



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

Geoff Souza Dorfschafer

**O deslocamento da onda subinercial ao longo do litoral
brasileiro devido à passagem de sistemas frontais**

Salvador
2013

GEOFF SOUZA DORFSCHAFER

O deslocamento da onda subinercial ao longo do litoral brasileiro devido à passagem de sistemas frontais

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini

Salvador
2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe por tudo. Muito obrigado de verdade, mãe.

Aos meus familiares, todos eles, pelo apoio e incentivo de sempre.

Aos meus colegas de curso e futuros concorrentes de emprego. Somos vencedores!

Ao meu orientador Lentini, pela paciência, compreensão e orientação.

Aos membros da banca, por terem aceitado convite. Antecipadamente agradeço sugestões que irão contribuir para tornar este trabalho melhor e mais consistente.

A todos os professores do curso de Oceanografia em especial, aqueles que despertaram em mim o interesse pela Oceanografia física, sendo eles, Prof. Mauro Cirano, Guilherme Lessa e Clemente Tanajura.

Aos meus amigos, Mestre Miyagi e Thiago Bufito, por terem me ajudado quando precisei. Devo não nego, pago quando puder!

A dupla @Viveka sempre baladeira.

Obrigado Carl Sagan, por ter me apresentado de forma clara e objetiva todas as suas ideias sobre religião, astronomia, cosmologia, astrofísica e humildade, mas não no sentido teocrático e sim, no sentido cosmológico. Quem somos, onde estamos e o que estamos fazendo com nós mesmos.

Aos meus verdadeiros amigos que considero irmãos, Walter Jr. e Lauro Fontenele. Obrigado por estarem sempre ao meu lado e por todos os momentos incríveis que passamos juntos. Obs: Vocês jamais me verão agradecer por algo do tipo novamente, como vocês sabem, não é o meu estilo.

Agradeço a Isadora Viana por todo o apoio, carinho e pelas palavras de incentivo. Obrigado por me mostrar o que realmente é importante e por nunca ter duvidado de mim. Jamais esquecerei.

Pelas dicas de artigos, pela ajuda com processamento dos dados, pelas dúvidas tiradas, por sempre estar disposto a ajudar de todas as formas possíveis e também em todas as horas possíveis, muito obrigado Paqueta, meu parceiro!!

Obrigado a todos!

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim, dividir um planeta e uma época com vocês.”

Carl Sagan

RESUMO

O presente trabalho investiga, de forma qualitativa, a presença de ondas subinerciais deslocando-se ao longo da costa brasileira após a passagem de sistemas frontais atmosféricos. Para atingir este objetivo, foram analisados sete anos (2004 a 2010) de registros maregráficos das estações de Imbituba (SC), Cananéia (SP), Ilha Fiscal e Macaé (RJ), e Salvador (BA). Para esta análise, três situações foram selecionadas durante a ocorrência desses sistemas frontais: (i) o que mais elevou o nível do mar (SFE), (ii) o de maior duração (SFP), e (iii) o de maior extensão ao longo da costa brasileira (SFA). Estes resultados foram comparados com saídas numéricas do modelo HYCOM+NCODA para o mesmo período. Os resultados de marégrafos e saídas de ASM do modelo foram confrontados e os resultados mostraram que as ondas deslocam-se preferencialmente para norte mantendo a costa a sua esquerda, do sul da Lagoa dos Patos até Salvador (BA). Também foi possível notar que as ondas geradas pelos SFs deslocam-se com um cavado e uma crista à sua vanguarda e retaguarda, respectivamente. Diferentemente das outras, a estação de Salvador apresentou os maiores tempos de resposta (5,63 e 6,33 dias) e as menores elevações (17,62 e 5,61cm) no período pós frontal.

Palavras-chave: Oscilações de baixa frequência, HYCOM+NCODA, ondas de Kelvin costeiras.

ABSTRACT

This work studies, in a qualitative way, the presence of subinertial waves moving along the Brazilian coast after the passage of atmospheric frontal systems. To achieve this objective, seven years (from 2004 to 2010) of tide gauge records were analyzed, from the stations of Imbituba (SC), Cananéia (SP), Fiscal Island and Macaé (RJ) and Salvador (BA). For this analysis, three situations were selected during the occurrence of this frontal systems: (i) the one that most elevated the sea level (SFE), (ii) the one that lasted longer (SFP) and (iii) the widest along the Brazilian coast (SFA). These results were compared to the outputs of the model HYCOM+NCODA during the same period. The results of tide gauges and the outputs of SSH were confronted and the results showed that the waves move rather towards north, keeping the coast on its left side, from the south of Lagoa dos Patos to Salvador (BA). It was also possible to note that the waves generated by the SFs move with a trough in its vanguard and a crest in its rear. Differently from the other stations, Salvador presented the bigger response time (5,63 and 6,33 days) and the smaller elevations (17,62 and 5,61cm) in the front post period.

Key words: low frequency oscillations, HYCOM+NCODA, coastal Kelvin waves.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	Caracterização da região de estudo	15
1.2	Aspectos hidrodinâmicos	16
1.3	Aspectos morfológicos	17
1.4	Aspectos sinóticos	18
2.	METODOLOGIA	21
2.1	Sistemas frontais	21
2.2	Dados maregráficos	22
2.3	Dados do HYCOM+NCODA	24
3.	RESULTADOS	26
3.1	Marégrafos	26
3.1.1	SFE – Sistema frontal que mais elevou o nível do mar	26
3.1.2	SFP – Sistema frontal de maior período	29
3.1.3	SFA – Sistema frontal que se propagou pela maior área	31
3.2	Altura da Superfície do Mar (HYCOM+NCODA)	33
3.2.1	SFE - Sistema frontal que mais elevou o nível do mar	33
3.2.1.1	Imbituba	33
3.2.1.2	Cananéia/ Ilha Fiscal	35
3.2.1.3	Macaé	37
3.2.1.4	Salvador	39
3.2.2	SFP - Sistema frontal com maior período	41
3.2.3	SFA - Sistema frontal que se propagou pela maior área	43
4.	DISCUSSÃO	47
5.	CONCLUSÃO	51
6.	REFERÊNCIAS	52
7.	ANEXO I	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações da Rede GLOSS-Brasil, sua instituição responsável e sua classificação operacional para os anos de 2006 e 2007.	23
Tabela 2 - Localização das estações maregráficas.	24
Tabela 3 - Data da entrada dos SFs referente ao seu respectivo padrão em cada estação.	26

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Área de estudo. Os pontos coloridos representam as estações maregráficas utilizadas. 16
- Figura 2 - Penetração de SFs durante o mês de Outubro de 2006. O SFA para todo o período de estudo está referenciado na cor azul (número 3). Fonte: CPTEC 21
- Figura 3 - Penetração de SFs durante o mês de Dezembro de 2004. O SFP para todo o período de estudo está referenciado com o número 1. Fonte: CPTEC. 22
- Figura 4 - Elevação subinercial máxima da superfície do mar para as estações de Imbituba (amarelo), Cananéia (Azul), Ilha Fiscal (verde), Macaé (ciano) e Salvador (vermelho). O círculo negro representa o dia da entrada de cada SFE. 28
- Figura 5 – Idem à figura 4, exceto para a passagem do SFP. Em Salvador (vermelho) não houve registro do SF pela estação meteorológica. 30
- Figura 6 – Idem a figura 4, exceto para a passagem do SFA. 32
- Figura 7 – Compilação de mapas da ASM de 08 a 13 de Junho de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Imbituba. As linhas contínuas expressam isolinhas de 0,1 m de altura. 34
- Figura 8 – Compilação de mapas da ASM para o período de 09 a 14 de setembro de 2005 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para as estações de Cananéia e Ilha Fiscal. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada indica a isolinha negativa de - 0,1 m. 36
- Figura 9 - Compilação de mapas da ASM para o período de 14 a 19 de abril de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Macaé. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura. 38
- Figura 10 - Compilação de mapas da ASM para o período de 27 de abril a 04 de maio de 2005 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Salvador. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura. 40
- Figura 11 - Compilação de mapas da ASM de 01 a 14 de dezembro de 2004 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFP para todas as estações. Essa frente não atingiu a estação de Salvador. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada, indica a isolinha negativa de - 0,1 m. 43
- Figura 12 - Compilação de mapas da ASM par ao período de 14 a 26 de outubro de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFA para todas as estações. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada, indica a isolinha negativa de - 0,1 m. 46

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ACAS - Água Central do Atlântico Sul

ACS - Água Circumpolar Superior

AIA - Água Intermediária Antártica

APAN - Água Profunda do Atlântico Norte

AS - Atlântico Sul

ASAS - Alta subtropical do atlântico Sul

ASM - Altura da superfície do mar

AT- Água Tropical

CB - Corrente do Brasil

f - Parâmetro de Coriolis

GLOSS - Global Sea Level Observing System

NEB - Nordeste do Brasil

NMM - Nível médio do mar

OBF - Oscilações de baixa frequência

PI – Período Inercial

SF - Sistema frontal

SFA - Sistema frontal que se propagou pela maior área

SFE - Sistema frontal que mais elevou o nível do mar subinercial

SFP - Sistema frontal que permaneceu pelo maior período ao longo da região de estudo

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento preciso das variações do nível médio do mar (NMM) é de extrema importância não só para o entendimento e compreensão de fenômenos climáticos, mas também, para propósitos socioeconômicos. Devido principalmente a atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua, a massa líquida oceânica movimenta-se tanto vertical quanto horizontalmente, dando origem às marés e correntes de maré, respectivamente. Segundo Cazenave & Nerem (2004), fatores que podem mudar significativamente o nível do mar incluem marés astronômicas, tectonismo, descarga de rios, perturbações provocadas pela propagação de ondas, variações na pressão atmosférica, no padrão de ventos e na circulação oceânica, mudanças na densidade associadas à temperatura e salinidade, adição ou redução de água devido ao derretimento ou formação de geleiras e alterações no armazenamento de aquíferos e outros reservatórios.

Nos últimos anos, observações do nível do mar têm sido largamente usadas para estudos de baixa frequência da dinâmica na plataforma continental e sua relação com as forçantes atmosféricas (Wang, 1979; Sandstrom, 1980; Chão & Pietrafesa, 1980). Os fenômenos atmosféricos desenvolvem-se dentro de uma larga escala temporal e espacial, podendo variar desde o movimento de moléculas isoladas até ondas planetárias (Vianello & Alves, 1991). Variações no NMM relacionadas a estes fenômenos são conhecidas como marés meteorológicas ou radiacionais, devido à sua ocorrência estar ligada a períodos do dia solar. Essas variações, também chamadas de oscilações de baixa frequência (OBF), são identificadas nos registros maregráficos após a remoção das marés regulares através da filtragem das séries com um filtro passa-baixa relativo às frequências da maré astronômica (Pugh, 1987).

Gill (1982) afirma que estas oscilações meteorológicas atuam no intervalo de 3 a 15 dias combinando variações na pressão atmosférica (fator responsável por 10% dessa variação) e no padrão de ventos (90%) afetando de forma significativa o nível do mar. Já Truccolo *et al.* (1996) e Pereira da Silva *et al.* (1999) afirmam que apesar da relativa importância das OBF em termos de erosão costeira, dinâmica de sedimentos e atividades portuárias, encontra-se, pouca informação disponível na literatura científica.

As variáveis atmosféricas - pressão e vento - provocam alterações no nível do mar costeiro, causando significativas elevações e reduções nas preamares e baixa-mares, afetando de forma considerável as cidades localizadas na linha de costa (Oliveira *et al.*, 2006). Essas duas forçantes meteorológicas têm seus padrões de distribuição e intensidade

amplamente modificados devido a diversos tipos de perturbações externas, entre elas, efeitos de sistemas de baixa pressão e ocorrência de frentes frias.

Uma frente é uma zona de transição entre duas massas de ar com diferentes propriedades termodinâmicas (Vianello, 1991). Essa zona de transição se configura, pois as massas de ar não se misturam de imediato. Em razão das diferenças entre essas duas massas, o gradiente térmico ao longo dos sistemas frontais (SFs) é muito intenso. Estes sistemas podem afetar as condições gerais de tempo e acumular quantidades significativas de precipitação (CPTEC, 2012). As maiores oscilações positivas dos valores de nível do mar residual (nível do mar observado menos maré astronômica) ocorrem sob a influência das perturbações frontais. No Sudeste brasileiro, os SFs ocorrem em média de três a cinco vezes por mês, com intervalo de seis a dez dias entre as passagens (Castro & Lee, 1995). Segundo Occhipinti (1963), em direção às baixas latitudes há uma tendência a diminuição da intensidade e da ocorrência dos SFs. A estação do ano com maior frequência de SFs ocorre no inverno, já na primavera e no outono, as características não são tão marcantes por serem estações de transição (Dereczynski, 1992). O verão é a estação com menor ocorrência de SFs. Segundo Stech & Lorenzetti (1992), esses fenômenos exercem papel significativo nas OBF do nível do mar.

A atmosfera influencia os oceanos, transferindo *momentum* principalmente pela tensão de cisalhamento do vento (TCV) e através de mudanças no seu campo de pressão (Peixoto & Oort, 1992). A velocidade de propagação da perturbação atmosférica define o tipo de resposta do oceano. Se a velocidade da forçante atmosférica for maior que a velocidade de propagação típica de uma onda interna, essa perturbação irá se propagar na forma de uma onda.

A TCV atuando na superfície dos oceanos pode gerar ondas de diversos comprimentos. Ciclones associados aos SFs podem ocasionar ondas de tempestade que se propagam por grandes áreas sob a forma de ondas longas subinerciais (Brigatti & Sant'anna Neto, 2011), contudo, há defasagens significativas entre os eventos meteorológicos e as respostas oceânicas. Dessa forma, valores do nível do mar acima do esperado podem ser facilmente encontrados quando zonas de baixa pressão se configuram próximas à costa.

O movimento do SF pode gerar ondas forçadas que condicionam a ocorrência de ressonância, que por sua vez, incrementam a amplitude da maré meteorológica caso a velocidade da frente se aproxime a da onda longa. Gill & Schumann (1979), Church *et al.* (1986), Brink (1991) e Tomczak (2000) investigaram as características das ondas longas. A amplitude da onda longa é geralmente em torno de 10 cm, o comprimento de onda é maior

do que a largura da plataforma (>200 km), a velocidade de fase excede os 3 m/s e a frequência da onda é menor do que a do parâmetro de Coriolis ($\omega < f$) (LeBlond & Mysak, 1978). O tamanho da onda depende da velocidade, duração e da pista (“fetch”) do vento. Segundo Elmore e Heald (1985), a velocidade de propagação - v - das ondas na superfície dos líquidos é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} \quad (1)$$

Onde λ é o comprimento de onda, g é a intensidade do campo gravitacional e d é a profundidade.

Em águas mais profundas do que metade do comprimento de onda ($d > \lambda/2$), a equação pode ser simplificada para:

$$v = \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi}} \quad (2)$$

A equação (3) mostra que quanto maior o comprimento de onda, mais rápida sua propagação.

Perturbações no nível do mar geradas numa área específica podem viajar para fora do seu local de geração como uma onda longa e livre. Estas ondas, ao longo de sua trajetória, podem se propagar através de regiões mais rasas, sendo consideradas ondas de plataforma. Castro & Lee (1995) estudaram a variabilidade do nível do mar costeiro associada às ondas subinerciais confinadas na plataforma continental da região Sudeste do Brasil, durante o inverno de 1978. A velocidade de propagação destas ondas, por aproximação da tangente hiperbólica da equação (2), pode ser escrita como:

$$v = \sqrt{g d} \quad (3)$$

Ondas longas que se propagam em águas rasas viajam com a mesma velocidade e dependem exclusivamente da profundidade sendo, portanto, não dispersivas.

Ocasionalmente, as amplitudes das ondas tornam-se excepcionalmente grandes em resposta às mudanças na energia fornecida pelo mar. Esta resposta em regiões portuárias é

relativamente conhecida (Mei, 1989, apud Jong *et al.*, 2003). Nas situações extremas de anomalias positivas do NMM é comum ocorrer ondas de superfície com grande poder destrutivo e que podem atingir setores mais frágeis da costa causando significativa destruição ou erosão. Este fenômeno implica também na intrusão de água do mar em locais onde isso normalmente não ocorre, causando grandes inundações (Camargo *et al.*, 1999).

A ocorrência desses mecanismos varia de porto para porto devido a sua situação geográfica. Contudo os fenômenos atmosféricos, que ocorrem durante a passagem de sistemas de baixa pressão e frentes frias, são os mais prováveis causadores de eventos que intensificam estes tipos de onda.

Hibiya & Kajiura (1982) foram os primeiros a estudar a geração de seiches por perturbações atmosféricas em Nagasaki, no Japão, e encontraram boas correlações entre as flutuações da pressão atmosférica e a intensidade destas ondas na enseada. Já Vidal *et al.* (2001) mostraram com simulações numéricas forçadas pelas flutuações da pressão observada, que seiches podem ser gerados por uma onda atmosférica; Candela *et al.* (1999) estudaram a geração atmosférica de seiches nos portos próximos ao estreito da Cecília, na Itália. Nestes seiches foi possível encontrar a coincidência com a passagem de sistemas de baixa pressão. Todos os eventos de seiches no porto de Rotterdam no período de 1995 a 2001 coincidiram com a passagem de SFs, alguns acompanhados por trovões e temporal (Jong *et al.*, 2003).

O estudo da variação do nível do mar provocado por oscilações subinerciais, a exemplo de ondas geradas por SFs em zonas costeiras, tem sido reportado pela literatura específica em praticamente todas as partes do globo, fator esse, que comprova sua importância na melhor compreensão da dinâmica da plataforma local, e também na previsão e atenuação de possíveis impactos gerados por tais mecanismos.

O presente trabalho tem como objetivo central verificar o deslocamento da onda subinercial gerada por maré meteorológica ao longo do litoral brasileiro, desde a região Sul do Brasil até a região Nordeste, utilizando três estudos de caso relacionados ao padrão de entrada dos SFs.

Para esta finalidade, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Analisar a variação do nível do mar relacionada a oscilações de baixa frequência devido à passagem de três SFs que podem impactar de diferentes formas o nível do mar subinercial: aquele que se propagou pela maior área, aquele que teve maior

período e aquele que mais elevou o nível do mar subinercial dentro de cada estação da região de estudo.

- Analisar o deslocamento da onda através da comparação dos dados de elevação subinercial de marégrafos e de saídas da altura da superfície do mar (ASM) do modelo numérico HYCOM.
- Propor uma classificação para o tipo de onda estudada segundo a literatura específica.

1.1 Caracterização da região de estudo

A costa leste da América do Sul é afetada por sistemas atmosféricos e oceânicos de escala sinótica e subsinótica, influenciados tanto por fatores associados à circulação de grande escala quanto às circulações locais (Climanálise, 1986). A costa sul do Brasil está sob influência do Anticiclone do Atlântico Sul durante todo o ano (Bedran *et al*, 2000). Este centro de alta pressão é a principal fonte de massas de ar marítimas que possuem elevadas temperaturas e umidade. Essa região é caracterizada por intensa influência meteorológica sobre o oceano, com frequentes OBF no NMM (Stech & Lorenzetti, 1992; Harari & Camargo, 1995; Castro & Lee, 1995, apud Camargo *et al.*, 1999).

A área de estudo situa-se na borda oeste do Atlântico Sul (AS) e engloba a porção do litoral brasileiro que se estende desde a cidade de Salvador (BA) até Imbituba (SC), sendo limitada pelas latitudes e longitudes aproximadas de 12°S e 29°S e de 38°W e 49°W (Fig. 1). Esta região reúne diversos municípios litorâneos e alguns dos principais polos de desenvolvimento do país, apresentando relativa importância no cenário socioeconômico bem como atividades recreativas e de desenvolvimento, como a pesca, o transporte marítimo, a indústria e o lazer.

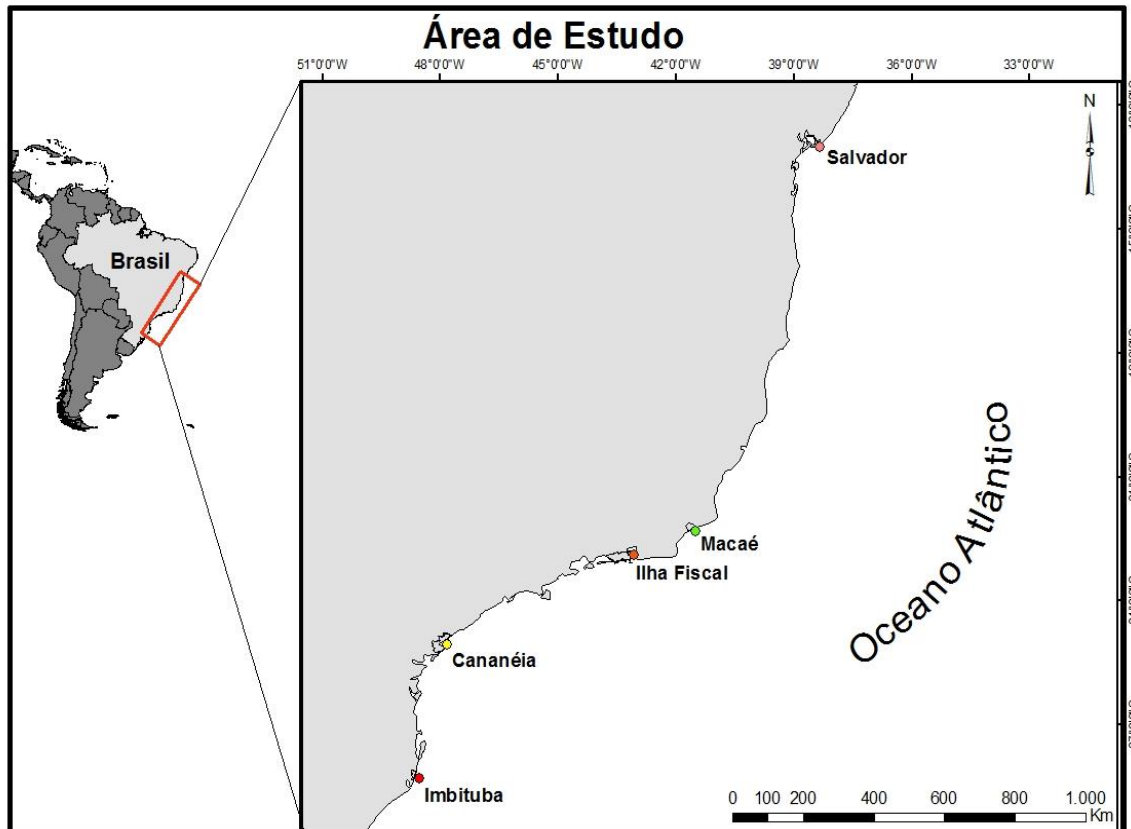


Figura 1 - Área de estudo. Os pontos coloridos correspondem às estações maregráficas utilizadas.

1.2 Aspectos hidrodinâmicos

O Oceano Atlântico Sudoeste é uma das regiões mais dinâmicas do oceano global. Apresenta como principal característica grandes contrastes termohalinos e intensa atividade de mesoescala. Isso acontece devido à presença da Confluência Brasil-Malvinas, onde se encontram diversas massas de água apresentando alta variabilidade espacial e temporal (Chelton *et al*, 1990; Piola & Matano, 2001; Gordon, 1989).

