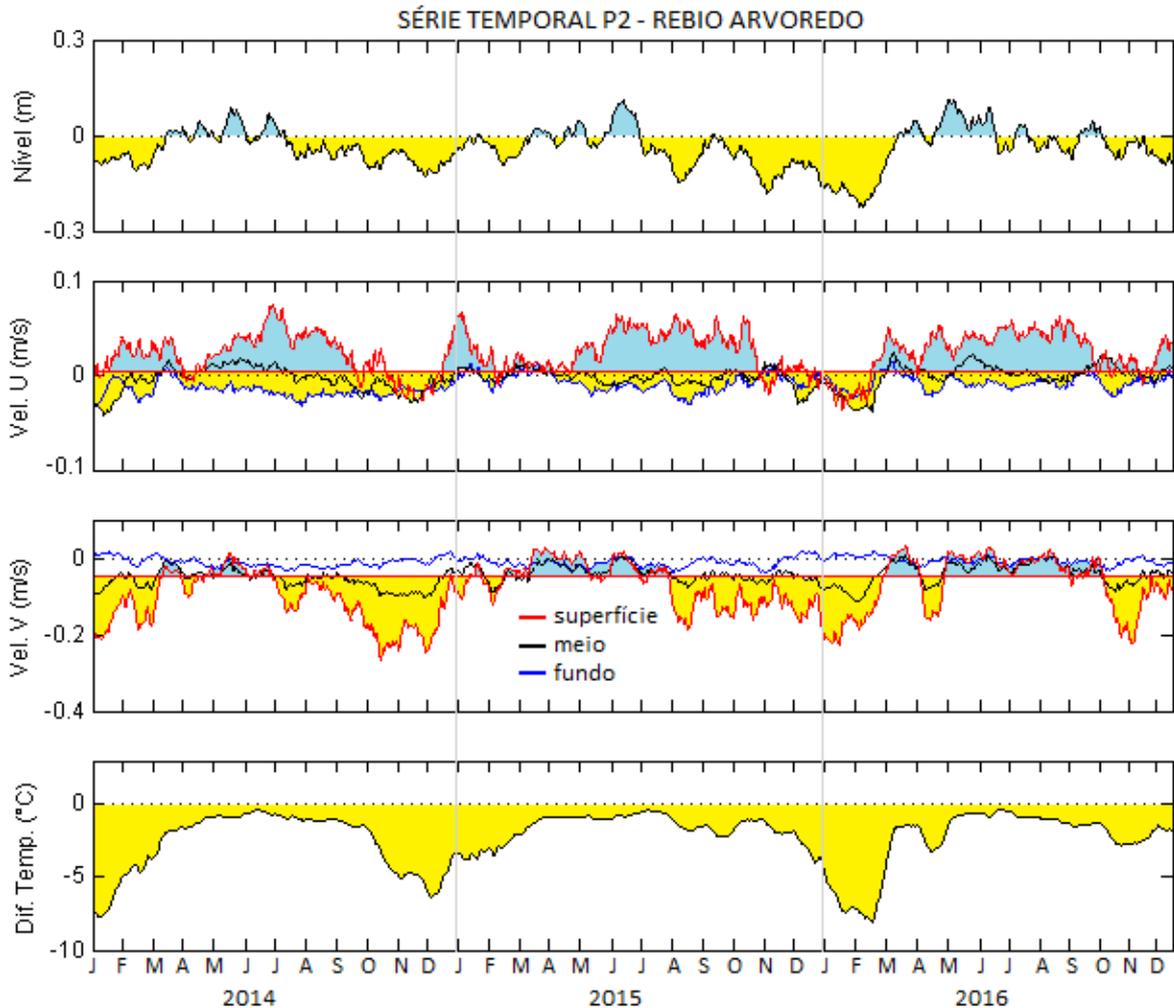
Inicialmente, plotamos as séries completas dos dados de corrente, nível e temperatura em baixa frequência dos pontos definidos (Figura 53 e Figura 54). Para, dessa forma, compreender a modulação sazonal do escoamento que ocorre nos dois pontos e identificar o melhor mês para realizar as análises.

A série temporal da Rebio Arvoredo foi extraída no mesmo ponto aonde foram coletados os dados medidos apresentados no capítulo anterior. Sendo possível assim, verificar o comportamento da corrente dentro da Rebio Arvoredo com a série completa de dados, sem falhas.

Na série de correntes de baixa frequência dos dados coletados (Figura 31), o único período medido de reversão da corrente do quadrante sul para o norte havia ocorrido no fim de maio de 2014. Já que o período do inverno do ano seguinte não foi medido, não pudemos verificar se tal padrão se repetiria e como ocorreria. Na série simulada é possível verificar que o modelo representou a reversão de fluxo observada em 2014 (Figura 53). E, conforme discussão apresentada no capítulo anterior, o escoamento medido em 2014 com forte predominância do fluxo em baixa frequência para sul, não representa um comportamento estável e constante do escoamento local. Ocorrendo em 2015 e 2016, períodos de fluxos mais equilibrados entre as componentes longitudinais positivas e negativas da corrente.

Quando a sazonalidade do escoamento na Rebio Arvoredo, foi possível verificar uma modulação sazonal bem definida, com uma tendência de estratificação da coluna d'água e fluxo para sul na primavera e verão. E homogeneização da coluna e fluxo para norte no outono e inverno. Assim como já havíamos detectado nos dados medidos, as correntes para sul tendem a fluir de modo barotrópico. Enquanto as correntes para sul são fortemente estratificadas. Apesar da sazonalidade bem definida, fica claro que essas oscilações apresentam diferentes intensidades e períodos de ocorrência. Mostrando a influência de processos com escala superiores as sazonais no escoamento local. Como visto no subcapítulo anterior.

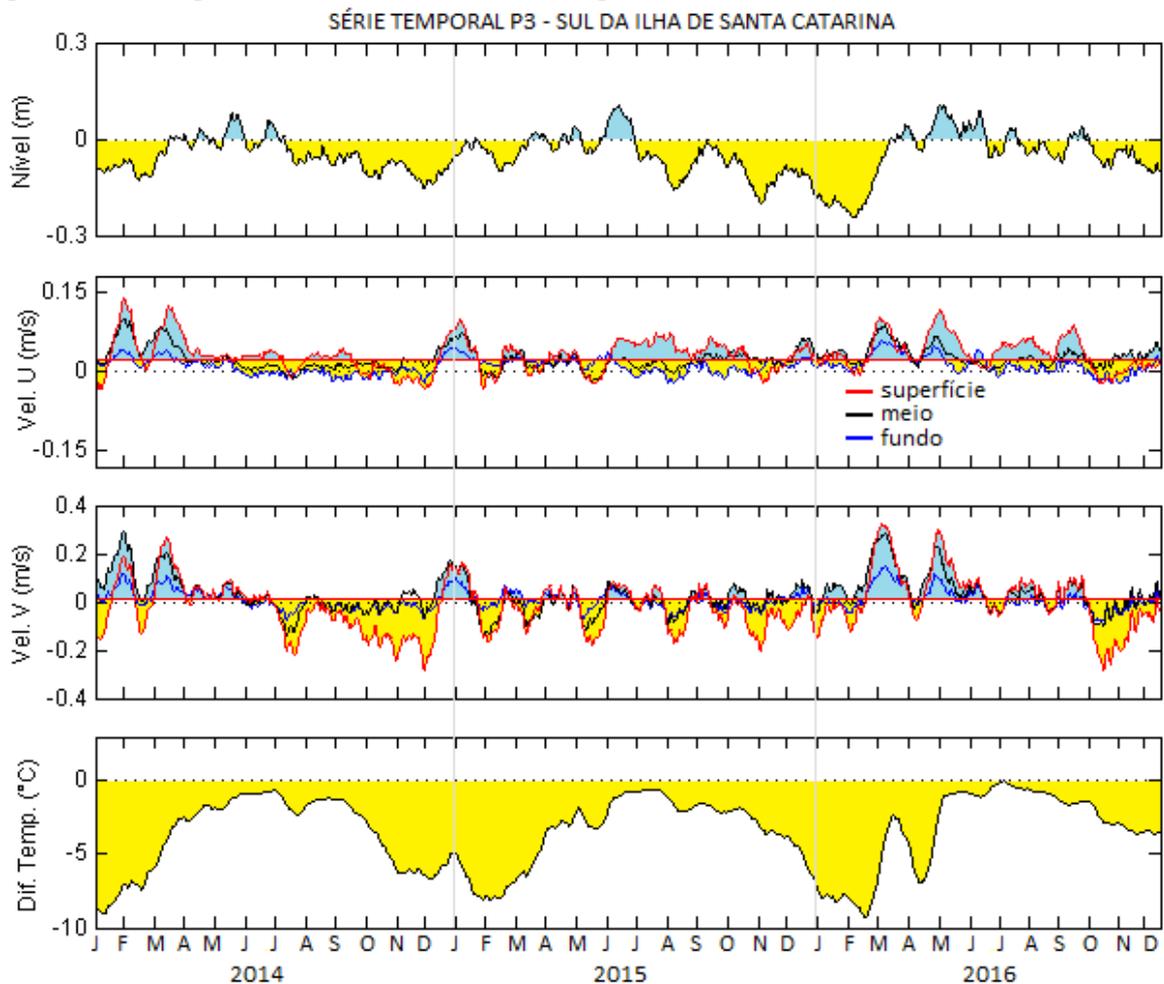
Figura 53 - Séries temporais extraídas no ponto P2 (Rebio Arvoredo na profundidade de 20m) e decompostas em baixa frequência. Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.



