



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

Mateus de Oliveira Lima

**Comportamento da Maré Meteorológica com foco no papel das
Frentes Frias no litoral brasileiro**

Salvador
2012

Comportamento da Maré Meteorológica com foco no papel das Frentes Frias no litoral brasileiro

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. Mauro Cirano

Salvador
2012

MATEUS DE OLIVEIRA LIMA

**Comportamento da Maré Meteorológica com foco no
papel das Frentes Frias no litoral brasileiro**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca
examinadora:

Clemente Augusto Souza Tanajura
Doutor em Meteorologia pela University of Maryland, EUA
Universidade Federal da Bahia

Guilherme Camargo Lessa
Doutor em Ciências Marinhas pela Universidade de Sydney, AUS
Universidade Federal da Bahia

Mauro Cirano - Orientador
Doutor em Oceanografia Física pela University of New South Wales, AUS
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 15 de junho de 2012

AGRADECIMENTOS

Sobretudo gostaria de agradecer a minha mãe e ao meu pai por me darem todo apoio e suporte durante todas as minhas escolhas e principalmente durante os anos da minha graduação que culminaram neste trabalho.

Agradeço também a toda minha família por me acolher e aconselhar ao longo da minha jornada profissional, em especial a meus irmãos que sempre me ajudaram nas horas mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mauro Cirano, por ter acreditado no meu potencial e pelo grande aprendizado que obtive durante a faculdade e elaboração deste trabalho. Sei que este trabalho será o primeiro de muitos que virão pela frente.

Aos grandes amigos e companheiros de surf que fiz durante minha jornada na faculdade, entre eles, Davi Mignac, Lucas Rocha, Liza Melo, Bruno Balbi, Rafael Campos, Filipe Costa, Felipe Pereira e Marcéu Lima. Em especial a Yemanja, que nos proporcionou direitas tubulares em reefs secretos.

A rede REMO pela grande oportunidade de poder trabalhar com excelentes pesquisadores em Oceanografia Física no Brasil.

A todos os professores do curso de Oceanografia da UFBA que me transmitiram seus conhecimentos, em especial a Prof. Dra. Vanessa Hatje.

A todos os integrantes da C.L.A.B. por em tão pouco tempo me proporcionar momentos inesquecíveis, em especial a Maurício Oliveira que se tornou um amigo para todos as ocasiões.

RESUMO

Este trabalho investiga o comportamento da maré meteorológica ao longo do litoral brasileiro com relação à entrada de frentes frias desde a região Sul até a região Nordeste do país. Uma climatologia mensal de sistemas frontais para 12 estações ao longo do litoral brasileiro desde o ano de 1996 até 2010 foi realizada, assim como, um modelo conceitual abordando as relações entre a elevação da superfície do mar subinercial e a tensão do vento paralela à costa com a entrada de frentes frias. O modelo conceitual de influência da penetração de frentes frias sob a maré meteorológica incluiu a estatística básica da elevação da superfície do mar subinercial e da tensão do vento paralela à costa, a resposta espectral entre estas duas séries temporais e a influência dos fenômenos interanuais El Niño e La Niña. Com a climatologia de frentes frias foi possível observar a diminuição da ocorrência de sistemas frontais com o deslocamento para latitudes mais baixas, bem como, o padrão sazonal de penetração de frentes frias em cada região do país. No modelo conceitual apenas as oscilações positivas da elevação da superfície do mar de baixa frequência foram estudadas, já que estas representaram 86% das oscilações em todas as estações maregráficas. A maré meteorológica positiva para o litoral brasileiro desde Rio Grande a Salvador apresentou uma diminuição da amplitude e um aumento no tempo de resposta das frentes frias sob a elevação subinercial com o deslocamento para a região nordeste do país. Após a entrada de sistemas frontais foi observado o aumento da componente Sul da tensão do vento paralela à costa, que favoreceu o empilhamento de água na costa devido ao transporte de Ekman. A análise espectral no domínio da frequência entre as séries temporais de vento e elevação apresentaram a dominância do espectro nas faixas de frequência relativas aos períodos de 5 a 9 dias e 2 a 4 dias. Os fenômenos interanuais El Niño e La Niña não apresentaram grandes alterações na quantidade de sistemas frontais que atingiram a região Sul e Sudeste do litoral brasileiro, porém em Salvador foi notável a maior quantidade de sistemas frontais em anos de La Niña em comparação com anos normais e de El Niño. Para a região Sudeste mais eventos extremos ocorreram em anos de El Niño em comparação com anos normais e de La Niña, enquanto que nas regiões Sul e Nordeste não foi possível observar uma relação entre os eventos extremos e os eventos ENOS devido ao curto período de dados.