A feição oceânica mais importante da borda oeste do AS é a Corrente do Brasil (CB). A CB é uma corrente de contorno oeste associada ao giro subtropical do Atlântico Sul (Castro, 1990). Origina-se da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (~11°S) e flui para o sul bordejando toda a região de estudo até a zona da convergência subtropical onde conflui com a Corrente das Malvinas e se separa da costa. Essa corrente além de possuir um fluxo intenso, estreito e bem definido, também apresenta características específicas como alta salinidade, elevada temperatura e baixos níveis de nutrientes. Seu comportamento tem grande influência na dinâmica do AS (Rossi & Madureira, 2006). No entanto, esta corrente pode ser considerada fraca, se comparada a sua análoga no Atlântico Norte, a Corrente do Golfo.

A circulação em larga escala nos entornos da Bacia do Brasil é composta pelo fluxo das seguintes massas d'água principais: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (SILVEIRA *et al.*, 2000). Essas massas são de fundamental importância no conhecimento da circulação termohalina, além de ajudar na compreensão da dinâmica da região e caracterização física dos oceanos que pode influenciar parte dos processos costeiros e provocar alterações nas condições climáticas do planeta.

Quanto ao regime de maré, a costa brasileira caracteriza-se por um regime predominantemente semidiurno, com ocorrência de maré semidiurna apresentando desigualdades diurnas a partir da região Sudeste em direção à região Sul, enquanto que a maré mista aparece apenas no extremo sul do país com forte componente meteorológica (DHN, 2007). Segundo Cirano & Lessa (2007), o regime de maré nas adjacências de Salvador (BA), no Nordeste, pode ser caracterizado como semidiurno apresentando um pico de altura de 2,7m. A amplitude de maré varia de 0,5m (micromaré) no Sul a 7m (macromaré) no Norte, com registro de ocorrência máxima de 11m na estação do Igarapé do Inferno (AM) (DHN, 2007).

1.3 Aspectos morfológicos

Em termos morfotectônicos, Batista Neto e Silveira (2004) subdividem a margem continental brasileira em dois grandes setores: Equatorial e Leste-Sudeste-Sul. Já Tessler & Mahiques (2003) dividem essa zona em cinco grandes compartimentos: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste e Sul. Zemruscki *et al.* (1972) subdividem a margem continental brasileira em três grandes setores agregando regiões que apresentam características morfológicas semelhantes: Norte, Nordeste-Leste e Sudeste-Sul. Para o escopo deste trabalho, considerou-se a divisão de Zemruscki *et al.* (1972), na qual a região de estudo pertence às zonas Nordeste-Leste e Sudeste-Sul.

O setor Nordeste-Leste compreende uma área de 845.000 km², desde São Marcos (MA) até o cabo de São Tomé (RJ). Distingue-se das outras pelo seu relevo complexo, sendo resultado de intensas atividades tectônicas (Zemruscki *et al.*, 1972). Apresenta topografia acidentada que proporciona a presença de terraços, platôs e formas de topografia saliente. Chega a apresentar 160 km de largura na baía de São Marcos (MA) e estreitando-se até apenas 8 km ao largo de Salvador, na Bahia. Na direção sul é possível encontrar recifes de corais, bancos de algas e de arenitos (Boyer, 1969). Segundo o projeto REVIZEE (1995), apresenta o talude mais abrupto do Atlântico.

O setor Sudeste-Sul é o mais amplo da margem continental brasileira com área aproximada de 1.155.000 km² e distingue-se dos demais pela regularidade e monotonia do relevo (Zembruscki *et al.*, 1972). Nesse setor, a plataforma é progradante e subsidente, sendo resultante da evolução tectônica da borda continental brasileira e do considerável aporte sedimentar terrígeno que favoreceu uma suave morfologia de transição para o talude continental (Batista Neto & Silva, 2004). Possui largura média de 150 km, variando de 210 km na foz do rio Iguape (SP) a 90 km no cabo de Santa Marta (SC). No Embasamento São Paulo a plataforma é plana e recortada por vales de pequena amplitude, enquanto que no sentido mais ao sul é ainda mais regular e suas feições mais relevantes são depressões alongadas e rasas (Zembruscki *et al.*, 1972).

1.4 Aspectos sinóticos

As massas de ar frequentemente abandonam sua região de origem, conduzindo consigo as propriedades lá adquiridas. No trajeto, podem causar profundas alterações nas condições de tempo e nas áreas que atingem à medida que também modificam suas características originais (Varejão-Silva, 2000).

O deslocamento das massas de ar na região de estudo e em suas proximidades depende, fundamentalmente, da posição e da intensidade dos centros anticiclônicos do sul do Pacífico, Atlântico e da Antártica. A configuração desses núcleos oscila constantemente atendendo às imposições do balanço energético, que em última análise, condiciona toda a circulação da atmosfera. (Varejão-Silva, 2006).

As altas subtropicais são sistemas de alta pressão localizados em torno de 30° de latitude sobre os oceanos. Estão associadas à circulação meridional da atmosfera, no que diz respeito às células de Hadley. Variações quanto a sua intensidade e posição tem influência direta sobre o clima do litoral do Brasil e de grande parte da América do Sul (Rossi & Madureira, 2006). No Nordeste do Brasil (NEB), a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) contribui para o regime de chuvas no litoral. A dinâmica desse sistema favorece a formação de nevoeiros, geadas e a concentração de poluentes nas regiões sul e sudeste. No inverno, pelo fato do continente estar mais frio que o oceano, a ASAS tende a migrar para o continente, onde o vento encontra-se consideravelmente fraco na região Sul/Sudeste, podendo inibir assim, a entrada de sistemas frontais e causar inversão térmica. Já no verão, nos baixos níveis troposféricos, a circulação associada a este anticiclone, agora melhor configurado, interfere no transporte de umidade relativo à ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) (Kodama, 1993; Quadro, 1994).

A ZCAS é um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera e é um importante fenômeno de escala intra-sazonal que ocorre durante o verão na América do Sul, com episódios de estiagem prolongada e precipitação abundante que atingem diversas regiões do país (Casarim e Kousky, 1986; Calheiros e Silva Dias, 1988; Silva Dias, 1988; Quadro, 1994). Segundo Ferreira *et al.* (2004), é um fenômeno típico de verão caracterizado pela persistência de uma banda de nebulosidade no sentido noroeste-sudeste, que vai desde a Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico. A permanência da ZCAS por períodos prolongados sobre as regiões Sul e Sudeste pode promover enchentes e veranicos nessas regiões.

Vários estudos mostram que no Sul e Sudeste do Brasil, uma diminuição no regime de precipitação esta associada à manifestações da ZCAS ao norte de sua posição climatológica, enquanto que anomalias quentes da temperatura da superfície do mar estão relacionadas com sua configuração deslocada mais para o sul.

Durante o verão, os SFs que penetram pelo sul do país associam-se com a Baixa do Chaco e intensificam-se. Esses sistemas então, ficam semi-estacionados por vários dias no litoral do Sudeste devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste. É esta permanência que caracteriza a formação de ZCAS (Lemos & Calbete, 1996).

Satyamurty & Mattos (1989), mostraram que as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, ou seja, as frentes podem se intensificar ou podem se formar. Essas forçantes meteorológicas são importantes fontes de energia hidrodinâmica costeira da ordem de período de 2 a 15 dias (Stech & Lorenzetti, 1992).

Nas regiões Sul e Sudeste, as frentes atuam de forma intensa, sendo responsáveis por queda de temperatura, mudanças na direção do vento e aumento considerável dos índices de precipitação. Esses efeitos (tempestades, ondas de frio associadas à massa de ar polar pós-frontal, etc) podem causar diversos tipos de prejuízos à sociedade, em especial, à agricultura (Gemiacki & Fedorova, 2006). Em latitudes mais baixas, no caso da região Nordeste, elas geralmente chegam enfraquecidas, porém, ainda modificam o tempo local aumentando as taxas pluviométricas. Segundo Kousky (1979), a atuação de SFs no NEB está reduzida a aproximadamente 20% das frentes que atuam no Brasil. Apesar dessa porcentagem aparentemente pouco expressiva, é importante salientar que como a variação da precipitação no NEB é muito grande, qualquer taxa extra por menor que seja, pode causar impactos ou benefícios (a depender da estação) econômicos e sociais para esta região.

Existe uma sazonalidade quanto à ocorrência de SFs que são mais frequentes de maio a setembro. Elas ocorrem em maior número nas regiões Sul e Sudeste, entre as latitudes de 25° e 30° e são mais escassas durante o verão, ao norte de 20°S. No inverno, as perturbações atmosféricas geralmente têm origem polar e podem viajar no sentido nordeste alcançando latitudes mais baixas. Ventos com diferentes direções podem afetar as regiões dependendo da migração da perturbação em relação à costa. No Brasil, os SFs ocorrem de 3 a 5 vezes por mês com intervalos de 6 a 10 dias (Castro & Lee, 1995).

2. METODOLOGIA

2.1 Sistemas frontais

Os estudos de caso apresentados corresponderam a três padrões de SFs que influenciaram o nível do mar subinercial, entre os anos de 2004 a 2010 ao longo do litoral brasileiro, sendo eles:

- I. Aquele que se deslocou por uma maior **Área** e será chamado de SFA.
- II. Aquele que teve o maior **Período** abreviou-se como SFP.
- III. Aquele que mais **Elevou** o nível do mar subinercial em cada estação maregráfica, nomeado como SFE.

Os SFs referentes aos estudos de caso I e II foram obtidos por meio de análise visual com base nos gráficos de penetração disponibilizados nos boletins de monitoramento e análise climática do Climanálise, divulgados pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Estes sistemas são identificados pelo Grupo de Previsão do Tempo com base em análises diárias de cartas sinóticas nos horários das 00:00 e 12: 00 UTC. Para validar a passagem dos SFs, são feitas análises de alguns campos como advecção de temperatura potencial equivalente em 850 hPa e convergência de umidade na camada limite. A Figura 2 mostra os SFs que se propagaram ao longo da América do Sul durante Outubro de 2006 e destaca, na cor azul (número 3) o SFA. A Figura 3 mostra a penetração de SFs durante o mês de dezembro de 2004, referenciando o SFP com o número 1.

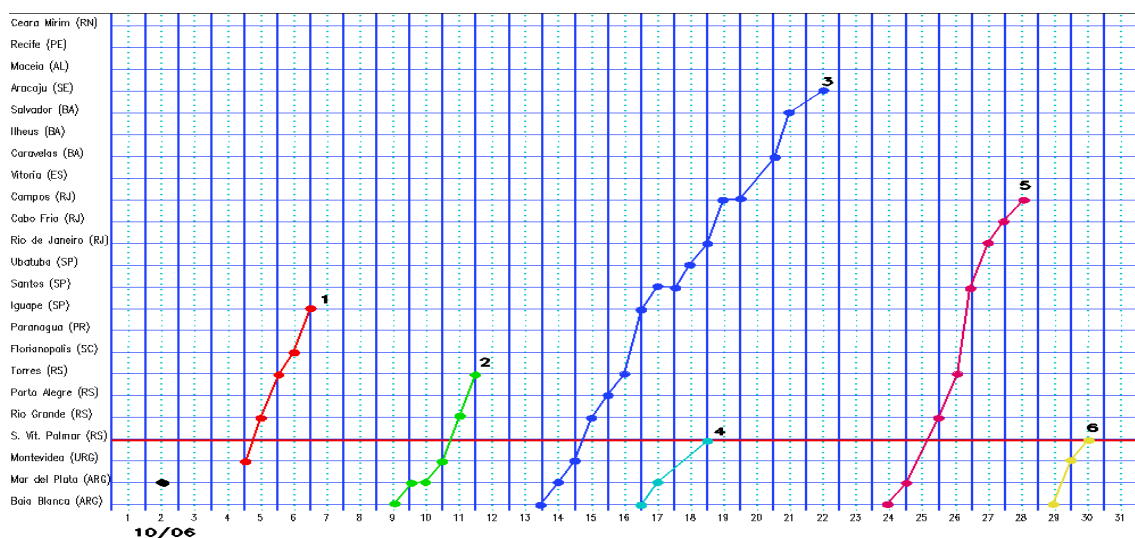


Figura 2 – Penetração de SFs durante o mês de Outubro de 2006. O SFA para todo o período de estudo está referenciado na cor azul (número 3). Fonte: CPTEC.

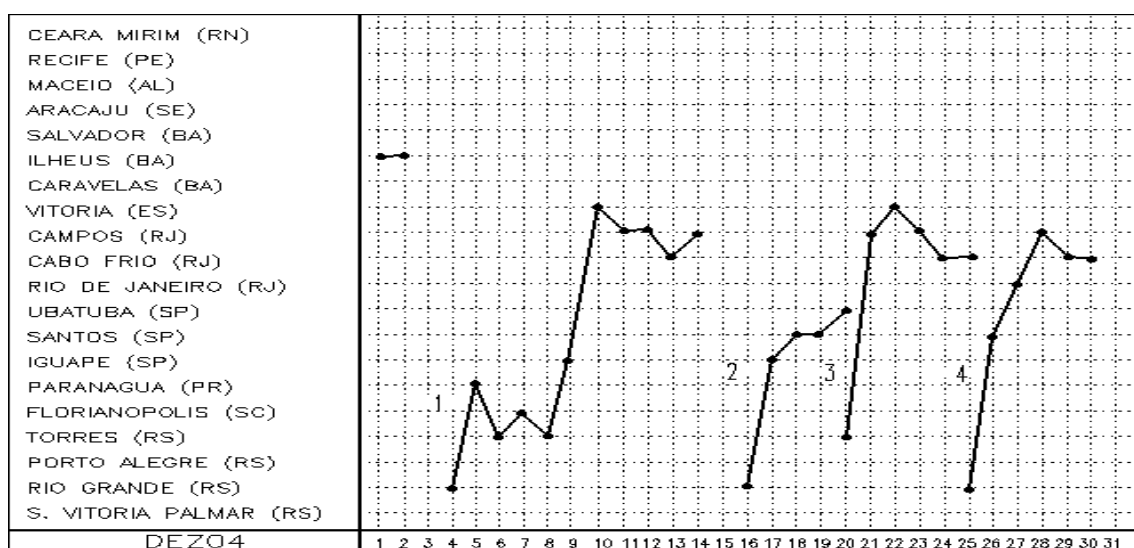


Figura 3 – Penetração de SFs durante o mês de Dezembro de 2004. O SFP para todo o período de estudo está referenciado com o número 1. Fonte: CPTEC.

Convém ressaltar que o sistema frontal identificado como SFA, de fato, não foi o que se propagou pela maior área durante o período de estudo e sim, o terceiro. Sua escolha como SFA foi justificada, pois os dados maregráficos correspondentes ao período de atuação do SF que se propagou pela maior área inexistiam em três dos cinco marégrafos em questão. Já o segundo SF com maior deslocamento, foi justamente o sistema frontal de maior período, o SFP. Ficou então decidido que o SF com terceiro maior deslocamento sobre a região seria considerado o SFA.

Para identificar o padrão do SF que mais elevou o nível do mar em cada estação (SFE), um procedimento diferente foi realizado. A partir de uma janela de três vezes o período inercial (PI) local, foi buscada a máxima elevação do nível do mar registrada por marégrafos provocada logo após a entrada de cada SF que atuou na região de estudo entre os anos de 2004 e 2010, segundo o boletim Climanálise. As estações meteorológicas averiguadas quanto à penetração de SFs utilizadas ao longo do litoral brasileiro corresponderam a: Florianópolis (SC), Iguape (SP), Rio de Janeiro (RJ), Campos (RJ) e Salvador (BA). As estações maregráficas serão citadas no próximo tópico.

2.2 Dados maregráficos

Diversas organizações executam atividades relacionadas ao estudo global e maregráfico dos oceanos. O programa GLOSS (*Global Sea Level Observing System*), coordenado pela *World Meteorological Organization* (WMO) e pela *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) é uma delas. O principal objetivo do GLOSS é o estabelecimento de um

sistema estratégico permanente para o fornecimento de informação de alta qualidade sobre mudanças no nível dos oceanos e seu monitoramento (IOC, 1997).

O conjunto de dados de marégrafos é proveniente do Programa GOOS-Brasil (componente brasileira do *Global Ocean Observing System*). Dentre as atividades do GOOS-Brasil, está prevista a implantação da Rede Brasileira Permanente de Monitoramento do Nível do Mar, o programa GLOSS-Brasil. A Tabela 1 exhibe as estações que fazem parte da Rede GLOSS-Brasil, a instituição responsável pela operação de cada uma e sua classificação operacional para os anos de 2006 e 2007.

Tabela 1 - Estações da Rede GLOSS-Brasil, sua instituição responsável e sua classificação operacional para os anos de 2006 e 2007. Fonte: GOOS-Brasil.

n°	Estação	Responsável	Classificação	Previsão para 2006	Previsão para 2007
1	Rio Grande	FURG	Secundária	A ser Instalada	Em avaliação
2	Imbituba	IBGE	Principal	Operacional	Operacional
3	Cananéia	USP	Principal	Operacional	Operacional
4	Ilha Fiscal	CHM	Principal	Operacional	Operacional
5	Macaé (Imbetiba)	IBGE	Secundária	Operacional	Operacional
6	Barra do Riacho	PORTOCEL	Principal	Operacional	Operacional
7	Salvador	IBGE-CHM	Principal	Operacional	Operacional
8	Fortaleza	IBGE	Principal	A ser Instalada	Em avaliação
9	Ponta da Madeira	CVRD	Secundária	Operacional	Operacional
10	Ilha Trindade	CHM	Principal	A ser Instalada	Em avaliação
11	Ilha de Fernando de Noronha	CHM	Principal	A ser Instalada	Em avaliação
12	Estação São Pedro e São Paulo	INPE	Secundária	A ser Instalada	Em avaliação

Tabela 1: Estações da Rede GLOSS-Brasil

As estações utilizadas pelos estudos de caso anteriormente citados são representadas pelos números 2, 3, 4, 5 e 7 (Tab. 1), sendo estas, Imbituba (SC), Cananéia (SP), Ilha Fiscal (RJ), Macaé (RJ) e Salvador (BA) respectivamente. A localização exata dessas estações pode ser consultada na Tab. 2. As estações de Imbituba, Cananéia, Ilha Fiscal e Macaé são correspondentes às estações meteorológicas de Florianópolis, Iguape, Rio de Janeiro e Campos respectivamente. A estação de Rio Grande não foi incluída neste trabalho, pois, além de sua quantidade escassa de registros, seu marégrafo está situado no interior da Lagoa dos Patos, o qual não contribui para o objetivo deste trabalho. As estações mais ao norte também foram descartadas, pois segundo Kousky (1979), a atuação de SFs na região Nordeste do Brasil (NEB) está reduzida a aproximadamente 20% do total do país. Outro fator considerável é que esses sistemas chegam geralmente enfraquecidos em latitudes mais baixas (Gemiacki, 2005).

Tabela 2 - Localização das estações maregráficas.

Estação	Latitude	Longitude
Imbituba	28° 08'S	48° 24'W
Cananéia	25° 01'S	47° 56'W
Ilha Fiscal	22° 56'S	43° 08'W
Macaé	22° 14'S	41° 28'W
Salvador	12° 58'S	38° 31'W

Os dados utilizados tem resolução horária e durante seu pré-processamento os dados espúrios, ou seja, aqueles que são maiores ou menores do que a média multiplicada por três vezes o desvio padrão, foram descartados. Para retirar a influência da maré astronômica e qualquer outro sinal na banda suprainercial utilizou-se um filtro passa-baixa de Fourier. Os filtros “passa-bandas” separam sinais desejados de indesejados, ou seja, permitem a passagem de uma banda de frequências e rejeitam a outra. O filtro passa-baixa admite a passagem de baixas frequências sem dificuldades e atenua ou reduz a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte. O período de corte utilizado na filtragem dos dados correspondeu ao PI local. Para a estação de Imbituba, foi feita uma análise harmônica para a retirada das maiores componentes de maré devido ao seu baixo PI.

Segundo Stewart (2007), o PI pode ser representado pela equação abaixo:

$$T = 2\pi / f \quad (5)$$

sendo $f = 2\Omega \cdot \sin(\Phi)$ o Parâmetro de Coriolis, e $\Omega = 7.292 \times 10^{-5}/s$ a taxa de rotação da Terra para uma latitude Φ qualquer. O PI é uma grandeza que demonstra o tempo em que os fluxos oceânicos mudam sua trajetória devido à variação da componente vertical da vorticidade num dado local decorrente da rotação da Terra (Marshall & Plumb, 2008). Por ser inversamente proporcional à latitude, o PI é máximo próximo ao Equador e tende ao mínimo em direção aos polos.

Uma janela de três vezes o período de corte em cada estação foi selecionada dos dados de elevação do nível do mar. Esta janela teve como ponto central a entrada dos SFs em cada estação.

2.3 Dados do HYCOM+NCODA

O consórcio HYCOM é um esforço multi-institucional patrocinado pelo Programa de Parceria Nacional Oceânica (NOPP), como parte do Experimento da Assimilação de Dados Globais do Oceano dos Estados Unidos (GODAE), com o objetivo de desenvolver um

modelo oceânico de coordenadas híbridas chamado *HYbrid Coordinate Ocean Model* ou simplesmente, HYCOM (Bleck, 2002; Chassignet *et al.*, 2003; Halliwell, 2004).

O HYCOM, modelo utilizado neste trabalho, combina as vantagens dos diferentes tipos de coordenadas (híbridas) para simular de forma ótima, ambas, circulações costeiras e oceânicas. O modelo resolve equações primitivas da hidrodinâmica do oceano e é utilizado para fins de pesquisa e para a previsão oceanográfica operacional. A base teórica para a implementação desse tipo de coordenada foi proposta por Bleck e Boudra (1981) and Bleck e Benjamin (1993).

O sistema de assimilação de dados oceânicos utilizado em conjunto com o HYCOM foi o Navy Coupled Ocean Data Assimilation (NCODA) que é amplamente difundido em diversos setores da marinha norte-americana. Esse sistema de análise pode ser utilizado em duas (2D) ou três dimensões (3D) e pode suportar aplicações globais ou regionais.

O método utilizado pelo NCODA é uma implementação oceanográfica da Interpolação Ótima Multi-Variada (MVOI), técnica comumente usada em sistemas de predição numérica baseadas no tempo. As variáveis de análise oceânica são velocidade, salinidade, temperatura e altura dinâmica. Todas essas variáveis são analisadas simultaneamente em todas as três dimensões do espaço (Cummings, 2005).

Para alcançar o escopo deste projeto, apenas as saídas de ASM provenientes do HYCOM com 30 níveis verticais e resolução espacial de $1/12^\circ$ foram analisadas. Foi feito um recorte na grade da zona do litoral brasileiro que abrange as latitudes de 12° S e 32° S e as longitudes de 54° W e 34° W, englobando desde os entornos da cidade de Salvador até a região Sul do Brasil. Previsões de 24h de ASM foram plotadas desde o período pré-frontal até o pós-frontal de cada SF.

3. RESULTADOS

Os resultados encontrados foram distribuídos em tópicos de acordo com a proveniência dos dados (marégrafos e modelo) e subtópicos de acordo com os estudos de caso referentes aos três padrões de SFs (SFE, SFA e SFP) que geraram perturbações no nível do mar. A elevação subinercial promovida devido à passagem dos SFs foi plotada para as estações maregráficas, enquanto que, as saídas de ASM do HYCOM foram utilizadas em conjunto para plotar mapas diários, realçando assim, sua variação ao longo da costa.

