Tainá Santos Newton

Estudo da Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio e do Vórtice de Cabo de São Tomé.

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Física.

Orientador: Joseph Harari.

São Paulo

2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

**Estudo da Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio e do
Vórtice de Cabo de São Tomé.**

Tainá Santos Newton

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Física.

Julgada em ____/____/____

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Prof(a). Dr(a).

Conceito

“E eu vou sobrevivendo sem um arranhão...”

Cazuza (O tempo não para)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	X
INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	1
1.2 CIRCULAÇÃO DA MARGEM CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA	2
1.3 ATIVIDADE DE MESOESCALA ASSOCIADA A CORRENTE DO BRASIL	3
1.4 FERRAMENTAS UTILIZADAS NO ESTUDO DOS VÓRTICES E MEANDROS DA CB.....	8
OBJETIVOS	13
MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 DELIMITAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS	14
3.1.1 Dados Observacionais.....	14
3.1.2 Dados Orbitais	19
3.2 ESCOLHA DOS PROCEDIMENTOS E DADOS UTILIZADOS...	20
3.3 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	21

3.3.1	Tratamento e Análise dos Dados <i>in situ</i>	21
3.3.2	Determinação do Eixo de Velocidade Máxima da CB.....	28
3.3.3	Tratamento e Digitalização das Imagens de Satélite	30
3.3.4	Análise Estatística.....	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		37
4.1	DADOS <i>IN SITU</i>	37
4.2	EIXO DE VELOCIDADE MÁXIMA.....	41
4.3	DIGITALIZAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	47
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
4.4.1.	Análise do Conjunto de Imagens.....	50
4.4.2.	Análise da Ocorrência	52
4.4.3.	Análise do Tamanho e Forma	59
4.4.4.	Desprendimento do Fluxo Básico.....	68
RESUMO E CONCLUSÕES		69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		73

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por apoiarem as minhas escolhas e principalmente por terem sempre priorizado meus estudos. Obrigada pelo incentivo, apoio financeiro e preocupações.

Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo por ter contribuído para o meu aprimoramento profissional e ao meu orientador Joseph Harari por ter me acolhido e contribuído tanto com meu trabalho.

As minhas amigas com quem dividi apartamento, Natália Resende, Patrícia Abreu e Paula Ferreira por terem me recebido de braços abertos na imensa São Paulo, terem cuidado de mim tantas vezes e pelas inúmeras risadas. Vocês tornaram tudo bem menos difícil.

Ao meu querido amigo, companheiro e eterno orientador Leandro Calado. Eu não tenho palavras para descrever o que você representou nesses 2 anos e como agradeço por um dia você ter cruzado meu caminho. É muita sorte compartilhar momentos e ter alguém para contar como você. Muito obrigada!

Ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e a toda equipe do Sensoriamento Remoto por terem me recebido e apoiado a minha pesquisa. Em especial agradeço ao Rafael Soutelino por dividir tantas vezes seu conhecimento comigo e me ajudar no tratamento dos dados. Obrigada Rafa!

A Elaine Oliveira por tantas horas gastas para desvendar os mistérios das imagens de satélite.

Ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) pela disponibilização dos dados das Comissões Oceano Sudeste II, IV e V.

Ao Dr. Eduardo Negri da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) que me ajudou na confecção dos mosaicos utilizados nesse estudo.

Aos meus colegas de classe pela troca de experiências e ajuda nas listas intermináveis. Em especial, a minha hoje amiga Jéssica Carvalho. Se eu realmente ganhei algo nesse mestrado, foi você.

A amiga querida Nathália Castro pelo apoio emocional e por ter me ajudado sempre que precisei.

RESUMO

A Corrente do Brasil (CB) é a Corrente de Contorno Oeste (CCO) que ocupa a parte mais externa da plataforma continental sudeste brasileira e o talude continental e está centrada entre as isóbatas de 200 e 1000 m (Stramma & England, 1999). A CB flui ao largo do sudeste brasileiro sustentando a característica das CCO's, que é apresentar intensa atividade de mesoescala (Campos, 1995). Dentre as feições formadas estão os Vórtices de Cabo de São Tomé (VCST) e Cabo Frio (VCF). As causas da grande atividade vortical da CB e processos envolvendo o crescimento dos meandros foram extensivamente estudados (Campos, 1995; Silveira *et. al.* 2004). No entanto, o conhecimento acerca dos padrões de ocorrência dessas feições, ainda não é completo. Esse é o objetivo desse estudo, no qual foram utilizados, dados hidrográficos e de corrente de três Comissões Oceanográficas para localizar o Eixo de Velocidade Máxima da CB, utilizado para nortear a digitalização manual dos VCF e VCST sobre de um conjunto de 8 anos de imagens MODIS de TSM no período de 2003-2010. As curvas digitalizadas foram analisadas estatisticamente. Dos 258 vórtices que foram digitalizados 101 são relativos ao VCST e 157 relativos ao VCF, o que representou uma ocorrência de 60,14% nas imagens analisadas. O VCF apresentou um padrão mais propagante no verão e padrão de crescimento estacionário com o desprendimento de alguns vórtices na direção sul no outono e inverno. Todas as estações evidenciaram que 24° S - 42° W é a região de formação do VCF. O VCST apresentou um padrão de crescimento estacionário para as quatro estações, com o desprendimento de alguns vórtices isolados principalmente no outono e inverno. A maior concentração de curvas se deu em 22,5° S - 40,5° W, evidenciando o seu sítio de formação. A primavera apresentou maior alternância de formação entre os dois vórtices. A maior simultaneidade foi encontrada no verão. A média de tamanho do eixo maior foi de 73,13 km para o VCST e 112,03 km para o VCF. No que tange à forma, ambos são preferencialmente elípticos, tendo o VCF direção de crescimento NE - SO e o VCST direção L - O. Os tamanhos máximos do eixo maior de ambos os vórtices (~200 km) foram encontrados em 2010, um ano aparentemente atípico.

ABSTRACT

The Brazil Current (BC) is the Western Boundary Current (WBC) flowing along the outer part of the Brazilian southeastern continental shelf and continental slope and is centered between the isobaths of 200 and 1000 m (Stramma & England, 1999). The BC flows off Brazilian Southeast Coast sustaining a feature of WBC's, which present intense mesoscale activity (Campos, 1995). Among these features, the Cabo Frio Eddy (CFE) and Cabo de São Tomé Eddy (CSTE) are formed. The causes of the large eddy activity of the BC and the processes involving the growth of meanders have been extensively studied (Campos, 1995; Silveira *et. al.* 2004). However, the knowledge of the patterns of occurrence of these features is not complete yet. That is the goal of this study, in which were used, hydrographic and current data of three Oceanographic Cruises to locate the BC Maximum Velocity Axis, used to guide the manual scanning of the CFE and CSTE on a set of eight years (2003-2010) of MODIS SST images. The digitalized curves were analyzed statistically. Of the 258 vortices that have been scanned 101 are relative to CSTE and 157 related to the CFE, which represented 60.14 % of the occurrences in the total images analyzed. The CFE presented a propagating characteristic during the summer and steady growth with the release of some eddies southbound in the autumn and winter. All seasons showed that 24 ° S - 42 ° W is the region where the CFE is formed. The CSTE presented a steady growth for the four seasons, with the detachment of some isolated eddies mainly in autumn and winter. The largest concentration of curves occurred at 22.5 ° S - 40.5 ° W, showing that this is the site of its formation. The spring had the highest alternating formation between the two eddies. The most common concurrency was found in the summer. The average size of the major axis was 73.13 km for the CSTE and 112.03 km for the CFE. Regarding the form, both are preferably elliptical, with the CFE growth direction NE - SW and CSTE growth direction E - W. The maximum sizes of the major axis of both (~ 200 km) were found in 2010, apparently an atypical year.

Índice de Figuras

Figura 1 - Seção de Velocidade observada em 23°S, mostrando o sistema CB-CCI. Fonte: Silveira <i>et. al.</i> 2004.....	2
Figura 2 - CB com o Vórtice de Vitória (VV), Vórtice de Cabo de São Tomé (VCST) e Vórtice de Cabo Frio (VCF) evidenciados. “A” significa centro de alta pressão e “B” baixa pressão. Fonte: Calado, 2006.	4
Figura 3 - O padrão de onda em superfície associada ao escoamento da CB (linha azul) e em níveis subpicnoclínicos associado à CCI (linha vermelha). A interação fora de fase reforça o crescimento dos meandros nas duas camadas. Fonte: Calado, 2006.	6
Figura 4 - Imagem de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) correspondente a 6 de Fevereiro de 2006 – GOES-8, com os VCF e VCST evidenciados na cor preta, adaptada de Newton <i>et. al.</i> , 2009.....	7
Figura 5 - Imagem de TSM e seu respectivo mapa do módulo quadrático do gradiente térmico em escala de cinza, correspondente a 6 de Fevereiro de 2006 (Newton <i>et. al.</i> , 2009).	9
Figura 6 - Representação esquemática da formação e crescimento do meandro da CB e a interação com o sistema de ressurgência (Calado <i>et. al.</i> , 2006).....	10
Figura 7 - Seções verticais de temperatura potencial e de densidade potencial correspondentes ao verão de 1993 próximo a 25° S. Fonte: Godoi, 2005.....	11
Figura 8 - Estações de coleta da Comissão Oceano Sudeste II – Primavera de 2002.	15
Figura 9 - Estações de coleta da Comissão Oceano Sudeste IV – Verão de 2000.	16
Figura 10 - a) Representa as estações de coleta da primeira etapa da Comissão Oceano Sudeste V. b) Representa as estações de coleta da segunda etapa da mesma Comissão.	18
Figura 11 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste II	23

Figura 12 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste IV.....	24
Figura 13 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste V.....	24
Figura 14 - Seção vertical de temperatura potencial referente às estações analisadas da Radial 1 da Campanha Oceano Sudeste V.....	25
Figura 15 - A cruz cinza representa a localização do cursor numa seção. O centro da cruz cinza é onde o ponto é marcado com o clique do cursor.....	28
Figura 16 - Vetores de velocidade na seção horizontal de temperatura potencial da Comissão Oceano Sudeste IV para o nível de 50 m. Em branco encontram-se os pontos onde se localizam os vetores de máxima velocidade, em cada linha da grade.....	29
Figura 17 - Imagem de TSM correspondente aos dias 02-05 de Julho de 2005 e o EVM de Inverno (linha em azul), na região de formação do VCF, proveniente da Comissão Oceano Sudeste V.	32
Figura 18 – Figura Esquemática de uma imagem de TSM correspondente aos dias 02-05 de Julho de 2005 com os VCF e VCST delimitados.	33
Figura 19 - Desenho esquemático do processo de medição dos VCF e VCST. A curva laranja representa um vórtice e os pontos azuis são os pontos digitalizados para definição do eixo maior.....	36
Figura 20 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 65 x 45 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste II (primavera de 2002).....	37
Figura 21 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 65 x 45 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste II (primavera de 2002).....	38
Figura 22 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 50 x 35 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste IV (verão de 2006).	39
Figura 23 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 50 x 35 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste IV (verão de 2006).	39

Figura 24 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 50 x 35 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste V (inverno de 2010).	40
Figura 25 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade <i>seagrid</i> de 50 x 35 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste V (inverno de 2010).	41
Figura 26 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste II – representativa da primavera.	42
Figura 27 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste IV – representativa de verão.	42
Figura 28 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste V – representativa de inverno.	43
Figura 29 - EVM da CB nos níveis de 20 m (linha azul) e 50 m (linha vermelha), em um cenário de inverno (a) e em um cenário de verão (b), com a representação das isóbatas de 150, 200 e 1000 m (linhas cinzas). As setas pretas indicam as regiões onde o EVM se afasta da costa no inverno e se aproxima no verão.	44
Figura 30 - EVM da CB aos níveis de 20 m e 50 m, em um cenário de primavera. A seta preta mostra a região onde o EVM acompanha o meandramento da CB próximo a 22° S.	46
Figura 31 - EVM da CB, correspondente a cada uma das Comissões para o nível de 20 m (a) e de 50 m (b). Na linha de cor preta a Comissão Oceano Sudeste II, na cor azul a Comissão Oceano Sudeste IV e na cor lilás a Comissão Oceano Sudeste V.	46
Figura 32 - Digitalização Sazonal do VCF	47
Figura 33 - Digitalização Sazonal do VCST	48
Figura 34 – Áreas de Formação do VCST (a) e VCF (b).....	49
Figura 35 - Histograma de número total de imagens disponíveis para análise a cada ano.....	50