Já o escoamento no sul da Ilha de Santa Catarina apresentou um comportamento distinto da região ao norte da ISC (Figura 54). Apesar da modulação da temperatura e estratificação da coluna d'água ocorrerem em ciclos sazonais bem semelhantes, o mesmo não ocorre com a magnitude e direção da corrente. Picos de correntes intensas para sudeste podem ser identificados durante o verão e a primavera. Enquanto no outono e inverno as correntes fluem predominantemente para sul. E os processos de subsidência e elevação do nível do mar não parecem estar conectados com o padrão de escoamento local.

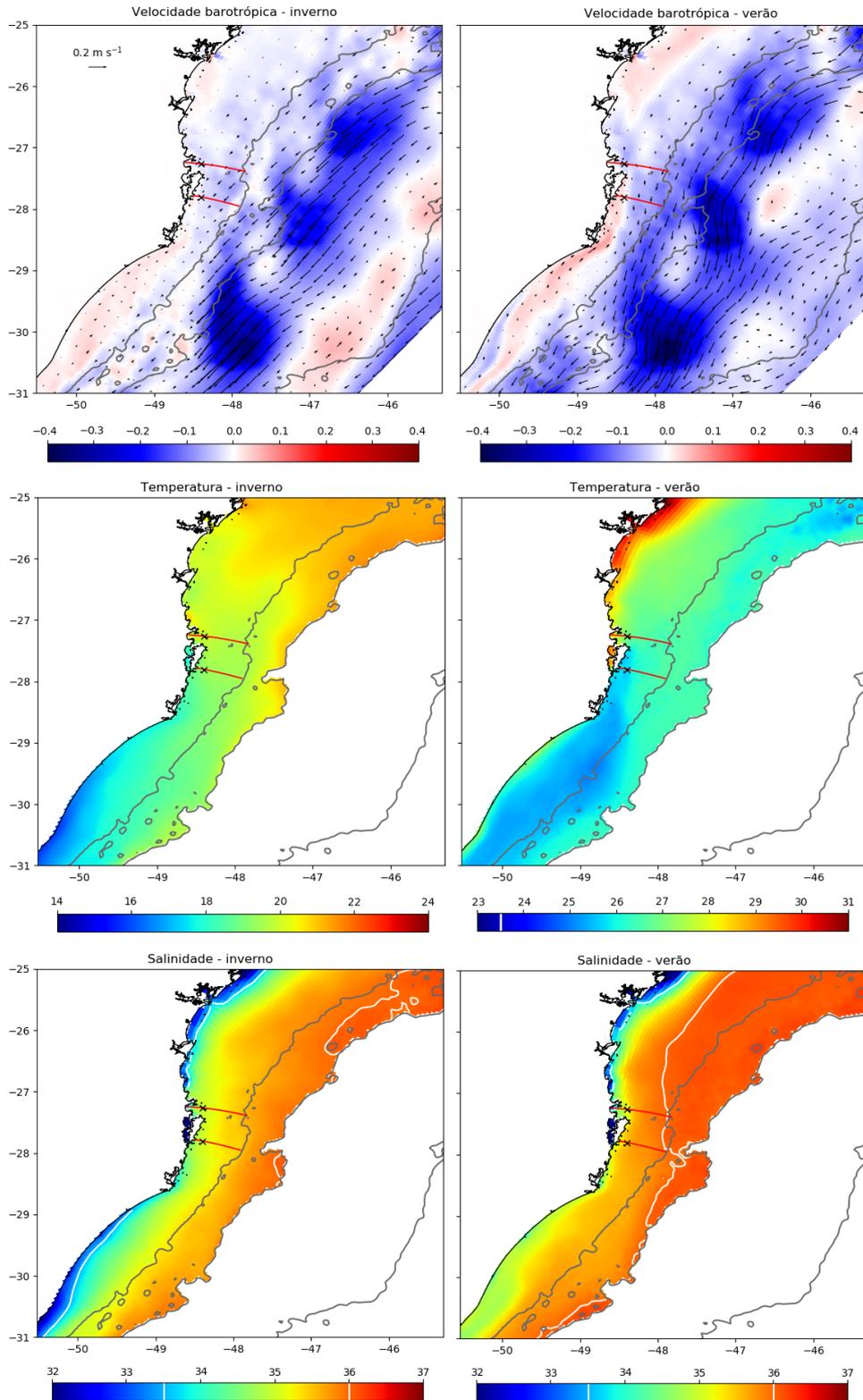
Com base nestas séries analisadas, foram escolhidos os meses de fevereiro e julho para representarem as variabilidades no escoamento identificadas para o verão e inverno, respectivamente.

Figura 54 - Séries temporais extraídas no ponto P3a (Sul da Ilha de Santa Catarina na profundidade de 30m) e decompostas em baixa frequência. Do quadro superior para o inferior: Nível medido decomposto em baixa frequência; Componente u e v da corrente medida nas camadas de fundo, meio e superficial decompostas em baixa frequência. A linha vermelha indica o valor médio da corrente para o período; Diferença entre a temperatura superficial e temperatura de fundo em baixa frequência.



Os campos médios regionais de correntes, temperatura e salinidade para os meses de fevereiro e julho dos três anos simulados são apresentados na Figura 55. No inverno (julho) as correntes que fluem sobre o talude e plataforma continental externa são mais fracas, assim como a Corrente Costeira do Brasil (CCB) que flui pra norte sobre a plataforma junto à costa.

Figura 55 - Mapas de correntes nos quadros superiores, temperatura nos centrais e salinidade nos inferiores para os meses de julho (inverno, à esquerda) e fevereiro (verão à direita). As linhas vermelhas indicam a localização dos perfis transversais extraídos (P2 e P3), e as cruzes pretas o ponto das séries temporais (S2a e S3a).



A temperatura da água no inverno se manteve entorno de 20°C, sendo que toda a plataforma continental na área adjacente à Ilha de Santa Catarina apresenta uma temperatura homogênea. Assim como a salinidade que se mantem abaixo de 35.

