

**ANÁLISE DE DADOS OCEANOGRÁFICOS ORIUNDOS DO PROJETO AZUL
OBTIDOS EM UMA RADIAL NO NORTE DA BACIA DE SANTOS**

Ana Carolina Rochinha Boechat

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Rio de Janeiro

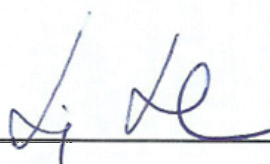
Junho de 2015

ANÁLISE DE DADOS OCEANOGRÁFICOS ORIUNDOS DO PROJETO AZUL
OBTIDOS EM UMA RADIAL NO NORTE DA BACIA DE SANTOS

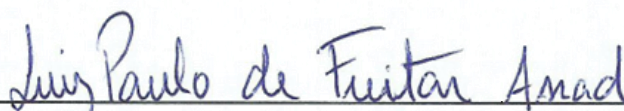
Ana Carolina Rochinha Boechat

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

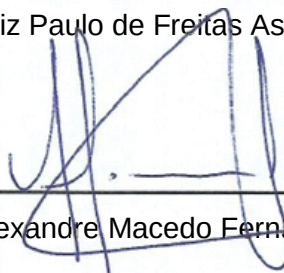
Examinada por:



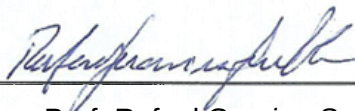
Prof. Luiz Landau, D.Sc.



Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad, D.Sc.



Prof. Alexandre Macedo Fernandes, PhD.



Prof. Rafael Guarino Soutelino, PhD.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2015

Boechat, Ana Carolina Rochinha

Análise de dados oceanográficos oriundos do Projeto Azul obtidos em uma radial no norte da Baía de Santos/
Ana Carolina Rochinha Boechat. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XXI, 127 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 112-118.

1. Corrente do Brasil. 2. Vórtice de Cabo Frio. 3. Projeto Azul. I. Landau, Luiz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Dedico esta, e todas as minhas demais
conquistas, àquela que sempre caminhou ao
meu lado, minha torcedora mais fiel,

Maria Araci de Almeida Rochinha.

Senhor, dai-me força para mudar o que pode ser mudado. Resignação para aceitar o que não pode ser mudado. E sabedoria para distinguir uma coisa da outra.

(São Francisco de Assis)

- A vida das gentes neste mundo, senhor Sabugo, é isso. Um rosário de piscados. Cada pisco é um dia. Pisca e mama, pisca e brinca, pisca e estuda, pisca e ama, pisca e cria filhos, pisca e geme os reumatismos, e por fim pisca pela última vez e morre.

- E depois que morre?, perguntou o Visconde.

- Depois que morre, vira hipótese. É ou não é?

(Monteiro Lobato)

A lot of people attack the sea, I make love to it.

(Jacques Yves Cousteau)

AGRADECIMENTOS

Parto da premissa de que “mares calmos não fazem bons marinheiros”. O mar passou longe de ser *flat* e espero ter aprendido a surfar de acordo com as ondas. Não seria justo, dessa forma, não dar crédito a todos que me ajudaram a passar por esse período.

Primeiramente a Deus, que me ensinou e mostrou que nada acontece por acaso e me ajuda diariamente a distinguir uma coisa da outra. Toda experiência, mesmo que ruim, é uma experiência.

Em segundo lugar a minha mãe, que muitas vezes teve que ser pai, e me criou da melhor forma possível, com um amor imensurável.

A minha família por ser tão querida e unida.

Ao meu pai, minha avó e a todos os outros parentes/amigos que já se foram. Tenho certeza que a despedida é breve.

Aos meus orientadores, pelo excelente trabalho de orientação, com críticas e sugestões fundamentais.

Aos amigos da Prooceano, pelo incentivo e compreensão, em especial Leo e André, que contribuíram com as críticas mais construtivas.

Aos meus amigos de forma geral, por me darem tanto apoio e me ajudarem da melhor forma possível. Aos minhocas – com esse nome e a carga de infantilidade atrelada, já se define logo que são amigos de longa data – pelo amor e amizade.

Por me ajudarem diretamente na dissertação, um obrigado especial à Lívia e à Elisa.

Por último, mas não menos importante, ao Rafael, pelo amor e carinho incondicional nos últimos 5 anos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE DADOS OCEANOGRÁFICOS ORIUNDOS DO PROJETO AZUL
OBTIDOS EM UMA RADIAL NO NORTE DA BACIA DE SANTOS

Ana Carolina Rochinha Boechat

Junho/2015

Orientadores: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Programa: Engenharia Civil

Ao longo dos últimos dois anos, o Projeto Azul vem contribuindo para medições na Bacia de Santos. Dados oceanográficos obtidos por *gliders*, derivadores e perfiladores vem sendo disponibilizados gratuitamente à comunidade científica. De forma pioneira, *gliders* perfilarão a costa brasileira pela primeira vez em março de 2013 e os dados destes perfis constituirão o foco principal de análise no presente estudo. Como um primeiro esforço de análise dos dados do Projeto Azul, foi proposto um estudo climatológico, com estimativas de velocidade geostrófica e transporte geostrófico de volume, e análises da estrutura termohalina e da ocorrência do vórtice de Cabo Frio. Especificamente para esta última análise, foram também avaliados os dados obtidos por derivadores e perfiladores, além de imagens de temperatura da superfície do mar – OSTIA – e de elevação do mar – Projeto AVISO. A maioria das análises foram de ordem sazonal ou mensal, retratando mais uma vez o objetivo climatológico do estudo. Espera-se que os resultados aqui obtidos possam contribuir para estudos futuros, não somente para aqueles com enfoque específico nos dados do Projeto Azul, mas também para novas avaliações sobre a oceanografia física da Bacia de Santos e as feições dinâmicas a ela associadas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF OCEANOGRAPHIC DATA FROM THE AZUL PROJECT OBTAINED IN
A RADIAL AT THE NORTH OF SANTOS BASIN

Ana Carolina Rochinha Boechat

June/2015

Advisors: Luiz Landau

Luiz Paulo de Freitas Assad

Department: Civil Engineering

Over the past two years, the Azul Project has contributed to measurements in the Santos Basin. Coming from gliders, drifters and profilers, the data are freely available to the scientific community. With this project, gliders profiled the Brazilian coast for the first time in March 2013 and these data was the focus of analysis in this study. As a first effort, it is proposed a general climatological analysis, with estimates of geostrophic velocity, geostrophic transport volume, and analysis of thermohaline structure and the occurrence of Cabo Frio eddy. Specifically for this analysis were also evaluated data obtained from drifters, profilers, sea surface temperature - OSTIA - and sea surface height - AVISO Project. Most analysis were seasonal or monthly, emphasizing the climatological focus of the study. It is hoped that this work can contribute to future studies, not only for those with specific focus on the Azul Project data, but also to new reviews of the physical oceanography of the Santos Basin and the dynamic features associated with it.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivos Específicos	4
3. Área de Estudo	4
3.1. A Corrente do Brasil	6
3.1.1. Caracterização das Massas d'Água	9
3.1.2. Transporte de Volume	12
3.1.3. Formação de Estruturas de Mesoescala	16
4. Metodologia	21
4.1. O Projeto Azul.....	21
4.1.1. Gliders	22
4.1.1.1. Seaglider	23
4.2. Separação Sazonal	25
4.3. Pré-Processamento dos Dados dos Gliders.....	26
4.3.1. Delimitação Geográfica	26
4.4. Estimativas da Velocidade Geostrófica	31
4.4.1. Cálculo da Velocidade Geostrófica Relativa	32
4.4.2. Cálculo da Velocidade Geostrófica Absoluta	36
4.5. Estimativas do Transporte Geostrófico de Volume	38
4.6. Análise da Estrutura Termohalina	39
4.6.1. Seções Verticais de Temperatura e Salinidade	39
4.6.2. Perfis de Temperatura, Salinidade e Densidade	39
4.6.3. Caracterização das Massas d'Água	40
4.6.4. Profundidade de Ocorrência e Espessura da ACAS.....	40
4.6.5. Estratificação da Coluna d'Água	40
4.7. Análise da Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio	41
5. Resultados e Discussões	42
5.1. Velocidade Geostrófica.....	42
5.1.1. Movimento Nulo.....	47
5.1.2. Movimento Referenciado.....	53
5.2. Transporte Geostrófico de Volume	60
5.2.1. Movimento Nulo.....	60
5.2.2. Movimento Referenciado.....	66

5.3.	Estrutura Termohalina	71
5.3.1.	Seções Verticais de Temperatura e Salinidade	71
5.3.2.	Perfis de Temperatura, Salinidade e Densidade	77
5.3.3.	Caracterização das Massas d'Água	79
5.3.4.	Profundidade de Ocorrência e Espessura da ACAS	87
5.3.5.	Estratificação da Coluna d'Água	89
5.4.	Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio	92
5.4.1.	Glider	94
5.4.2.	Derivador	100
5.4.3.	Perfilador	102
5.4.4.	TSM	104
5.4.5.	ASM	106
6.	Conclusões	109
7.	Análises Futuras	110
8.	Referências Bibliográficas	112
Ø	Anexo I	119
Ø	Anexo II	121
Ø	Anexo III	124
Ø	Anexo IV	126

LISTA DE TABELAS

Tabela I: Valores das superfícies isopícnais, em kg m^{-3} , que representam as interfaces entre as massas d'água do Oceano Atlântico Sul, região do Giro Subtropical, na literatura.	10
Tabela II: Limites termohalinos e espessuras das respectivas massas d'água.....	10
Tabela III: Estimativas para o transporte de volume e para a velocidade máxima da CB ao longo da costa leste brasileira. Sinais negativos representam a direção sul-sudoeste da corrente.	14
Tabela IV: Descrição das interrupções na coleta de dados dos <i>gliders</i> ocasionadas pela manutenção dos equipamentos, considerando somente interrupções iguais ou superiores a 5 dias.	29
Tabela V: Descrição das interrupções na coleta de dados dos <i>gliders</i> após a delimitação dos perfis dentro do polígono definido, como é apresentado na Figura 15. Para esta apresentação, foram considerados somente interrupções iguais ou superiores a 5 dias. Aquelas apresentadas na Tabela IV não foram incluídas nesta descrição.	29
Tabela VI: Data inicial e final de todas as 40 seções selecionadas para as análises. .	31
Tabela VII: Níveis de referência médios e velocidades geostróficas máximas obtidas para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento nulo. Os sinais negativos de velocidade retratam o fluxo para sul.	53
Tabela VIII: Velocidades geostróficas máximas obtidas para a CB em cada período analisado. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.	59
Tabela IX: Resultados de velocidade média e desvio padrão obtidos para a seção DFBS, para os primeiros metros de profundidade.	59
Tabela X: Transporte de volume geostrófico obtido para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento nulo. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.	65
Tabela XI: Transporte de volume geostrófico obtido para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento referenciado. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.	70
Tabela XII: Percentual obtido para cada massa d'água em função de cada estação do ano.	82

Tabela XIII: Percentual de ACAS obtido para profundidades inferiores a 50, 100, 150 e 200 m, para cada estação do ano.....82

Tabela XIV: Períodos de ocorrência do VCF segundo os dados disponíveis para análise, sendo eles *gliders*, derivadores, perfiladores, e imagens de TSM e ASM.93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da radial utilizada como base pelo Projeto Azul para obtenção de dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 e 2.000 m.	5
Figura 2: Bacia de Santos representada pelo contorno laranja. A área preenchida corresponde à área estimada dos reservatórios em região de Pré-Sal.	6
Figura 3: Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul.	7
Figura 4: Diagrama T-S presente para a área de interesse com a estrutura vertical das massas d'água, bem como uma diferenciação da profundidade entre elas, baseada em uma escala de cor à direita.	9
Figura 5: Seção com velocidades baroclínicas absolutas de uma região normal ao Cabo de São Tomé (22°S), modelada pelo POM. Os contornos apresentados têm intervalos de $0,1 \text{ m s}^{-1}$, variando entre $-1,25 \text{ m s}^{-1}$ e $0,35 \text{ m s}^{-1}$. Os contornos tracejados indicam velocidades para sul, já os cheios para norte.	12
Figura 6: Localização das nove radiais utilizadas no estudo de BOECHAT <i>et al.</i> (2013).	15
Figura 7: Profundidades máximas da CB obtidas para cada radial, a partir das médias mensais de todo o período analisado (2004 a 2010).	15
Figura 8: Localização dos quatro fundeios, cujos dados obtidos foram analisados por ROCHA <i>et al.</i> (2014).	16
Figura 9: Representação do trem de ondas formado pela atividade de mesoescala na CB, com destaque para o Vórtice de Vitória (VV), Vórtice do Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF). A letra “A” representa os centros de alta pressão e a letra “B” os centros de baixa pressão.	18
Figura 10: Carta-imagem da TSM processada pelo INPE do dia 24 de março de 2001 mostrando feições vorticais próximas ao Cabo de São Tomé e Cabo Frio.	19
Figura 11: Desenho esquemático da hipótese de CAMPOS <i>et al.</i> (1995) para a formação de meandros e vórtices da CB ao longo do sudeste brasileiro (Hemisfério Sul – HS): à esquerda, a costa é orientada meridionalmente, o que não contribui para a formação de estruturas de mesoescala; à direita, a mudança de orientação da costa, que ocorre na região de Cabo Frio, permite o meandramento da CB.	20
Figura 12: <i>Seaglider</i> utilizado no Projeto Azul.	23
Figura 13: Representação esquemática de um perfil realizado por um <i>Seaglider</i>	25

Figura 14: Mapa com os pontos de todos os perfis medidos pelos <i>gliders</i> do Projeto Azul para o período entre 05/03/2013 e 15/01/2015, representados pelos pontos em preto. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.	27
Figura 15: Mapa com os pontos dos perfis medidos pelos <i>gliders</i> , em preto, contidos dentro do polígono de delimitação, em azul, proposto para a radial de estudo, em vermelho. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.	28
Figura 16: Exemplo de uma perfilagem contínua ideal realizada pelos <i>gliders</i> , para o período entre 03 e 12 de junho de 2013. Os pontos em preto indicam a localização de cada perfil, a radial base está representada em vermelho e o polígono de delimitação em azul. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.	30
Figura 17: Desenho esquemático com duas estações de coleta de dados, que serão utilizadas para o cálculo da velocidade geostrófica.	32
Figura 18: Velocidades geostróficas absolutas para o período entre 19 e 26 de junho de 2013, obtidas a partir de dados dos <i>gliders</i> do Projeto Azul. No painel superior, a velocidade geostrófica relativa foi calculada sem qualquer tratamento, já no painel inferior, foi aplicada uma média móvel.	35
Figura 19: Seção vertical média de densidade para a primavera, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	43
Figura 20: Seção vertical média de densidade para o verão, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	44
Figura 21: Seção vertical média de densidade para o outono, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	45
Figura 22: Seção vertical média de densidade para o inverno, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	46
Figura 23: Seção vertical média de densidade para todo o período analisado, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	47

Figura 24: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	48
Figura 25: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	49
Figura 26: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	50
Figura 27: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	51
Figura 28: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para todo o período analisado. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	52
Figura 29: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	54
Figura 30: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	55
Figura 31: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	56
Figura 32: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	57
Figura 33: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para todo o período analisado. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	58
Figura 34: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para a primavera. Seção vertical apresentada na Figura 24.	61

Figura 35: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o verão. Seção vertical apresentada na Figura 25.	62
Figura 36: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o outono. Seção vertical apresentada na Figura 26.	63
Figura 37: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o inverno. Seção vertical apresentada na Figura 27.	64
Figura 38: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para todo o período analisado. Seção vertical apresentada na Figura 28.	65
Figura 39: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para a primavera. Seção vertical apresentada na Figura 29.	66
Figura 40: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o verão. Seção vertical apresentada na Figura 30.	67
Figura 41: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o outono. Seção vertical apresentada na Figura 31.	68
Figura 42: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o inverno. Seção vertical apresentada na Figura 32.	69
Figura 43: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para todo o período analisado. Seção vertical apresentada na Figura 33.	70
Figura 44: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	73
Figura 45: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	74

Figura 46: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	75
Figura 47: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	76
Figura 48: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano, obtidos a partir de todos os perfis especificados na Figura 15.	78
Figura 49: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano, obtidos a partir de todos os perfis especificados na Figura 15, com enfoque nos primeiros 200 m de profundidade.	79
Figura 50: Diagrama T-S espalhado obtido para a primavera, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.	80
Figura 51: Diagrama T-S espalhado obtido para o verão, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.	81
Figura 52: Diagrama T-S espalhado obtido para o outono, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.	81
Figura 53: Diagrama T-S espalhado obtido para o inverno, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.	82
Figura 54: Seção vertical média de densidade para a primavera, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	84
Figura 55: Seção vertical média de densidade para o verão, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	85
Figura 56: Seção vertical média de densidade para o outono, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	86
Figura 57: Seção vertical média de densidade para o inverno, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o	

limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.....	87
Figura 58: Profundidades médias mensais de topo (painel superior) e base (painel inferior) da ACAS, considerando todos os perfis apresentados na Figura 15, e limiares isopícnais de 25,7 kg m ⁻³ e 26,9 kg m ⁻³ , respectivamente.	88
Figura 59: Espessuras médias mensais da ACAS, considerando todos os perfis apresentados na Figura 15, e limiares de 25,7 kg m ⁻³ para o topo e 26,9 kg m ⁻³ para a base.	89
Figura 60: Médias mensais das frequências de Brunt-Vaisala. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de 25,7 kg m ⁻³ e 26,9 kg m ⁻³ , respectivamente.	90
Figura 61: Frequência de Brunt-Vaisala (perfil esquerdo) e densidade (perfil direito) médias obtidas para o mês de fevereiro. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de 25,7 kg m ⁻³ e 26,9 kg m ⁻³ , respectivamente.	91
Figura 62: Frequência de Brunt-Vaisala (perfil esquerdo) e densidade (perfil direito) médias obtidas para o mês de julho. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de 25,7 kg m ⁻³ e 26,9 kg m ⁻³ , respectivamente.	92
Figura 63: Trajetórias percorridas pelo <i>glider</i> durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Essas seções coincidem com a passagem do <i>glider</i> pelo VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.	95
Figura 64: Seções verticais de temperatura obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do <i>glider</i> pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.	96
Figura 65: Seções verticais de salinidade obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções	

coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.97

Figura 66: Seções verticais de densidade obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *acerca* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.98

Figura 67: Seções verticais de oxigênio dissolvido obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.99

Figura 68: Movimento ciclônico observado pelo *glider*, entre 04/09/2013 e 16/09/2013, decorrente da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.. 100

Figura 69: Trajetórias ciclônicas de três derivadores entre os dias 25/10/2013 e 16/11/2013, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m. 101

Figura 70: Trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 16/10/2014 e 13/01/2015, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m. 102

Figura 71: Trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 06/04/2014 e 30/06/2014, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m. 103

Figura 72: Trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 16/10/2014 e 13/01/2015, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m. 104

Figura 73: Imagens de TSM entre os dias 14 e 24/05/2013, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 14 e 31/05/2013, em relação à radial ideal

definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.	105
Figura 74: Imagens de TSM entre os dias 11/05 e 02/06/2014, juntamente com a trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 06/04 e 30/06/2014, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.	106
Figura 75: Imagens de ASM entre os dias 01/11 e 07/12/2014, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 25/10 e 10/12/2014, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.	107
Figura 76: Imagens de ASM entre os dias 14/12/2014 e 11/01/2015, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 10/12/2014 e 13/01/2015, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.	108
Figura 77: Interior do <i>Seaglider</i> e apresentação de suas partes mais importante. (a) parte externa do <i>Seaglider</i> ; (b) casco de pressão com a bexiga externa; (c) baterias e sensores de temperatura e salinidade.	121
Figura 78: Inflação e deflação da bexiga externa.	122
Figura 79: Deslocamento de massa da bateria que ocasiona a mudança do <i>pitch</i> do <i>Seaglider</i>	123
Figura 80: Deslocamento de massa da bateria que ocasiona a mudança do <i>roll</i> do <i>Seaglider</i>	123
Figura 81: Representação esquemática de um derivador SVP-WOCE.....	125
Figura 82: Desenho esquemático do comportamento dos perfiladores na coluna d'água.	127

GLOSSÁRIO

CG – Corrente do Golfo

CB – Corrente do Brasil

SOO – Sistema de Observação
Oceânica

CSE – Corrente Sul Equatorial

CNB – Corrente Norte do Brasil

CCI – Corrente de Contorno
Intermediária

CCP – Corrente de Contorno Profunda

AT – Água Tropical

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

AIA – Água Intermediária Antártica

ACS – Água Circumpolar Superior

APAN – Água Profunda do Atlântico
Norte

ACI – Água Circumpolar Inferior

AC – Água Costeira

AM – Água de Mistura

ACP – Água Circumpolar

POM – *Princeton Ocean Model*

VV – Vórtice de Vitória

VCST – Vórtice do Cabo de São Tomé

VCF – Vórtice de Cabo Frio

TSM – Temperatura da Superfície do
Mar

AUV – *Autonomous Underwater
Vehicle*

AVISO – *Archiving, Validation and
Interpretation of Satellite
Oceanographic Data*

DT – *Delayed Time*

NRT – *Near Real Time*

ASM – Altura da Superfície do Mar

OSTIA – *Operational Sea Surface
Temperature and Sea Ice Analysis*

CCC – Contra Corrente Costeira

ADCP – *Acoustic Doppler Current
Profiler*

1. INTRODUÇÃO

Estudar o oceano é de extrema importância para a compreensão do clima em diversas escalas espaciais, desde a local até a global. O oceano pode ser considerado o reservatório mais importante de energia térmica, sendo o principal responsável pelo armazenamento de calor, assim como pela sua redistribuição no planeta. Regiões de baixas latitudes recebem uma maior radiação solar, sendo esta armazenada como energia no oceano. Através de sua dinâmica, o oceano transporta essa energia para regiões mais frias (BROECKER, 1991). É, portanto, um dos responsáveis por diminuir o gradiente de temperatura entre essas regiões, sendo uma fonte constante de calor para maiores latitudes.

As correntes de contorno oeste desempenham um papel fundamental nesse processo, pois são caracterizadas por fluxos intensos e bem definidos, fluindo na borda oeste dos oceanos, especificamente em regiões de quebra de plataforma. São correntes que fluem de regiões de baixas latitudes e percorrem grandes extensões até atingirem as regiões mais frias, em altas latitudes. Esses fluxos possuem relação direta com a dinâmica atmosférica e fazem parte dos Giros Subtropicais Oceânicos.

Segundo SCHMIDT *et al.* (2007), a Corrente do Golfo (CG), presente no Atlântico Norte, é conhecida como a corrente de contorno oeste com maior transporte de massa e calor do globo. A sua análoga no Hemisfério Sul é a Corrente do Brasil (CB) constituinte do Giro Subtropical do Atlântico Sul. A CB, no entanto, possui uma estrutura mais fraca quando comparada à CG (SILVEIRA *et al.*, 2000).

Além de sua importância climática, como já descrito, o estudo dos oceanos e de sua dinâmica é também fundamental para as atividades nele exercidas, como o deslocamento de embarcações, atividades pesqueiras, atividades de exploração e produção de petróleo e gás, entre outras. Mais de 80% da energia consumida e produzida mundialmente é derivada de combustíveis fósseis (EIA, 2015), principalmente o petróleo e seus derivados, e grande parte dessa produção ocorre em ambientes marinhos.

O estudo dos oceanos é considerado por muitos cientistas como um ramo da ciência relativamente recente, entretanto, a tentativa de compreender seus fenômenos ocorre desde os primórdios da humanidade. Na Antiguidade, o entendimento de processos oceânicos se dava por base de observações das ondas, correntes, marés e as suas relações com fenômenos meteorológicos. Povos como os polinésios e os árabes, por exemplo, já realizavam grandes navegações para pesquisa observacional em períodos A.C.

O conhecimento europeu dos oceanos deu-se com as expedições de descobrimento. Apesar de não possuírem o objetivo principal de pesquisa, mas sim de descobrir novos territórios ou novas rotas, essas viagens possibilitaram uma evolução na navegação e consequentemente uma maior compreensão da dinâmica oceânica. Nessa época, devido à utilização de barcos à vela, os estudos focavam-se mais na observação dos ventos, sendo as rotas baseadas no seu direcionamento (STEWART, 2008).

Expedições científicas foram sendo aprimoradas. Uma delas, e talvez a mais conhecida, foi a de Charles Darwin a bordo do HMS Beagle. Barcos vagarosos do século XIX deram lugar a instrumentos cada vez mais elaborados no século XX. O estudo das condições atmosféricas obteve um grande avanço, permitindo um maior conhecimento dos fenômenos meteorológicos. Ocorreu, entretanto, um atraso no desenvolvimento do conhecimento da dinâmica oceânica. Essa diferença pode ser explicada pelo fato dos fenômenos atmosféricos estarem mais presentes no cotidiano do homem: chuvas e tempestades afetam diretamente a agricultura e tempestades severas afetam diretamente diversas comunidades.

Além disso, o estudo dos oceanos demanda maiores esforços infraestruturais e tecnológicos, por serem ambientes mais hostis e de difícil acesso. Em síntese, estudos no mar são necessariamente caros. As primeiras investigações oceanográficas do final do século XIX ao início do século XX limitavam-se a estudos pontuais de temperatura e salinidade. A velocidade era, então, calculada a partir da aplicação conjunta da equação geostrófica e da hidrostática, chamado de método dinâmico.

O método dinâmico propunha que se os campos escalares de temperatura e salinidade pudessem ser considerados suaves (sem grandes gradientes) e estacionários, também o podiam os de correntes. Segundo MUNK (2000), cartas de sobrevivência no mar eram fornecidas aos pilotos da II Guerra Mundial baseadas nesse método, tamanha era a certeza nos seus resultados. Ainda de acordo com esse autor, uma grande deficiência desse método está no fato das medições serem pontuais no tempo, além disso, sua distribuição espacial era muito espaçada. Essas considerações não permitiam um resultado realista de todas as feições encontradas no oceano, como as de mesoescala.

Com o passar dos anos, entretanto, tornou-se mais comum o lançamento de instrumentos de fundeio, capazes de medir diversos parâmetros – inclusive a velocidade – do fundo à superfície, mesmo em regiões com elevadas profundidades. Ao final do século XX, satélites, derivadores e instrumentos autônomos foram alguns

dos desenvolvimentos no ramo da pesquisa, permitindo a obtenção de dados em tempo real e cada vez mais próximos da realidade. Concomitantemente, o crescimento da tecnologia da computação possibilitou o desenvolvimento dos modelos computacionais. Tanto a aprimoração dos equipamentos como o surgimento de modelos computacionais foram o grande marco na evolução dos meios de estudo dos oceanos e sua dinâmica. Uma breve descrição dos tipos de movimentos oceânicos e suas escalas e dimensões é apresentada no Anexo I.

Em meio a essas evoluções, destaca-se o Projeto Azul, que realiza desde março de 2013 coletas de dados oceanográficos a partir de *gliders*, perfiladores e derivadores, em uma radial no norte da Bacia de Santos. O seu principal objetivo é o desenvolvimento de um SOO (Sistema de Observação Oceânica), baseado na aplicação de técnicas de modelagem computacional oceânica e aquisição de dados oceanográficos em tempo real.

Este projeto, cuja análise de seus dados é foco do presente estudo, é pioneiro em medições *in situ* na costa brasileira, por ser o primeiro a utilizar *gliders* no Brasil e pela disponibilização gratuita dos dados obtidos à comunidade científica. O grande volume de dados medidos no decorrer da atuação do Projeto Azul foi a principal motivação para a confecção deste estudo. Como um dos primeiros trabalhos acadêmicos a analisar estes dados, a principal questão científica que se quis responder foi: quais novas contribuições para a oceanografia física da região, principalmente para a caracterização da estrutura termohalina, seriam obtidas a partir desses dados?

A caracterização inicial realizada acabou por levantar diversas outras questões, que serão retratadas no decorrer do estudo e que poderão servir de base para trabalhos futuros.

2. OBJETIVOS

Dados do Projeto Azul foram analisados – principalmente aqueles oriundos de *gliders* – e os resultados obtidos foram discutidos à luz da oceanografia local. O objetivo principal deste estudo foi realizar uma caracterização climatológica inicial, visto ser este um dos primeiros trabalhos acadêmicos – aliado ao estudo de BERGMAN (2015) – a utilizar os dados disponibilizados pelo Projeto Azul.

Como já especificado, este projeto coleta há 2 anos (desde março de 2013) dados de *gliders*, perfiladores e derivadores em uma radial localizada no norte da

Bacia de Santos.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Análises de ordem sazonal e/ou mensal foram realizadas, a saber:

- Estimativas de velocidade geostrófica;
- Estimativas do transporte geostrófico de volume;
- Análise da estrutura termohalina presente na região;
- Análise da ocorrência do vórtice de Cabo Frio e seu possível efeito na estrutura termohalina local.

A continuidade e sistematicidade do Projeto Azul contribuíram para a geração de uma grande quantidade de dados medidos, passíveis, portanto, de serem analisados na ordem sazonal e mensal desejada pelo estudo.

3. ÁREA DE ESTUDO

A região escolhida como foco para o estudo foi a radial utilizada como base para coleta de dados do Projeto Azul, localizada no extremo norte da Bacia de Santos. Essa radial, apresentada na Figura 1, está localizada de maneira perpendicular à costa e às isóbatas; entre as latitudes de 23°37,8'S e 24°36,6'S, e as longitudes de 42°19,5'W e 41°54,6'W; tem, aproximadamente, 117 km de extensão; e está disposta a cerca de 90 km do município de Maricá – Rio de Janeiro.

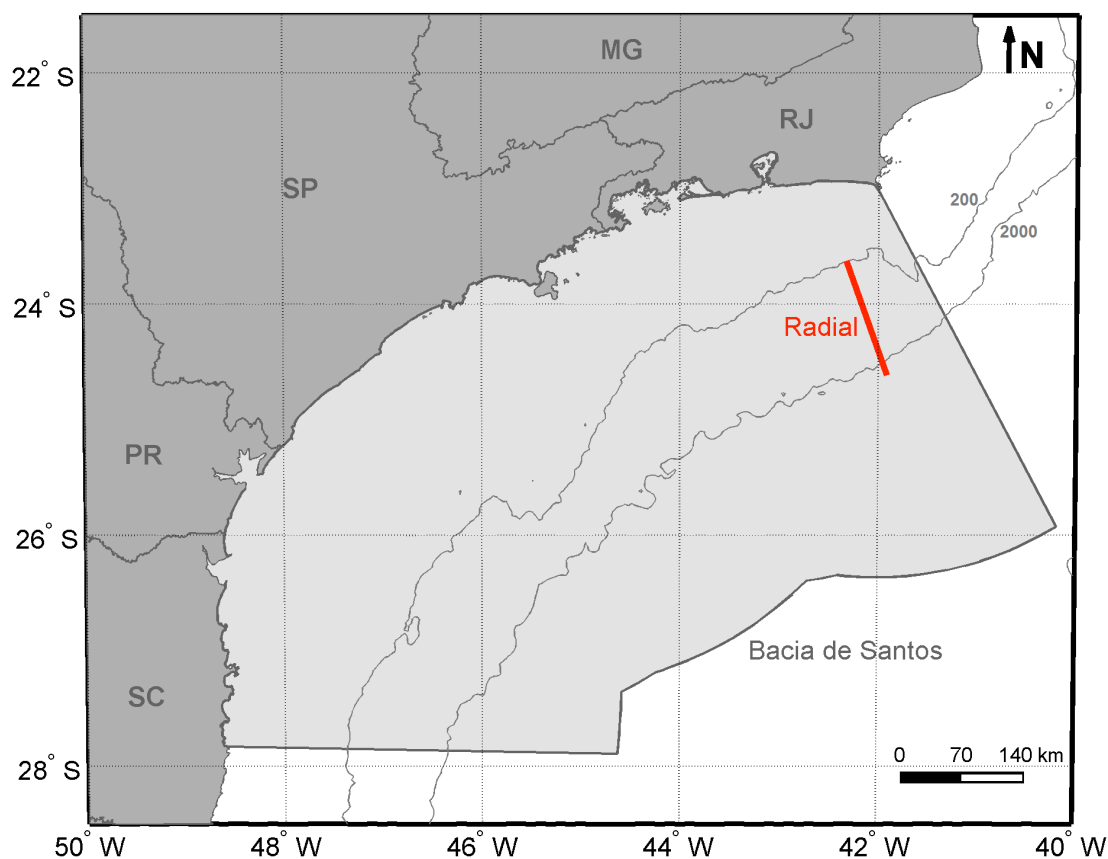


Figura 1: Localização da radial utilizada como base pelo Projeto Azul para obtenção de dados. As linhas em cinza representam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

A Bacia de Santos localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 275.000 km², entre os paralelos de 23° e 28°S. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos, e ao sul com a Bacia de Pelotas. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca Leste, enquanto que a leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (PORTILHO-RAMOS *et al.* 2006).

A Bacia de Santos possui grande importância econômica, não somente na exploração de petróleo, mas também no aspecto do seu valor ecológico, sendo uma região amplamente produtiva e famosa por seus recursos pesqueiros. A exploração petrolífera nessa área teve início efetivo no final da década de 70, mas o grande atrativo recente, ocorrido em 2006, foi a descoberta de vários reservatórios em regiões de Pré-Sal. A Figura 2 apresenta a área estimada dos reservatórios em regiões de Pré-Sal em relação à área ocupada pela Bacia de Santos. Esta bacia tem o título de segunda maior produtora petrolífera na margem continental brasileira, perdendo somente para a Bacia de Campos (IBP, 2009).



Figura 2: Bacia de Santos representada pelo contorno laranja. A área preenchida corresponde à área estimada dos reservatórios em região de Pré-Sal.

Em termos de dinâmica oceânica, a feição de maior importância encontrada nessa região é a CB, que será melhor descrita a seguir.

3.1. A CORRENTE DO BRASIL

A circulação de grande escala presente em ambos os hemisférios dos grandes oceanos do globo é influenciada, tanto na plataforma externa, talude e no fundo, pelos Giros Subtropicais, um sistema de circulação anticiclônica. Esses giros são anti-horários no Hemisfério Sul e horários no Hemisfério Norte.

No Oceano Atlântico Sul, o Giro Subtropical é constituído pela Corrente Sul Equatorial, fluindo do continente africano para o sul-americano; a Corrente do Brasil, com origem na bifurcação da Corrente Sul Equatorial e que flui em direção ao sul pela borda leste da costa brasileira; a Corrente do Atlântico Sul que flui para leste; e, por último, a Corrente de Benguela, fluindo pela costa africana em direção ao Equador

(para norte). A Corrente do Atlântico Sul pode ser tratada como uma extensão da CB, resultante do seu encontro com a Corrente das Malvinas (SILVEIRA *et al.*, 2000).

A bifurcação da Corrente Sul Equatorial tende a se deslocar progressivamente para sul, à medida que aumenta a profundidade. Isso acarreta um aumento do transporte com a latitude. Segundo MOREIRA (1997, *apud* MANO, 2007), o volume inicial da CB é de 2 a 4 Sv, aumentando a uma taxa de 5% a cada 100 km a partir de 24°S. Um esquema simplificado do Giro Subtropical no Atlântico Sul pode ser visualizado na Figura 3.

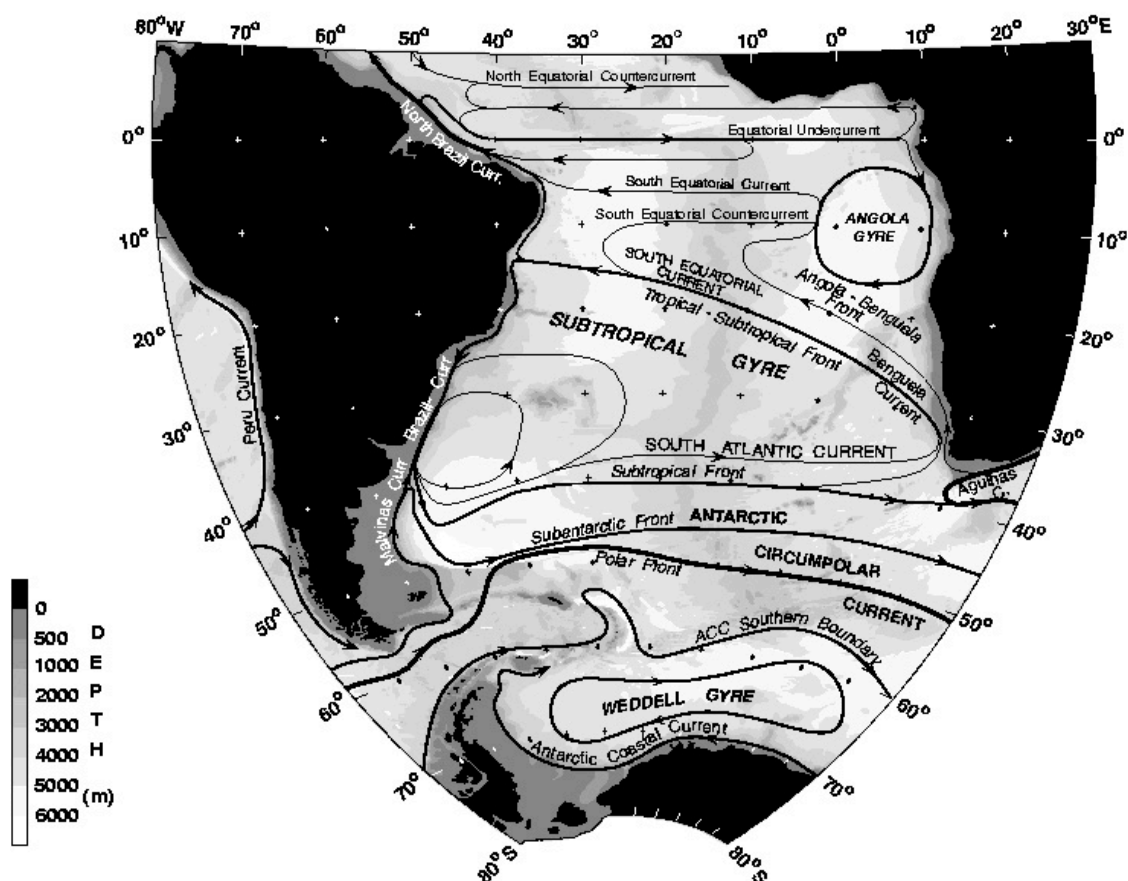


Figura 3: Representação esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul.

Fonte: CAMPOS *et al.*, 1999.

Resumindo, a CB é uma corrente de contorno oeste que flui para sul ao longo da costa leste brasileira, historicamente descrita como uma corrente de superfície quente e salina (ZEMBA, 1991). Possui a sua origem ao sul de 10° S, na separação da Corrente Sul Equatorial (CSE), onde também há a formação da Corrente Norte do Brasil (CNB), que fluirá ao longo da costa norte/nordeste brasileira (SILVEIRA *et al.*, 2000). RODRIGUES *et al.* (2007) evidenciou um ciclo anual, em que a bifurcação da

CSE migra de 10°S, em novembro, para 14°S, em julho.

A CB possui aproximadamente uma espessura de 400 m, variando ao largo do sudeste brasileiro. Esta corrente fecha o Giro Subtropical da bacia do Atlântico Sul, fluindo para sul até a Confluência Brasil-Malvinas, localizada entre 33°S e 38°S (SILVEIRA *et al.*, 2000).

A CB aliada à Corrente de Contorno Intermediária (CCI) e à Corrente de Contorno Profunda (CCP) forma um sistema de correntes de contorno oeste que ocupa 3.000 m na coluna d'água. A CCI é situada logo abaixo da CB e flui para norte, em seguida vem a CCP, fluindo novamente para sul (SILVEIRA, 2007). Nos níveis onde ocorre inversão de fluxo, os movimentos são quase nulos.

É importante ressaltar a diferença de terminologia encontrada na literatura: a CB refere-se à corrente fluindo para sul até aproximadamente 400 m de profundidade. Entretanto, o Sistema CB corresponde a toda coluna d'água, especificamente a hidrodinâmica associada à região de passagem da CB, que inclui a CCI e a CCP.

Dessa maneira, pode-se afirmar que a região do Sistema da CB é formada por diferentes massas d'água, que se distribuem em suas respectivas profundidades de equilíbrio, ou seja, onde as suas densidades encontram um nível de flutuação no meio. Em ordem de profundidade, o sistema CB é formado pelas seguintes massas d'água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Circumpolar Inferior (ACI).

A CB é caracterizada por muitos autores como sendo composta exclusivamente por AT e ACAS, ocorrendo da superfície até profundidades entre 450 e 750 m (MANO, 2007). Enquanto a CCI é composta basicamente pela AIA, sendo também pouco influenciada pela ACAS. Há um histórico de grande divergência na literatura sobre as massas d'água que realmente seriam partes constituintes da CB, sobretudo em regiões onde os fluxos da CB e CCI possuem mesma direção. Tendo em vista essa característica, ZEMBA (1991) considerou que além da AT e da ACAS, a APAN e a AIA também seriam integrantes da CB, utilizando um argumento cinemático. Contudo, as outras correntes de contorno oeste subtropicais não apresentam essa conexão entre as águas mais superficiais e as mais profundas (SILVEIRA *et al.*, 2000). A teoria mais aceita, atualmente, é a de que a CB seja composta exclusivamente por AT e ACAS.

3.1.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA

A determinação do limite vertical das massas d'água presentes no Sistema CB é motivo de discordância entre muitos autores. Segundo SILVEIRA (2007), o ponto comum na análise é que as interfaces e os núcleos só conseguem ser devidamente calculados abaixo da camada de mistura. Dessa maneira, algumas propriedades podem ser consideradas conservativas, como a temperatura (T) e a salinidade (S). A partir dessas duas variáveis, perfis verticais foram amplamente utilizados ao longo dos anos para delimitação dos limites das massas d'água. O mais conhecido é o diagrama de estado ou diagrama T-S. Para complementar a análise, estudos com os sais nutrientes (fosfatos, silicatos, nitrato, nitrito e amônio) e, principalmente, com o oxigênio dissolvido também têm sido realizados.

Na Figura 4, é apresentado um diagrama T-S para a região de estudo do trabalho, ressaltando também os principais limites das massas d'água em profundidade.

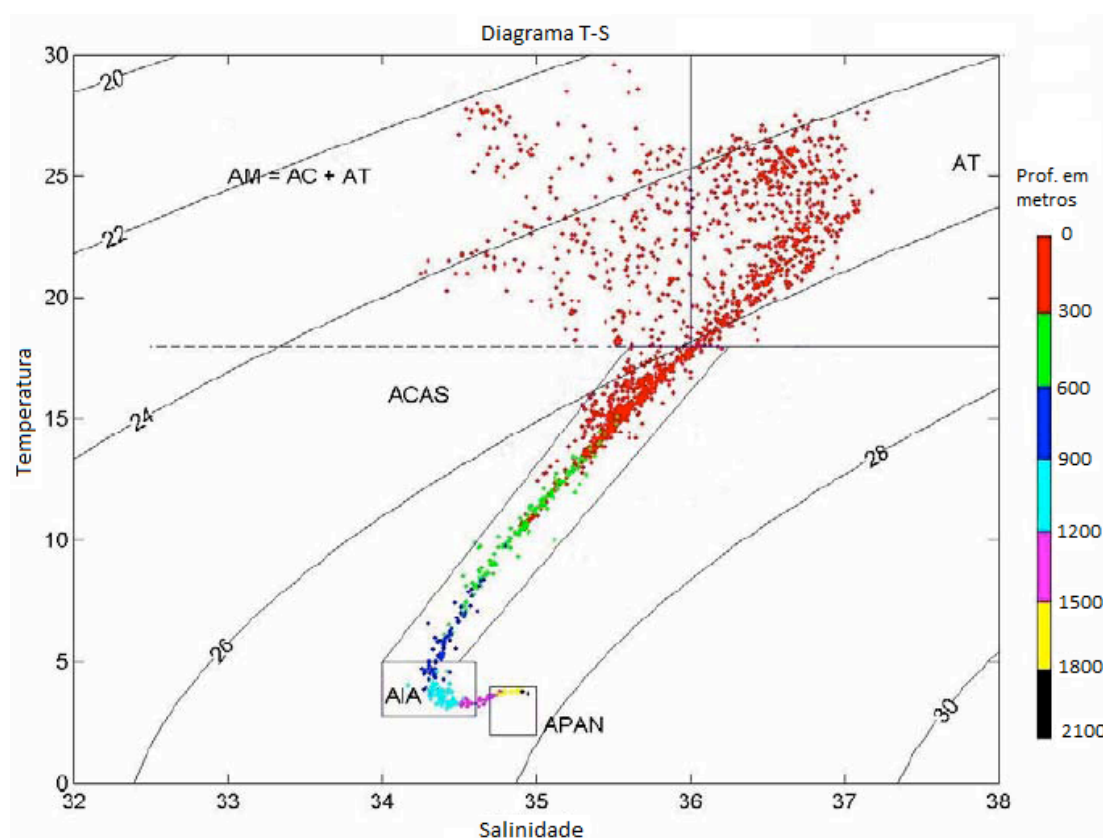


Figura 4: Diagrama T-S presente para a área de interesse com a estrutura vertical das massas d'água, bem como uma diferenciação da profundidade entre elas, baseada em uma escala de cor à direita.

Fonte: Adaptada de FRAGOSO (2004).

Na Tabela I é apresentada a revisão bibliográfica realizada por SILVEIRA (2007) para as superfícies isopícnais que representam 50% de mistura entre as massas d'água. A partir desses valores, SILVEIRA (2007) calculou os limites termohalinos a serem utilizados em seu estudo (Tabela II).

Tabela I: Valores das superfícies isopícnais, em kg m^{-3} , que representam as interfaces entre as massas d'água do Oceano Atlântico Sul, região do Giro Subtropical, na literatura.

Fonte: SILVEIRA (2007).

Referência	AT-ACAS	ACAS-AIA	AIA-ACS	ACS-APAN	APAN-ACI
MAMAYEV (1975)	25,70	26,80	-	-	-
MIRANDA (1985)	25,72	26,81	-	-	-
ZEMBA (1991)	-	27,10	27,30	27,57	27,88
STRAMMA; ENGLAND (1999)	25,70	27,10	-	27,53	-
LIMA (1997)	25,70	27,16	-	27,61	-
SCHMID <i>et al.</i> (2000)	-	27,00	27,35	-	-
MÉMERY <i>et al.</i> (2000)	25,60	26,90	27,38	27,53	27,88
GODOI (2005)	25,91	26,79	27,32	-	-
MATTOS (2006)	-	26,90	-	-	-

Tabela II: Limites termohalinos e espessuras das respectivas massas d'água.

Fonte: SILVEIRA (2007).

Massa de Água	Temperatura (°C)	Salinidade	Espessura (m)
AT	> 20	> 36,20	0 - 142
ACAS	20,00 - 8,72	36,20 - 34,66	142 - 567
AIA	8,72 - 3,46	34,66 - 34,42	567 - 1.060
ACS	3,46 - 3,31	34,42 - 34,59	1.060 - 1.300
APAN	3,31 - 2,04	34,59 - 34,87	1.300 - 3.260

A seguir, serão listadas as principais características das massas d'água presentes no Sistema Corrente do Brasil:

A **AT** faz parte do padrão da circulação de superfície do Giro Subtropical do Atlântico Sul. É formada devido à elevada radiação na região, responsável por tornar a evaporação maior que a precipitação, características comuns do Atlântico Tropical.

Esses fatores a tornam uma massa d'água quente e salina, sendo transportada para sul pela CB. À medida que esse percurso é realizado, vai misturando-se com águas costeiras frias e de baixa salinidade (SILVEIRA *et al.*, 2000).

À medida que a CB flui para sul, recebe contribuição da **ACAS**, uma massa d'água que apresenta seus limites definidos na região de picnoclina. A inclusão da ACAS no transporte da CB torna esta mais intensa e bem definida. Segundo PETERSON; STRAMMA (1991), o seu fluxo padrão não é um simples deslocamento para norte em toda Bacia do Atlântico Sul. Ela entra no Giro Subtropical, segue a Corrente do Atlântico Sul em direção à África, atinge a Corrente de Benguela, flui pela costa africana e chega à Corrente Sul Equatorial, pela qual será deslocada para a costa da América do Sul. Uma parte da ACAS encaminha-se ao Equador, enquanto a outra toma a direção sul. A inclusão da ACAS ao transporte da CB ocorre ao sul de 15°S (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Entretanto, segundo SILVEIRA *et al.* (2000), não existe consenso na literatura sobre o ponto exato de separação da ACAS, mas a maioria dos pesquisadores admite que ao sul do Cabo de São Tomé, a ACAS flui para sul.