Figura 36 - Proporção entre imagens analisadas e não analisadas a cada ano.	51
Figura 37 - Distribuição de imagens analisadas a cada estação do ano.....	51
Figura 38 - Distribuição sazonal da média de imagens analisadas.....	52
Figura 39 - Ocorrência de pelo menos um dos vórtices nas imagens analisadas.	53
Figura 40 - Histograma de ocorrência dos vórtices em números absolutos.	54
Figura 41 - Gráfico em linhas da proporção de vórtices formados por imagens analisadas em cada estação do ano.	55
Figura 42 - Histogramas de proporcionalidade de ocorrência em relação aos números totais, por estação do ano (P: primavera, V: verão, I: inverno e O: outono).	56
Figura 43 - Histogramas de proporcionalidade de ocorrência do VCF e do VCST, sozinhos, por estação do ano (P: primavera, V: verão, I: inverno e O: outono).	57
Figura 44 - Histograma de Ocorrência Simultânea Sazonal dos VCF e VCST.	58
Figura 45 - Distribuições Anual a) e Sazonal b) dos valores médios, mínimos e máximos de tamanhos do VCF.	59
Figura 46 - Distribuições Anual a) e Sazonal b) dos valores médios, mínimos e máximos de tamanhos do VCST.....	60
Figura 47 - Distribuição de tamanhos anual a) e sazonal b) para o VCF.	62
Figura 48: - Distribuição de tamanhos anual a) e sazonal b) para o VCST.....	63
Figura 49: - Ocorrência de Formas do VCF	66
Figura 50: - Ocorrência de Formas do VCST	66
Figura 51: Relação entre Tamanho e Forma do VCF	67
Figura 52: Relação entre Tamanho e Forma do VCST	67

Índice de Tabelas

Tabela 1: Informações sobre as Comissões	18
Tabela 2 :Definição dos períodos de cada estação do ano.....	20
Tabela 3 - Parâmetros Analisados	34
Tabela 4: Número de imagens analisadas em cada estação do ano.	52
Tabela 5: Número absoluto de vórtices formados durante todo o período estudado.....	54
Tabela 6: Distribuição Sazonal de Tamanhos – VCF.....	64
Tabela 7: Distribuição Sazonal de Tamanhos – VCST	64
Tabela 8: Valores médios dos parâmetros estatísticos para cada vórtice, para o conjunto completo de dados.....	65

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização Teórica

Diversos trabalhos mostraram que estruturas vorticais de meso-escala são mais pertinentes junto às intensas e estreitas Correntes de Contorno Oeste (CCO's), sendo caracterizadas por grande variabilidade espacial e temporal (Campos, 1995; Schmid *et. al.* 1995; Campos *et. al.* 1995; Silveira *et. al.* 2000; Silveira *et. al.* 2004).

Os vórtices e meandros associados às CCO's exercem importante papel no desenvolvimento dos ecossistemas marinhos, uma vez que, ao fluírem adjacentes à costa continental, as CCO's acabam atuando como barreiras para o processo de mistura entre as águas da plataforma e do oceano aberto. Assim, essas estruturas de mesoescala, que constituem um dos processos físicos mais energéticos dos oceanos, representam um mecanismo fundamental para troca de propriedades (químicas e biológicas – como sais e nutrientes) entre as zonas costeira e oceânica. Além disso, transportam propriedades físicas (momento e vorticidade) e termodinâmicas (Schmidt, 2004).

Os vórtices aqui estudados são estruturas que se comportam aproximadamente como um corpo sólido em rotação, sendo assim caracterizados por linhas de vórtice perpendiculares ao plano do fluxo. Assim, o movimento de vórtice é o movimento segundo linhas de corrente circulares (Kundu, 1990). De forma simplificada, podemos dizer que vórtices são fluxos fechados, aproximadamente circulares, onde as partículas giram em torno de um ponto. Seguindo a mesma lógica, um meandro é um vórtice superposto a um escoamento básico.

1.2 Circulação Da Margem Continental Sudeste Brasileira

No Atlântico Sul, a Corrente do Brasil (CB) é a CCO que ocupa a parte mais externa da plataforma continental sudeste brasileira e o talude continental e está centrada entre as isóbatas de 200 e 1.000 m. Possui um máximo de velocidade em superfície de $0.4 - 0,7 \text{ m.s}^{-1}$ e largura entre 100 – 120 km (Stramma & England, 1999). Seu eixo está localizado entre as isóbatas de 800-1.000 m e tem um raio de deformação típico de 22 km (Calado *et. al.* 2006). Separa-se da costa na Região de Convergência Subtropical, ao redor de 38° S , onde conflui com a Corrente das Malvinas (Stramma & England, 1999), sendo este seu limite sul.

A CB transporta a Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em níveis superficiais (apud Silveira *et al.* 2000). Em profundidades entre 500 e 1.200 m a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) transporta a Água Intermediária Antártica (AIA) para norte (Stramma & England, 1999) (Figura 1).

Figura 1 - Seção de Velocidade observada em 23° S , mostrando o sistema CB-CCI. Fonte: Silveira *et. al.* 2004.

1.3 Atividade de Mesoescala Associada a Corrente Do Brasil

A CB flui ao largo do sudeste brasileiro sustentando a característica das CCO's, que é apresentar intensa atividade de mesoescala (Campos, 1995; Schmid *et al.* 1995; Campos *et. al.* 1995; Silveira *et al.* 2000; Silveira *et al.* 2004). Mascarenhas *et. al.* (1971) foram os primeiros a descrever o meandramento e os vórtices associados à CB. Os autores relataram a presença de vórtices, ciclônicos e anticiclônicos, ao largo de Cabo Frio (CF), a partir de mapas de topografia dinâmica. É possível notar um padrão semelhante a uma onda de vorticidade, com anticiclones sucedendo ciclones, em parte deles. Segundo os autores, as feições topográficas da região favorecem o meandramento da CB e a geração de vórtices.

Seguindo essa lógica, segundo Campos (1995), a causa da grande atividade vortical da CB se deve à mudança de orientação da linha de costa e o gradiente de topografia de fundo, ou seja, o fato da plataforma continental ser mais estreita e abrupta ao norte de CF e mais extensa e suave na Bacia de Santos. Assim, segundo esse autor, ao fluir ao longo da quebra de plataforma, a CB se dirige por inércia em direção a águas mais profundas na latitude de CF devido à mudança de orientação da linha de costa.

Calado (2001), por sua vez, mostrou através de simulações numéricas com configurações batimétricas distintas, que os meandros gerados são mais sensíveis à mudança de orientação da costa do que a mudanças topográficas. A explicação para isso pode ser a considerada por Campos *et. al.* (1995), os quais mostraram que, mais ao norte, nas proximidades do Cabo de São Tomé (CST), onde a orientação da costa muda para nordeste- sudoeste ocorre o meandramento da CB, como uma onda de vorticidade barotrópica, devido à atividade de estiramento e achatamento da coluna d'água.

No entanto, esta hipótese está baseada na mudança da geometria da margem continental, o que não incluiria na dinâmica descrita a presença do meandro de Vitória (20° S), o que sugere que o início do processo se dá mais ao norte, possivelmente na Região dos Bancos de Abrolhos (19° S) e na Cadeia Vitória-Trindade (20° S). Além disso, o argumento de Campos *et al.* (1995) deve incluir a existência de meandros desde o CST até o CF, como partes de um mesmo trem de ondas. Desta forma, como descrito em Calado *et. al.* (2006), o trem de ondas formado na CB compreende o Vórtice de Vitória (VV), o Vórtice de Cabo de São Tomé (VCST) e o Vórtice de Cabo Frio (VCF), como mostra a Figura 2.

Figura 2 - CB com o Vórtice de Vitória (VV), Vórtice de Cabo de São Tomé (VCST) e Vórtice de Cabo Frio (VCF) evidenciados. “A” significa centro de alta pressão e “B” baixa pressão. Fonte: Calado, 2006.

Por outro lado, se essas hipóteses são suficientes para explicar a origem dos meandros, não se pode dizer o mesmo quanto a entender como atingem dimensões de 100 – 400 km (Calado, 2006).

O crescimento temporal dos meandros próximos a CF e ao CST foi abordado por diversos trabalhos (Silveira *et. al.*, 2004; Silveira *et. al.*, 2008; Calado, 2001; Mano, 2009), que mostraram que a instabilidade baroclínica pode ser responsável pelo crescimento primário dos meandros dessa região. Nesse contexto, Silveira *et. al.* (2004) também especularam que além dos meandros crescerem por instabilidade baroclínica, os efeitos não lineares podem eventualmente levar ao destacamento de vórtices e formação de anéis, ou seja, a instabilidade baroclínica drena energia do escoamento básico, instabilizando a corrente. Essa hipótese foi corroborada por Silveira (2007), com os resultados obtidos a partir da adaptação de um modelo quase-geostrófico ao jato da CB-CCI médio que indicou a baroclinicidade do sistema, e por Calado (2001) e Fernandes (2001), ao atestarem a importância da instabilidade baroclínica no desenvolvimento, propagação e crescimento dos meandros e formação dos vórtices. Mano *et. al.* (2009), a partir do estudo do fluxo de energia, indicaram que esses vórtices, primeiro aparecem em profundidades intermediárias e depois o sinal se propaga para a cima, drenando energia da CB. Portanto, o cisalhamento vertical é devido à CB e à CCI, em padrão de onda em superfície e em níveis subpicnoclínicos, interagindo fora de fase, que reforçam mutuamente o crescimento de meandros nas duas camadas (Figura 3). Sendo assim, há a necessidade do cisalhamento descrito para que uma corrente relativamente fraca como a CB apresente um processo de meandramento tão vigoroso (Calado, 2006).

Figura 3 - O padrão de onda em superfície associada ao escoamento da CB (linha azul) e em níveis subpicnoclínicos associado à CCI (linha vermelha). A interação fora de fase reforça o crescimento dos meandros nas duas camadas. Fonte: Calado, 2006.

Além disso, as ondas mais instáveis tendem a ser quase-estacionárias, com ambos os meandros de CF e CST crescendo em amplitude em direção ao oceano com velocidades de fase praticamente insignificantes quando comparadas com as velocidades da CB em superfície (Calado *et al.*, 2010).

Segundo Campos *et al.* (1995), na região de CF (23°S), o meandro com recorrente formação, na maioria das vezes, evolui para um vórtice ciclônico de dimensões que variam de 60 a 200 km de diâmetro. Mais ao norte (22,5°S), nas proximidades do Cabo de São Tomé (22°S), observa-se um meandro ciclônico de grande amplitude (Figura 4)

Figura 4 - Imagem de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) correspondente a 6 de Fevereiro de 2006 – GOES-8, com os VCF e VCST evidenciados na cor preta, adaptada de Newton *et al.*, 2009.

As principais diferenças entre o VCST e VCF são suas velocidades de fase e taxas de crescimento. O VCF tem velocidade de fase maior e é geralmente carregado junto à CB para sul. O VCST é mais lento e cresce em um meandro de larga amplitude em direção ao oceano profundo, se afastando do cabo (Calado *et al.*, 2006). Essas feições são mais evidentes durante o verão. Assim, o cenário oceanográfico estabelecido na região, nessa época do ano, é o de meandros ciclônicos e vórtices, juntamente ao sistema de ressurgência costeira (Calado *et al.*, 2010).

Schmid *et al.* (1995), por sua vez, especularam que a forte ressurgência costeira poderia causar o meandramento da CB no verão, na região próxima a Vitória. Calado *et al.*, (2006) demonstrou que o VCST em condições de crescimento estacionário pode contribuir na formação da ressurgência costeira. No trabalho de Calado (2006) foi estudada, por intermédio de modelagem numérica e cálculos de instabilidade barotrópica, a influência de forte pluma de ressurgência na formação de meandros da CB. Estes trabalhos demonstram que pode haver um mecanismo de *feedback* entre a ressurgência costeira e os processos de mesoescala da CB.

1.4 Ferramentas Utilizadas no Estudo dos Vórtices e Meandros da CB

Os estudos oceanográficos de mesoescala, tais como da CB e seus padrões de meandramento, demandam ferramentas sinóticas, confiáveis e contínuas no tempo (Novo, 2010).

A cobertura fornecida pelo sensoriamento remoto orbital tem a capacidade de fornecer dados sinóticos em escala espacial que possibilita investigar a variabilidade temporal e espacial de feições oceanográficas. Esta cobertura é muito maior que qualquer cobertura obtida por outros meios convencionais de obtenção de dados (Detoni & Garcia, 2009) como as medidas *in situ* que são realizadas por navios e bóias (Hochleitner *et. al.*, 2005).