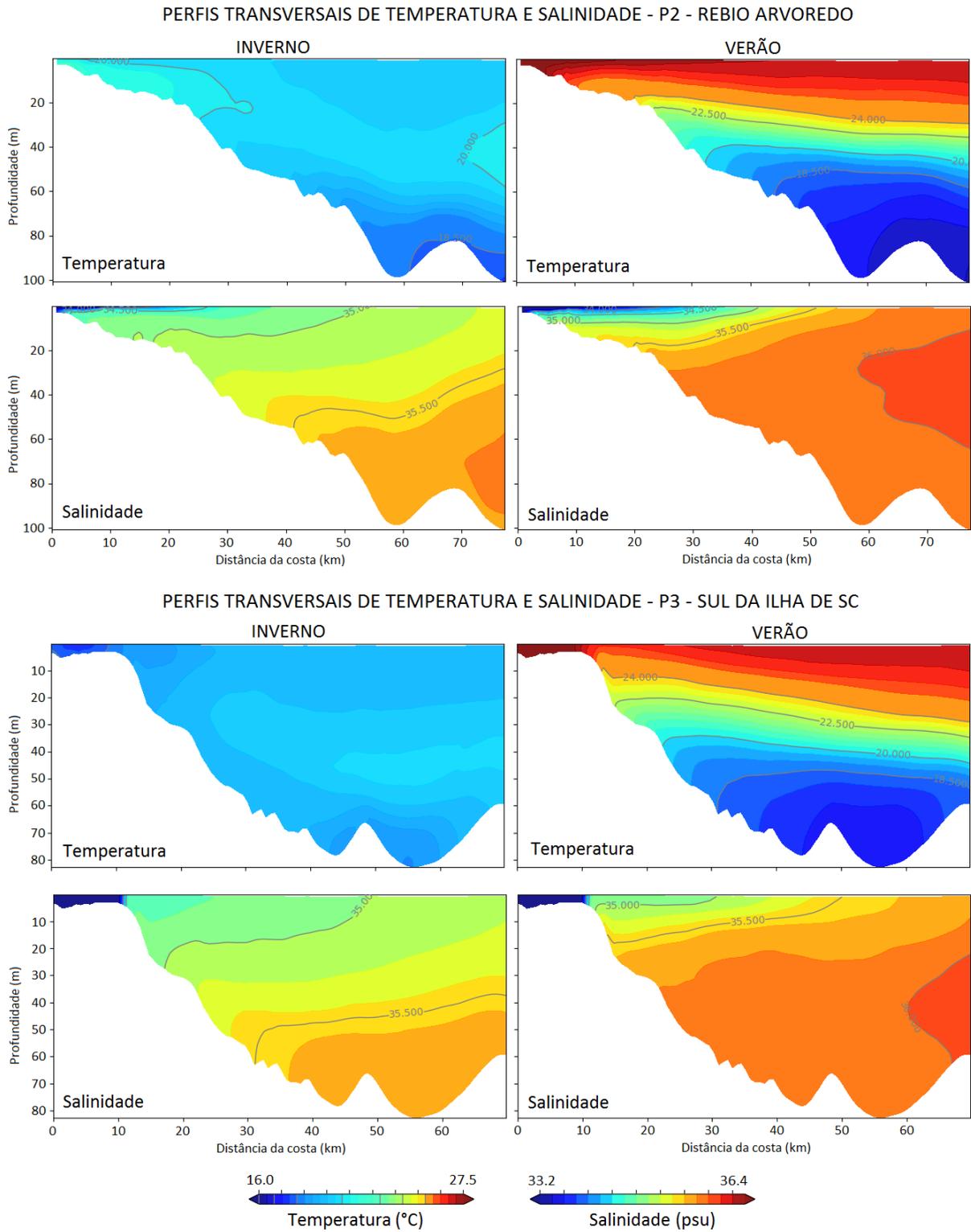
Nos campos médios regionais de verão (fevereiro) tanto a Corrente do Brasil (CB) quanto a Corrente Costeira do Brasil (CCB) se intensificam. É possível verificar nos campos médios de salinidade, uma forte influência das massas d'água transportadas pela CB sobre a plataforma, ultrapassando a isóbata de 100 m nas latitudes da Ilha de Santa Catarina. E uma língua de águas com baixas temperaturas, transportada pela CCB, até o limite da ISC.

Os perfis transversais de temperatura e salinidade indicaram, assim com observado nos dados medidos, uma coluna d'água fortemente estratificada durante o verão e homogênea durante o inverno, para as duas localidades analisadas (Figura 56). O gradiente de estratificação no verão foi um pouco mais intenso no perfil da Rebio Arvoredo em relação ao perfil do Sul da ISC. A Rebio Arvoredo apresentou águas mais frias no fundo associada a aproximação da ACAS na costa durante esta estação (SOARES et al., 2014), indicada também pelos perfis de salinidade (isohalina de 36 psu, indica a presença de AT ou ACAS na região).

Durante o inverno a coluna d'água se apresentou homogênea, com águas levemente mais salinas e frias na camada de fundo.

Esse padrão de estratificação da coluna d'água durante o verão e homogeneização já foi identificado anteriormente por estudos na PCSC (HILLE, 2009; CARVALHO et al., 1998; BORDIN et al., 2018). Indicando que a simulação numérica representou de forma satisfatória os padrões termohalinos locais.

Figura 56 - Perfis transversais da temperatura e salinidade extraídas no perfil P2 (Rebio Arvoredo) e P3 (Ilha de Santa Catarina). Os perfis representam a média mensal entre os 3 anos simulados.



Os perfis transversais de velocidade da corrente do sul da Ilha de Santa Catarina e Rebio Arvoredo são apresentados na Figura 57.

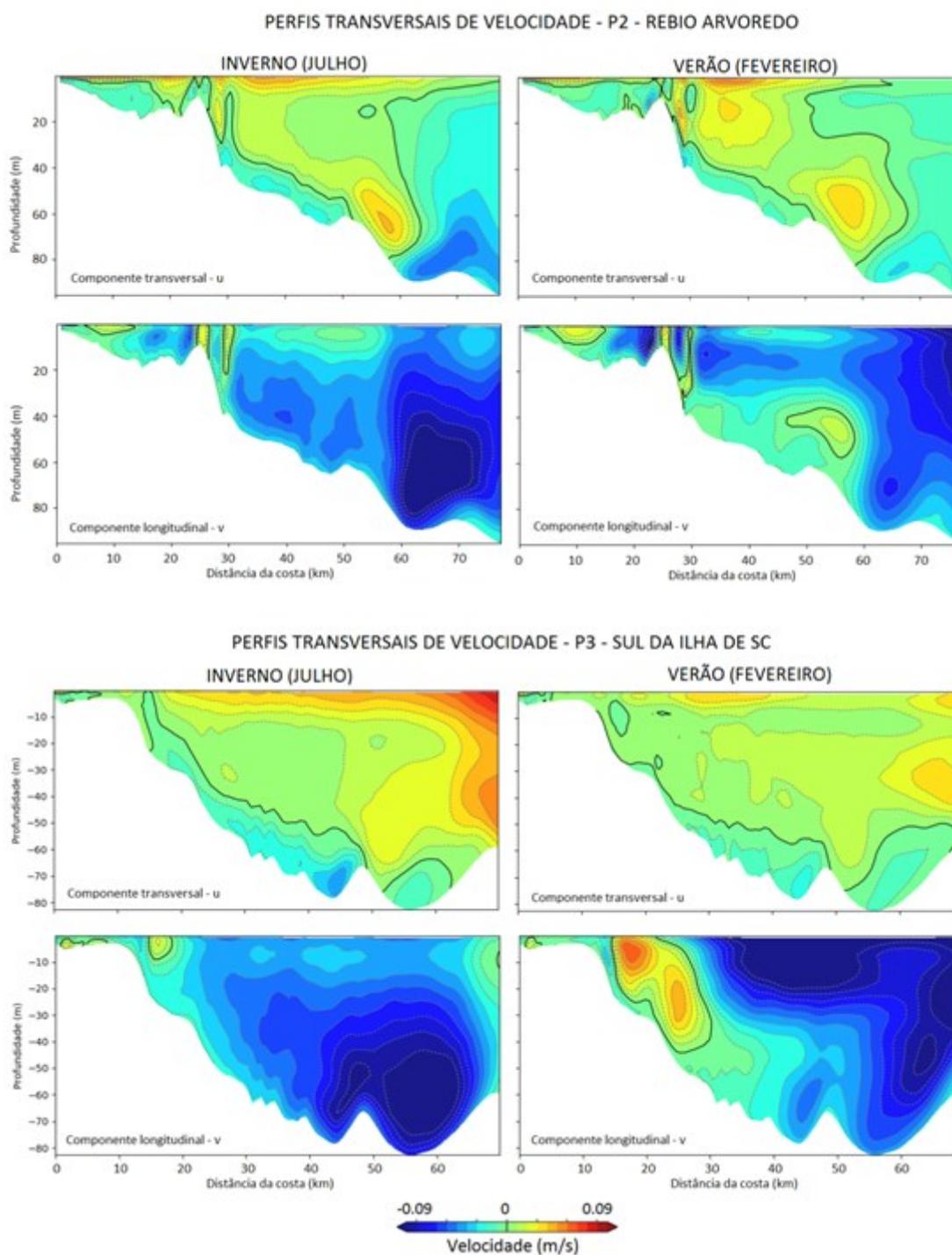
Durante inverno, as correntes do sul da ISC apresentaram um fluxo bem intenso e homogêneo resultante para sudoeste junto a camada de fundo e sudeste no meio da coluna d'água e superfície. Nota-se, no entanto, um pequeno sinal de fluxo para norte em águas rasas distante aproximadamente 15 km da costa. Esse fluxo para norte ganha tamanho e intensidade durante o verão, quando o fluxo para sul se intensifica sobre a plataforma externa e superfície. Visto que a série temporal de correntes no sul da ilha (Figura 54) foi extraída na latitude desse perfil em uma profundidade de 30 m, é possível afirmar que as correntes fluindo para norte nos meses de verão identificadas na série, indicam o aumento de intensidade e volume desta corrente junto a costa. Sendo possível inferir, portanto, que esta corrente ocorreu com maior intensidade e frequência durante o outono e inverno de 2016.