3.1 Marégrafos

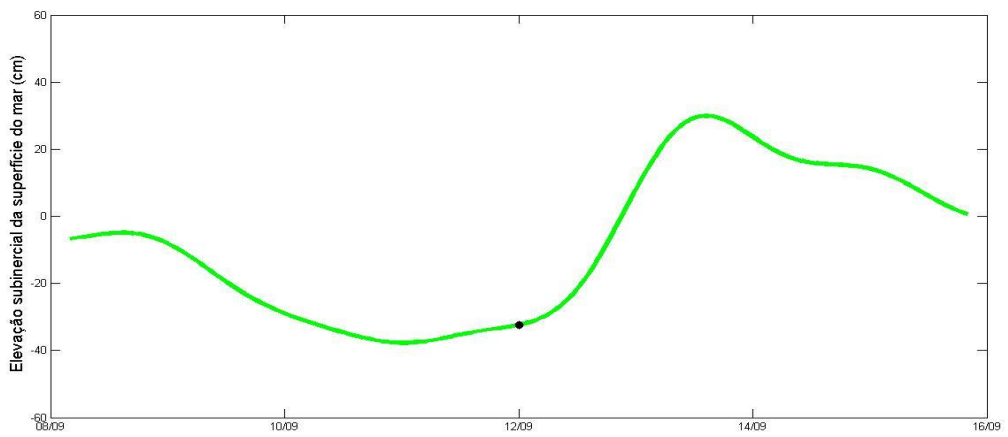
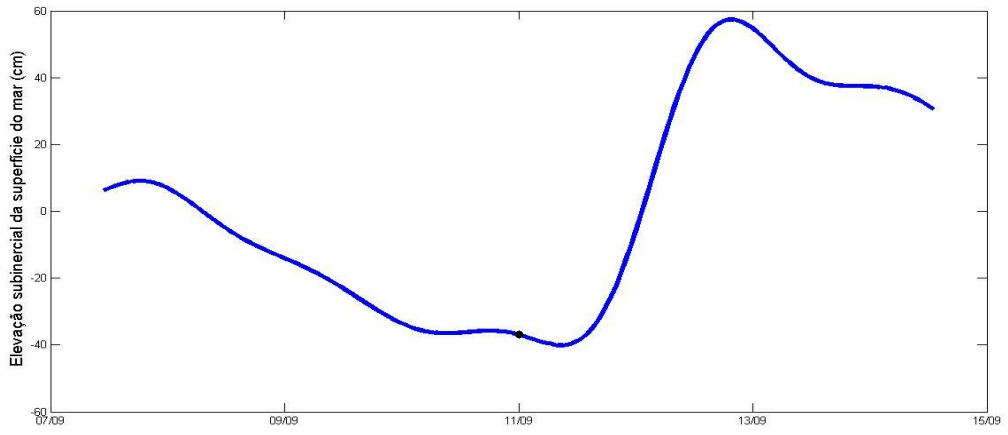
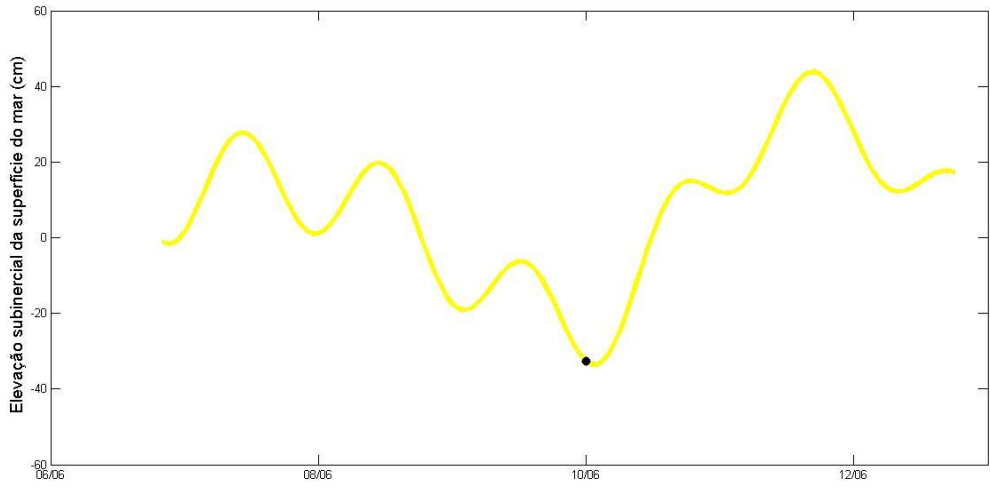
A Tab. 3 mostra a data de entrada dos três padrões de SFs para cada estação meteorológica/maregráfica.

Tabela 3 - Datas referentes às entradas dos padrões de SFs em cada estação ao longo da costa brasileira de Santa Catarina até a Bahia. Os acrônimos SFE, SFA e SFP correspondem a: sistema frontal que mais elevou o nível do mar, sistema frontal de maior extensão e sistema frontal de maior período, respectivamente, ao longo da área de estudo para o período de 2004 a 2010

ESTAÇÃO	SFE	SFA	SFP
Salvador	28/04/05	21/10/06	-
Campos/Macaé	17/04/06	19/10/06	09/12/04
Rio/Ilha Fiscal	12/09/05	18/10/06	09/12/04
Iguape/Cananéia	11/09/05	16/10/06	09/12/04
Florianópolis/Imbituba	10/06/06	16/10/06	04/12/04

3.1.1 SFE – Sistema frontal que mais elevou o nível do mar

A Fig. 4 mostra a elevação subinercial máxima da superfície do mar registrada nos marégrafos devido à passagem do SFE para todo o período de estudo nas estações de Imbituba (amarelo), Cananéia (azul), Ilha Fiscal (verde), Macaé (ciano) e Salvador (vermelho). O dia da entrada de cada SF foi devidamente marcado com um círculo negro em cada gráfico.



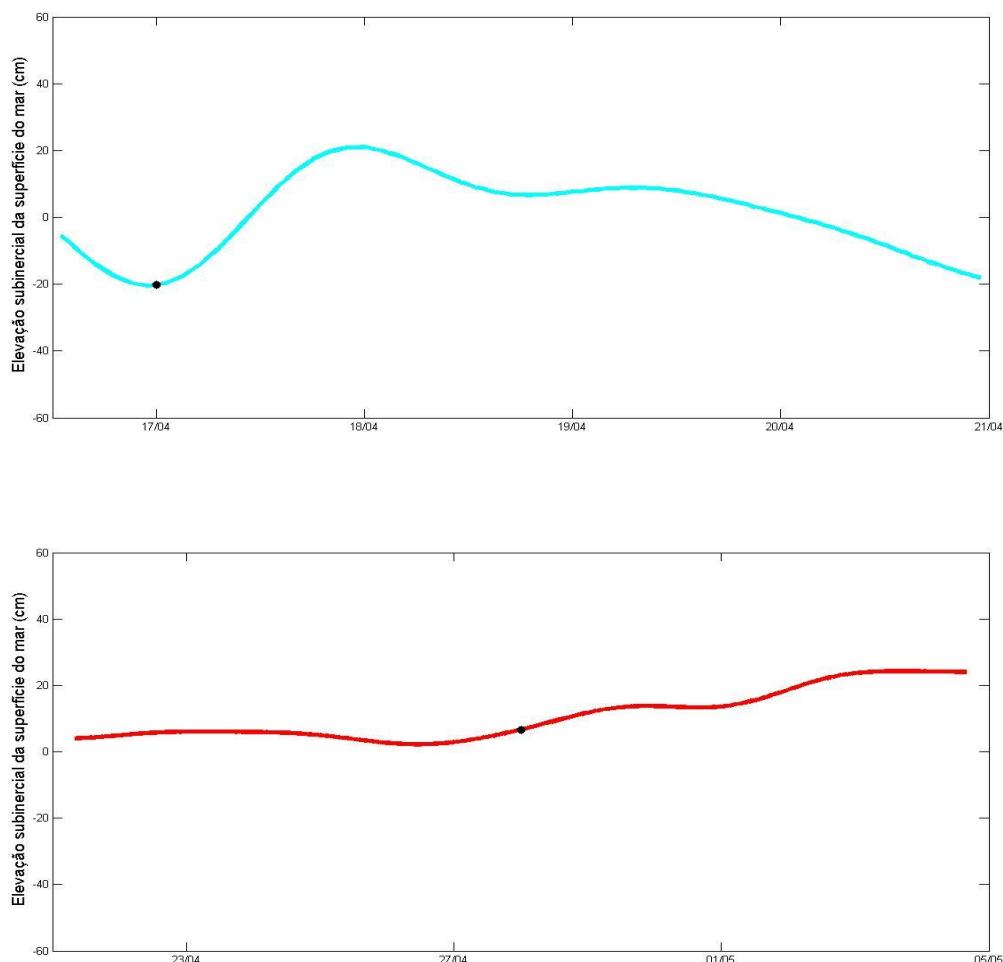


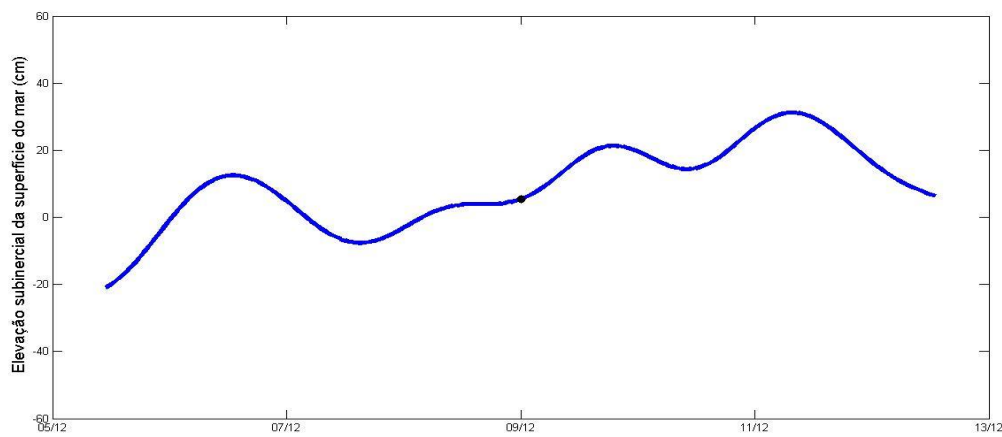
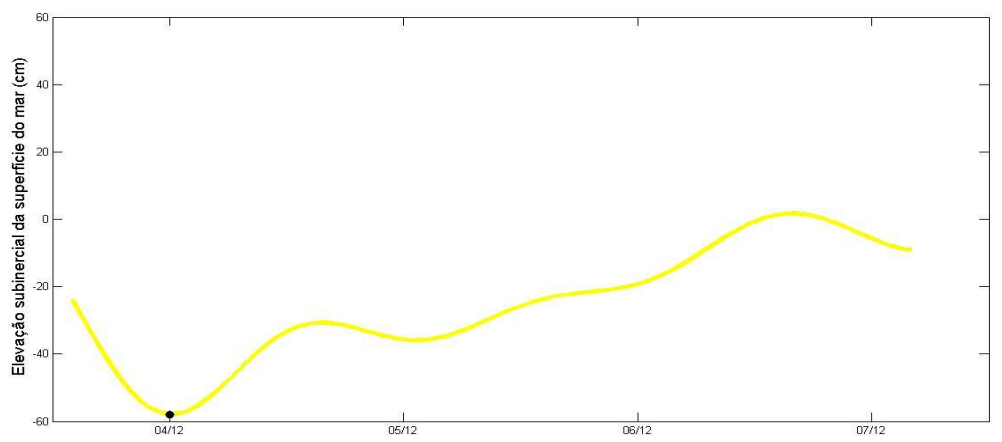
Figura 4 - Elevação subinercial máxima da superfície do mar para as estações de Imbituba (amarelo), Cananéia (Azul), Ilha Fiscal (verde), Macaé (ciano) e Salvador (vermelho). O círculo negro representa o dia da entrada de cada SFE.

No dia 10 de Junho de 2006, o sistema frontal que mais elevou o nível do mar subinercial para a estação de Imbituba foi registrado pela estação maregráfica local e elevou o nível do mar em 76,44 cm, cerca de dois dias (precisamente, 1,71 dia) após sua chegada. No dia 11 de Setembro de 2005, o SFE para a estação de Cananéia atingiu a região promovendo um aumento de 94,28 cm com tempo de resposta (período necessário para ocorrer a máxima elevação após a chegada da frente) de 1,83 dias. Vale a pena ressaltar que esta frente foi a mesma que mais elevou o nível do mar para a estação de Ilha Fiscal, chegando nesta no dia 12 de Setembro de 2005 e causando uma elevação máxima de 62,32 cm com um tempo de resposta de 1,58 dia na frequência subinercial. A estação de Macaé apresentou uma elevação de 41,11 cm. O SFE para esta estação chegou no dia 17 de abril de 2006 e entre sua chegada e o pico máximo do nível do mar passou-se 1 dia. O sistema frontal que mais elevou o nível do mar subinercial na estação de Salvador atingiu a região no dia 28 de Abril

de 2005, e o marégrafo em questão registrou uma elevação máxima de 17,62 cm, quase seis dias após a entrada dessa frente (5,6 dias depois).

3.1.2 SFP – Sistema frontal de maior período

A Fig. 5 é análoga à figura 4, exceto para a passagem do SFP. Essa frente atingiu o litoral brasileiro (RS) no dia 04 de dezembro de 2004. O dia da entrada deste SF nas estações foi devidamente marcado em cada gráfico, a exceção de Salvador, pois, essa frente não atingiu esta região.



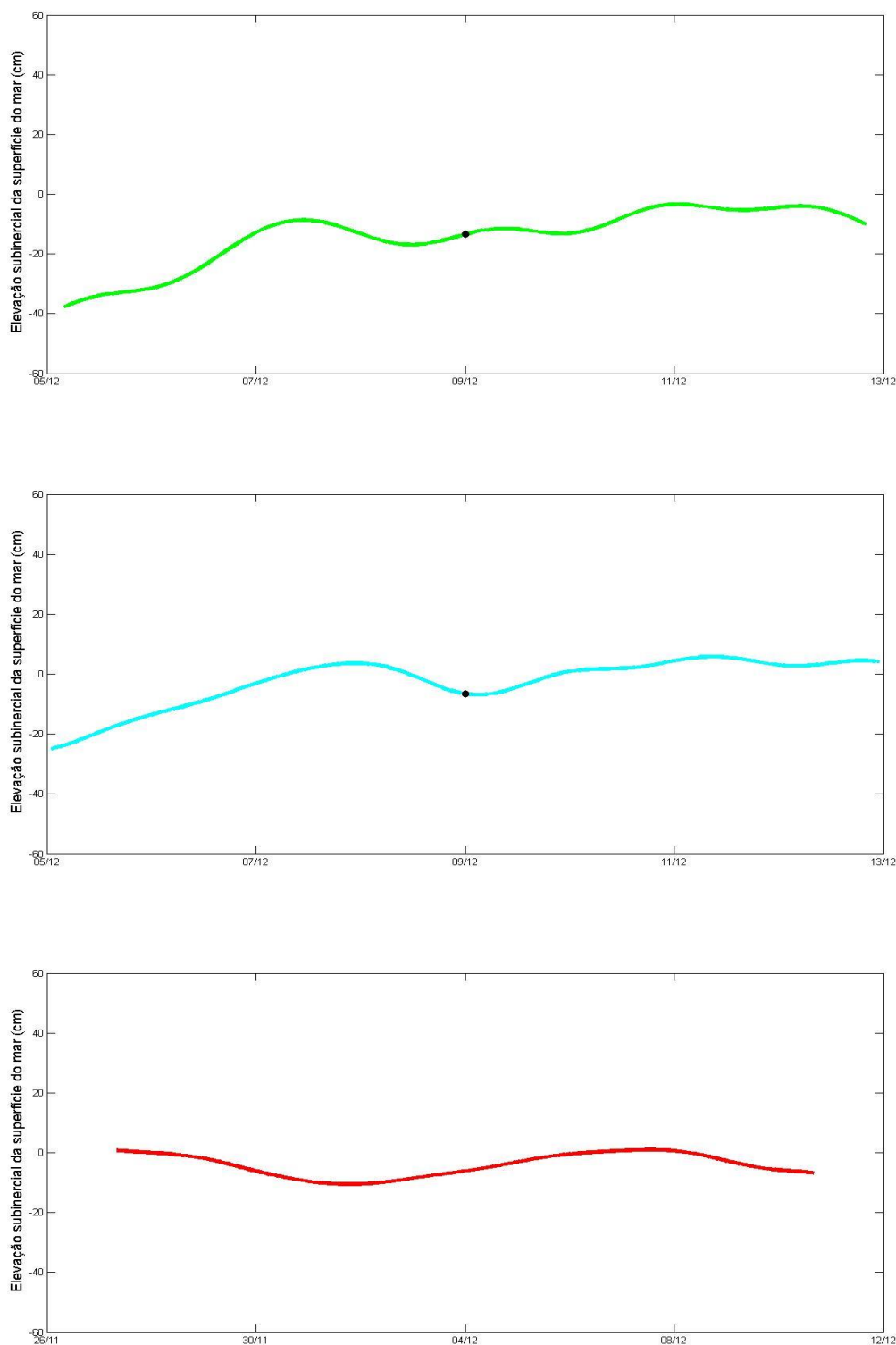


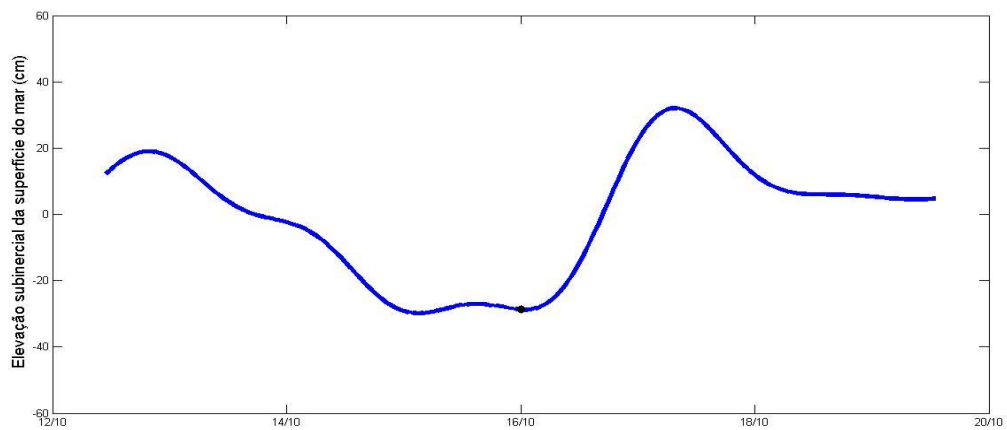
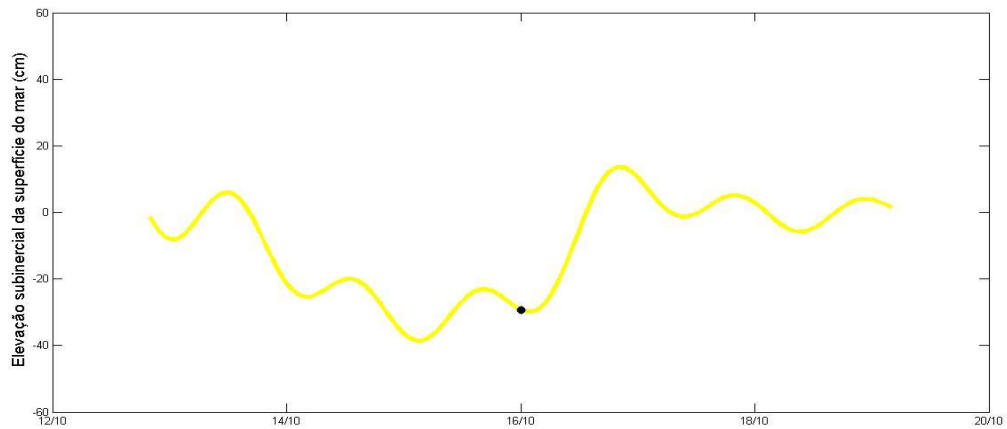
Figura 5 – Idem à figura 4, exceto para a passagem do SFP. Em Salvador (vermelho) não houve registro do SF pela estação meteorológica.

No dia 04 de Dezembro de 2004 o SFP atingiu o estado de Santa Catarina, tendo o marégrafo de Imbituba registrado um aumento máximo de 59,65 cm após 2,63 dias. Cinco dias depois (dia 9), este SF alcançou as estações meteorológicas de Iguape, Rio de Janeiro e Campos elevando o nível do mar em 26,32 cm, 11,23 cm e 13,33 cm com um tempo de

resposta de 2,29, 2,00 e 2,38 dias, respectivamente. O marégrafo situado na cidade de Salvador não registrou oscilações significativas, pois o SF não alcançou essa região.

3.1.3 SFA – Sistema frontal que se propagou pela maior área

A Fig. 6 é análoga à figura 4, exceto para a passagem do SFA nas estações maregráficas ao longo da área de estudo. O dia da entrada deste SF em cada estação foi devidamente marcado em cada gráfico.



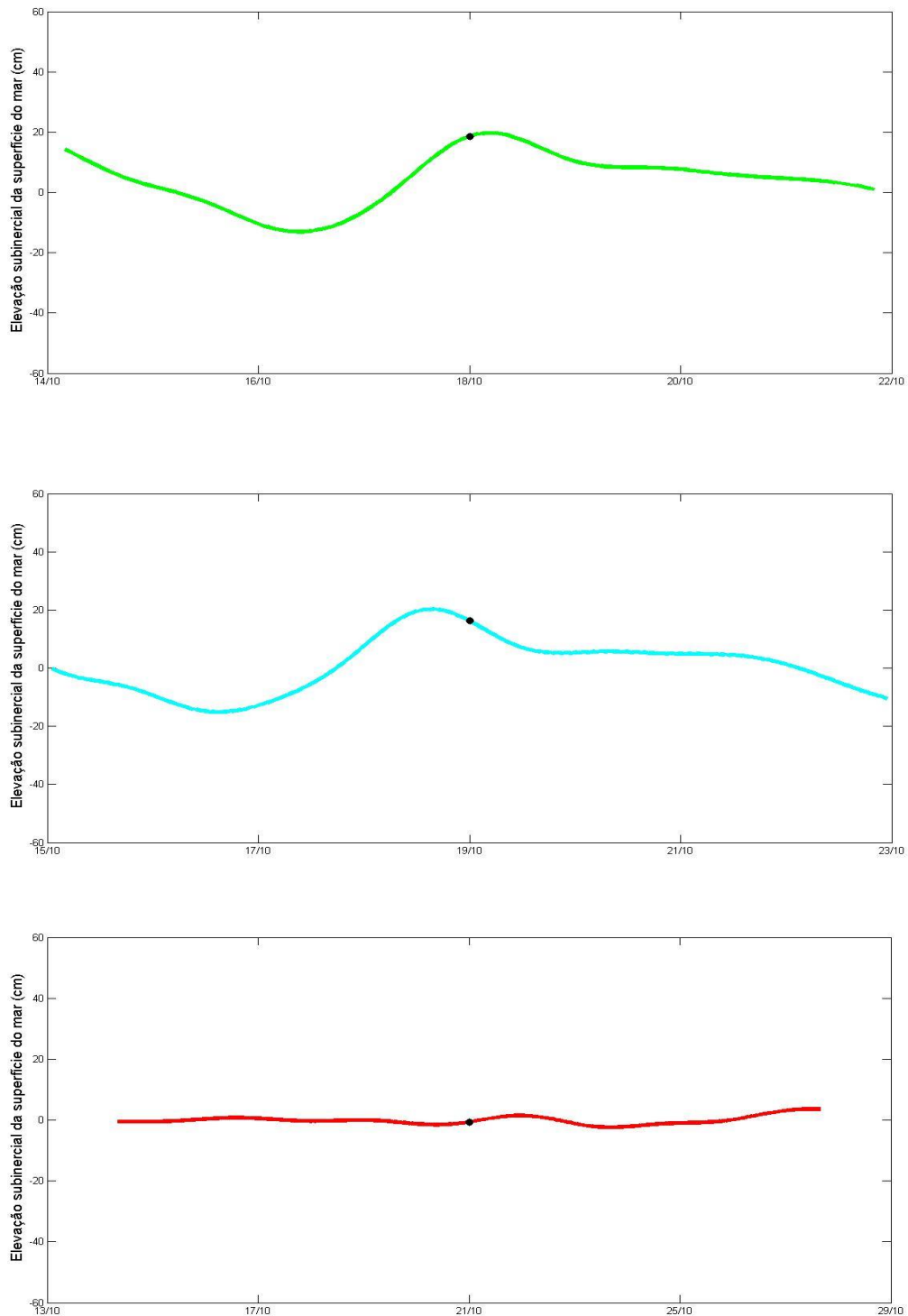


Figura 6 – Idem a figura 4, exceto para a passagem do SFA.