No entanto, embora existam vantagens na utilização de dados orbitais como de TSM, alguns problemas são conhecidos, como a cobertura de nuvens e os efeitos dos gases atmosféricos. Esses problemas causam uma amostragem descontínua de uma mesma área da superfície, principalmente devido à baixa frequência do imageamento (corresponde a apenas duas passagens diárias por uma determinada região), não permitindo assim a obtenção do campo de TSM em escala global ou regional em curto prazo de tempo (Hochleitner *et. al.*, 2005). Apesar disso, dados orbitais são os mais comumente utilizados para determinação de frentes térmicas de correntes, devido a fatores como a facilidade de obtenção de dados, com menor custo e esforço amostral.

Os dados *in situ* por sua vez, mesmo que com menor cobertura, possibilitam a obtenção de séries temporais de parâmetros oceanográficos em diferentes extratos da coluna d'água (Assireu *et. al.*, 2008) o que os tornam mais precisos. A maior precisão dos dados é de suma importância para que os modelos numéricos de previsão tenham melhor desempenho (Hochleitner *et. al.*, 2005). Segundo Strong & McClain (1984), as medidas de TSM obtidas por meio de derivadores tem se mostrado o melhor meio para validar as cartas de TSM obtidas por imagens de satélite (Assireu *et. al.*, 2008). Dessa forma, a utilização em conjunto de dados *in situ* com imagens orbitais representa uma boa

alternativa no estudo de feições oceanográficas a efeito do entendimento de processos e fins de previsão oceânica.

No caso específico da CB, essa combinação se torna ainda mais importante pois sua proximidade com a costa faz com que as águas costeiras possam mascarar os gradientes da sua borda interna. No entanto, é recorrente a identificação das regiões de maior gradiente e consequentemente de maior contraste, térmico ou de cor do oceano, como sendo a Frente da CB, somente pelo uso de dados orbitais (Garfield, 1990; Mello Filho, 2006; Sartori Neto 2004; Lorenzzetti *et. al.*, 2009). Em se tratando do uso de imagens de TSM essa frente é denominada Frente Térmica (FT).

Uma vez que, as feições de mesoescala associadas à CB, como o VCST e o VCF, podem ser facilmente observadas na assinatura que causam na FT é possível utilizar a mesma técnica no estudo dessas feições. Como exemplo, a Figura 5 apresenta uma imagem de TSM e seu respectivo mapa do módulo quadrático do gradiente térmico evidenciando o meandramento da CB ao largo do CST e CF. Fica evidente um meandro próximo ao CST centrado em 22,5° S.

Figura 5 - Imagem de TSM e seu respectivo mapa do módulo quadrático do gradiente térmico em escala de cinza, correspondente a 6 de Fevereiro de 2006 (Newton *et. al.*, 2009).

Foi a partir dessa ideia que Santos (2011) avaliou a evolução da formação do VCF, em um período de 4 anos, com base na análise da Frente da CB.

Além da identificação, o crescimento dos meandros pode ser facilmente rastreado por meio da advecção da pluma da Água Costeira (AC), às vezes misturada à ACAS ressurgida (mais fria), pelo meandro ciclônico que cresce em direção ao oceano aberto (Calado *et. al.*, 2010; Calado *et. al.*, 2006) (Figura 6).

Figura 6 - Representação esquemática da formação e crescimento do meandro da CB e a interação com o sistema de ressurgência (Calado *et. al.*, 2006).

Por outro lado, vale ressaltar que dados orbitais são superficiais e outros fatores como processos de ressurgência e variabilidade de massas d'água na quebra da plataforma, podem contribuir para formação das regiões onde, por exemplo, o gradiente de temperatura é maior. Além disso, o processo de digitalização manual é de certa forma subjetivo por depender do conhecimento do observador das imagens que estabelece os critérios a serem utilizados. Já o

automático é muitas vezes impreciso. Logo, apenas a determinação dos locais de maior contraste/gradiente nas imagens não é suficiente para determinar a localização exata das feições de mesoescala associadas à CB.

Sendo assim, a utilização de dados *in situ* pode representar uma boa alternativa para auxiliar a digitalização. Os locais de maior gradiente de temperatura superficial nos dados *in situ*, por exemplo, podem ser associados a gradientes em subsuperfície, devido à inclinação horizontal que provocam nas isopícnais e/ou isotermas ao longo do perfil vertical da corrente (Figura 7). Através do adensamento dessas linhas de mesma densidade ou temperatura, podemos identificar tanto a CB como os vórtices e meandros associados. As seções horizontais por sua vez permitem uma boa visualização espacial da corrente ao longo da área amostrada e representam uma visão da corrente em subsuperfície.

Figura 7 - Seções verticais de temperatura potencial e de densidade potencial correspondentes ao verão de 1993 próximo a 25° S. Fonte: Godoi, 2005.

Outro ponto importante é que os vórtices ciclônicos da CB, como os VCF e VCST, são vórtices frontais, ou seja, formados a partir do meandramento do eixo da CB, onde a velocidade da corrente é máxima. Nesse sentido, a localização geográfica do Eixo de Velocidade Máxima (EVM) da CB a partir de dados *in situ* de corrente é fundamental para que não haja erros de interpretação. Assim, o uso dos conhecimentos acerca do EVM da CB na digitalização de

dados orbitais, representa uma boa forma de se contornar a questão: *precisão de análise X disponibilidade de dados*.

A revisão descrita no decorrer desta seção, mostrou que o conhecimento acerca do EVM da CB é muito importante para uma correta descrição dos padrões de ocorrência dos vórtices associados e que, embora alguns aspectos dinâmicos dos VCF e VCST tenham sido estudados, trabalhos descritivos relacionados a esses vórtices ainda são escassos. Tal escassez nos motivou a formular uma série de questões a respeito dos VCF e VCST:

- Com que frequência os VCF e VCST são formados?
- Há simultaneidade na formação dos VCF e VCST?
- A sazonalidade de ocorrência é evidente para os VCF e VCST?
- Sítios de ocorrência podem ser claramente determinados?
- Qual a média de tamanho dessas feições?

Acredita-se que esse conhecimento é fundamental tanto para aplicações científicas, na definição do papel dessas feições nos ecossistemas da região, ou na avaliação de interações com o processo de ressurgência, como também para aplicações operacionais, na assimilação em modelos de previsão oceânica e no auxílio às operações ligadas às atividades de exploração e produção de óleo e gás, intensas na área estudada.

Capítulo 2

OBJETIVOS

O presente trabalho visa estudar os padrões de ocorrência dos Vórtices Cabo de São Tomé (VCST) e Cabo Frio (VCF). Para tanto são utilizados dados orbitais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), dados *in situ* de velocidade, obtidos por ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e hidrográficos, obtidos por CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*).

Para atingir estes objetivos foram estabelecidas as seguintes etapas:

- ✓ Estudar o Eixo de Velocidade Máxima (EVM) da CB a partir de dados observacionais
- ✓ Usar dados orbitais correlacionados com dados *in situ* para caracterização dos Vórtices de Cabo de São Tomé (VCST) e de Cabo Frio (VCF).
- ✓ Estudar estatisticamente os padrões dos VCF e VCST

Capítulo 3

Materiais e Métodos

3.1 Delimitação do Conjunto de Dados

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram inicialmente utilizadas imagens orbitais provenientes de sensores de temperatura da superfície do mar (TSM). Esse conjunto de imagens referente ao período de janeiro de 2003 a dezembro de 2010, totaliza 8 anos de dados orbitais, que abrangem as datas de duas das três campanhas oceanográficas em que dados de CTD e ADCP analisados foram coletados.

3.1.1 Dados Observacionais

Para o estudo da dinâmica dos VCST e VCF foram também utilizados dados *in situ* de CTD e ADCP provenientes do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) - Marinha do Brasil. Esses dados são referentes às Comissões Oceano Sudeste II, IV e V, sendo todas com localização na região de formação dos VCF e VCST (21° S a 28° S).

Comissão Oceano Sudeste II

Integrando o *Plano de Coleta de Dados da Marinha do Brasil*, os dados da Comissão Oceano Sudeste II foram coletados a bordo do NOc. Antares no período de 22 de outubro de 2002 a 3 de dezembro de 2002.

Os dados de temperatura e condutividade foram obtidos através do CTD “*SeaBird SBE 9Plus*”, operado conectado a uma unidade de bordo, a “*SBE 11Plus*”, que permite o monitoramento dos dados coletados em tempo real com frequência de 24Hz. Já os de perfilagem contínua de velocidade, foram alcançados com o auxílio de um ADCP “*RD Instruments Broad*” de 75kHz.

A Figura 8 apresenta a localização dos perfis termohalinos que foram distribuídos em 7 radiais ao largo da costa sudeste entre 21° S e 28° S, com as respectivas linhas batimétricas de 150, 200 e 1000 m.

As perfilagens de velocidade foram obtidas ao longo de todo o trajeto do navio, enquanto esse atendia ao planejamento das estações oceanográficas.

Figura 8 - Estações de coleta da Comissão Oceano Sudeste II – Primavera de 2002.

Comissão Oceano Sudeste IV

Fazendo também parte do *Plano de Coleta de Dados da Marinha do Brasil*, assim como a Comissão anterior, os dados da Comissão Oceano Sudeste IV foram coletados a bordo do NOc. Antares no período de 28 de janeiro de 2006 a 13 de abril de 2006.

O CTD utilizado para obtenção dos dados termohalinos foi o “*SeaBird SBE 9Plus*”, operado conectado a uma unidade de bordo, a “*SBE 11Plus*”, que permite o monitoramento dos dados coletados em tempo real com frequência de 24Hz para a obtenção dos dados de perfilagem contínua de velocidade, foi utilizado o ADCP “*RD Instruments Broad*” de 75kHz.

Essa Comissão contemplou 7 radiais ao largo da costa sudeste, entre 22° S e 28.5° S (Figura 9). As perfilagens de velocidade foram obtidas ao longo

de todo o trajeto do navio, enquanto esse atendia ao planejamento das estações oceanográficas. As linhas batimétricas correspondem a 150, 200 e 1000 m.

Figura 9 - Estações de coleta da Comissão Oceano Sudeste IV – Verão de 2000.

Comissão Oceano Sudeste V

A Comissão Oceano Sudeste V representou uma parceria realizada entre o Centro de Hidrografia (CHM) da Marinha do Brasil e o CENPES da Petrobras, por ser uma iniciativa de interesse mútuo das instituições.

Essa Comissão contemplou 6 radiais ao largo da costa sudeste entre 22° S e 29° S. Sua realização se deu em duas etapas, a primeira que contemplou as radiais mais ao sul e foi coordenada pela Petrobras, sendo denominada CERES IV. A segunda foi coordenada pela Marinha do Brasil e recebeu o nome de Oceano Sudeste V, posteriormente estendido a toda Comissão (Figuras 10a e 10b). O período total foi de 07 de junho de 2010 a 07 de julho de 2010.

Nas estações oceanográficas referentes à primeira fase foram utilizados o CTD Teledyne Citadel N/S 1414I nas frequências de 24 Hz e 15 Hz, e o CTD Falmouth Scientific N/S 1344I na frequência de 15 Hz, disponibilizados pela PETROBRAS, mas de propriedade do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). Os dados com esses CTDs foram adquiridos com os softwares CTD Acq-DT e Acq2000, sendo operados pela equipe científica embarcada. A Rosette General Oceanics foi disponibilizada pela PETROBRAS nesses perfis. O pré-processamento dos dados coletados por esses CTD foram realizados utilizando-se o programa CTD “*Post da Teledyne RDI*”.

Nos perfis mais ao norte, foi utilizado o CTD “*SeaBird SBE 9Plus*”. Os dados do CTD SeaBird SBE 9Plus foram adquiridos na frequência de 24 Hz com o software “*Seasave Win32 da Seabird*”. A Rosette “*Seabird SBE-32*” do Navio operou em conjunto com o CTD “*SeaBird SBE 9Plus*”, coletando as amostras d’água nas profundidades previstas. Visando homogeneizar as análises, foram utilizados os dados provenientes apenas dos CTD adquiridos na frequência de 24 Hz, comuns a ambas as fases.

Para obter os dados de perfilagem contínua de velocidade, o Navio coletou, em tempo real e em profundidades locais superiores a 50 metros, dados de corrente, utilizando o ADCP “*RDI BroadBand*” 75 kHz. A aquisição foi realizada com o software VMDAS (versão 1.3) da RDI. As perfilagens foram feitas ao longo de todo o trajeto do navio, enquanto esse atendia ao planejamento das estações oceanográficas.