O perfil transversal de correntes na Rebio Arvoredo apresentou padrão semelhante. Com um escoamento para sul durante o inverno ocupando grande parte da plataforma continental interna. E o aparecimento de uma corrente com fluxo contrário no verão distante 50 km da costa junto ao fundo.

Analisando conjuntamente os perfis transversais e os mapas de correntes sazonais (Figura 55), foi possível concluir que, a corrente fluindo para norte identificada no perfil transversal do sul da ISC, trata-se da Corrente Costeira do Brasil (CCB). Buscou-se verificar então, a razão da CCB se apresentar mais intensa durante o verão e bastante reduzida durante o inverno. Já que Souza e Robinson (2002), que nomearam esta corrente, analisaram a variabilidade espacial da CCB a partir de imagens de satélite, e indicaram que a CCB alcança o máximo da sua intensidade e dispersão durante o inverno. Ficando restrita às latitudes de -40°S durante o verão. Entretanto, Zavialov et al (2002), a partir de dados medidos na plataforma continental média do Rio Grande do Sul, mediram correntes mais intensas atribuídas a CCB durante o verão e outono.

Acredita-se que a contradição existente entre estes dois trabalhos que analisam a dispersão e velocidade da CCB, se deu pelo fato de Souza e Robinson (2002) mapearem a CCB a partir de isotermas identificadas a partir de temperatura superficial obtida por imagens. O que permite que esta seja facilmente confundida com a dispersão da pluma do prata. Que, de forma geral, possui um sinal de temperatura inferior às águas que ocupam a camada superficial da PCSC.

Figura 57 - Perfis transversais das componentes u e v da corrente extraídos no perfil P2 (Rebio Arvoredo) e P3 (Ilha de Santa Catarina). Os perfis representam a média mensal entre os 3 anos simulados.

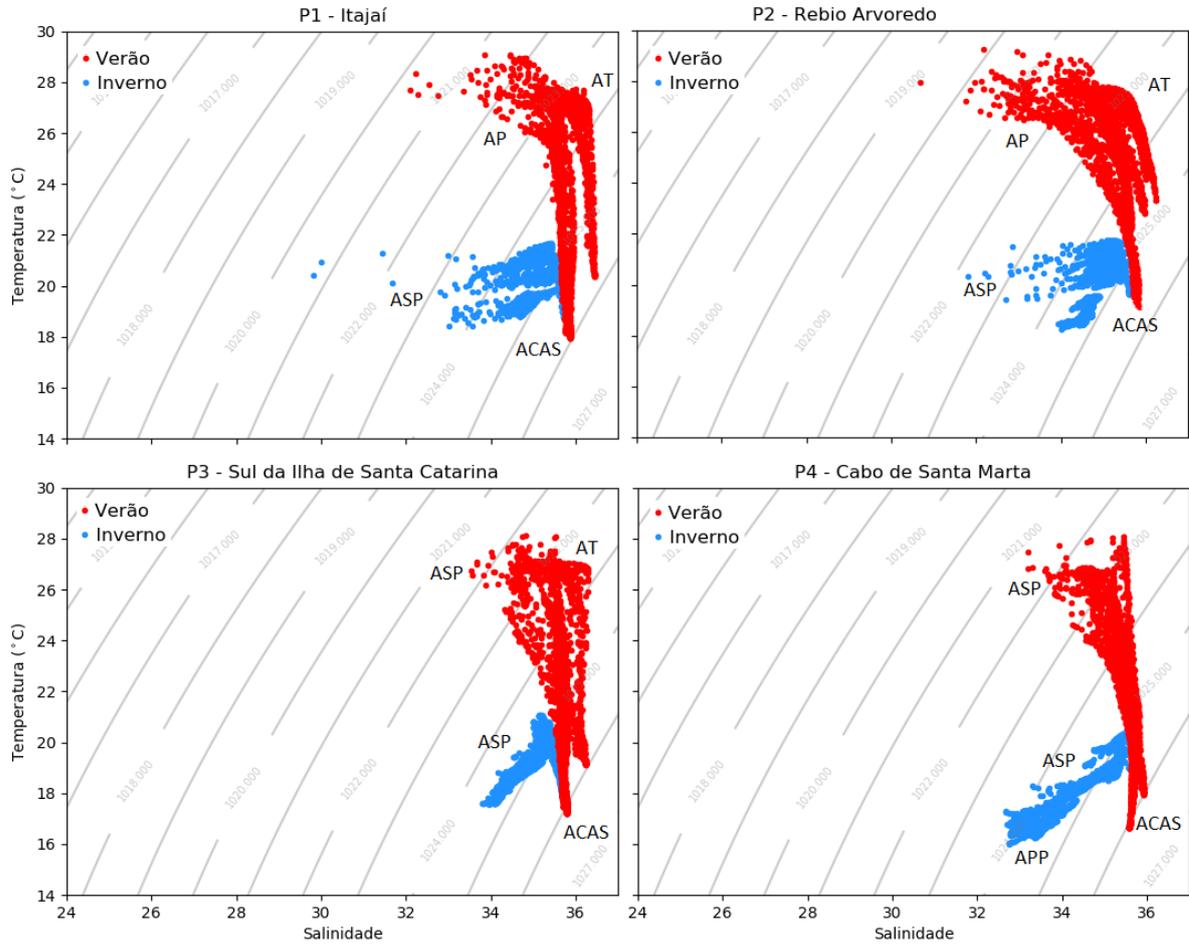


A confusão também ocorre devido a inferência inicial de ambos os autores (ZAVIALOV et al., 2002; SOUZA; ROBINSON, 2002), de que a CCB seria uma corrente termohalina originada a partir das fortes contribuições de água doce na foz do Prata ou que estaria associada às migrações sazonais da Frente da Plataforma Subtropical. No entanto, Palma et al. (2008) em simulações numéricas robustas verificou que a CCB surge na região em experimentos realizados sem o forçamento dos rios. Segundo os autores, a CCB é gerada pelo espalhamento dos gradientes de pressão gerados pela Corrente das Malvinas e sua confluência com a Corrente do Brasil. Análise que concorda com os resultados obtidos neste estudo, onde a CCB se intensifica em períodos onde a CB também aumenta sua intensidade.