A partir da mistura não isopícnal da AT e da ACAS com outras massas d'água de origem continental, ocorre a formação da Água Costeira (**AC**) (MIRANDA, 1982; CASTRO, 1996), caracterizada por sua baixa salinidade. A sua mistura com a AT, forma a chamada Água de Mistura (**AM**) (SILVA *et al.*, 1984).

A **AIA**, formada na Convergência Subantártica, ocorre logo abaixo da ACAS e flui em níveis subpicnoclínicos. Sua principal característica é a presença de um mínimo de salinidade no diagrama T-S. Há também uma grande divergência na literatura sobre o padrão de circulação dessa massa d'água. Alguns autores afirmam que o seu fluxo é similar ao da ACAS. Outros dizem que, após sua formação, a AIA desloca-se para norte (SILVEIRA, 2007). BOEBEL *et al.* (1999) comprovaram que a bifurcação da AIA ocorre dentro da Bacia de Santos, à longitude de 28 °S, ao qual denominaram “Bifurcação de Santos”. Esses autores viram, ainda, que na região do limite sul da Bacia de Santos, a AIA tende a fluir para sul.

Subjacente à AIA, encontramos a **ACS**, uma massa d'água formada numa região próxima à passagem de Drake e que flui para norte a uma profundidade de, aproximadamente, 1.000 m. É resultante da combinação entre a APAN e a Água Circumpolar (ACP): a APAN vinda de norte encontra a ACP na proximidade do Drake, dividindo-a em ACS e ACI (STRAMMA; ENGLAND, 1999).

Em termos de profundidade, a última massa d'água é a **APAN**, que ocupa

níveis entre 1.300 e 3.600 m. É formada no Mar do Labrador e apresenta um transporte organizado, fluindo para sul até a latitude de 32°S. A partir deste ponto, uma parte da corrente tende a fluir e retornar ao Equador, sendo caracterizada como a CCP. A APAN representa o segundo mínimo de salinidade no diagrama T-S (SILVEIRA, 2007).

3.1.2. TRANSPORTE DE VOLUME

A estrutura vertical do Sistema CB é composta pela CB fluindo em direção ao sul/sudeste até os primeiros 300-400 m de profundidade, e após esse ponto, ocorre uma inversão do fluxo representado pela CCI, com núcleo máximo de velocidade em 800-1.000 m (SILVEIRA *et al.*, 2000). Na Figura 5, são apresentadas a CB e a CCI e sua estruturação vertical nas proximidades do Cabo de São Tomé, simuladas pelo Modelo Oceânico da Universidade de Princeton (POM), que a partir de um campo de massa observado, consegue calcular as velocidades baroclínicas absolutas (SILVEIRA, 2007). Nota-se que a CB aparece confinada aos primeiros 500 m de coluna d'água.

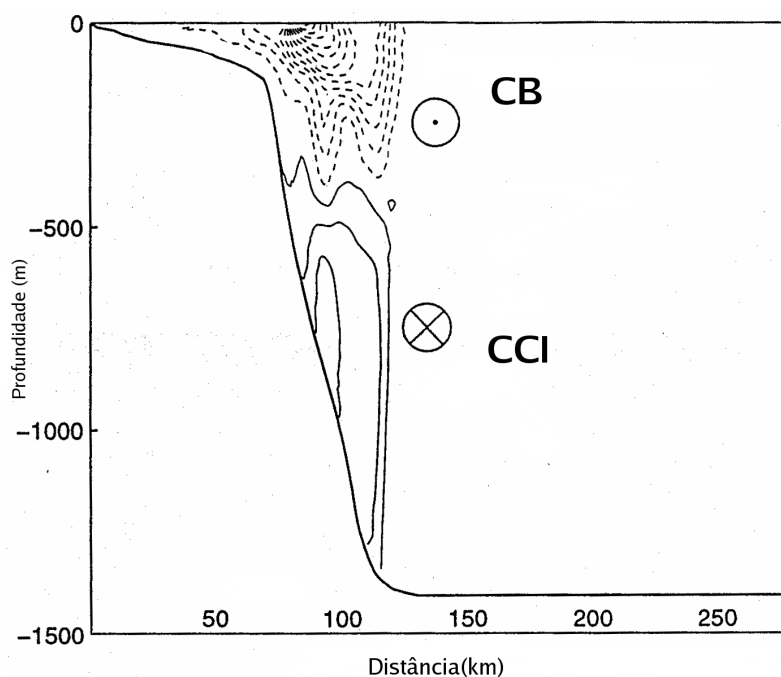


Figura 5: Seção com velocidades baroclínicas absolutas de uma região normal ao Cabo de São Tomé (22°S), modelada pelo POM. Os contornos apresentados têm intervalos de $0,1 \text{ m s}^{-1}$, variando entre $-1,25 \text{ m s}^{-1}$ e $0,35 \text{ m s}^{-1}$. Os contornos tracejados indicam velocidades para sul, já os cheios para norte.

Fonte: SILVEIRA, 2007.

Há uma baixa densidade na medição direta de dados de velocidade para a CB, em comparação com outras correntes de contorno oeste, como a CG ou a Corrente de Kuroshio, no Pacífico Norte. Dessa maneira, também é escasso o número de trabalhos que basearam seus estudos nessa forma de obtenção de dados. Os principais resultados encontrados na literatura científica para o transporte da CB foram obtidos a partir do cálculo geostrófico.

STRAMMA *et al.* (1990) concluíram, com base no cálculo geostrófico, que a CSE se divide em uma corrente forte, a CNB, com 12 Sv a 7°S, e em uma corrente fraca, como a CB, carregando 4 Sv a 12°S. Esses autores ainda perceberam que a CB, com início em 10°S, rumaria para sul ao longo da plataforma continental e após percorrer 2° a sua velocidade em superfície poderia exceder 70 cm s⁻¹, entre 10 e 20°S, o seu transporte seria entre 1 e 6 Sv (1 Sv = 10⁶ m³ s⁻¹). De acordo com Silveira *et al.* (2000), em 15°S, a CB tende a se afastar da costa devido ao alargamento da plataforma, embora às vezes ela meandre novamente em direção à costa. O transporte estimado para essa região é de aproximadamente 6 Sv.

Na Tabela III, são apresentados valores encontrados na literatura para as estimativas de transporte de volume e velocidade máxima da CB entre 9°S e 31°S.

Pela análise dos resultados obtidos por esses autores, percebe-se que à medida que a CB alcança maiores latitudes, o seu transporte aumenta. Entre 23°30'S e 25°S, área focal deste estudo, o transporte mínimo apresentado neste levantamento bibliográfico foi de -4,1 Sv (EVANS *et al.*, 1983 *apud* SILVEIRA, 2007), e o máximo, de -13,2 Sv (SIGNORINI, 1978 *apud* SILVEIRA, 2007). A velocidade mínima obtida, para essa mesma região foi de -0,25 m s⁻¹ (FISHER, 1964 *apud* SILVEIRA, 2007), e a máxima, -0,68 m s⁻¹ (SIGNORINI, 1978 *apud* SILVEIRA, 2007).

Além do aumento do transporte de volume, à medida que a CB flui para sul, também é possível observar um aumento dos valores de profundidade utilizados como níveis de referência na Tabela III. BOECHAT *et al.* (2013) analisaram resultados numéricos do MyOcean – especificamente os referentes a níveis de movimento nulo relacionados à componente meridional de correntes – para 9 radiais entre o Cabo de São Tomé e a Bacia de Pelotas (Figura 6) e os resultados obtidos são coerentes: há um aprofundamento da CB em direção ao sul da costa brasileira (Figura 7).

Tomando por base as radiais de BOECHAT *et al.* (2013) mais próximas à área de estudo do presente trabalho, nota-se que a profundidade da CB obtida foi de 334,8 m (radial 2) e 414,5 m (radial 3). Já, as profundidades de referência levantadas na Tabela III indicam profundidades entre 500 m (EVANS *et al.*, 1983 *apud* SILVEIRA,

2007; SIGNORINI, 1978 *apud* SILVEIRA, 2007) e 750 m (CAMPOS *et al.*, 1995 *apud* SILVEIRA, 2007).

Tabela III: Estimativas para o transporte de volume e para a velocidade máxima da CB ao longo da costa leste brasileira. Sinais negativos representam a direção sudoeste da corrente.

Fonte: Adaptada de SILVEIRA *et al.* (2000) e SILVEIRA (2007).

Latitude	Prof. referência (m)	Transporte (Sv)	Velocidade (m s ⁻¹)	Referência
9°-13°S	390 - 510	-4,1	-0,31	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
15°S	470 - 530	-6,0	-0,16	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
19°S	500	-6,5	-0,72	MIRANDA; CASTRO FILHO (1981)
19°S	500	-5,3	-0,50	EVANS <i>et al.</i> (1983)
19°25'S	470 - 640	-5,7	-0,19	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
20°3'S	590 - 630	-1,6	-0,24	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
20°28'S	500/1000	-3,8/6,8	-0,52	EVANS <i>et al.</i> (1983)
21°S	600	-9,4	-	SCHMID <i>et al.</i> (1995)
21°S	numérico	-6,7	-0,83	SILVEIRA <i>et al.</i> (2005)
21°S	numérico	-7,9	-0,60	SILVEIRA <i>et al.</i> (2005)
21°40'S	500	-4,4	-0,61	EVANS <i>et al.</i> (1983)
22°S	600	-5,2	-0,55	SIGNORINI (1978)
22°S	fundeio	-5,5±2,6	-	LIMA (1997)
22°S	numérico	-7,1	< -0,55	LIMA (1997)
22°S	numérico	-5,1±3,2	-	FRAGOSO (2004)
22°S	numérico	-5,1±1,5	-	BOECHAT (2012)
23°S	600	-6	-0,7	SIGNORINI (1978)
23°S	550	-2,2/-2,7	-0,49	MIRANDA; CASTRO FILHO (1979)
23°S	Pegasus	-11	-0,5	EVANS; SIGNORINI (1985)
23°S	Pegasus	-6	-0,7	GARFIELD (1990)
23°S	600/1300	-10,1/10,9	-	STRAMMA (1989)
23°S	fundeio	-1,3	-0,28	MULLER <i>et al.</i> (1998)
23°30'S	600	-9,4	-0,55	SIGNORINI (1978)
24°S	1300	-7,5	-0,25	FISHER (1964)
24°S	600	-7,5	-0,57	SIGNORINI (1978)
24°S	500/1000	-4,1/-7,8	-0,31	EVANS <i>et al.</i> (1983)
24°S	600/1300	-9,4/-10,1	-	STRAMMA (1989)
24°S	750/900	-7,3/-8,8	-	CAMPOS <i>et al.</i> (1995)
24°30'S	500 - 1300	-13,2	-0,68	SIGNORINI (1978)
25°S	750	-7,3	-0,6	CAMPOS <i>et al.</i> (1995)
28°S	Correntômetro	-16	-	MULLER <i>et al.</i> (1998)
28°-30°S	1550 - 1600	-11,4	-0,7	FISHER (1964)
31°S	Pegasus	-18	-0,8	GARFIELD (1990)

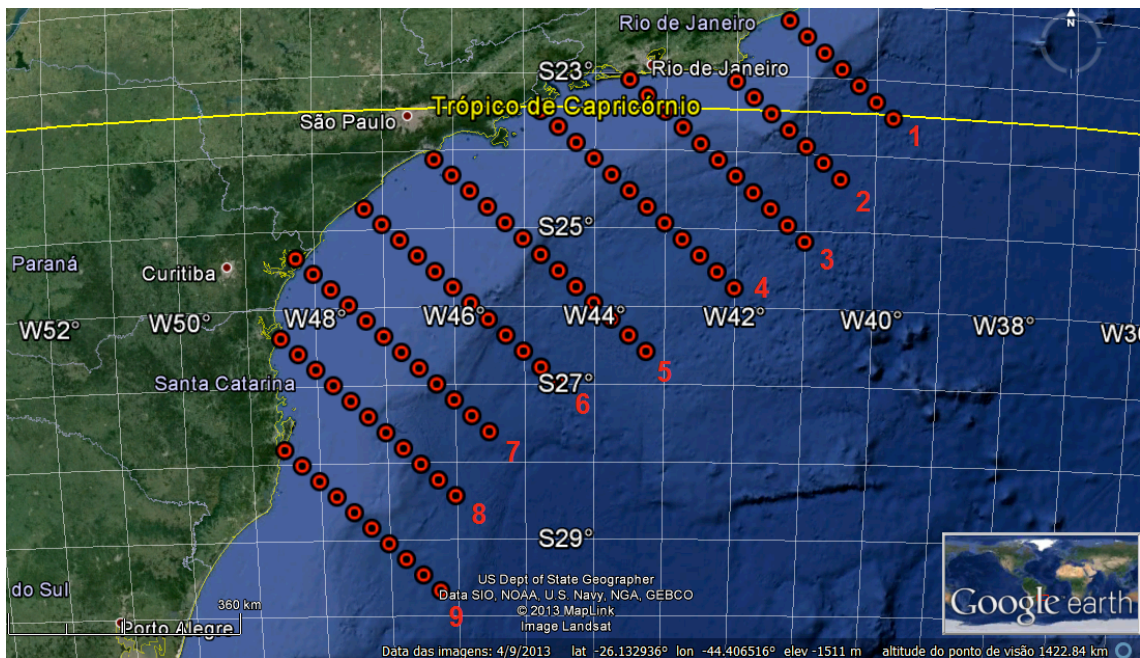


Figura 6: Localização das nove radiais utilizadas no estudo de BOECHAT *et al.* (2013).

Fonte: BOECHAT *et al.* (2013).

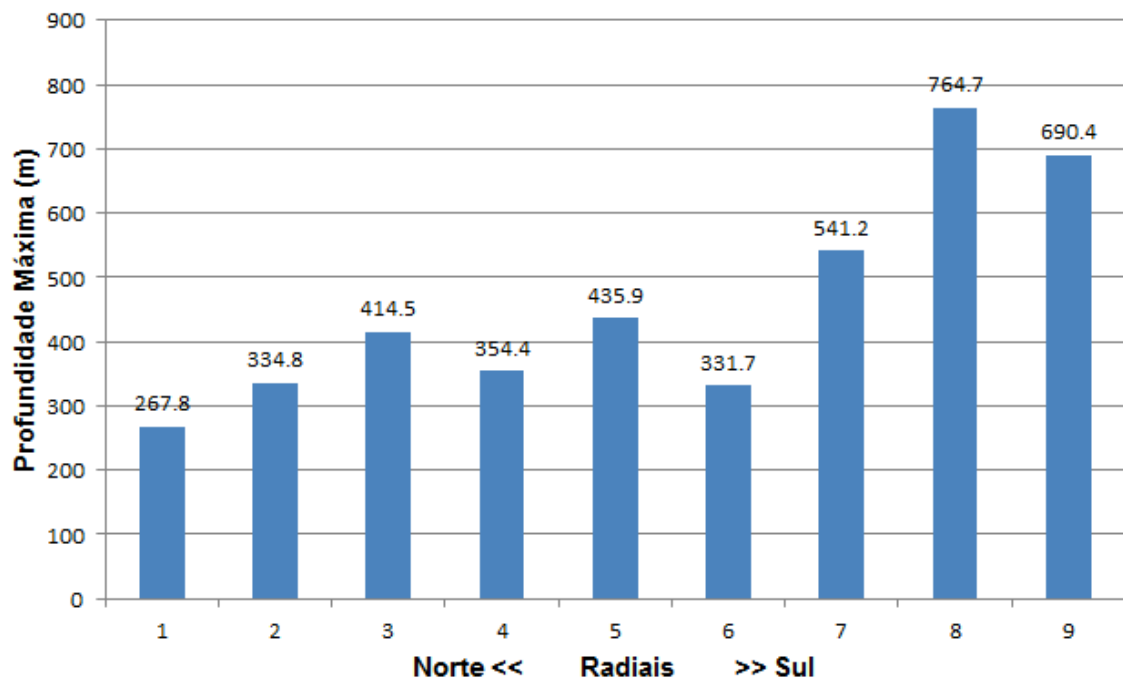


Figura 7: Profundidades máximas da CB obtidas para cada radial, a partir das médias mensais de todo o período analisado (2004 a 2010).

Fonte: BOECHAT *et al.* (2013).

Outro estudo interessante que retrata também essa questão é o de ROCHA *et al.* (2014), o qual descreve com detalhes como o fluxo da CB se comporta ao longo da

Bacia de Santos. Para tal, os autores analisaram e compararam dados de 4 fundeios (Figura 8) com outros trabalhos similares para a região (e.g. EVANS; SIGNORINI, 1985; MULLER *et al.*, 1998; SILVEIRA *et al.*, 2000). Os resultados obtidos revelaram a intensificação da CB para sul – variando entre $0,31 \pm 0,12 \text{ m s}^{-1}$, próximo a 23°S , e $0,5 \pm 0,05 \text{ m s}^{-1}$, a $25,5^\circ\text{S}$ – e o seu alargamento – 350 m de profundidade no norte da Bacia de Santos e 900 m no seu limite mais a sul.

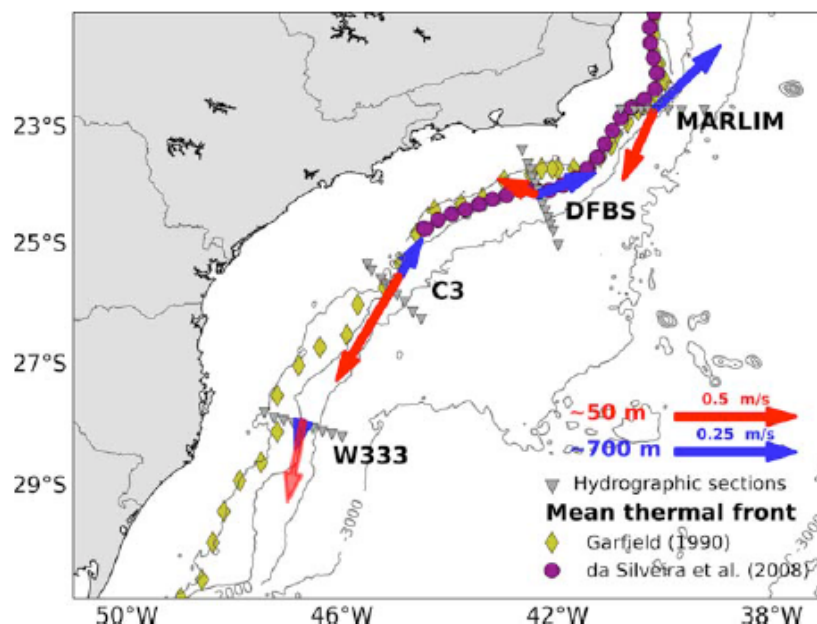


Figura 8: Localização dos quatro fundeios, cujos dados obtidos foram analisados por ROCHA *et al.* (2014).

Fonte: ROCHA *et al.* (2014).

3.1.3. FORMAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MESOESCALA

Assim como outras correntes de contorno oeste, como a CG e a Corrente de Kuroshio, a CB exibe intensa atividade de mesoescala ao longo do seu escoamento. Alguns nomes diferenciais são dados às estruturas formadas devido à atividade de mesoescala da CB, entre elas, meandros, vórtices e anéis. Alguns autores estabelecem que uma feição só pode ser considerada como vórtice quando um meandramento passa a ser uma estrutura circular fechada. Entretanto, CALADO (2006) generaliza o conceito de vórtice, especificando este como referente ao termo anel e meandro.

Vórtices normalmente possuem largura de 100 km ou menos e podem ser classificados como transientes, com duração de alguns dias, ou como semi-permanentes ou permanentes, com período de atividade da ordem de alguns meses.

Devido à reduzida escala a qual os vórtices participam, a sua retratação fiel em modelos numéricos é complicada: são necessárias grades com alta resolução espacial e temporal. Isso torna o esforço de simulação substancialmente maior – 10 vezes maior na resolução espacial e 1.000 vezes maior na resolução temporal, em comparação com um modelo atmosférico com o intuito de simular um domínio global para o mesmo período (BRYAN, 2008).

Segundo SILVEIRA *et al.* (2000), uma das primeiras descrições de meandramentos e vórtices da CB foi feita por MASCARENHAS *et al.* (1971), que a partir de mapas de topografia dinâmica, descreveram vórtices e meandros na região de Cabo Frio e indicaram que a possível formação dessas estruturas seria decorrente das feições topográficas da região.

Com o avanço dos estudos sobre a formação de estruturas de mesoescala ao longo da costa brasileira (SIGNORINI; 1978, VELHOTE; 1998, GONÇALVES; 2000, FERNANDES; 2001, CALADO; 2001, GODOI; 2005, CALADO; 2006, MATTOS; 2006), foi possível a determinação das três principais regiões com elevada taxa de formação de meandros e vórtices: Vitória (20°S), Cabo de São Tomé (22°S) e Cabo Frio (23°S). Uma representação dessas regiões e dos respectivos vórtices gerados é apresentada na Figura 9.

A Figura 10 apresenta o meandramento da CB e a formação de estruturas vorticais a partir de imagens de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

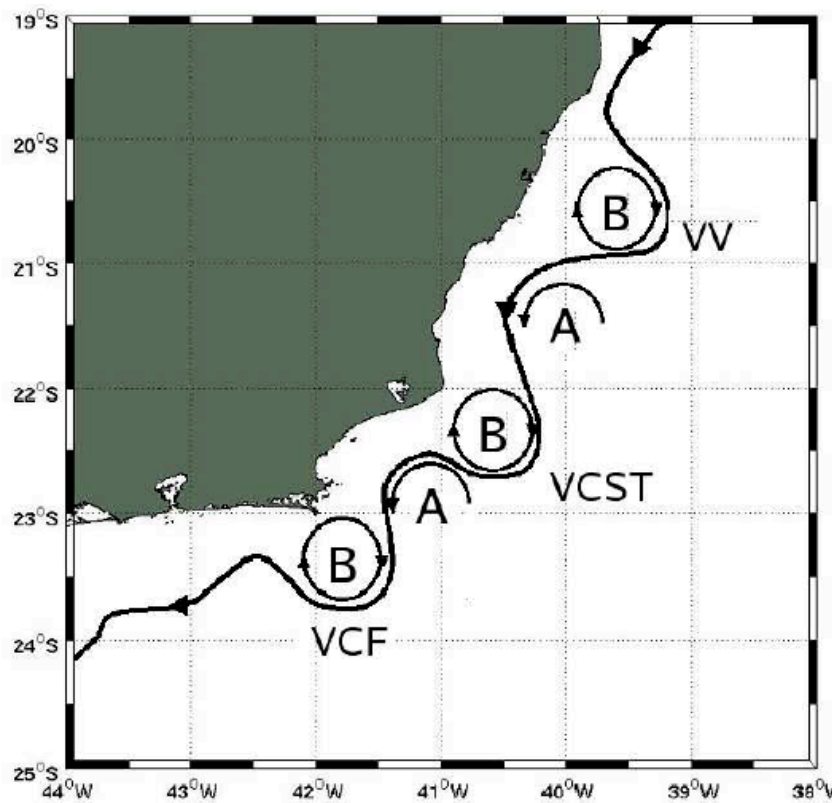


Figura 9: Representação do trem de ondas formado pela atividade de mesoescala na CB, com destaque para o Vórtice de Vitória (VV), Vórtice do Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF). A letra “A” representa os centros de alta pressão e a letra “B” os centros de baixa pressão.

Fonte: CALADO (2006).

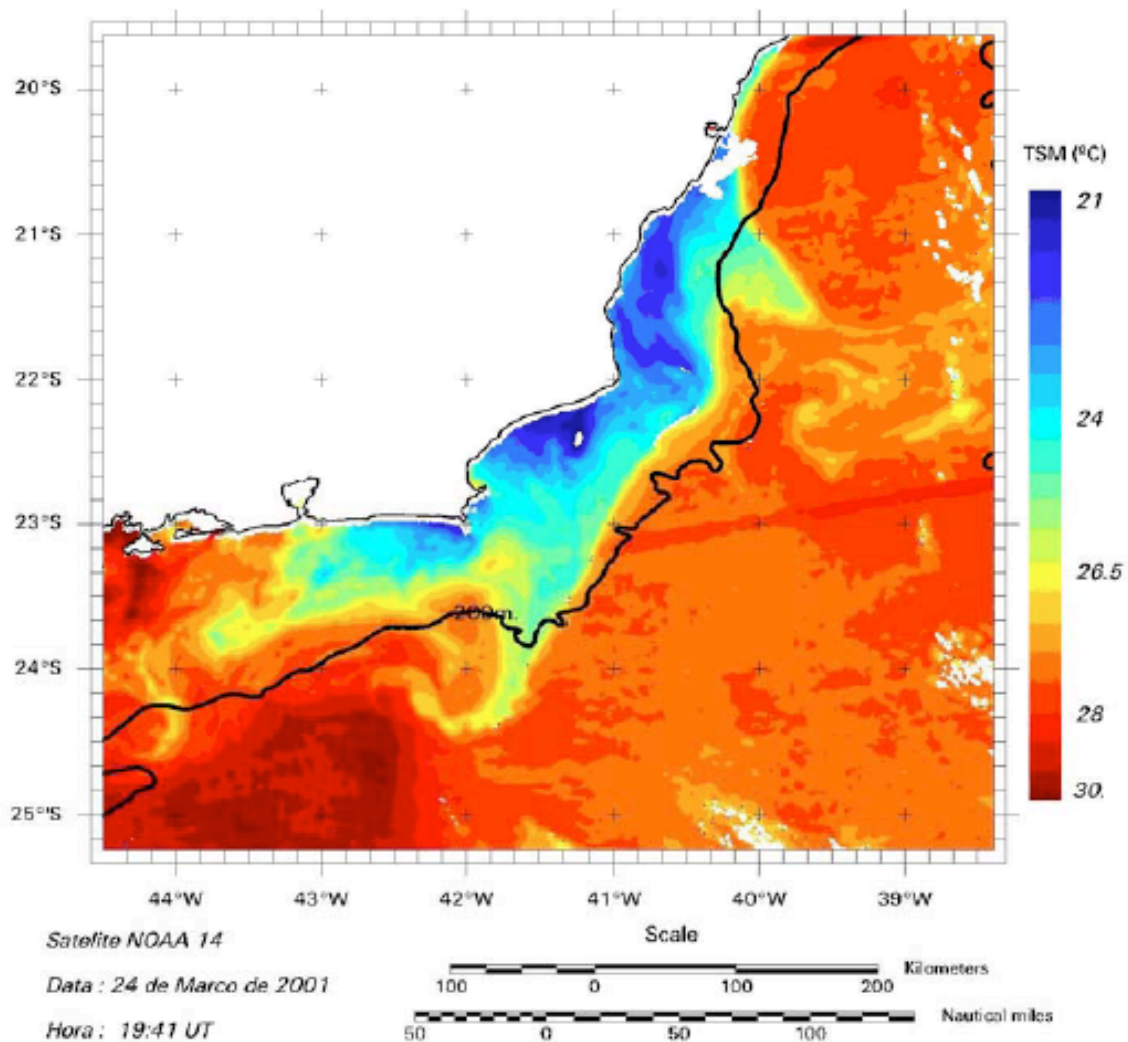


Figura 10: Carta-imagem da TSM processada pelo INPE do dia 24 de março de 2001 mostrando feições vorticais próximas ao Cabo de São Tomé e Cabo Frio.

Fonte: Adaptada de FRAGOSO (2004).

Segundo CAMPOS *et al.* (1995, *apud* MATTOS, 2006), o meandramento na região de interesse deste estudo é causado pela abrupta mudança da orientação da costa e pelo consecutivo gradiente de topografia de fundo gerado. A partir de Cabo Frio, a plataforma continental deixa de possuir uma orientação nordeste-sudoeste, passando a leste-oeste. No ponto em que essa mudança de sentido ocorre, a corrente continua por inércia a se movimentar para sul, atingindo regiões de maiores profundidades. Seguindo a lei da conservação de vorticidade potencial, a CB adquire vorticidade relativa negativa (ciclônica). Esse ganho de vorticidade ciclônica faz com que a corrente flua em direção à plataforma continental. Novamente, por inércia, a corrente atinge menores profundidades, adquirindo agora vorticidade relativa positiva (anticiclônica). A continuidade deste processo ao longo do escoamento da CB confere a esta feição a sua assinatura meandrante, como uma onda de vorticidade topográfica

barotrópica. A Figura 11 apresenta um desenho esquemático desta hipótese.

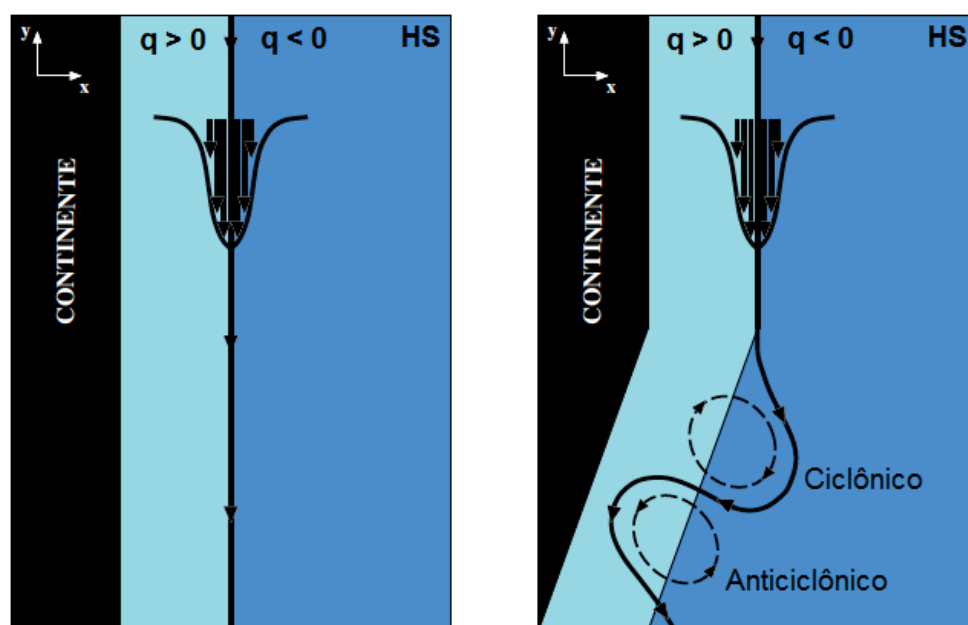


Figura 11: Desenho esquemático da hipótese de CAMPOS *et al.* (1995) para a formação de meandros e vórtices da CB ao longo do sudeste brasileiro (Hemisfério Sul – HS): à esquerda, a costa é orientada meridionalmente, o que não contribui para a formação de estruturas de mesoescala; à direita, a mudança de orientação da costa, que ocorre na região de Cabo Frio, permite o meandramento da CB.

Fonte: Adaptada de MATTOS (2006).

Entretanto, segundo CALADO (2001), a conservação da vorticidade potencial não seria suficiente para o aumento da amplitude das estruturas meandantes e o seu possível fechamento em vórtices e/ou anéis.

Resultados obtidos por SILVEIRA (2007) indicam que a causa para a propagação e o crescimento de meandros é a instabilidade baroclínica presente no sistema CB-CCI. Um aumento na intensidade do cisalhamento vertical ocorre devido à presença da CCI subjacente à CB, surtindo no surgimento de processos de instabilidade baroclínica na região.

A formação dessas estruturas de mesoescala influencia a circulação oceânica, como por exemplo, no transporte de volume. Entretanto, a consequência mais conhecida no ramo científico da ação dessa específica dinâmica da CB é a sua potencial relevância no processo de ressurgência. CAMPOS *et al.* (1995 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000) focaram no processo da formação ciclônica a partir da CB e concluíram que essas estruturas, provavelmente, induzem a “ressurgência de quebra de plataforma” na Bacia de Santos, levando ACAS a regiões mais rasas.

Estima-se que os vórtices gerados podem entrar em porções interiores do Giro Subtropical ou serem reabsorvidos pela CB (SILVEIRA, 2007).

4. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste em analisar os dados obtidos pelo Projeto Azul, principalmente aqueles medidos com os *gliders*, equipamento que será mais bem descrito de forma mais detalhada a seguir. Dessa forma, pretende-se obter um padrão climatológico sazonal e/ou mensal, como o descrito no item 2 (Objetivos).

Esses dados vêm sendo coletados desde março de 2013 até o presente (sendo este limitado no dia 13 de janeiro de 2015) – totalizando ~2 anos de medições – em uma radial localizada no extremo norte da Bacia de Santos, apresentada na Figura 1 (item 3 – Área de Estudo).

4.1. O PROJETO AZUL

O Projeto Azul é um projeto de pesquisa oceanográfico criado pela parceria multi-institucional entre a BG Brasil, a Prooceano e o laboratório LAMCE da COPPE-UFRJ. A BG Brasil é responsável pelo investimento de capital e patrocínio, e a Prooceano e o LAMCE são responsáveis pela obtenção, tratamento dos dados e modelagem oceânica. O papel de cada uma dessas duas instituições será discutido mais claramente a seguir.

Com início em julho de 2012 e previsão de 3 anos de duração, o projeto tem o principal objetivo de desenvolver um SOO para a região da Bacia de Santos, integrando técnicas de modelagem computacional e aquisição de dados em tempo real na região de interesse. Tais dados vêm sendo adquiridos a partir de um inédito programa de coleta aplicado de forma contínua e sistemática na Bacia de Santos, com o uso de derivadores, *gliders*, perfiladores e sensores remotos a bordo de plataformas orbitais.

Além de dados sobre a dinâmica oceânica, são coletados dados de temperatura, condutividade (da qual pode ser obtida a salinidade), oxigênio dissolvido, clorofila, cor e matéria orgânica, entre outros parâmetros.

A metodologia proposta pelo Projeto Azul baseia-se na interação entre três áreas de trabalho principais: modelagem computacional oceânica, coleta de dados oceanográficos e divulgação das informações geradas – todos as informações e dados obtidos estão disponíveis ao público na página do projeto

<http://www.prooceano.com.br/projetoazul/>.

Para implementar um SOO operacional que possa oferecer não somente informações diagnósticas da dinâmica oceânica, mas também prognósticas, é de fundamental importância que se desenvolva um sistema de assimilação de dados, os quais sejam coletados pelo modelo oceânico regional utilizado. Apenas dessa forma torna-se possível a obtenção de resultados diagnósticos e prognósticos consistentes para a região em que se deseja implementar um sistema de observação oceânica.

A equipe composta pelos pesquisadores do LAMCE é responsável pela área de pesquisa relacionada à implementação e execução do modelo oceânico computacional a ser utilizado para a construção do sistema de observação oceânica para a Bacia de Santos. Dessa forma, essa equipe foi subdividida em cinco subgrupos de pesquisa, a saber: modelagem oceânica, análise de dados oceanográficos, assimilação de dados oceanográficos, modelagem atmosférica e sensoriamento remoto.

Já, a equipe da Prooceano é responsável pela coordenação técnica e pela coleta e divulgação dos dados oceânicos *in situ*. Toda a logística das campanhas de campo, como a execução das medições e o lançamento dos equipamentos (*gliders*, derivadores e perfiladores) está sob sua responsabilidade, bem como a manutenção desses equipamentos no oceano e ainda a divulgação de todos os resultados, informações e campanhas realizadas.

4.1.1. GLIDERS

Os *gliders* são veículos autônomos submersíveis, em inglês denominados como *Autonomous Underwater Vehicles* (AUVs). São relativamente pequenos, programáveis, reutilizáveis e muito mais econômicos quando comparados a uma expedição oceanográfica ou à instalação de fundeios. Eles monitoram correntes, temperatura e outras condições que revelam efeitos de tempestades, impactos sobre a pesca e qualidade de água (IOOS, 2013).

O princípio de coleta de dados desses robôs é a obtenção de perfis em trajetos predeterminados, podendo recolher informações tanto de águas profundas, bem como em superfície. A produção dos *gliders* não é exclusiva a um único fabricante, sendo diversas as instituições e empresas que os desenvolvem. Entre as marcas mais conhecidas estão o *Seaglider* (desenvolvido pela Universidade de Washington), o *Gulper* (Monterey Bay Aquarium Research Institute – MBARI), *Slocum* (Teledyne),

Wave (Liquid Robotics) e o *Spray* (parceria entre o *Scripps Research Institute* e o *Woods Hole Oceanographic Institute* – WHOI) (IOOS, 2013).

Como neste estudo serão utilizados dados recolhidos pelo equipamento de modelo *Seaglider*, este será descrito a seguir.

4.1.1.1. SEAGLIDER

O *Seaglider* (Figura 12) foi desenvolvido na Universidade de Washington, tendo um centro especial para seu desenvolvimento, o *Seaglider Fabrication Center* (SFC). O SFC é uma divisão da Escola de Oceanografia da universidade (SFC, 2014). Em junho de 2008, a *iRobot* recebeu uma licença de cinco anos para produzir o *Seaglider* fora da universidade. Finda essa licença, em maio de 2013, foi anunciada um novo acordo de licença com a *Kongsberg Underwater Technology Inc.* de Lynnwood – Washington. Esse acordo prevê que a Kongsberg poderá produzir, vender e posteriormente desenvolver o *Seaglider* (SFC, 2014).



Figura 12: *Seaglider* utilizado no Projeto Azul.

O *Seaglider* pode operar de 50 a 1.000 m de profundidade e cobrir distâncias horizontais de até 6.000 km. Eles possuem, ainda, autonomia de bateria para permanecerem no oceano por meses sem necessidade de manutenção, e sendo comandados apenas remotamente, por telemetria IRIDIUM (ERIKSEN *et al.*, 2001;

HÁTÚN *et al.*, 2007). Coletam dados de temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, clorofila, condutividade (da qual pode ser obtida a salinidade), matéria orgânica dissolvida, entre outros, dependendo do tipo de sensor com o qual ele estiver equipado.

A estruturação do *Seaglider* é bem simples: um casco de pressão, no qual estão acoplados as asas, o leme e as antenas. Sua forma foi escolhida de modo que ele realizasse o menor arrasto possível na água. Os *gliders* não possuem motores, a propulsão ocorre pelo deslocamento de volume no interior do veículo. As asas, por sua vez, fornecem a elevação hidrodinâmica necessária para impulsionar o veículo para frente, quando ele sobe ou desce. Já, o leme gera a estabilidade necessária para que o *glider* se mova para a frente (ERIKSEN *et al.*, 2001).

O *Seaglider* é operado remotamente a partir de linhas de comando. Quando o equipamento está em superfície, ele transmite os dados coletados a partir de sua antena e capta os comandos para a próxima missão.

O piloto, como é chamado quem programa e controla o *Seaglider* ao longo dos mergulhos, pode programar a frequência com que os dados são coletados. Os sensores podem ser ligados ou desligados remotamente, ou o seu acionamento pode ser ativado/desativado em determinada profundidade. O *Seaglider* pode ser programado para algum ponto-alvo específico, mas a forma como ele atinge esse ponto é decidido da forma mais eficiente pelo seu sistema de navegação.

O *Seaglider* possui uma média de 8 mergulhos por dia, em profundidades de 1.000 m, mas esse número pode variar. No total, espera-se uma média de 40 mergulhos por semana. Na Figura 13, é apresentada uma representação esquemática das perfilagens realizadas pelo *Seaglider* e da transmissão de dados em superfície.

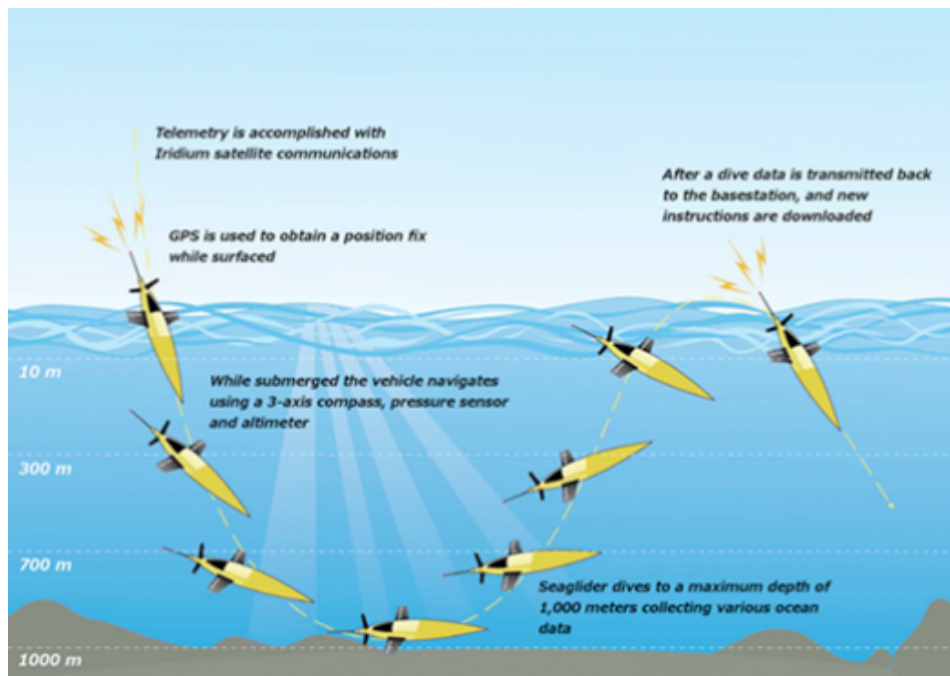


Figura 13: Representação esquemática de um perfil realizado por um *Seaglider*.

Fonte: FASTWAVE (2008).

A duração de cada mergulho varia com o desejo de profundidade alcançada, mas em média corresponde a 3 horas por mergulho, com velocidade média de 0,1 a 0,15 cm s⁻¹. Normalmente, a maior eficiência no deslocamento do *Seaglider* ocorre em água mais profundas, já que as correntes tendem a ser menos intensas em profundidade, o que diminui o esforço do equipamento em manter a rota traçada (IROBOT, 2012).

Maiores informações sobre o *Seaglider* são apresentadas no Anexo II. O Anexo III e o Anexo IV apresentam, respectivamente, uma breve descrição dos derivadores e perfiladores utilizados também nas medições do Projeto Azul.

4.2. SEPARAÇÃO SAZONAL

Alguns dos resultados que serão apresentados neste estudo, foram divididos de acordo com a sazonalidade. Dessa forma, os períodos definidos para cada estação do ano foram os seguintes:

- Primavera – setembro a novembro;
- Verão – dezembro a fevereiro;
- Outono – março a maio;

- Inverno – junho a agosto.

4.3. PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS GLIDERS

Como já especificado, os dados obtidos pelos *gliders* do Projeto Azul, que foram utilizados no presente estudo, compreendem o período entre 05 de março de 2013 e 13 de janeiro de 2015. A proposta idealizada pelo projeto para a coleta desses dados consistiu na continuidade de perfilagens ao longo de uma radial, especificada na Figura 1, considerando sempre a presença de um *glider* na água.

No total, foram utilizados 4 *gliders* distintos nessas medições, nomeados em homenagem a deuses marinhos da mitologia – Iara, Netuno, Dylan e Aegir –, os quais eram revezados de acordo com a necessidade de troca de bateria e/ou manutenção.

Todos os dados medidos pelos *gliders* precisaram ser tratados. Para tal, foi empregada a curva normal de distribuição de frequência (ou distribuição gaussiana), sendo eliminados os valores diferentes da média ± 2 vezes o seu desvio padrão.

Após este tratamento, era necessário adaptar todos os perfis as mesmas profundidades de medição, sendo feita a interpolação dos dados para profundidades pré-estabelecidas: variando de 5 em 5 m da superfície até 100 m, de 25 em 25 m até 500 m, e de 50 em 50 m até 1.000 m.

Por último, os perfis foram organizados a partir de uma promediação entre os dados coletados na descida e na subida de cada mergulho. Os dados de tempo, latitude e longitude foram referenciados através das médias entre os valores obtidos no instante de início e no instante final do mergulho.

4.3.1. DELIMITAÇÃO GEOGRÁFICA

Uma vez realizadas as etapas descritas acima, foi necessária a separação de quais perfis seriam utilizados nas análises propostas pelo estudo. Apesar da adoção de uma radial para as medições (Figura 1), não foi sempre possível manter o *glider* perfilando da forma idealizada, pois são envolvidas questões que dificultam a pilotagem do equipamento e interferem no seu deslocamento, como correntes mais intensas e/ou a presença de vórtices. A Figura 14 apresenta a localização de todos os 4.798 perfis medidos pelos *gliders* durante o período definido para análises (de 05/03/2013 a 13/01/2015), o que evidencia a dificuldade de manter o equipamento sobre a radial ideal.

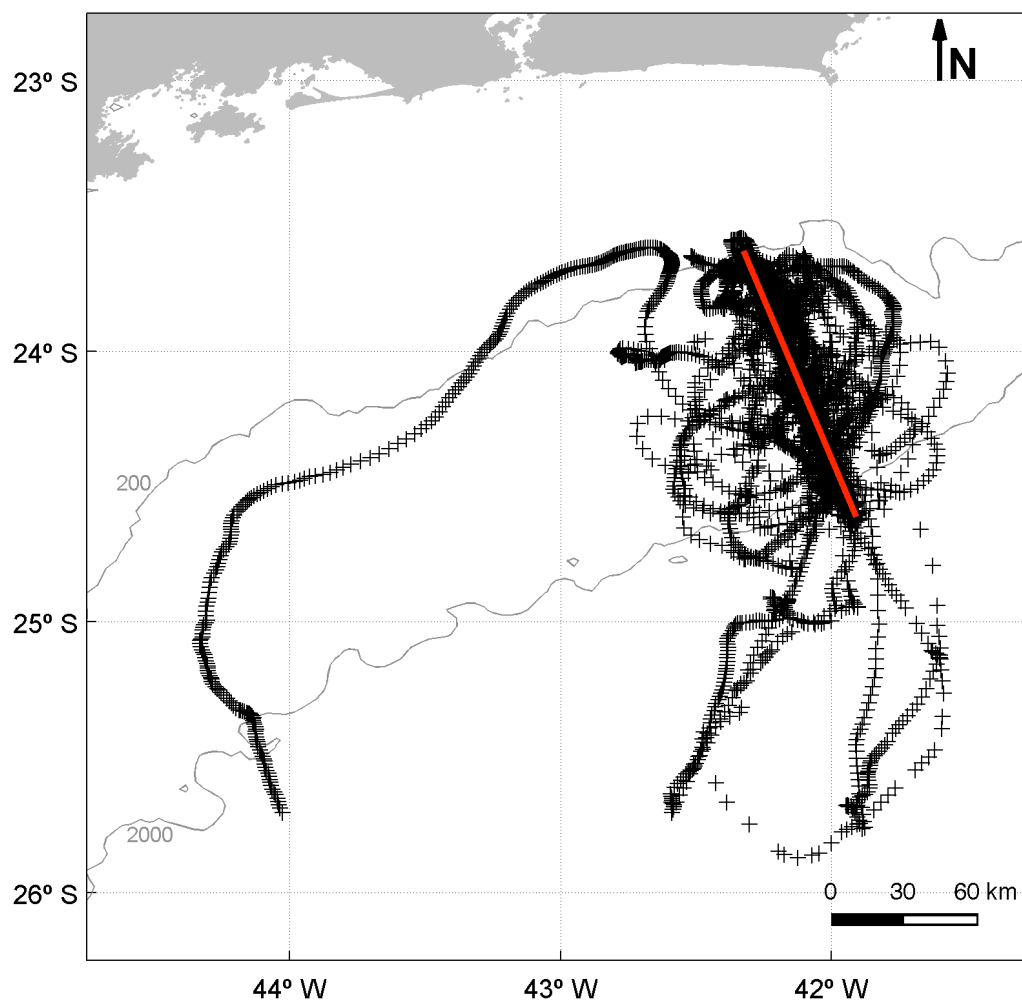


Figura 14: Mapa com os pontos de todos os perfis medidos pelos *gliders* do Projeto Azul para o período entre 05/03/2013 e 15/01/2015, representados pelos pontos em preto. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

Dessa forma, para a separação dos perfis a serem analisados, foi proposto um polígono de delimitação com comprimento igual ao da radial e com largura de 30 km – 15 km para cada lado da radial – como é apresentado na Figura 15. Esta largura foi definida por ser equivalente ao raio de Rossby descrito para a região (HOURY *et al.*, 1987).