No dia 16 de Outubro de 2006 o SFA promoveu um aumento de 43,16 cm no nível do mar, registrado pelo marégrafo de Imituba apresentando um tempo de resposta de 0,88 dias. Ainda no dia 16, este SF foi responsável por uma elevação de 60,35 cm com tempo de resposta de 1,29 dias na estação de Cananéia. Para as estações de Macaé e Ilha Fiscal, esse SF apresentou-se após a máxima elevação, não provocando assim, um aumento do

nível do mar significativo. No dia 21, este SF alcançou a estação de Salvador promovendo um pequeno aumento de 5,61 cm com um atraso de 6,33 dias.

3.2 Altura da Superfície do Mar (HYCOM+NCODA)

Tendo em vista o caráter repetitivo dos mapas, tornar-se-á necessária a análise de apenas alguns, tendo cada estação, representantes do período pré-frontal, do dia da entrada da frente e do período pós-frontal. O restante dos mapas encontra-se no Anexo I.

3.2.1 SFE - Sistema frontal que mais elevou o nível do mar

Para plotar os mapas diários de ASM relacionados com a propagação do SFE, foram utilizadas janelas diárias para seis dias tendo como ponto central a entrada dos SFs nas suas respectivas estações. Dessa forma, foram gerados treze mapas para as estações de Imbituba, Cananéia/Ilha Fiscal, Macaé e Salvador. Não se pode esquecer que Cananéia e Ilha Fiscal tiveram o mesmo SFE. Os mapas não inseridos nesta seção podem ser encontrados em anexo.

3.2.1.1 Imbituba

A Figura 7 mostra a compilação dos mapas diários de ASM gerados pelo modelo devido ao SFE para a estação de Imbituba. De acordo com as imagens abaixo, é possível notar um padrão de rebaixamento do nível do mar, com valores entre -0,2 e -0,3 m, próximo à costa do Sul do Brasil no dia 9 de Junho de 2006, período pré-frontal. No dia 10, essa diminuição acentuada localizada ao sul foi substituída por altos índices de ASM, e se propagou ao longo da costa aparecendo, com menor intensidade, nos entornos da estação de Imbituba (~28°S). Foi nesse dia que o SFE atingiu a estação em questão, elevando de forma subsequente o nível do mar local até valores máximos de 0,3 m no dia 12. Vale a pena ressaltar, que apesar dessa frente ter sido a que mais elevou o nível do mar para a estação de Imbituba durante todo o período de estudo, os maiores valores previstos para a ASM ocorreram no Embaiamento Sul do Brasil no período pós-frontal (dia 12). A partir do dia 13, essa onda continuou seu trajeto sentido norte/nordeste, mas não conseguiu elevar o nível do mar de forma significativa nas estações ao norte do Embaiamento.

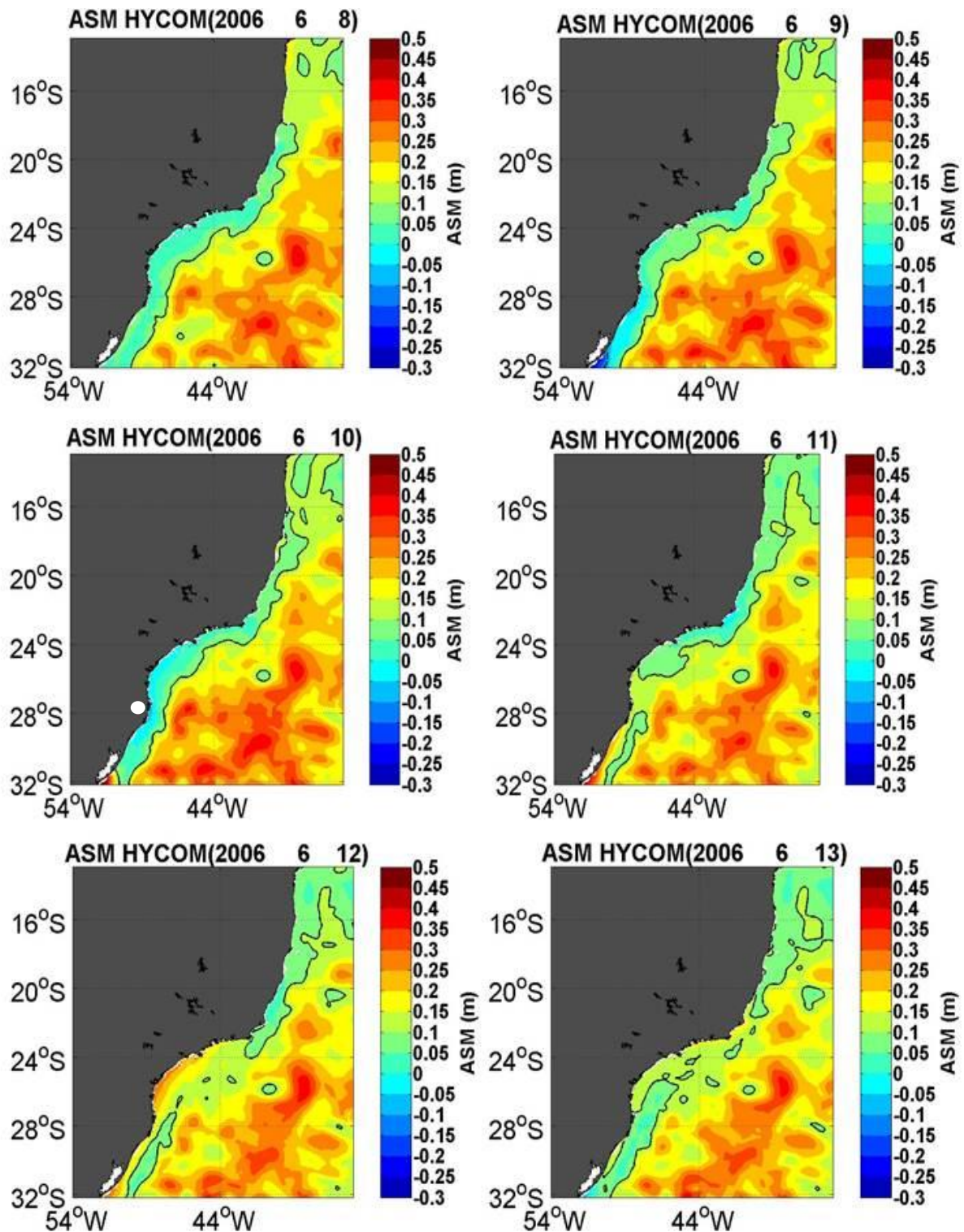


Figura 7 – Compilação de mapas da ASM de 08 a 13 de Junho de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Imbituba. As linhas contínuas expressam isolinhas de 0,1 m de altura. O círculo branco indica o dia que o SFE atingiu a devida estação.

3.2.1.2 Cananéia/ Ilha Fiscal

Ao analisar o mapa do dia 9 de Setembro de 2005 (Figura 8), torna-se possível notar a penetração de uma língua pronunciada apresentando índices muito baixos de -0,15 m de ASM ao longo da região costeira do Sul do Brasil. No decorrer dos dias, essa feição tende a se propagar rumo ao norte expandindo-se em tamanho e intensidade até alcançar o Embaiamento Sul, onde atingiram valores mínimos de -0,25m no dia 11, data esta, que marca a entrada do SFE na estação de Cananéia (~25°S). Ainda nesse mesmo dia, fica evidente que, à retaguarda dessa zona de baixos índices, configura-se uma faixa de transição com valores mais elevados de ASM. No dia 12, essa faixa propaga-se rumo ao norte, sendo ao sul de Imbituba, substituída por uma zona de elevação bastante pronunciada apresentando índices bastante acentuados em torno de 0,45 e 0,5 m (sudeste da Lagoa dos Patos). A zona de baixos índices de ASM, agora mais tênue, se acomoda na porção norte do Embaiamento Sul, onde se encontra a estação de Ilha Fiscal (~23°S), sendo este o dia no qual o SF alcança esta região. O dia 13 é marcado pela presença dos maiores índices de ASM (0,5 em Cananéia) ao longo de praticamente todo o Embaiamento Sul. No dia seguinte (14), esse pico de elevação perde intensidade e continua seu trajeto contornando a linha de costa e se responsabilizando pelas maiores elevações em torno de 0,2 – 0,25 m próximo à estação de Ilha Fiscal.

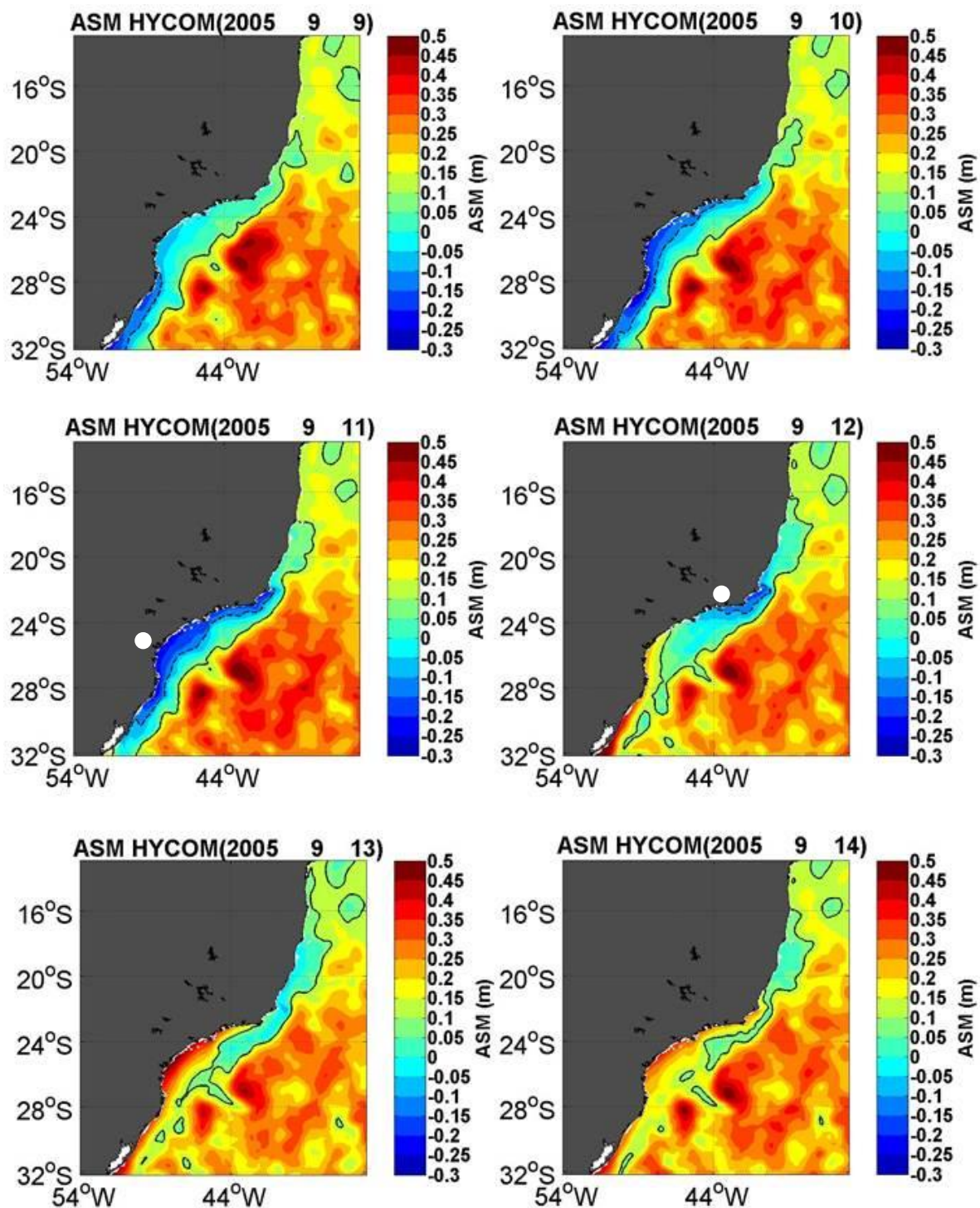


Figura 8 – Compilação de mapas da ASM para o período de 09 a 14 de setembro de 2005 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para as estações de Cananéia e Ilha Fiscal. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada indica a isolinha negativa de - 0,1 m. Os círculos brancos marcam os dias em que o SFE atingiu as estações.

3.2.1.3 Macaé

A Figura 9 exibe os mapas diários de ASM previstos para a estação de Macaé para o período de 14 a 19 de Abril de 2006. A situação sinótica a decorrer a partir do dia 14 apresenta um padrão já observado no período pré-frontal das situações anteriormente citadas: uma extensa faixa contendo valores menores do que suas adjacências, entre -0,05 e 0,05 m, configura-se ao largo da região Sul e se propaga acompanhando a linha de costa e aumentando sua extensão ao atingir o Embaiamento Sul (dia 15). Posteriormente, é possível observar altos índices de ASM se propagando a partir da região Sul e aumentando novamente em magnitude nos entornos da região do Embaiamento no dia 17, atingindo valores superiores a 0,4 m. A faixa supracitada apresentando baixos índices teve sua extensão reduzida e deslocou-se na direção norte/nordeste configurando-se quase que exclusivamente ao redor da estação de Macaé (~22°S). De acordo com a compilação de mapas abaixo, o dia 17 apresentou os menores valores de ASM encontrados para os entornos dessa região, variando entre 0,0 e 0,1 m, e foi marcado pela entrada do SF naquela estação. Nesse mesmo dia, o Embaimento Sul apresentou as maiores elevações, atingido até 0,5 m. Impende salientar que, a zona contendo os maiores valores da ASM se propagou sentido norte/nordeste sendo responsável pelas maiores elevações encontradas, algo em torno de 0,3-0,35 m na estação de Macaé no dia 18. No dia seguinte, o nível do mar nessa região tendeu a reduzir tenuemente enquanto que a faixa com valores elevados se propagou para o norte.

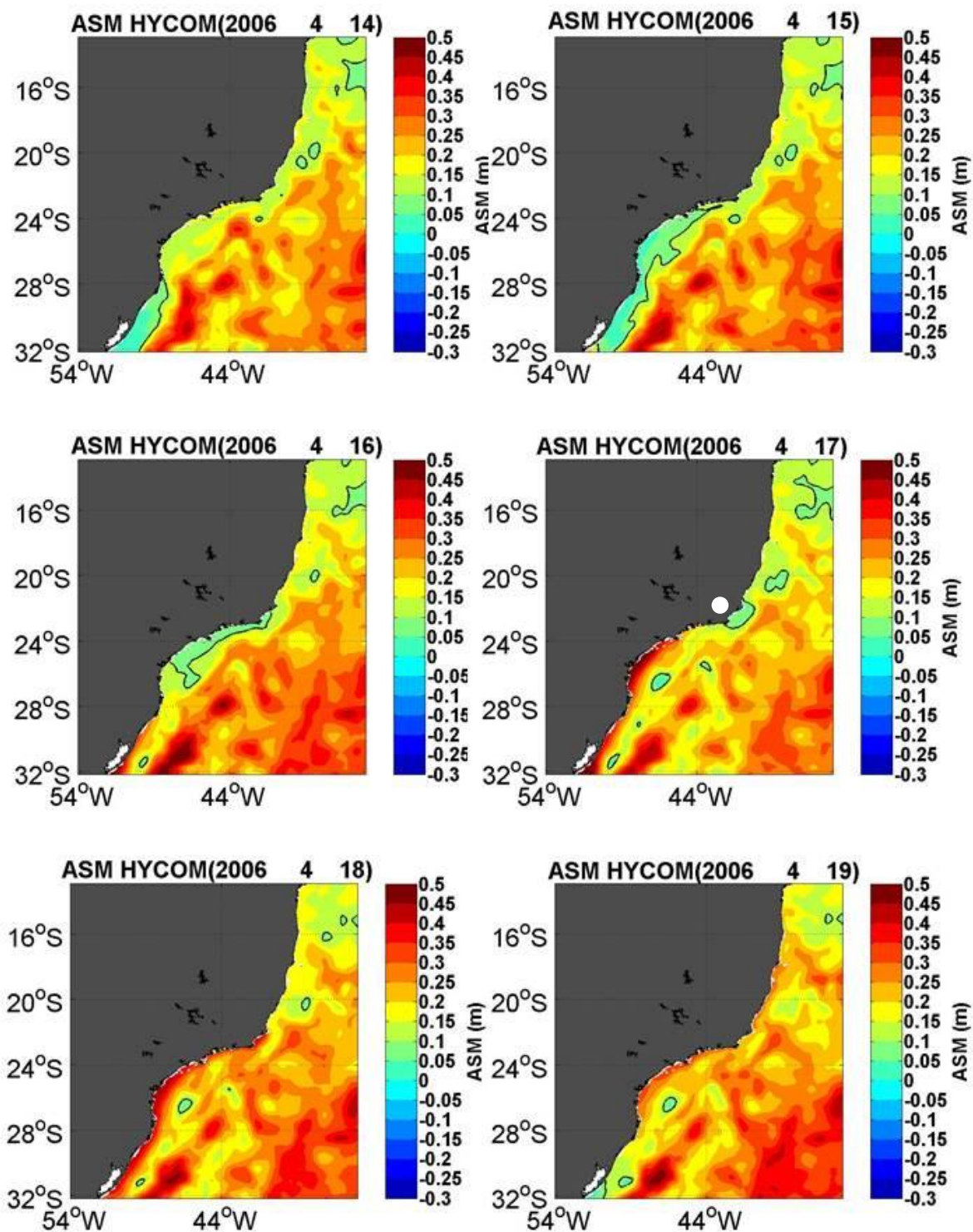


Figura 9 - Compilação de mapas da ASM para o período de 14 a 19 de abril de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Macaé. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura. O círculo branco marca o dia em que o SFE atingiu a estação.

3.2.1.4 Salvador

A figura 10 mostra a ASM relacionada com o SFE para a estação de Salvador (~13° S) no período de 27 de Abril a 04 de maio de 2005. Analisando o dia 27 de Abril, é possível dividir a linha de costa em duas partes, sendo uma com valores em torno de 0,2 m configurada na porção norte, e outra com valores extremamente elevados entre 0,3 e 0,5 m, englobando desde a região Sul do país até os entornos de Macaé. Essa elevação pronunciada da superfície do mar tende a se deslocar na direção norte aumentando a ASM ao longo da costa. Convém notar, outrossim, que no dia 28, mesmo apesar desse deslocamento pronunciado no sentido setentrional, a região que engloba a estação de Salvador apresenta valores inferiores de 0,2 m quando comparada aos seus entornos de 0,25 m. Foi exatamente nesse dia que o SFE atingiu essa estação. Os três dias subsequentes (dia 30/04 e 01/05 vide Anexo I) são marcados pela permanência da zona contendo valores entre 0,2 e 0,4 m no intervalo situado entre as latitudes de 16° S e 20° S. Já no dia 2 de Maio, o nível do mar tende a subir nessa região e se propagar rumo à latitudes mais baixas. Esses altos índices de ASM continuam deslocando-se para o norte rumo à estação de Salvador (dia 3), e no dia 4, atingem a marca de 0,35 m, sendo estes, seus valores máximos.