Palavras-chave: Maré Meteorológica; Frente Fria; Fenômenos interanuais.

ABSTRACT

The storm surge behaviour along the Brazilian coast with respect to the cold fronts that penetrates from the southern region to the northeast of the country was investigated in this paper. A monthly climatology of frontal systems from 12 stations was conducted along the Brazilian coast from the 1996 to 2010 as well as a conceptual model that links the relationships between low frequency sea surface elevation and the long-shore wind stress with the entrance of cold fronts. The conceptual model of influence from the cold fronts penetration under the storms surges included the basic statistics of the low frequency sea surface elevation and long-shore wind stress, the spectral response in between those two time series and the influence of interannual phenomena El Niño and La Niña. Using the cold fronts climatology was possible to observe a decrease in occurrence of frontal systems due to the lower latitude displacement as well as the seasonal pattern of cold fronts penetration in each region of the country. In the conceptual model only the positive fluctuations of lower frequency sea surface elevation had been studied as they accounted for 86 of oscillations in all tide gauge stations. The positive storm surge for the Brazilian coast from Rio Grande to Salvador showed a decrease in the amplitude and an increase of the response time of cold fronts in the low frequency elevation with the northeastward displacement of the country. Afterwards the frontal systems arrivals was observed the rise of the South component of the alongshore wind stress which favoured the coastal upwelling due to Ekman transport. The spectral analysis in the frequency domain in between the wind and elevation time series presented the dominance of the spectrum in the frequency ranges for periods of 5 to 9 days and 2 to 4 days. The interannual phenomenons El Niño and La Niña did not show major changes in amount of frontal systems that hit the southern and southeastern Brazilian coast, but in Salvador was notably larger the amount of frontal systems in La Niña years compared to normal years and El Niño. In the Southeast region more extreme events have occurred in years of El Niño compared to normal years and La Niña, while in the South and Northeast regions could not detect a relationship between extreme events and ENOS due to short period of data.