Figura 10 - a) Representa as estações de coleta da primeira etapa da Comissão Oceano Sudeste V. b) Representa as estações de coleta da segunda etapa da mesma Comissão. As linhas batimétricas correspondem a 150, 200 e 1000 m.

Para facilitar a visualização das informações de cada Comissão, os períodos em que os dados foram obtidos, as estações do ano correspondentes e os navios utilizados em cada uma das Comissões encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1: Informações sobre as Comissões

Campanha	Período	Estação	Navio
Sudeste II	22/10/2002 a 03/12/2002	Primavera	NOc. Antares
Sudeste IV	27/01/2006 a 13/04/2006	Verão	NOc. Antares
Sudeste V	07/06/2010 a 07/07/2010	Inverno	NOc. Antares

3.1.2 Dados Orbitais

O Sensoriamento Remoto espacial se fundamenta em medidas da radiação eletromagnética que chega ao sensor a bordo de um satélite. A escolha das faixas espectrais a serem utilizadas depende do espectro da transmissão atmosférica e da aplicação. Para inferir a temperatura superficial, usa-se a região do infravermelho termal que compreende a faixa entre 1 – 10 μm de comprimento de onda ou microondas que são radiações eletromagnéticas que se estendem pela região do espectro de 1mm até cerca de 1m. Neste intervalo, as ondas eletromagnéticas sofrem pequena atenuação atmosférica, com boa penetração nas nuvens, o que possibilita os radares imagear sob intensas condições de nebulosidade, o que é uma vantagem. No entanto, a maior resolução espacial das imagens obtidas (~ 25km) faz com que, para estudos de mesoescala, os sensores que operam na faixa do infravermelho termal sejam mais indicados.

Nesse estudo, as imagens de TSM são provenientes de dados L2 de cobertura local do sensor infravermelho *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo do satélite AQUA do *Earth Observing System* (EOS), com resolução espacial de 1 km e temporal de 1 dia. As mesmas encontram-se disponibilizadas na página do grupo *Ocean Color*: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

Conforme explicitado anteriormente, o período de dados de imagens analisadas foi determinado de forma a contemplar os períodos de disponibilidade de dados *in situ*. O conjunto de imagens de TSM contemplado nesse estudo tem início em Janeiro de 2003, primeiro ano completo de dados orbitais disponível a partir da “*Oceano Sudeste II*” (primeira campanha contemplada nesse estudo) e fim em dezembro de 2010, ano de realização da “*Oceano Sudeste V*”, (última campanha do presente estudo). Assim, o período total analisado com dados remotos foi de 8 anos.

3.2 Escolha dos Procedimentos e Dados Utilizados

O presente trabalho visou, antes de qualquer resultado descritivo acerca dos padrões dos VCST e VCF, que foi seu objetivo principal, estabelecer uma metodologia consistente para utilização de imagens de satélite na caracterização de parâmetros a respeito das feições de mesoescala ligadas à CB.

A primeira etapa da metodologia desse estudo buscou portanto a correta determinação do EVM da CB a partir de dados observados de forma a nortear a digitalização das imagens de satélite. A partir daí foi possível identificar os VCST e o VCF nas imagens de satélite referentes a todo período estudado.

Ao identificar o EVM da CB podemos estudar características como: tamanho atingido, forma, possível sincronicidade na formação de feições distintas, etc. Além dessas características, parâmetros como sazonalidade, periodicidade, se há o total desprendimento do fluxo básico ou não, etc. podem ser determinados a partir de uma série razoavelmente longa de imagens. Assim, foi possível nesse estudo fazer uma análise espaço-temporal dos VCST e VCF.

A análise espaço-temporal citada baseou-se na análise estatística feita a partir da observação de características, pré-determinadas dos vórtices, com base nas imagens de satélite.

Vale ressaltar, que para o estudo da sazonalidade das feições as estações do ano foram divididas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 :Definição dos períodos de cada estação do ano.

Estação do Ano	Período
Verão	21 de Dezembro - 21 de Março
Outono	21 de Março - 21 de Junho
Inverno	21 de Junho - 21 de Setembro
Primavera	21 de Setembro - 21 de Dezembro

3.3 Tratamento e Análise dos Dados

Para simplificar o entendimento das metodologias desenvolvidas, as seguintes etapas foram definidas:

- ✓ Tratamento e análise de dados de CTD: produção de seções horizontais de temperatura potencial.
- ✓ Tratamento e análise de dados de ADCP: estudo do campo de velocidade da CB.
- ✓ Correlação entre as seções horizontais de temperatura potencial e os campos de velocidade da CB, visando elucidar os padrões do EVM a serem utilizados durante a digitalização das imagens de satélite.
- ✓ Digitalização dos VCST e VCF sob as imagens de satélites utilizando os padrões do EVM encontrados.
- ✓ Análise de imagens de TSM: estudo quantitativo e qualitativo dos VCF e VCST, através da análise estatística de parâmetros como tamanho, ocorrência, forma, etc. a partir do EVM.

3.3.1 Tratamento e Análise dos Dados *in situ*

Dados Hidrográficos

Os dados hidrográficos brutos, antes de serem analisados, necessitam de tratamento básico, no qual é feito um controle de qualidade para eliminar possíveis erros durante a aquisição (Mattos, 2006). Além deste controle de qualidade, são aplicadas rotinas para torná-los contínuos e distribuídos regularmente na vertical. O mesmo tratamento foi aplicado para todas as Comissões oceanográficas utilizadas neste trabalho.

O primeiro procedimento visou à remoção de “spikes”, ou seja, ruídos normalmente gerados por falhas de comunicação entre os sensores e a unidade de controle do CTD. Faixas de valores aceitáveis foram determinadas de modo que dados fora dessa faixa foram considerados ruídos. Posteriormente, o método de interpolação linear foi aplicado tanto para os valores de temperatura como de salinidade.

Sabendo-se que a velocidade de descida do equipamento não é constante e que o CTD amostra continuamente a coluna de água, o intervalo entre as profundidades coletadas não é uniforme. Por isso, após a remoção dos picos, é preciso estabelecer um intervalo regular de amostragem para permitir um tratamento numérico adequado.

Visando diminuir ainda mais os ruídos, para a obtenção de perfis verticais mais suaves, foi aplicado o método de Janelas Móveis. Neste procedimento, para cada valor, se faz uma média ponderada de valores adjacentes, sendo o maior peso atribuído ao próprio dado. O tamanho da janela deve variar de acordo com a variação das propriedades analisadas. Assim, onde as propriedades variam mais rápido na vertical, a janela não pode ser muito grande, para que não filtre gradientes importantes para a análise dinâmica. Desta forma, diferentes “tamanhos de caixas” foram aplicados nessa fase do trabalho.

Antes de se iniciar a análise dos dados já tratados, levou-se em consideração a utilização de três campanhas distintas e, por isso a malha amostral variou de uma campanha para outra. Nesse sentido, critérios de padronização desses dados foram estabelecidos:

- ✓ A primeira estação de cada radial a ser analisada seria a que estivesse mais próxima da isóbata de 150 m.

- ✓ Uma vez determinada a estação inicial de cada radial, calculou-se uma distância aproximada de 250 km dessa estação. A estação que estivesse mais próxima a essa distância foi escolhida como sendo a última estação da radial a ser analisada.

Desta forma, os pontos amostrais apresentaram os formatos mais similares possíveis e apenas dados dentro da região de interesse foram analisados, o que reduziu o tempo de análise e o esforço computacional necessários. A partir desses pontos, grades curvilíneas *seagrid* foram produzidas. Abaixo as Figuras 11, 12 e 13 apresentam as estações analisadas em cada uma das Comissões.

Figura 11 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste II

Figura 12 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste IV.

Figura 13 - Estações oceanográficas analisadas - Comissão Oceano Sudeste V.

A partir dessas malhas amostrais, foram produzidos perfis de temperatura e salinidade de cada uma das estações. A confecção dos perfis visou uma melhor visualização dos dados de forma que, caso algum tipo de dado espúrio ou incoerente ainda fosse encontrado, não seria considerado nas análises. Seções verticais de temperatura potencial foram produzidas para as estações analisadas em cada uma das radiais amostradas, em cada um dos cruzeiros. Como exemplo, temos a Figura 14.

Figura 14 - Seção vertical de temperatura potencial referente às estações analisadas da Radial 1 da Campanha Oceano Sudeste V.

Fixou-se em 20 m a menor profundidade para que as seções horizontais fossem produzidas por ser a menor profundidade onde havia dados de ADCP confiáveis e disponíveis para todas as comissões analisadas. Já as seções de 50 m foram escolhidas por serem provavelmente mais representativas que as de 20 m, pelo fato de estarem mais próximas ao núcleo da CB, e por não serem muito profundas, a ponto de não poderem ser comparadas aos dados orbitais, que são superficiais.

Dados de ADCP

O ADCP é um medidor de correntes que utiliza o *Efeito Doppler*. Consiste essencialmente, na emissão de um feixe sonoro, que é refletido pelas partículas em suspensão na água. O equipamento é capaz de quantificar a modificação de frequência sofrida pelos feixes emitido e refletido, de modo a associá-la a velocidade e direção das partículas imersas no fluido do qual se deseja obter informações.

Os ADCPs utilizados nas três Comissões abordadas nesse estudo foram do tipo 75 kHz possuindo a capacidade de medição da superfície até aproximadamente 400m.

Uma série de procedimentos de processamento e calibração foi adotada seguindo o pacote de programas “*Common Ocean Data Access System (CODAS)*”. O CODAS foi criado pelo “*Currents Group*”, da Universidade do Havaí com a finalidade de uniformizar os procedimentos de processamento e armazenamento de dados de ADCP de casco. O guia de processamento do pacote encontra-se disponibilizado no website: http://currents.soest.hawaii.edu/docs/doc/codas_doc/CODAS_quickdoc.html

Dentre os procedimentos de pré-processamento do pacote CODAS estão os referentes ao cálculo da velocidade absoluta da corrente e tratamento/calibração das medições para que fatores como mudanças bruscas na trajetória do navio e oscilações na trajetória, em geral correspondentes à realização de estações oceanográficas não interfiram na qualidade dos dados a serem analisados. Esse pacote permite assim que as necessárias correções devido a mudanças significativas na direção, após cada guinada brusca do navio, sejam feitas e dados espúrios sejam desconsiderados.

Nesse estudo foram utilizados os dados provenientes da promediação do tipo médias longas (*Long Time Average – LTA*), separados em intervalos de 10 min. Além disso, o equiespaçamento horizontal dos mesmos foi feito de forma a transforma-los do domínio (x, y, t) para o domínio (x, y), o que permitiu uma

interpretação sinótica. Consideramos que as Comissões analisadas tem caráter sinótico para estudo das feições de mesoescala da CB, objetivo desse estudo.

Dando continuidade ao tratamento dos dados, procedimentos de gradeamento e interpolação foram executados, de forma a promover uma filtragem espacial. O tamanho da grade foi determinado de acordo com as grades curvilíneas *seagrid* produzidas para as seções horizontais de CTD, de forma que a comparação entre os mesmos pudesse ser feita da forma mais precisa possível.

A interpolação foi feita utilizando a Análise Objetiva (AO). A Análise Objetiva (AO) em Oceanografia Física é um esquema estatístico que possibilita a transformação das informações distribuídas aleatoriamente em um conjunto de dados regularmente espaçados em pontos de grade (Soutelino, 2008). Como nesse estudo as grades curvilíneas produzidas para interpolação variaram de tamanho, de modo a contemplar as estações de coleta consideradas nas Figuras 11, 12 e 13. As Comissões apresentaram diferentes números de ponto de grade – Oceano Sudeste II: 65 x 45 , Oceano Sudeste IV: 50 x 35, Oceano Sudeste V: 50 x 35.

Esse esquema, também chamado de interpolação ótima, garante a otimização do erro de interpolação, minimizando a variância do erro entre o valor estimado (interpolado) e o valor medido. Segundo Carter & Robinson (1987), a AO de dados oceânicos pode ser tratada como um ajuste por mínimos quadrados onde as funções peso dependem da correlação entre os dados. Assim, de acordo com a avaliação da disposição das estações dos cruzeiros e dos espaçamentos de grade, utilizou-se um comprimento de correlação de 1º e um erro associado de 0,01. A partir dos procedimentos descritos foi possível obter os campos de velocidade nas profundidades escolhidas para análise. Vale ressaltar, também, que as componentes de velocidade foram interpoladas em separado e posteriormente os resultados foram utilizados para compor os vetores de velocidade.