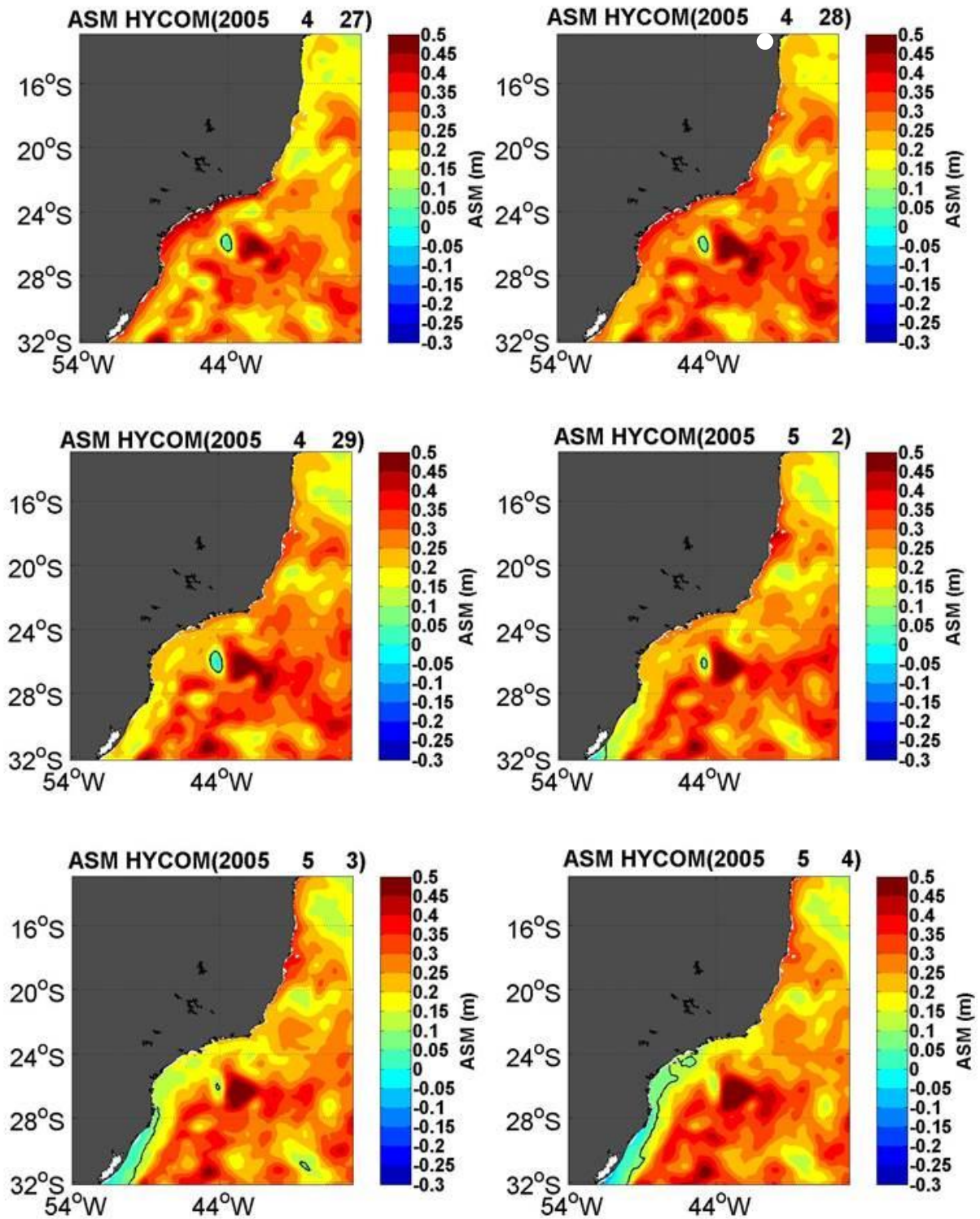
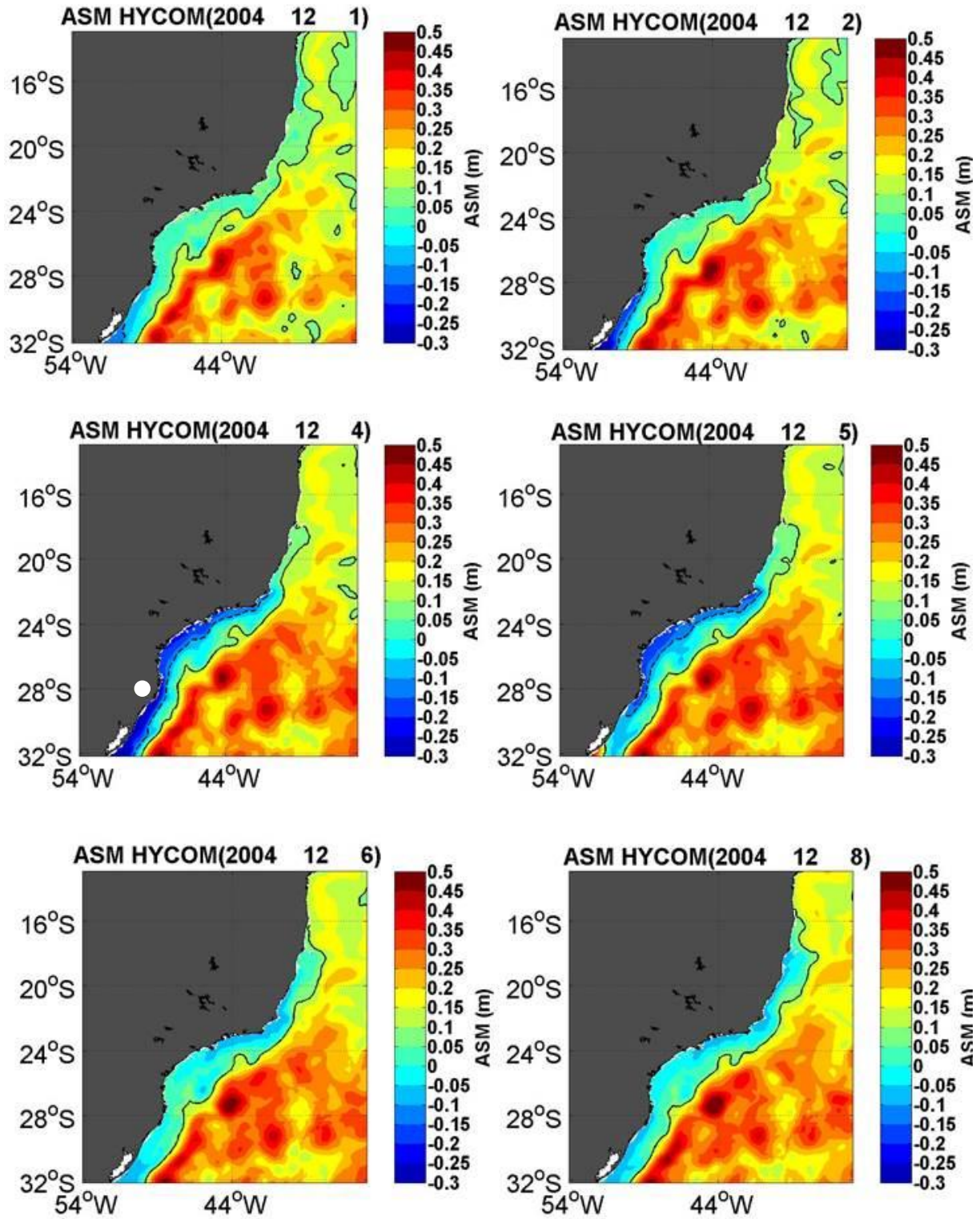


Figura 10 - Compilação de mapas da ASM para o período de 27 de abril a 04 de maio de 2005 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFE para a estação de Salvador. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura. O círculo branco marca o dia que o SFE atingiu a devida estação.

3.2.2 SFP - Sistema frontal com maior período

O SFP atinge a região Sul no dia 4 de Dezembro de 2004 e permanece oscilando e influenciando o nível do mar ao longo do território brasileiro até o dia 14 desse mesmo mês (Figura 3). Analisando os mapas dos dias 1 e 2 da Figura 11, é possível notar um padrão de propagação rumo ao norte dos índices de ASM com valores extremamente baixos de -0,3 m ao sudeste da Lagoa dos Patos, avançando sobre uma ampla zona configurada com valores intermediários em torno de 0,05 e 0,1 m. Essa cava pronunciada assume configuração máxima (tanto em extensão quanto em magnitude), abrangendo todo o Embaiamento Sul do Brasil no momento em que este SF atinge a estação de Imbituba no dia 4 de Dezembro. Os dias subsequentes serão marcados por uma atenuação desse rebaixamento, porém, cumpre destacar que o mapa do dia 5 mostra o que seria o início de uma propagação rumo ao norte de um pico localizado ao sul em torno de $\sim 32^\circ$ S contendo altos valores de ASM, próximos a 0,3 m. Ao analisar o mapa do dia 6, nota-se que o pico supracitado não se intensifica nem se propaga em direção às baixas latitudes. O que ocorre é uma nova atenuação das zonas anteriormente rebaixadas, tendendo a se aproximar de valores mais amenos em torno de -0,05 e 0 m por todo o litoral Sul e Sudeste do país. Esse evento atípico acontece, pois o SF oscila algumas vezes sobre a região Sul para finalmente no dia 8, partir rumo ao norte. Novas zonas com índices baixos (mesmo que pouco acentuadas) tornam a aparecer nos entornos das estações de Ilha Fiscal ($\sim 23^\circ$ S), Macaé ($\sim 22^\circ$ S) e na região Sul. No dia 9, essa frente alcança as três estações ao norte de Imbituba. É possível notar uma pequena zona com valores baixos nos entornos da estação de Cananéia ($\sim 25^\circ$ S). Novamente esse SF se encaminha para o norte oscilando mais algumas vezes a partir do dia 10, mas apresentando no geral uma configuração estável, variando muito pouco as taxas de ASM.



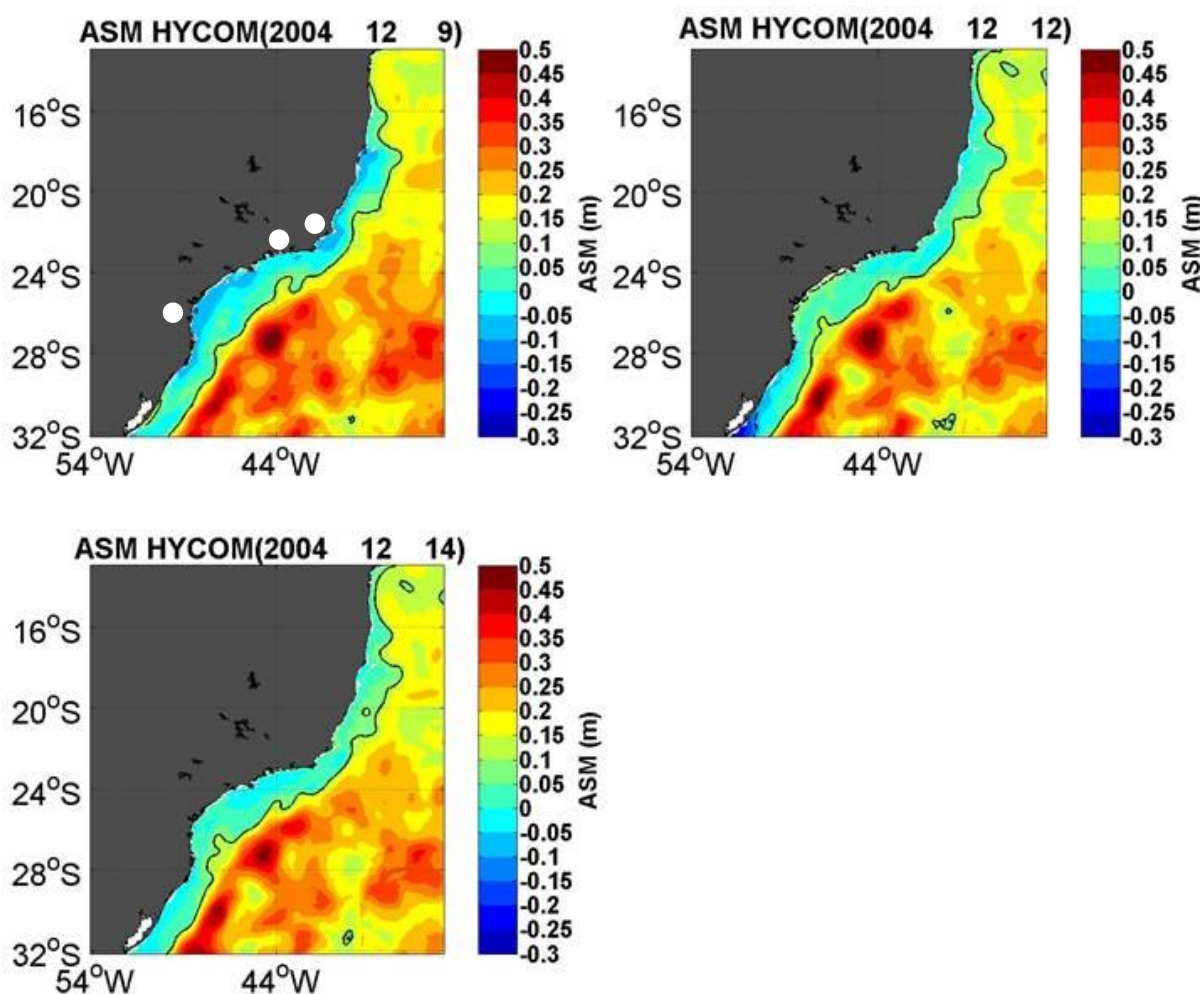
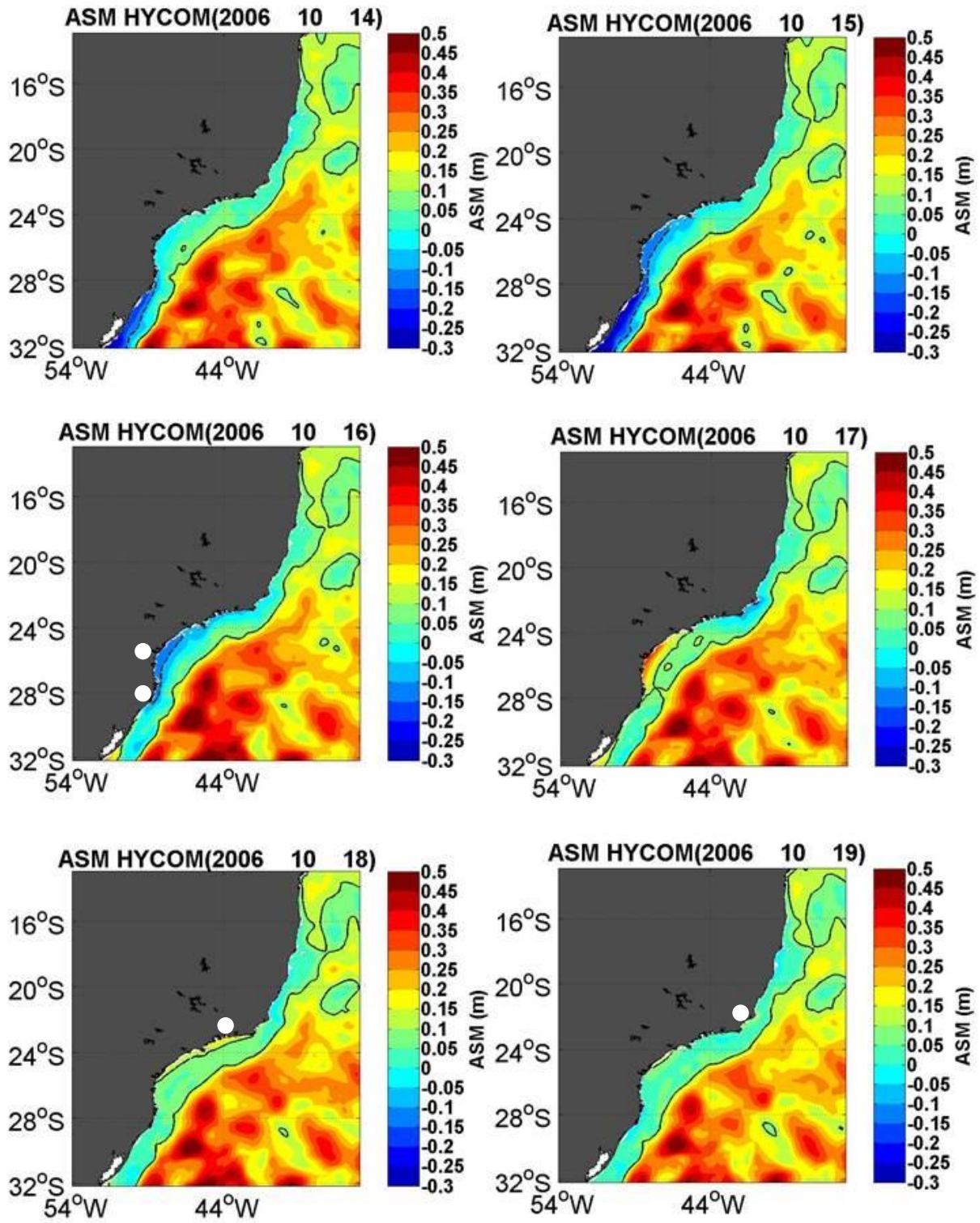


Figura 11 - Compilação de mapas da ASM de 01 a 14 de dezembro de 2004 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFP para todas as estações. Essa frente não atingiu a estação de Salvador. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada, indica a isolinha negativa de -0,1 m. Os círculos brancos marcam os dias que o SFP atingiu as estações.

3.2.3 SFA - Sistema frontal que se propagou pela maior área

A Figura 12 exhibe a compilação de mapas diários da ASM para o período de 14 a 26 de Outubro de 2006 devido à passagem do SFA ao longo da área de estudo. Esse sistema se propagou de forma contínua e se deslocou ao longo de 20 estações (Fig. 3). Logo no dia 14 de Outubro é possível observar uma faixa com índices de ASM muito baixos em torno de -0,2 e -0,3 m configurada na região Sul. Essa cava, observada no dia 15, intensifica-se e se propaga em direção ao Embaiamento Sul do Brasil e no dia 16, esse SF atinge a estação de Imbituba (posteriormente, Cananéia) já trazendo a sua retaguarda, uma zona com valores pronunciados de 0,2 m de ASM. Vale a pena ressaltar que a cava no dia 15 é mais pronunciada do que a do dia 16 para a estação de Imbituba. Isso provavelmente se deve ao fato de que o dia 16 foi o dia em que o SF atingiu a estação meteorológica de Florianópolis

(73 km ao norte em linha reta), e que por ser a mais próxima, para efeito de comparação teve seus dias de entrada de SFs utilizados para a estação maregráfica de Imbituba. No dia seguinte (17), é possível encontrar ao longo do Embaiamento Sul as maiores elevações com máximo em torno de 0,3 e 0,35 m para aquela região durante toda a passagem desse SF. Também fica evidente, que a faixa contendo baixos índices avançou no sentido norte/nordeste e apresentou uma redução em termos de área e intensidade. No dia que se segue (18), a faixa de altos índices supracitada se dispersa ainda acompanhando a linha de costa, e mantendo uma configuração de valores relativamente altos sobre a região de Ilha Fiscal (~23° S). Esse dia marca a passagem do SFA por essa estação. No dia 19 essa frente atinge o município de Macaé. Analisando o mapa, torna-se possível observar que uma pequena área com valores mais elevados do que seus entornos abraça a região onde se localiza essa estação e que as faixas pronunciadas com valores mínimos e máximos agora desaparecem dando lugar a uma configuração oceânica mais estável, sendo os índices de ASM ao longo da costa dominados por valores pouco expressivos. No dia 21 esse SF alcança a estação de Salvador e nos dias que se sucedem, ocorre um gradativo e pouco substancial aumento do nível do mar local, apresentando elevação máxima de 0,15 m, no dia 26. Necessário é lembrar que a cava pronunciada que se desloca ao longo da costa pelo sul nos dias 25 e 26, é causada pela influência de outro SF não incluído neste estudo.



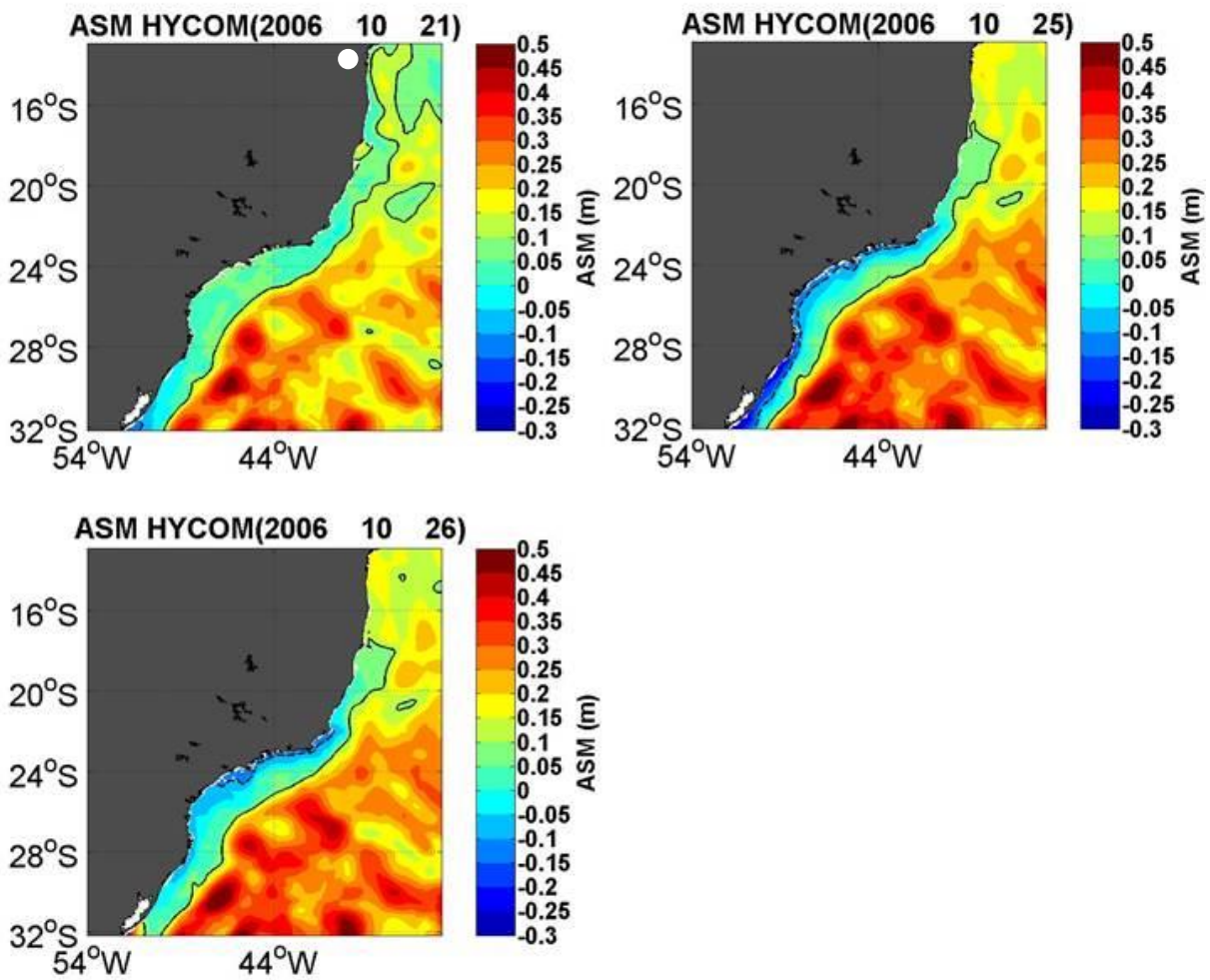


Figura 12 - Compilação de mapas da ASM par ao período de 14 a 26 de outubro de 2006 previstas pelo HYCOM+NCODA devido à passagem do SFA para todas as estações. A linha contínua expressa a isolinha de 0,1 m de altura, enquanto que a tracejada, indica a isolinha negativa de - 0,1 m. Os círculos brancos marcam os dias que o SFA atingiu as estações.

4. DISCUSSÃO

Ao comparar as séries das elevações subinerciais registradas nos marégrafos com as simulações numéricas do HYCOM+NCODA, fica evidente que as OBF responderam por boa parte da variação da ASM, quando o litoral brasileiro esteve sob influência dos sistemas frontais.

As séries subinerciais dos três SFs para a estação de Imbituba são as que apresentam as maiores oscilações, enquanto que as de Salvador, as menores (Figs. 4, 5 e 6). Esse fato é devido ao baixo PI de Imbituba (25,37 horas) que é menor do que metade do PI de Salvador (53,32 horas). Por conta disso, os gráficos de elevação das estações com maiores latitudes, mesmo após a aplicação do filtro, tendem a apresentar maiores variações, afinal, para uma oscilação ser considerada subinercial na estação de Imbituba é necessário que esta seja superior apenas a 25,37 horas, enquanto que para Salvador, superior a 53,32 horas.

As ondas subinerciais geradas pela influência de perturbações atmosféricas analisadas no presente trabalho apresentaram um padrão de deslocamento bem próximo entre si. Ao analisar o deslocamento dessas ondas, fica evidente que estas se mostraram melhor configuradas nas regiões Sul e Sudeste e que ao longo de sua trajetória vão reduzindo em intensidade e apresentando uma configuração menos expressiva. Isso acontece, pois as ondas que se propagam para fora da sua zona de criação dependem da velocidade, duração e “fetch” do vento para adquirirem maiores amplitudes e velocidades de fase. Quadro *et al.* (1996) definiram as regiões Sul e Sudeste como sendo frontogenéticas, fator esse que favorece a formação e intensificação de SFs que forçam a propagação de ondas bem configuradas para fora dessas áreas.

Nos casos apresentados, as ondas se deslocaram a partir de latitudes mais altas e partiram rumo ao norte contornando a linha de costa com seu cavado à vanguarda dos SFs rebaixando o nível do mar local antes da chegada da frente. No dia que os SFs atingiram as estações, valores de ASM menores que seus entornos foram observados e o tempo de resposta para o pico máximo da onda variou de acordo com a localização geográfica.