Keywords: Storm Surge; Cold Fronts; Interannual phenomenons

Sumário

ABSTRACT	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
1. Introdução	14
2. Caracterização da Área de Estudo	18
2.1. Aspectos Meteorológicos	18
2.2. Aspectos Oceanográficos	20
3. Metodologia	22
3.1. Climatologia de Frentes Frias	22
3.2. Dados de elevação da superfície do mar	25
4. Resultados e Discussão	29
4.1. Climatologia de Frentes Frias	29
4.2. Modelo Conceitual	32
4.2.1 A elevação subinercial da superfície do mar	32
4.2.2 Tensão do Vento paralela à costa	46
4.2.3 A resposta da elevação subinercial da superfície do mar à tensão do vento paralela à costa	60
4.2.4 Fenômenos Interanuais	66
5. Conclusão	70
6. Referências Bibliográficas	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Climatologia mensal de FF do ano de 1996 até 2010 para 12 estações do litoral brasileiro.	29
Tabela 2: Estatística básica dos dados de elevação da superfície do mar subinercial após a entrada de FF. A janela de influência das FF foi de 3 vezes o período inercial local.	33
Tabela 3: Estatística básica da tensão do vento paralela à costa no dia da entrada da FF. O cálculo dos deltas foi realizado utilizando uma janela de 24 horas após a entrada da frente, tanto para as tensões positivas como negativas no dia da entrada do sistema frontal. O delta positivo significa que após 24 horas da entrada do sistema frontal ocorreu um aumento da tensão do vento paralela à costa.	47
Tabela 4: Média dos eventos extremos de subida do nível do subinercial ocorridos em anos de El Niño, La Niña e Normal. Foram considerados eventos extremos de ESM subinercial todos aqueles maiores ou iguais a 2 vezes a média da elevação. O X corresponde à ausência de anos La Niña na série temporal registrada pelos marégrafos.	66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Exemplo de um gráfico da penetração de sistemas frontais ao longo do litoral brasileiro durante o mês de agosto de 2000. Os pontos indicam que a frente passou pela estação entre as 12:00 TMG do dia anterior e às 12:00 TMG do dia indicado (Fonte: CPTEC). 23
- Figura 2: Exemplo de um gráfico da penetração de sistemas frontais ao longo do litoral brasileiro durante o mês de setembro de 2006. As linhas contínuas representam o acompanhamento das frentes nos horários das 00:00 TMG e as pontilhadas as 12:00 TMG. Os pontos mostram que a frente esteve posicionada na estação no dia e hora indicados (Fonte: Análises diárias do CPTEC). 24
- Figura 3: Mapa da região costeira do Brasil. As estações maregráficas (triângulo verde) e meteorológicas (triângulo vermelho) estão marcadas e numeradas, desde a região Sul até a região Nordeste do país. 25
- Figura 4: Zonas dos índices de anomalia de temperatura da superfície do mar (SST) para identificar os eventos ENOS. Regressão das anomalias de SST para os anos de 1900 – 1976 em °C. Valores excedendo 0.10 °C em rachurado e menores que -0.10 °C pontilhado. Modificado de http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34 28
- Figura 5: Climatologia mensal de frentes frias para as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do litoral brasileiro. 29
- Figura 6: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral sul do Brasil: Paranaguá, Florianópolis, Torres e Rio Grande. 30
- Figura 7: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral sudeste do Brasil: Campos, Rio de Janeiro, Santos e Iguape. 30
- Figura 8: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral nordeste do Brasil: Recife, Salvador, Ilhéus, Caravelas. 31
- Figura 9: Série temporal por ano, de 2001 a 2003, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Rio Grande (RS). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os 35

pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local.

Figura 10: Série temporal por ano, de 2001 a 2006, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Imbituba (SC). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local. 37

Figura 11: Série temporal por ano, de 1996 a 2007, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Cananéia (SP). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local. 38-39

Figura 12: Série temporal por ano, de 1996 a 2007, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local. 40-41

Figura 13: Série temporal por ano, de 2001 a 2006, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Macaé (RJ). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local. 42

Figura 14: Série temporal por ano, de 2004 a 2008, da elevação da superfície do mar subinercial para a estação maregráfica de Salvador (BA). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após um período de 3 vezes o período inercial local. 43

Figura 15: Histograma mensal da série temporal da ESM subinercial para: a) Rio Grande; b) Imbituba; c) Cananéia; d) Ilha Fiscal; e) Macaé; e f) Salvador. A barra em preto apresenta o máximo da elevação subinercial no mês indicado e a barra azul a média da elevação subinercial. 45

Figura 16: Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Rio Grande (RS). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	48-49
Figura 17: Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Imbituba (SC). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	50-51
Figura 18: Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Cananéia (SP). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	52-53
Figura 19 Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	54-55
Figura 20: Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Macaé (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	56-57
Figura 21: Tensão do vento paralela à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda sub inercial para o ponto mais próximo ao marégrafo de Salvador (BA). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas da entrada da FF.	58-59
Figura 22: Densidade espectral de energia para o ano de 2003 para Rio Grande da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada)	61

(superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

Figura 23: Densidade espectral de energia para o ano de 2001 para Imbituba da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%. 62