3.3.2 Determinação do Eixo de Velocidade Máxima da CB

Após a produção das seções horizontais de temperatura potencial e os campos de velocidade, nas profundidades escolhidas, foram plotadas sobreposições de ambos, de forma a utilizar os dois conjuntos de dados na localização do EVM da CB.

Para obter a curva característica do EVM em cada profundidade utilizou-se a técnica de digitalização manual. Essa digitalização consiste no clique do cursor, quando é possível sobrepor um ponto numa imagem. A Figura 15 ilustra o processo de digitalização sob uma seção horizontal de temperatura potencial hipotética (imagem ilustrativa).

Figura 15 - A cruz cinza representa a localização do cursor numa seção. O centro da cruz cinza é onde o ponto é marcado com o clique do cursor.

Nesse sentido, visando à correta determinação do EVM, identificou-se ao longo das linhas de grade os vetores correspondentes às maiores

velocidades, facilitando a digitalização do EVM. A Figura 16 apresenta o zoom dos pontos de grade identificados como sendo os de velocidade máxima.

Figura 16 - Vetores de velocidade na seção horizontal de temperatura potencial da Comissão Oceano Sudeste IV para o nível de 50 m. Em branco encontram-se os pontos onde se localizam os vetores de máxima velocidade, em cada linha da grade.

Desta forma, os seguintes critérios de digitalização do EVM para cada estação do ano foram estabelecidos:

- A CB flui preferencialmente para sul, centrada entre 200 e 1000 m de profundidade;
- Foi localizado o vetor com velocidade máxima em cada linha de grade;
- Foram dispostos os gradientes de temperatura potencial obtidos por CTD;
- No caso da identificação de uma feição ciclônica a digitalização do EVM seria feita em sentido *offshore*.

- No caso da identificação de uma feição anticiclônica, a digitalização do EVM seria feita em sentido *onshore*.

Levando em consideração a escassez de dados no outono, estação em que não houve uma curva representativa do EVM, essa estação do ano foi digitalizada sem qualquer curva auxiliar.

3.3.3 Tratamento e Digitalização das Imagens de Satélite

Conforme citado anteriormente, as imagens utilizadas nesse estudo são provenientes do sensor infravermelho MODIS a bordo do satélite AQUA com resolução espacial de 1 km e temporal de 1 dia.

No entanto, tendo em vista os esforços computacional e de observação necessários para a análise de uma série temporal de 8 anos e, considerando a escala temporal dos vórtices e meandros associados à CB, optou-se por um tratar as imagens de forma a compor mosaicos de 3 dias consecutivos. O processo de composição de mosaicos se baseou no cálculo da média do valor de cada pixel das três imagens. No entanto, visando não contabilizar dados espúrios ou pixels com nuvens, limitou-se como sendo valores válidos aqueles que estivessem entre 15°C e 35°C. Desta forma, o processo de produção de composições minimizou o problema da presença de nuvens (principal problema encontrado no uso de dados orbitais de TSM) e permitiu que a análise fosse otimizada sem interferir na qualidade do estudo das feições.

Alguns critérios foram estabelecidos para selecionar as imagens que seriam digitalizadas após a confecção dos mosaicos:

- Imagens livres da presença de nuvens na região de formação dos vórtices;
- Imagens onde o gradiente térmico da região de formação de pelo menos um dos vórtices estivesse bem demarcado;

O segundo critério se deve ao fato de que o processo de composição de mosaicos nem sempre consegue resolver o problema da presença de nuvens de forma a produzir imagens com resolução suficiente para a digitalização de feições de mesoescala. Assim, as imagens não digitalizadas foram somente contempladas nos parâmetros quantitativos da análise estatística.

Alguns parâmetros como, taxa de crescimento e direção de deslocamento, necessitam de imagens contínuas no tempo, e por isso, não puderam ser analisados com esse conjunto de imagens devido a presença de nuvens. O mesmo problema foi encontrado por Mello Filho (2006) que devido à intensa cobertura de nuvens no período 2000 a 2002, não pôde acompanhar o ciclo completo de nenhum vórtice em seu estudo.

Processo de Digitalização

Acredita-se que no presente estudo, a digitalização automática, não seria eficaz uma vez que apenas a determinação das regiões de maior gradiente não é suficiente para delimitar corretamente as feições de mesoescala. Além disso, o pouco conhecimento e a complexidade dos processos físicos que envolvem a formação dos VCF e VCST fazem com que haja a necessidade de se estabelecer critérios de forma a diminuir a subjetividade da observação. Assim, a digitalização manual, mesmo sendo muito mais trabalhosa, foi escolhida como procedimento de análise das imagens desse estudo.

As imagens selecionadas foram separadas de acordo com as correspondentes estações do ano. Posteriormente, as respectivas curvas representativas do EVM foram plotadas em cada uma das imagens, de modo a auxiliar no processo de digitalização manual (ver exemplo na Figura 17). Excetuam-se desse procedimento apenas as imagens de outono, pois não foi possível determinar um EVM típico, devido à ausência de dados *in situ*. Para digitalizar as imagens dessa estação foram utilizados somente os outros critérios estabelecidos.

Figura 17 - Imagem de TSM correspondente aos dias 02-05 de Julho de 2005 e o EVM de Inverno (linha em azul), na região de formação do VCF, proveniente da Comissão Oceano Sudeste V.

Delimitação dos VCST e VCF

Conhecer a localização do EVM é muito importante para determinar corretamente a formação dos vórtices analisados. Erros como a digitalização de regiões com indícios de rotação de fluido, porém não correspondentes aos VCF e VCST, podem ser evitados se o EVM for determinado corretamente.

Os critérios estabelecidos para delimitação dos VCST e VCF foram:

- Meandramento da CB mesmo não havendo seu total estrangulamento;
- Observações de sinais de rotação do fluido, como a intrusão de água fria dentro da estrutura em rotação;
- Ocorrência clara de fechamento e consequente formação de um vórtice;

Vale ressaltar que só foram delimitados vórtices, a partir dos critérios descritos, nas regiões próximas à localização do EVM da CB, sendo descartados os que estavam a mais de dois graus da isóbata de 1000 m ou ao Sul de 28° S. Um exemplo de delimitação dos VCF e VCST pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Figura Esquemática de uma imagem de TSM correspondente aos dias 02-05 de Julho de 2005 com os VCF e VCST delimitados.

3.3.4 Análise Estatística

Não seria possível obter informações estatísticas precisas a respeito dos vórtices estudados sem que primeiro fosse feita uma avaliação do conjunto de dados orbitais disponíveis. Essa avaliação consistiu basicamente na determinação da disponibilidade e distribuição das imagens ao longo dos anos e das respectivas estações. Entende-se por imagem cada mosaico produzido, assim como no item anterior.

Como há uma carência de trabalhos descritivos a cerca dos VCF e VCST, esse trabalho buscou obter o maior número de informações possíveis com o conjunto de imagens utilizado.

Para facilitar a análise e apresentação, os dados foram separados de acordo com os parâmetros determinados.

Os parâmetros estatísticos estabelecidos encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros Analisados

Parâmetro	Descrição
Ocorrência de formação	Feições formadas
Sazonalidade	Feições formadas a cada estação do ano
Tamanho máximo atingido	Maior tamanho atingido durante todo período analisado
Tamanho máximo sazonal	Tamanho máximo a cada estação
Tamanho médio	Tamanho médio durante todo período analisado
Tamanho médio sazonal	Tamanho médio a cada estação
Forma	Definição entre elíptica ou circular
Direção de Formação	Direção de posicionamento do diâmetro ou eixo maior
Desprendimento	Feições que se desprenderam totalmente do fluxo básico
Simultaneidade de formação	Formação simultânea dos VCF e VCST

Quantificação dos Vórtices

Conforme descrito no item 3.3.3, a continuidade de imagens foi um obstáculo encontrado por esse trabalho, principalmente devido à presença de nuvens. Assim, cada mosaico foi analisado separadamente e os vórtices encontrados contabilizados. Desta forma, como não foi possível acompanhar o ciclo completo de cada vórtice (da formação até a dissipação), um vórtice pode ter sido contabilizado duas vezes, havendo também alguns valores de parâmetros superestimados. De qualquer forma, se espera que os cálculos estatísticos realizados não sejam muito afetados por esses erros. Assim, entende-se por ocorrência como sendo o número de vórtices observados no conjunto de imagens.

Definição de Formas

As formas dos VCF e VCST foram definidas a partir da plotagem em separado de cada curva digitalizada. Após a análise das curvas, as mesmas puderam ser classificadas como tendo forma elíptica ou circular. No caso de apresentarem a forma de elipse, optou-se pela determinação da direção do eixo maior, entendendo-se que seria a direção de formação do vórtice associado.

Medição dos Vórtices

No que se refere aos tamanhos dos VCF e VCST, os mesmos foram medidos um a um, ou seja, após digitalizar os vórtices e obter as curvas correspondentes, uma nova digitalização foi feita, buscando 2 pontos da curva digitalizada sobre os quais a distância (em km) foi calculada. Dependendo da forma do vórtice (elíptica ou circular); a distância entre dois pontos da curva digitalizada poderia variar. Por isso, optou-se por no caso de forma elíptica, medir sempre o eixo maior. A Figura 19 ilustra como foi feita essa medição.

Figura 19 - Desenho esquemático do processo de medição dos VCF e VCST. A curva laranja representa um vórtice e os pontos azuis são os pontos digitalizados para definição do eixo maior.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4.1 Dados *in situ*

De forma a fazer uma interpretação cruzada entre os dois tipos de dados disponíveis, foram produzidos os campos de velocidade obtidos por ADCP sob as seções horizontais de temperatura potencial a 20 m e 50 m. As Figuras 20 e 21 apresentam os resultados obtidos para a Comissão Oceano Sudeste II a 20m e 50m.

Figura 20 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 65 x 45 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste II (primavera de 2002).

Figura 21 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 65 x 45 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste II (primavera de 2002).

É possível notar a presença de um núcleo mais frio (temperaturas entre 20 e 21° C) nos dois níveis analisados, próximo a 22° S, cuja forma é acompanhada pelos vetores de velocidade, provavelmente devido à formação de um maior gradiente térmico. A corrente se inicia no centro superior da grade e tem velocidade máxima encontrada de 0,88 m/s.

Para as seções referentes à Comissão Oceano Sudeste IV, notou-se um padrão muito semelhante nos dois níveis analisados, com o eixo da CB acompanhando as regiões de maior gradiente térmico até 24° S, quando segue em direção offshore. A velocidade máxima encontrada foi de 0,85 ms⁻¹ (Figuras 22 e 23).

Figura 22 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 50 x 35 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste IV (verão de 2006).

Figura 23 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 50 x 35 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste IV (verão de 2006).

A Oceano Sudeste V também não apresentou diferenças significativas entre 20 m e 50 m. É possível notar um núcleo quente ($\sim 25^\circ\text{C}$) no centro superior do domínio acompanhado dos vetores de velocidade máxima da corrente que chegou a $0,92\text{ ms}^{-1}$ e outro a aproximadamente $24,5^\circ\text{S}$, rodeados por temperaturas de $\sim 23^\circ\text{C}$ com velocidade máxima de $0,88\text{ ms}^{-1}$ (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 50 x 35 pontos para o nível de 20 m – Oceano Sudeste V (inverno de 2010).

Figura 25 - Mapeamento horizontal de temperatura e campo de velocidade, interpolados em uma grade *seagrid* de 50 x 35 pontos para o nível de 50 m – Oceano Sudeste V (inverno de 2010).

De maneira geral, a disparidade entre os padrões das seções horizontais de temperatura potencial e dos campos de velocidade encontrada nas diferentes estações do ano, evidencia a importância de um estudo sazonal para a área de interesse.

4.2 Eixo de Velocidade Máxima

A partir da localização dos vetores de velocidade máxima nos campos de velocidade e dos padrões obtidos nas seções horizontais de temperatura potencial, foi possível digitalizar o EVM a 20 m e a 50 m de profundidade para cada uma das Comissões (Figuras 26 a 28).

Figura 26 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste II – representativa da primavera.

Figura 27 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste IV – representativa de verão.

Figura 28 - EVM da CB, digitalizado manualmente. A linha azul refere-se ao nível de 20m e a linha vermelha, ao nível de 50m da Comissão Oceano Sudeste V – representativa de inverno.

As curvas obtidas mostraram uma boa correspondência entre o EVM obtido nos dois níveis analisados (20 m e 50 m). Sendo assim, optou-se por utilizar como referência na digitalização das imagens de satélite o nível de 20 m, uma vez que as imagens são referentes à superfície e a comparação se torna mais precisa.