Outro ponto importante a ser destacado a respeito da CCB, é a sua identificação na região de fundo na latitude da Rebio Arvoredo durante o verão. A partir de vários cortes transversais e horizontais realizados (não apresentados) entre o perfil do sul da ISC e da Rebio Arvoredo, verificou-se que a CCB flui pela superfície bordejando a costa até o limite norte da Ilha de Santa Catarina quando então esbarra em um forte escoamento para sudeste vindo da região da Rebio Arvoredo. A CCB então afunda e se direciona para nordeste, contornando a Rebio Arvoredo pela sua face externa. Podendo até mesmo emergir novamente a superfície dependendo da sua intensidade.

A sazonalidade das massas d'água definida a partir dos dados simulados (Figura 58) concorda com a variabilidade das massas encontrada a partir dos dados medidos (Figura 29). E também com os padrões sazonais apresentados por Moller et al (2008) para a região do Cabo de Santa Marta. Onde as condições hidrodinâmicas do verão e primavera favorecem a presença das massas de água de origem oceânica (AT e ACAS) e da ASP, originada a partir da mistura da AT com as águas continentais locais. Padrão também identificado por Barletta et al. (2016). Já no inverno, as águas de altas latitudes (APP e ASP) migram para o norte dominando a região durante essa estação do ano.

Figura 58 - Diagramas de temperatura e salinidade para os dados extraídos no mês de fevereiro (verão) e julho (inverno) durante os três anos de simulação em 4 pontos distribuídos na PCSC ao longo da isobatimétrica de 100m.



5 CONCLUSÕES

O escoamento na região no entorno da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Ilha de Santa Catarina foi descrito a partir de uma série de dados medidos com densa frequência temporal e modelo numérico hidrodinâmico regional com alta resolução espacial na área de interesse.

A análise dos dados medidos in situ possibilitou o entendimento inicial a cerca dos fluxos predominantes na região da Rebio Arvoredo e a definição das principais bandas energéticas que compõem o espectro de energia da corrente local. Os principais apontamentos extraídos do processamento do conjunto de dados medidos foram:

- A variação de nível local apresentou importante contribuição da componente astronômica, com maior relevância para as constituintes harmônicas semidiurnas e diurnas. Na componente submareal, as contribuições meteorológicas foram as mais expressivas. Se relacionando com a atuação do vento local sobre a superfície;
- A corrente resultante para todo o período medido apresentou resultante para sul, sendo a componente submareal responsável por 87,05% da variância identificada no sinal total. A banda meteorológica domina a componente submareal (86,88%). Porém, a contribuição constante em magnitude e direção da componente de baixa frequência para sul é quem determina o escoamento resultante final;
- As oscilações dos valores medidos de corrente e temperatura indicaram uma modulação sazonal bem definida: com fluxo costeiro resultante para sul e coluna d'água estratificada durante a primavera e o verão. E tendência a homogeneidade da coluna durante o inverno quando os ventos de nordeste enfraquecem e as correntes meteorológicas com fluxo para norte se tornam intensas;
- Os resultados e padrões obtidos a partir da análise dos dados medidos entre 2014 e 2016 na Rebio Arvoredo não demonstram o “padrão normal” de escoamento para a região. Visto que boa parte do período de medição dos dados ocorreu sob a influência de um forte El Niño. Que, por sua vez, altera os padrões de ventos regionais, precipitação e temperatura da água, que interferem diretamente nos padrões de escoamento local;

- A partir das análises realizadas com os dados medidos, acredita-se que a circulação na região é modulada por processos de mesoescala. Especialmente pela sazonalidade de localização do ASAS e da intensidade do gradiente de pressão entre o continente sul-americano e esse núcleo de alta pressão no atlântico sul, e formação e entrada dos SMFs na região.

Os dados medidos, portanto, foram de grande valia para análise inicial e exploratória das correntes na região. Porém, para avançar na compreensão dos processos atuantes em escala regional e no seu grau de influência sobre o escoamento local, foi implementado um modelo hidrodinâmico regional. O modelo numérico contemplou a região marinha entre as latitudes $23^{\circ}07'S$ e $35^{\circ}40'S$, e, a partir do aninhamento de 3 grades numéricas, foi possível simular o escoamento local com uma resolução média de 200 metros.

Os resultados iniciais da simulação numérica apresentados nesse estudo, confirmaram uma intensa variabilidade anual no escoamento e parâmetros termohalinos entre os anos em que foram medidas as correntes na Rebio Arvoredo. Os anos de 2014 e 2015 apresentaram correntes intensas e predominantes fluindo para sul. E com uma forte influência da Corrente do Brasil no ano de 2015 sobre a plataforma. Resultando em águas mais quentes e salinas na PCSC e intensificando os processos de estratificação da coluna d'água típicos da primavera e verão. No ano de 2016, os padrões médios de escoamento na região apresentaram grandes variabilidade em relação aos dois anos anteriores, com um forte enfraquecimento da Corrente do Brasil e maior influência das águas do sul na PCSE. Com uma redução significativa da contribuição de baixa frequência para a corrente em toda a plataforma, os fluxos apresentaram maior ocorrência e intensidade das correntes fluindo para norte. Resultando em uma menor temperatura e salinidade para o período, e estratificações da coluna d'água mais brandas.

A variabilidade sazonal simulada pelo modelo numérico, quanto ao escoamento e distribuição das massas d'água, concordou com os padrões sazonais descritos na literatura para a região. Indicando a capacidade do modelo numérico implementado em simular os processos que regem estas variações.

Os padrões e variabilidades encontrados em escala interanual e sazonal em escala regional foram também identificados em escala local, na região da Rebio Arvoredo e entorno da Ilha de Santa Catarina. Ratificando a o alto nível de influência dos processos regionais nos padrões medidos em ambientes rasos sobre a plataforma continental interna.

Foi possível identificar ainda, a Corrente Costeira do Brasil (CCB) e sua variabilidade sazonal sobre a PCSC. Concordando com os padrões de velocidade medidos por Zavialov et al. (2002) e definições quanto a sua origem descritas por Palma et al. (2008). A CCB foi identificada com maior intensidade entre os meses de primavera e verão, podendo ultrapassar a região da Ilha de Santa Catarina. No ano de 2016, com o incremento de energia dos sistemas frontais e enfraquecimento das correntes de baixa frequência para sul, a CCB indica alcançar a região da Baía de Santos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L.; CIRANO, M.; PEREIRA, J.; MARTA-ALMEIDA, M.. Upwelling processes along a western boundary current in the Abrolhos – Campos region of Brazil. *Continental Shelf Research*, 85, p. 42–59, 2014.
- ALVES JUNIOR, L. A. Caracterização hidrográfica da baía de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Geociências – UFRS. Porto Alegre. 68 p. 2011.
- ALLEN, J.S.; et al. Physical oceanography of continental shelves. Reviews of geophysics and space physics, V. 21, N. 5: 1149-1181. 1983.
- AMANTE, C; EAKINS, B. W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. *NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24*, 19 pp. 2009.
- AMORIM, F. L. L. Hidrodinâmica e propriedade das águas adjacentes à Reserva Biológica Marinha do Arvoredo – SC. Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia - UFSC. 84 p. 2013.
- ARAUJO, C. S. M.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélite para a região Sul-Sudeste da costa brasileira. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, p. 769-781, 1998.
- ASSAD, L. P. F; BOCK, C. S.; CANDELLA, R. N. LANDAU, L. Influence of El Niño wind stress anomalies on South Brazil Bight Ocean Volume Transports. *International Journal of Oceanography*, 25, 15 p, 2015.
- ASSIREU, A.T.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L. Surface circulation and kinetic energy in the SW Atlantic obtained by drifters. *Continental Shelf Research*, 23, p. 145-157, 2003.
- BARLETTA, R.C.; RIBEIRO, P.; FALKENBERG, A.V.; MARANHÃO, M.O.A.; FRANKLIN, L.; BENEDET, L. Physical Oceanographic measurements to support the outfall system design in the north of Santa Catarina Island, Brazil. *International Symposium on Outfall Systems*. Ottawa, Canadá. 2016.
- BLANTON, J.O. Ocean currents along a nearshore frontal zone on the continental shelf of the Southeastern United States. *Journal of Physical Oceanography*. Vol. 11: 1627-1637. 1981.
- BORDIN, L.H.; MACHADO, E.C.; CARVALHO, M.; FREIRE, A.S.; FONSECA, A.L.D.O. Nutrient and carbono dynamics under the water mass seasonality on the continental shelf at the South Brazil Bight. *Journal of Marine Systems*. Vol 189: 22-35, 2019.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p. 2014.