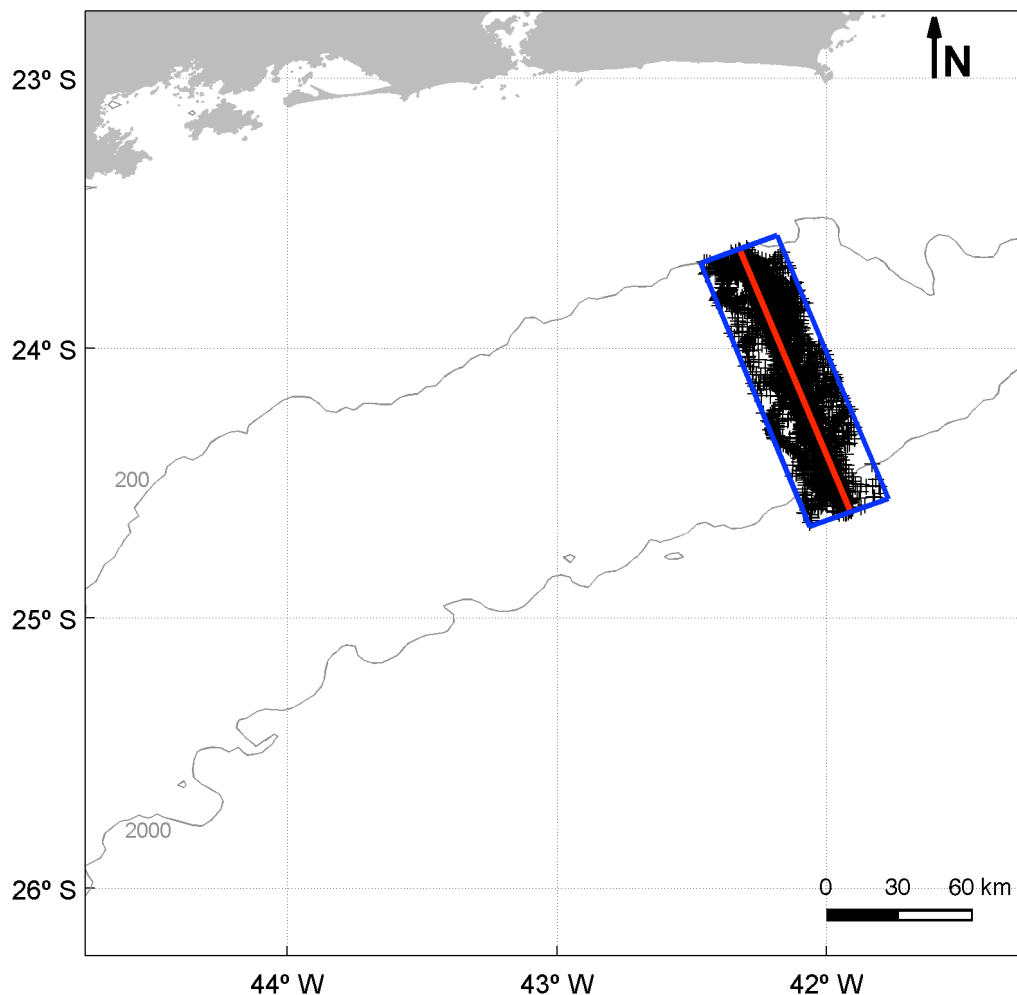


Figura 15: Mapa com os pontos dos perfis medidos pelos *gliders*, em preto, contidos dentro do polígono de delimitação, em azul, proposto para a radial de estudo, em vermelho. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

Dentre todos os 3.218 perfis obtidos dentro do polígono de delimitação: 856 perfis estão contidos na primavera, 313 são referentes ao verão, 1.229 estão contidos no outono e 820 são referentes ao inverno. Percebe-se que o período de verão foi o menos amostrado, fato que será discutido posteriormente nos resultados.

É importante ressaltar que, apesar da tentativa de medição contínua, houve 2 interrupções nesse processo (Tabela IV) – considerando períodos iguais ou superiores a 5 dias sem dados –, todas relacionadas com a troca/manutenção dos equipamentos. A mais significativa, com intervalo de 31 dias sem dados, ocorreu entre setembro e outubro de 2014.

Tabela IV: Descrição das interrupções na coleta de dados dos *gliders* ocasionadas pela manutenção dos equipamentos, considerando somente interrupções iguais ou superiores a 5 dias.

Início da Interrupção	Fim da Interrupção	Dias sem Medições
26/09/2013	01/10/2013	5
15/09/2014	16/10/2014	31

A seleção dos perfis para análise a partir da delimitação do polígono (Figura 15) é importante, mas a sua aplicação impacta ainda mais o peso das interrupções nas medições, já que se considera agora também os períodos em que os *gliders* ficaram fora dos limites definidos. A Tabela V apresenta as datas iniciais e finais dessas interrupções, também considerando períodos sem dados maiores ou iguais a 5 dias, e se percebe que há 4 ocorrências com intervalos superiores a 10 dias.

Tabela V: Descrição das interrupções na coleta de dados dos *gliders* após a delimitação dos perfis dentro do polígono definido, como é apresentado na Figura 15. Para esta apresentação, foram considerados somente interrupções iguais ou superiores a 5 dias. Aquelas apresentadas na Tabela IV não foram incluídas nesta descrição.

Início da Interrupção	Final da Interrupção	Dias sem Medições
07/03/2013	12/03/2013	5
15/03/2013	21/03/2013	6
13/10/2013	19/10/2013	6
24/12/2013	02/01/2014	9
24/01/2014	15/02/2014	22
27/02/2014	05/03/2014	6
03/06/2014	11/06/2014	8
22/06/2014	22/07/2014	30
10/08/2014	16/08/2014	6
23/08/2014	29/08/2014	6
20/10/2014	25/10/2014	5
09/11/2014	27/11/2014	18
11/12/2014	13/01/2015 (final dos dados)	33

Todos os perfis contidos dentro do polígono (Figura 15) foram utilizados para cumprir alguns dos objetivos específicos da análise climatológica proposta para a região. A metodologia será melhor definida no item 4.6.

Para as análises das seções dos *gliders*, como é o caso do cálculo da

velocidade geostrófica e do transporte geostrófico de volume, foi necessário ainda definir as datas iniciais e finais dessas seções, e ainda averiguar se havia uma continuidade razoável no deslocamento do *glider*, com início e fim em cada extremo da radial definida (ou o mais próximo disso possível). Como exemplo de uma perfilagem contínua ideal, apresenta-se a Figura 16.

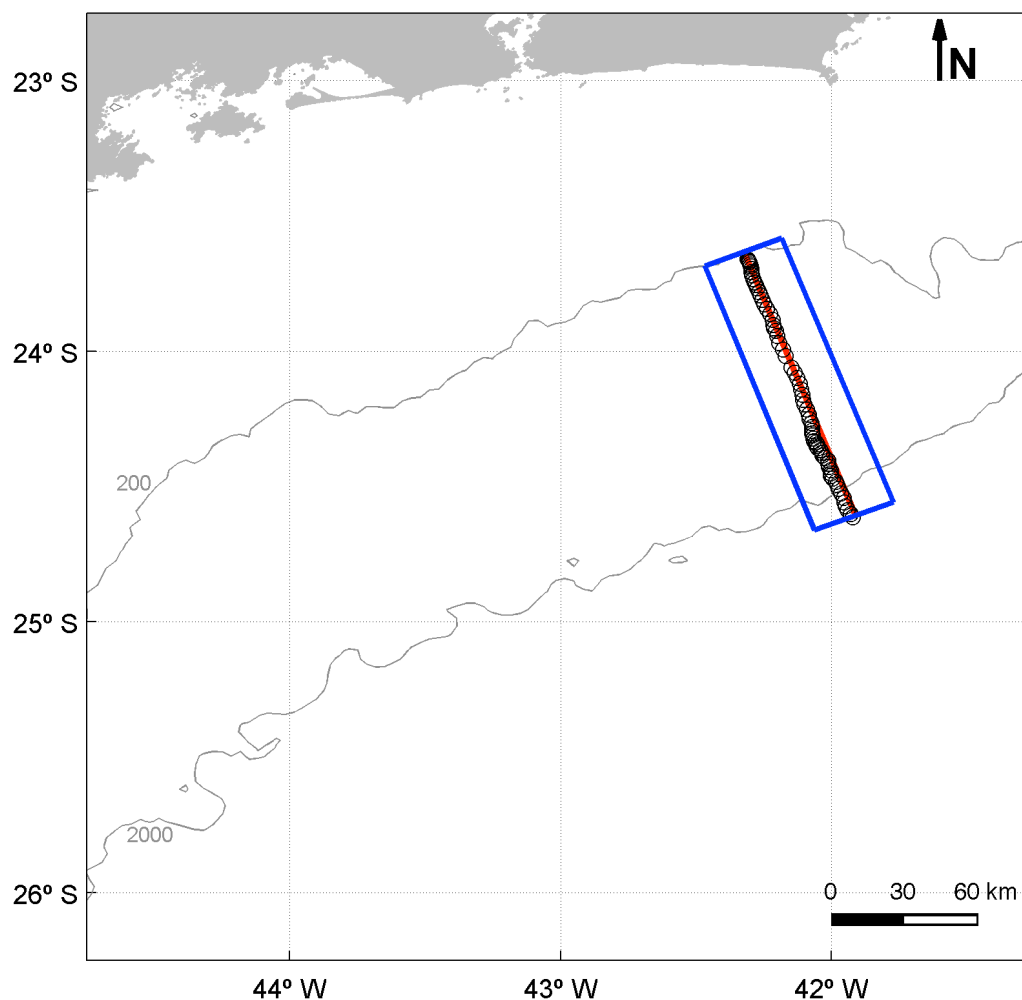


Figura 16: Exemplo de uma perfilagem contínua ideal realizada pelos *gliders*, para o período entre 03 e 12 de junho de 2013. Os pontos em preto indicam a localização de cada perfil, a radial base está representada em vermelho e o polígono de delimitação em azul. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

No total, foram separadas 40 seções distintas ao longo de todo o período de dados disponível, apresentadas na Tabela VI. O intervalo médio entre o início e o fim de cada seção foi de, aproximadamente, 6 dias.

Tabela VI: Data inicial e final de todas as 40 seções selecionadas para as análises.

Seções	Início	Fim	Seções	Início	Fim
01	01/04/2013	09/04/2013	21	15/10/2013	26/10/2013
02	09/04/2013	14/04/2013	22	26/10/2013	31/10/2013
03	14/04/2013	18/04/2013	23	31/10/2013	09/11/2013
04	18/04/2013	27/04/2013	24	09/11/2013	13/11/2013
05	27/04/2013	02/05/2013	25	20/11/2013	24/11/2013
06	02/05/2013	06/05/2013	26	05/12/2013	14/12/2013
07	07/05/2013	17/05/2013	27	20/01/2014	24/01/2014
08	30/05/2013	02/06/2013	28	15/02/2014	22/02/2014
09	03/06/2013	12/06/2013	29	22/02/2014	26/02/2014
10	20/06/2013	26/06/2013	30	15/03/2014	20/03/2014
11	26/06/2013	01/07/2013	31	22/04/2014	28/04/2014
12	01/07/2013	07/07/2013	32	28/04/2014	11/05/2014
13	07/07/2013	15/07/2013	33	11/05/2014	15/05/2014
14	15/07/2013	19/07/2013	34	12/06/2014	22/06/2014
15	02/08/2013	09/08/2013	35	22/07/2014	26/07/2014
16	09/08/2013	15/08/2013	36	26/07/2014	30/07/2014
17	15/08/2013	24/08/2013	37	30/07/2014	06/08/2014
18	01/10/2013	05/10/2013	38	25/10/2014	29/10/2014
19	05/10/2013	10/10/2013	39	30/10/2014	09/11/2014
20	10/10/2013	15/10/2013	40	28/11/2014	04/12/2014

Dentre todas as radiais selecionadas, 10 representam a primavera, 4 representam o verão, 11 foram obtidas durante o outono e 13 durante o inverno. Novamente, constata-se que o período de verão apresentou um número de seções bem inferior, quando comparado as demais estações. Ressalta-se que 2 radiais não se enquadraram na separação sazonal descrita, por estarem definidas no limite de transição entre duas estações do ano.

Cabe ressaltar que a única análise que não considerou os critérios de seleção dos dados definidos neste item foi aquela que objetiva avaliar a ocorrência do VCF, já que este não é limitado à área da radial.

4.4. ESTIMATIVAS DA VELOCIDADE GEOSTRÓFICA

O equilíbrio geostrófico consiste no equilíbrio entre as forças do gradiente de pressão e a de Coriolis. Para o cálculo da velocidade geostrófica relativa, são necessários dois pontos distintos de coleta de dados, em que uma será a velocidade de referência e outra, a relativa. Após esta etapa, é possível calcular a velocidade geostrófica absoluta, a partir de diferentes metodologias.

Tanto o cálculo da velocidade geostrófica relativa como o cálculo da velocidade geostrófica absoluta serão descritos a seguir, segundo POND; PICKARD (1983).

4.4.1. CÁLCULO DA VELOCIDADE GEOSTRÓFICA RELATIVA

Na Figura 17, A e B representam as posições de duas estações de coleta distintas, de modo que se saiba a distribuição de densidade (ρ) ou de volume específico (α) ao longo das linhas verticais AA_1A_2 e BB_1B_2 . A linha AB representa a superfície do mar, as linhas ϕ_1 e ϕ_2 representam as superfícies geopotenciais, e p_1 e p_2 indicam as duas superfícies isobáricas, com ângulos de inclinação i_1 e i_2 .

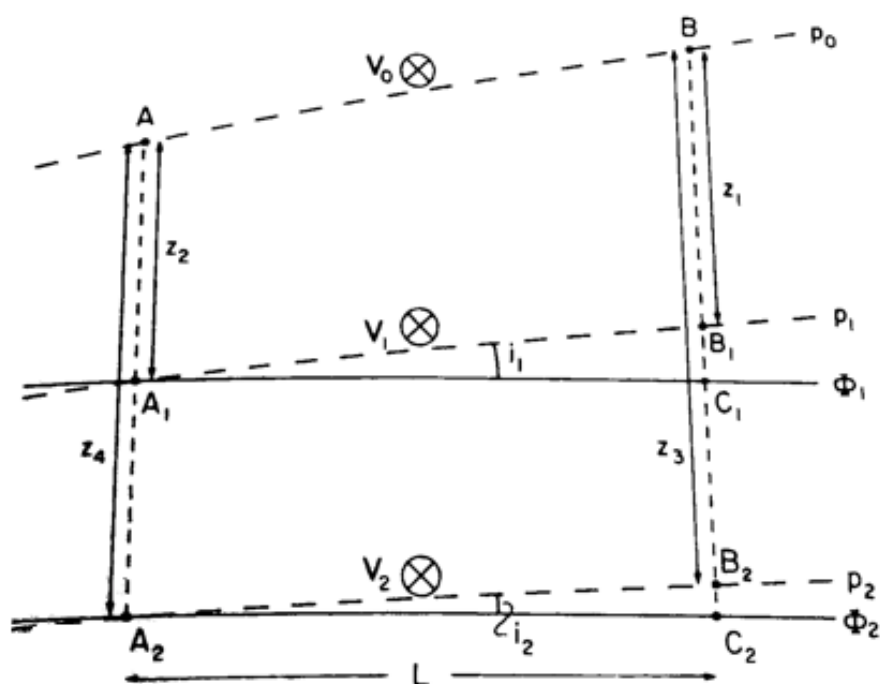


Figura 17: Desenho esquemático com duas estações de coleta de dados, que serão utilizadas para o cálculo da velocidade geostrófica.

Fonte: POND; PICKARD (1983).

Se a componente de velocidade, relativa à Terra, na superfície p_1 é V_1 , e em p_2 é V_2 , as equações geostróficas para esses dois níveis são:

$$2\Omega \sin \phi V_1 = g \tan i_1 \quad (1)$$

$$2\Omega \sin \phi V_2 = g \tan i_2 \quad (2)$$

Sendo a parte esquerda da equação referente à aceleração de Coriolis, e a parte da direita referente à aceleração do gradiente de pressão, que estão em

equilíbrio geostrófico. Subtraindo essas equações, tem-se:

$$2\Omega \sin\phi(V_1 - V_2) = g(\tan i_1 - \tan i_2) \quad (3)$$

i.e.

$$2\Omega \sin\phi(V_1 - V_2) = g \left(\frac{B_1 C_1}{A_1 C_1} - \frac{B_2 C_2}{A_2 C_2} \right) \quad (4)$$

Já que $A_1 C_1 = A_2 C_2 = L$ e $B_1 C_1 - B_2 C_2 = B_1 B_2 - C_1 C_2$:

$$2\Omega \sin\phi(V_1 - V_2) = \frac{g}{L}(B_1 B_2 - C_1 C_2) \quad (5)$$

Como $C_1 C_2 = A_1 A_2$, obtém-se:

$$2\Omega \sin\phi(V_1 - V_2) = \frac{g}{L}(B_1 B_2 - A_1 A_2) \quad (6)$$

Logo,

$$2\Omega \sin\phi(V_1 - V_2) = \frac{g}{L}[(z_1 - z_3) - (z_2 - z_4)] \quad (7)$$

Introduzindo a equação hidrostática:

$$g = -\alpha dp \quad (8)$$

∴

$$\int_{B_1}^{B_2} g dz = g(z_3 - z_1) = - \int_{p_1}^{p_2} \alpha_B dp \quad (9)$$

Essa equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$g(z_3 - z_1) = - \left[\int_{p_1}^{p_2} \alpha_{35,0,p} dp + \int_{p_1}^{p_2} \delta_B dp \right] \quad (10)$$

Por similaridade:

$$g(z_4 - z_2) = - \left[\int_{p_1}^{p_2} \alpha_{35,0,p} dp + \int_{p_1}^{p_2} \delta_A dp \right] \quad (11)$$

Multiplicando essas duas últimas equações por (-1), subtraindo uma pela outra e dividindo os dois lados por L , encontra-se:

$$\frac{g}{L}[(z_1 - z_3) - (z_2 - z_4)] = \frac{1}{L} \left[\int_{p_1}^{p_2} \delta_B dp - \int_{p_1}^{p_2} \delta_A dp \right] \quad (12)$$

Logo:

$$(V_1 - V_2) = \frac{1}{L 2 \Omega \sin \phi} \left[\int_{p_1}^{p_2} \delta_B dp - \int_{p_1}^{p_2} \delta_A dp \right] \quad (13)$$

$$(V_1 - V_2) = \frac{1}{L 2 \Omega \sin \phi} [\Delta \phi_B - \Delta \phi_A] \quad (14)$$

Onde L é dado em metros, δ em cm^3/g , p em db, e $(V_1 - V_2)$ em m s^{-1} .

As equações (13) e (14) são as formas práticas da equação geostrófica. As medições de temperatura e salinidade em várias profundidades, em cada estação de coleta, constituem as informações necessárias para o cálculo de duas integrais de anomalia de volume específico: δ_A e δ_B (i.e. $\Delta \Phi_A$ e $\Delta \Phi_B$), enquanto L , a distância entre duas estações, também pode ser obtida pelo posicionamento do equipamento e/ou pela navegação de um cruzeiro oceanográfico.

Para o cálculo da velocidade geostrófica relativa no presente estudo foi necessário o uso de alguns recursos para uma melhor representação dos resultados. Viu-se que quando as perfilagens dos *gliders* eram muito próximas (< 3 km), a alta frequência amostral dos dados resultava em velocidades geostróficas inconsistentes. Essa característica também foi salientada no trabalho desenvolvido por BERGMAN (2015) (Figura 18), no qual também foram analisados os dados provenientes dos *gliders* do Projeto Azul.

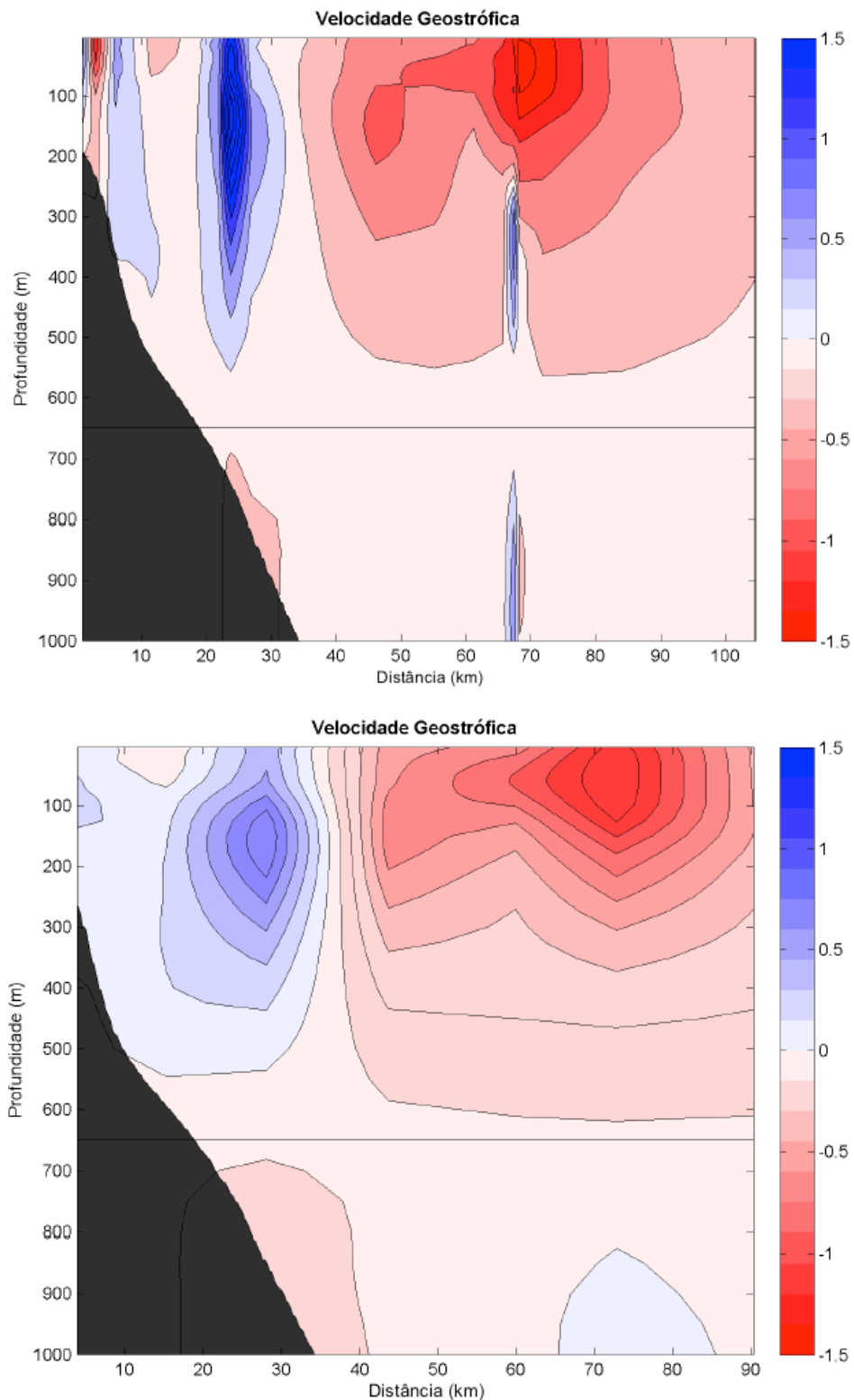


Figura 18: Velocidades geostróficas absolutas para o período entre 19 e 26 de junho de 2013, obtidas a partir de dados dos *gliders* do Projeto Azul. No painel superior, a velocidade geostrófica relativa foi calculada sem qualquer tratamento, já no painel inferior, foi aplicada uma média móvel.

Fonte: Adaptada de BERGMAN (2015).

Dessa forma, três procedimentos foram definidos com o intuito de corrigir os erros decorrentes da alta frequência amostral dos perfis, descritos a seguir. Cabe ressaltar que esses procedimentos foram realizados separadamente para cada uma das 40 seções verticais definidas na Tabela VI.

1. Interpolação bidimensional dos perfis na radial ideal, igualmente espaçados de acordo com o número total de perfis disponíveis para cada seção.
2. Aplicação de uma média móvel para cada nível de profundidade, a cada 8 km de distância, valor escolhido com base no Teorema de Nyquist, e equivalente a $\sim 1/4$ do raio de Rossby presente na região (HOURY *et al.*, 1987).
3. Realização de uma segunda interpolação, neste caso linear, dos perfis na radial ideal, com o intuito de deixar todas seções igualmente espaçadas em 8 km, valor justificado na etapa anterior.

4.4.2. CÁLCULO DA VELOCIDADE GEOSTRÓFICA ABSOLUTA

Os cálculos geostróficos descritos acima geram a componente relativa de velocidade geostrófica ($V_1 - V_2$), entre duas profundidades distintas. Dessa forma, se há valores absolutos para uma dessas velocidades (V_1 ou V_2), é possível calcular também o valor absoluto da outra. Há várias possibilidades para tal, sendo descritas a seguir as duas metodologias utilizadas no presente estudo:

- Movimento nulo (“*no motion*”): Assume-se um nível de movimento nulo, também chamado de nível de referência. As correntes são, portanto, consideradas nulas nessa profundidade, e as correntes relativas são integradas até a superfície e até o fundo, obtendo-se velocidades de corrente em função da profundidade (POND; PICKARD, 1983; STEWART, 2008).
- Movimento referenciado (“*known motion*”): se há medições de correntes em superfície, a partir de medições de altimetria por satélites, por exemplo, ou se há dados de correntes em alguma profundidade, obtidos por medidores de correntes. Neste caso, os dados a serem utilizados devem estar inseridos no mesmo período dos dados de temperatura e salinidade coletados (POND; PICKARD, 1983; STEWART, 2008).

Este último método é usualmente menos utilizado, em comparação com a metodologia de se assumir um movimento nulo, devido a grande dificuldade de se ter dados medidos coincidentes temporalmente com os dados termohalinos disponíveis. Entretanto, dentre os trabalhos que utilizaram o método do movimento referenciado

ressalta-se o de GUERRA (2011), MULET *et al.* (2012) e BILO *et al.* (2014), este último realizado para a mesma área de estudo.

Como já indicado, a proposta para o cálculo geostrófico deste estudo levou em consideração ambas as metodologias descritas anteriormente, objetivando a sua comparação. Visto isso, seções verticais de velocidade geostrófica foram calculadas para todo o período analisado e separadamente para cada estação do ano – separação sazonal definida no item 4.2.

Idealizadamente, assume-se que a CB é composta majoritariamente por AT e ACAS (STRAMMA; ENGLAND, 1999; SILVEIRA *et al.*, 2000). Dessa forma, para cada seção vertical de velocidade geostrófica calculada, o nível de referência (nível de movimento nulo) considerado coincidiu com a profundidade média de ocorrência da ACAS, levando em consideração o limiar de base que será especificado no item 4.6.3: $26,9 \text{ kg m}^{-3}$ (SILVA *et al.*, 1984; SILVEIRA, 2007).

Para o segundo método proposto (movimento referenciado), foram utilizados dados de velocidade geostrófica em superfície provenientes do banco de altimetria satelital produzido pela SSALTO/DUACS e distribuídos gratuitamente para a comunidade científica pelo Projeto AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data*): <http://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>. A velocidade geostrófica distribuída pelo Projeto AVISO é calculada a partir da sua própria base de dados de altimetria.

Os dados de velocidade geostrófica disponibilizados pelo Projeto AVISO são diários, de cobertura global e com resolução espacial de $1/4^\circ$, sendo de três tipos distintos (SSALTO/DUACS User Handbook, 2014):

- **DT (*delayed time*)**: dados que passam por um processo de qualidade mais rígido, mas que demoram um período mais longo – superior a 30 dias – para serem disponibilizados para *download*. Ainda nesta classificação, há dois tipos distintos disponíveis:

- **Two sat merged**: este conjunto de dados é baseado em somente duas missões – Jason-2 / Altika ou Jason-2 / Cryosat-2 ou Jason-2 / Envisat ou Jason-1 / Envisat ou Topex/Poseidon / ERS. Os dados são homogêneos ao longo de todo o período disponível, graças à estabilidade da amostragem, mas pode não ser o melhor em qualidade para um dado momento.

- **All sat merged**: conjunto de dados com até quatro satélites, usando todas as missões disponíveis em determinado instante. Quando somente dois

satélites estão disponíveis em um dado momento, os dados desta base são iguais aos obtidos pela “*two sat merged*”.

- NRT (*near real time*): dados disponíveis em tempo quase real, porém não passam pelo controle de qualidade final a que estão sujeitos os dados do tipo DT. Neste caso, todos os dados obtidos são do tipo “*all sat merged*”.

Para este estudo, foi necessária a utilização de dois tipos de dados distintos, visto que os dados do tipo DT não estavam disponíveis para todo o período desejado (período dos dados dos *gliders*). Dessa forma, optou-se pelo uso de dados do tipo DT / “*all sat merged*” até o dia disponível no momento do *download* (31/05/2014), e o restante do período foi completado com os dados do tipo NRT.

Por último, após o cálculo da velocidade geostrófica relativa e da definição dos dados de superfície a serem utilizados, a velocidade geostrófica absoluta foi calculada da seguinte forma:

$$V_A = [V_{AVISO} - V_R(z=0)] + \int_z^0 V_R \quad (15)$$

Sendo V_A a velocidade geostrófica absoluta, V_{AVISO} a velocidade geostrófica em superfície do Projeto AVISO e V_R a velocidade geostrófica relativa calculada pelos gradientes horizontais de densidade – como descrito no item 4.4.1.

Ambos os métodos de cálculo da velocidade geostrófica absoluta só foram possíveis de serem empregados devido à metodologia de escala sinótica adotada pelo Projeto Azul, pensada e executada com enfoque na coleta de dados de forma contínua e sistemática.

4.5. ESTIMATIVAS DO TRANSPORTE GEOSTRÓFICO DE VOLUME

Uma vez obtidas as velocidades geostróficas absolutas, é possível também calcular o transporte geostrófico de volume, a partir da seguinte equação:

$$T_v = \iint_A \vec{u} \cdot \vec{n} dA \quad (16)$$

Sendo T_v o transporte de volume; A a área; u a velocidade do fluxo que passa por A , sendo representada neste caso pela velocidade geostrófica absoluta; e n um vetor normal a A .

Visto que foram propostas duas metodologias distintas para os cálculos da velocidade geostrófica absoluta, seguindo a lógica, foram consideradas também duas metodologias para o cálculo do transporte de volume.

Para o cálculo do transporte de volume a partir das velocidades geostróficas absolutas obtidas pela escolha de um nível de referência, a área da seção considerada é limitada à profundidade de referência escolhida, não sendo feita qualquer limitação no eixo horizontal (latitude/longitude).

Em contrapartida, para o cálculo do transporte de volume a partir das velocidades geostróficas obtidas pelo método do movimento referenciado, a delimitação da área foi feita no eixo horizontal – a partir da delimitação visual do núcleo da CB pelas seções verticais de velocidade geostrófica – e em profundidade – na qual só foram consideradas as profundidades nas quais havia velocidade negativa, ou seja, condizente com o fluxo para sul da CB.

4.6. ANÁLISE DA ESTRUTURA TERMOHALINA

Para a caracterização da estrutura termohalina presente na região, a partir dos dados de *gliders*, são propostas cinco análises distintas, apresentadas a seguir.

4.6.1. SEÇÕES VERTICAIS DE TEMPERATURA E SALINIDADE

As seções verticais de temperatura e salinidade que serão apresentadas são as mesmas que originaram as seções verticais de velocidade geostrófica relativa – item 4.4.1. Dessa forma, tais seções representam as médias sazonais de todas as 40 seções definidas na Tabela VI e para a sua obtenção foi considerada também a metodologia descrita para corrigir a alta frequência amostral dos perfis.

4.6.2. PERFIS DE TEMPERATURA, SALINIDADE E DENSIDADE

Serão apresentadas médias de perfis de temperatura, salinidade e densidade variando em profundidade, para cada estação do ano – como definido no item 4.2. O objetivo desta análise será a comparação do comportamento da zona de mistura e da pycnoclina em cada período de análise.

Para esta análise, foram considerados todos os perfis delimitados dentro da região do polígono, como o apresentado na Figura 15.

4.6.3. CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA

Objetivando a caracterização das massas d'água, diagramas T-S serão apresentados para cada estação do ano (separação sazonal definida no item 4.2), e neles serão definidos os limites das massas d'água encontradas para a região e o seu respectivo percentual de presença, segundo SILVA *et al.* (1984). As massas d'água estudadas são: AM, AT, ACAS e AIA. Visto que os *gliders* perfilam a coluna d'água até 1.000 m de profundidade, não é possível delimitar as massas d'água mais profundas, além da AIA.

Da mesma forma que o especificado no item anterior, para a apresentação destes resultados, foram considerados todos os perfis contidos dentro da área do polígono especificado na Figura 15.

Além desta análise, seções verticais de densidade serão apresentadas, contendo a delimitação das massas d'água (AT, ACAS e AIA). Essas seções foram obtidas a partir das seções de temperatura e salinidade descritas no item 4.6.1. Para a definição das massas d'água, foram utilizados os seguintes limites: $25,7 \text{ kg m}^{-3}$ para o topo da ACAS e $26,9 \text{ kg m}^{-3}$ para a sua base; estando de acordo com os gabaritos termohalinos propostos por SILVA *et al.* (1984) e SILVEIRA (2007).

4.6.4. PROFUNDIDADE DE OCORRÊNCIA E ESPESSURA DA ACAS

A definição da profundidade de ocorrência da ACAS foi estipulada a partir de médias mensais dos perfis contidos dentro do polígono definido na Figura 15. Ou seja, para cada perfil, era obtida a profundidade de topo e base da ACAS a partir dos limites de densidade propostos no item anterior.

A espessura, por sua vez, foi facilmente obtida a partir da diferença entre as profundidades de base e as de topo.

Cabe ressaltar que, para esta análise, só foram considerados os perfis que englobavam tanto o topo como a base da ACAS, eliminando os perfis mais rasos.

4.6.5. ESTRATIFICAÇÃO DA COLUNA D'ÁGUA

A estratificação da coluna d'água foi analisada a partir da frequência de Brunt-Vaisala, que está relacionada diretamente com o perfil termohalino. Se uma massa d'água mais densa está em cima de uma menos densa, há instabilidade; pelo mesmo raciocínio, se a situação é inversa, há estabilidade. Como critério para determinar a

importância da estabilidade, usa-se a Equação da Estabilidade (STEWART, 2008):

$$E \approx \frac{1}{\rho_0} \frac{d\rho}{dz} \quad (17)$$

Em que ρ_0 é a densidade média em superfície e $d\rho$ é a variação da densidade de uma parcela de água que se move adiabaticamente de uma profundidade z a outra $z+1$. Essa condição é válida quando $E > 50 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$ e indica as seguintes opções:

$E > 0$; situação estável

$E = 0$; estabilidade neutra

$E < 0$; situação instável

A influência da estabilidade pode também ser expressa a partir da frequência de Brunt-Vaisala, variável fundamental na dinâmica do fluido estratificado (STEWART, 2008), e é função da equação de estabilidade:

$$N^2 \equiv -gE \quad (18)$$

Sendo g a aceleração gravitacional.

Logo, temos a seguinte fórmula para o cálculo da frequência de Brunt-Vaisala:

$$N^2 = -\frac{g}{\rho_0} \left(\frac{d\rho}{dz} \right) \quad (19)$$

Para a apresentação destes resultados, foram considerados todos os perfis contidos dentro da área do polígono especificado na Figura 15.

4.7. ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DO VÓRTICE DE CABO FRIO

A radial de coleta de dados do Projeto Azul está estrategicamente localizada na região de formação do VCF, aproximadamente entre 23° e 24°S, como pode ser observado na Figura 9 e também em estudos como o de CAMPOS *et al.* (1995), CALADO (2001), FERNANDES (2001) e CALADO (2006). Dessa forma, outra proposta de estudo foi averiguar, dentre os dados disponíveis, a sua ocorrência e quais seriam as suas possíveis interferências na estrutura termohalina da região.

Para tal, além dos *gliders*, foram também analisados os dados dos derivadores

e perfiladores do Projeto Azul, verificando especificamente a ocorrência de trajetórias ciclônicas.

Como apoio, foram utilizadas imagens de elevação/altura da superfície do mar (ASM), construídas a partir de dados disponibilizados pelo Projeto AVISO, e de TSM, obtidas a partir da base de dados do OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*).

O OSTIA é uma base de dados disponibilizada pela UKMO (*United Kingdom Meteorological Office*), com a obtenção de dados via satélite, a partir de sensores de microondas e infravermelho. Essa base foi desenvolvida com o objetivo de prover dados de TSM com alta resolução espacial (MATOS *et al.*, 2009).

O Projeto AVISO, como já especificado no item 4.4.2, apresenta resolução espacial de $1/4^\circ$, já os dados do OSTIA possuem resolução de $1/10^\circ$.

Tendo em mãos essas cinco fontes distintas de dados – *gliders*, derivadores, perfiladores, TSM e ASM –, foram identificados visualmente os períodos em que o VCF esteve presente na região e quais dados foram capazes de captar de alguma forma essa estrutura. O principal objetivo desta análise foi construir uma base e gerar subsídios para análises futuras mais detalhadas.

Dentre todos os casos de ocorrência do VCF observados, foram selecionados alguns exemplos para análise.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos pelo presente estudo e estes serão discutidos à luz da literatura científica disponível. Primeiramente, foram feitas estimativas da velocidade geostrófica e do transporte de volume geostrófico, seguidas pela avaliação da estrutura termohalina da região e, por último, pela análise da ocorrência do VCF.

5.1. VELOCIDADE GEOSTRÓFICA

As velocidades geostróficas absolutas serão apresentadas a seguir, separadamente para cada método de cálculo utilizado. Os perfis de densidade que deram origem a essas velocidades são exibidos da Figura 19 à Figura 23. Estes serão interpretados e discutidos no item 5.3.3 (Caracterização das Massas d'Água).

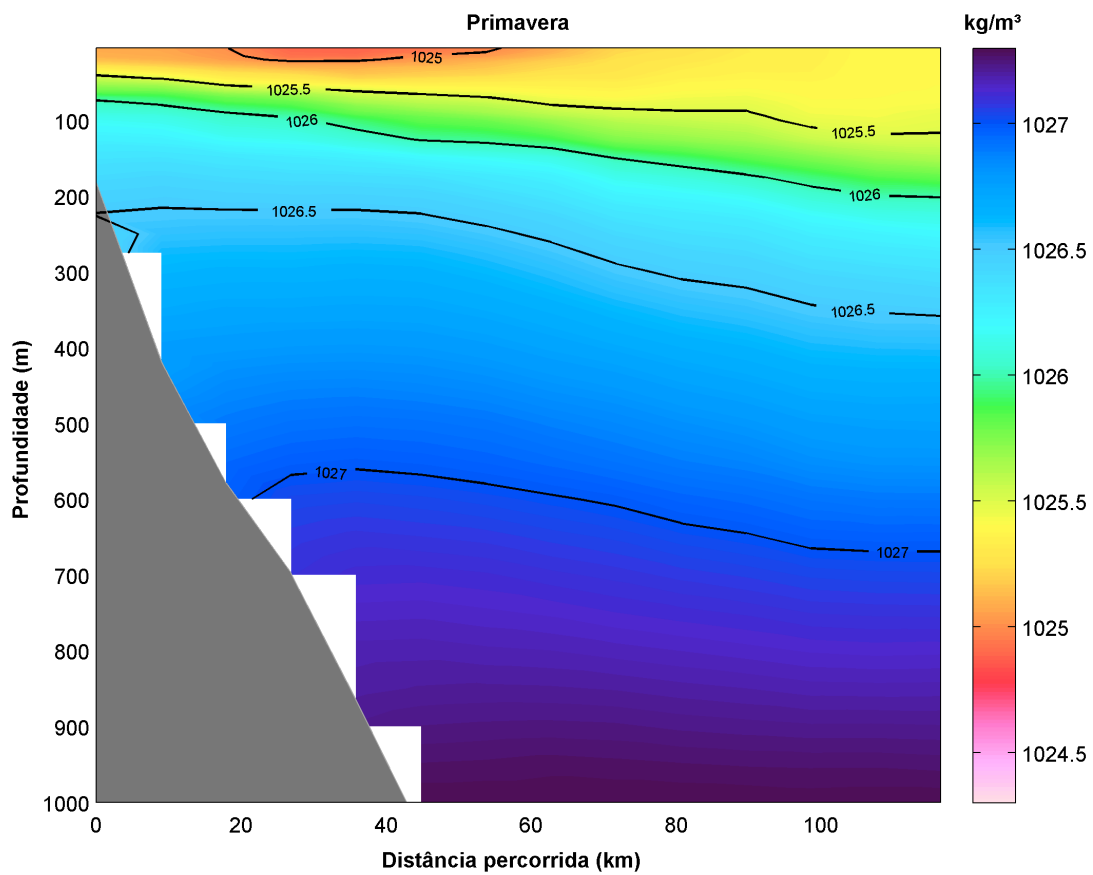


Figura 19: Seção vertical média de densidade para a primavera, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

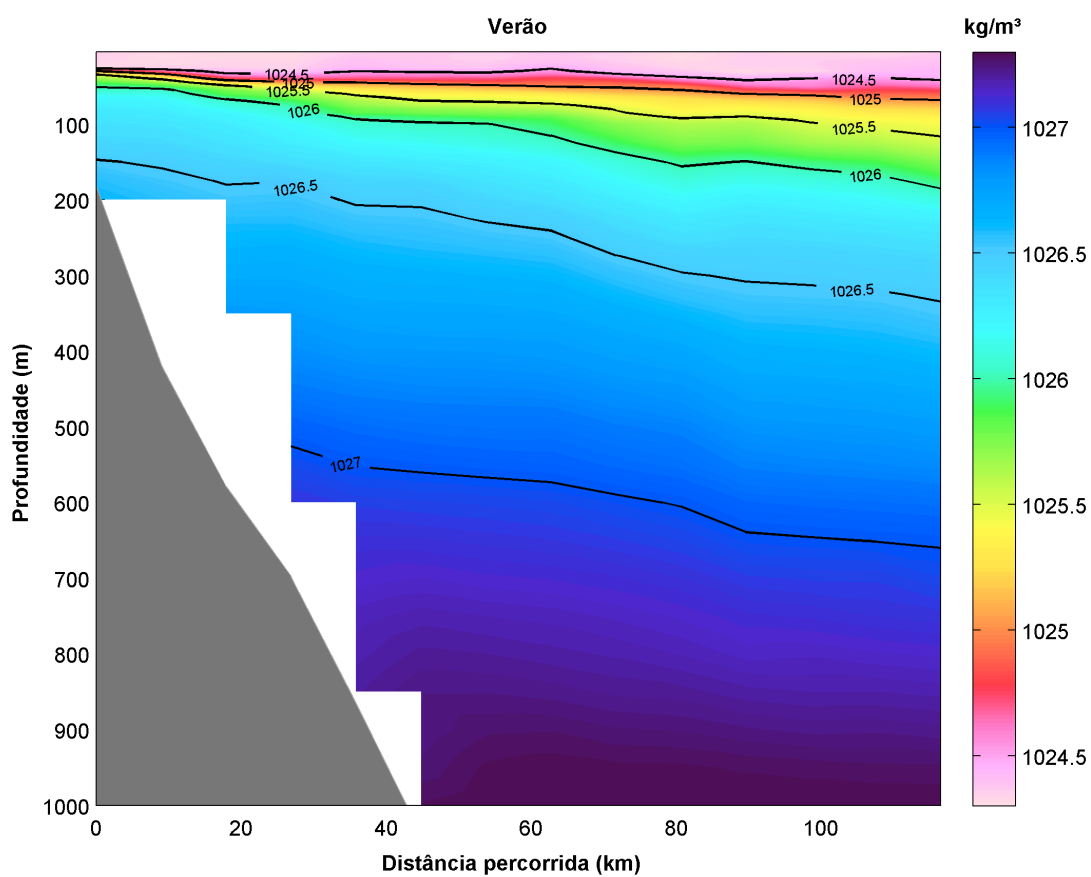


Figura 20: Seção vertical média de densidade para o verão, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

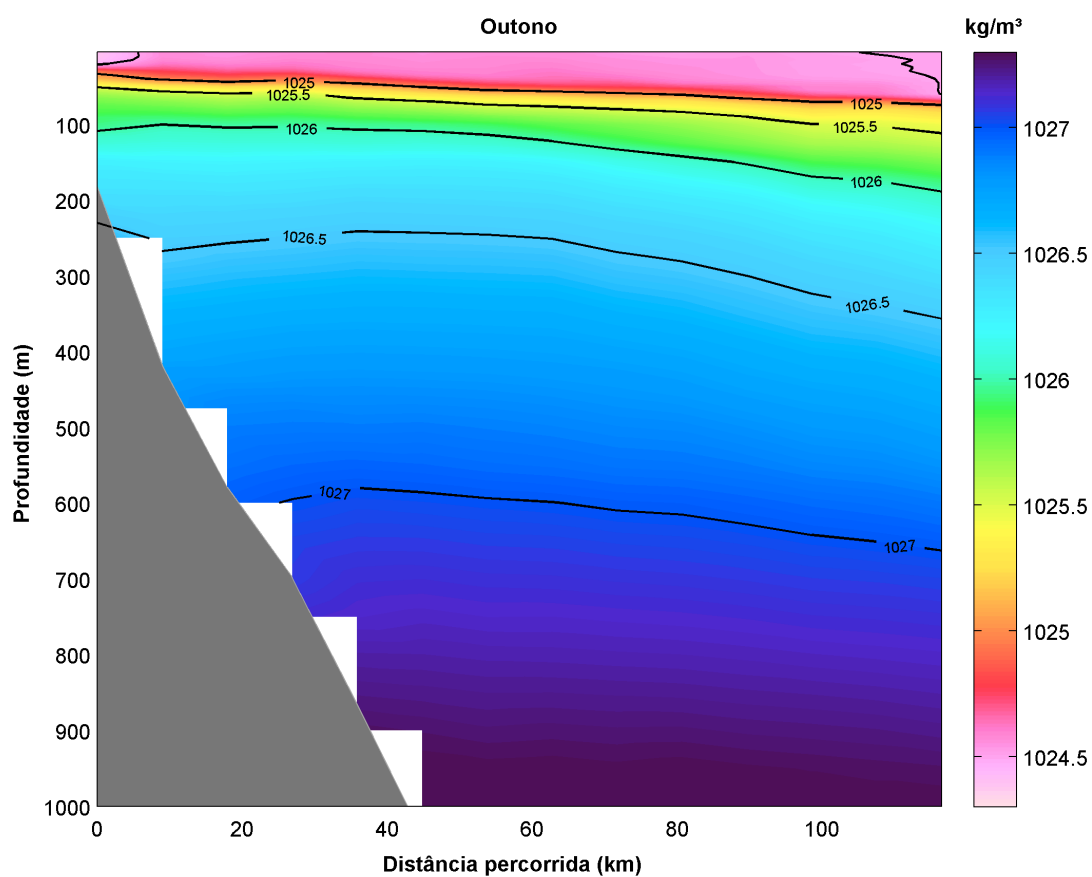


Figura 21: Seção vertical média de densidade para o outono, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

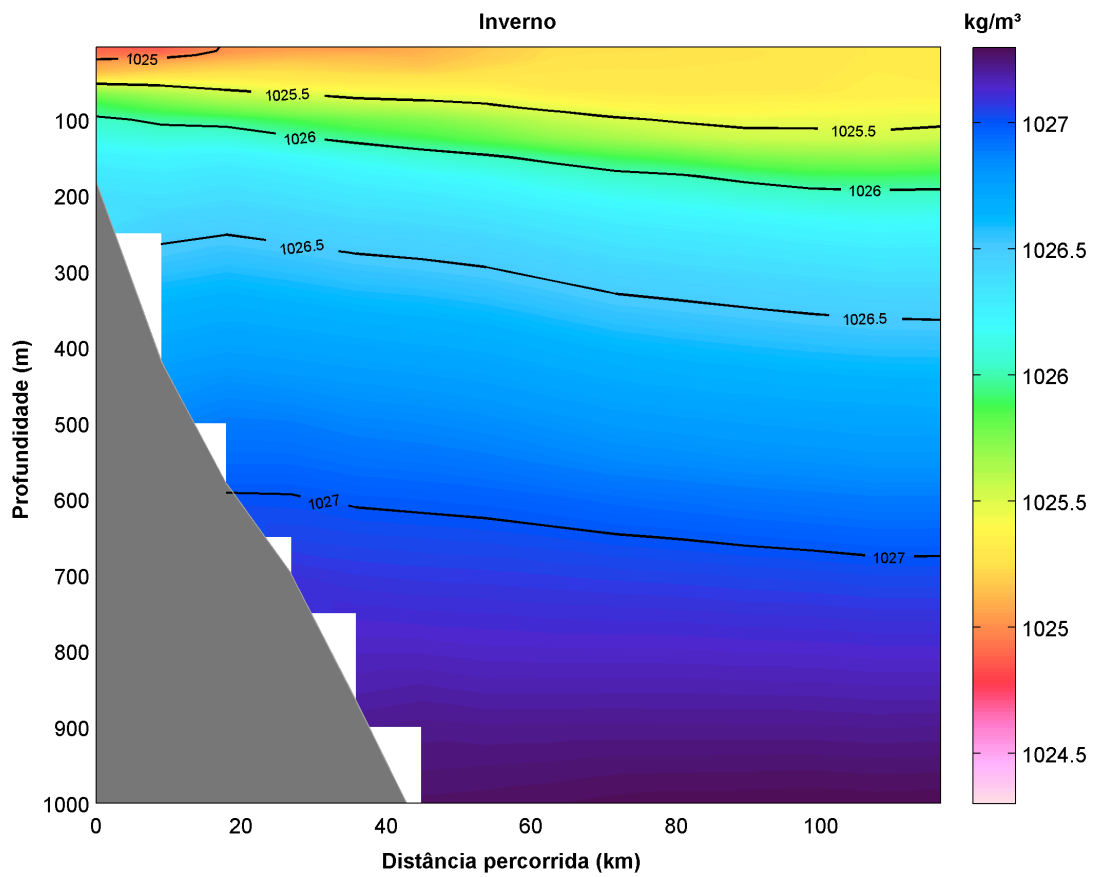


Figura 22: Seção vertical média de densidade para o inverno, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em $23^{\circ}37,8'S$ e $42^{\circ}19,5'W$, e mais profundo em $24^{\circ}36,6'S$ e $41^{\circ}54,6'W$.