Não foram encontradas bibliografias relativas à determinação do EVM da CB a partir de dados hidrográficos e de correntes, para que os resultados pudessem ser comparados aos encontrados nessa seção.

No entanto, como dito anteriormente, é recorrente a identificação das regiões de maior gradiente térmico, como sendo a Frente da CB, e que as feições de mesoescala associadas podem ser observadas pela assinatura que causam nessas regiões, de modo que os resultados desse trabalho foram comparados a estudos relativos à Frente da CB. Apesar do EVM não apresentar sempre uma correlação direta com a Frente, em termos de posição geográfica, como descrito por Newton *et. al.* (2009) e Valério *et. al.* (2009), a comparação é válida, a fim de qualificar os padrões sazonais de EVM encontrados.

Nesse sentido, destacam-se os resultados obtidos por Lorenzetti *et. al.* (2009), que encontraram uma tendência de migração em direção offshore da Frente da CB do verão para o inverno na região entre CF e CST. A sul e a sudeste de CF os autores descrevem o inverno como sendo a estação em que a Frente da CB estaria na maior parte do tempo posicionada a offshore, abaixo da isóbata de 1000 m, e o verão como a estação em que a Frente migraria frequentemente em direção à costa, ficando próxima à isóbata de 200 m.

Para o cenário de inverno, o presente estudo corroborou esses resultados para o EVM, em toda grade analisada. No entanto, segundo os mesmos autores, há uma tendência de reaproximação da corrente em relação à costa ao Sul de 24° S, o que só pode ser visto a 25° S, no presente trabalho (Figura 29 a). Essa tendência pode ser explicada por conservação de vorticidade potencial.

Figura 29 - EVM da CB nos níveis de 20 m (linha azul) e 50 m (linha vermelha), em um cenário de inverno (a) e em um cenário de verão (b), com a representação das isóbatas de 150, 200 e 1000 m (linhas cinzas). As setas pretas indicam as regiões onde o EVM se afasta da costa no inverno e se aproxima no verão.

No cenário de verão, o EVM, se encontra próximo à isóbata de 200 m na região entre os Cabos, como descrevem os autores Lorenzetti *et. al.* (2009).

Porém, nas regiões próximas a CF não foi notada aproximação em relação à isóbata de 200 m (Figura 29 b).

Apesar da aparente discrepância entre os resultados aqui apresentados e os obtidos Lorenzetti *et. al.* (2009) para o cenário de verão, a reanálise da Figura 22, nos permite visualizar que esses dados podem ser concordantes se levarmos em consideração os diferentes métodos utilizados, ou seja, em relação às regiões de maior gradiente, encontraremos resultados bem próximos aos descritos por Lorenzetti *et. al.* (2009), com a Frente da CB junto à isóbata de 200 m nas regiões próximas a CF. Porém, para o estudo dos VCF e VCST deve ser levada em consideração a localização do EVM, como já explicado anteriormente.

Esse é um exemplo claro de como o uso de diferentes tipos de dados observados pode ser importante na interpretação da dinâmica oceânica e como a determinação do EVM aperfeiçoa a análise das feições de mesoescala da CB.

Nascimento (2013) por sua vez, destacou que o caminho percorrido pela Frente no inverno ultrapassa a isóbata de 1000 m em 24° S e que durante a primavera, aparece acompanhando o padrão de meandramento da CB próximo a 22° S. O mesmo padrão pôde ser encontrado no EVM digitalizado para as duas estações. (Figura 30).

Figura 30 - EVM da CB aos níveis de 20 m e 50 m, em um cenário de primavera. A seta preta mostra a região onde o EVM acompanha o meandramento da CB próximo a 22° S.

A diferença de padrões encontrados para os EVM correspondentes a cada estação do ano ressalta como a análise sazonal é importante. Buscando uma melhor visualização dos diferentes padrões dos EVM encontrados, plotou-se as curvas correspondentes a cada nível, de cada comissão em uma só figura, como mostram a Figura 31 a e 31 b.

Figura 31 - EVM da CB, correspondente a cada uma das Comissões para o nível de 20 m (a) e de 50 m (b). Na linha de cor preta a Comissão Oceano Sudeste II, na cor azul a Comissão Oceano Sudeste IV e na cor lilás a Comissão Oceano Sudeste V.

4.3 Digitalização das Imagens de Satélite

A partir das imagens, 258 vórtices puderam ser digitalizados, manualmente. Foram obtidas 101 curvas relativas ao VCST e 157 ao VCF. As curvas digitalizadas para cada um dos vórtices, separadas de acordo com as estações no ano, são apresentadas nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Digitalização Sazonal do VCF

Apesar do reduzido número de VCF digitalizados na primavera, é possível se ter uma idéia da formação sazonal dos mesmos. Nota-se que o verão apresenta uma formação que abrange uma área maior que as outras estações, com vórtices formados ao longo da isóbata de 200 m até aproximadamente 26°

S, o que demonstra um padrão mais propagante desse vórtice nessa estação. O inverno e o outono apresentaram um padrão de distribuição bem semelhante com o crescimento de alguns vórtices mais ao sul de CF, em direção offshore. Essa distribuição aparenta determinar um padrão de crescimento estacionário do VCF nessas estações.

Para todas as estações a maior concentração do VCF se dá na região formada pelos pontos $23,5^{\circ}\text{S} - 43^{\circ}\text{W}$, $24,5^{\circ}\text{S} - 43^{\circ}\text{W}$, $23,5^{\circ}\text{S} - 42^{\circ}\text{W}$, $24,5^{\circ}\text{S} - 42^{\circ}\text{W}$ próximo a isóbata de 200m, evidenciando a região como sítio de formação do VCF. Esse resultado corrobora os resultados encontrados por Mello Filho (2006) e Santos (2010).

Figura 33 - Digitalização Sazonal do VCST

Assim como na análise do VCF, a primavera apresentou os menores números de VCST digitalizados. O verão, por sua vez, apresentou nitidamente as maiores curvas digitalizadas em direção NO – SE, à offshore do CST. O outono e o inverno apresentaram distribuições semelhantes, com a formação de alguns vórtices ao Sul de 23° S. Nas quatro estações a maior concentração de curvas se deu entre as localidades de 22°S – 40°W, 22°S – 41°W, 23°S – 40°W, 23°S – 41°W sendo essa, provavelmente, a região de formação do VCST. Além disso, não foi identificada nenhuma estação em que o VCST apresentasse um padrão propagante notório e houve algumas ocorrências de desprendimento ao sul do CST no outono e no inverno. A Figura 34 mostra as áreas de formação do VCST e VCF respectivamente.

Os sítios de formação dos VCF e VCST, aqui encontrados, foram evidenciados por Mello Filho (2006), que detectou um maior espalhamento na posição média da Frente da CB à leste de Cabo de São Tomé e ao sul de Cabo Frio, em decorrência da recorrente incidência dessas feições.

Os resultados encontrados para ambos os vórtices, no inverno e outono, parecem concordar com os apresentados por Palóczy *et al.* (2013). Esses autores, a partir de imagens de satélite, observaram evidências de meandros quase-estacionários com algumas ocorrências de ciclones se propagando na direção sul. Esses resultados corroboram ainda Campos *et al.* (2000), a sul de CF, e os de Silveira *et al.* (2008), nas proximidades do CST.

Figura 34 – Áreas de Formação do VCST (a) e VCF (b)

4.4 Análise Estatística

4.4.1. Análise do Conjunto de Imagens

Estavam disponíveis 2.865 imagens diárias das quais foi possível produzir 955 mosaicos, posteriormente também denominados de “imagens”. A Figura 34 apresenta o histograma relativo ao total de imagens analisadas por ano.

Figura 35 - Histograma de número total de imagens disponíveis para análise a cada ano.

Do total de 955 imagens disponíveis, foram descartadas 526 que tiveram presença de nuvens ou ausência do gradiente térmico bem marcado. Assim, foram analisadas 429 imagens, o que corresponde a 44,92% do total. O ano de 2005 foi o que apresentou um menor número de imagens disponíveis, 108.

Dos critérios estabelecidos, a presença de nuvens foi a principal causa de exclusão de imagens analisadas. De forma a visualizar o quanto esse critério influencia na disponibilidade de dados de qualidade na região, um histograma de proporção entre imagens analisadas e não analisadas foi produzido (Figura 35). É possível verificar que na maioria dos 8 anos analisados, mais de 50% das imagens tiveram que ser descartadas.

Figura 36 - Proporção entre imagens analisadas e não analisadas a cada ano.

O número de imagens analisadas a cada ano em cada estação, encontra-se na Figura 36:

Figura 37 - Distribuição de imagens analisadas a cada estação do ano.

Visando facilitar a comparação entre o número de imagens disponíveis por estação do ano, a média de imagens analisadas foi calculada (Figura 37).

Figura 38 - Distribuição sazonal da média de imagens analisadas.

Nota-se que a primavera foi a estação que apresentou maior nebulosidade e, por isso, o menor número de imagens analisadas. O outono e o inverno, por sua vez, apresentam um número de imagens disponíveis quase que constante ao longo dos anos, evidenciando maior número de dias com céu claro nessas estações. Em números totais, a distribuição sazonal das imagens encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4: Número de imagens analisadas de 2003 a 2010, em cada estação do ano.

Estação do Ano	Imagens Analisadas
Primavera	64
Verão	89
Outono	132
Inverno	144
Total	429

4.4.2. Análise da Ocorrência

Após a análise preliminar do conjunto de imagens, parâmetros quantitativos dos VCF e VCST foram analisados de forma a promover informações a respeito dos mesmos.

A primeira informação obtida se refere à relação entre o número de imagens disponíveis e o aparecimento de pelo menos um dos vórtices (Figura 38).

Figura 39 - Ocorrência de pelo menos um dos vórtices nas imagens analisadas.

Como já descrito em diversos estudos, a Figura 38 confirma que é recorrente a formação dos VCST e VCF, que apareceram em mais de 60% das imagens analisadas.

Para uma avaliação mais criteriosa, os vórtices foram quantificados em valores absolutos totais, simultâneos e em separado. Vale ressaltar que o número total representa o somatório entre as ocorrências simultâneas e em separado (Figura 39).

A Tabela 5 apresenta o número encontrado em cada uma dessas situações, a cada estação do ano e os valores totais. Esses números serviram de base de cálculo para os gráficos seguintes.

Tabela 5: Número absoluto de vórtices formados durante todo o período estudado.

P: primavera; V: verão; I: inverno e O: outono;

VCST Total: Número total de imagens em que o VCST foi visualizado;

VCF Total: Número total de imagens em que o VCF foi visualizado;

VCF/ VCST: Número de imagens em que ambos os Vórtices foram visualizados;

VCST Sozinho: Número de imagens em que somente o VCST foi visualizado;

VCF Sozinho: Número de imagens em que somente o VCF foi visualizado.

VCST - Total				VCF - Total				VCF / VCST				VCST - Soz.				VCF - Soz.			
P	V	I	O	P	V	I	O	P	V	I	O	P	V	I	O	P	V	I	O
13	25	38	25	13	48	55	41	4	22	27	15	9	3	11	10	9	26	28	26
101				157				68				33				89

Figura 40 – Diagrama Venn de ocorrência dos vórtices em números absolutos.

Como o número de imagens disponíveis para cada estação do ano variou, foi necessário analisar os vórtices em números relativos. Assim, a proporcionalidade entre o número de vórtices formados e o número de imagens analisadas para cada estação encontra-se na Figura 40.

Figura 41 - Gráfico em barras da proporção de vórtices formados por imagens analisadas em cada estação do ano.

Nota-se uma distribuição proporcional entre as estações, com o verão tendo os maiores valores e a primavera os menores para os VCST e VCF em números totais e na ocorrência conjunta. Já na análise dos VCST e VCF em separado, para o VCST houve grande variação da proporção de feições formadas a cada estação do ano, com a primavera tendo os maiores valores e para o VCF, houve uma igualdade de proporção no outono e no inverno.

VCF e VCST – Total de Ocorrências

Optou-se por uma análise relativa da ocorrência das feições nas imagens analisadas. O número de imagens disponíveis para cada estação do ano variou. Assim, dividiu-se o número de ocorrências por estação pelo número de imagens disponíveis para cada estação, analisando-se a proporcionalidade obtida. As porcentagens dos VCST e VCF em relação aos números totais encontram-se na Figura 41.

Figura 42 - Histogramas de proporcionalidade de ocorrência em relação aos números totais, por estação do ano (P: primavera, V: verão, I: inverno e O: outono).