Figura 24: Densidade espectral de energia para o ano de 1996 para Cananéia da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%. 63

Figura 25: Densidade espectral de energia para o ano de 2002 para Rio de Janeiro da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%. 64

Figura 26: Densidade espectral de energia para o ano de 2003 para Macaé da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%. 65

Figura 27: Densidade espectral de energia para o ano de 2007 para Salvador da série temporal de elevação da superfície do mar subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%. 66

Figura 28: Número de FF em anos ENOS para Rio Grande, Florianópolis, Cananéia, Rio de Janeiro, Macaé e Salvador. As barras em verde correspondem a anos normais, em vermelho a anos de El Niño e em azul a anos de La Niña, segundo o índice niño 3.4. Um ano ENOS corresponde ao intervalo de julho a junho, ou seja, o ano 0 de atuação do fenômeno.

69

1. Introdução

O nível do mar é continuamente influenciado pela atmosfera. A maré meteorológica é definida como sendo a diferença entre a maré observada e a maré astronômica (Pugh, 1987). O nível médio do mar (NMM) é definido como sendo a média dos processos diários de oscilação da subida e descida da maré astronômica e todos os processos perturbadores associados aos efeitos meteorológicos e ciclos sazonais (Pugh, 2004). Para a determinação do NMM é necessário uma abordagem multidisciplinar que compreende processos oceânicos e atmosféricos com diferentes escalas temporais e espaciais, como processos termohalinos, correntes, ondas longas, processos meteorológicos, pressão atmosférica, tensão do vento, evaporação, precipitação, descargas fluviais, movimentos da crosta, marés, mudanças eustáticas e glaciais (Lisitzin, 1974).

O registro do NMM contém um amplo espectro de assinaturas, desde marés astronômicas diárias e semanais, até mudanças seculares. As oscilações do nível do mar respondem continuamente a interações astronômicas, oceanográficas e atmosféricas em uma vasta faixa de períodos (Pugh, 1987). Na faixa de períodos de horas, a maré astronômica, que corresponde ao sinal do nível do mar mais previsível, é a principal responsável pelas variações do nível do mar. Entretanto, o efeito combinado da pressão atmosférica e dos ventos sobre a superfície do mar produz oscilações no período de alguns dias (3 – 15 dias), conhecida como maré meteorológica ou oscilações de baixa frequência do nível do mar. Essas oscilações são sensivelmente percebidas nas zonas costeiras, devido, principalmente, à influência direta que exercem através do aumento ou abaixamento das preamares e baixa-mares ao longo da costa em um dado local e instante. Segundo Gill (1982), o vento é responsável por 90% das flutuações, com uma propagação ao longo ou em direção à linha de costa. Devido a influência dos sistemas frontais sobre o padrão do campo de vento superficial é esperado que esses sistemas sinópticos exerçam um papel significativo nas oscilações de baixa frequência do nível do mar (Stech & Lorenzetti, 1992). A influência da pressão atmosférica se dá através do efeito conhecido como barômetro invertido, que provoca respostas inversas em relação ao nível do mar, isto é, o aumento da pressão de 1 hPa resulta em um decréscimo no nível do mar de, aproximadamente, 1 centímetro.

Os sistemas frontais são distúrbios transientes de alta frequência que ocorrem na atmosfera. Estes eventos são de grande importância, pois provocam mudanças

significativas no tempo em diversas partes do globo, principalmente na região subtropical e de latitudes médias e altas (Andrade, 2005).

A costa sudeste da América do Sul é afetada por sistemas atmosféricos de escala sinóptica e subsinóptica, influenciada por fatores associados com a circulação local e de larga escala (Climanálise, 1986). Dentre os eventos de escala sinóptica, os sistemas frontais são gerados, principalmente, por ondas baroclínicas em latitudes médias, com uma escala espacial de 3000 km, imersas nos ventos de oeste (Saraiva *et al.*, 2003). Essas ondas, provenientes do Oceano Pacífico, são alteradas depois da passagem pela Cordilheira dos Andes e interagem com a circulação atmosférica na América do Sul. A propagação típica é de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, chegando a alcançar latitudes tropicais (Climanálise, 1986), podendo avançar pelo continente ou pelo Oceano Atlântico.