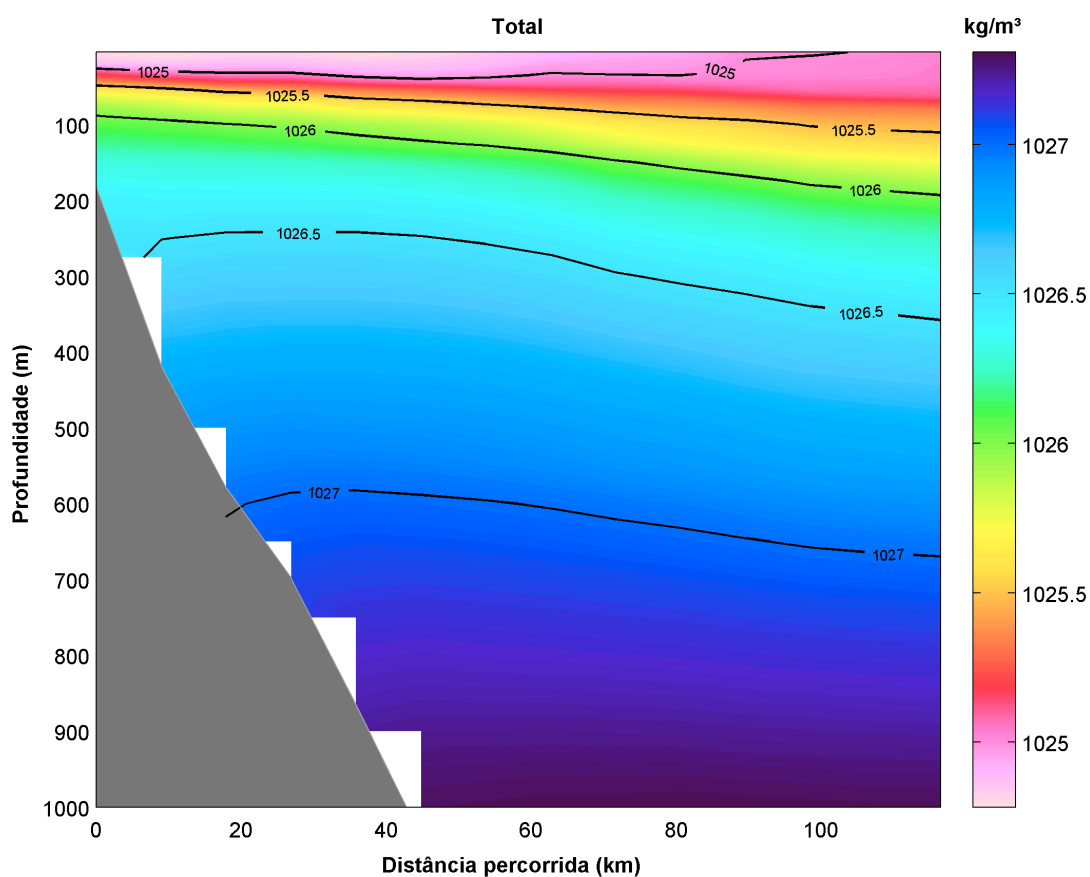


Figura 23: Seção vertical média de densidade para todo o período analisado, utilizada no cálculo da velocidade geostrófica relativa. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

5.1.1. MOVIMENTO NULO

Da Figura 24 à Figura 27 são apresentadas as velocidades geostróficas obtidas pelo método do movimento nulo – descrito no item 4.4.2 – médias para cada estação do ano.

Durante o verão, o núcleo da CB não aparece tão bem organizado quanto para os demais períodos, o que pode estar diretamente relacionado com a dificuldade dos *gliders* se manterem na radial durante este período, como já havia sido discutido superficialmente no item 4.3.1. A primavera e o inverno apresentam uma CB mais centrada na radial, enquanto no outono, o fluxo da CB está mais deslocado para maiores profundidades.

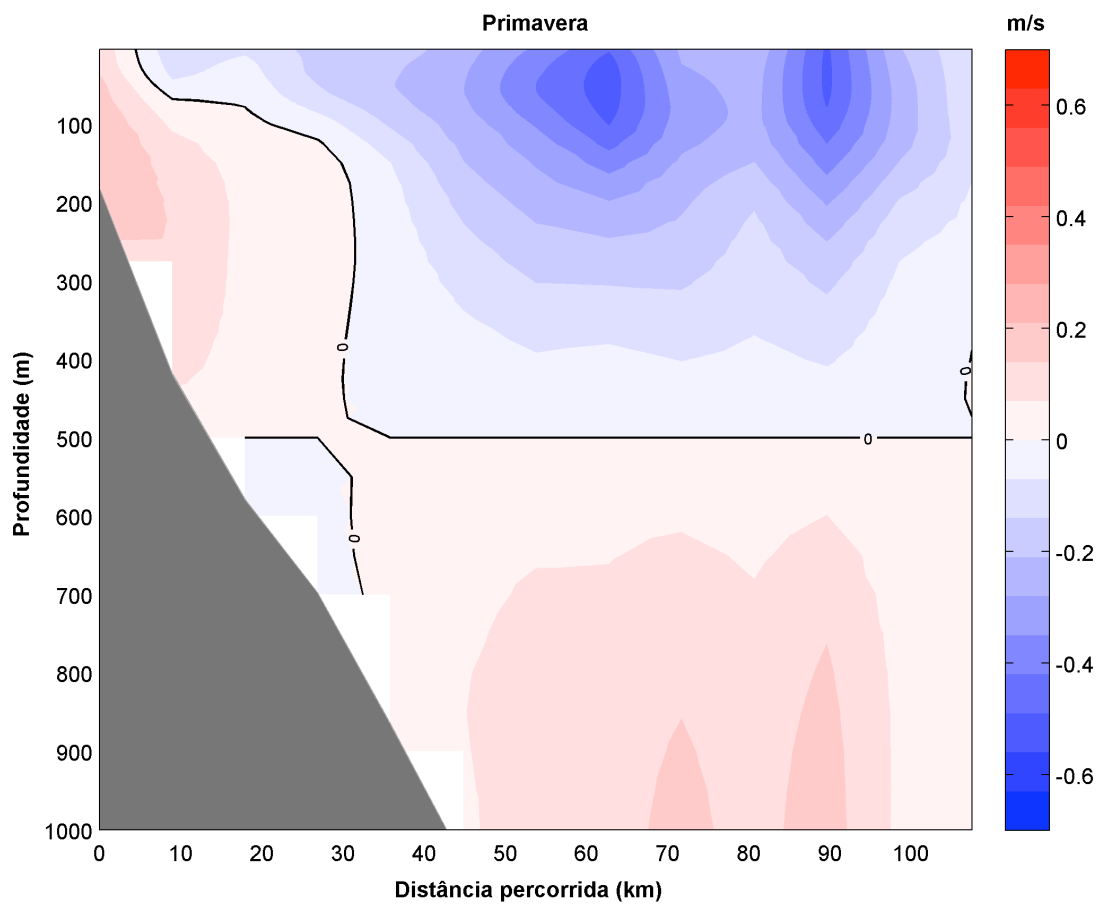


Figura 24: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

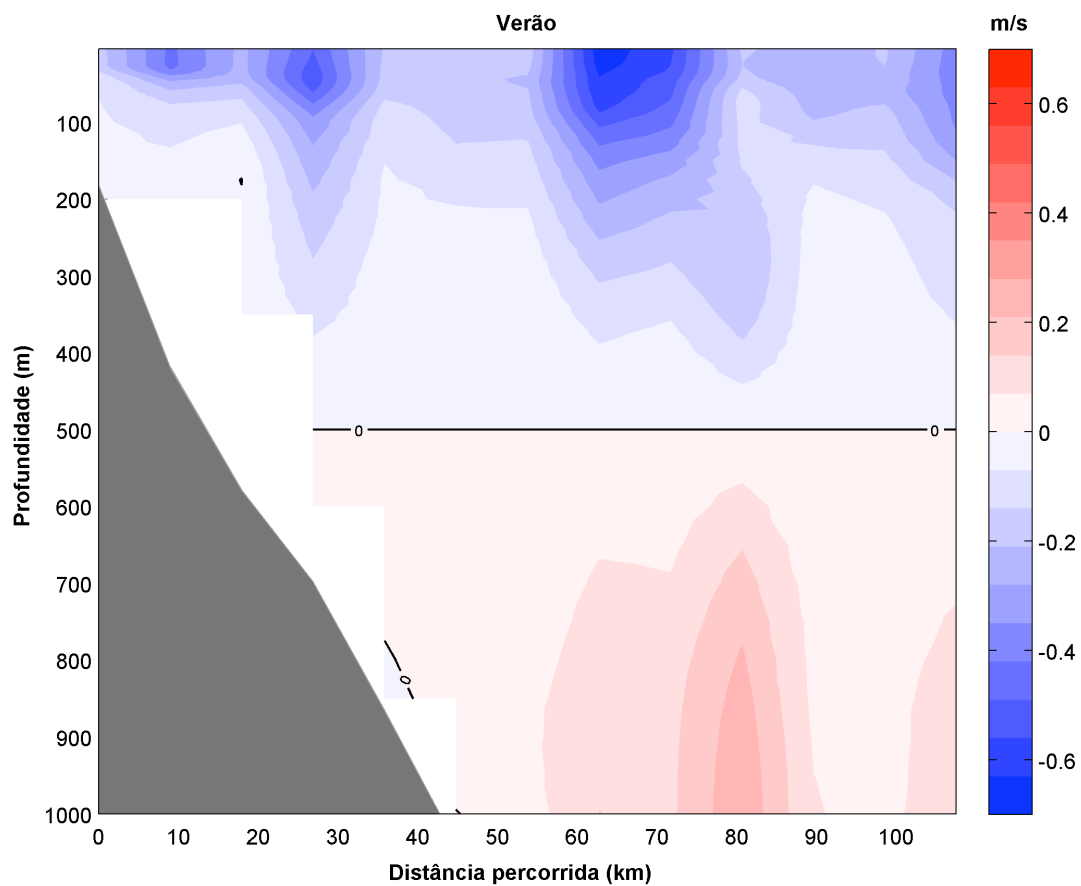


Figura 25: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

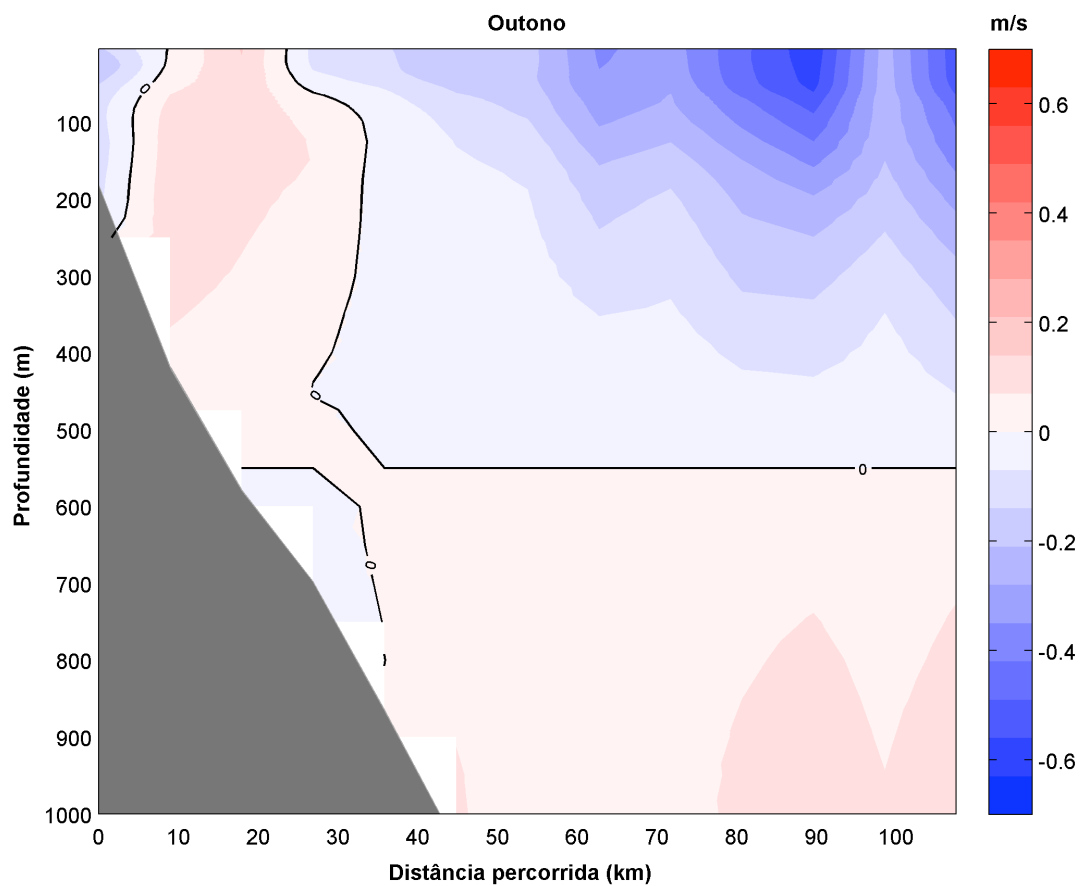


Figura 26: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

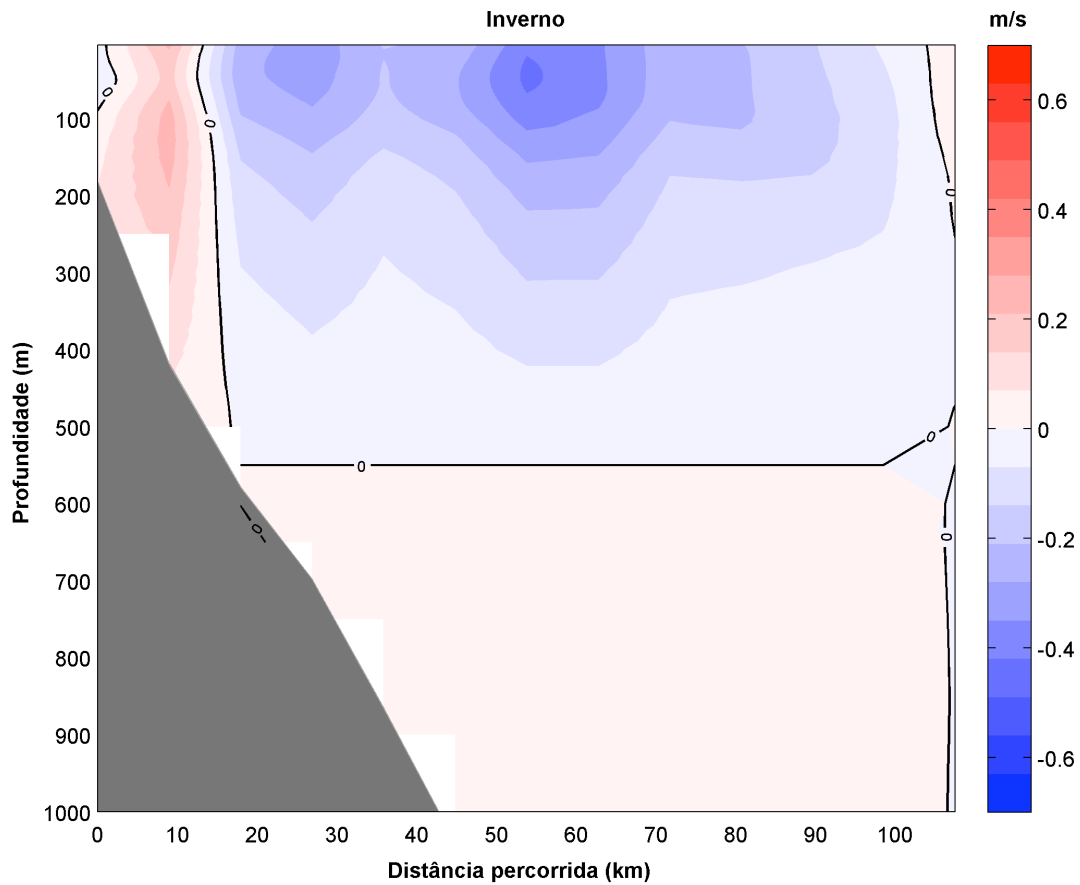


Figura 27: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em $23^{\circ}37,8'S$ e $42^{\circ}19,5'W$, e mais profundo em $24^{\circ}36,6'S$ e $41^{\circ}54,6'W$.

A Figura 28 exibe a velocidade geostrófica média calculada para todas as seções disponíveis. Neste caso, o núcleo da CB aparece centrado na seção, levemente deslocado para maiores profundidades.

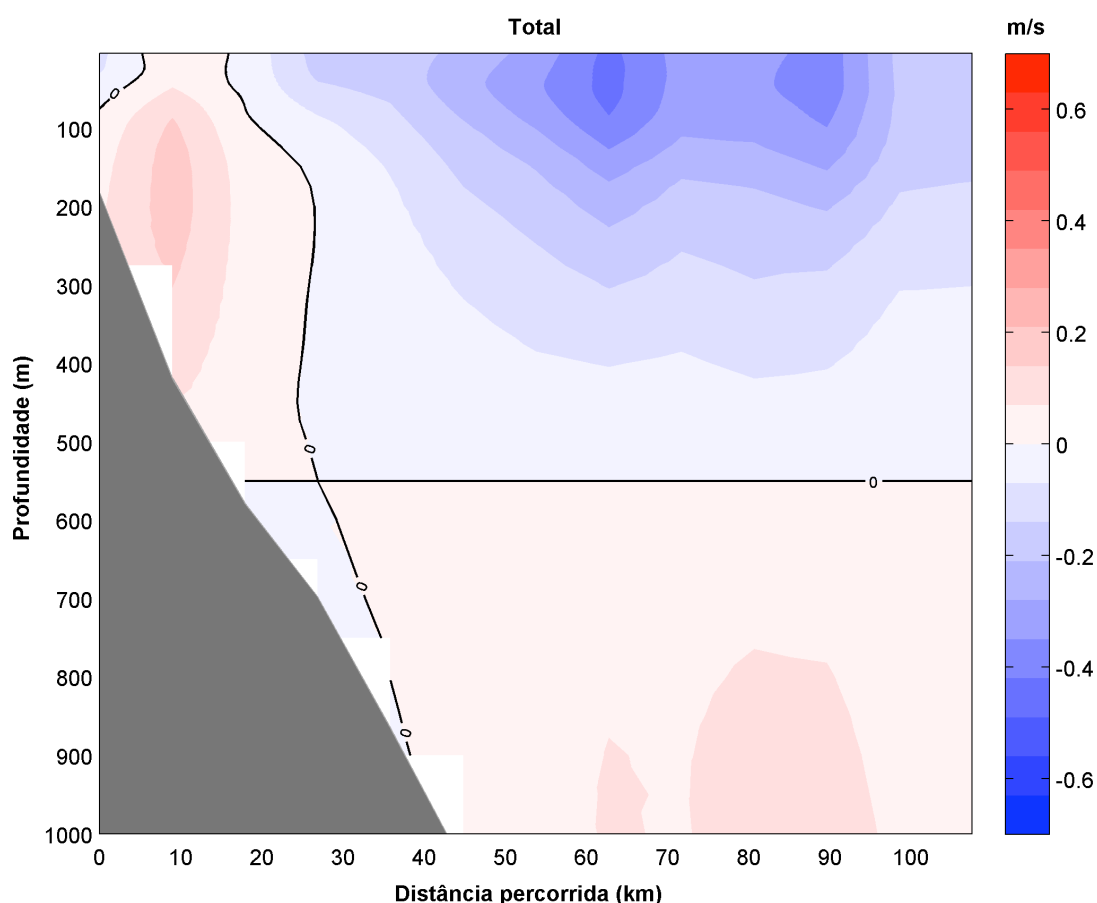


Figura 28: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento nulo, para todo o período analisado. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

As velocidades máximas da CB obtidas para cada período analisado acima são expostas na Tabela VII, além dos respectivos níveis de referência médios encontrados. A velocidade máxima obtida foi para o período de verão, com $0,67 \text{ m s}^{-1}$. A mínima ocorreu durante o inverno, $0,44 \text{ m s}^{-1}$. De maneira geral, foi durante o verão/outono que a CB esteve mais intensa.

Percebe-se que os períodos de primavera e verão foram os que apresentaram os menores níveis de referência, de 500 m.

Tabela VII: Níveis de referência médios e velocidades geostróficas máximas obtidas para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento nulo. Os sinais negativos de velocidade retratam o fluxo para sul.

Períodos	Nível de Referência (m)	Velocidade Máxima (m s^{-1})
Primavera	500	-0,53
Verão	500	-0,67
Outono	550	-0,61
Inverno	550	-0,44
Total	550	-0,45

Os valores apresentados, tanto de velocidade como de nível de referência, estão condizentes com o levantamento bibliográfico realizado no item 3.1.2, especificamente na Tabela III, em que a velocidade mínima obtida, para essa mesma região foi de $0,25 \text{ m s}^{-1}$ (FISHER, 1964 *apud* SILVEIRA, 2007), e a máxima, $0,68 \text{ m s}^{-1}$ (SIGNORINI, 1978 *apud* SILVEIRA, 2007).

Apesar dessa interpretação, é difícil comparar os resultados obtidos por tais bibliografias, pois são utilizados diferentes níveis de movimento nulo para os cálculos geostróficos. Em alguns casos, a CB é assumida como o transporte de AT e ACAS, ocupando somente 500 m da coluna d'água, e em outros, assume-se que a CB engloba AT, ACAS, AIA e APAN, ocupando 1.300 m de profundidade.

Porém, estudos como os de BOEBEL *et al.* (1999), MATTOS (2006) e BILO *et al.* (2014) mostram que 500 m é a profundidade ideal para a definição do nível de referência nulo, estando de acordo com o exposto no presente estudo. Esses autores ainda reafirmam que esta profundidade coincide com a interface ACAS-AIA.

5.1.2. MOVIMENTO REFERENCIADO

Da Figura 29 à Figura 32 são apresentadas as velocidades geostróficas obtidas pelo método do movimento referenciado, descrito no item 4.4.2, médias para cada estação do ano.

Apesar de algumas similaridades, nota-se como o emprego deste último método trouxe contribuições significativas aos resultados.

O núcleo da CB aparece mais bem organizado durante a primavera e o inverno. Da mesma forma que o já apresentado no item anterior, durante o verão, essa estrutura não é bem definida, o que pode estar diretamente relacionado com a dificuldade dos *gliders* se manterem na radial durante este período.

A primavera mostra uma CB mais deslocada para maiores profundidades, com um fluxo para norte logo abaixo, o qual assume-se ser a CCI, subindo a plataforma continental. Durante o outono, o fluxo da CB também está localizado para maiores profundidades, como também foi observado no item anterior, mas a CCI não apresenta a mesma estrutura. No inverno, o fluxo da CB mostra-se expandido ao longo de toda a seção, com núcleo mais intenso mais para a região de quebra de plataforma.

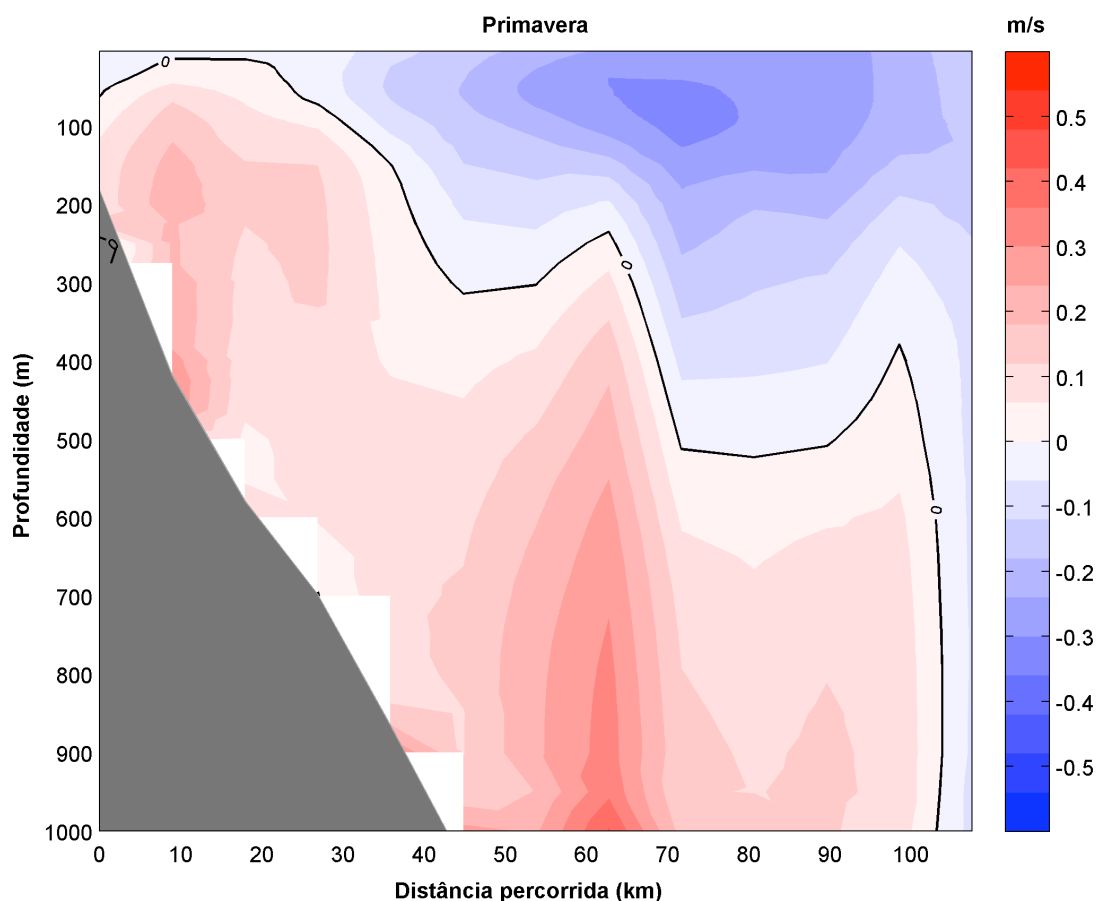


Figura 29: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

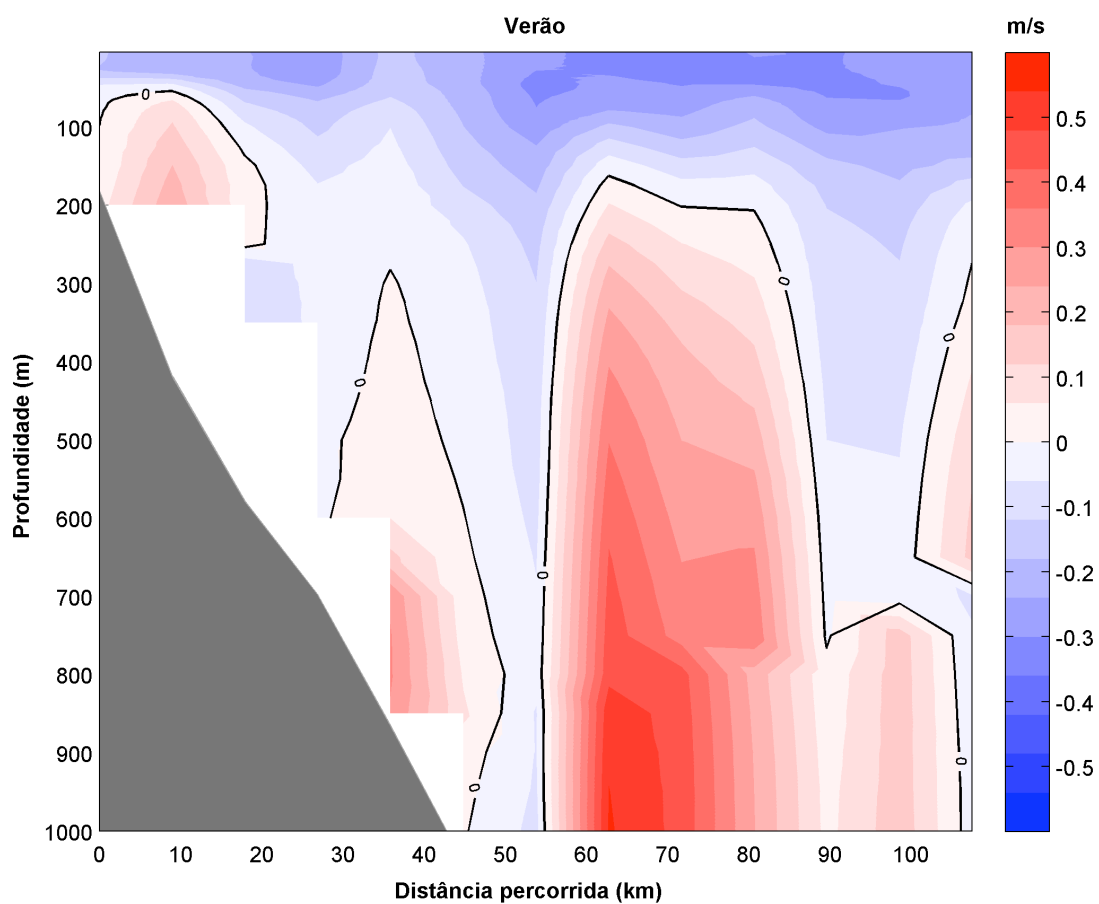


Figura 30: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

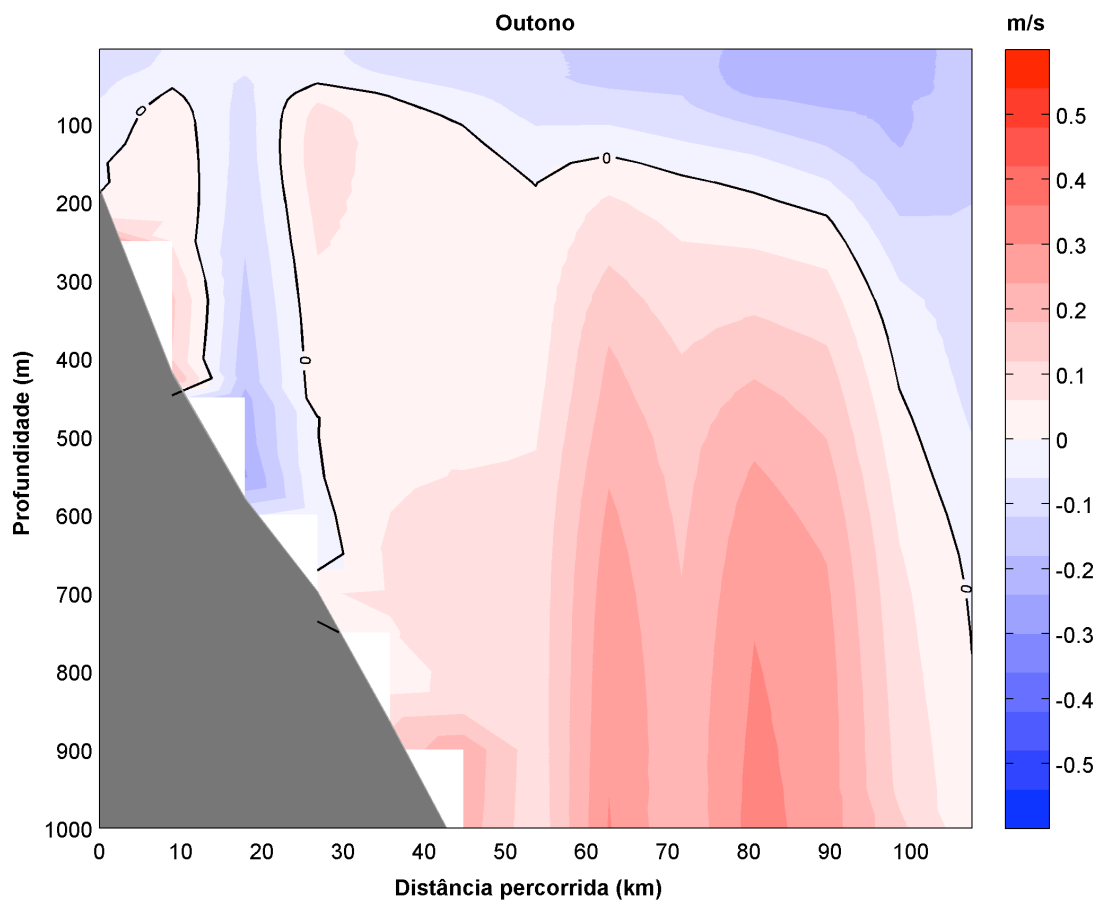


Figura 31: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

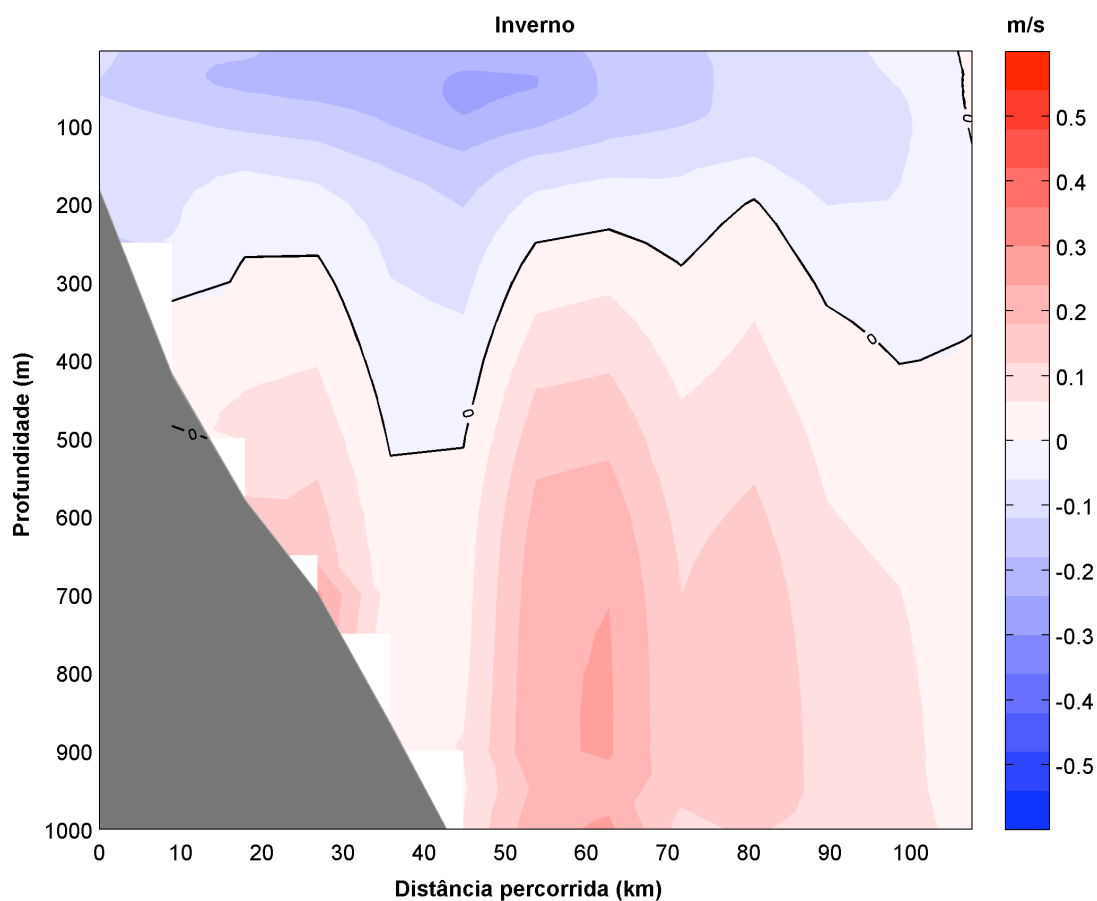


Figura 32: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

A Figura 33 exibe a velocidade geostrófica média calculada para todas as seções disponíveis. Nota-se uma CB e CCI bem definidas, com núcleos deslocados para regiões mais profundas.

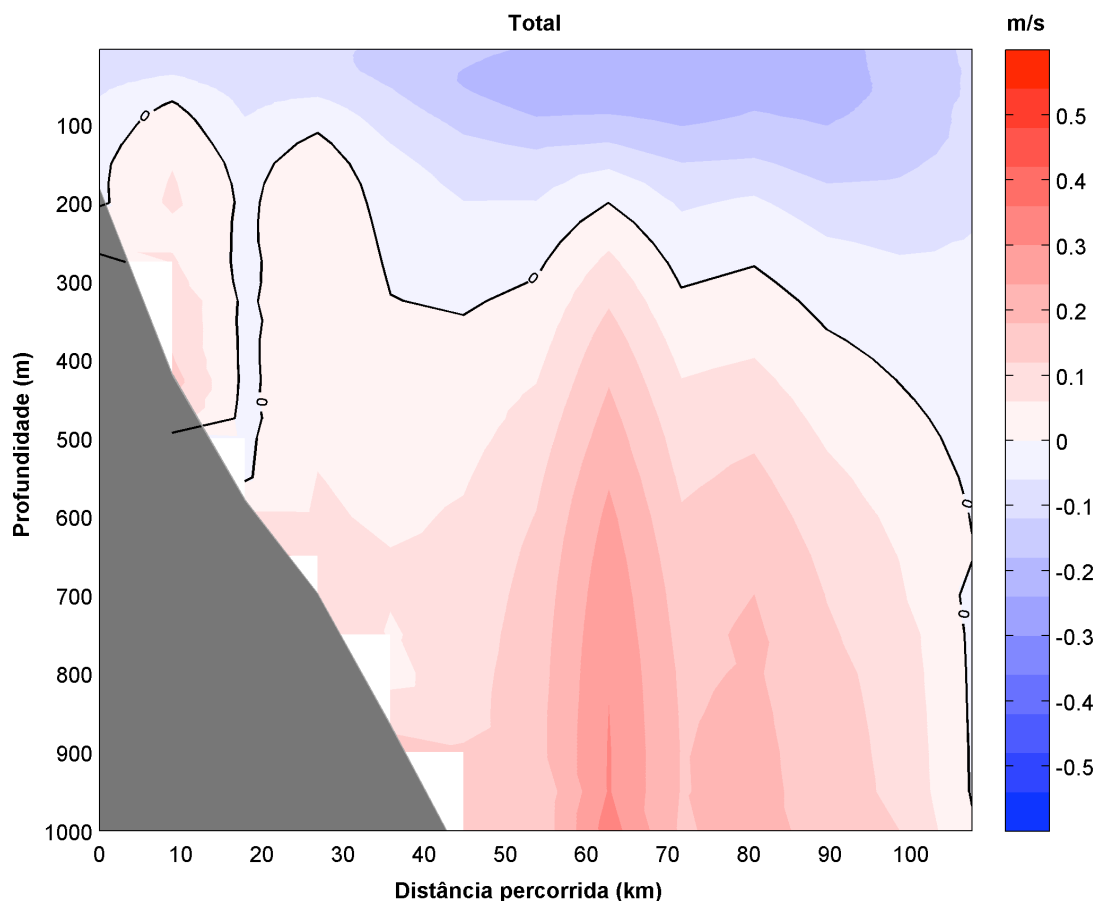


Figura 33: Seção vertical média de velocidade geostrófica, calculada a partir do método do movimento referenciado, para todo o período analisado. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

As velocidades máximas da CB obtidas para cada período analisado acima são expostas na Tabela VIII. A velocidade máxima obtida foi para o período de verão, com $0,35 \text{ m s}^{-1}$, similar ao valor apresentado para a primavera ($0,32 \text{ m s}^{-1}$). O outono e o inverno representaram as menores velocidades, respectivamente, $0,23 \text{ m s}^{-1}$ e $0,25 \text{ m s}^{-1}$. Para todo o período analisado, a velocidade geostrófica encontrada foi de $0,25 \text{ m s}^{-1}$.

Nota-se que, para este método, o fluxo da CB é mais intenso durante o período de verão/primavera, distinto do obtido para o método do movimento nulo (verão/outono).

Tabela VIII: Velocidades geostróficas máximas obtidas para a CB em cada período analisado. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.

Períodos	Velocidade Máxima (m s^{-1})
Primavera	-0,32
Verão	-0,35
Outono	-0,23
Inverno	-0,25
Total	-0,22

Comparando esses resultados com a Tabela III – na qual as velocidades geostróficas foram obtidas em sua maioria pelo método do movimento nulo – e com os valores obtidos na Tabela VII, os resultados não são tão próximos: as velocidades obtidas para este estudo são inferiores as apresentadas nessa revisão bibliográfica.

Como já descrito no item 4.4.2 (Cálculo da Velocidade Geostrófica Absoluta), este método não é tão utilizado no meio científico como o primeiro, dada à dificuldade de obtenção de dados para o mesmo período daqueles utilizados no cálculo da velocidade geostrófica relativa (temperatura e salinidade). Entretanto, assumir um nível de movimento nulo é uma aproximação – no sentido de se estimar qual seria esse nível e dele se manter fixo – e este último método parece retratar com maior realidade a feição da CB. Nota-se que o verão apresenta uma dinâmica totalmente diferente daquela retratada pelo método do movimento nulo, no qual sempre será retratado um fluxo da CB bem definido acima do nível de referência escolhido.

O estudo de ROCHA *et al.* (2014), já citado no item 3.1.2 (Transporte de Volume), estimou a velocidade da CB a partir de 4 fundeios, localizados em seções estratégicas entre a Bacia de Campos e a Bacia de Pelotas (Figura 8). Uma dessas seções, chamada de DFBS, possui localização bem próxima à radial analisada neste estudo, sendo seus resultados apresentados na Tabela IX.

Tabela IX: Resultados de velocidade média e desvio padrão obtidos para a seção DFBS, para os primeiros metros de profundidade.

Fonte: Adaptada de ROCHA *et al.* (2014)

Instrumento (m)	Média (m s^{-1})	Desvio Padrão (m s^{-1})
30	-0,17±0,14	0,38±0,10
50	-0,17±0,14	0,39±0,10
70	-0,16±0,14	0,40±0,10

Esses resultados são inferiores quando comparados aos da Tabela III, para a

mesma região, estando mais condizentes com os valores obtidos neste item (Tabela VIII). Em superfície, a velocidade média é de $0,17 \pm 0,14 \text{ m s}^{-1}$, com desvio padrão de $0,38 \pm 0,10 \text{ m s}^{-1}$. Observa-se que os valores de desvio padrão são superiores às respectivas médias, o que indica a alta variabilidade da região (ROCHA *et al.*, 2014).

Outro importante estudo que deve ser citado é o de BILO *et al.* (2014), o qual utilizou dados de velocidade obtidos por ADCPs (*Acoustic Doppler Current Profiler*), da superfície a 300 m de profundidade, para estabelecer o seu nível de movimento referenciado. A comparação deste método com os demais, realizada no próprio estudo, mostrou que os resultados eram coincidentes com os demais métodos utilizados no trabalho e também com outras referências literárias. Outra importante conclusão desse estudo foi a de que o método do movimento referenciado foi o que melhor estimou a componente de velocidade barotrópica, em regiões mais rasas – com profundidades inferiores a 500 m.

Como última análise, sabe-se que o emprego do movimento referenciado a partir de dados de velocidade de altimetria satelital pode estar atrelado a algumas limitações, já que há, neste caso específico, uma junção de diferentes métodos de cálculos de velocidade: uma predominantemente baroclínica (calculada a partir dos gradientes de densidade) e outra predominantemente barotrópica (calculada a partir da elevação da superfície do mar). O objetivo principal destas análises foi apresentar diferentes métodos para o cálculo da velocidade a partir da mesma base de dados de temperatura e salinidade, disponibilizada pelo Projeto Azul. Porém, estudos mais detalhados e com maior enfoque nesta questão devem ser realizados para uma melhor comparação e averiguação dessas metodologias, principalmente considerando a região de estudo e as feições a ela relacionadas.

5.2. TRANSPORTE GEOSTRÓFICO DE VOLUME

Para cada seção de velocidade geostrófica obtida, foi possível também calcular o transporte geostrófico de volume, sendo apresentados a seguir.

5.2.1. MOVIMENTO NULO

As regiões delimitadas para o cálculo do transporte geográfico de volume a partir das velocidades geostróficas obtidas pelo método do movimento nulo são apresentadas da Figura 34 à Figura 38. A delimitação neste caso foi simples: no eixo horizontal, foi considerada toda a largura da seção, e no eixo vertical, foi considerado

o nível de referência obtido em cada caso (Tabela VII).

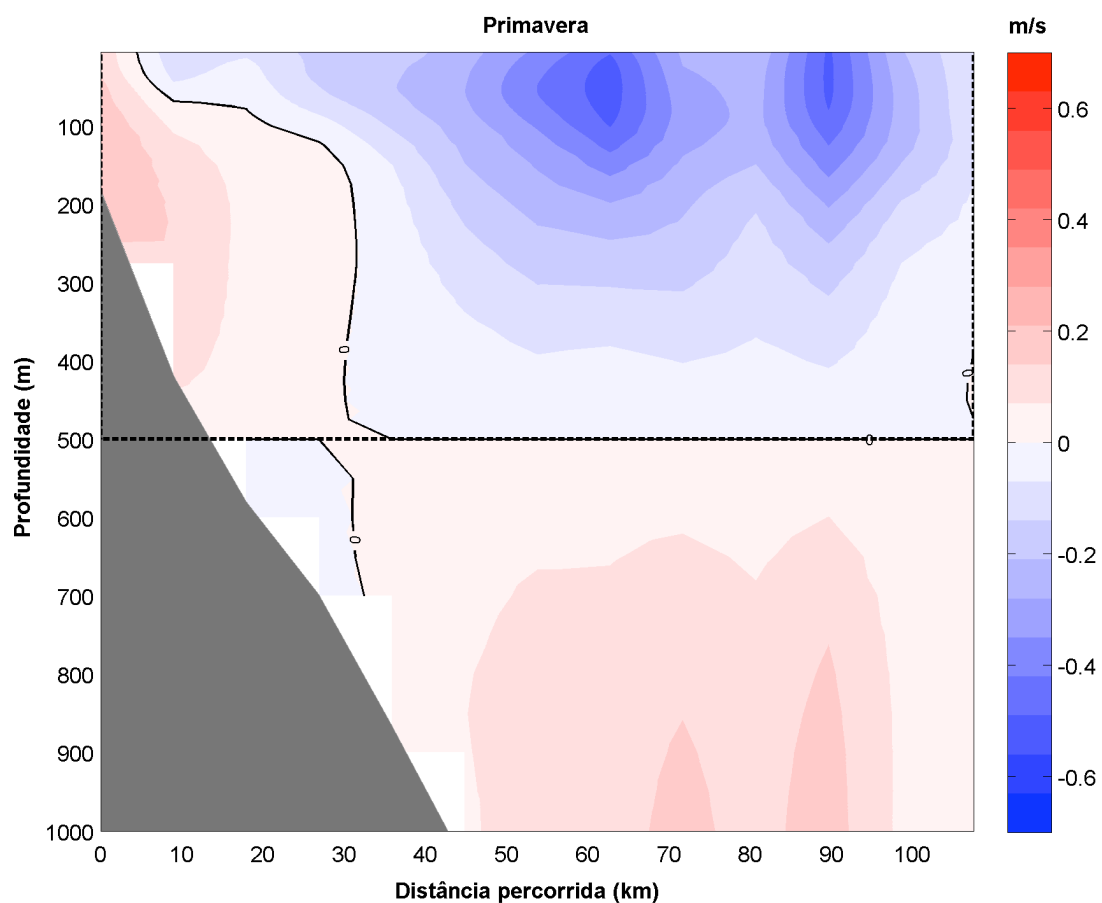


Figura 34: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para a primavera. Seção vertical apresentada na Figura 24.