É possível notar que as distribuições das ocorrências sazonais em números totais para o VCST e o VCF são diferentes. Para o VCST, a ocorrência total foi de 23,54 %. Quanto à sazonalidade, os menores valores de ocorrência foram encontrados no outono (18,94%), seguido da primavera (20,31%), inverno (26,39%) e apresentando os maiores valores (28,09%), o verão. Para o VCF, a ocorrência total foi de 36,60%. Os menores valores foram encontrados na primavera (20,31%), seguida do outono (31,06%), inverno (38,19%) e assim como o VCST, os maiores valores ocorreram no verão (53,93%).

Se compararmos os números totais de VCST e VCF, perceberemos que o VCST se forma 1,55 vezes menos que o VCF. Na primavera, ambos apresentaram o mesmo valor de ocorrência e o verão foi a estação em que os dois vórtices mais ocorreram, apesar do VCST ter ocorrido quase 2 vezes menos do que o VCF nessa estação.

VCF e VCST – Ocorrências Alternadas

Analisando quando os VCST e VCF ocorreram em separado, ou seja, formação não-simultânea das feições, podemos notar que o VCST tem uma ocorrência de 7,69% e o VCF de 20,75%.

O verão é a estação em que o VCST apresenta menor ocorrência sozinho (3,37%), seguido do outono e inverno com valores muito próximos (7,58% e 7,64, respectivamente) e como a estação com maior ocorrência temos a primavera (14,06%). Para o VCF ocorrendo sozinho, a estação com menor valor foi a primavera (14,06%), seguida do inverno e outono com valores semelhantes (19,44% e 19,70%, respectivamente) e o verão aparece com o maior valor de ocorrência (29,21%) (Figura 42).

Figura 43 - Histogramas de proporcionalidade de ocorrência do VCF e do VCST, sozinhos, por estação do ano (P: primavera, V: verão, I: inverno e O: outono).

Ao comparar os valores obtidos para os dois vórtices, nota-se que a primavera apresentou a mesma proporcionalidade de ocorrência. O inverno e outono por sua vez apresentaram valores muito semelhantes entre si, tanto para o VCF como para o VCST. A maior disparidade de ocorrência entre as duas feições ocorreu no verão quando o VCST apresentou valor mínimo e o VCF apresentou valor máximo de quase 9 vezes o encontrado para o VCST.

VCF e VCST – Simultaneidade

Conforme descrito no item 3.2.4 a simultaneidade foi definida como a ocorrência dos VCF e VCST na mesma imagem. A Figura 43 apresenta os valores sazonais encontrados para esse parâmetro.

Figura 44 - Histograma de Ocorrência Simultânea Sazonal dos VCF e VCST.

Quanto à simultaneidade o verão aparece como a estação em que mais ocorre 24,72% e a primavera como a que menos ocorre (6,25%). Em números totais, 15,85% das imagens analisadas apresentaram simultaneidade de ocorrência dos VCF e VCST.

Do ponto de vista de dinâmica oceânica, os resultados obtidos nessa seção se mostram aparentemente contrários a hipótese de que os vórtices associados a CB fariam parte de um mesmo trem de ondas (Figura 2), uma vez que, a ocorrência isolada do VCST foi menor do que a do VCF, o que indicaria que o processo não se dá na de norte para sul conforme Calado *et. al.* (2006). No entanto, se levarmos em consideração os resultados obtidos por Mano *et. al.* (2009) que ressaltaram que os vórtices primeiro aparecem em profundidades intermediárias e depois o sinal se propaga para a cima, concluiremos que o VCST pode simplesmente não ter assinatura superficial bem marcada e por isso não aparece nas imagens, o que não significa que não tenha se formado.

4.4.3. Análise do Tamanho e Forma

As medições dos vórtices (comprimento do eixo maior ou diâmetro) foram feitas de acordo com os procedimentos do item 3.3.3. A partir dos valores medidos foram calculadas as médias, os desvios padrão e os valores máximos e mínimos para o VCF e o VCST em separado. Os resultados obtidos serão apresentados por vórtice.

As distribuições dos valores médios, máximos e mínimos por ano e por estação para o VCF encontram-se nas Figuras 44a e 44b.

Figura 45 - Distribuições Anual a) e Sazonal b) dos valores médios, mínimos e máximos de tamanhos do VCF.

O gráfico 44a apresentado demonstra que o ano de 2010 foi o que apresentou o maior tamanho do VCF (215,60 km) enquanto o valor mínimo foi encontrado no ano de 2007 (45,13 km). De maneira geral, as médias anuais possuem uma certa oscilação de tamanhos de um ano para outro com os valores não se afastando muito de 100 km.

Já o gráfico 44b evidencia que o VCF não apresenta uma sazonalidade de tamanhos importante. Apesar de na primavera o tamanho máximo estar abaixo das demais estações, a média de tamanhos permaneceu quase que constante para todas as estações. A média de tamanho para todo o período foi de 112,03 km. Vale lembrar que a primavera foi a estação com o menor número de imagens analisadas o que pode ter interferido nos resultados.

Para o VCST os resultados são apresentados nas Figuras 45a e 45b.

Figura 46 - Distribuições Anual a) e Sazonal b) dos valores médios, mínimos e máximos de tamanhos do VCST.

A distribuição anual de tamanhos do VCST e do VCF foram semelhantes, com tamanho máximo do VCF sendo de 205,07 km em 2010 e o tamanho mínimo de 42,98 km em 2006.

A distribuição sazonal por sua vez não evidencia uma sazonalidade importante de tamanhos do VCST. Os valores médios do tamanho desse vórtice permanecem praticamente constantes entre as estações, sendo sua média total para o período de 73,12 km.

Lorenzetti *et. al.* (2006) analisaram imagens ENVISAT/ ASAR referentes à primavera de 2004 e encontraram uma estimativa de 60 – 70 km para o tamanho do VCST. Esse resultado é concordante com os apresentados na Figura 45b, onde a média de tamanho do VCST na primavera foi de 63,09 km.

Se compararmos os dois vórtices quanto aos resultados das Figuras 44 e 45 perceberemos que o VCST, em média, atinge tamanhos menores que o VCF. Além disso, o ano de 2010 aparece como um ano atípico para os dois vórtices. Para o VCF o tamanho máximo atingido nesse ano foi 1,92 vezes maior que a média total enquanto que para o VCST essa relação chegou a 2,8 vezes.

Interpretações sobre as classes de tamanhos mais comuns ao longo dos anos e das estações podem ser feitas a partir dos histogramas de valores absolutos das Figuras 46a e 46b para o VCF e 47a e 47b para o VCST.

Figura 47 - Distribuição de tamanhos anual a) e sazonal b) para o VCF.

A análise dos histogramas possibilita identificar que o VCF apresenta a classe de 80 – 110 km como a mais comum ao longo dos anos. Confirmando as análises anteriores, o ano de 2010 é o único que possui ocorrências em tamanhos acima de 200 km.

Quanto à distribuição sazonal, nota-se que todas as classes possuem ocorrências nas quatro estações exceto para valores acima de 180 km onde não há ocorrência para a primavera. O verão apresenta como classe mais comum a de 80 – 110 km corroborando os resultados de Lorenzetti *et. al.* (2009), que

evidenciaram através da densidade da Frente da CB a presença de um vórtice offshore de aproximadamente 100 km.

O VCST apresentou uma distribuição de tamanho ao longo dos anos com concentração na menor classe de tamanho (40 – 70 km). O ano de 2010 é o único a ter ocorrência de tamanhos acima de 130 km de diâmetro.

Na distribuição sazonal nota-se a ocorrência em todas as estações de tamanhos até 100 km. Em classes de tamanhos maiores que 100 km não há ocorrências para o outono e acima de 130 km apenas no verão ocorrem vórtices.

Figura 48: - Distribuição de tamanhos anual a) e sazonal b) para o VCST.

Comparando os dois vórtices, as distribuições das classes de tamanho é mais homogênea para VCF do que para o VCST, onde a distribuição é concentrada nas menores classes.

Para obter informações a respeito de quão homogêneos os tamanhos dos vórtices foram, os desvios padrão das médias obtidas foram calculados. Os resultados obtidos por estação para cada um dos vórtices encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Distribuição Sazonal de Tamanhos – VCF

Medida (Km) / Ano	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Média por estação	118.14	102.88	113.33	112.76
Desvio Padrão por estação	41.73	40.78	39.89	28.84
Mínimo por estação	63.92	45.13	49.67	69.97
Máximo por estação	213.39	207.54	215.60	166.95

Tabela 7: Distribuição Sazonal de Tamanhos – VCST

Medida (Km) / Ano	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Média por estação	90.13	65.37	66.72	74.11
Desvio Padrão por estação	41.74	11.23	13.48	19.84
Mínimo por estação	49.60	44.13	42.98	52.99
Máximo por estação	205.07	91.23	108.67	108.46

Baseado nos valores da Tabela 6, verificamos que a primavera foi estação em que os tamanhos do VCF apresentaram maior homogeneidade, ou seja, menor desvio padrão. Já o verão, apresentou maiores disparidades. No entanto, os valores do desvio padrão para cada estação foram relativamente próximos.

Para o VCST o outono, o inverno e a primavera, apresentaram uma boa homogeneidade, com o desvio padrão tendo valor médio de 14,85 km. O verão apresentou uma disparidade de tamanhos relativamente alta, com valor do desvio padrão 2,81 vezes maior que a média do desvio para as demais estações. Como pode ser visto na Tabela 7. Percebe-se assim que é no verão que os VCF e VCST mais variam em tamanho.

A Tabela 8 apresenta os valores médios dos parâmetros estatísticos obtidos para cada vórtice, considerando o conjunto completo de dados.

Tabela 8: Valores médios dos parâmetros estatísticos para cada vórtice, para o conjunto completo de dados.

Diâmetro (km)	VCF	VST
Média Total	112.03	73.13
Desvio Padrão Total	40.00	25.81
Mínimo Total	45.13	42.98
Máximo Total	215.60	205.07

Os valores médios evidenciam as classes de tamanhos determinadas como mais comuns na análise da distribuição de tamanhos. Além disso, apesar dos tamanhos máximos e mínimos terem sido muito semelhantes para os dois vórtices, em média o VCST é menor e tem sua distribuição de tamanhos mais homogêneos que o VCF.

Conforme descrito no item 3.3.3 as formas das feições também foram contempladas nesse estudo. Os vórtices foram classificados como tendo forma de elipse ou circular. Para a primeira classificação, a direção do diâmetro de maior tamanho foi analisada. Os resultados encontram-se nas Figuras 48 e 49.

Figura 49: - Ocorrência de Formas do VCF

Figura 50: - Ocorrência de Formas do VCST

O VCF apresentou a forma elipsoidal como sendo mais frequente que a circular. A direção preferencial de crescimento foi a NE–SO seguida da L–O. Não houve ocorrências NO – SE e apenas 3 ocorrências na direção N – S, no outono.

O VCST apresentou a forma circular como segunda maior ocorrência. A mais ocorrente foi a elipse de direção L – O.

Para que possíveis relações entre as formas e tamanhos encontrados pudessem ser avaliadas, foram produzidos gráficos relacionando esses parâmetros (Figuras 50 e 51).

Figura 51: Relação entre Tamanho e Forma do VCF

Figura 52: Relação entre Tamanho e Forma do VCST

Para ambos os vórtices, a análise conjunta de tamanho e forma permitiu verificar que as formas circulares se restringem às menores classes de tamanho, o que indica que a partir de uma dada classe, o crescimento se dá em uma direção preferencial.

4.4.4. Desprendimento do Fluxo Básico

Em termos de dinâmica oceânica, ao analisarmos uma imagem de satélite onde um vórtice aparece afastado da região típica da CB não temos como afirmar que ele não está mais ligado ao fluxo básico da corrente. No entanto, seguindo a nomenclatura mais usual, foi considerado que em caso de afastamento da isóbata de 1000 m, o vórtice se desprende do fluxo básico.

Assim, do total de vórtices digitalizados, como mostrado no item 4.3, apenas 13,37% das curvas referentes ao VCF demonstraram um desprendimento desse vórtice do fluxo básico da CB. Para o VCST, esse número foi ainda mais reduzido sendo de 9,90%.

Ambos os vórtices apresentaram valores de inverno e outono bem próximos –VCF: outono (47,62%) e inverno (38,09%) e VCST : outono (40%) e inverno (50%), seguidos pelo verão (VCF: 14,28% e VCST: 10%). Para ambos os vórtices não houve desprendimento durante a primavera.