Esse padrão de propagação pode ser explicado pela circulação atmosférica em baixos níveis que promove mudanças na direção do vento, onde os maiores picos de elevações subinerciais são causados por ventos advindos do sul, com ciclones formados no oceano Atlântico e anticiclones no continente (Saraiva *et al.*, 2003). Esses resultados corroboram com os encontrados por Castro & Lee (1995), onde afirmam que essas perturbações se

deslocam a partir das regiões mais meridionais, onde ocorrem as mais altas variações da TCV ao longo da costa.

Quando a costa brasileira esteve sob influência do SFE e do SFA, foi possível constatar um fato no mínimo curioso. Todas as ondas que se deslocaram ao longo da costa apresentaram, em algum momento, os seus maiores picos de elevação na região do Embaiamento Sul do Brasil. Mesmo aquelas responsáveis por elevar o nível do mar em estações fora do Embaiamento, como os SFEs para Imbituba, Macaé e Salvador. Como os SFs ao longo de sua trajetória tendem a diminuir sua intensidade dissipando parte de sua energia e reduzindo sua capacidade de gerar oscilações subinerciais e suprainerciais, era de se esperar que os maiores índices de elevação fossem encontrados nas regiões com as latitudes mais altas. Ao analisar as elevações subinerciais, torna-se evidente que a estação de Cananéia quando comparada com as demais, foi a que apresentou os maiores picos de elevação (a exceção se faz na estação de Imbituba sob a influência do SFP). Essa observação também pode ser confirmada ao se averiguar os mapas de ASM do HYCOM+NCODA. Ainda segundo Castro & Lee (1995), uma possível explicação seria o fato de que os distúrbios atmosféricos advindos do Pacífico cruzam em primeiro lugar, o Embaiamento Sul do Brasil na região situada entre as estações de Imbituba e Cananéia quando estes ainda estão fortes e bem configurados. A partir dessa região, o SF tende a diminuir sua intensidade enquanto mantém seu trajeto direcionado às baixas latitudes (Occhipinti, 1963), fator esse que repercute diretamente sobre a propagação e intensidade das ondas subinerciais.

Sob influência do SFP, a estação de Imbituba registrou um pico de elevação subinercial máxima de 59.65 cm, sendo superior ao dobro registrado pela estação de Cananéia (26.32 cm). Esses valores vão de contrapartida ao proposto supracitado por Castro & Lee (1995), entretanto, esse ocorrido pode ser explicado devido à passagem de um vórtice ciclônico que se configurou em altos níveis nos dias 3 e 4 de Dezembro. Por conta disso, essa frente recuou e manteve-se semi-estacionária no sul do país. A partir do dia 8, se propagou rumo ao Sudeste já com intensidade e capacidade de gerar oscilações subinerciais reduzida. Por falhar na tentativa de percorrer o seu caminho ao longo da costa devido ao vórtice ciclônico, as respostas no oceano foram também influenciadas. Os marégrafos de Ilha Fiscal e Macaé não registraram picos de elevações subinerciais significativos. Analisando os mapas de ASM percebe-se que ao invés de uma propagação contínua de uma cava seguida por uma crista de elevação como era de se esperar, o que ocorreu nos dias subsequentes foi uma atenuação da cava com reversão de fluxo provavelmente devido à oscilação sofrida pela frente ou pelo princípio da superposição de ondas. Nessa última, ao retornar para o sul, o

cavado posicionado à vanguarda da frente iria de encontro com os picos que ainda estariam se propagando rumo ao norte. Esse efeito poderia somar as alturas das cristas e das cavas, apresentando assim valores pouco expressivos. Insta salientar ainda que outro fator que pode ter influenciado na reversão dessa onda foi proposto por Brink (1991). O autor concluiu que quando ondas se propagam em sentido oposto ao da corrente que domina o fluxo local, no caso a Corrente do Brasil, a direção de propagação da onda pode ser revertida.

Quanto ao tempo de resposta, as estações de Imbituba, Cananéia, Ilha Fiscal e Macaé apresentaram valores bem próximos e que vão de acordo com os encontrados na literatura específica. Segundo Campos *et al.* (2010), no Sudeste, as elevações subinerciais positivas são marcadas por um cavado bem pronunciado em média 48 horas antes do registro de elevação máxima. A estação de Salvador apresentou os maiores tempos de resposta de 5,63 e 6,33 dias, pois segundo Castro & Lee (1995), quando as perturbações externas chegam nessas regiões, sua influência já se encontra defasada apresentando maiores tempos de resposta e menores elevações. Outra possibilidade seria que o deslocamento de ondas longas depende da largura, profundidade e estratificação da coluna de água (Huthnance, 1978; Brink, 1982). A conclusão de Brink (1982) também deve ser levada em consideração. Ele deduziu que com o aumento da estratificação, e nesse caso essa estratificação pode ser entendida como uma plataforma mais abrupta típica do litoral do Nordeste, essas ondas podem se dispersar para o oceano aberto.

A plataforma interna é dominada principalmente por águas costeiras que tendem a ser verticalmente homogêneas devido à mistura, estresse pelo vento e cisalhamento das marés. Uma frente termal separa as águas da plataforma interna mais próximas à costa, das águas que se adentram pelo talude (Fillipo *et al.*, 2012). A posição média dessa frente muda sazonalmente sendo mais próxima à costa no verão (10-20 km) e muito mais distante desta (40-50 km) no inverno (Castro & Miranda, 1998). Fillipo *et al.* (2012) concluíram que essa segregação das águas costeiras em dois tipos com propriedades semelhantes entre si facilita a geração e propagação de ondas de plataforma barotrópicas. As ondas superficiais, ou barotrópicas, penetram por toda a camada do fluido sem estratificação. No caso de camadas apresentando gradientes de densidade, essas ondas são chamadas de internas, ou baroclínicas (Wang, 2002).

A costa Atlântica do Brasil exibe ondas que se propagam na direção norte-nordeste com a costa à esquerda do sentido da propagação (Castro, 1985; Dragani *et al.*, 2002). Aparentemente, essas ondas se propagam como típicas ondas de Kelvin. Essas ondas são um tipo especial de ondas de gravidade que são afetadas pela rotação da Terra ficando trapezadas no Equador ou ao longo de limites verticais como linhas de costa (Wang, 2002).

Castro & Miranda (1998) descreveram os processos físicos da plataforma continental brasileira, mas não mencionaram a propagação de ondas de Kelvin. Wang (2002) classificou as ondas de Kelvin em costeiras aprisionadas e equatoriais aprisionadas. Afirmou também que em regiões costeiras, as ondas de Kelvin podem ser geradas por maré meteorológica (como um ajuste do oceano para perturbações geradas pelo vento), sofrerem difração pelos limites verticais e serem espalhadas pelas irregularidades dos relevos costeiros. Wang (2002) concluiu alegando que as variações nos campos de vento e nos gradientes de pressão atmosférica na superfície dos oceanos são possíveis fontes de energia para essas ondas de Kelvin.

Na camada mais interna da plataforma, até os 100 km de extensão, as ondas longas costeiras aprisionadas se tornam ondas de Kelvin (Wang & Mooers, 1976; Gill & Schumann, 1979). As ondas de Kelvin possuem as maiores amplitudes na costa. Sua amplitude decai rapidamente na direção do oceano aberto, de modo que sua presença só pode ser notada numa faixa estreita de largura ao longo da costa. Seu período é na faixa de dias até poucas semanas, afinal, essas ondas se manifestam como lentas variações do nível do mar.

Embora este estudo não tenha se aprofundado na caracterização e quantificação do tipo de onda propagada e sim, na observação e ocorrência dessas ondas subinerciais ao longo do litoral brasileiro, as ondas estudadas no presente trabalho apresentam grande semelhança com as descritas na literatura específica como ondas de Kelvin costeiras barotrópicas.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi investigado o deslocamento de ondas subinerciais que se propagaram ao longo da costa brasileira devido à influência de SFs com padrões específicos quanto a sua duração, extensão e intensidade, advindos do sul do continente Sul-Americano. A partir dos resultados apresentados, fica evidente que essas ondas se deslocam do sul no sentido norte/nordeste contornando a linha de costa e podendo se intensificar ao atravessar a região do Embaiamento Sul do Brasil. As ondas que conseguiram alcançar a região do Nordeste Brasileiro apresentaram os maiores tempos de resposta após a passagem da frente e tendo dissipado parte de sua energia no trajeto, não variaram significativamente o nível do mar. Esses resultados corroboram com os encontrados por Castro & Lee (1995).

Devido à semelhança encontrada na literatura científica, essas ondas foram classificadas como ondas de Kelvin costeiras barotrópicas, um tipo de onda costeira aprisionada que se propaga na superfície de um oceano homogêneo mantendo a costa à sua esquerda.

Embora tenha sido possível discorrer sobre o padrão de deslocamento das ondas, em diversas ocasiões houve uma necessidade de uma abordagem puramente quantitativa. Em trabalhos futuros, seria interessante a análise de alguns parâmetros característicos das ondas como velocidade de fase, período, entre outras. A elaboração de um diagrama de Hovmoller poderia contribuir de forma efetiva para o estudo da distribuição espacial das ondas através do tempo.

6. REFERÊNCIAS

- Batista Neto, J. A.; Silva, C. G., 2004. **Morfologia do Fundo Oceânico**. In: Batista Neto, J. A.; Ponzi, V. R. A.; Sichel, S. E. (Org.) Introdução a geologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p. 31-51.
- Bedran, C.; Carneiro C. T.; Saraiva, J., 2000. **Monitoramento de “storm surge” na costa sul do Rio Grande do Sul**. Trabalho submetido ao Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas: Morfodinâmica, Ecologia, Usos, Riscos e Gestão, Itajaí.
- Bleck, R.; Boudra, D., 1981. **Initial testing of a numerical ocean circulation model using a hybrid (quasi-isopycnic) vertical coordinate**. J. Phys. Oceanogr., 11, 755-770.
- Bleck, R.; Benjamin, S., 1993: **Regional weather prediction with a model combining terrain-following and isentropic coordinates. Part I: Model description**. Mon. Wea. Rev., 121, 1770-1785.
- Bleck, R., 2002. **An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-cartesian coordinates**. Ocean Modelling, 4, 55-88.
- Boyer, P. R., 1969. **Structure of the continental margin of Brazil. Natal to Rio de Janeiro**. Thesis University Illinois, Urbana. 93p.
- Brigatti, N.; Sant’anna Neto, J. L., 2011. **Dinâmica climática e variações do nível do mar na geração de enchentes, inundações e ressacas no litoral norte paulista**. Revista Formação, n.15 volume 2 – p. 25-36.
- Brink, K.H., 1982. **The effect of bottom friction on low-frequency coastal trapped waves**. Journal of Physical Oceanography, 12: 127-133.
- Brink K.H., 1991. **Coastal-trapped waves and wind-driven currents over the Continental Shelf**. Annual Review of Fluid Mechanics, 23: 389-412.
- Calheiros, R. V.; P. L. Silva Dias, 1988. **Como prever melhor**. Climanálise, 3(2), 31-32.
- Camargo, R.; Harari, J.; Caruzzo, A., 1999. **Basic Statistics of Storm Surges Over the South-Western Atlantic**. Afro-America Gloss news, v.3, n.2, p.12-14. S. Paulo.
- Campos, R. M.; Camargo, R. D.; Harari, J., 2010. **Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, 25, 2, 175-184.

Candela, J.S.; Mazzola, S.; Sammari, C.; Limeburner, R.C; Lozano, J.; Patti, B. ; Bonano, A., 1999. **The “Mad Sea” phenomenon in the Strait of Sicily.** Journal of Physical Oceanography, 29: 2210-2231.

Casarin, D. P., e V. E. Kousky, 1986: **Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações da circulação atmosférica.** Rev. Bras. Meteo., 1, 83-90.

Castro, B. M., 1990. **Wind driven currents in the channel of São Sebastião: winter, 1979.** Bol. Inst. Oceanogr., 38(2), 111-132.

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

Castro B.M.; Miranda, L.B. 1998. **Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located between 4°N and 34°S.** In: Robinson ar & Brink kh (eds.). The Sea. John Wiley & Sons Inc.,p. 209-251.

Cazenave, A.; Nerem, R.S, 2004. **Present-day sea level change: Observations and causes.** Rev. Geophys. 42(3):1–20.

Chao, S.-Y.; Pietrafesa, L. J., 1980. **The subtidal response of sea level to atmospheric forcing in the Carolina capes, J. Phys. Oceanography.,10. 1246-1255.**

Chassignet, E.P.; L.T. Smith; G.R. Halliwell; R. Bleck, 2003. **North Atlantic simulations with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference density, and thermobaricity.** J. Phys. Oceanogr., 33, 2504-2526.

Chelton, D.B.; Schlax M.G.; Witter D.L.; Richmann J.;G, 1990. **Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean.** Journal of Geophysical Research, v. 95, p. 877– 903.

Cirano, M.; Lessa, G.C., 2007. **Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil.** Revista Brasileira de Geofísica, 25(4),363–387.

Climanálise, 1986. Revista brasileira de meteorologia – número especial. inpe.

CPTEC, 2012. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acessado em 03/07/2013

Cummings, J.A., 2005. **Operational multivariate ocean data assimilation.** Quart. J. Royal Met. Soc., Part C, 131(613), 3583-3604.

Dereczynski, C. P.; Chan, S. C., 2006. **Avaliação do modelo Eta durante um episódio de ZCAS.** In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, Santa Catarina (CDROM).

DHN, 2007. Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/mares.html>. Acessado em 27/07/2013.

Dragani, W.C.; Mazio, C.A.; Nuñez, M.N., 2002. **Sea level oscillations in coastal waters of Buenos Aires province, Argentina.** Continental Shelf Research, 22: 779-790.

Elmore, W.C.; Heald, M.A., 1985. **Physics of Waves.** American Journal of Physics, Volume 69, Issue 8.

Ferreira, N. J.; Sanches, M.; Silva Dias, M. A. F, 2004. **Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

Filippo, A.; Kjerfve, B.; Torres, A. R. Jr.; Fernandes, A. M., 2012. **Low-frequency variability of sea level along the Mid-Atlantic Coast of South America, in 1983.** *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 30, n. 1.

Gemiacki, L., 2005. **Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil,** Dissertação De Mestrado, UFAL.

Gemiacki, L.; Fedorova, N., 2006 **Atuação de um sistema frontal na estação seca do nordeste do Brasil.** In: congresso brasileiro de meteorologia, xiv - (cbmet), , Florianópolis, SC. Proceedings.CD-ROM; Papel. (INPE-14556-PRE/9586).

Gill A.E.; Schumann E.H., 1979. Topographically Induced Changes in Structure of an Inertial Coastal Jet: Application to the Agulhas Current. *Journal of Physical Oceanography*, 9: 975-991.

Gill, A.E., 1982. **Atmosphere-Ocean Dynamics.** New York: Academic Press, 662 p.

Gordon, A.L., 1989. **Brazil - Malvinas Confluence – 1984.** *Deep-Sea Research*, v. 36, p. 359–384.

Goring, D.G., 1995. **Short-term variations in sea level (2-15 days) in the New Zealand region.** New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research*, 29, 69-82.

Halliwell, G., 2004. **Evaluation of vertical coordinate and vertical mixing algorithms in the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM).** *Ocean Modelling*, 7, 285-322.

Harari, J.; Camargo, R., 1995. **Tides and sea mean level variabilities in Santos (SP), 1944 to 1989.** Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 15p.

Hibiya, T., Kajiura, K., 1982. **Origin of the Abiki phenomenon (a kind of seiche) in Nagasaki Bay.** J. Oceanogr. Soc. Jpn., 38, 172-182.

Huthnance, J.M., 1978. **On coastal trapped waves: analysis and numerical calculation by inverse iteration.** Journal of physical oceanography, 8: 74-92.

IOC, 1997. **Global Sea Level Observing System (GLOSS) Implementation Plan.** Intergovernmental Oceanographic Commission. Technical Series N°50. IOC, Paris, 91 pp.

Jong, M., 2004. **Origin and Prediction of Seiches in Roterdan Harbours Basins. Comunication on Hidraulic and Geotechnical Engineering.** ISSN 0169-6548 Report 04-2, March, 2004.

Kodama, Y., 1993: **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ and The SACZ), Part I: Characteristics of Subtropical Precipitation Zones.** J. Met. Soc. Japan, 70: 813-836.

Kousky, V. E., 1979. **Frontal Influences on Northeast Brazil.** Monthly Weather Review. v. 107, n. 9, p 1140 – 1153.

Lemos, C. F; Calbete, N. O., 1996. **Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995).** In: Cavalcanti, I. F. A.; Abreu, M. L.; Satyamurty, P.; Oliveira, G. S.; Fernandes, K. A.; Rosas, M. P. A. G; Costa, F. C.; Junior, R. V. B. Especial – Edição comemorativa de 10 anos. CPTEC/INPE, p. 131-135, 1996.

Marshall, J.; Plumb, R. A., 2008. **Atmosphere, ocean and climate dynamics: an introductory text.** London: Elsevier (International Geophysics, 93), 97 - 104 p.

Mei, C. C., 1989. **The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves,** John Wiley, New York.

Occhipinti, A . G., 1963. **Climatologia dinâmica do litoral sul brasileiro.** ContrcoesIn. st. Oceanogr..Univ. of SaoP aulo, Set. Ocean. Fis. 3, Sao Paulo, Brazil.

Oliveira, M.M.F.; Ebecken, N.F.F.; Caloba, L.P.; Santos, I. A.; Oliveira, J.L.F., 2006. **Modelagem da Maré Meteorológica Utilizando Redes Neurais Artificiais: Uma Aplicação para a Baía de Paranaguá - PR, Parte 1: Dados Meteorológicos da Estação de Superfície.** Revista Brasileira de Meteorologia, 21, 220-231.

Peixoto, J. P.; Oort, A., 1992. **Physics of Climate**. 1. ed. New York: American Institute of Physics, 520 p.

Pereira da Silva, A. M.; Lindzen, R. S., 1999. **On the establishment of stationary waves in the northern hemisphere winter**. Journal of the Atmospheric Sciences, 50(01), p. 43-61.

Piola, A.R.; Matano R.P., 2001. **Brazil and Falklands (Malvinas) currents**. Sea Research, v. 39.

Pugh, D. T., 1987. **Tides, Surges and Mean Sea Level**. Great Britain: John Wiley & Sons, 472 p.

Quadro, M. F. L., 1994. **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos.

Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. S. P., 2006. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**, ed.1 ch. 1, p. 18–41, São Paulo: Edusp.

Sandstrom, H., 1980. **On the Wind-induced sea level changes on the Scotian Shelf**. J. Geophys., 85, 461-468.

Saraiva, J. M. B.; Bedran, C.; Carneiro, C., 2003. **Monitoring of storm surges on Cassino Beach, RS, Brazil**. Journal of Coastal Research, 35, 323-331.

Satyamurty, P.; Mattos, L. F., 1989. **Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence**. Monthly Weather Review, 117, n. 6, p. 1355-136.

Silva Dias, P. L., 1988: **As anomalias globais observadas em fevereiro e a previsão de médio a longo prazo**. Climanálise, 3(2), 32-33.

Silveira, I.C.A.; Schmidt, A.K.; Campos E.J.D.; Godol, S.S.; Ikeda, Y., 2000. **A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira**. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 48, n° 2, p. 171-183.

Stech, J. L.; Lorenzetti, J. A., 1992. **The response of the south Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts**. Journal of Geophysical research, 97(6), 9507-9520.

Stewart, R. H., 2007. **Introduction to Physical Oceanography**. College Station: Texas A&M University, 143-147 p.

Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W.; Fleming, R. H., 1942. **The oceans: their physics, chemistry, and general biology**. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1087p.

Tessler, M. G.; Mahiques, M. M., 2003. **Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos**. In: Teixeira, W.; Toledo, M. C. M. de; Fairchild, T. R.; Taioll, F. (Org.). Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 261-284.

Tomczak M., 2000. **Coastal trapped waves and other oscillations**. Notes, Chapter 8.

Truccolo, E. C.; Melo Filho, E.; Schettini, C. A. F., 1996. **Oscilação do nível do mar em resposta à forçantes meteorológicas em São Francisco do Sul – SC: Evento de julho de 1996**. Proceedings of the 3rd Symposium of Oceanography (São Paulo, Brazil), pp. 381.

Varejão-Silva, M. A., 2000. **Meteorologia e Climatologia**. Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, DF, 515p.

Varejão-Silva, M.A., 2006. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão digital 2, 312p.

Vianello, R. L.; Alves, A. R., 1991. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.

Vidal, C.; Medina, R.; Monserrat, S.; Matín, F. L., 2001. **Harbor resonance induced by pressure-forced surface waves**. Paper presented at Coastal Engineering 2000. Civ Eng, rev.

WANG, D.P.; MOOERS C.N.K., 1976. **Coastal-trapped waves in a continuously stratified ocean**. Journal of Physical Oceanography, 6: 853-863.

Wang, B. P., 1979. **Low frequency sea level variability on the Middle Atlantic Bight**. J. Mar. Res. 37, 683-697.

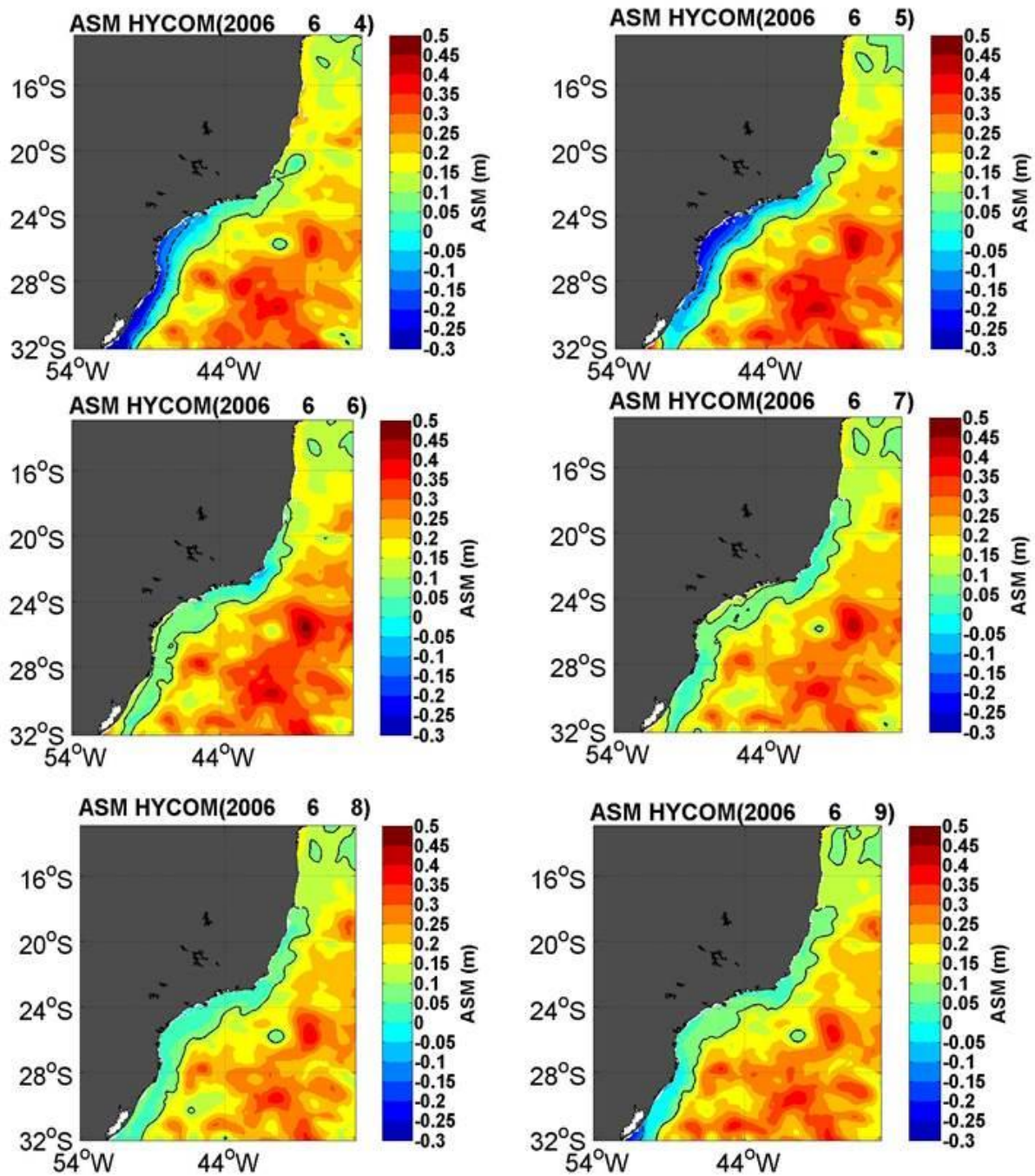
Wang, B. P., 2002. **Kelvin waves**. SHANKAR M (Ed.). Elsevier Science Ltd. Disponível em http://www.soest.hawaii.edu/MET/Faculty/bwang/bw/paper/wang_103.pdf. Acessado em 23/08/2013.