- BRYANTSEV, V. A. & BARINOV, A. A. Volumetric statistical T-S analysis of the water masses area. *Oceanology*, 11, p. 16-21, 1971.
- BUMPUS, D. A description of the circulation on the continental shelf of the east coast of the United States. *Progress in Oceanography*. Volume 6, 111-157. 1973.
- CALADO, L.; SILVEIRA, I. C. A.; GANGOPADHYAY, A.; CASTRO, B. M. Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). *Continental Shelf Research*, 30, p. 1181–1188, 2010
- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. *Geophysical Research*, 27, n 6, p. 751-754, 2000
- CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; IKEDA, Y. Water Mass Characteristics and Geostrophic Circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. *Journal of Geophysical Research*, 100, 9, p. 537-550, 1995.
- CAMPOS, E. J. D.; PIOLA, A. R.; MILLER J. L. Water Mass Distribution on the Shelf and Shelf-Break Upwelling in the Southeast Brazil Bight. *Annals of the 10th Symposium on Global Change Studies - Am. Met. Soc.*, Dallas, p. 9-12, 1999.
- CAMPOS, P. C.; MOLLER, O. Jr.; PIOLA, A. R.; PALMA, E. D. Seasonal variability and coastal upwelling near Cape Santa Marta (Brazil). *Journal of Geophysical Research: oceans*, vol 118, 1420–1433, 2013.
- CARNIEL, S.; WOLF, J.; BRANDO, V.E.; KANTHA, L.H. Oceanographic processes on the continental shelf: observations and modeling. *Ocean Science.*, 13, 495–501, 2017.
- CARVALHO, J. L. B.; SCHETTINI, C. A. F.; RIBAS, T. M. Estrutura Termohalina do Litoral Centro-Norte Catarinense. *Notas Técnicas Facimar*, vol 2, p. 181-197, 1998.
- CARVALHO, G. A.; CABRAL, A. P.; FERNANDEZ, M. A. S. Correlação entre o campo de vento médio e um índice que define a intensidade da ressurgência na região do Cabo Frio (23°S / 42°W) através da análise de dados orbitais (QUIKSCAT / AVHRR). *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, p. 1509 – 1514, 2003.
- CASARES PINTO, E. Regime de correntes na plataforma continental externa de Santa Catarina. Dissertação de mestrado. FURG. 1998.
- CASTELÃO, R. M.; CAMPOS, E. J. D.; MILLER, J. L. A modelling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil current. *Journal of Coastal Research*, vol 20, n 3, p. 662-671, 2004.
- CASTELÃO, R. M.; BARTH, J. A. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress Curl. *Geophysical Research Letters*, vol 33, 2006.
- CASTELLO, J. P. A anchoita *Engraulis anchoita* (Engraulidae, Teleostei) no sul do Brasil. Análise/Refinamento dos Dados Pretéritos Sobre Prospecção Pesqueira Haimovici, M. (Coord.) *Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva MMA - REVIZEE*. Anexo 2, v.31, n.3, 61 p, 1999.

CASTELLO, J. P.; MOLLER, O. O. On the oceanographic conditions off Rio Grande do Sul. *Atlântica*, 2(2), p. 25-110, 1977

CASTRO, B. M. *et al.* Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, Carmen Lucia del Blanco & MADUREIRA, Paulo Saint Pastous (Ed.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo, EDUSP - Editora da Universidade Federal de São Paulo, p. 11-120, 2006.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S, in *The Sea*, 11, vol. 11, edited by A. R. Robinson and K. H. Brink, pp. 209–251, John Wiley, New York. 1998.

CECÍLIO, R. O. Estrutura tridimensional das correntes geradas pelo vento na Plataforma Continental da região sul do Brasil. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico de São Paulo. 100 p. 2006.

COELHO, H. S.; NEVES, R. J. J.; WHITE, M.; LEITAO, P. C.; SANTOS, A. J. A model for ocean circulation on the Iberian coast *Journal of Marine Systems*, 32, p. 153–179, 2002

COLL, C.; CAELLES, V.; VALOR, E. Atmospheric correction and determination of sea surface temperature in midlatitudes from NOAA-AVHRR data. Manuscrito impresso, 1993.

CSANADY, G.T. Mean circulation in Shallow Seas. *Journal of geophysical Research*. V.81, n 30. 1976.

CSANADY, G. T. Circulation in the coastal ocean. USA: D. *Reidel Publishing Co.*, 1982.

CSANADY, G.T. On the Theories that Underlie Our Understanding of Continental Shelf Circulation. *Journal of Oceanography*. V 53: 207-229. 1997.

CECHINEL, K. C. Caracterização físico-química e oceanográfica da Plataforma Continental Interna de Santa Catarina: Subsídio para a gestão da pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). Dissertação - Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – UNIVALI, Itajaí, 76 p., 2013.

DINNIMAN, M. S.; KLINCK, J. M. A model study of circulation and cross-shelf exchange on the west Antarctic Peninsula continental shelf. *Deep-Sea Research II*, v. 51, 2003-2022 p. 2004.

EGBERT, G.D.; EROFEEVA, S.Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmos Oceanic Technology*. 19:183–204. 2002.

EMERY, W. J.; MEINCKE, A. J. Global water masses: summary and review. *Oceanologica acta*, vol 9, n 4, 1986

EMILSON, I. The Shelf and Coastal Waters off Southern Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico*. v.11, n.2, p. 101-112, 1961.

FEWINGS MR, LENTZ SJ. Momentum balances on the inner continental shelf at Martha's Vineyard Coastal Observatory. *J. Geophys. Res.* 115:C12023. 2010.

FRANCO, D. Parecer técnico. Variações do nível do mar na baía de Florianópolis. Laboratório de Hidráulica Marítima – Lahimar. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 9 p. 2009.

FRANCO, D.; DONNANGELO, A.; DALBOSCO, A.L.P. Resultados preliminares obtidos no Projeto MAARÉ. Apresentação realizada no workshop final do Projeto MAARÉ. Florianópolis. 2017.

GARVINE, R. W. Subtidal frequency estuary-shelf interaction: observations near Delaware Bay. *J. Geophys. Res.*, 96(C4), p. 7049-7064, 1991.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Plano integrado de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, Volume I. Florianópolis. 2002. Acessado em www.aguas.sc.gov.br

GRAMCIANINOV, C. B. Variabilidade da Corrente do Brasil na região da Confluência Brasil-Malvinas através de simulações numéricas. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Oceanografia Física – USP. São Paulo. 90 p. 2012.

GURGEL, K. W.; SCHLICK, T. Land-based over-the-horizon radar techniques for monitoring the North-East Atlantic Coastal Zone. Barale, V. and Gade, M. (eds.), *Remote Sensing of the European Seas . Dordrecht, the Netherlands*, p. 447–458, 2008.

HAHY, M. Q. T. Correntes subinerciais e ondas de plataforma continental presentes na Costa Sudeste do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo – USP. 106 p. 2006.

HAIDVOGEL, D. B. et al. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, 227, 3595-3624. 2008.

HAK-SOO, L.; CHANG, K.S.; SOONL, P.K.; SEOL, S. J.; INSIK, C. Down-scaled regional ocean modeling system (ROMS) for high-resolution coastal hydrodynamics in Korea. *Acta Oceanologica Sinica*. Vol. 32, No. 9, P. 50-61. 2013.