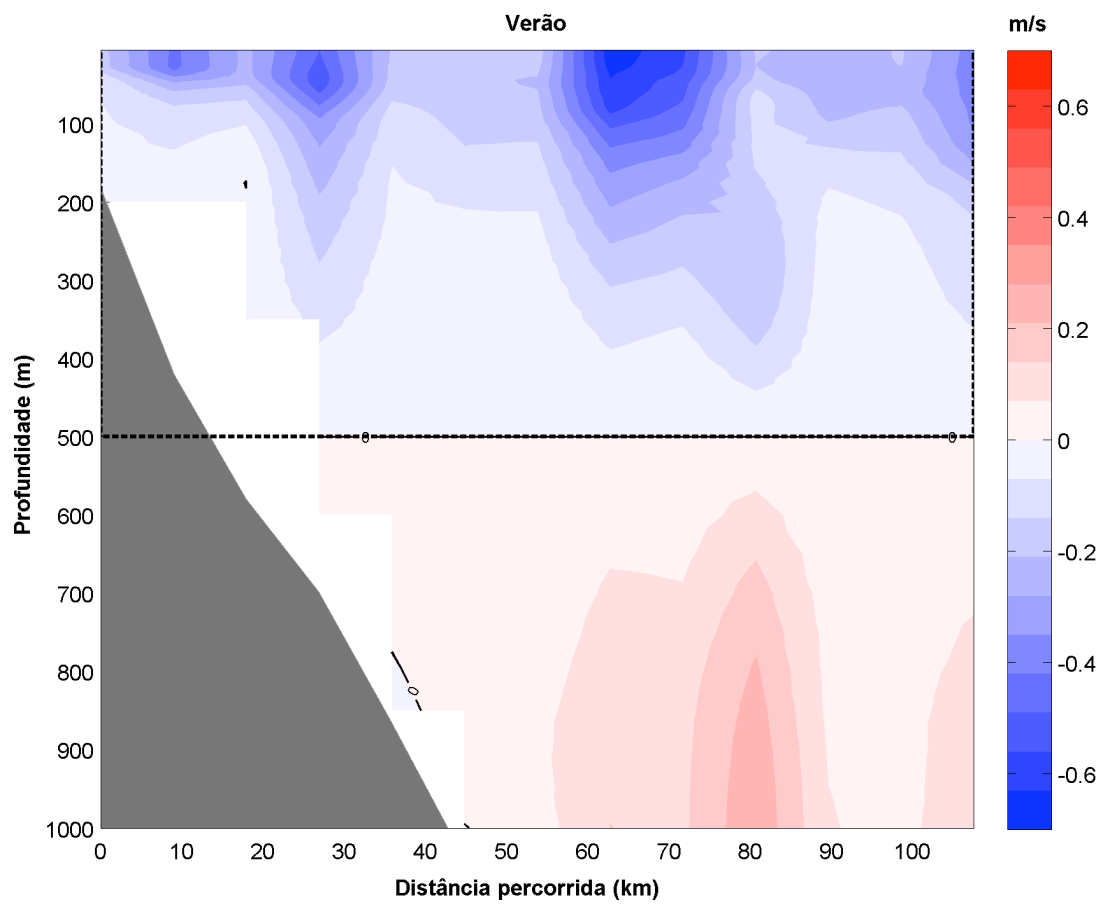


Figura 35: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o verão. Seção vertical apresentada na Figura 25.

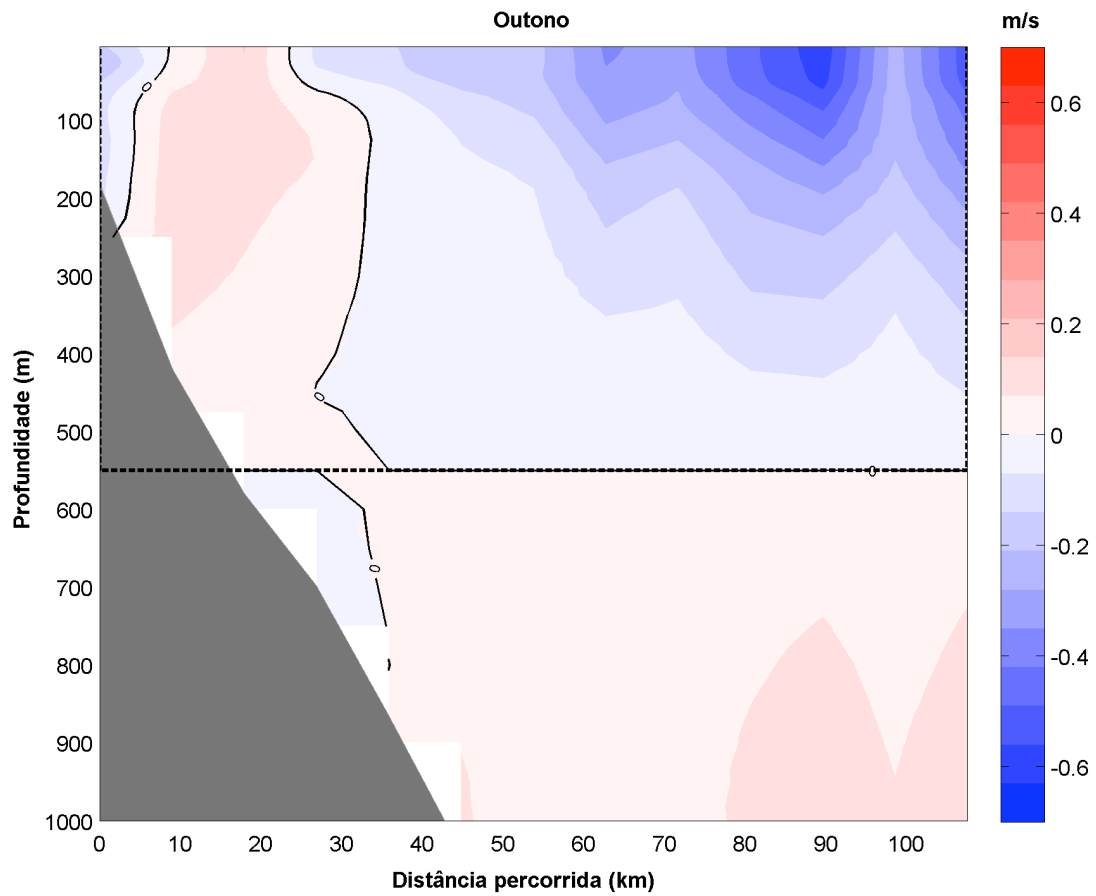


Figura 36: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o outono. Seção vertical apresentada na Figura 26.

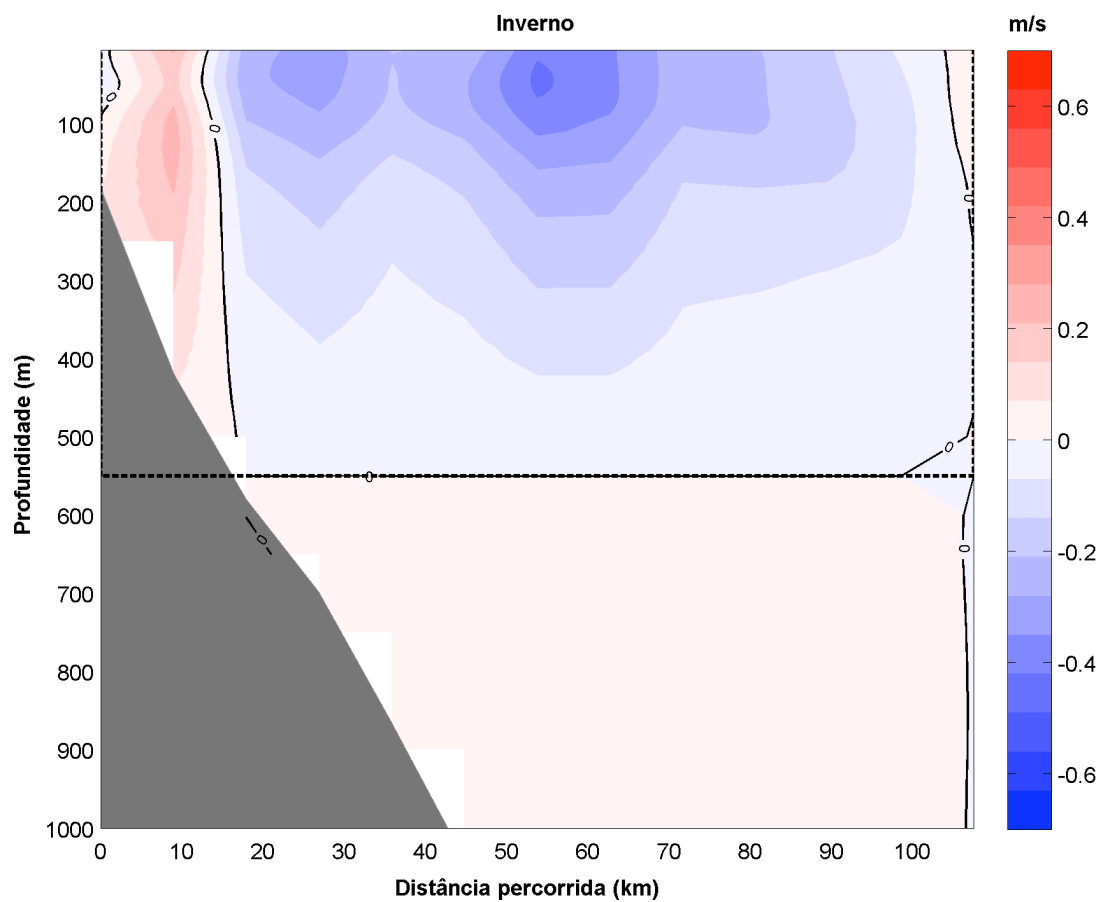


Figura 37: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para o inverno. Seção vertical apresentada na Figura 27.

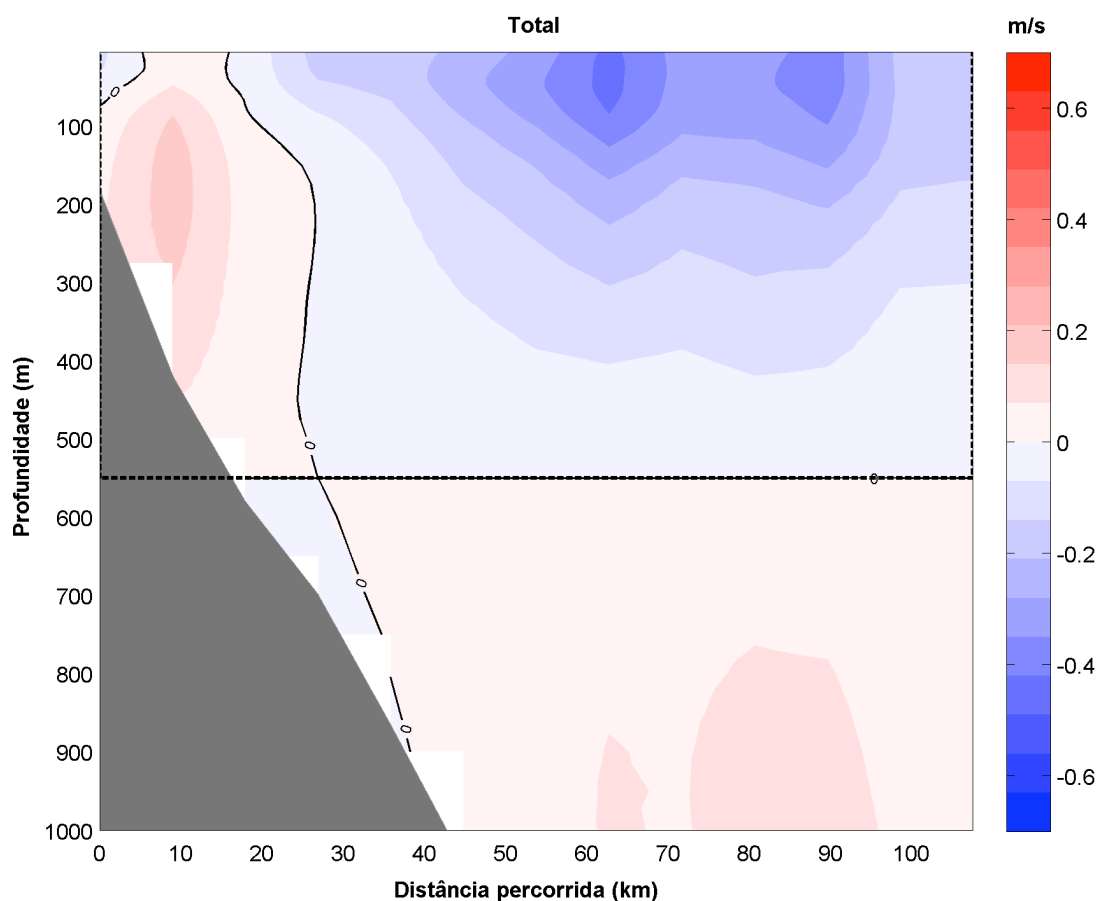


Figura 38: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento nulo, para todo o período analisado. Seção vertical apresentada na Figura 28.

A Tabela X exhibe os transportes de volume obtidos para cada período analisado. Seguindo o padrão observado para a velocidade geostrófica, o verão foi o período que obteve o transporte máximo, 6,60 Sv, com valor mínimo no inverno, 4,76 Sv. Comparativamente à bibliografia, apresentada na Tabela III, esses valores são próximos aos obtidos preteritamente.

Tabela X: Transporte de volume geostrófico obtido para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento nulo. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.

Períodos	Transporte de Volume (Sv)
Primavera	-5,04
Verão	-6,60
Outono	-5,27
Inverno	-4,76
Total	-5,62

5.2.2. MOVIMENTO REFERENCIADO

As regiões delimitadas para o cálculo do transporte geográfico de volume a partir das velocidades geostróficas obtidas pelo método do movimento referenciado são apresentadas da Figura 39 à Figura 43. A delimitação neste caso foi mais criteriosa, como já apresentado no item 4.5:

- No eixo horizontal – a CB foi delimitada de acordo com o núcleo obtido pela velocidade geostrófica.
- No eixo vertical – só foram consideradas as profundidades nas quais havia velocidade negativa. Porém, em alguns casos, havia ocorrência de fluxos para sul até 1.000 m, sendo estipulada uma profundidade máxima permitida – de 550 m – coincidente com o nível de referência máximo obtido na Tabela VII e similar ao proposto por MATTOS (2006).

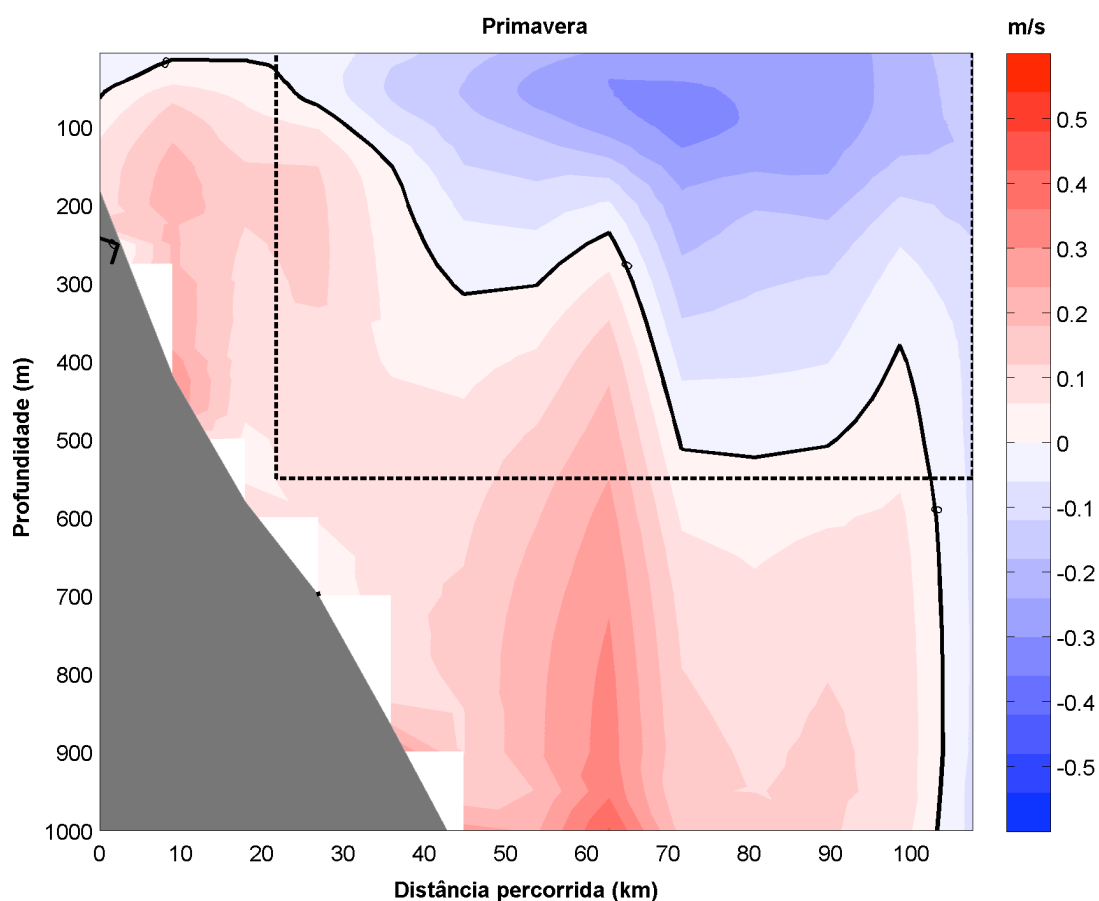


Figura 39: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para a primavera. Seção vertical apresentada na Figura 29.

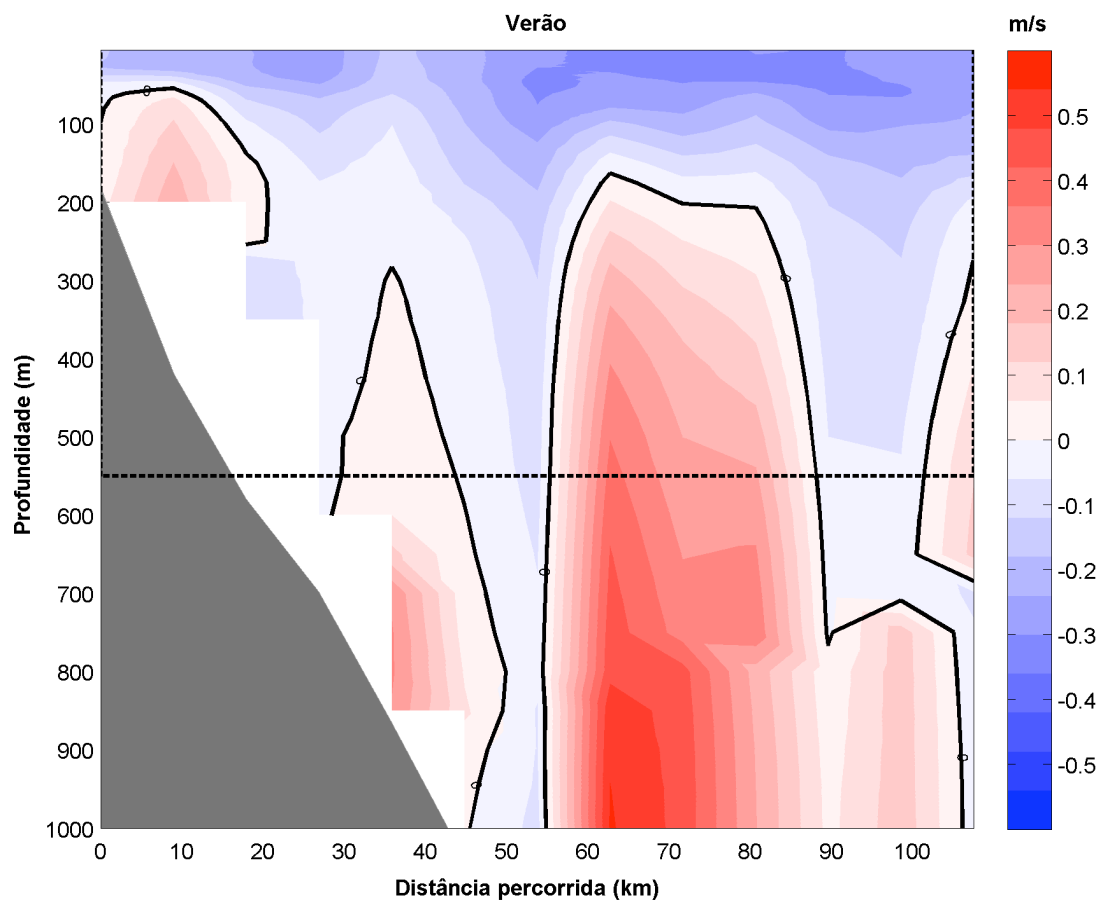


Figura 40: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o verão. Seção vertical apresentada na Figura 30.

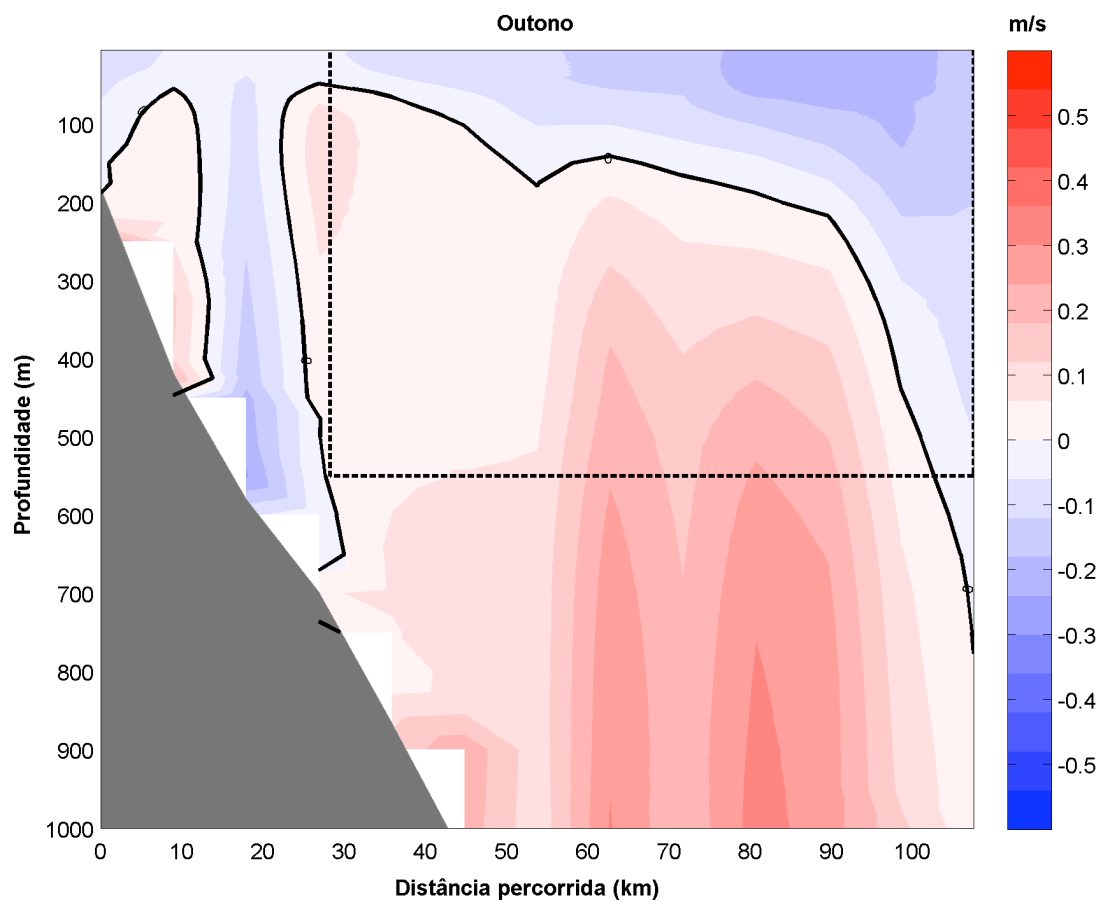


Figura 41: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o outono. Seção vertical apresentada na Figura 31.

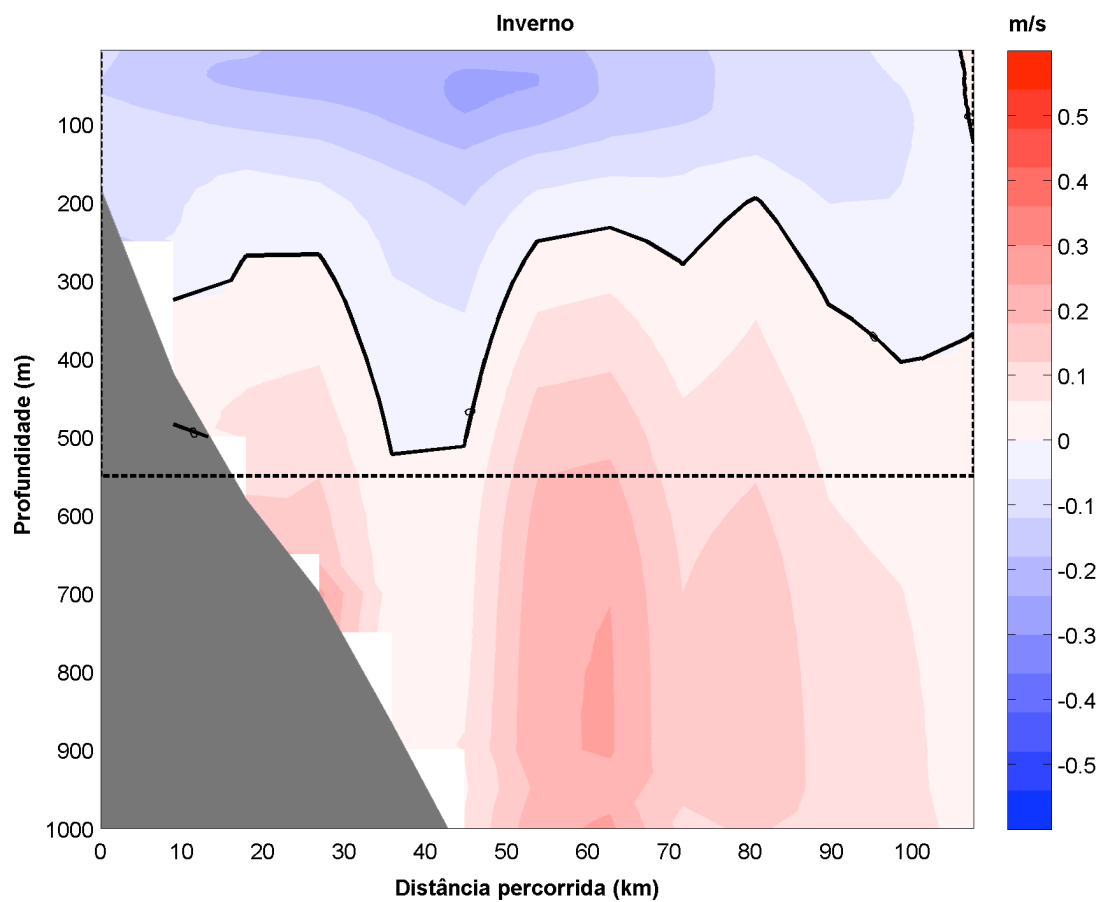


Figura 42: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para o inverno. Seção vertical apresentada na Figura 32.

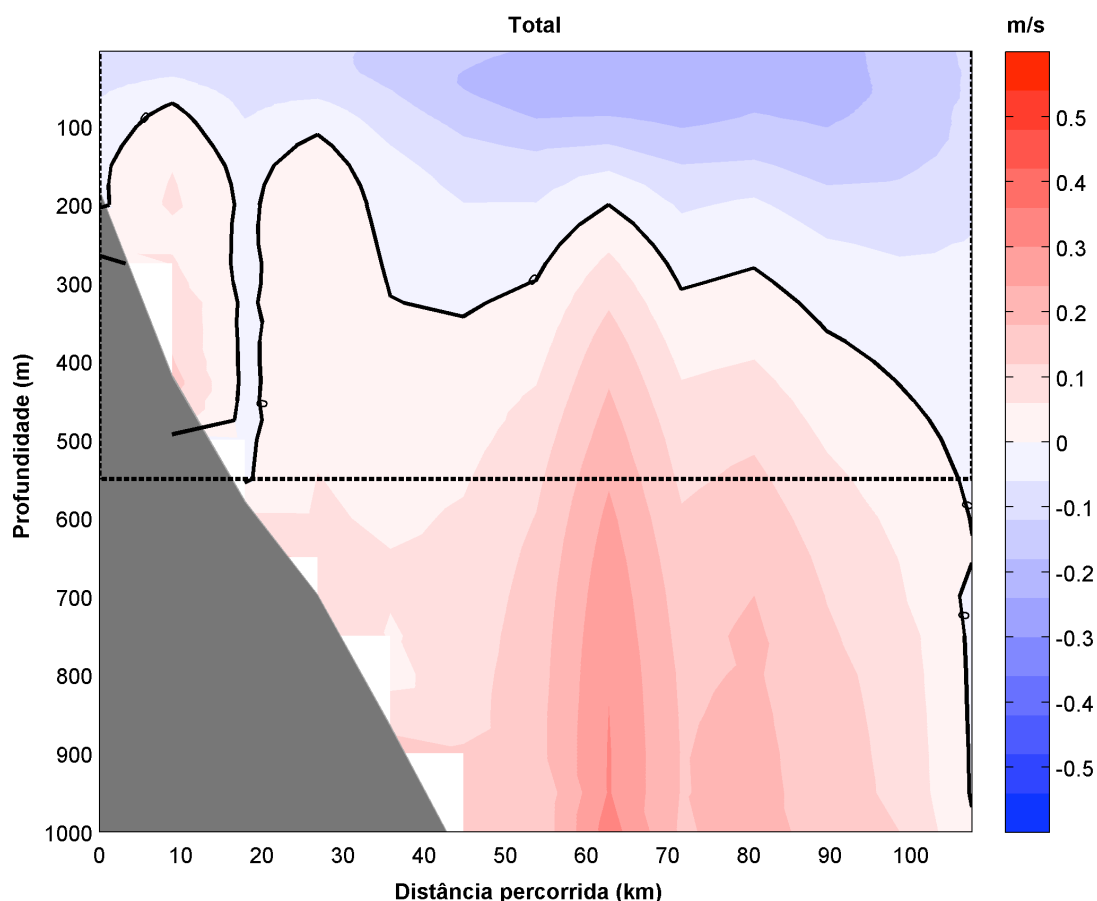


Figura 43: Linha pontilhada delimitando a região de base para o cálculo do transporte geostrófico de volume pelo método do movimento referenciado, para todo o período analisado. Seção vertical apresentada na Figura 33.

A Tabela XII exhibe os transportes de volume obtidos para cada período analisado. Neste caso, o verão permanece com o maior transporte (4,18 Sv), mas o outono passa a ser o com menor valor (1,59 Sv), diferente do obtido pelo método do movimento nulo, no qual o menor transporte ocorreu durante o inverno.

Tabela XI: Transporte de volume geostrófico obtido para a CB em cada período analisado, pelo método do movimento referenciado. Os sinais negativos retratam o fluxo para sul.

Períodos	Transporte de Volume (Sv)
Primavera	-3,97
Verão	-4,18
Outono	-1,59
Inverno	-2,80
Total	-2,52

Comparando os métodos propostos, a mesma estrutura obtida na velocidade

geostrófica é observada: os resultados obtidos para este método são inferiores aos obtidos pelo método do movimento nulo. Deve-se ressaltar que a metodologia empregada neste caso, como já apresentado no item 5.1.2, apresenta um perfil de velocidade geostrófica mais realista, mas novamente deve-se atentar para as possíveis limitações atreladas a esta análise.

5.3. ESTRUTURA TERMOHALINA

5.3.1. SEÇÕES VERTICAIS DE TEMPERATURA E SALINIDADE

As seções verticais médias de temperatura e salinidade obtidas para a primavera, para o verão, para o outono e para o inverno são apresentadas, respectivamente, da Figura 44 à Figura 47. As seções verticais médias de densidade já foram apresentadas no item 5.1 (Velocidade Geostrófica), da Figura 19 à Figura 23.

Em relação à temperatura, o verão e o outono foram os períodos que apresentaram os maiores valores em superfície, com respectivamente 26,4°C e 26,47°C. Ainda nestes períodos, são observados maiores adensamentos das isotermas em superfície, ocasionando variações bruscas de temperatura, o que deve estar relacionado com a presença da termoclina sazonal nessa época do ano. Durante o inverno, a ação dos ventos é mais forte, fortalecendo a camada de mistura e mantendo a temperatura com baixas variações em profundidade (STEWART, 2008; ASSAD *et al.*, 2009).

Seguindo o padrão, durante a primavera e o inverno foram observadas menores temperaturas em superfície, com respectivamente 23,76°C e 23,94°C. Nota-se uma maior mistura da água nessas épocas, não seguindo o mesmo padrão observado durante o verão/outono.

Analisando a salinidade, percebe-se núcleos de menor salinidade em superfície em regiões mais próximas à costa para os períodos de primavera – quando esse núcleo se mostra mais presente – e inverno – com núcleo mais restrito e próximo à costa. As seções de densidade (Figura 19 à Figura 23) também mostram esses mesmos núcleos.

Esta estrutura pode estar relacionada com alguns fatores, sendo apontados três a seguir:

- Aumento do aporte de águas menos salinas do continente;
- Maior ocorrência de chuvas;

- A presença da Contra Corrente Costeira (CCC), caracterizada por águas mais frias e menos salinas. Segundo CAMPOS *et al.* (1996), a CCC já foi reportada para latitudes próximas ao Rio de Janeiro (~ 24°S), mas a ocorrência dessa estrutura nessa região seria fruto de algum evento anômalo. Entretanto, SOUZA; ROBINSON (2004), utilizando TSM e dados de derivadores, viram que a penetração da CCC até 24°S não se trata de um fenômeno anômalo, mas sim um processo que ocorre com frequência na costa brasileira durante o inverno.

Outra observação importante obtida pela análise dessas seções foi a maior inclinação das isotermas, isohalinas e isopicnais durante a primavera/verão, em direção a menores profundidades, o que pode estar relacionado com o fenômeno de ressurgência. É registrado o afloramento da ACAS na plataforma continental desde a região de Cabo Frio até um pouco depois do Rio de Janeiro durante os períodos de verão e primavera, devido aos ventos do quadrante NE (TORRES JR., 1995).

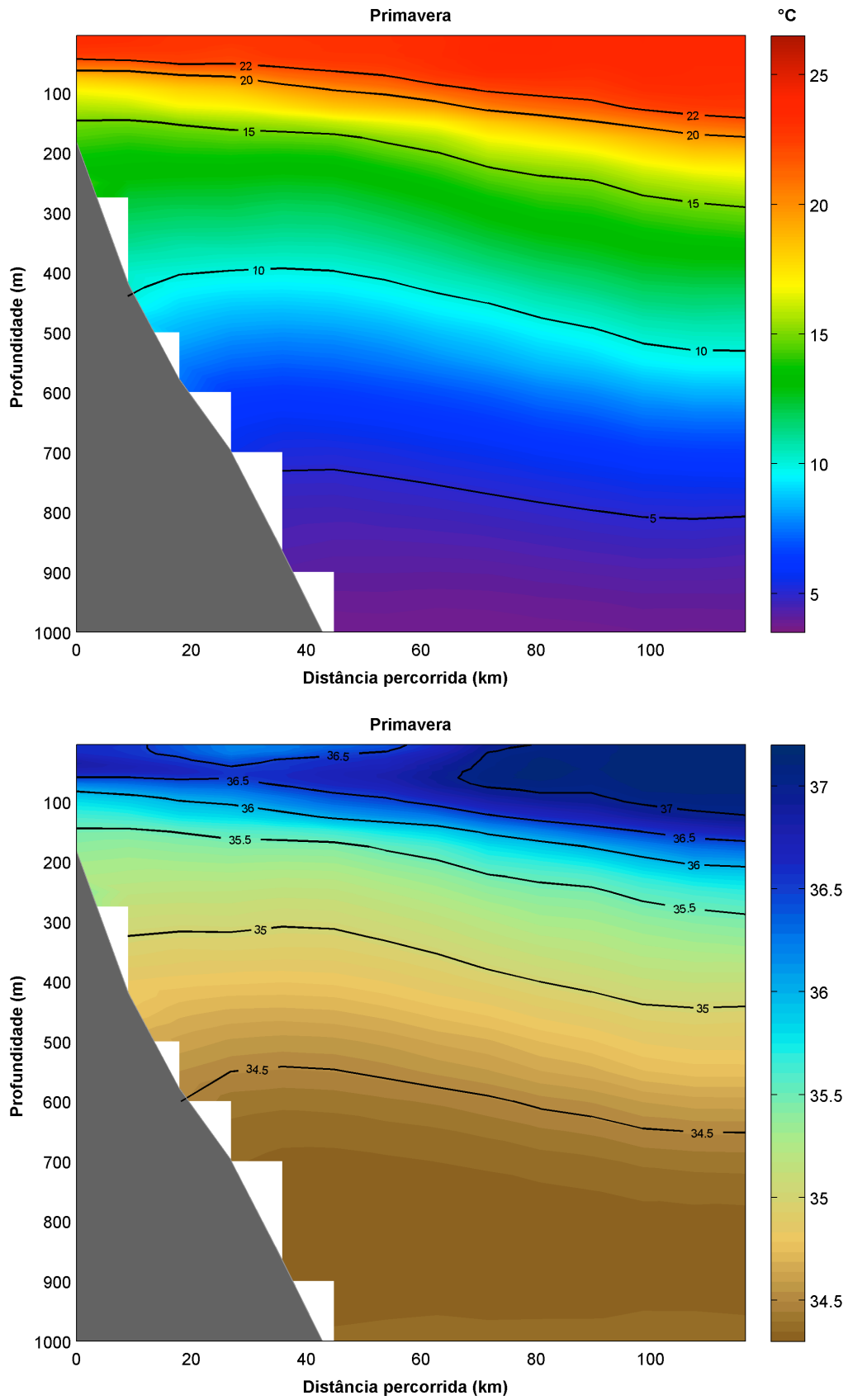


Figura 44: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para a primavera. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

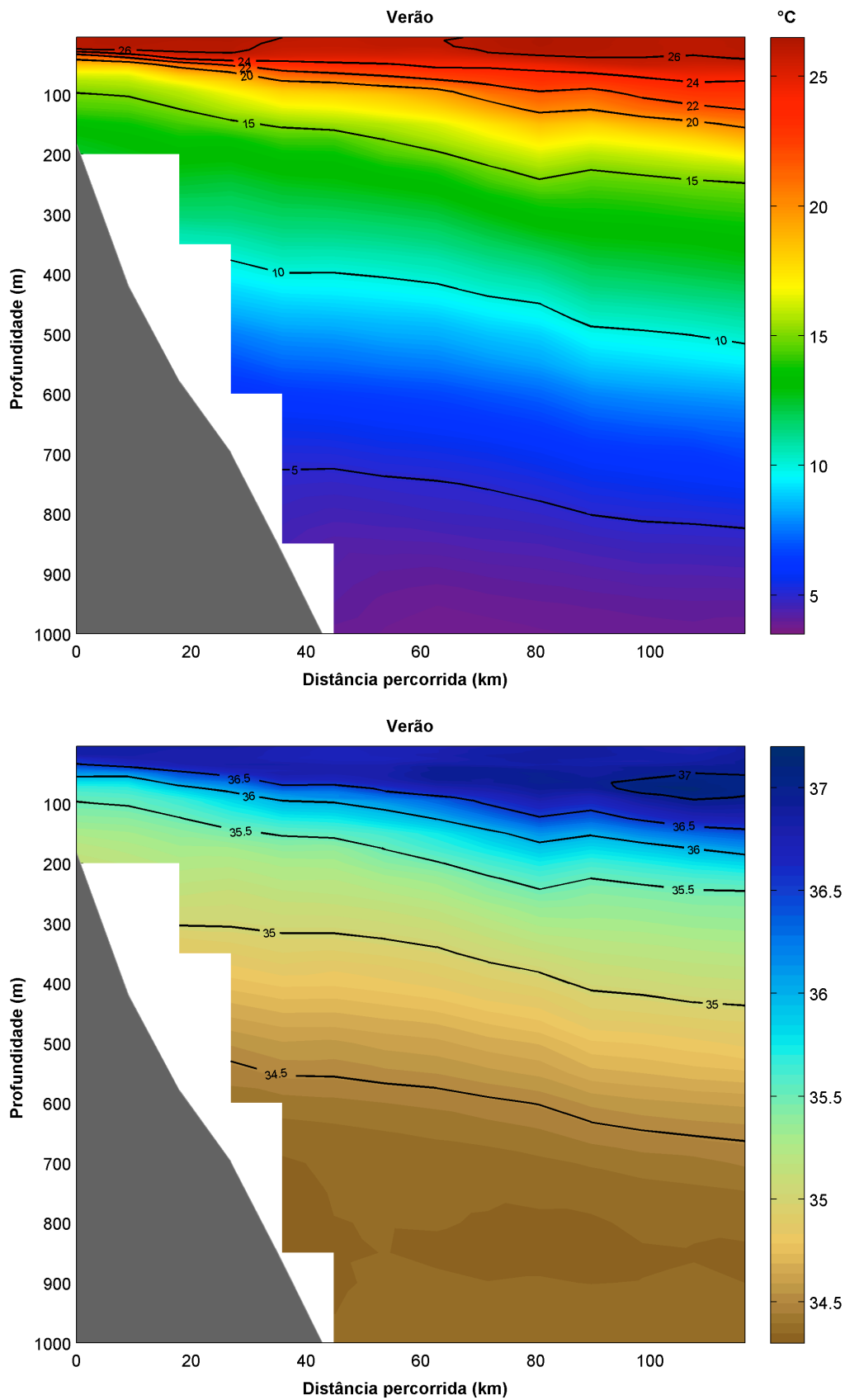


Figura 45: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o verão. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

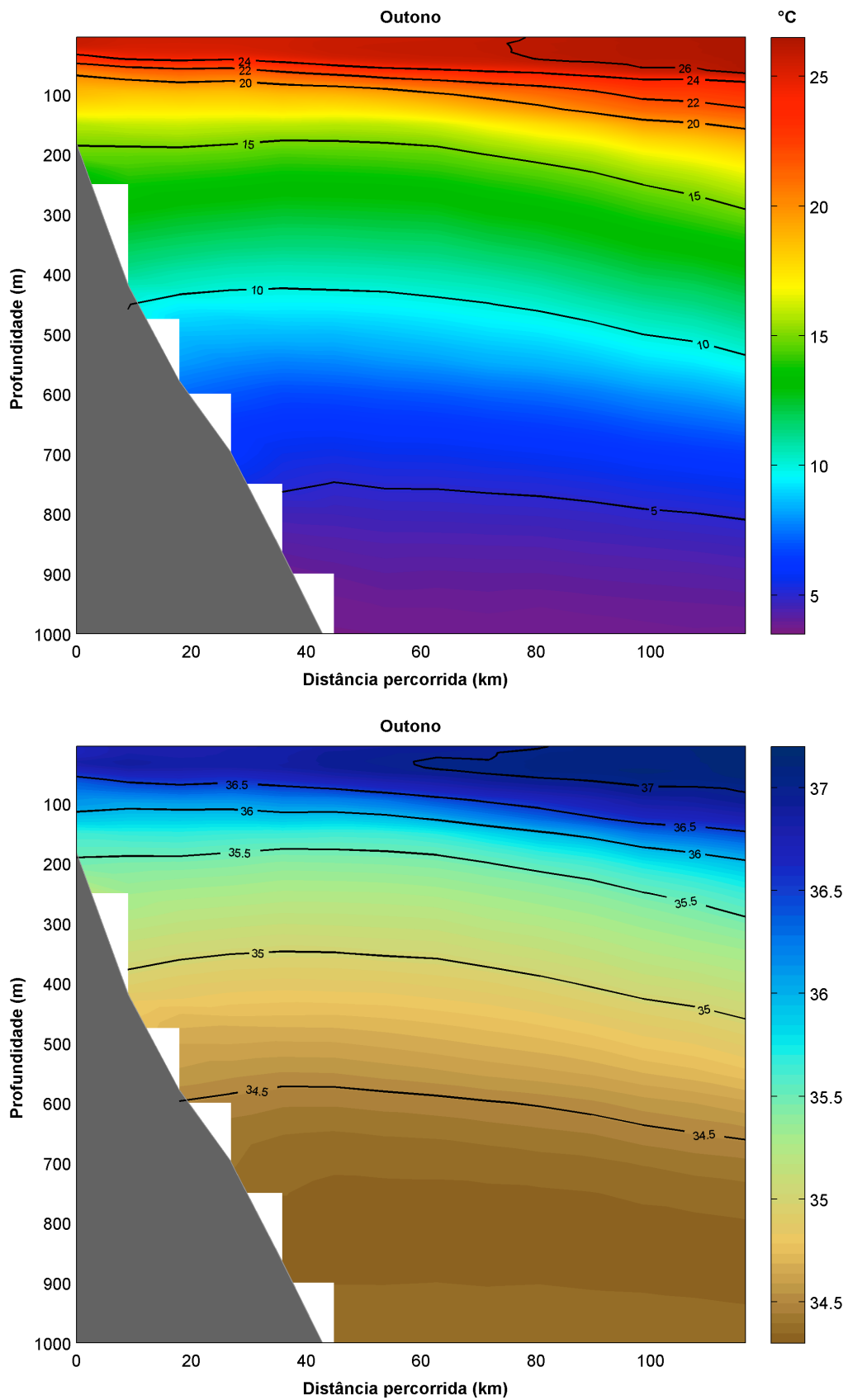


Figura 46: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o outono. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

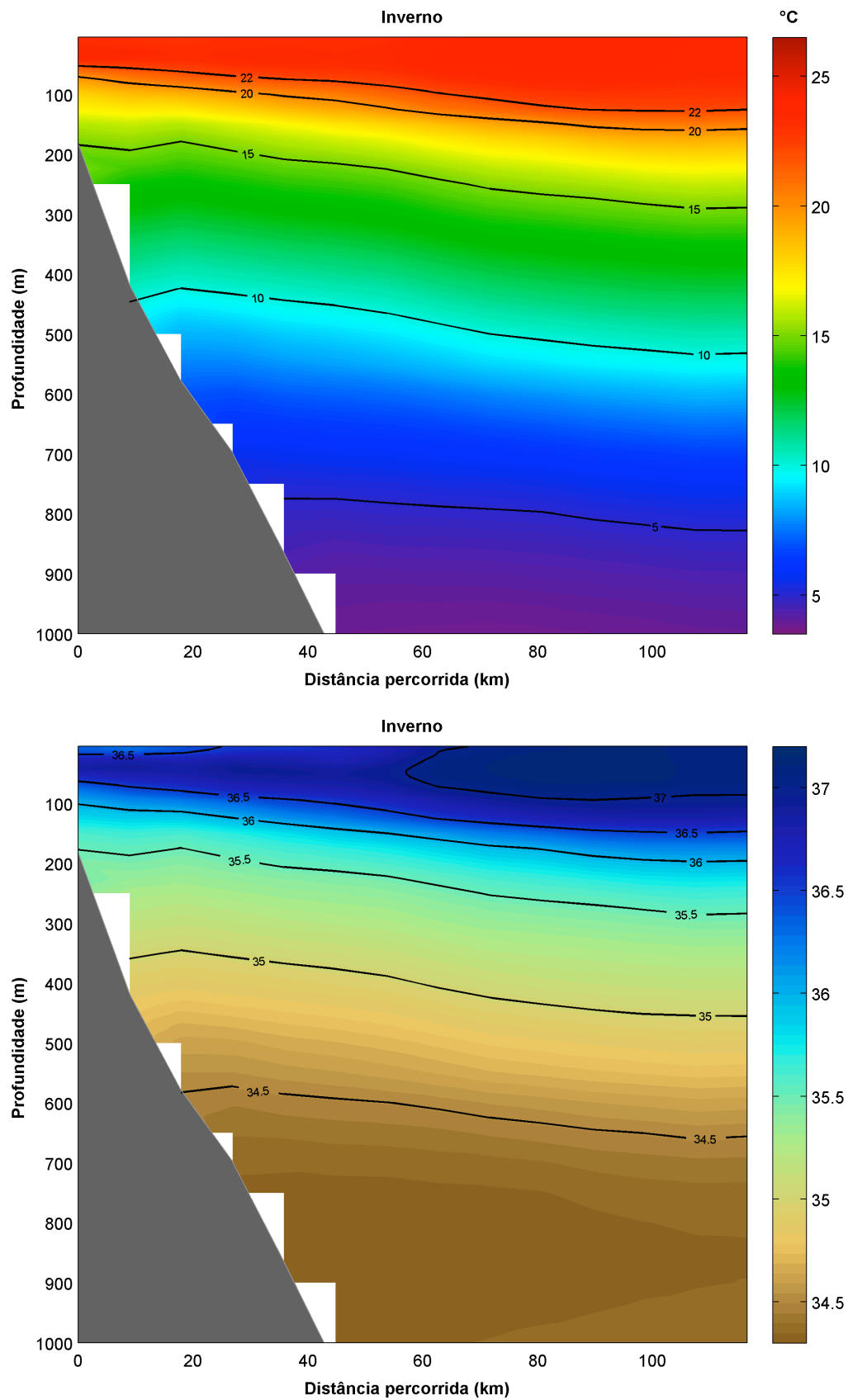


Figura 47: Seção vertical média de temperatura (painel superior) e salinidade (painel inferior) obtidas para o inverno. Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

5.3.2. PERFIS DE TEMPERATURA, SALINIDADE E DENSIDADE

Na Figura 48, são apresentados os perfis médios de temperatura, salinidade e densidade obtidos para cada estação do ano. A Figura 49 apresenta o mesmo resultado, mas com enfoque nos primeiros 200 m de profundidade.