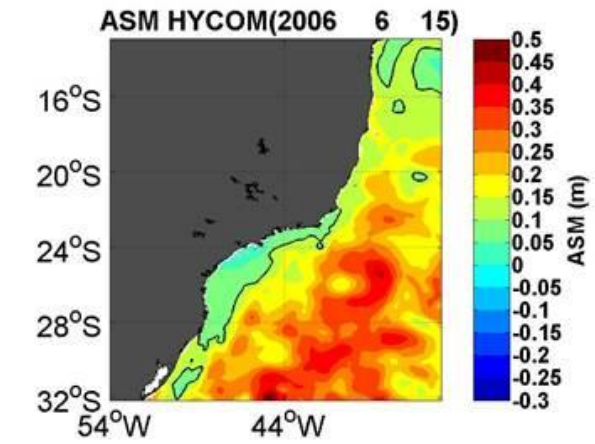
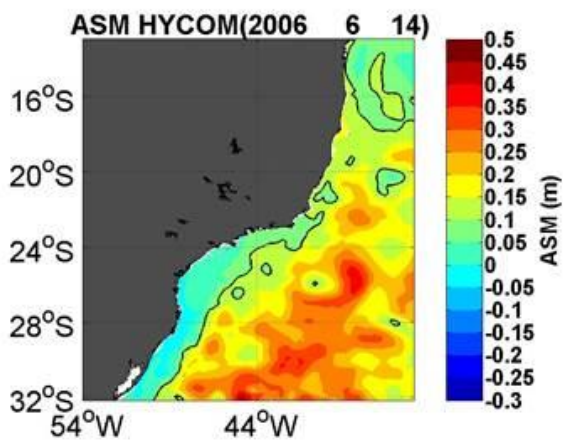
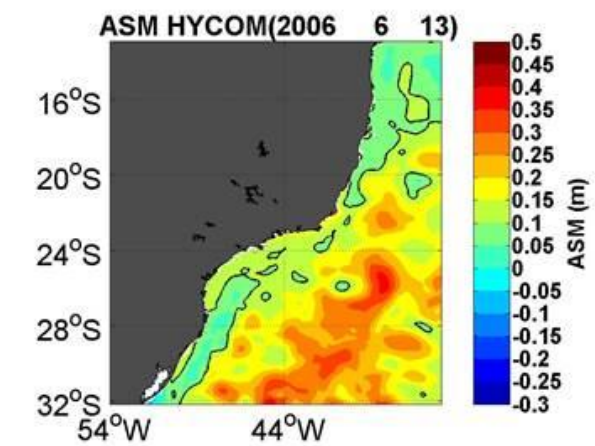
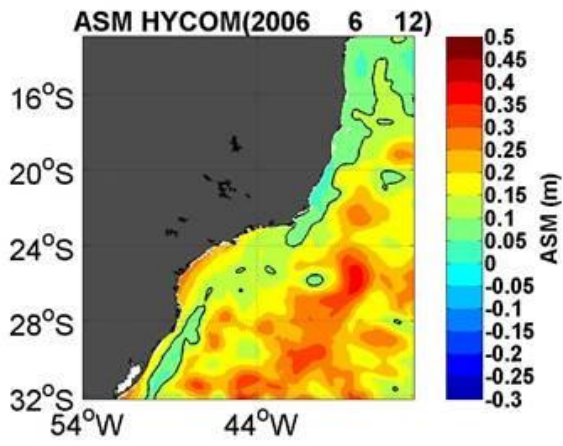
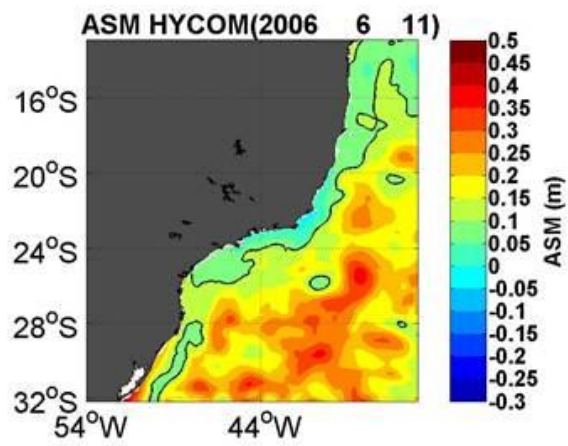
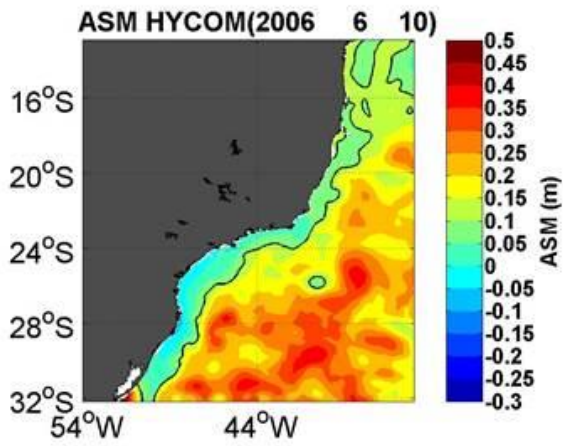
Zembruski, S. G; Barreto, H. T.; Palma, J. C.; Milliman, J. D., 1972. **Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira**. In: 26º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Anais... SBG, v. 2, p. 187-209.

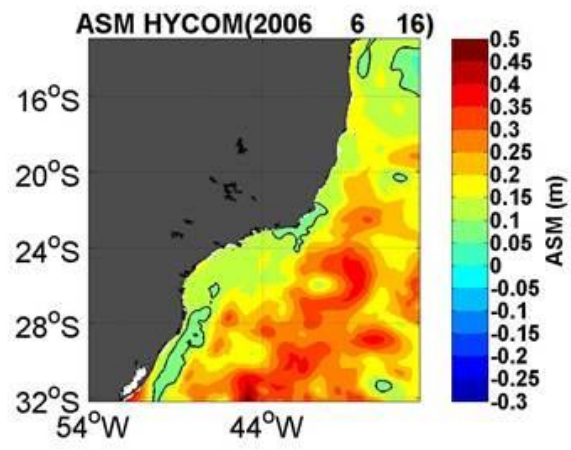
7. ANEXO I

Todos os mapas de ASM gerados pelo modelo numérico HYCOM+NCODA.

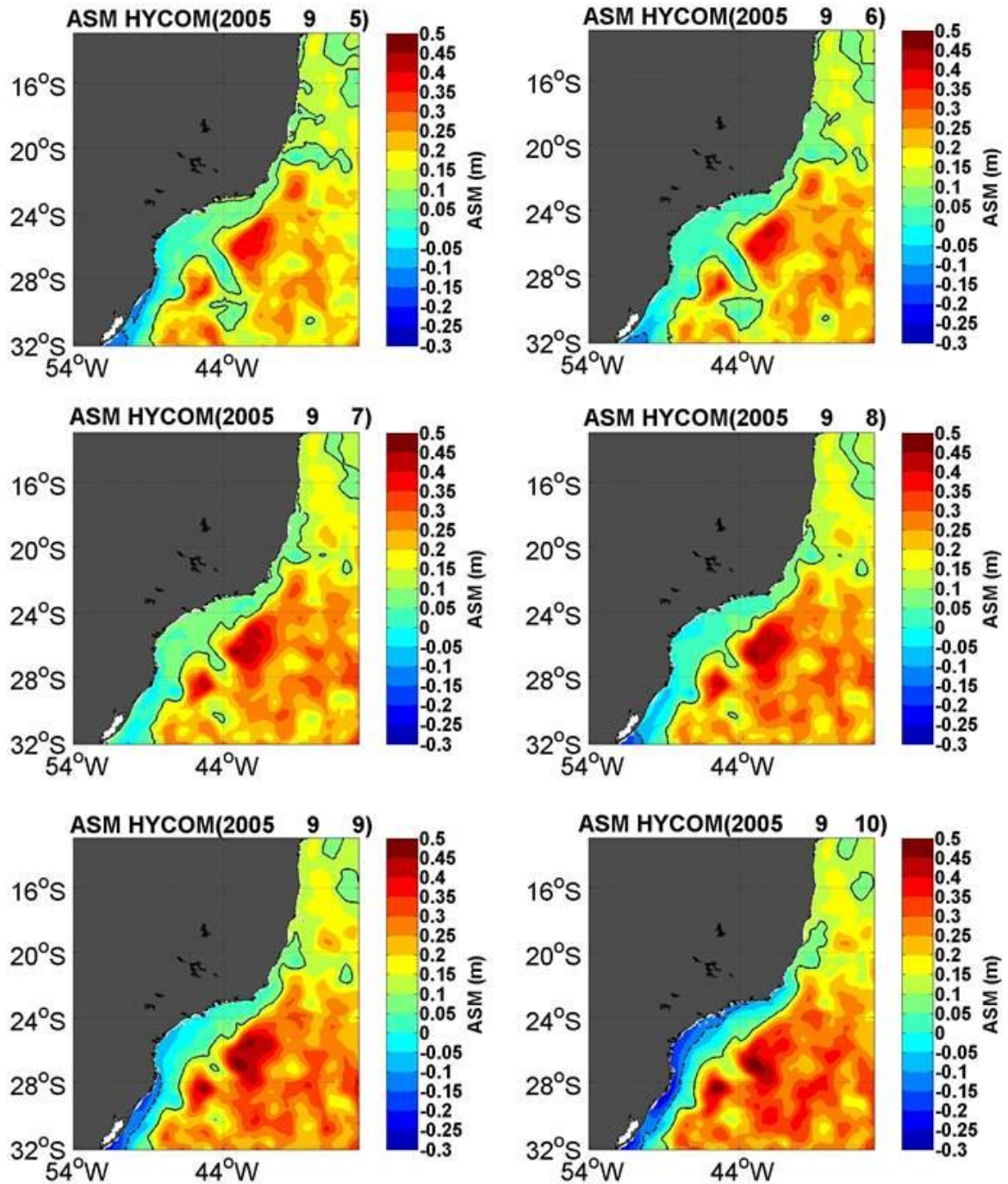
SFE - IMBITUBA

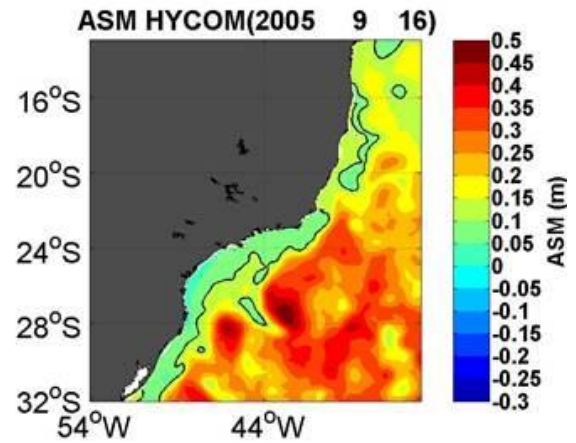
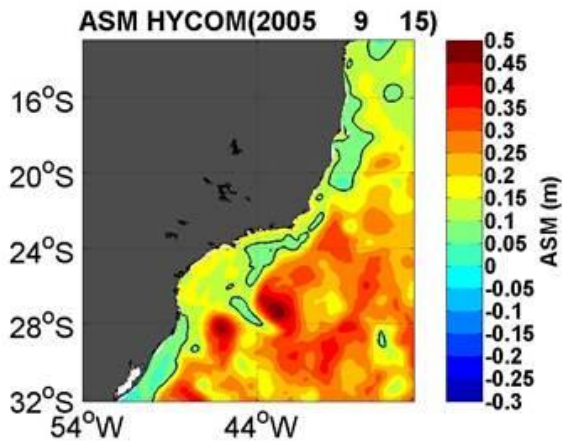
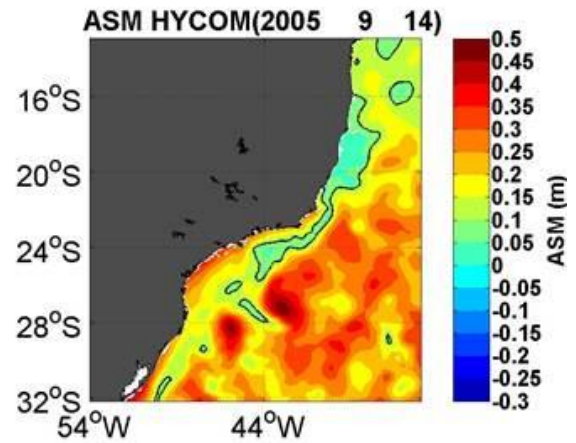
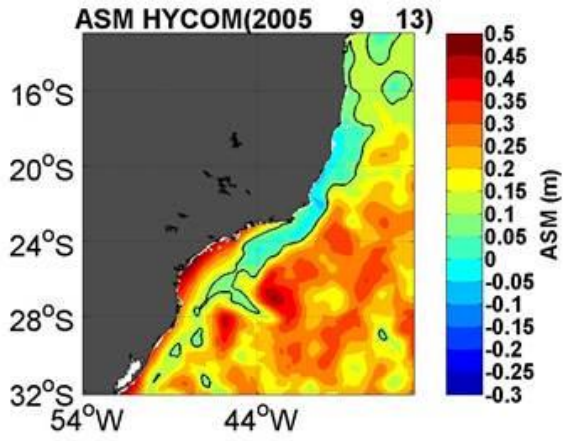
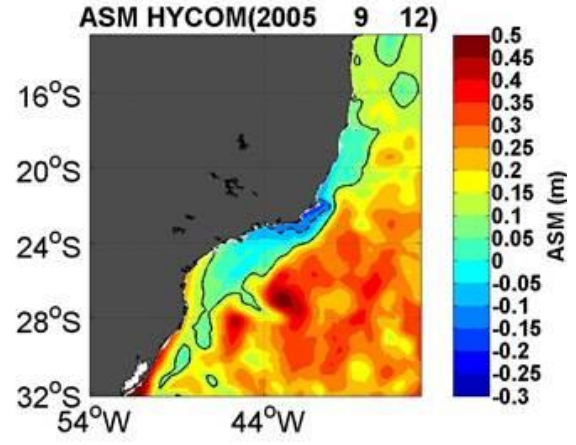
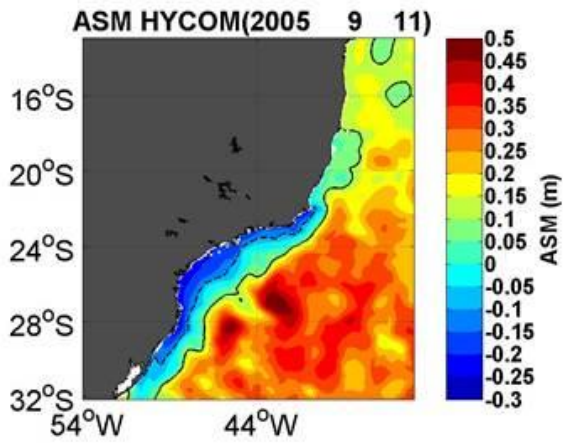


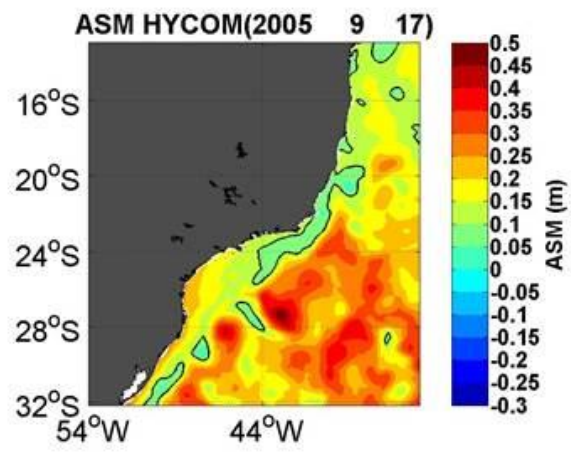




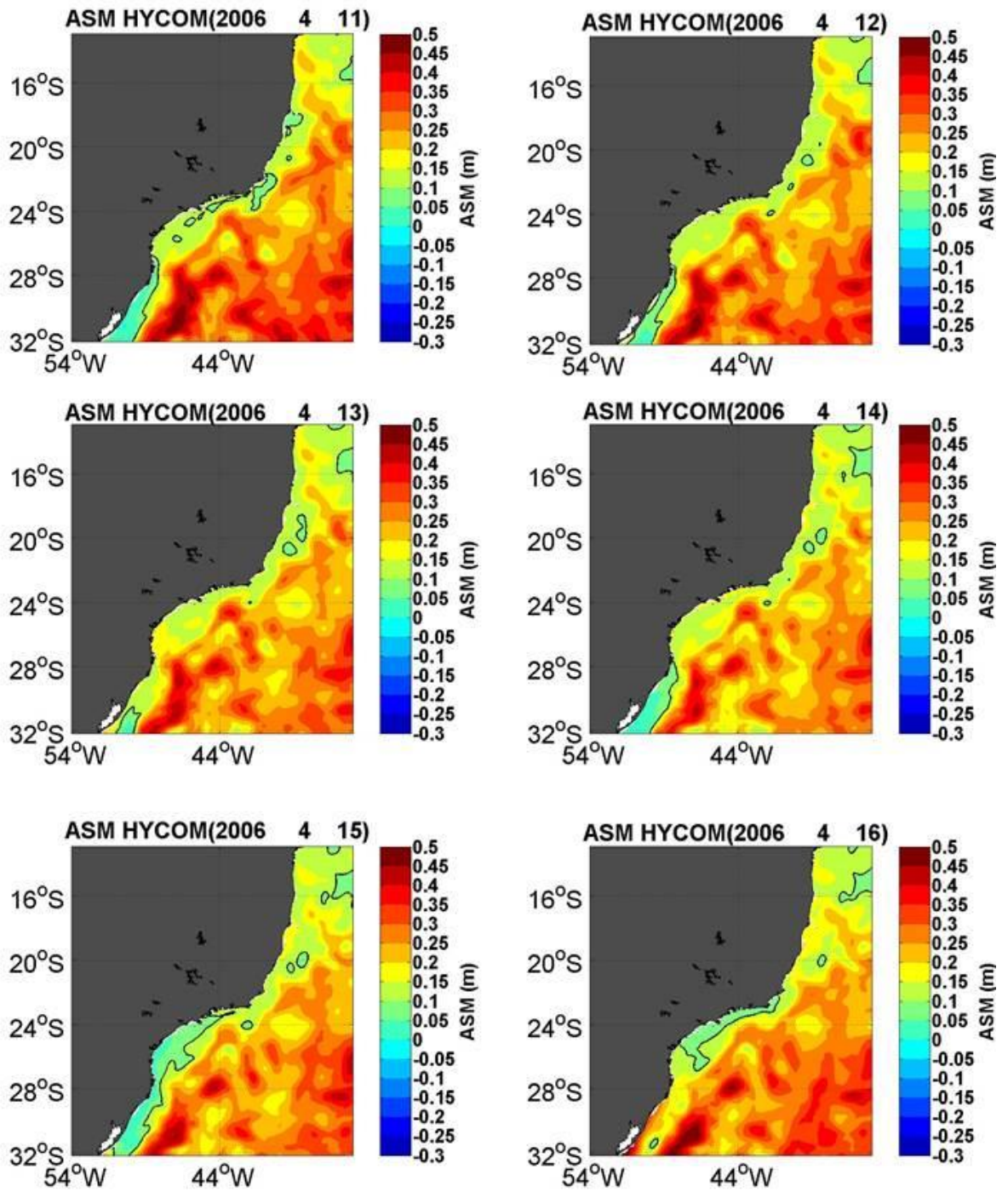
SFE- CANANÉIA/ILHA FISCAL

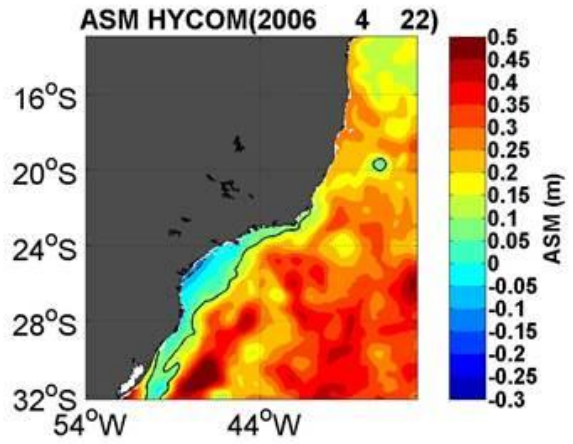
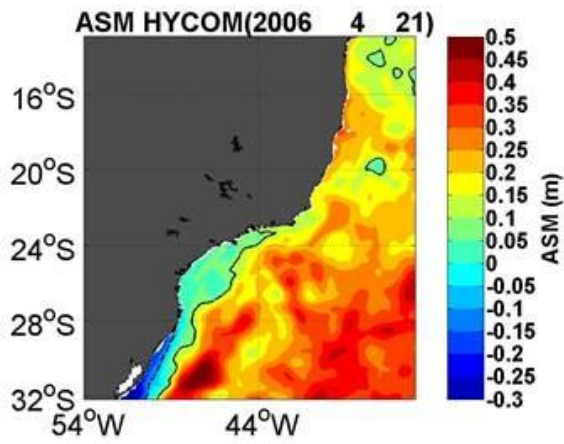
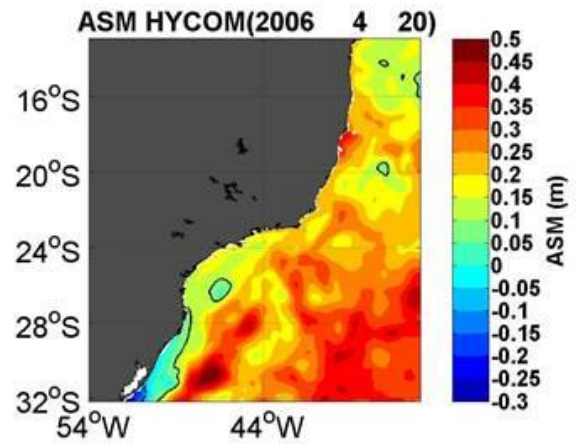
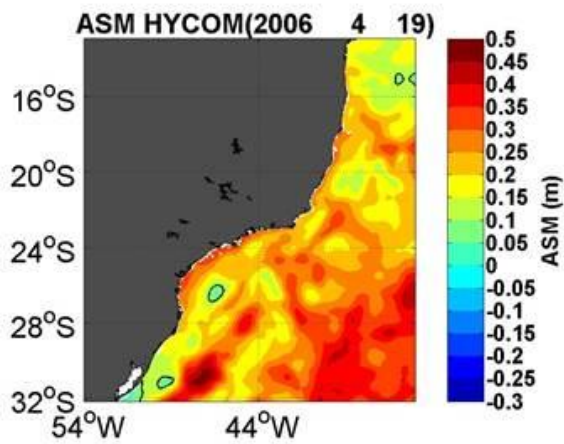
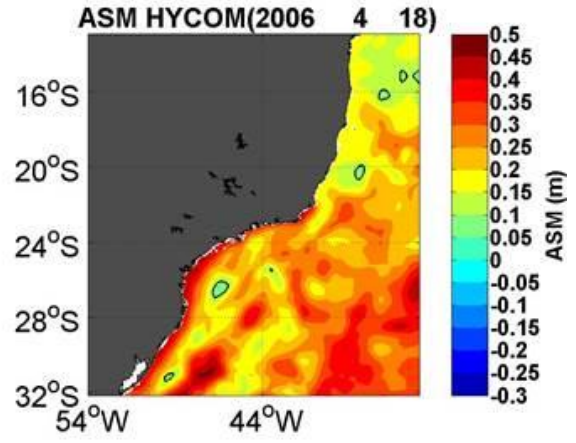
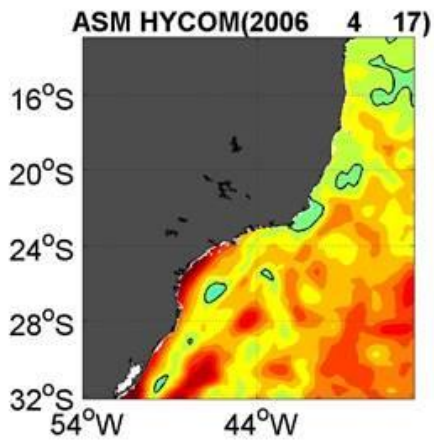