HALPERN, B. S., et al. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319, 948–952, 2008.

HILLE, E.; SCHETTINI, C. A. F; RODRIGUES-RIBEIRO, M. Estrutura termohalina no litoral de Santa Catarina nos anos de 2005 e 2006. In: BRAGA, E. de S. *Oceanografia e Mudanças Globais*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 371-382. 2009.

HIRATA, F. E. Variabilidade de nível e correntes em baixa frequência na plataforma externa de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 99 p. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Plano de manejo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo. Florianópolis: IBAMA, caderno 1, 295 p., 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

KANAMITSU, M. *et al.* NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis R-2. BAMS. 83, p. 1631-1643, 2002.

KINOUCI, Marcelo Rodrigues. Da proximidade à vizinhança: desenho e gestão das zonas de amortecimento em unidades de conservação. Tese, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, 227 p., 2010.

KIRWAN, A. D. Jr.; McNALLY, G.J.; REYNA, E; MERREL, W.J.Jr. The near-surface circulation of the Eastern North Pacific. *Journal of Physical Oceanography*. V.8. 1978.

KLEMAS, V. Remote Sensing of Coastal and Ocean Currents: An Overview. *Journal of Coastal Research*. Vol 28, 3, 576–586 p. Florida. 2012.

LEE, T.N.; WILLIAMS E.; WANG, R. E. J.; ATKINSON, L. Response of South Carolina continental shelf waters to wind and Gulf Stream forcing during winter of 1986. *J. Geophys. Res.* 94:10715–54. 1989.

LEENDERTSE, J. J.; LIU, S. K. A three-dimensional model for estuaries and coastal Seas: IV, Turbulent energy computation. *The Rand Corp.* R-2187-0WRT, 1977.

LENTINI, C. A. D.; PODESTA, G. G.; CAMPOS, E. J. D.; OLSON D. B.. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research*, 21, p. 89-112, 2001.

LENTZ, S. J.; WINANT, C. D. Subinertial currents on the southern California shelf. *J. Phys. Oceanogr.*, 16(11), p. 1737-1750, 1986.

LENTZ, S. J. Current dynamics over the northern California inner shelf. *J. Phys. Oceanogr.* 24:2461–78. 1994.

LENTZ, S. J.; GUZA, R. T.; ELGAR, S, FEDDERSEN, F.; HERBERS, T. H. C. Momentum balances on the North Carolina inner shelf. *J. Geophys. Res.* 104:18205–26. 1999.

LENTZ, S. J.; FEWINGS, M. R. The wind- and wave-driven inner-shelf circulation. *Annual Review of Marine Science*. 4:317–43. 2012.

LIU Y.; WEISBERG, R. H. Momentum balance diagnoses for the West Florida Shelf. *Cont. Shelf Res.* 25:2054–74. 2009

MACEDO-SOARES, L. C. P.; GARCIA, C. A. E.; FREIRE, A., S.; MUELBERT, H. Large-Scale Ichthyoplankton and water mass distribution along the South Brazil Shelf. *PLoS ONE*, 9(3), 2014.

MANN, K. H.; LAZIER, J. R. N. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. *Blackwell Publishing*. 3° ed. 2006.

MARONE, E.; KNOPPERS, B.A.; SOUZA, W.F.L.; SILVEIRA, I.C.; GODOI, S.S. The Brazil Current: tipology abd physical-biogeochemical domains. 2010.

MAMAYEV, O. I. Temperature-salinity analysis of world ocean waters. Amsterdam, Elsevier, 374p, 1975.

MARIO, H. F. S.; FRANCO, D.; PIMENTA, F. M.; MELO, E.; BARLETA, R. C. Correntes de maré da plataforma continental de santa Catarina. *VII Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélites*, Arraial do Cabo, 2007.

MATANO, R. P.; PALMA, E. .D.; PIOLA, A. R. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the southwestern Atlantic shelf circulation. *Ocean Science*, 6, 983-995, 2010.

MATANO, R. P. PALMA, E. D. On the Upwelling of Downwelling Currents. *Journal of Physical Oceanography*, vol 38, p. 2482 -2500, 2008.

MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e Cultura* 38(8), p. 1439-1450, 1986.

MESQUITA & HARARI, J. Tides and tide gauges of Cananéia and Ubatuba. Brazil (Lat. 24°S). *Relat. int. Inst. oceanogr.* Univ. S Paulo, (11):1-14, 1983.

MIRANDA & MAGLIOCCA, A. Características gerais da variação anual da temperatura e da salinidade ao longo da cos ta do Rio Grande do Sul. In: Ferrante,A. J. & Franco, J.S.G., ed. - Hidrodinâmica Computacional. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, UFRGS, 24p, 1975.

MIRANDA, L. B. e CASTRO, B. M. F. Aplicação do diagrama TS estatístico-volumétrico à análise das massas de água da plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Boletim Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(1) :185-200, 1977.

MIRANDA, L. B. Forma de correlação TS de massas de água das regiões costeiras e oceânica entre o cabo de são Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. *Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, v. 33, n. 2, p. 105-119, 1985.

MOLLER, JR, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28(13): 1607-1624, 2008.

MITCHELL, S. B., JENNERJAHN, T. C., VIZZINI, S., ZHANG, W. Changes to processes in estuaries and coastal waters due to intense multiple pressures – An introduction and synthesis, *Estuarine, Coast. Shelf Science*, 156, 1–6 p, 2015.

MULLER, T. J.; IKEDA, Y.; SANGENBERG, N.; NONATO, L. V. Direct measurements of the western boundary currents between 20 °S and 28 °S. *Journal Geophys. Res.* 103 (C3): p. 5429-5437, 1998.

- NOERNBERG, M. A.; ALBERTI, A. L. Oceanography variability in the inner shelf of Paraná, Brazil: spring condition. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 32, n. 2, 2015.
- PALMA, E.D.; MATANO, R.P.; PIOLA, A.R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf Circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. *Journal of Geophysical Research*, v. 109, C08014, 2004.
- PALMA, E. D.; MATANO, R. P. Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight. *Cont. Shelf Res.*, 29, 1525-1534, 2009.
- PALMA, E. D.; MATANO, R. P.; PIOLA, A. R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. *Journal of Geophysical Research*, vol 113, 2008.
- PARISE, M. J. L.; STECH; LORENZZETTI, J. A. Influência de Sistemas de Vento no Deslocamento de Águas Frias na Plataforma Continental Brasileira, Utilizando dados AVHRR/NOAA. *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 1629-1636, 2003.
- PEREIRA, C.S., 1989. Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian Continental Shelf (29–351S). *Continental Shelf Research* 9, 285–289.
- PEREIRA, M. D. *et al.* Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n.1, p. 81-93, 2009.
- PETERSON, R.G.; STRAMMA, L.; KORTUM, G. Early concepts in charts and circulation. *Progress in Oceanography*, 37, p. 1-115, 1996.
- PEZZI, L.P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O.; WAINER, M.; MATA, M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. Multiyear measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region. *J. Geophys. Research*, 114, 2009.
- PICKETT, M. H.; PADUAN, J. D. Ekman transport and pumping in the California Current based on the U.S. Navy's high-resolution atmospheric model (COAMPS), *J. Geophys. Res.*, 108(C10), 3327, 2003.
- PIMENTA, F. M.; MELO, E.; FRANCO, D. ZAVIALOV, P. O. Assessment of Santa Catarina shelf currents through the analysis of indirect measurements. *J. Coastal Res.*, Special Issue 39, 2006.
- PIMENTA, F. M.; CAMPOS, E. J. D.; MILLER, J. L.; PIOLA, A. R. Numerical study of the river discharge and wind effects over the Plata River plume intrusion the southeastern South American Shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 53 (3–4), 129–146, 2005.
- PIOLA, A. R., CAMPOS, E. J. D., MOLLER, O. O., CHARO, M. and MARTINEZ, C.: Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal Geophys. Res.*, 105, C3, 6566–6578, 2000.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MOLLER, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. Continental Shelf Water Masses Off Eastern South America - 20° to 40°S. *Annals of the 10th Symposium on Global Change Studies- Am.Met. Soc.*, p. 446-449, 1999.