Dentre todas as estações, o outono apresenta os maiores valores de temperatura, da superfície até 55 m de profundidade. A partir desse nível, o inverno passa a apresentar as maiores temperaturas. Um comportamento similar é observado para a salinidade, mas o nível de sobreposição do inverno sobre o outono ocorre a 20 m de profundidade.

A temperatura obtida variou entre 3,8°C (outono – 1.000 m) e 25,6°C (outono – superfície), já a salinidade apresentou limites entre 34,32 (inverno – 45 m) e 36,99 (primavera – 850 m).

Pela análise dos perfis de densidade, percebe-se, durante os períodos de verão e outono, a presença de uma camada de mistura até aproximadamente 20 m e logo abaixo uma demarcada picnoclina. Durante o inverno e a primavera, essa estrutura não é observada. Essa variação sazonal condiz com o esperado, e comprova o que foi observado no item 5.3.1 (Seções Verticais de Temperatura e Salinidade). Essa mesma característica é observada para os perfis de temperatura, sendo bem demarcada a presença da termoclina sazonal para os períodos de verão e outono.

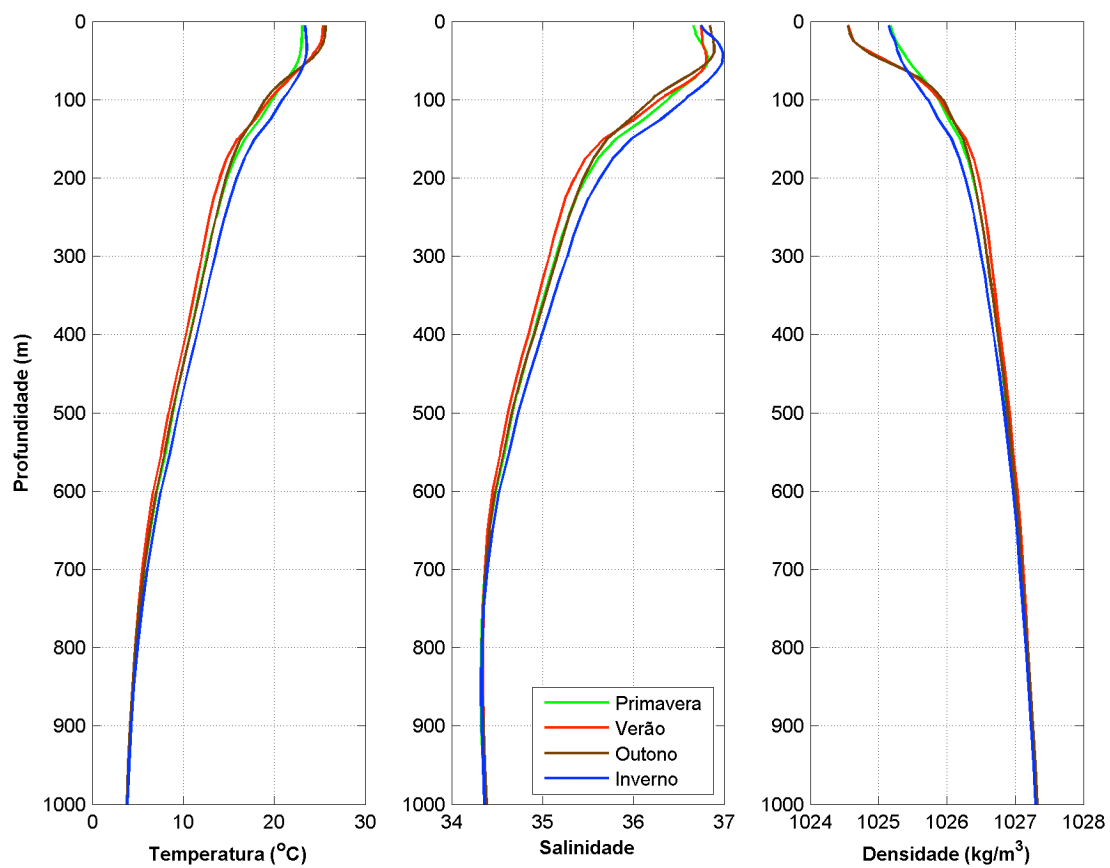


Figura 48: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano, obtidos a partir de todos os perfis especificados na Figura 15.

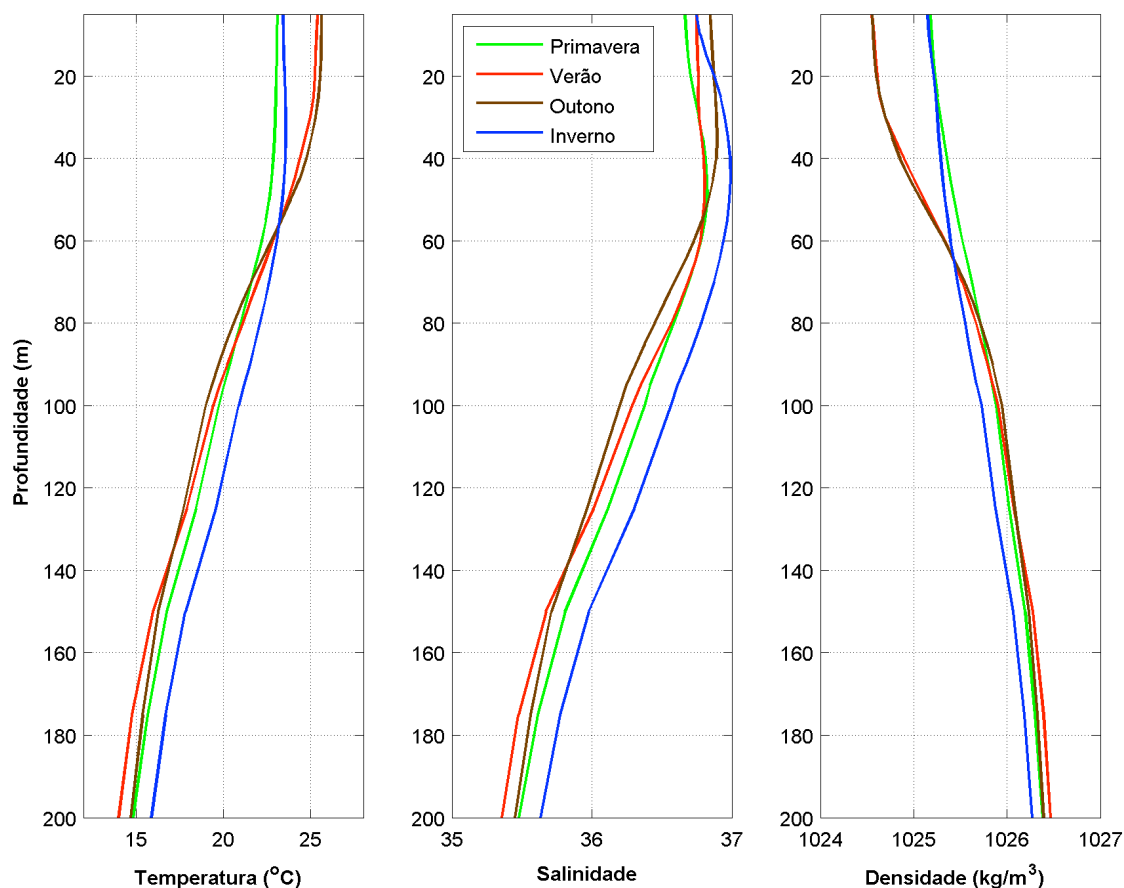


Figura 49: Perfis médios de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano, obtidos a partir de todos os perfis especificados na Figura 15, com enfoque nos primeiros 200 m de profundidade.

5.3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA

Da Figura 50 à Figura 53 são apresentados os diagramas T-S referentes a cada estação do ano. Os resultados apresentados evidenciam uma maior presença da AM (AC + AT) nos períodos de primavera (1,07%) e inverno (0,83%), representados por índices menos salinos em superfície (profundidades superiores a 100 m). Esse padrão pode indicar maior aporte costeiro e/ou maior pluviosidade nesses períodos.

Ainda durante o inverno e a primavera, percebe-se que a ACAS está mais espalhada em relação aos limites definidos no diagrama, o que pode indicar uma maior mistura dessa massa d'água nesses períodos. Enquanto, as demais estações – outono e verão – apresentam perfis da ACAS mais bem definidos. Esse comportamento também foi observado nas seções verticais de temperatura e salinidade (item 5.3.1) e na Figura 49, na qual está registrada a termoclina sazonal nos períodos de outono e verão, enquanto nos períodos de inverno e primavera, percebe-

se perfis mais homogêneos, ou seja, com maior mistura.

Os núcleos de baixa salinidade observados nas seções verticais (item 5.3.1 – Seções Verticais de Temperatura e Salinidade) durante a primavera e o inverno, em superfície, podem ser observados também nos diagramas T-S apresentados.

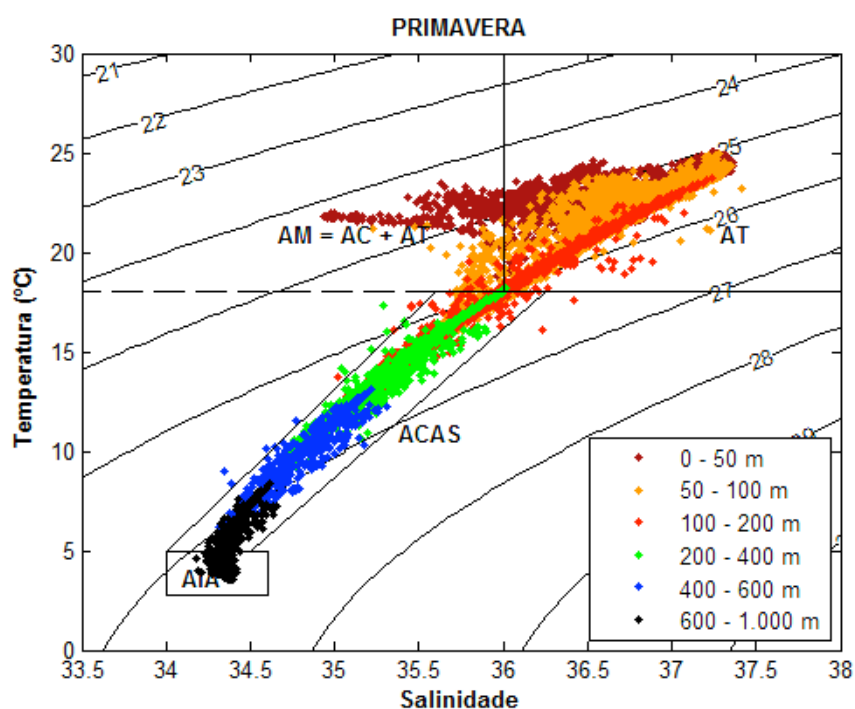


Figura 50: Diagrama T-S espalhado obtido para a primavera, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.

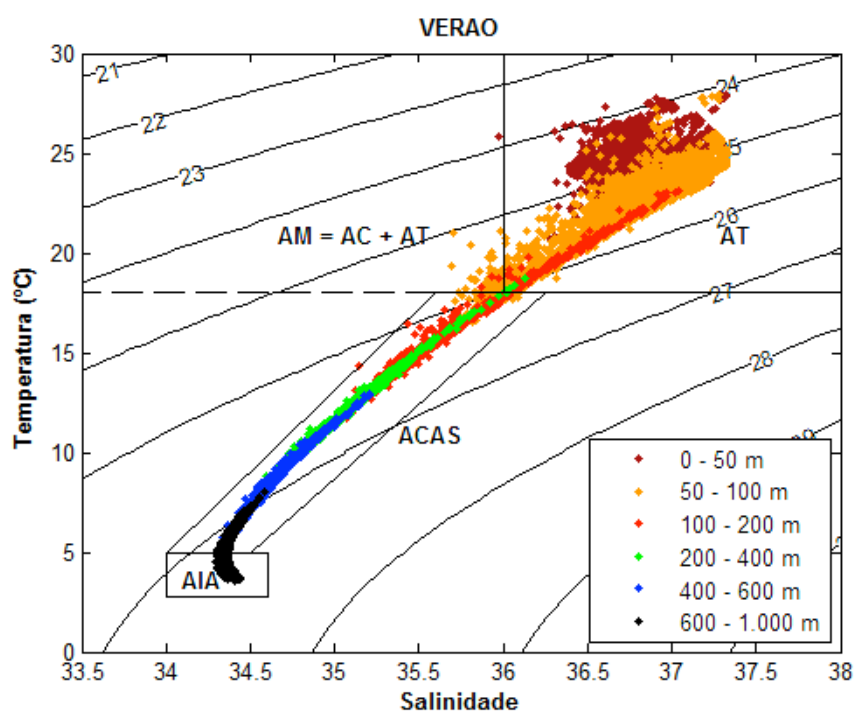


Figura 51: Diagrama T-S espalhado obtido para o verão, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.

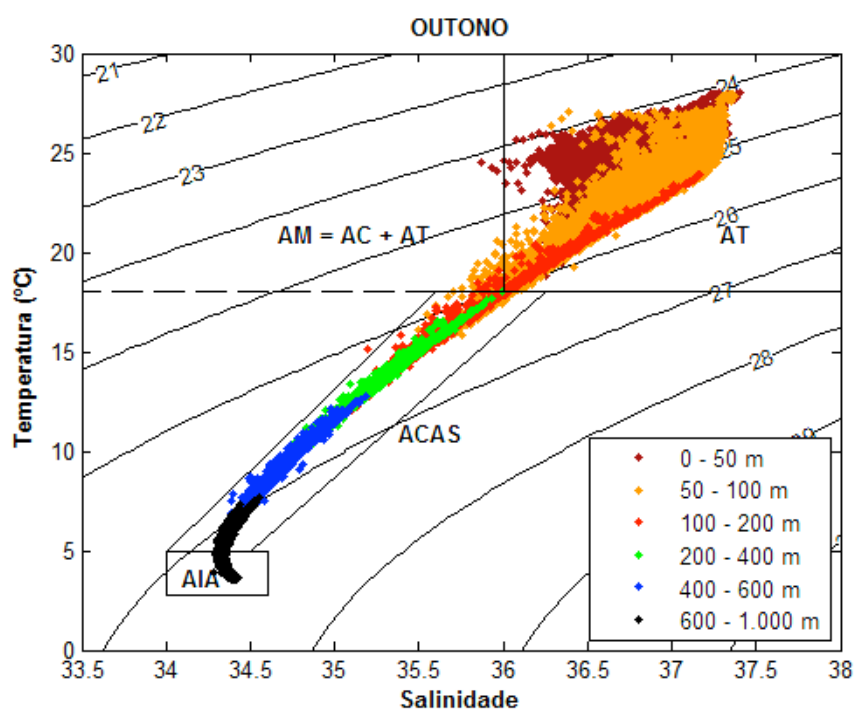


Figura 52: Diagrama T-S espalhado obtido para o outono, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.

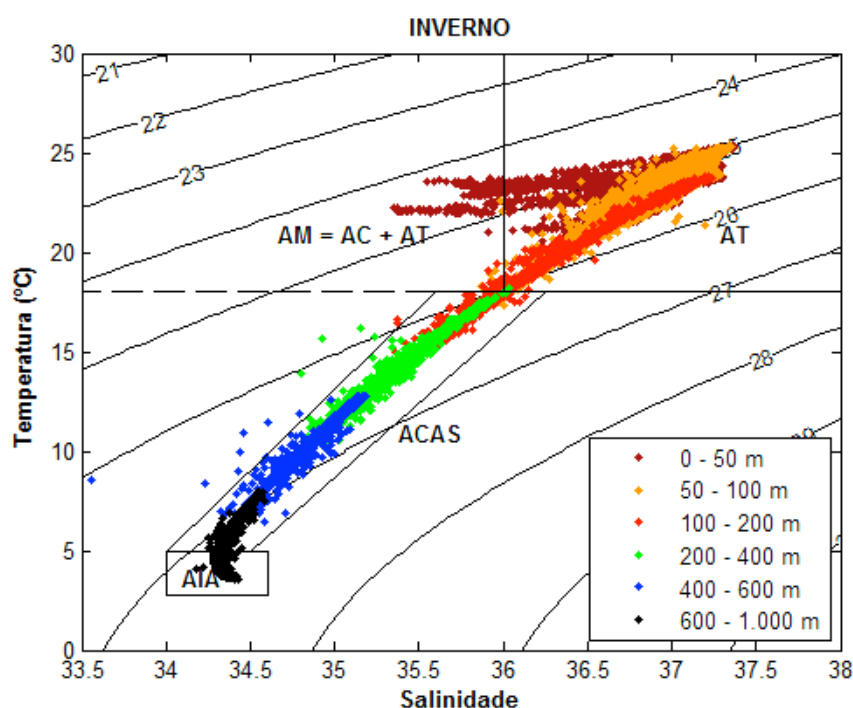


Figura 53: Diagrama T-S espalhado obtido para o inverno, considerando todos os perfis especificados na Figura 15.

A Tabela XII apresenta o percentual obtido para cada massa d'água em relação à sazonalidade. Já, a Tabela XIII indica o percentual de ACAS adquirido em profundidades inferiores a 50, 100, 150 e 200 m, separadamente para cada estação do ano.

Tabela XII: Percentual obtido para cada massa d'água em função de cada estação do ano.

Massas d'Água	Estações do Ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
AM	1,07%	0,37%	0,18%	0,83%
AT	41,13%	41,64%	41,38%	45,10%
ACAS	37,19%	43,16%	40,72%	37,08%
AIA	4,89%	6,77%	5,44%	5,04%

Tabela XIII: Percentual de ACAS obtido para profundidades inferiores a 50, 100, 150 e 200 m, para cada estação do ano.

Estações	Prof <= 50 m	Prof <= 100 m	Prof <= 150 m	Prof <= 200 m
Primavera	-	3,26%	5,66%	9,30%
Verão	0,042%	2,76%	5,84%	9,93%
Outono	0,002%	3,21%	6,38%	10,48%
Inverno	-	0,64%	2,70%	6,13%

Observa-se na Tabela XIII que, acima de 200 m, há uma maior presença da ACAS na primavera e no verão, padrão observado também durante o outono, o que pode corroborar com o que foi discutido no item 5.3.1 (Seções Verticais de Temperatura e Salinidade) sobre a ressurgência, que ocorre predominantemente nos períodos de primavera/verão.

Da Figura 54 à Figura 57 são exibidas as seções verticais de densidade médias para cada estação do ano, nelas são delimitadas as massas d'água encontradas na região, AT, ACAS e AIA. Estas seções já foram previamente apresentadas da Figura 19 à Figura 22.

Durante o inverno e a primavera, são observadas maiores densidades em superfície, com a AT mais espessa e com maior inclinação da sua isolinha de base para maiores profundidades.

A ocorrência de menores densidades em superfície durante o outono e o verão e maiores densidades durante o inverno e a primavera foi também observada nos diagramas T-S. Apesar do inverno e primavera apresentarem maior contribuição da AM (AC + AT), caracterizada por águas menos salinas e com menor densidade, a AT mostra-se mais concentrada entre as superfícies isopícnais de 25 e 26 kg m⁻³ (Figura 50 e Figura 53). É visto que, nestes casos, as menores temperaturas exercem um papel mais significativo no aumento da densidade em superfície. Em contrapartida, os cenários de outono e verão exibem a AT mais presente entre as superfícies isopícnais de 24 e 26 kg m⁻³, decorrente das maiores temperaturas observadas.

Esse padrão também foi observado para as seções verticais de temperatura apresentadas no item 5.3.1, em que menores temperaturas superficiais foram obtidas durante o inverno e a primavera, e maiores valores foram notados ao longo do verão e do outono.

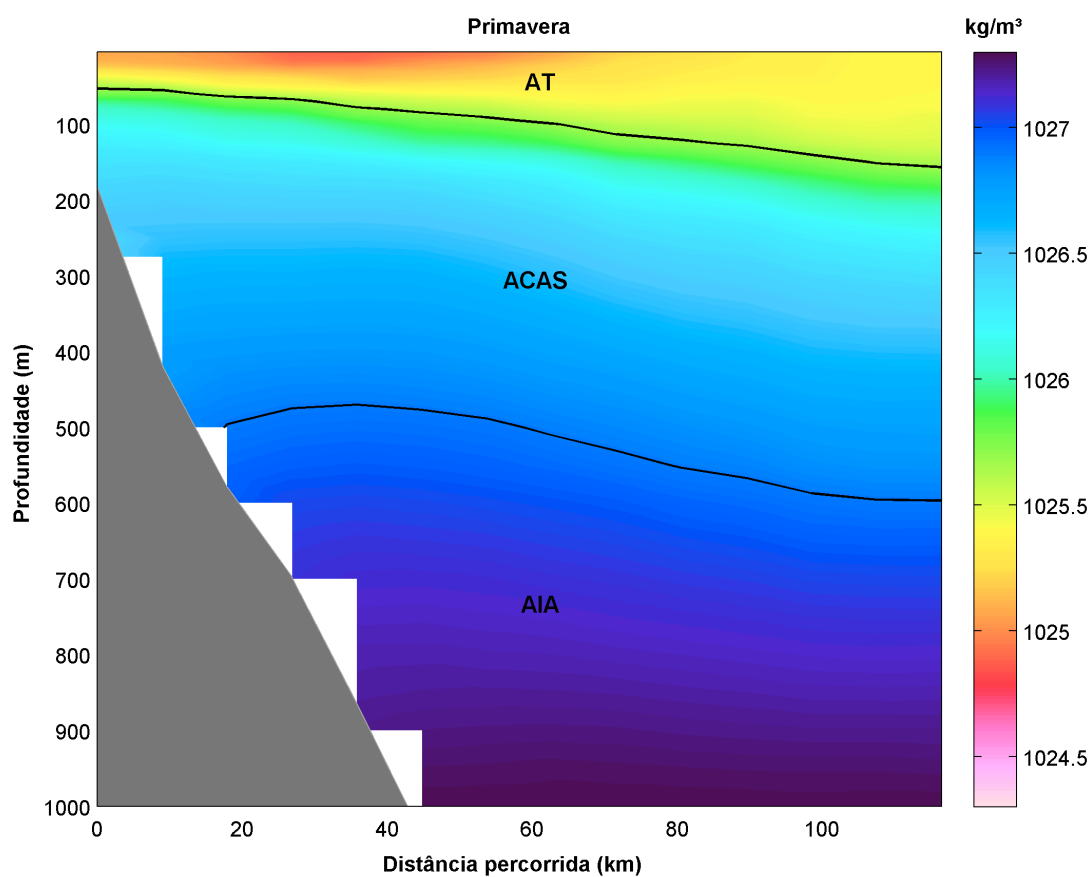


Figura 54: Seção vertical média de densidade para a primavera, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

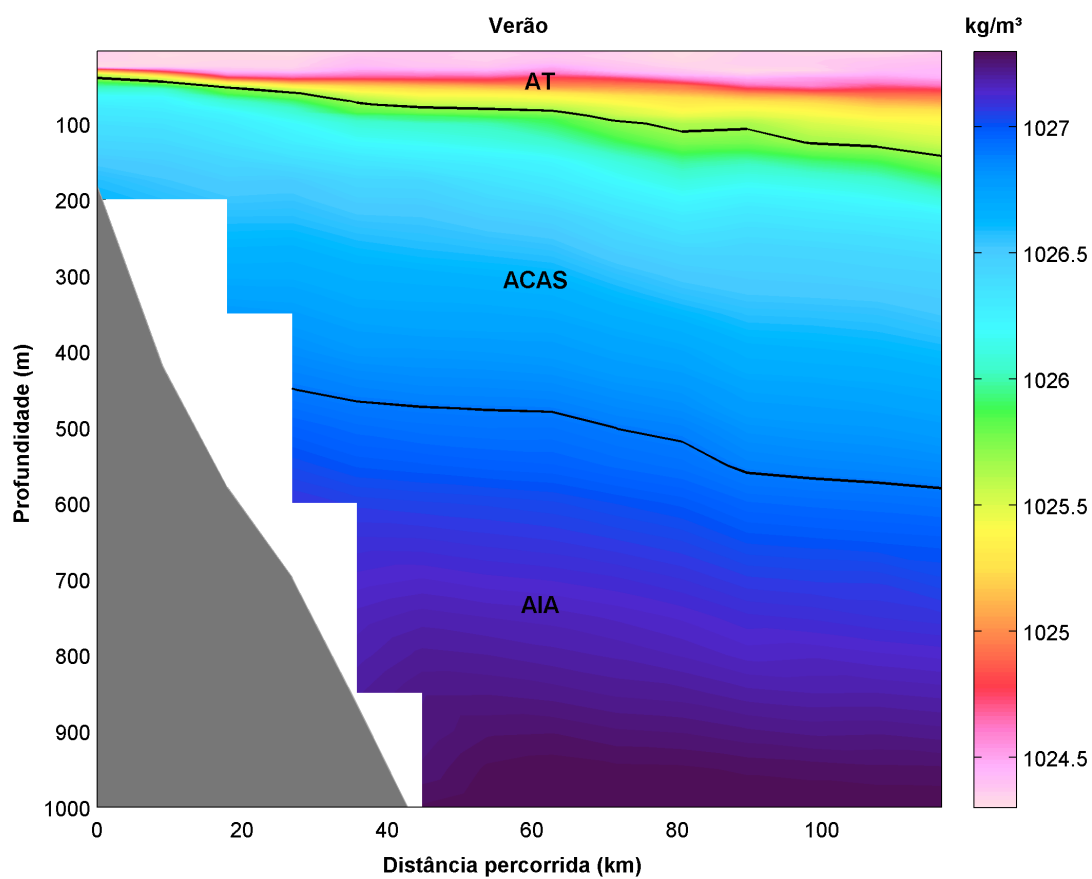


Figura 55: Seção vertical média de densidade para o verão, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

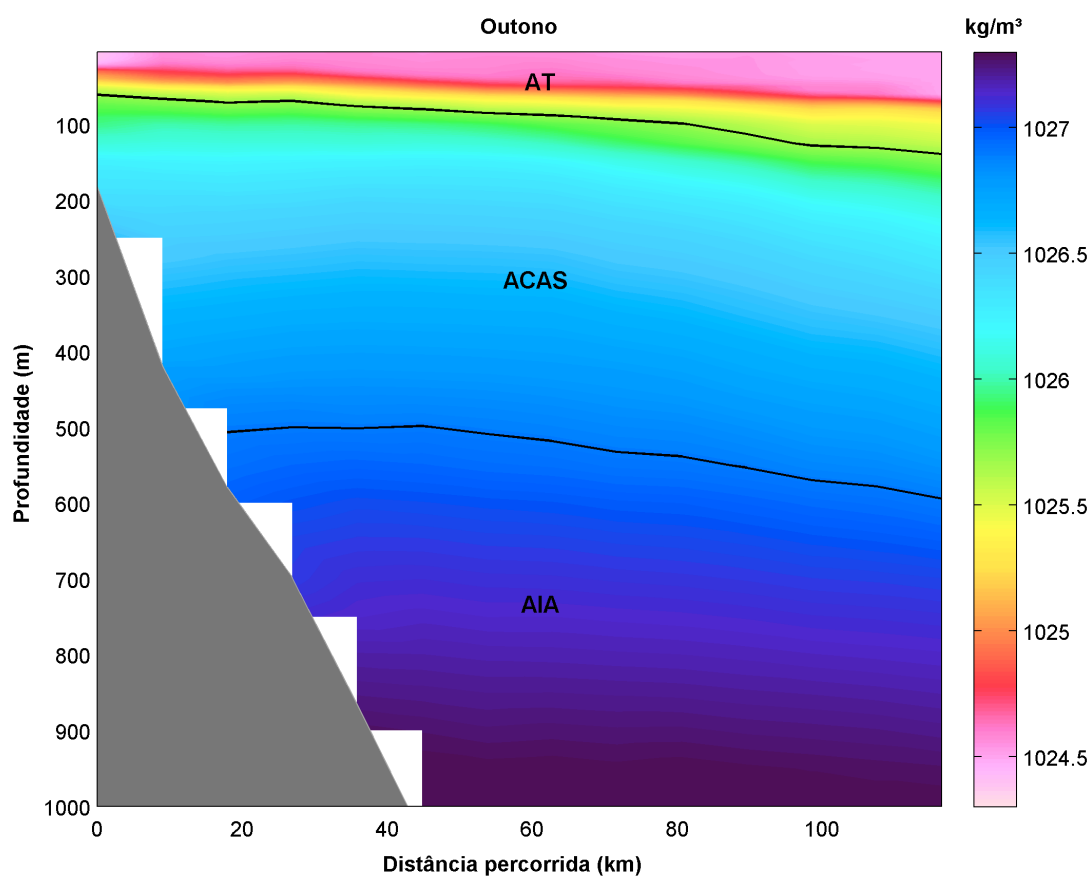


Figura 56: Seção vertical média de densidade para o outono, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

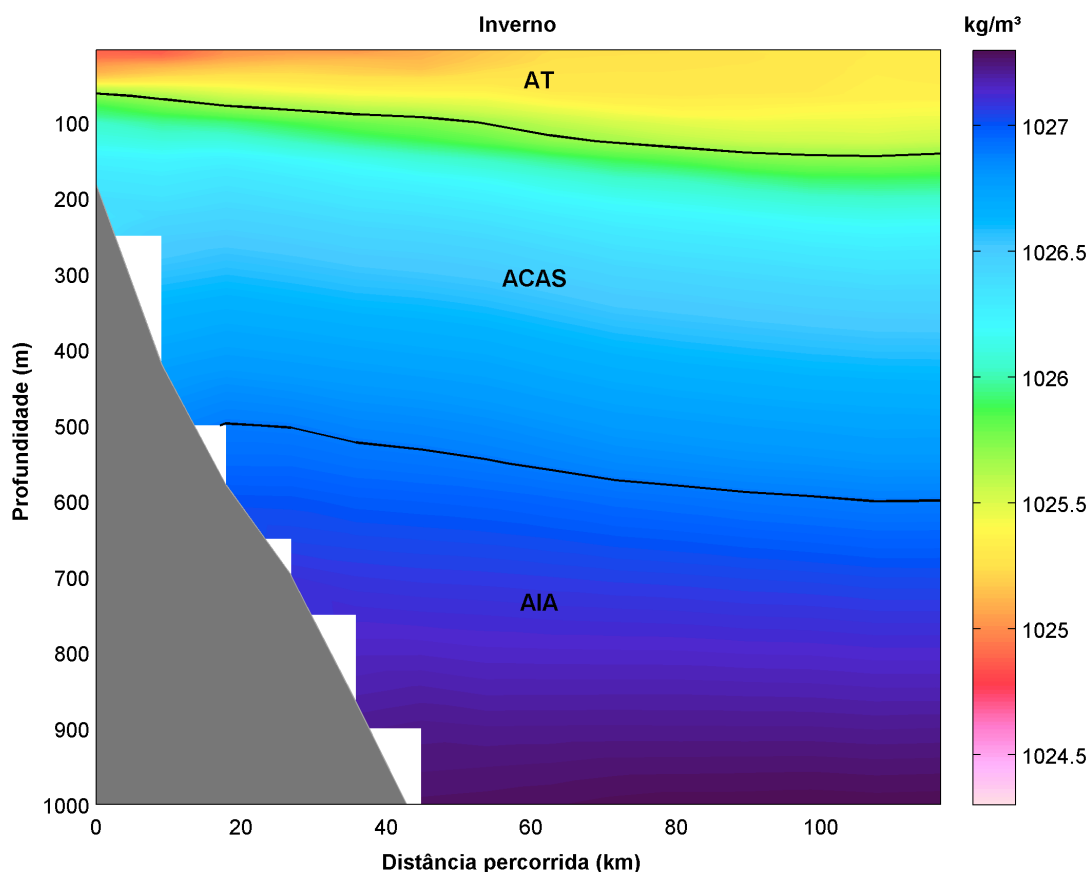


Figura 57: Seção vertical média de densidade para o inverno, delimitada de acordo com as massas d'água presentes na região (AT, ACAS e AIA). Esta seção possui o limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

5.3.4. PROFUNDIDADE DE OCORRÊNCIA E ESPESSURA DA ACAS

A Figura 58 exibe as profundidades médias mensais do topo e da base da ACAS. Percebe-se que o topo e a base da ACAS estão em fase, com o mesmo comportamento ao longo dos meses. O topo da ACAS, que coincide com a base da AT, variou entre as profundidades de 79,5 m (janeiro – verão) e 126,9 m (julho – inverno). Nota-se, ainda, que a base da AT atinge maiores profundidades durante o inverno, seguido pela primavera, padrão já exposto no item 5.3.3 (Caracterização das Massas d'Água), pela análise da Figura 54 e da Figura 57.

Por sua vez, a base da ACAS, que coincide com o topo da AIA, variou entre 471,9 m e 543,3 m, valores esses coincidentes com os meses apresentados para o topo da ACAS. Esses limites encontrados são similares aos apresentados por SILVEIRA (2007), como pode ser observado na Tabela II.

Pela análise dessa figura, o aprofundamento da ACAS tem início no outono, permanecendo até o inverno, quando se obtém as maiores profundidades.

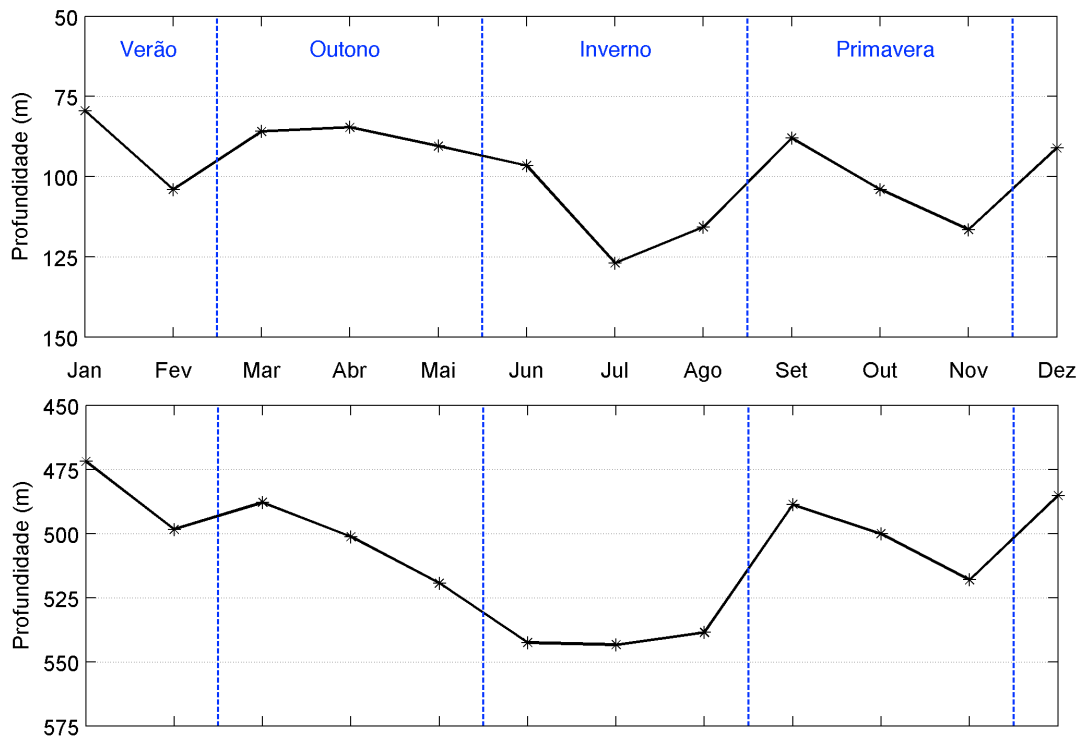


Figura 58: Profundidades médias mensais de topo (painel superior) e base (painel inferior) da ACAS, considerando todos os perfis apresentados na Figura 15, e limiares isopícnais de $25,7 \text{ kg m}^{-3}$ e $26,9 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

A Figura 59 apresenta as espessuras médias mensais da ACAS e nota-se que essa massa d'água, além de estar mais profunda durante o outono/inverno, está também mais espessa. Os valores de espessura da ACAS variam entre 392,4 m (janeiro – verão) e 446 m (junho – inverno).

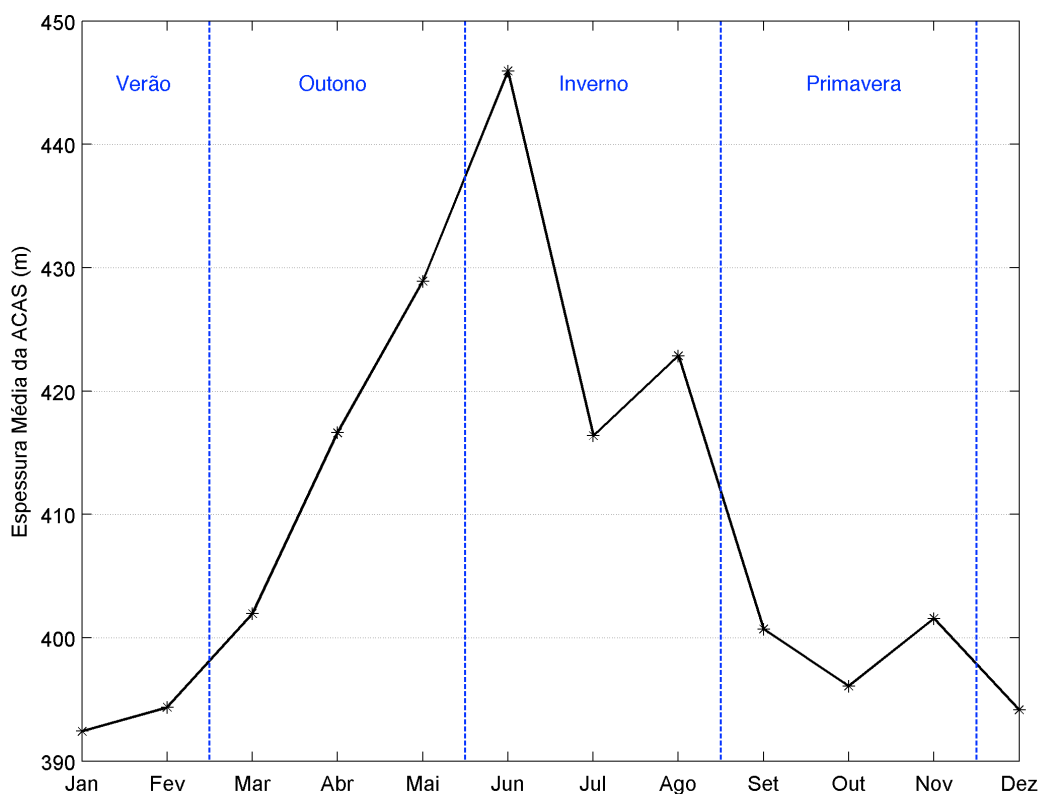


Figura 59: Espessuras médias mensais da ACAS, considerando todos os perfis apresentados na Figura 15, e limiares de $25,7 \text{ kg m}^{-3}$ para o topo e $26,9 \text{ kg m}^{-3}$ para a base.

5.3.5. ESTRATIFICAÇÃO DA COLUNA D'ÁGUA

A estratificação da coluna d'água foi analisada a partir de médias mensais da frequência de Brunt-Vaisala (Figura 60). Esses resultados apresentam uma clara variação sazonal, com picos maiores dessa frequência em superfície, durante o verão, diminuindo no outono e alcançando perfis quase sem variação durante o inverno e a primavera.

Nota-se que o perfil que indica o maior pico de frequência é o obtido para o mês de fevereiro – característico do período de verão – em contrapartida, o mês de julho – representativo do inverno – é o que aparece com menor variação em superfície. Adicionalmente são apresentadas a Figura 61 e a Figura 62, específicas para estes meses, fevereiro e julho respectivamente, mostrando uma comparação desses perfis com os respectivos perfis de densidade.

Como esperado, são observadas relações entre a frequência de Brunt-Vaisala e os perfis de densidade apresentados. O perfil médio de fevereiro, com elevada

variação em superfície, é coerente com a presença de uma piconclina bem definida. Por outro lado, as menores variações observadas durante os períodos de inverno/primavera, e exemplificadas com o mês de julho, estão associadas a perfis de densidade mais homogêneos, ou seja, que sofreram maior mistura. A presença da piconclina sazonal vem sendo discutida e enfatizada ao longo de toda a descrição da estrutura termohalina (item 5.3).

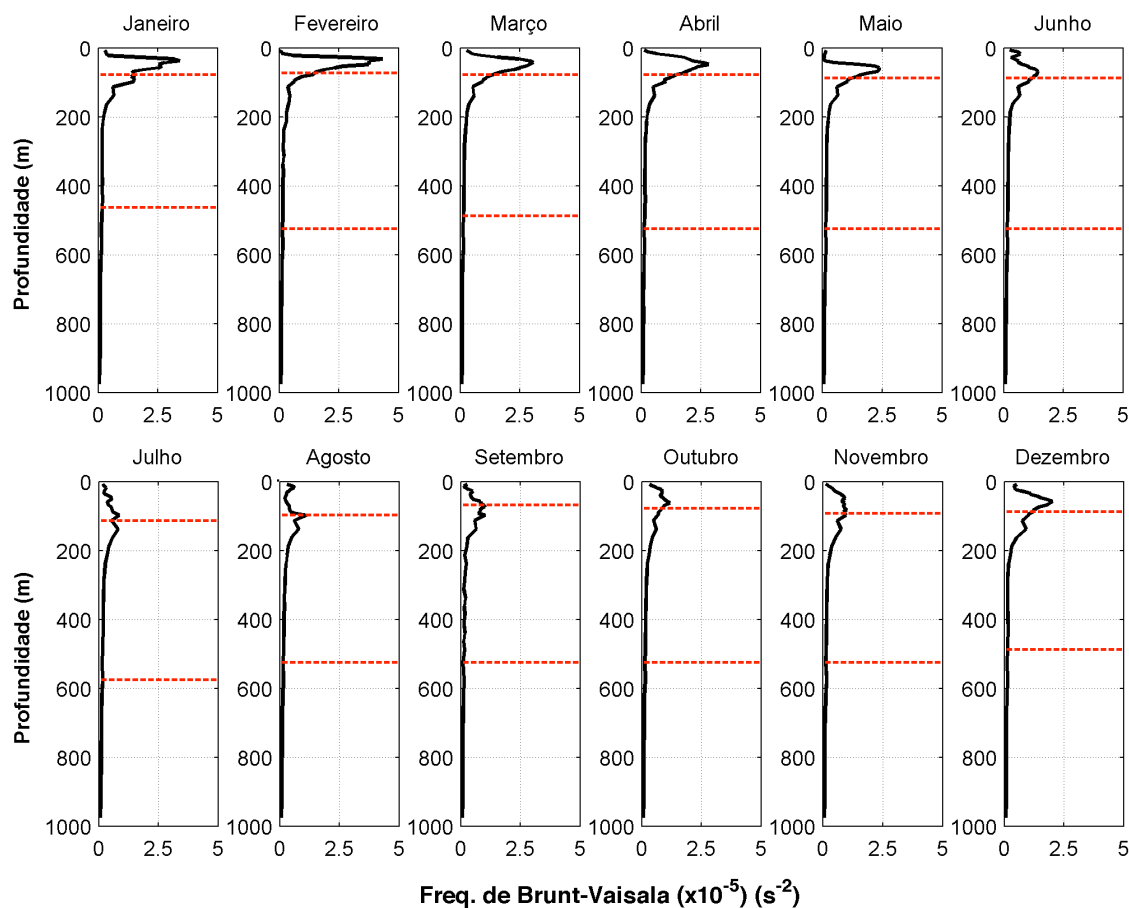


Figura 60: Médias mensais das frequências de Brunt-Vaisala. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de 25,7 kg m⁻³ e 26,9 kg m⁻³, respectivamente.