Esses valores concordam com as afirmações de Mello Filho (2006) de que os vórtices gerados pela CB não tem como característica o desligamento da região de formação.

Capítulo 5

Resumo e Conclusões

Dados hidrográficos e de ADCP de casco de três Comissões Oceanográficas foram utilizados para produzir seções horizontais de temperatura potencial e campos de velocidade, que, analisados em conjunto, possibilitaram a localização do EVM da CB em cada estação do ano, exceto o outono, devido à ausência de dados *in situ* nesta estação. Posteriormente, o EVM foi utilizado para nortear a digitalização manual de um conjunto de 8 anos de imagens MODIS de TSM no período de 2003-2010. A digitalização sobre mosaicos de 3 dias compostos com as imagens de TSM, visou o estudo da ocorrência dos VCF e VCST, que foram analisados estatisticamente.

A disparidade entre os padrões dos dados *in situ* coletados nas diferentes Comissões demonstram uma sazonalidade importante do padrão o EVM da CB. Por outro lado, ao compararmos diferentes níveis de profundidade (20 m e 50 m) de uma mesma Comissão, encontramos uma boa correspondência entres os EVM obtidos.

Na região entre CF e CST, o EVM se apresenta próximo à isóbata de 200 m no verão, migrando em direção offshore no inverno. A sul e sudeste de CF, o inverno é a estação em que a CB está a maior parte do tempo posicionada a offshore, abaixo da isóbata de 1000 m, com uma maior tendência de distanciamento da costa após 24° S seguida de uma reaproximação a 25° S. No verão esse mesmo comportamento pôde ser notado porém com início mais a norte, próximo a 23° S. Na primavera, o EVM aparece acompanhando o padrão de meandramento da CB próximo a 22° S.

Com o uso dos padrões do EVM da CB sobre as imagens de TSM selecionadas, 258 vórtices foram digitalizados sendo 101 relativos ao VCST e 157 relativos ao VCF. Apesar do reduzido número de vórtices digitalizados na primavera, foi possível avaliar os padrões de formação dos VCF e VCST nas diferentes estações do ano.

O VCF no verão apresentou um padrão mais propagante ao longo das linhas batimétricas. O outono e o inverno, para esse vórtice, apresentaram um padrão de crescimento estacionário com o desprendimento de alguns vórtices na direção sul. Todas as estações evidenciaram que 24° S – 42° W é a região de formação do VCF. O VCST apresentou um padrão crescimento estacionário para as quatro estações, com o desprendimento de alguns vórtices isolados principalmente no outono e inverno. A maior concentração de curvas se deu em $22,5^{\circ}$ S – $40,5^{\circ}$ W, evidenciando seu sítio de formação.

No que se refere ao conjunto de imagens puderam ser analisadas 44,92% do total de 955 imagens que se apresentaram com ausência de nuvens e com o gradiente térmico bem marcado. O ano de 2005 foi o que apresentou um menor número de imagens disponíveis e a primavera foi a estação que apresentou maior nebulosidade. Do total de 429 imagens analisadas, 60,14% evidenciaram a ocorrência de pelo menos um dos vórtices, sendo 23,54 % relativo ao VCST e 36,60% relativo ao VCF.

Do total de VCF formados, 20,75% representam ocorrências desse vórtice sozinho, enquanto 15,85% foram simultâneas com o VCST. Para o VCST, do total, 7,69% se formaram sozinhos e 15,85% foram com o VCF. Esses resultados demonstraram que 67,33% das ocorrências de VCST foram em simultaneidade com VCF. Já o VCF tem a maioria de suas ocorrências (56,70%) sozinho.

Os valores de ocorrência obtidos demonstram em uma primeira análise que os VCST e VCF não fazem parte do mesmo trem de ondas como descrito por Calado *et. al.* (2006). Porém, levando em consideração as análises de Mano *et. al.* (2009) nota-se que o não aparecimento do VCST em algumas imagens pode ser devido a sua formação em níveis subpicnoclínicos. Para conclusão dessa questão dinâmica seria necessária uma análise detalhada de dados em subsuperfície.

Como o número de imagens variou para cada estação do ano, a análise estatística sazonal foi feita em cima da proporcionalidade de aparecimento de feições, ou seja, em números relativos. Foi possível notar que distribuição das ocorrências sazonais para o VCST e para o VCF é diferente.

O verão é a estação em que os VCST e VCF mais ocorrem. O VCF ocorre mais nessa estação tanto sozinho como de forma simultânea com VCST. Já o VCST tem seus maiores números de ocorrência nessa estação devido à simultaneidade com VCF pois, a primavera é a estação em que esse vórtice mais se forma sozinho. A primavera aparece também como uma estação de alternância entre as feições, já que é quando o VCF menos se forma sozinho.

A análise de tamanho dos VCF e VCST ressaltou que não há uma sazonalidade importante de tamanhos para os vórtices. O ano de 2010 destacou-se como sendo um ano atípico, onde os vórtices apresentaram uma tendência de crescimento, com os maiores tamanhos sendo registrados no inverno e verão, respectivamente.

De maneira geral, o VCST atinge menores tamanhos que o VCF. O que pode ser visto pela média de tamanho encontrada: 73,13 km para VCST e 112,03 km para o VCF. A distribuição de tamanhos do VCF no entanto foi mais homogênea que a do VCST, que teve uma maior concentração de ocorrências em classes de menor tamanho (40 – 70 km). A classe de 80 -110 km foi a mais comum para o VCF. Ambos apresentaram valores de tamanho mínimo ao redor de 40 km e tamanho máximo entorno de 200 km. Uma maior disparidade de tamanhos pode ser vista no verão para os dois vórtices.

No que tange à forma, o VCF é preferencialmente elíptico com direção de crescimento na direção NE – SO. Já o VCST também cresce como uma elipse, só que preferencialmente na direção L – O. A análise cruzada entre tamanho e forma permitiu verificar que as formas circulares se restringem às menores classes de tamanho para ambos os vórtices. O que reafirma que o eixo maior da elipse representa a direção preferencial de crescimento das feições.

Apenas 13,37% das curvas referentes ao VCF tiveram um desprendimento desse vórtice do fluxo básico da CB. Para o VCST, esse número foi ainda mais reduzido sendo de 9,90%. Esses valores reforçam a ideia de que os vórtices gerados pela CB não tem como característica o desligamento da região de formação.

Referências Bibliográficas

Assireu, A. T., Souza, R. B., Lorenzetti, J. A., 2008: Correntes Oceânicas de Superfície Medidas por Meio de Bóias de Deriva Rastreadas por Satélite. In: Oceanografia por Satélite, 2ª edição, São Paulo – SP: Oficina de Textos, 101-114.

Calado, L., 2001: Dinâmica da formação dos meandros e vórtices da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 95 pp.

Calado, L., 2006: Dinâmica da interação da atividade de meso-escala da Corrente do Brasil com o fenômeno da ressurgência costeira ao largo de Cabo Frio e Cabo de São Tomé, RJ. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 144 pp.

Calado, L., A.Gangopadhyay, I. C. A. Silveira, 2006: A parametric model for the Brazil Current meanders and eddies off southeastern Brazil. *Geophys. Res. Lett.*, vol.33 L12602, doi:10.1029/2006GL026092,2006.

Calado, L., A.Gangopadhyay, I. C. A. Silveira, B. M. de Castro, 2010: Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). *Continental Shelf Research*, 30, 1181–1188.

Campos, E. J. D., 1995: Estudos da circulação oceânica no atlântico tropical e região oeste do atlântico subtropical sul. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.

Campos, E. J. D., J. E. Gonçalves, & Y. Ikeda, 1995: Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. *J. Geophys. Res.*, 100(C9), 18.537–18.550.

Campos, E.D.J., Velhote, D., Silveira, I.C.A., 2000. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. *Geophys. Res. Lett.* 27, 751-754.

Carter, E. F. & A. R. Robinson, 1987: Analysis models for the estimation of oceanic fields. *J. Atmos. Oc. Tech.*, 4(1), 49–74.

Detoni, A. M. S.; Garcia, C. A. E., 2009: Variabilidade do ciclo anual das feições oceanográficas com imagens de cor do oceano e temperatura na região de Cabo Frio – RJ. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal – RN, INPE, 6439-6446.

Fernandes, A. M., 2001: Dinâmica baroclínica da Corrente do Brasil na região sudeste. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 pp.

Garfield, N., 1990: The Brazil Current at subtropical latitudes. Tese de Doutorado, University of Rhode Island, Rhode Island, 121 pp.

Hochleitner F.; Paiva, C. M.; Filho, O. C. R., 2005: Validação da Estimativa da Temperatura da Superfície do Mar via Dados do Satélite GOES-8 utilizando dados “in-situ” do projeto PNBOIA. In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia – GO, INPE, 3629-3632.

Kundu, P. K. & Cohen, I.M., 1990: *Fluid Mechanics*. Academic Press, quarta edição, 872 pp.

Lorenzetti, J. A., M. Kampel, C. M. Bentz, A. R. Torres Jr., 2006: A meso-escale Brazil Current Frontal Eddy: Observations by ASAR, RADARSAT-1, complemented with visible and Infrared Sensors, in situ data and numerical modeling. *SEASAR 2006*. Frascati, Itália, 6pp.

Lorenzetti, J. A., J. L. Stech, M. F. W. L., & A. T. Assireu, 2009: Satellite Observation of Brazil Current Inshore Thermal Front in the SW South Atlantic: Space/Time Variability and Sea Surface Temperature. *Continental Shelf Research*, 29, 2061–2068.

Mano, M. F., Paiva, A. M., Torres, A. R., Coutinho, A. L. G. A., 2009: Energy Flux to a Cyclonic Eddy off Cabo Frio, Brazil. *Journal of Physical Oceanography*, 39. 2999-3010.

Mascarenhas, A. S. Jr.; Miranda, L. B.; Rock, N.J.: A study of oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. *Fertility of the sea*, J. D. Costlow, ed., vol.1 Gordon and Breach, N.Y., 285-308, 1971.

Mattos, R. A., 2006: Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 126 pp.

Mello Filho, W. L., 2006: Observação de Processos Oceanográficos de Superfície na Costa Sudeste Brasileira através de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 85 pp.

Nascimento, L. V. R. P., 2013: Estudo da Relação entre a Frente Térmica da Corrente do Brasil e a Dinâmica de Mesoescala através de Imagens de Temperatura da Superfície do Mar. Monografia (Bacharelado em Oceanografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 50pp

Newton, T. S., Calado, L., Fernandes, A. M., 2009: Relação entre a Frente Térmica e o Eixo de Velocidade Máxima da Corrente do Brasil utilizando dados orbitais e ADCP em um cenário de verão. *OMAR-SAT*. Arraial do Cabo, RJ.

Novo, E. M. L. M., 2010: Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações. Blucher.

Palóczy, A., Silveira, I.C.A., Castro, B.M., Calado, L., 2013: Coastal upwelling off Cape São Tomé : The supporting role of deep ocean processes. *Continental Shelf Research*. Accepted date: 6 September 2013.

Santos, N. G., 2010: Evolução da formação do vórtice de Cabo Frio nos anos de 2006 à 2009. Monografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 46pp

Sartori Neto, A. 2004: Análise de imagens termais AVHRR utilizando Transformada de Fourier e ondaletas para determinação de padrões em vórtices e meandros. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 103 pp.

Schmid, C., Schafer H., Podestá G. & Zenk W., 1995: The Vitória Eddy and its relation to the Brazil Current. *J. of Phys. Ocean.*, vol 25104(C9), 2532–2546.

Schmidt, A. C. K., 2004: Interação Margem Continental, Vórtices e Jatós Geofísicos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 201 pp.

Silveira, I. C. A., A. C. K. Schmidt, E. J. D. Campos, S. S. Godoi, & Y. Ikeda, 2000: A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171–183.

Silveira, I. C. A., L. Calado, B. M. Castro, M. Cirano, J. A. M. Lima, & A. S. Mascarenhas, 2004: On the baroclinic structure of the Brazil Current-Intermediate Western Boundary Current System. *Geophys. Res. Lett.*, 31(14), L14.308.

Silveira, I. C. A. 2007: O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ. Tese (Livre Docência), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 160 pp.

Soutelino, R. G., 2008: A origem da Corrente do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 120 pp.

Stramma, L. & M. England, 1999: On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 104(C9), 20.863–20.883.

Godoi, S. S., 2005: Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 133pp.

Valério, L. P.; Calado, L.; PAULA, A. C. Relação entre a Frente Térmica e de Velocidade da Corrente do Brasil. In: VIII OMAR-SAT, 2009, Arraial do Cabo, RJ.