PIOLA, A.R.; MÖLLER Jr. O. O.; GUERRERO, R. A.; CAMPOS, E. J. D. Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. *Continental Shelf Research*, v.28, p. 1639-1648, 2008.

PIOLA, A. R.; ROMERO, S. I.; ZAJACZKOVSKI, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. *Continental Shelf Research*, 28(13), p. 1556-1567, 2008.

PISONI, J P.; RIVAS, A. L.; PIOLA, A. R. Satellite remote sensing reveals coastal upwelling events in the San Matías Gulf—Northern Patagonia. *Remote Sensing of Environment*, 152, p. 270–278, 2014.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*. 22(2). 135-151, 2004.

RAY, R. D.; MITCHUM, G. T. Surface manifestation of internal tides in the deep ocean: observations from altimetry and island gauges. *Progress in Oceanography*, 40, p. 135–162, 1997.

REZENDE, J. H. M. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste durante o verão. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 120 p, 2003.

ROBINSON, I. S. *Satellite oceanography: an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists.*, New York: Ellis Horwood , 455 p., 1985.

RODRIGUES, R. LORENZZETTI, J. A. 2001. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research* 21 (2001) 371-394

SABIA, R.; KLOCKMANN, M.; PRIETO, D. F.; DONLON, C. Air-sea fluxes and satellite-based estimation of water masses formation. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, 2015.

SAHA, S.; MOORTH, S.; PAN, H.L. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull Amer Meteor Soc.* 91:1015–1057. 2010.

SALE, P. F., *et al.* Critical science gaps impede use of no-take fishery reserves. *Trends in ecology & evolution*, v. 20, n. 2, p. 74-80, 2005

SANTORO, P. E.; FOSSATI, M.; CUEVA, I. P. Study of the meteorological tide in the Río de la Plata. *Continental Shelf Research* 60, p. 51–63, 2013.

SANTOS, F. M. S.; LESSA, G. C.; CIRANO, M.; DOMINGUES, R. M.; LENTINI, C. A. D. Localized coastal upwelling at the Brazil Current formation zone (13°S). *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.

SARUKHANYAN, E. I. Structure and variability of the Antarctic Circulumpolar Current. New Delhi, India, A.A. Balkema/Rotterdam, Russian Translations Series N° 44, 108p. 1987.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS P. L. Tropics – South America. In : Meteorology of the Southern Hemisphere, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. *American Meteorological Society*, Boston, 119–139, 1998.

SCHETTINI, C.A.F.; RESGALLA Jr., C.; PEREIRA FILHO, J.; SILVA, M.A.C.; TRUCCOLO, E.C.; RORIG, L.R. Variabilidade temporal das características oceanográficas e ecológicas da região de influência fluvial do rio Itajaí-Açu. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 9, n. 2, p. 93-102, 2005.

SILVA, A. C.; ARAÚJO, M.; BOURLÈS, B. Variação Sazonal da estrutura de massas de água da Plataforma Continental do Amazonas e área oceânica adjacente. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23 n. 2, p.145-157, 2005.

SILVA, A. S. Influência da morfologia continental fluminense sobre as circulações locais na região de Cabo Frio (RJ). Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 124 p., 1997.

SILVA, L. S.; MIRANDA, L. B.; CASTRO FILHO, B. M. Estudo numérico da circulação e da estrutura termohalina na região adjacente à Ilha de São Sebastião (SP). *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(3): 197-221, 2004.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; YKEDA, Y. A. Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. *Rev. Bras. de Oceanografia*, 48(2), 171-183, 2000.

SEGAL, B.; FREIRE, A.S.; LINDNER, A.; KRAJEWSKI, J.P.; SOLDATELI, M. MAArE – Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. Florianópolis: UFSC/MAArE, 134 p. 2017.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS J. C. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3090. 2003.

SMITH, R. L. Poleward propagating perturbations in currents and sea levels along the Peru Coast. *Journal of Geophysical Research*, v. 83, n C12, 6083-6092, 1978.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model. *Ocean Modelling*, 9, 347-404. 2005.

SOARES, I. D.; MOLLER, O. O. Low-frequency and water mass spacial distribution on the Southern Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research*, 21, 1785-1814, 2001.

SOARES, L. C. P. M.; GARCIA, C. A. E.; FREIRE, A. S.; MUELBERT, H. Large-Scale Ichthyoplankton and Water Mass Distribution along the South Brazil Shelf. *Plos One*. Vol 9. Issue 3. 2014.

- SOARES, I. D. The Southern Brazilian Shelf Buoyancy-driven Currents. Ph.D. Dissertation, Miami, Fl., USA, University of Miami, 318 p. 2003.
- SONG, Y.; HAIDVOGEL, D. B. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. *J. Comp. Phys.*, 115(1), 228- 244. 1994.
- SOUZA, R. B. Satellite and Lagrangian observations of mesoscale surface processes in the Southwestern Atlantic Ocean. Tese (Doutorado) – University of Southampton, Southampton, UK. 239 p., 2000.
- SOUZA, R.B.; ROBINSON, I.S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Continental Shelf Research*. 2003.
- SOUTELINO, R.G.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I.C.A. The roles of vertical shear and topography on the eddy formation near the site or origin of the Brazil Current. *Continental Shelf Research*, 70, 46-60. 2013.
- STECH, J. L.; LORENZETTI, J. A. The response of the south brazil bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*, 97 (C6) 9507-9520, 1992.
- STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Oceano 1. *Geophys. Res.*, 104 (C9): 20863-20883. 1999.
- STRONG, A. E.; MCCLAIN, E. P. Improved ocean surface temperatures from space - comparisons with drifting buoys. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 65, n.2, p.138-142, 1984.
- SUNYÉ, P.S. 1999. Effet de la variabilite climatique regionale sur la peche de la sardinelle le long de la cote sudest du Bresil (1964-1993). Ph.D. Thesis, Institut Universitaire Europeen de la Mer, Universite de Bretagne Occidentale, 130pp. 1999.
- TCHERNIA, P. The Atlantic Ocean – Descriptive Regional Oceanography. Oxford: Pergamon Press, p. 87-170. 1981.
- TRUCCOLO, E.C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F. The Low Frequency Sea Level Oscillations in the Northern Coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, vol 39, p. 547-552, 2006.
- VELEDA, D.; ARAUJO, M; ZANTOPP, R.; MONTAGNE R. Intraseasonal variability of the North Brazil Undercurrent forced by remote winds. *Journal of Geophysical Research*, V. 117. 2012.
- ZAVIALOV, P.; MOLLER, O.O. Modeling and observations of currents off southern Brazil and Uruguay: the Rio Grande Current. In: Proceedings of Oceanic Fronts and Related Problems: Kostantin Fedorov International Memorial Symposium, Saint Petersburg, Russia, IOC Workshop Report 159, pp. 612–617. 1998.
- ZAVIALOV, P.; MOLLER, O.O.; CAMPOS, E. J. D. First direct measurements of currents on the shelf of Southern Brazil. *Cont. Shelf Res.*, 22(14), p. 1975-1986, 2002.

VOORHIS, A.D.; WEBB, D.C.; MILLARD, R.C. Current structure and mixing in the shelf/slope water front south of New England. *Journal of Geophysical Research*, 81, 3695-3708. 1976

YANG, X. *Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management*. Berlin & Heidelberg Springer-Verlag. p. 561, 2009.

WALLCRAFT, A.J.; METZGER, E.J.; CARROLL, S.N. Design description for the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) version 2.2. Tech. rep., Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS. 2009.

WILKIN, J.L.; BOWEN, M.; EMERY, W. J. Mapping mesoscale currents by optimal interpolation of satellite radiometer and altimeter data. *Ocean Dynamics*, vol. 52, p. 95-103, 2002.