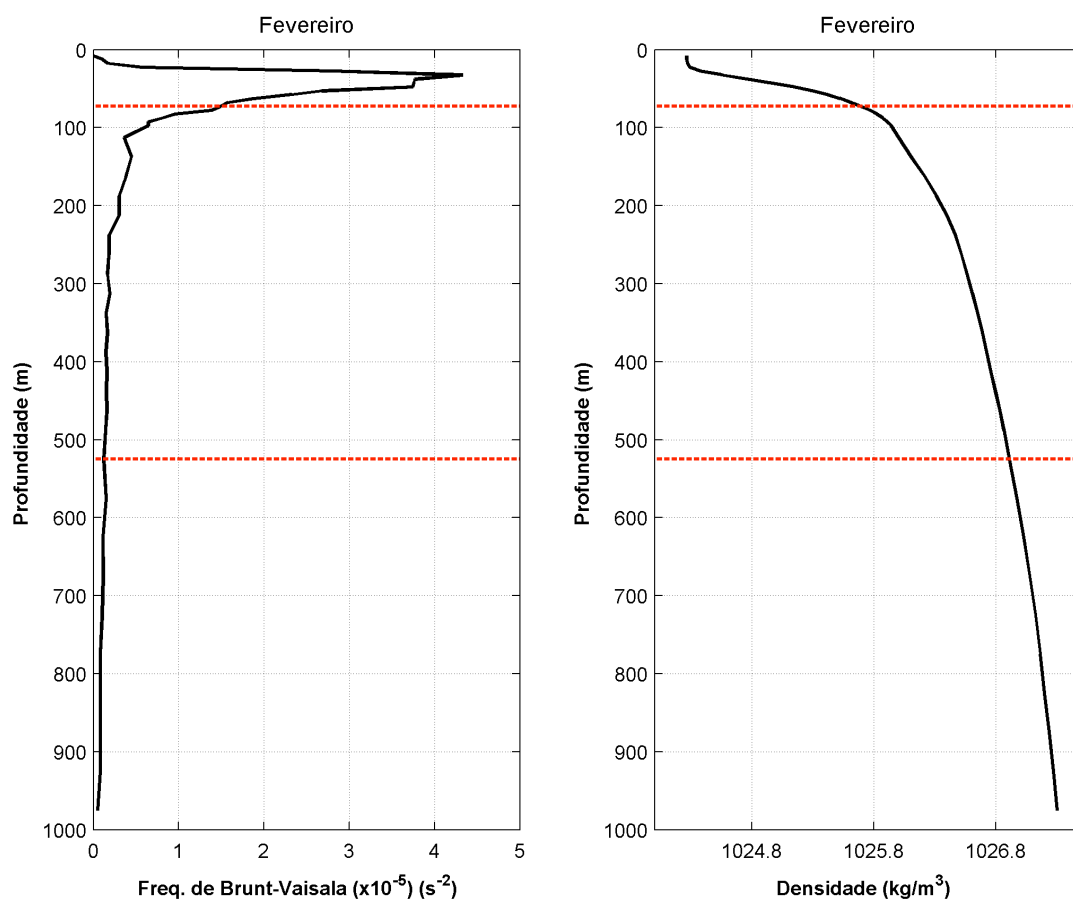


Figura 61: Frequência de Brunt-Vaisala (perfil esquerdo) e densidade (perfil direito) médias obtidas para o mês de fevereiro. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de $25,7 \text{ kg m}^{-3}$ e $26,9 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

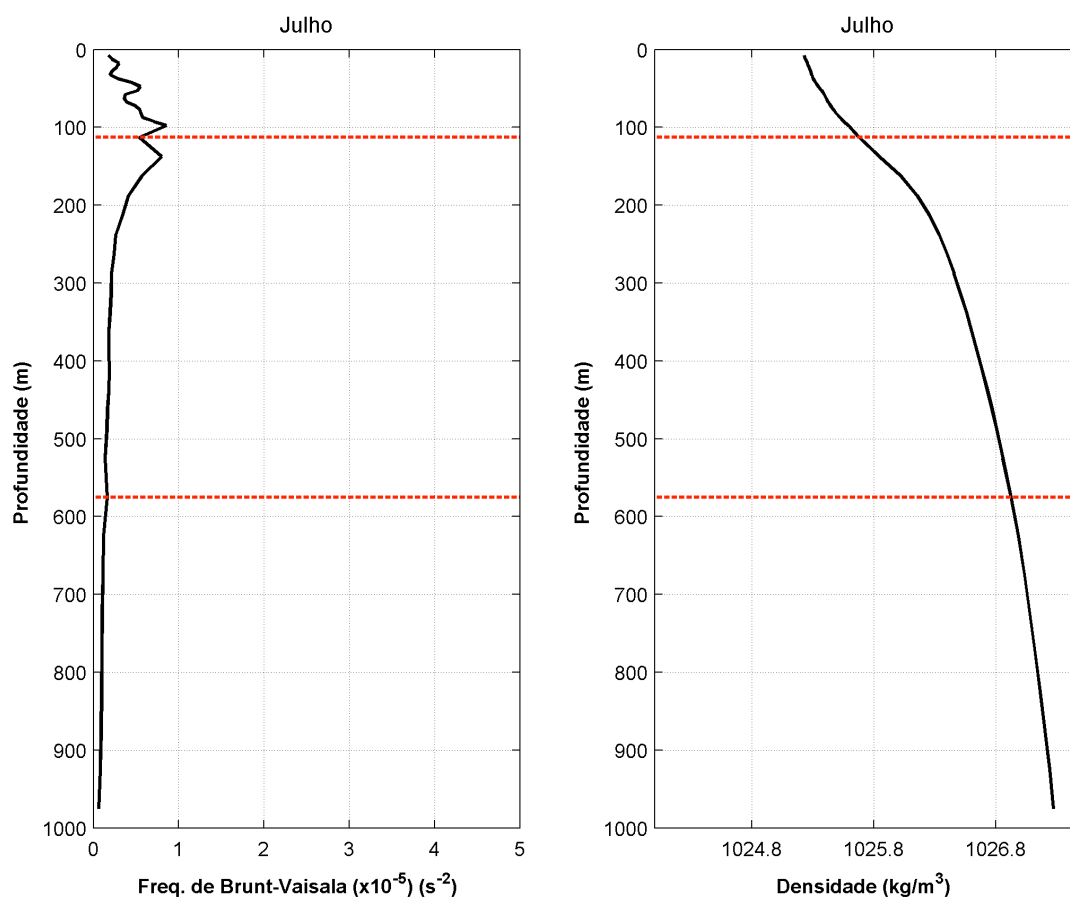


Figura 62: Frequência de Brunt-Vaisala (perfil esquerdo) e densidade (perfil direito) médias obtidas para o mês de julho. As linhas pontilhadas em vermelho representam as profundidades obtidas para o topo e a base da ACAS, considerando os limiares de $25,7 \text{ kg m}^{-3}$ e $26,9 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

5.4. OCORRÊNCIA DO VÓRTICE DE CABO FRIO

A Tabela XIV apresenta os períodos em que o VCF é observado, bem como os dados que captaram a sua ocorrência. Como já descrito no item 4.7, esta análise foi feita com base na visualização dos dados e o intuito principal destes resultados é gerar subsídios para análises futuras mais detalhadas. A Tabela XIV permite uma estimativa do período de ocorrência do VCF e de quais dados foram hábeis em capturar sua presença. É importante ressaltar que essa classificação não indica que esses dados foram capazes de representar o vórtice durante todo o seu período de ocorrência, mas que em dado momento isso foi possível. Além disso, esses períodos foram definidos com base nos dados disponíveis – *gliders*, derivadores, perfiladores, TSM e ASM –, ou seja, as datas não necessariamente coincidem com a efetiva duração do VCF.

As imagens de ASM obtiveram o maior sucesso na identificação do VCF, em 100% das ocorrências, seguidas pelos dados dos *gliders*, que só não identificaram o último evento. Cabe ressaltar, entretanto, que os equipamentos aqui citados – *gliders*, derivadores e perfiladores – não possuem grande área de abrangência, como as imagens de TSM e ASM, e precisam coincidir com a localização da feição que deseja ser avaliada. Visto por esse lado, o sucesso desses equipamentos nesta análise é considerável, além de estar diretamente relacionado com a estratégia adotada pelo Projeto Azul: continuidade e sistematicidade das medições e definição de uma radial de coleta de dados estrategicamente posicionada.

Tabela XIV: Períodos de ocorrência do VCF segundo os dados disponíveis para análise, sendo eles *gliders*, derivadores, perfiladores, e imagens de TSM e ASM.

Evento	Início	Fim	Glider	Derivador	Perfilador	TSM	ASM
1	mai-2013	jun-2013	✓	✓	-	✓	✓
2	ago-2013	set-2013	✓	✓	-	✓	✓
3	set-2013	set-2013	✓	-	-	✓	✓
4	out-2013	nov-2013	✓	✓	-	✓	✓
5	nov-2013	dez-2013	✓	✓	-	-	✓
6	dez-2013	fev-2014	✓	✓	-	-	✓
7	abr-2014	jun-2014	✓	-	✓	✓	✓
8	ago-2014	out-2014	✓	✓	✓	✓	✓
9	out-2014	jan-2015	✓	✓	✓	✓	✓
10	dez-2014	jan-2015	-	✓	✓	✓	✓

Como retratado na tabela acima, há evidências do VCF ao longo de todo o período de dados disponível, com alguns intervalos entre um evento e outro. Não foi possível afirmar padrões sazonais mais específicos a partir desta análise. Entretanto, evidencia-se o período do verão, com quatro ocorrências de longa duração. Segundo CALADO *et al.* (2010), é neste período que o VCF é mais evidente, formando um cenário oceanográfico de meandros ciclônicos e vórtices, aliados à ressurgência costeira.

Apesar de haver convergências na literatura acerca da maior periodicidade do VCF durante o verão, não há tal certeza em relação ao motivo dessa ocorrência. Não cabe ao presente estudo responder a este questionamento, mas visto as demais análises realizadas, ressalta-se uma em especial: viu-se que a espessura e a profundidade da ACAS são variáveis de acordo com as diferentes estações do ano –

maiores valores foram obtidos durante o inverno. Será que esse padrão estaria relacionado com a variação sazonal que também é observada para o VCF?

A seguir, serão apresentados alguns exemplos de como os dados apresentados na Tabela XIV foram capazes de capturar o VCF. A localização deste vórtice, observada pela análise dos dados, condiz com o descrito em trabalhos pretéritos (CAMPOS *et al.*, 1995; CALADO, 2001; FERNANDES, 2001; CALADO, 2006; MELLO FILHO, 2006; SANTOS, 2010; NEWTON, 2013). Comprovou-se também que a localização da radial para coleta de dados (Figura 1) é ideal para captar essa feição.

5.4.1. GLIDER

No caso do *glider*, este vórtice pôde ser “sentido” de duas maneiras distintas: a primeira a partir de mudanças nítidas nas seções perfiladas, como é apresentado da Figura 63 à Figura 67; e a segunda pela sua movimentação ciclônica, como exibido na Figura 68.

O 4º evento especificado na Tabela XIV é retratado pelo *glider*, da Figura 63 à Figura 67, a partir de mudanças na estrutura da coluna d’água. As seções de temperatura, salinidade e densidade caracterizam o VCF pela diminuição de seus valores em superfície – até aproximadamente 100 m de profundidade. Já, as seções de oxigênio dissolvido apresentam um aumento de seus valores nessa mesma região. Além disso, é nítida a inclinação das isolinhas de cada variável na região de ocorrência do VCF.

O VCF mostra-se presente entre 20 e 60 km de distância (referência da radial) para todos os dados analisados: temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido. A temperatura, porém, não representou o VCF tão bem como as demais variáveis. Percebe-se, num primeiro e segundo momentos (05/10 a 15/10/2013) o VCF melhor estruturado na localização da radial.

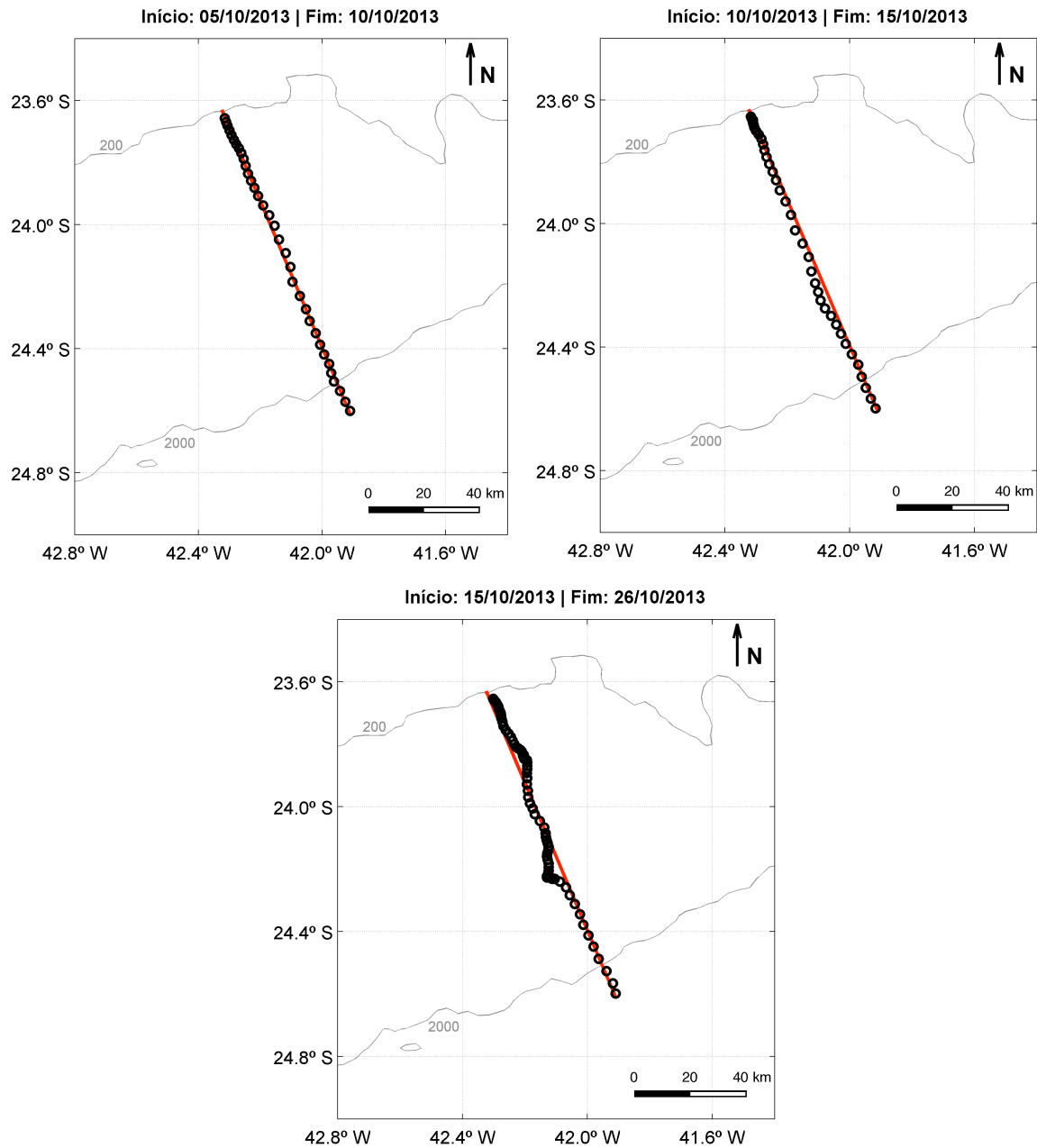


Figura 63: Trajetórias percorridas pelo *glider* durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Essas seções coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

As seções verticais de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido obtidas pelos gliders, cujas trajetórias são representadas na Figura 63, são exibidas da Figura 64 à Figura 67.

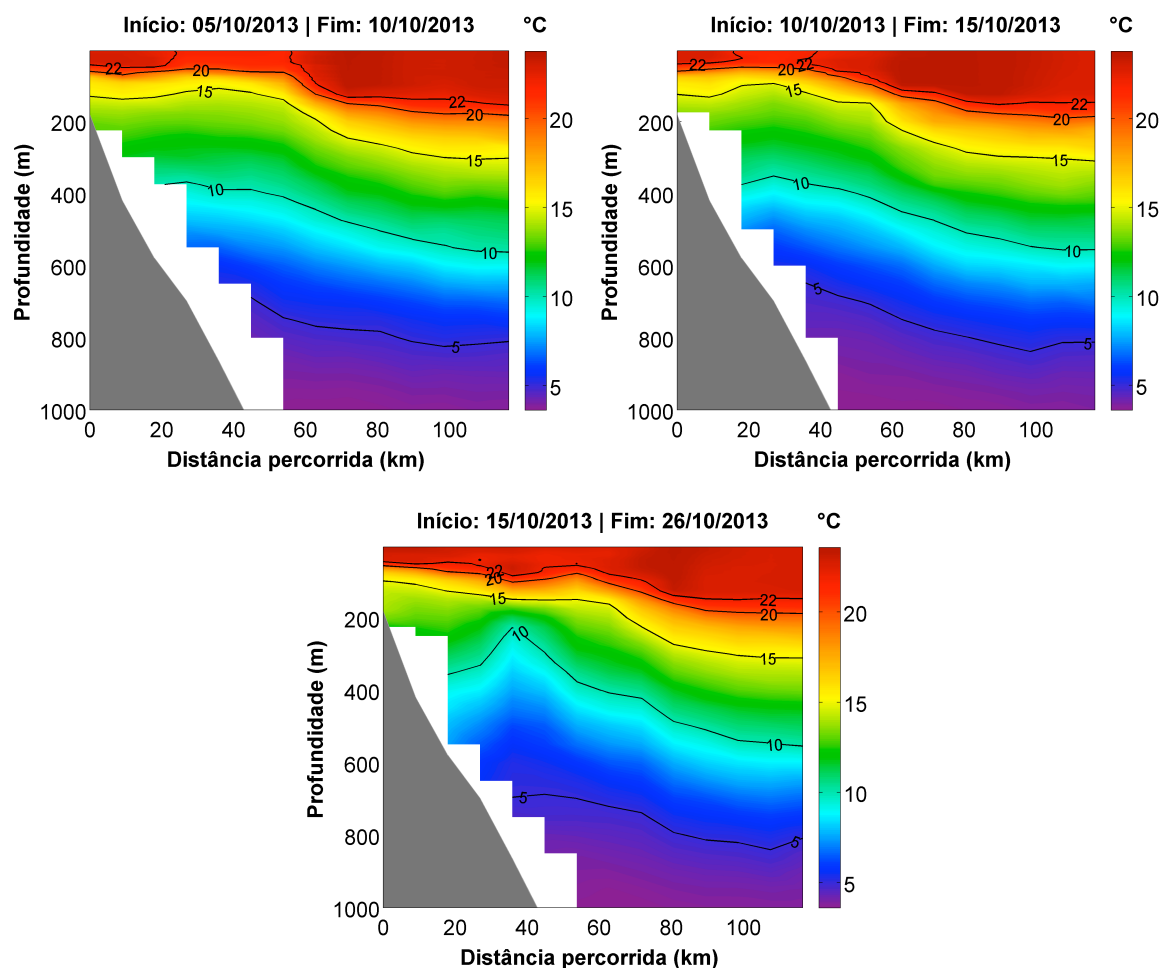


Figura 64: Seções verticais de temperatura obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

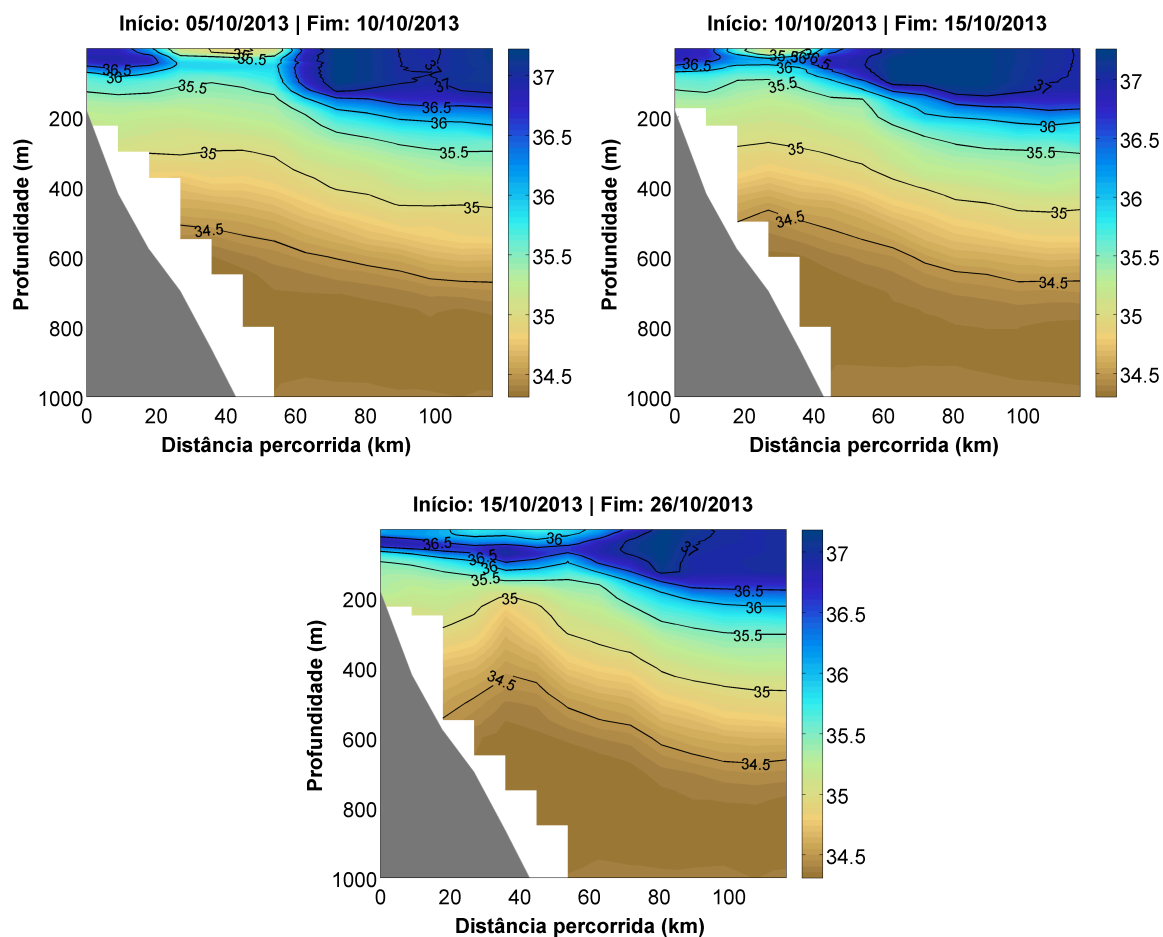


Figura 65: Seções verticais de salinidade obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

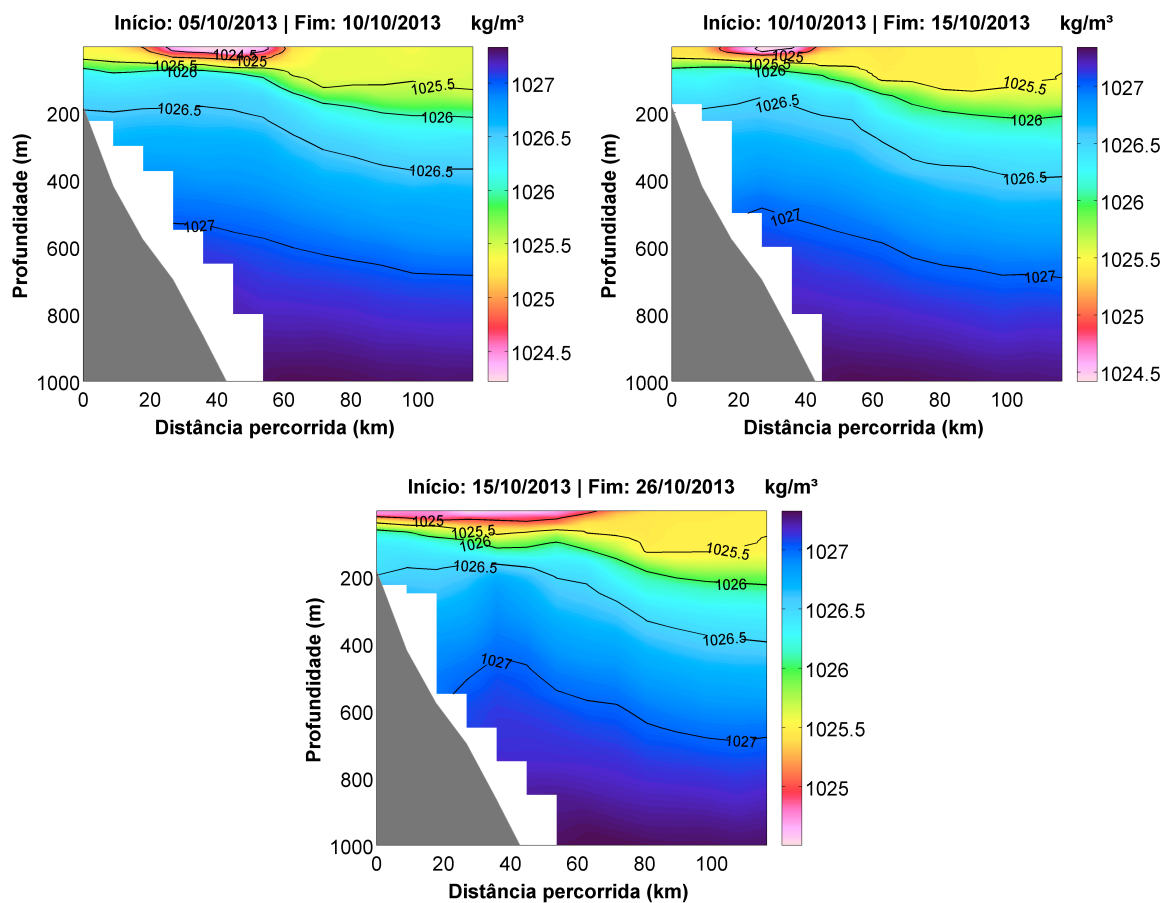


Figura 66: Seções verticais de densidade obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *acerca* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

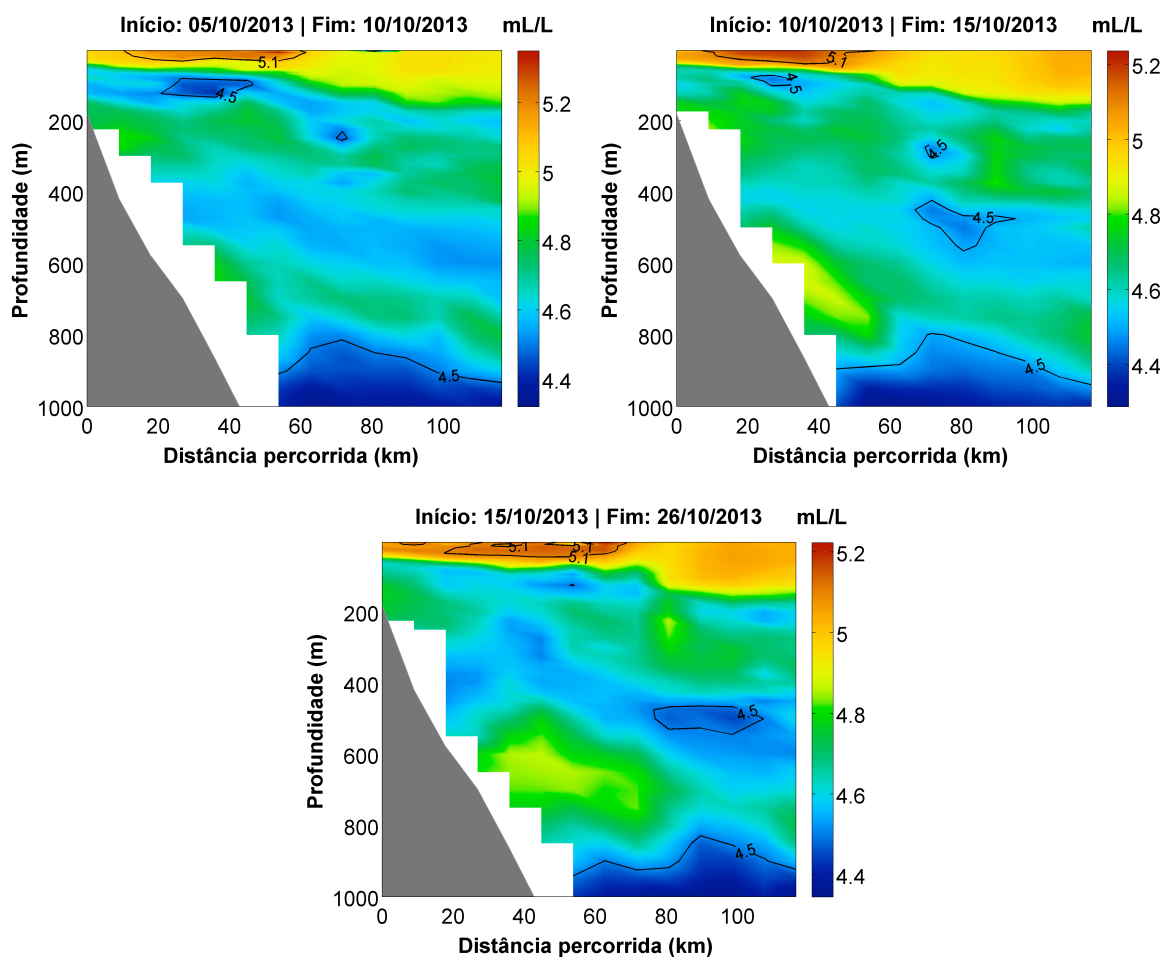


Figura 67: Seções verticais de oxigênio dissolvido obtidas durante os seguintes períodos: de 05/10/2013 a 10/10/2013 (painel superior esquerdo); de 10/10/2013 a 15/10/2013 (painel superior direito); e 15/10/2013 a 26/10/2013 (painel inferior). Estas seções coincidem com a passagem do *glider* pelo VCF, e possuem limite mais raso em 23°37,8'S e 42°19,5'W, e mais profundo em 24°36,6'S e 41°54,6'W.

A Figura 68 mostra um exemplo do *glider* assumindo movimento ciclônico em decorrência da presença do VCF na região. Esta ocorrência coincide com o evento de número 3, descrito na Tabela XIV.

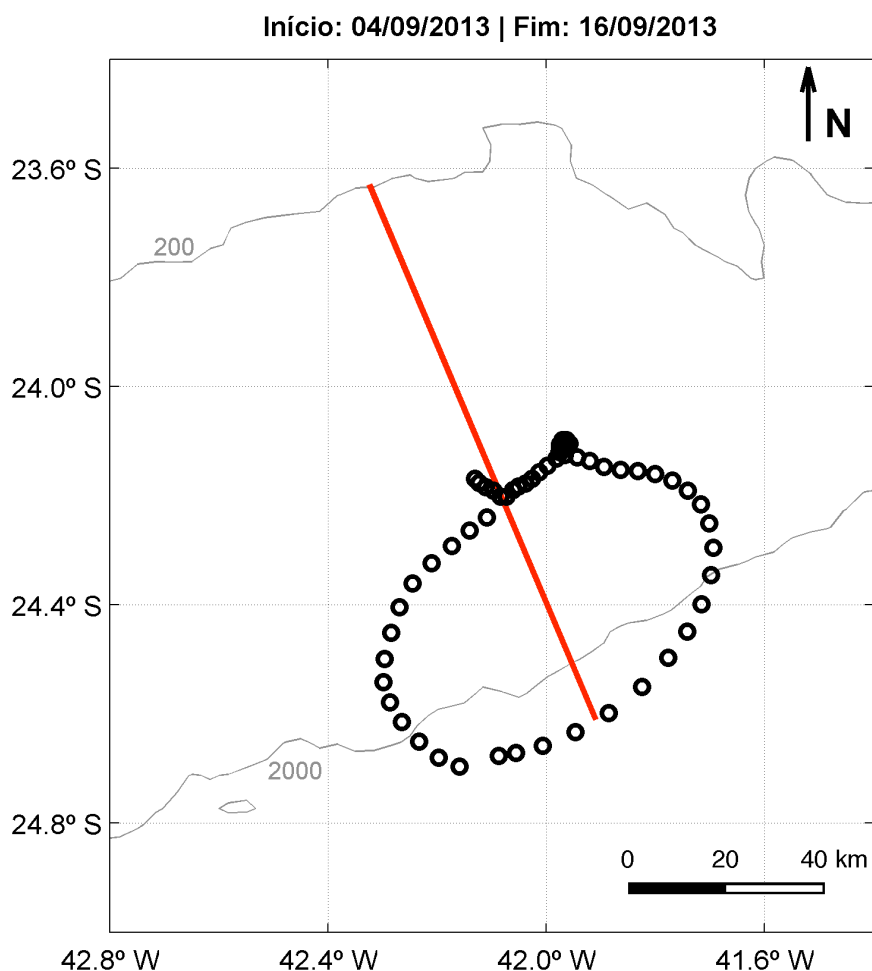


Figura 68: Movimento ciclônico observado pelo *glider*, entre 04/09/2013 e 16/09/2013, decorrente da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

5.4.2. DERIVADOR

A visualização do VCF a partir dos derivadores foi feita com base em suas trajetórias. A Figura 69 e a Figura 70 apresentam exemplos de trajetórias ciclônicas assumidas por derivadores. Essas figuras coincidem, respectivamente, com as ocorrências 4 e 9 retratadas na Tabela XIV. Na Figura 69, o vórtice é bem representado a partir da trajetória de três derivadores distintos lançados no mesmo dia (25/10/2013). Após completarem uma volta e meia, eles passam a se deslocar para sul em regiões mais rasas – profundidades inferiores a 200 m. A Figura 70 apresenta um caso interessante: um derivador lançado no dia 16/10/2014 é “capturado” pelo VCF, e juntos se deslocam para sudoeste, atingindo a latitude de 27,5°S. Esse tipo de deslocamento do VCF para sul, junto à CB, foi retratado por CALADO *et al.* (2006).

Ressalta-se que a interrupção das trajetórias na Figura 70 não condiz com o

fato do vórtice ter se dissipado, mas sim por ser a data final de análise dos dados.

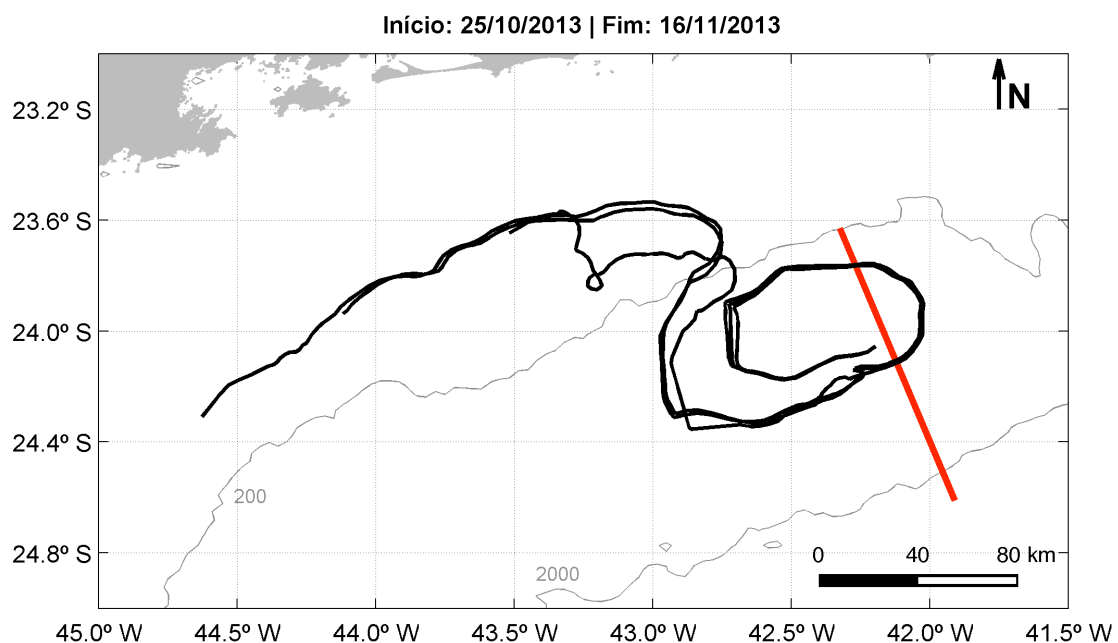


Figura 69: Trajetórias ciclônicas de três derivadores entre os dias 25/10/2013 e 16/11/2013, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

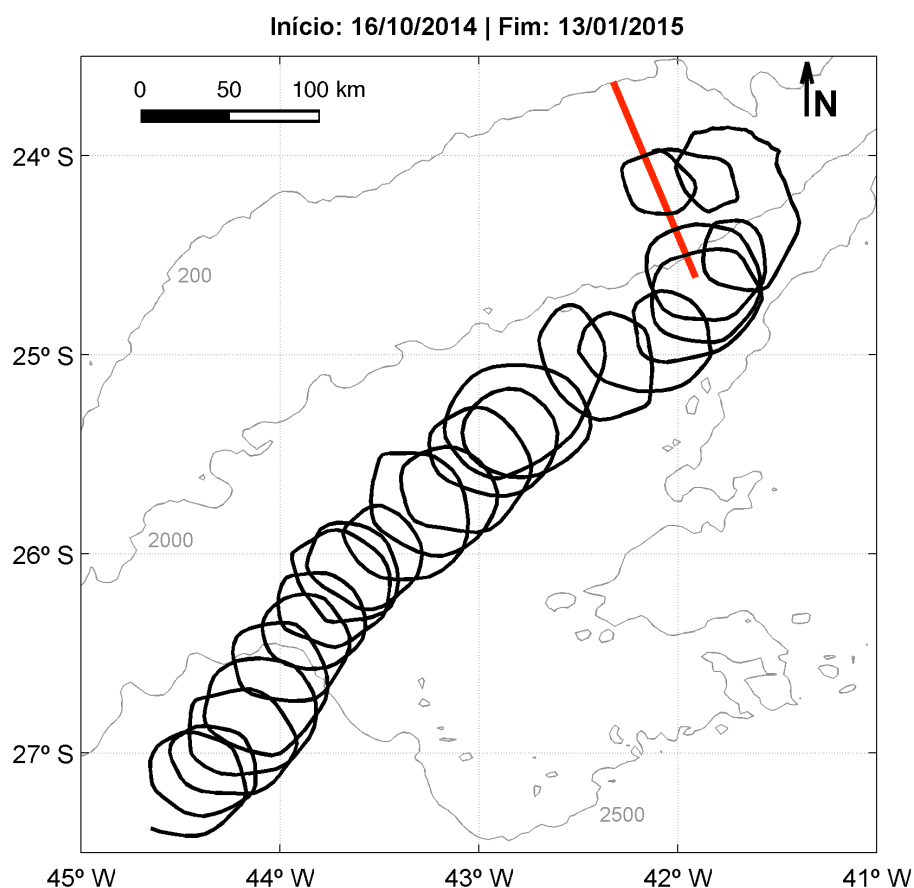


Figura 70: Trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 16/10/2014 e 13/01/2015, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

5.4.3. PERFILADOR

Para este estudo, não foram avaliados os perfis obtidos pelos perfiladores, porém, para a confecção da Tabela XIV foi analisada a presença desses equipamentos quando era identificado o VCF, bem como suas trajetórias. Em alguns casos, como na Figura 71 e na Figura 72, os perfiladores, assim como os derivadores e os *gliders*, também foram “capturados” pelo vórtice e assumiram deslocamento ciclônico.

A trajetória do perfilador apresentada na Figura 71 coincide com a 7ª ocorrência do VCF (Tabela XIV), e dá indício de um vórtice estacionário.

Já, a trajetória da Figura 72 coincide com a 9ª ocorrência, e nota-se que este período é o mesmo apresentado para a trajetória do derivador da Figura 70, com padrões idênticos de deslocamento – início na radial e deslocamento para sudoeste,

até 27,5°S. Este vórtice, além de não-estacionário, aparenta uma forte estruturação, capaz de deslocar consigo equipamentos como derivadores e perfiladores. Durante a maior parte de sua trajetória, o *parking depth* deste perfilador (vide Anexo IV) estava configurado para 500 m, o que indica que este vórtice atuou dinamicamente nesta profundidade.

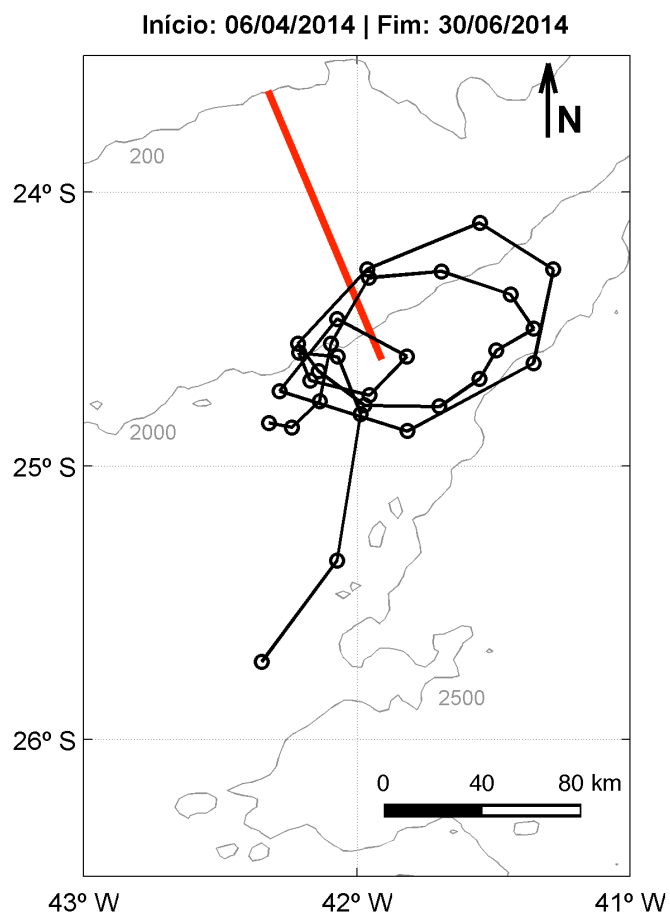


Figura 71: Trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 06/04/2014 e 30/06/2014, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

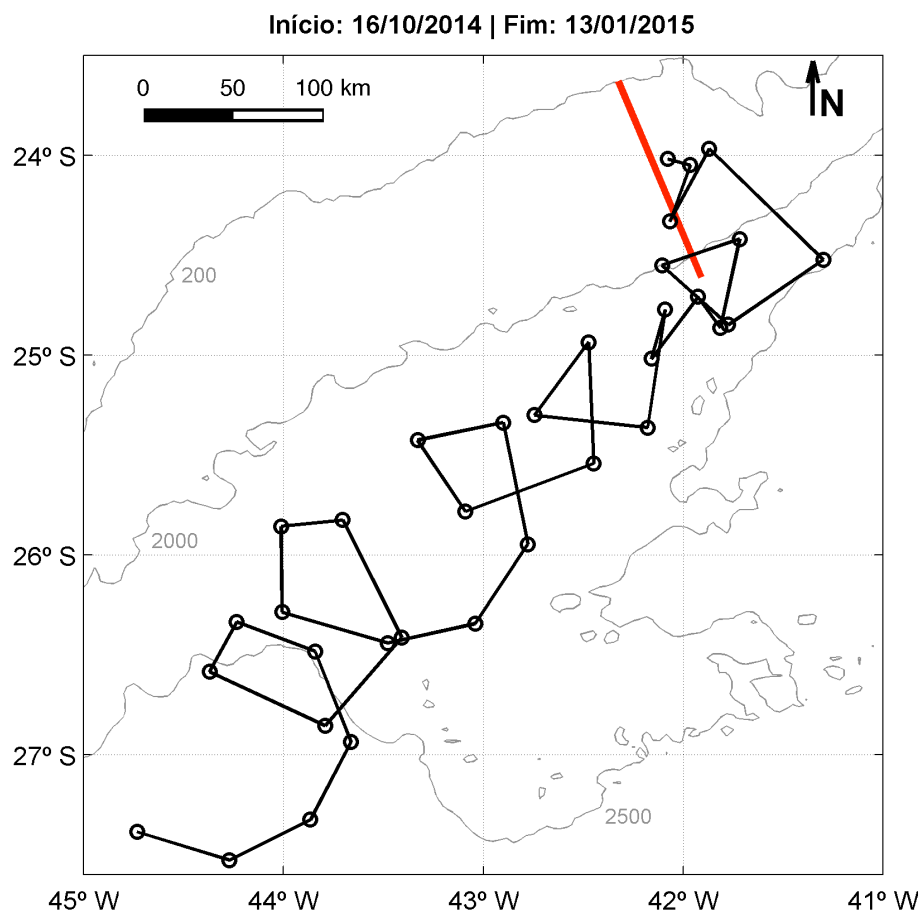


Figura 72: Trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 16/10/2014 e 13/01/2015, decorrentes da presença do VCF. Em vermelho, é apresentada a radial ideal definida para coleta dos dados e as linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

5.4.4. TSM

A Figura 73 apresenta quatro imagens de TSM juntamente com a trajetória percorrida por um derivador, para o período de maio de 2013. Este evento está especificado na Tabela XIV, sendo a 1ª ocorrência descrita. O núcleo frio, característico do VCF, ocorre na porção sudeste da radial, sendo depois deslocado para oeste (imagem do dia 24/05/2013).

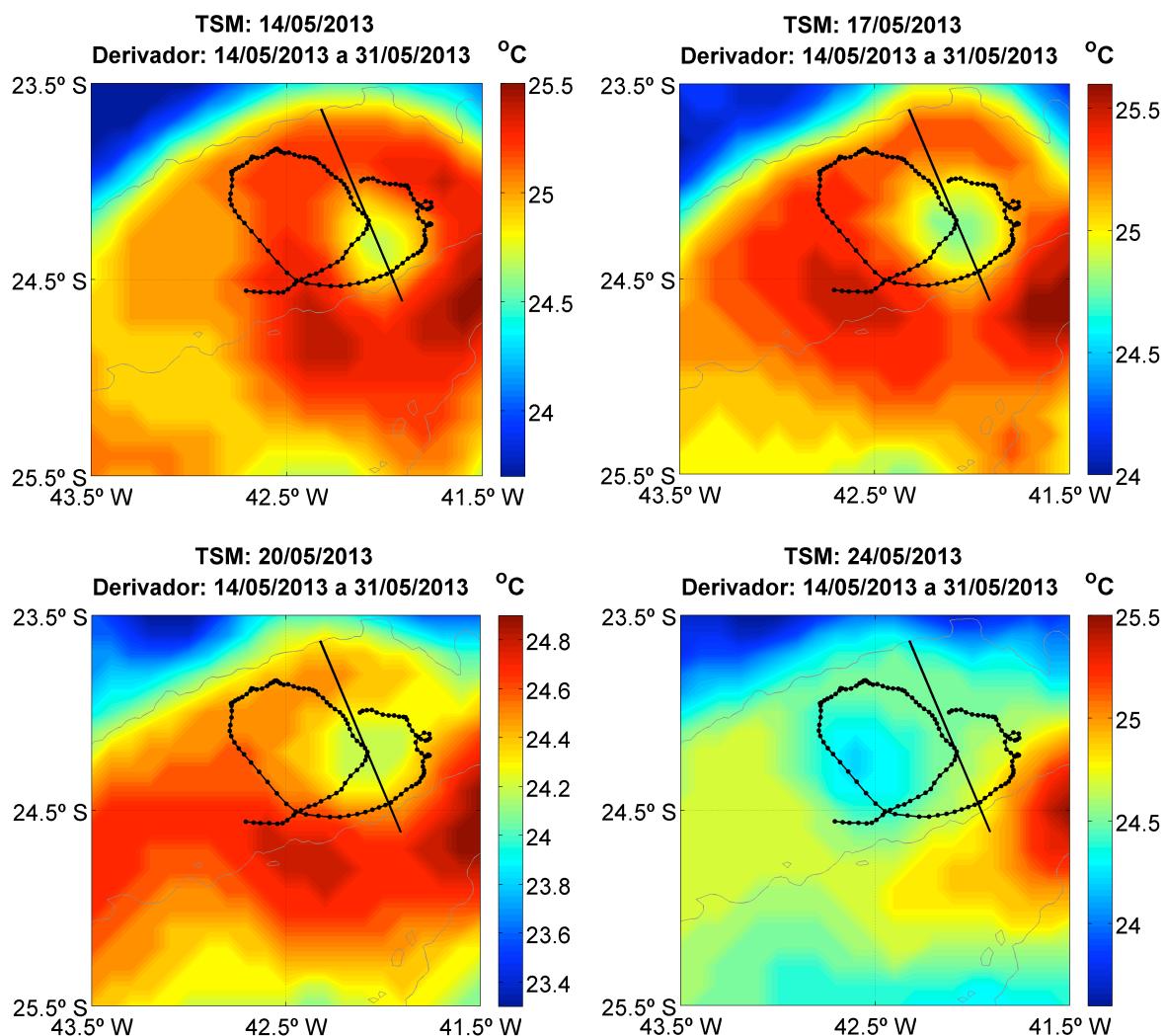


Figura 73: Imagens de TSM entre os dias 14 e 24/05/2013, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 14 e 31/05/2013, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

A Figura 74 apresenta outro exemplo da utilização de imagens TSM para a identificação do VCF. Neste caso, as imagens são comparadas com a trajetória de um perfilador, já apresentada na Figura 71. Como já indicado, este é o 7º evento registrado na Tabela XIV.

No dia 11/05/2014, o núcleo frio está deslocado para norte em relação à trajetória do perfilador. Na sequência, no dia 20/05, o núcleo não está tão bem estruturado, mas condiz com a posição do perfilador. E, por último, no dia 02/06, este núcleo parece diminuir de diâmetro e é ligeiramente deslocado para oeste, esse padrão é visto tanto pela imagem de TSM como pela trajetória do perfilador.