As frentes frias (FF) no Brasil atuam durante todo o ano e afetam mais significativamente as Regiões Sul e Sudeste, podendo ser responsáveis por chuvas, principalmente no sul do país (Quadro *et al.*, 1996). Estas regiões são caracterizadas como frontogenéticas, ou seja, os sistemas frontais podem se intensificar ou se formar. Segundo Kousky (1979), atividades frontais também influenciam a variabilidade de precipitação no Nordeste do Brasil, principalmente nas regiões costeiras e sul do Nordeste. Alguns trabalhos realizados a fim de estabelecer uma climatologia dos sistemas frontais no Brasil (Lemos & Calbete, 1996; Cavalcanti & Kousky, 2003; Andrade, 2005; Lima *et al.*, 2009) mostraram que a frequência de FF diminui com o decréscimo da latitude, assim como suas passagens influenciam diretamente as mudanças de tempo nas regiões afetadas.

A maré meteorológica tem um papel significativo no transporte de sedimentos nas regiões costeiras e na dinâmica da plataforma continental. Quando tempestades severas ocorrem associadas a períodos de máxima de maré astronômica (sizígia), o nível do mar pode se elevar extraordinariamente causando inundações na costa. Segundo Camargo & Harari (1994), em geral, distúrbios meteorológicos são mais intensos no inverno e possuem maior efeito em águas rasas. Este aumento no nível do mar geralmente provoca erosão, uma vez que desloca a linha de costa em direção ao continente, carregando sedimentos para fora da zona de surf onde estes são depositados na forma de barras (Parise *et al.*, 2009). Nesses eventos, o estoque sedimentar é concentrado na antepraia mais do que na praia. Assim como as oscilações positivas causam impactos no litoral, as oscilações negativas do nível do

mar são altamente indesejáveis para a navegação de grande porte, em especial em regiões portuárias.

A dinâmica de baixa frequência da plataforma continental e sua relação com o vento e pressão atmosférica tem sido bastante estudada através dos registros de baixa frequência do nível do mar costeiro (e.g. Chao & Pietrafesa, 1980; Chuang *et al.*, 1983; Schwing, 1992; Jong *et al.*, 2003). Enquanto evidências de efeitos não locais (i.e. propagação de ondas livres de plataforma) foram encontradas em localidades e frequências específicas, a maioria das flutuações do nível do mar de baixa frequência é dirigida, em primeiro lugar, pela tensão do vento local ao longo da costa, através do mecanismo de Ekman (Chuang *et al.*, 1983). A subida ou descida do nível do mar em águas rasas provoca um gradiente de pressão perpendicular a costa, que está em equilíbrio geostrófico com correntes barotrópicas ao longo da costa (Chuang *et al.*, 1979). Deste modo, o nível do mar, ventos ao longo da costa, e correntes são mutualmente coerentes em regiões onde a força dos ventos locais é dominante.

Segundo Chao & Pietrafesa (1980), a circulação da plataforma da costa da Carolina do Norte (EUA) responde de forma significativa aos ventos locais. Visto que não foram observadas ondas de plataforma no registro do nível do mar, as oscilações do nível do mar ao longo dessa linha de costa estão fortemente associadas com a circulação forçada pelo vento na plataforma continental, que se comporta de maneira distinta das ondas livres de plataforma. Dando continuidade a este estudo, Chao (1981) verificou que a tensão do vento paralelo à costa tem um papel fundamental na oscilação do nível do mar com frequências típicas de FF.