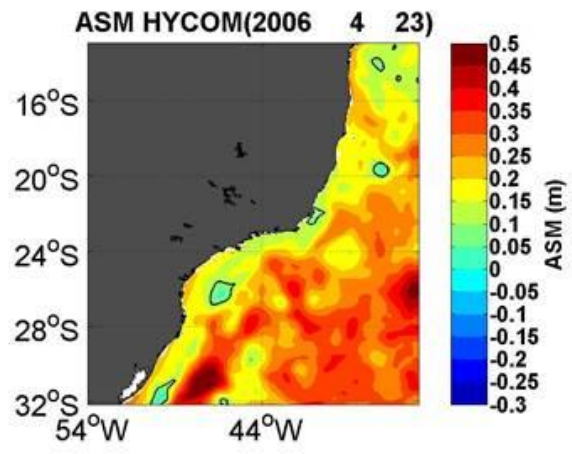




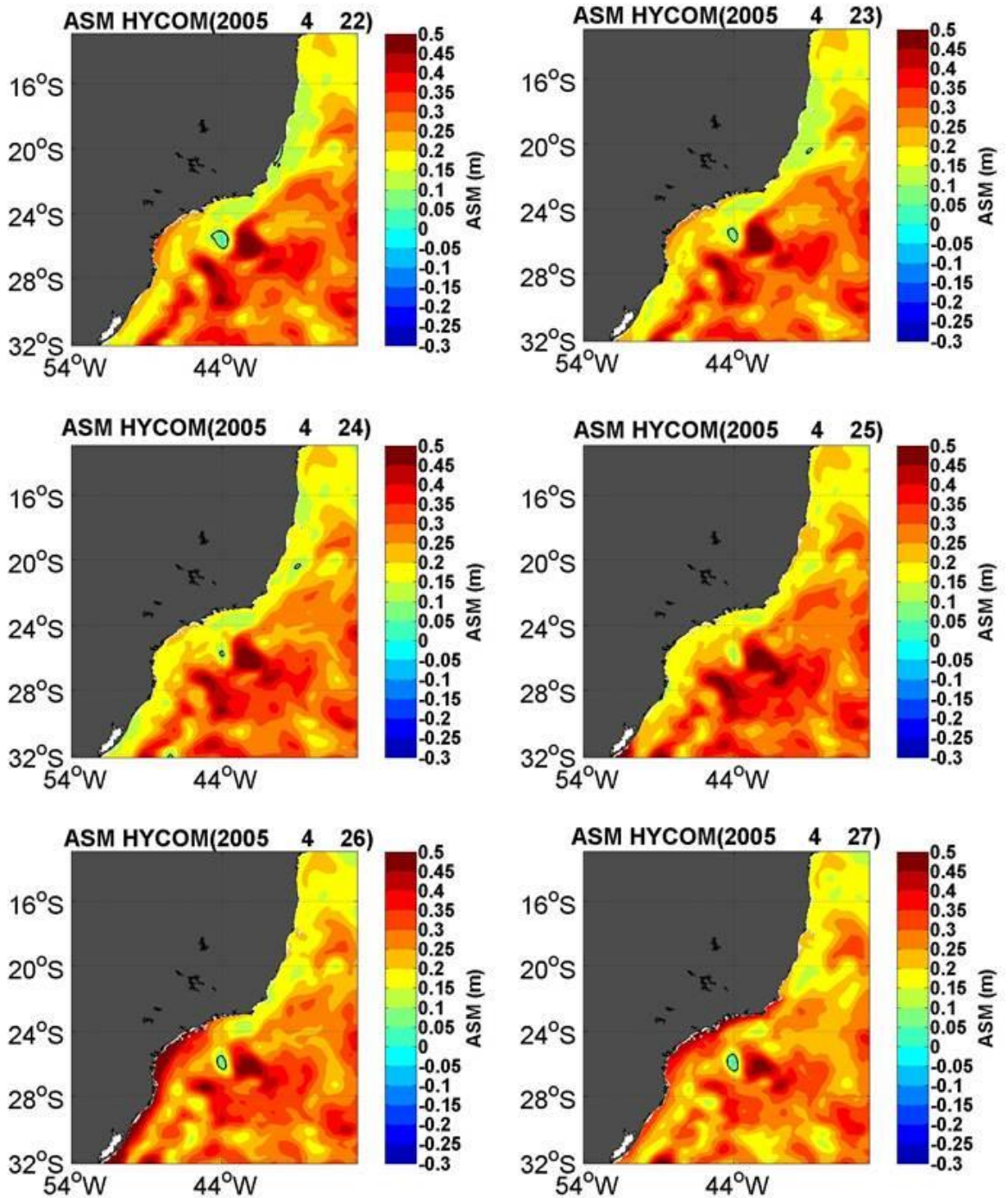
SFE - MACAÉ

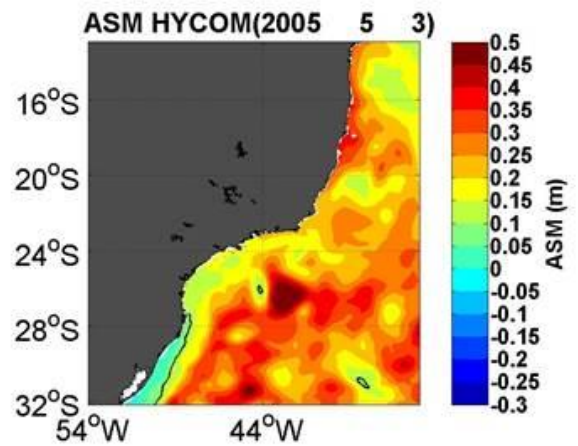
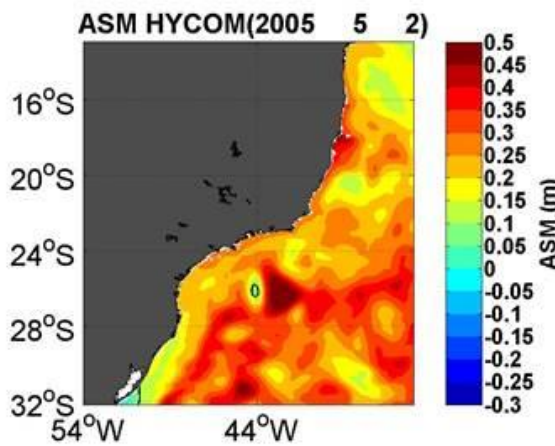
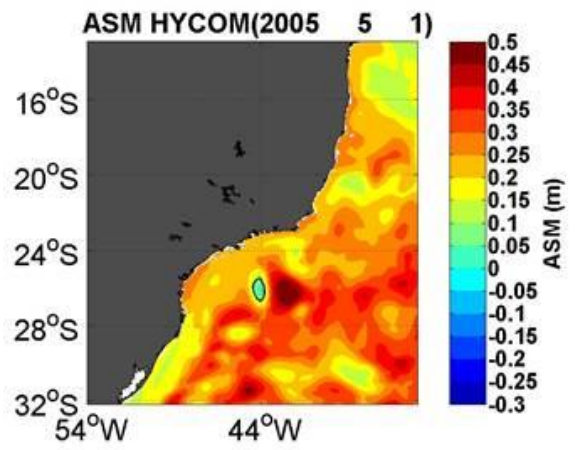
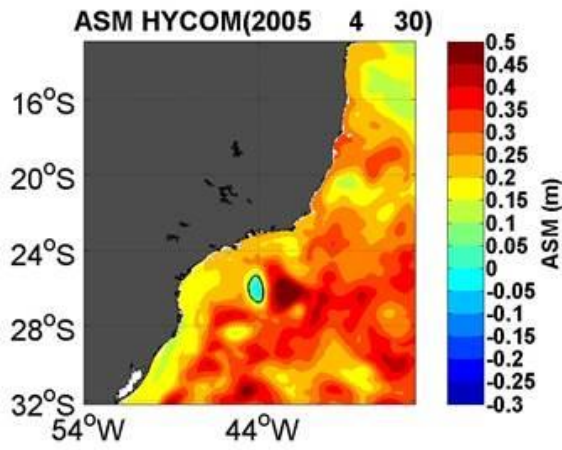
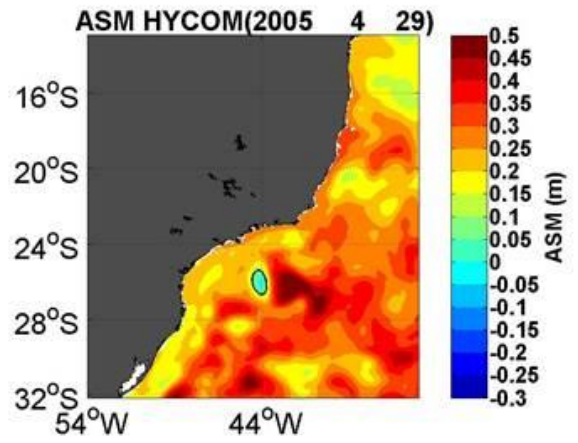
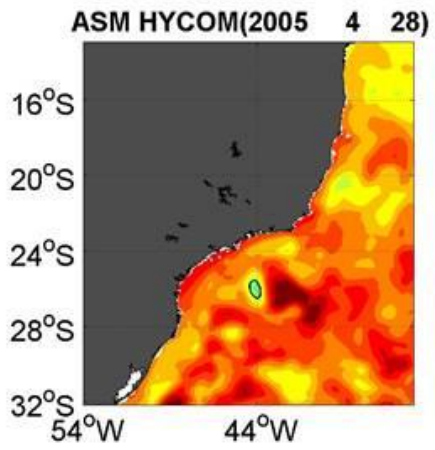


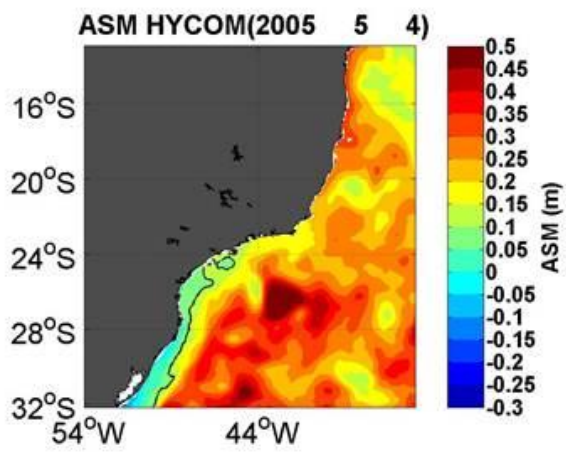




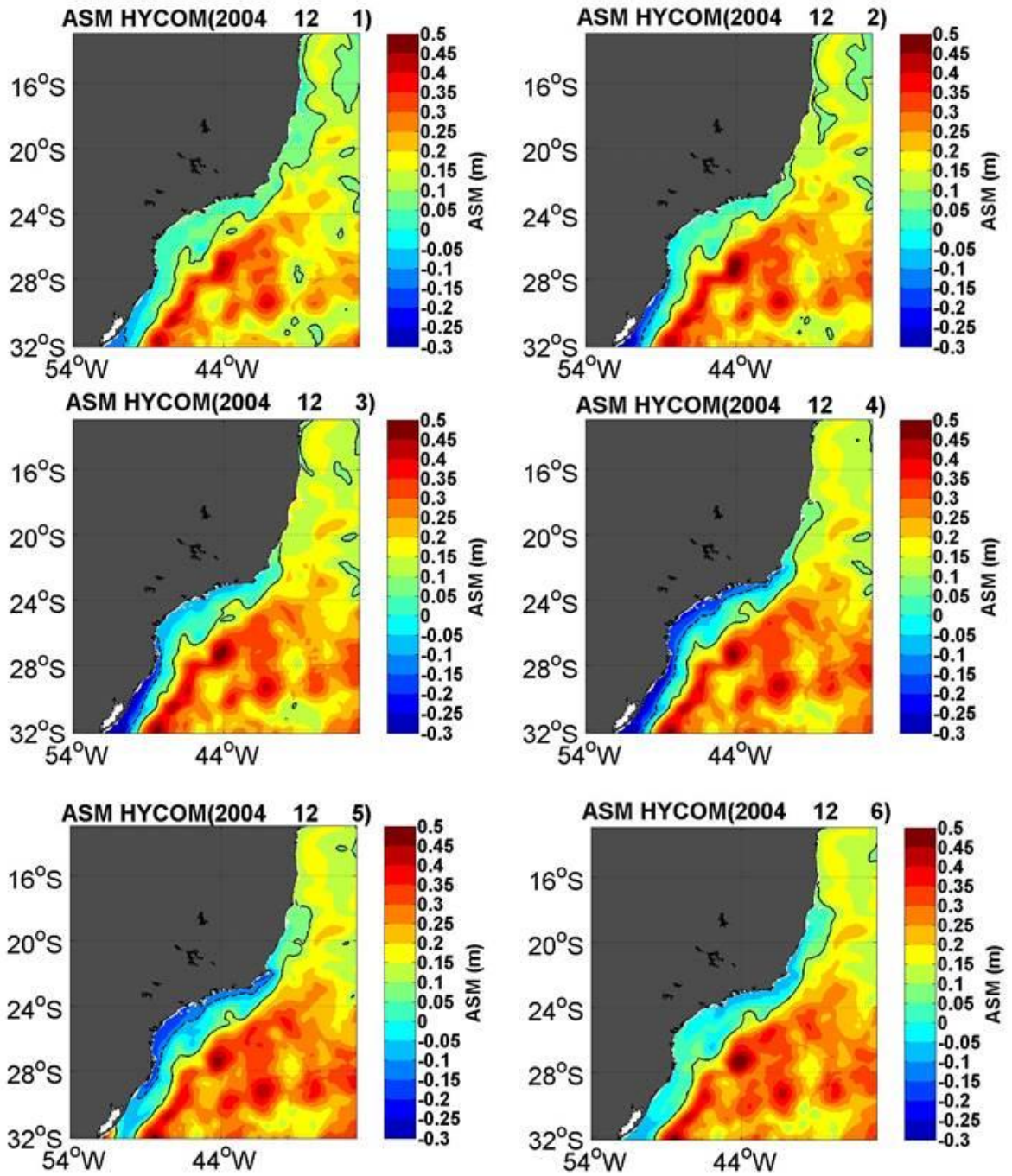
SFE - SALVADOR

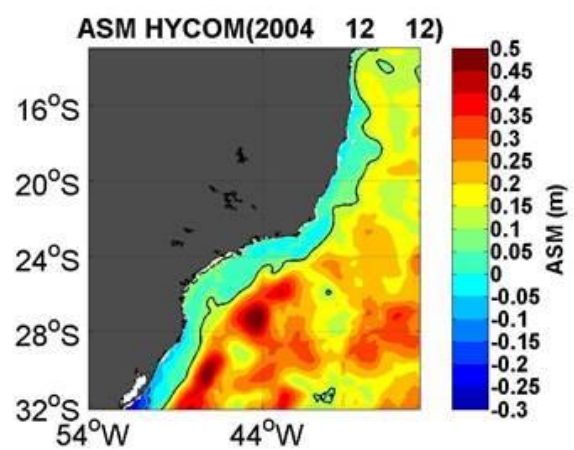
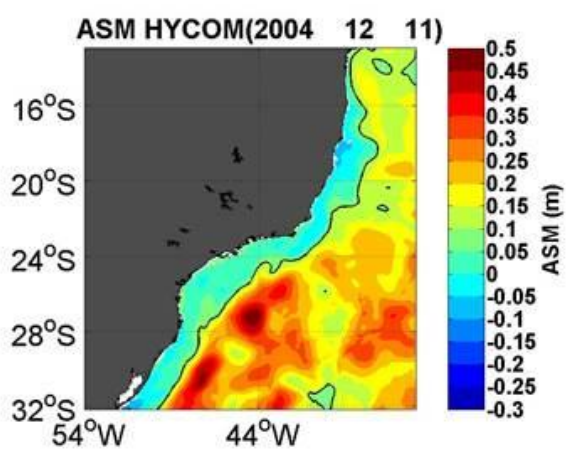
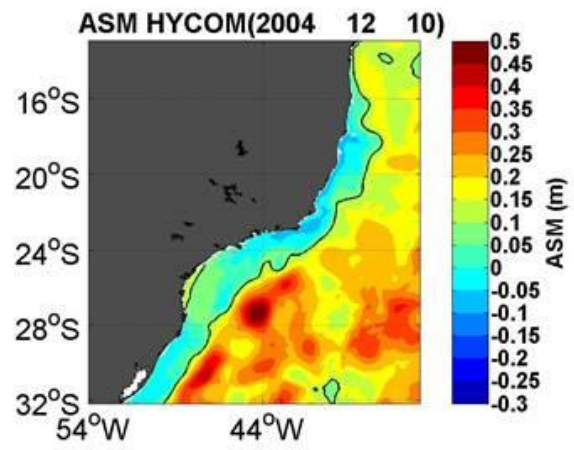
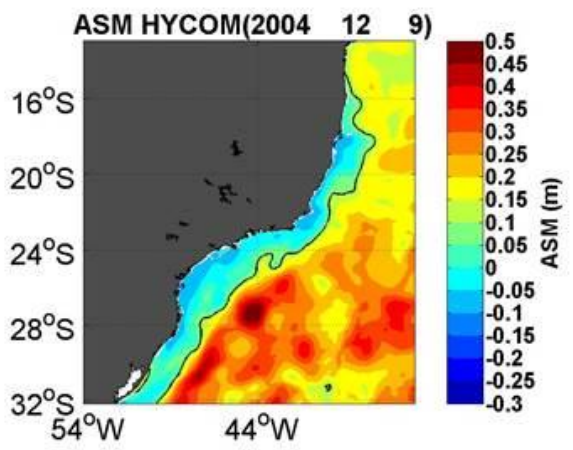
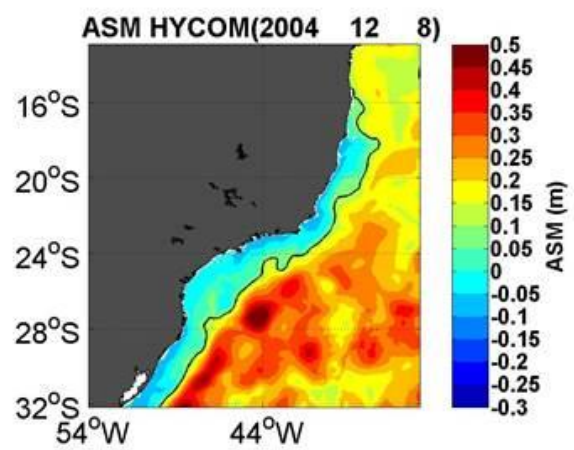
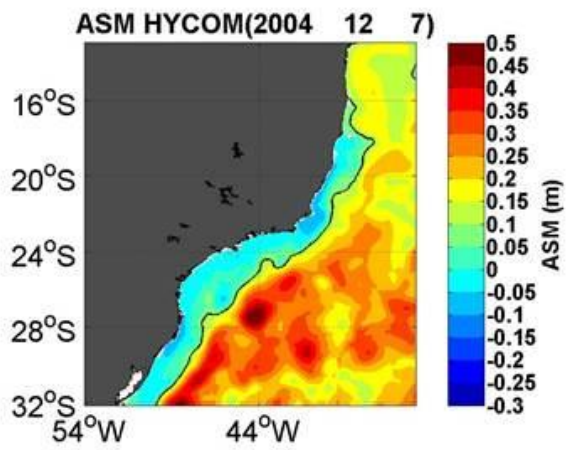


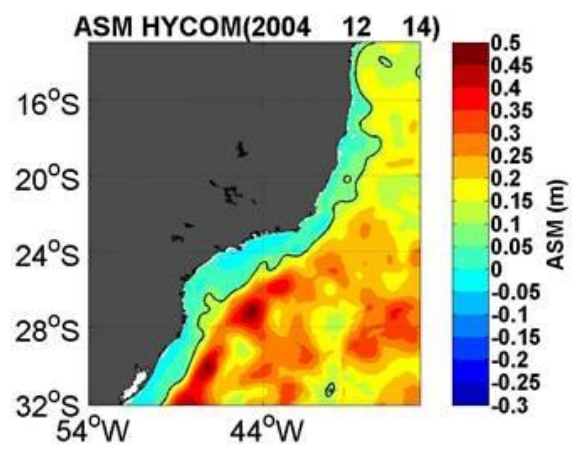
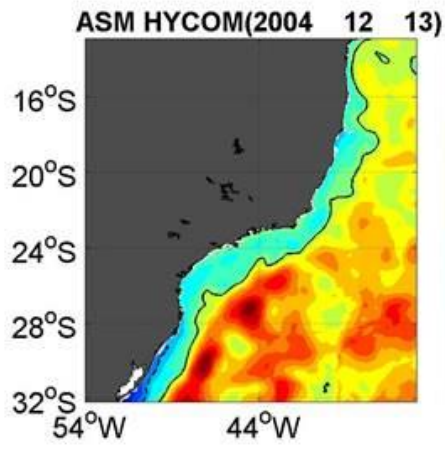




SFP







SFA