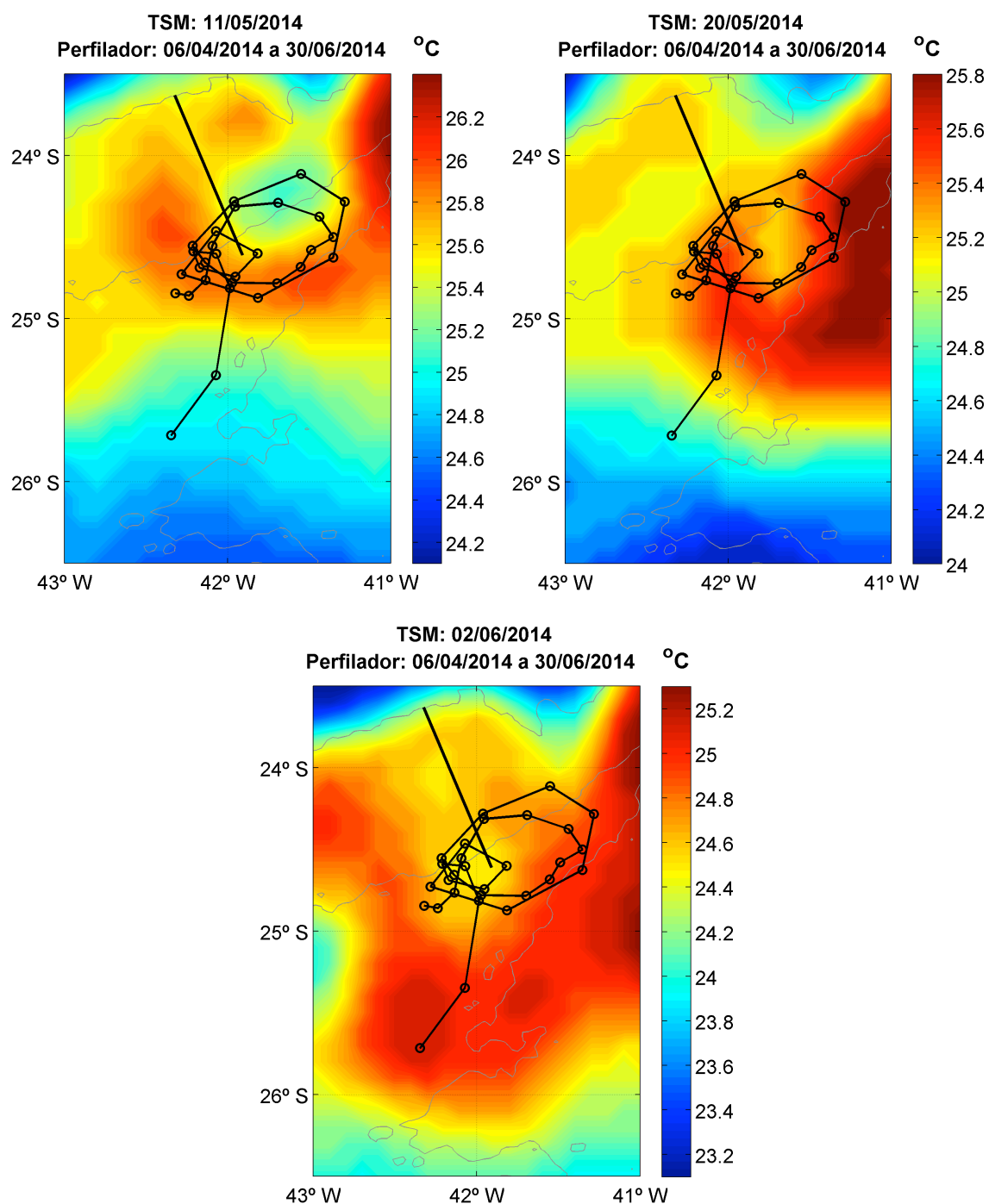


Figura 74: Imagens de TSM entre os dias 11/05 e 02/06/2014, juntamente com a trajetória ciclônica de um perfilador entre os dias 06/04 e 30/06/2014, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

5.4.5. ASM

Para esta representação, foi escolhido o 9º evento da Tabela XIV, sendo

retratado na Figura 75 e na Figura 76.

Este caso mostrou-se interessante pelo fato das imagens de ASM retratarem nitidamente o VCF, o que pode ser comprovado com a trajetória do derivador para o mesmo período – já apresentada na Figura 70. Nota-se a formação do VCF na porção sudeste da radial e o seu deslocamento para sudoeste, até 27,5°S.

As imagens de TSM para este mesmo evento não retrataram tão bem o VCF e, por isso, não foram apresentadas no item anterior.

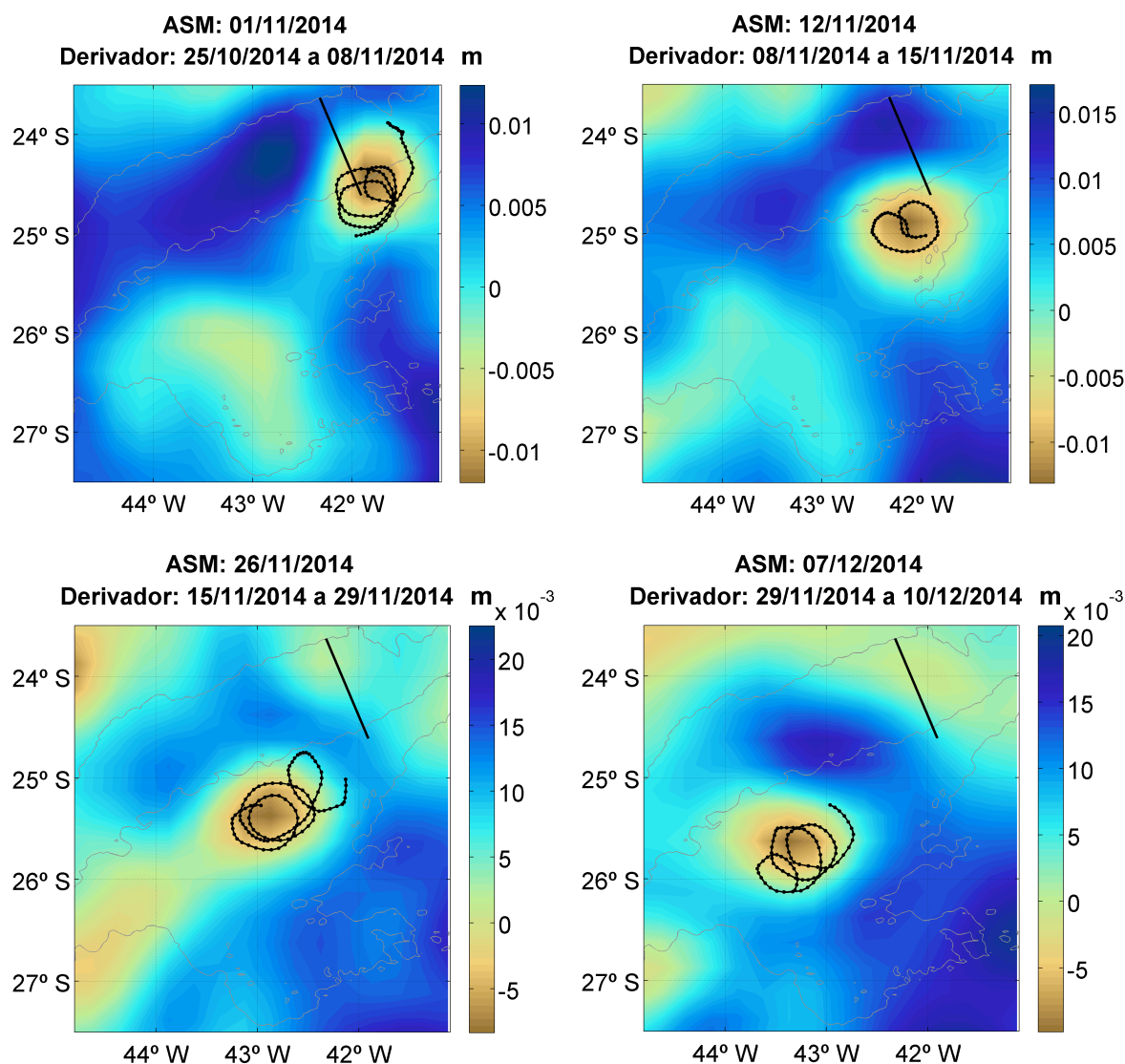


Figura 75: Imagens de ASM entre os dias 01/11 e 07/12/2014, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 25/10 e 10/12/2014, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

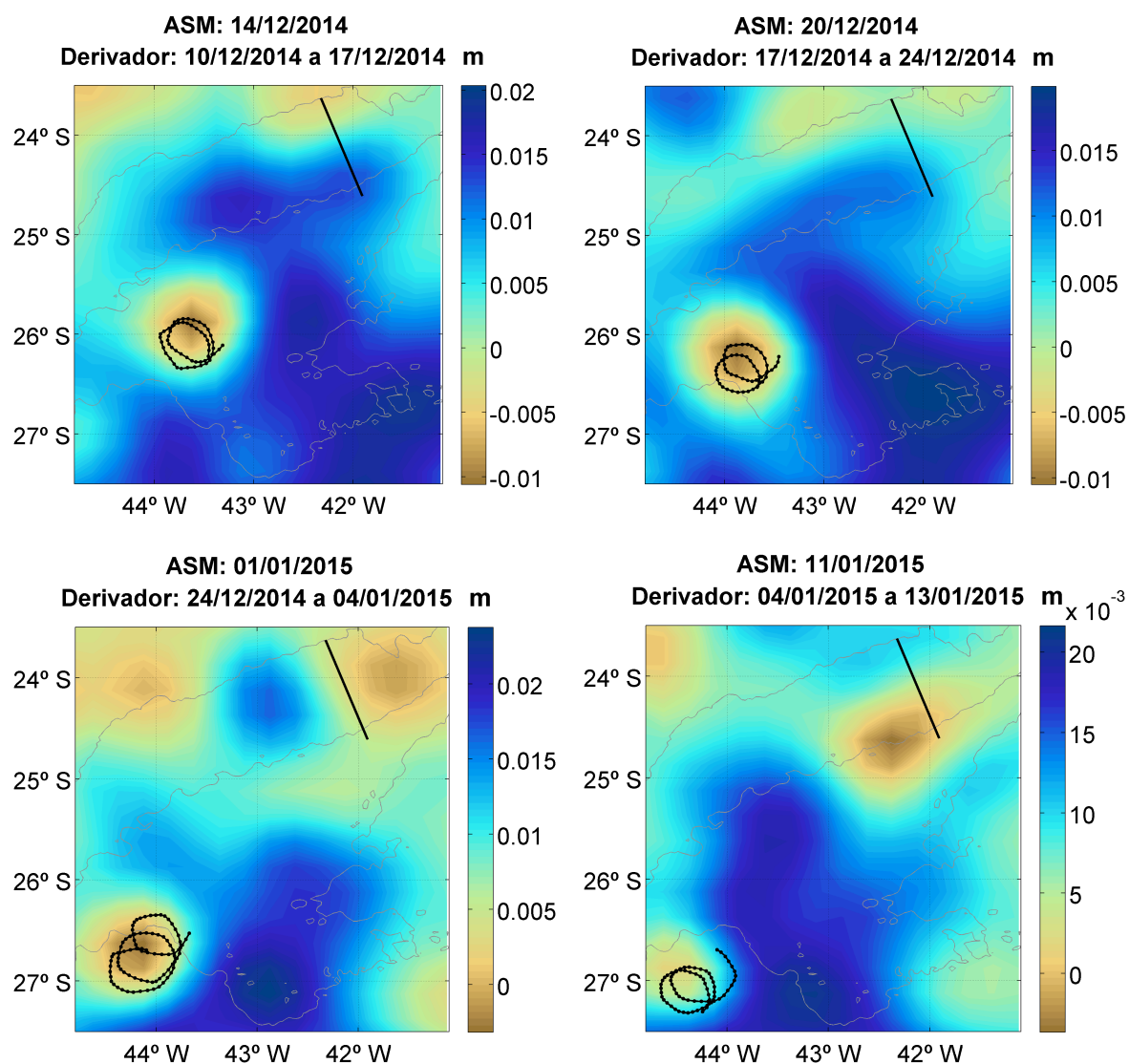


Figura 76: Imagens de ASM entre os dias 14/12/2014 e 11/01/2015, juntamente com a trajetória ciclônica de um derivador entre os dias 10/12/2014 e 13/01/2015, em relação à radial ideal definida para coleta dos dados. As linhas em cinza indicam as isóbatas de 200, 2.000 e 2.500 m.

6. CONCLUSÕES

Dados do Projeto Azul foram analisados com o intuito de realizar uma caracterização climatológica inicial. Essa proposta está relacionada com o fato deste estudo, aliado ao de BERGMAN (2015), ser o primeiro de nível acadêmico a analisar estes dados. Os resultados obtidos foram, por sua vez, discutidos com base na literatura científica disponível.

Esses dados foram coletados entre o período de março de 2013 e janeiro de 2015, totalizando quase dois anos. O Projeto Azul foi pioneiro na obtenção de dados de *gliders* na costa brasileira, sendo estes dados o foco principal de análise deste estudo. Foram feitas interpretações sobre a velocidade geostrófica, o transporte geostrófico de volume, a estrutura termohalina e a ocorrência do VCF. Para esta última análise, foram analisados também os dados de derivadores e perfiladores do Projeto Azul, e ainda como apoio, foram avaliadas as imagens de TSM e ASM obtidas, respectivamente, pela base de dados do OSTIA e do Projeto AVISO.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, foram feitas as seguintes considerações:

- Dois métodos distintos foram utilizados para o cálculo da velocidade geostrófica: movimento nulo e movimento referenciado. Para o primeiro, as velocidades obtidas variaram entre $0,44 \text{ m s}^{-1}$ (inverno) e $0,67 \text{ m s}^{-1}$ (verão). O segundo método obteve menores velocidades, variando entre $0,23 \text{ m s}^{-1}$ (outono) e $0,35 \text{ m s}^{-1}$ (verão). A velocidade obtida considerando todas as seções verticais disponíveis foi, respectivamente, $0,45 \text{ m s}^{-1}$ e $0,22 \text{ m s}^{-1}$.

- Ambos os métodos empregados estão de acordo com outras referências bibliográficas. O mais usado para o cálculo de velocidade geostrófica é a escolha de um nível de movimento nulo, visto a dificuldade de obtenção de dados para o cálculo do movimento referenciado, o que acaba por dificultar a comparação deste com outros estudos. Apesar disso, este último método mostra uma feição de corrente mais realista e não somente limitada a um nível de referência. Análises mais detalhadas devem ser realizadas para comprovar a viabilização do uso do método do movimento referenciado na região de estudo.

- Seguindo a mesma lógica, os transportes geostróficos de volume foram calculados de acordo com cada seção vertical de velocidade obtida. Foram observados valores entre 4,76 Sv (inverno) e 6,6 Sv (verão), para o método de movimento nulo; e entre 1,59 Sv (outono) e 4,18 Sv (verão), para o de movimento referenciado. O transporte de volume obtido considerando todas as seções verticais

disponíveis foi, respectivamente, 5,62 Sv e 2,52 Sv.

- A termoclina sazonal foi observada para os períodos de verão e outono. Em contrapartida, durante a primavera e o inverno, foi vista uma maior mistura da coluna d'água. Essas observações condizem com a física associada a processos de interação oceano-atmosfera.

- Núcleos de baixa salinidade foram visualizados nas porções mais costeiras da radial, durante os períodos de primavera e inverno, podendo estar relacionados com maior índice de chuvas, maior aporte costeiro ou a presença da CCC na região.

- A inclinação das isotermas, isohalinas e isopicnais em direção a menores profundidades, durante a primavera e o verão, pode ser um indício do processo de ressurgência. Além disso, é observado maior percentual da ACAS em menores profundidades para esses períodos, incluindo neste caso também o outono.

- As profundidades de topo e base da ACAS estão em fase ao longo dos meses, com maiores profundidades no inverno – 126,9 m e 543,3 m, respectivamente. A espessura da ACAS também foi maior nesta estação do ano, alcançando 446 m.

- Apesar de todas as análises distintas realizadas para a caracterização da estrutura termohalina – seções verticais, perfis verticais, diagramas T-S e frequências de Brunt-Vaisala –, foram sendo observados os mesmos padrões de ocorrência de determinadas feições e indicações de possíveis fenômenos relacionados, já listados nesta itemização.

- Foi averiguada a habilidade que cada dado – *gliders*, derivadores, perfiladores e imagens de TSM e ASM – tinha de retratar o VCF e, ainda, foram definidos os períodos de sua ocorrência com base na visualização desses dados. Apesar de não ter sido possível avaliar padrões sazonais bem definidos, notou-se que o verão apresenta ocorrências bem definidas com longa duração. Aliado a outros fatores, este pode ser um indício da causa que não permitiu a perfilagem ideal do *glider* durante o verão, como foi retratado no item 4.3.1 (Delimitação Geográfica).

7. ANÁLISES FUTURAS

Os resultados aqui apresentados são, em sua maioria, referentes a períodos sazonais e/ou análises mensais. Seria interessante a avaliação diária desses dados e sua relação com eventos mais específicos.

Especificamente em relação ao cálculo da velocidade geostrófica, são

propostos estudos futuros com maior enfoque na comparação de ambos os métodos empregados, seguindo os moldes do proposto por BILO *et al.* (2014).

Outra sugestão de análise é a correlação desses dados com outros de fontes diversas, como meteorológicos (por exemplo, ventos), medições *in situ* (caso houver) e resultados de modelos numéricos hidrodinâmicos. Neste último caso específico, os dados do Projeto Azul podem servir tanto como dados de entrada para modelos numéricos como para validações de resultados.

Em relação à análise específica do VCF, há muito ainda a se desenvolver, como a utilização de algoritmos para definição mais específica dos seus períodos de ocorrência, bem como de averiguações sobre suas dimensões (largura e profundidade). Outro importante questionamento a ser respondido é que fenômenos podem ocasionar a sua maior ocorrência e durabilidade durante o verão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGO. 2015. **Part of the integrated global observation study**. Disponível em <<http://www.argo.ucsd.edu/>>. Acessado em 01 de abril de 2015.

ASSAD, L. P. F.; MANO, M. F.; DECCO, H. T. *et al.* **Noções Básicas de Modelagem Hidrodinâmica Computacional e de Dispersão de Poluente**. 1ª Ed. 2009. Disponível em: < <http://numa.lamce.coppe.ufrj.br/DATA/cursos/apostila.pdf>>. Acessado em 24 de abril de 2015.

BERGMAN, C. F. 2015. **Estimativa de transporte da Corrente do Brasil na latitude de Cabo Frio por meio de um veículo autônomo Seaglider**. Monografia (Graduação em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 32 p.

BILO, T. C.; BELO, W. C.; PIOLA, A. R. Methods for estimating the velocities of the Brazil Current in the pre-salt reservoir area off southeast Brazil. **Ocean Dynamics**, doi 10.1007/s10236-014-0761-2.

BOEBEL, O.; DAVIS, R. E.; OLLITRAULT, M. *et al.* The Intermediate Depth Circulation of the Western South Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 21, p. 3329-3332. 1999.

BOECHAT, A. C. R. 2012. **Considerações sobre o sistema de correntes de contorno oeste em um Oceano Atlântico Sul modelado**. Monografia (Graduação em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 81 p.

BOECHAT, A. C. R.; MARIANO, L. S.; MARQUES DA CRUZ, L. M. Análise da profundidade média de ocorrência da Corrente do Brasil (CB) ao longo da costa brasileira entre o Cabo de São Tomé e a Bacia de Pelotas a partir de dados das Reanálises do MyOcean. 2013. Trabalho apresentado no XV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar – COLACMAR, Punta del Este, 2013.

BROECKER, W.S. The Great Ocean Conveyor. **Oceanography**, v. 4, n. 2, p. 79-89. 1991.

BRYAN, F. O. 2008. Introduction: Ocean Modeling - Eddy or Not. In: HECHT, M. W.;

HASUMI, H. (Eds.) *Ocean Modeling in an Eddying Regime*. **American Geophysical Union**, Washington, D. C. doi: 10.1029/177GM02.

CALADO, L. 2001. **Dinâmica da formação dos meandros e vórtices da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 95 p.

CALADO, L. 2006. **Dinâmica da interação da atividade de mesoescala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ**. Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 184 p.

CALADO, L.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I. C. A. A parametric model for the Brazil Current meanders and eddies off southeastern Brazil. **Geophys. Res. Lett.**, v. 33, L12602, doi: 10.1029/2006GL026092. 2006.

CALADO, L.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I. C. A. Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 30, p.1181-1188. 2010.

CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; IKEDA, Y. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight – Summer of 1991. **J. Geophys. Res.**, v. 100, n. C9, p. 18537-18550. 1995.

CAMPOS, E. J. D.; IKEDA Y.; CASTRO, B. M. *et al.* Experiment studies circulation in the Western South Atlantic. **EOS Trans. AGU**, v.77, n. 27, p. 253-259. doi: 10.1029/96EO00177. 1996.

CAMPOS, E.; BUSALACCHI, A.; GARZOLI, S. *et al.* The South Atlantic and climate In: *The Ocean Observing System for Climate*, St. Raphael, France. OCEANOBS99, 1999.

CASTRO, B. M. 1996. **Correntes e Massas de Água da Plataforma Continental Norte de São Paulo**. Tese de Livre-Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 248 p.

CERRONE, B. N. **Estatísticas da circulação do Oceano Atlântico Sudoeste a partir de dados lagrangeanos**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 48 p.

EIA. Energy Information Administration. **Total Energy**. Washington, 2015. Disponível em <<http://www.eia.gov/totalenergy/>>. Acessado em 03 de abril de 2015.

ERIKSEN, C. C.; OSSE, T. J.; LIGHT, R. D *et al.* Seaglider: A Long-Range Autonomous Underwater Vehicle for Oceanographic Research. **IEEE Journal of oceanic engineering**, v. 26, n. 4., p. 424-436. 2001.

EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v. 315, n. 6014, p. 48-50.

FASTWAVE. 2008. **Ocean gliders – A new paradigm in marine data acquisition**. Disponível em <<http://www.fastwave.com.au/ocean-gliders.html>>. Acessado em 02 de abril de 2015.

FERNANDES, A. M. 2001. **Dinâmica baroclínica da Corrente do Brasil na região sudeste**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 108 p.

FRAGOSO, M. R. 2004. **Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 173 p.

GODOI, S. S. 2005. **Dinâmica quase-geostrófica do sistema corrente do Brasil no embaçamento de São Paulo (23,5° - 27°S)**. Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 133 p.

GONÇALVES, J. E. 2000. **Características e circulação de massas de água no limite oeste do Atlântico Sul entre 20° e 30°S**. Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 133 p.

GUERRA, L. A. A. **Vórtices das Agulhas colidem com a Corrente do Brasil?** Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 73 p.

HÁTÚN, H.; ERIKSEN, C. C.; RHINES, P. B. Buoyant eddies entering the Labrador Sea observed with gliders and altimetry. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 2838-2854. 2007.

HOURY S.; DOMBROWSKY E.; DE MEY P. *et al.* Brunt-Vaisala frequency and Rossby radii in the South Atlantic. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 17, n. 10, p. 1619–1626. 1987.

IBP. 2009. **Informativo sobre o Pré-Sal.** Disponível em <<http://www.ibp.org.br/main.asp?View={70411687-443D-4072-BB40-C1A0E66F1AFB}>>. Acessado em 15 de março de 2015.

IOOS. 2014. **Gliders/Autonomous Underwater Vehicles.** Disponível em <<http://www.ioos.noaa.gov/gliders/welcome.html>>. Acessado em 10 de janeiro de 2015.

IROBOT. IROBOT® 1KA Seaglider™ User's Guide. Revision C. 444. p. 2012. Disponível em <http://doga.ogs.trieste.it/sire/gliders/manuali_seaglider/Seaglider%20User%20Guide%20-%20Rev.%20C.pdf>. Acessado em 17 de maio de 2014.

MANO, M. F. 2007. **Assimilação de Dados em Modelo Oceanográfico da Bacia Sudoeste do Atlântico para Reproduzir e Prever Circulação Superficial e Feições de Meso-Escala.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 158 p.

MASCARENHAS JR., A. D. S.; MIRANDA, L. B.; ROCK, N. J. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. **Fertility in the Sea**, Gordon & Breach, v. 1, p. 285-308. 1971.

MATOS, P. P. O.; LORENZZETTI, J. A.; PEZZI, L. P. *et al.* Estudo comparativo preliminar dos campos de temperatura da superfície do mar. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE. p. 6571-6577. 2009.

MATTOS, R. A. 2006. **Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 126 p.

MELLO FILHO, W. L. 2006. **Observação de Processos Oceanográficos de Superfície na Costa Sudeste Brasileira através de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 85 p.

MIRANDA, L. B. 1982. **Análise de massas de água da plataforma continental e da**

região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP).
Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 123 p.

MULET, S.; RIO, M. H.; MIGNOT, A. *et al.* A new estimate of the global 3D geostrophic ocean circulation based on satellite data and in-situ measurements. **Deep-Sea Research II**, v. 77-80, p. 70-81. 2012.

MULLER, T. J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N. *et al.* Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20°S and 28°S. **J. Geophys. Res.**, v. 103, n. C3, p. 5429–5437. 1998.

MUNK, W. Achievements in Physical Oceanography. In: **50 Years of Ocean Discovery**. San Diego, National Science Foundation, p. 276. 2000.

NEWTON, T. S. 2013. **Estudo da Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio e do Vórtice de Cabo de São Tomé**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, 89 p.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean **Prog. Oceanog.** v. 26, p. 1-73. 1991.

POND, S.; PICKARD, G.L. **Introductory Dynamical Oceanography**. 2^a ed. Pergamon Press Inc., Nova Iorque. 1983.

PORTILHO-RAMOS, R.C.; RIOS-NETTO, A.M.; BARBOSA, C.F. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno Superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 9, p. 349-354. doi: 10.4072/rbp.2006.3.10. 2006.

ROCHA, C. B.; SILVEIRA, I. C. A.; CASTRO, B. M. *et al.* Vertical structure, energetics, and dynamics of the Brazil Current System at 22°S-28°S. **Journal of Geo. Res.** v. 119, p. 52-69. doi: 10.1002/2013JC009143. 2014.

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, M. Seasonal variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: a numerical study. **J. Phys. Ocean.** v. 37 (1), p. 16-30. 2007.

SANTOS, N. G. 2009. **Evolução da formação do vórtice de Cabo Frio nos anos de**

2006 a 2009. Monografia (Graduação em Oceanografia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 46 p.

SCHMIDT, A. C. K.; BELO, W. C.; SILVEIRA, I. C. A. *et al.* Modelo paramétrico analítico para a estrutura de velocidade do Sistema Corrente do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 1, p. 75-91. 2007.

SFC. 2014. **Seaglider Fabrication Center.** Disponível em <<http://seaglider.washington.edu/>>. Acessado em 10 de janeiro de 2014.

SIGNORINI, S. R. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep-Sea Res.**, v. 25, n. 5, p. 481-490. 1978.

SILVA, L. C. F., ALBUQUERQUE, C. A .M.; CAVALHEIRO, W. W. *et al.* Gabarito Tentativo para as Massas de Água da Costa Sudeste Brasileira. **Anais Hidrográficos, Tomo XLI**, DHN. 1984.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D. *et al.* A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2, p. 171-183. 2000.

SILVEIRA, I. C. A. 2007. **O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ.** Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 160 p.

SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 241-262. 2004.

SSALTO/DUACS User Handbook. 2014. (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products. Disponível em <http://www.aviso.oceanobs.com/fileadmin/documents/data/tools/hdbk_duacs.pdf>. Acessado em 17 de maio de 2015.

STEWART, R. H. **Introduction to Physical Oceanography.** Texas, Texas A & M University, 2008.

STRAMMA, L.; IKEDA, Y.; PETERSON, R. G. Geostrophic transport in the Brazil

Current region. **Deep-Sea. Res.**, v. 37 (1A), p. 1875-1886. 1990.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **J. Geophys. Res.**, v. 104, n. C9, p. 20863-20883. 1999.

SYBRANDY, A. L.; NIILER, P. P. WOCE/TOGA Lagrangian Drifter Construction manual. **WOCE Report No. 63, SIO Report No. 91/6**, Scripps Institution of Oceanography, EUA. 1992.

TORRES JR, A. R. 1995. **Resposta da ressurgência costeira de Cabo Frio a forçantes locais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 132 p.

VELHOTE, D. 1998. **Modelagem numérica da ressurgência da quebra de plataforma induzida por vórtices ciclônicos da Corrente do Brasil na Bacia de Santos**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo. 134 pp.

ZEMBA, J. C. 1991. **The structure and transport of the Brazil Current between 27° and 36° South**. Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Massachusetts Institute of Technology and WHOI, Massachusetts, EUA. 160 p.

Ø ANEXO I

Os movimentos encontrados nos oceanos podem ser caracterizados em diversas classes, baseadas nas escalas espaço-temporais em que os mesmos se enquadram, a seguir são apresentadas algumas das nomenclaturas utilizadas, segundo STEWART (2008):

- Circulação geral – caracterizada como uma circulação permanente;
- Circulação profunda – conhecida como a circulação termohalina (chamada em inglês de *ocean conveyor belt*, *meridional overturning circulation*) e controlada essencialmente por processos de mistura;
- Circulação gerada pelo vento – circulação que sofre influência direta ou indireta do vento, podendo ser observada, em alguns casos, a até 1.000 m de profundidade;
- Giros oceânicos – gerados pelo vento, com efeito direto da força de Coriolis, podem apresentar rotação ciclônica ou anticiclônica;
- Correntes de contorno – são encontradas nas bordas dos oceanos (tanto leste como oeste), normalmente, fluindo paralelamente à costa;
- Vórtices – são escoamentos circulares, podendo possuir movimentação ciclônica ou anticiclônica, apresentam uma dimensão horizontal de dezenas a centenas de quilômetros, e vertical de dezenas a centenas de metros;

Além desses movimentos associados às correntes, há também aqueles de natureza oscilatória como as marés, as ondas de superfície, ondas internas, ondas planetárias e até mesmo os *tsunamis*.

Os movimentos são também agrupados em escalas, definidas em grandezas baseadas em quantidades dimensionais, que expressam a magnitude de uma variável física. Na maioria das vezes, essa variável é o comprimento e/ou o intervalo temporal. Normalmente, são divididas em:

- Grande escala – compreendem comprimentos entre 10^3 e 10^4 km, e o seu período corresponde de alguns anos a centenas de anos. Um exemplo dessa escala é a circulação termohalina, também chamada de circulação de retorno meridional;
- Mesoescala – comprimentos variam entre 100 e 1.000 km, seu período varia de algumas dezenas de anos a até 100 dias. Entram nesta escala as correntes de contorno, os meandros, os vórtices, entre outras feições transientes;
- Pequena escala – seu período varia de algumas horas a poucos dias e o

seu comprimento alcança poucos quilômetros. Como exemplos de movimentos contidos dentro dos limites dessa escala, estão os vórtices de pequena escala e a circulação em ambientes costeiros semi-fechados (como os estuários).

Ø ANEXO II

Os *Seagliders* possuem 1,8 m de comprimento, 1 m de uma asa a outra, 1,4 m de mastro de antena e pesa 52 kg, sendo facilmente carregado por duas pessoas. Essa estruturação foi pensada de modo a facilitar seu lançamento e recolhimento a partir de pequenas embarcações, possuindo o mínimo tamanho necessário para carregar suas partes constituintes (ERIKSEN *et al.*, 2001).

A Figura 77 apresenta a ilustração do interior do *Seaglider* e de suas partes mais importantes. Os seus sensores ficam na parte de fora do casco, do mesmo modo que a antena e o altímetro, e na parte interna, encontram-se as baterias, os componentes eletrônicos e os hidráulicos (IROBOT, 2012).

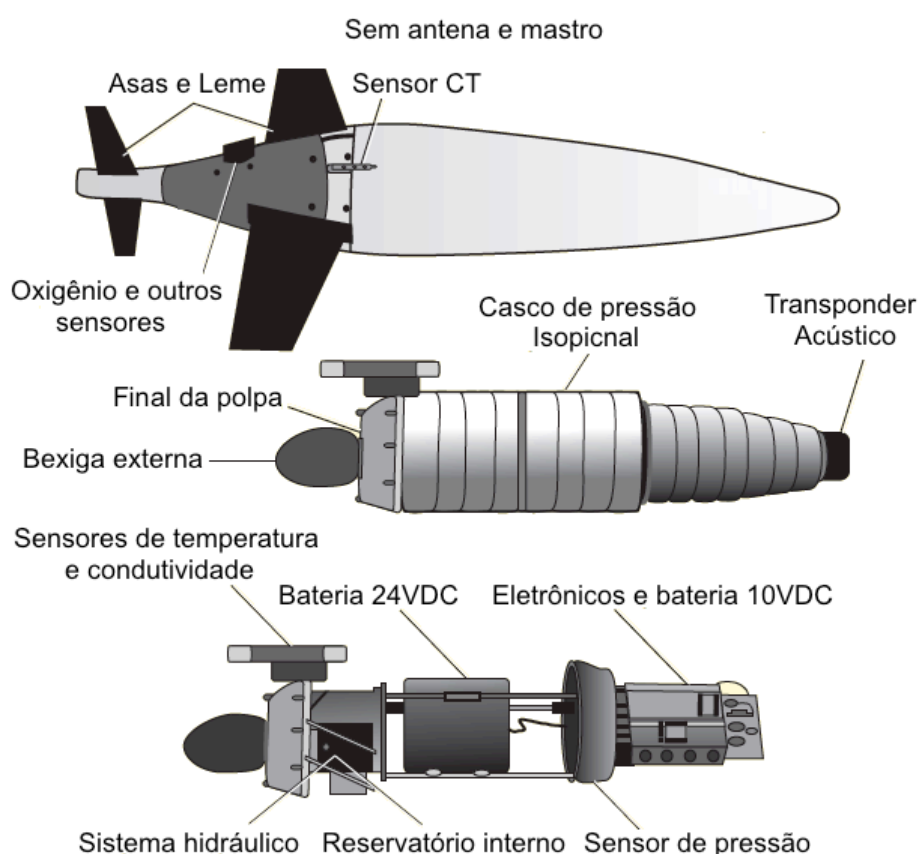


Figura 77: Interior do *Seaglider* e apresentação de suas partes mais importante. (a) parte externa do *Seaglider*; (b) casco de pressão com a bexiga externa; (c) baterias e sensores de temperatura e salinidade.

Fonte: Adaptada de IROBOT (2012).

A flutuabilidade do *Seaglider* varia em função da alteração do seu volume, controlada por uma bexiga que contém um óleo (Figura 78). Para ter flutuabilidade negativa, isto é, quando o *Seaglider* mergulha, esse óleo é recolhido de uma bexiga

externa para dentro do casco pressurizado, diminuindo o seu volume, e consequentemente seu empuxo. Quando ele está programado para subir à superfície, esse óleo é liberado, aumentando o seu volume e fazendo com que o *Seaglider* adquira flutuabilidade positiva.

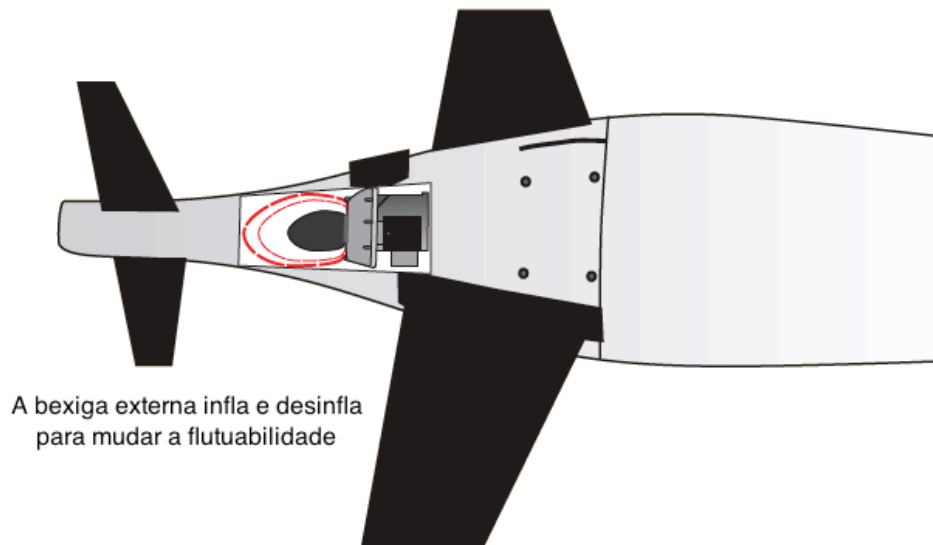


Figura 78: Inflação e deflação da bexiga externa.

Fonte: Adaptada de IROBOT (2012).

Os comandos de *pitch* (arremesso) (Figura 79) e *roll* (rolamento) (Figura 80) são definidos pelo deslocamento do centro de massa do *Seaglider*, que é feito com a movimentação da bateria. O *pitch* é utilizado para colocar o *Seaglider* com a sua proa para cima ou para baixo, deslocando a bateria para frente ou para trás. Já, o *roll* é utilizado para corrigir o curso, para virar, com o movimento da bateria para um lado ou para outro. (ERIKSEN *et al.*, 2001; IROBOT, 2012).

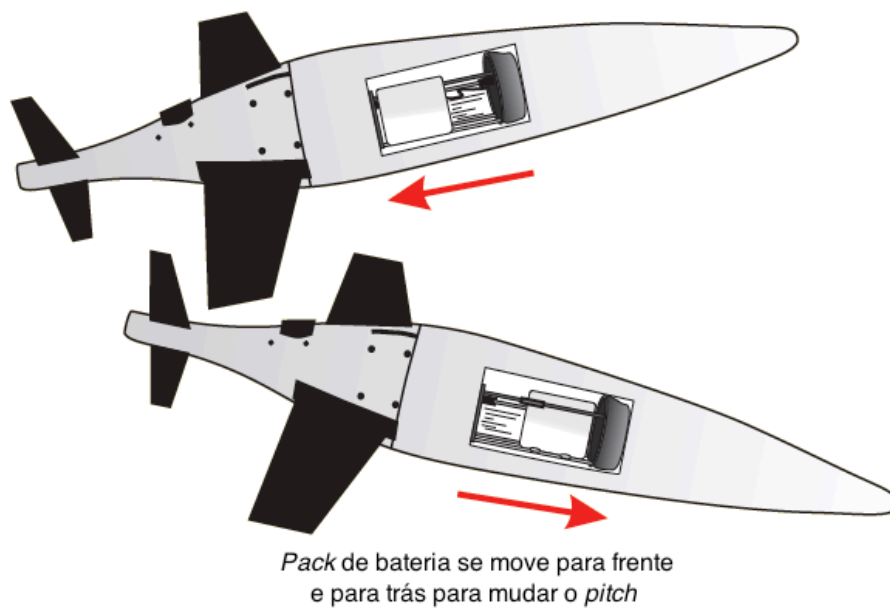


Figura 79: Deslocamento de massa da bateria que ocasiona a mudança do *pitch* do *Seaglider*.

Fonte: Adaptada de IROBOT (2012).

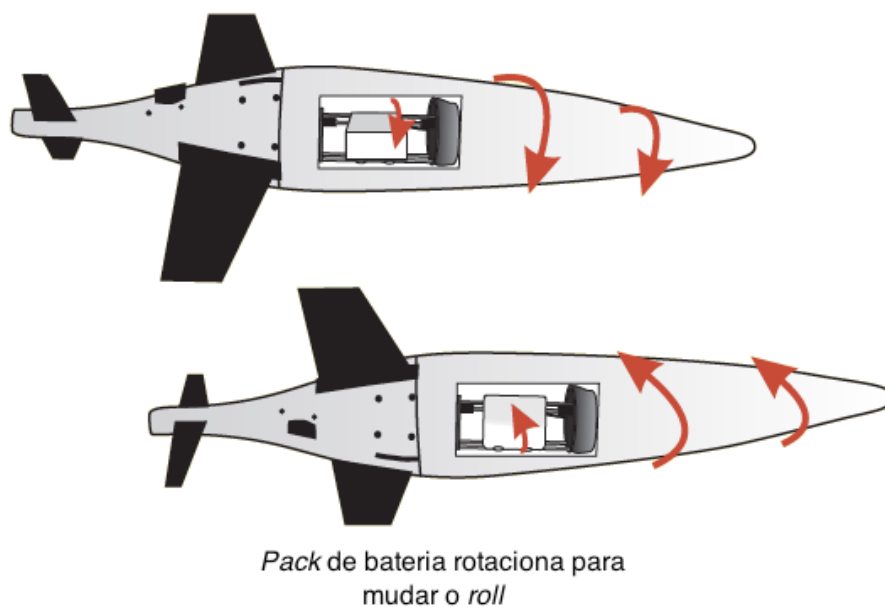


Figura 80: Deslocamento de massa da bateria que ocasiona a mudança do *roll* do *Seaglider*.

Fonte: Adaptada de IROBOT (2012).

Ø ANEXO III

Os derivadores lançados no Projeto Azul são do tipo SVP-WOCE (Surface Velocity Programme – World Ocean Circulation Experiment). É previsto o lançamento de 3 derivadores juntos a cada mês, entretanto, essa periodicidade é variável em função das condições de mar para navegação.

Estes derivadores são compostos por uma boia de superfície, um cabo de ligação (*tether*) e uma vela submersa (*drogue*) (Figura 81), esta última é responsável por minimizar os efeitos dos ventos e das ondas em seu deslocamento (SYBRAND; NIILER, 1992). A boia em superfície possui, aproximadamente, 40 cm de diâmetro e contém: um *pack* de baterias, uma memória para armazenar e transmitir os dados, um termistor que mede a TSM, e um dispositivo para conferir se a vela continua presa no equipamento, sendo geralmente um sensor de submersão da boia de superfície ou de estiramento do cabo de ligação. A partir do momento que a vela se solta do equipamento – ou seja, que o cabo de ligação é rompido –, o que pode acontecer por diversos fatores, o derivador passa a não ter influência majoritária da corrente e começa a “sentir” mais os ventos e as ondas. Alguns dos derivadores lançados no Projeto Azul, normalmente um de cada 3 lançados mensalmente, contam ainda com um barômetro.

As informações de posicionamento são obtidas pelo sistema GPS (*Global Positioning System*) e a transmissão dos dados de posição, juntamente com outros parâmetros como temperatura e pressão atmosférica (quando há), é feita pelo sistema IRIDIUM, a cada 1 hora.

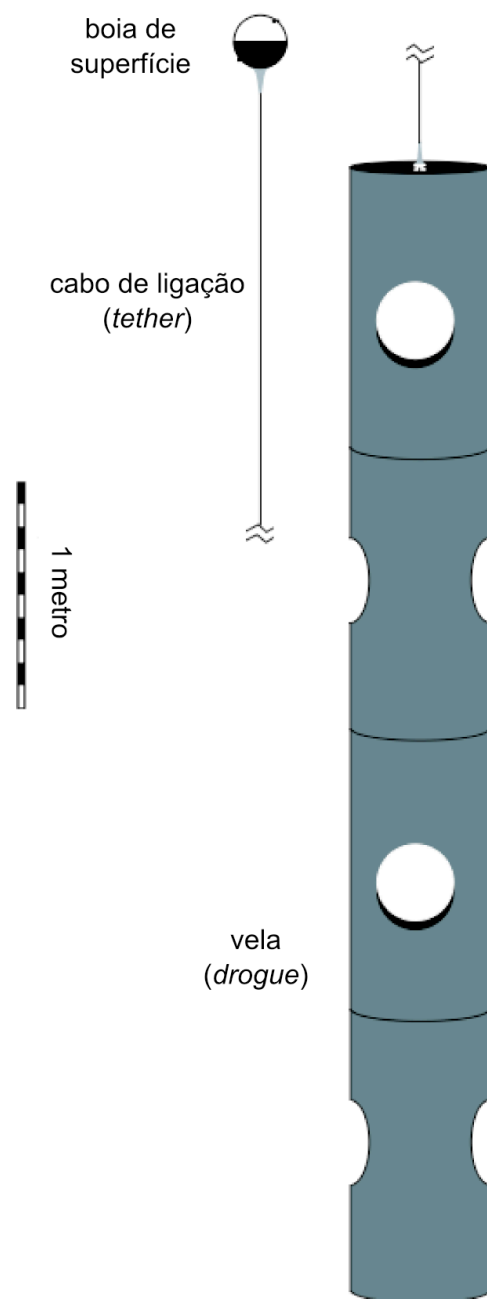


Figura 81: Representação esquemática de um derivador SVP-WOCE.

Fonte: CERRONE (2010).

Ø ANEXO IV

Perfiladores são equipamentos que derivam nos oceanos e realizam perfilagens da coluna d'água, conseguindo alcançar até 2.000 m de profundidade. Os perfiladores utilizados no Projeto Azul medem sua posição e são dotados de um CTD (*Conductivity Temperature Depth*), medindo portanto temperatura e salinidade. Assim como nos derivadores, os dados de posição dos perfiladores são obtidos por GPS e transmitidos, junto com os dados de temperatura e salinidade, via IRIDIUM.

Uma missão de um perfilador consiste, primeiramente, na descida até uma profundidade definida como *parking depth*. Após um período de tempo, definido pelo usuário, o perfilador desce mais um pouco até a profundidade definida como *profile depth* e desta subirá até a superfície. Dados de temperatura e salinidade são medidos continuamente, tanto na descida e subida do equipamento, como quando permanece no *parking depth* (ARGO, 2015). No Projeto Azul, o período de permanência do perfilador na profundidade de *parking* é de 3 dias, podendo ser alterada de acordo com a necessidade.

Os perfiladores possuem um sistema hidráulico parecido com o do *glider*, mas bem mais simples. São também dotados de uma bexiga externa responsável por ajustar a densidade do equipamento de acordo com a da água do mar. Para subir à superfície, eles utilizam o bombeamento de água de dentro do equipamento até essa bexiga externa. Já, quando ele precisa mergulhar, essa água é bombeada no sentido contrário, da bexiga para dentro do equipamento (ARGO, 2015).

A Figura 82 apresenta um esquema de como os perfiladores atuam na coluna d'água.

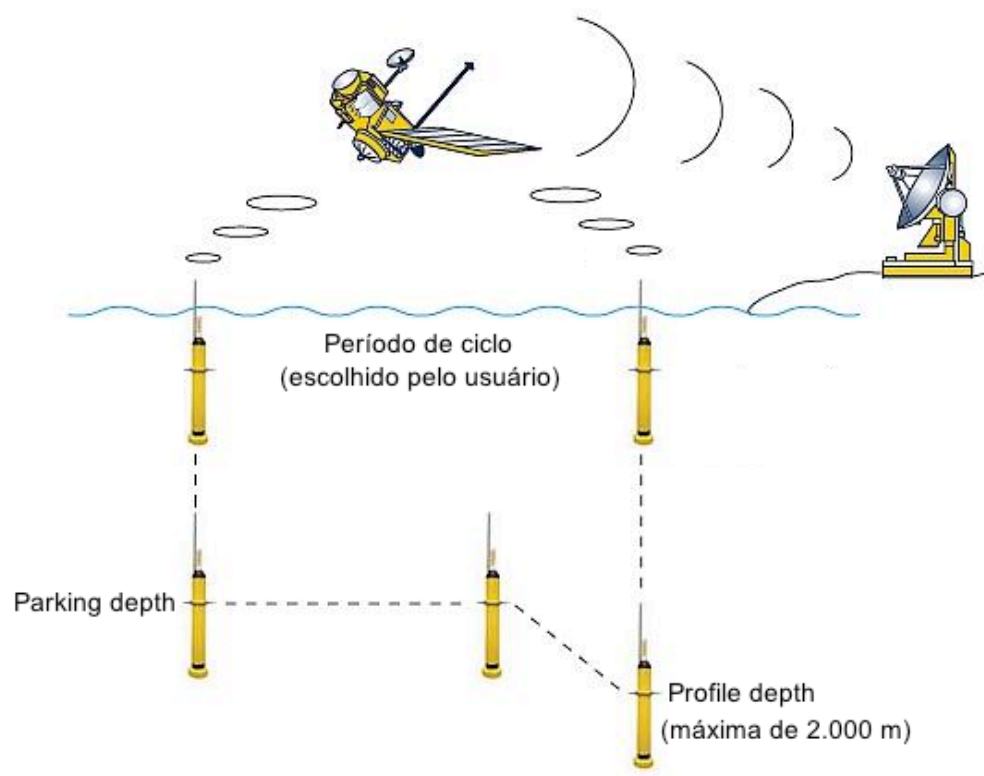


Figura 82: Desenho esquemático do comportamento dos perfiladores na coluna d'água.

Fonte: Adaptada de ARGO (2015).