Chuang *et al.* (1983) verificaram a resposta do nível do mar costeiro às passagens de sistemas frontais na plataforma de Louisiana-Texas, a partir de dados horários da altura do nível do mar e dados meteorológicos superficiais em duas localidades. Sendo o padrão do tempo local durante o inverno dominado pela passagem de FF, estes autores observaram variabilidades na resposta do nível do mar com relação à forçante do vento. Enquanto o vento ao longo da costa influenciou a região mais profunda da plataforma interna, o vento perpendicular favoreceu mudanças em águas mais rasas.

O fenômeno de escala global que ocorre no oceano Pacífico Tropical denominado El Niño Oscilação Sul (ENOS), que consiste da interação entre o oceano e atmosfera, também influencia o nível do mar e é um dos principais fenômenos climáticos que afetam a América do Sul. Raicich (2007) em seu estudo sobre o nível do mar no Atlântico Sul e suas possíveis conexões com o ENOS, verificou para Buenos Aires um

padrão inverso entre El Niño e La Niña, o que significa que, o nível do mar encontra-se maior que o normal durante o El Niño e ao contrário durante La Niña, sendo que os dois fenômenos afetaram significativamente o nível do mar nesta estação. Allan & Komar (2002) analisaram marés meteorológicas extremas na costa Noroeste do Pacífico durante os episódios de 1997-1998 de El Niño e 1998-1999 de La Niña. Segundo estes autores, o aumento do nível do mar durante o inverno atribuído a ocorrência do El Niño de 1997-1998 foi parcialmente atribuído aos processos gerados por esse fenômeno na costa, enquanto que o aumento experimentado em 1998-1999 foi predominantemente causado por ventos fortes ao longo da costa e baixas pressões atmosféricas devido a tempestades que produziram significantes marés meteorológicas. Flick (1998), para a costa da Califórnia, demonstrou uma maior ocorrência de subidas extremas no nível da água durante os El Niños de 1982-1983 e 1997-1998, quando comparado com o que ocorre em anos normais e de La Niña.

No Brasil diversos estudos têm mostrado a influência do ENOS sobre a precipitação, distribuição e ocorrência de FF em diferentes regiões do país (Aceituno, 1988; Kousky *et al.*, 1984; Grimm *et al.*, 2000). Porém, poucos trabalhos no país têm sido realizados com relação aos impactos deste fenômeno sobre o nível do mar.

Na plataforma continental brasileira, Castro (1990) analisou simultaneamente o nível do mar, ventos e dados de correntes, mostrando que correntes subinerciais são as mais energéticas no canal de São Sebastião, com uma direção predominante de nordeste durante o inverno em resposta as FF. Castro & Lee (1995) a partir de análises no domínio do tempo e frequência do nível do mar costeiro, bem como, de dados meteorológicos coletados na plataforma sul-sudeste do Brasil durante o inverno de 1978, mostraram que a perturbação dominante foi de 9 a 12 dias no nível do mar, pressão atmosférica e vento em direção ao equador ao longo da costa. Essa perturbação se desloca da região mais ao sul da plataforma sudeste, onde ocorrem as mais altas variações na componente da tensão do vento ao longo da costa.

Stech & Lorenzetti (1992) verificaram para Paranaguá que as variações do nível do mar são dominadas por oscilações em torno de sete dias, ou seja, a mesma banda de frequência dos sistemas frontais, conseqüentemente suportando a hipótese de que os sistemas frontais são de fato, um dos principais mecanismos forçantes de baixa frequência da variabilidade do fluxo de inverno da plataforma sudeste do Brasil. Ainda segundos estes autores, a passagem das FF traz uma completa reversão no fluxo e uma aceleração local que é mais concentrada na direção ao longo da plataforma, no interior e no meio da mesma. Para a direção perpendicular à costa, a maioria das

características geostroficas do fluxo são ainda preservadas durante a passagem do sistema frontal.

As oscilações do nível do mar de baixa frequência são extremamente importantes na costa do Brasil que é influenciada pela ação dos sistemas frontais, principalmente nas regiões com regimes de micromaré e mesomaré, Sul e Sudeste do país, respectivamente. Pouca informação é disponível na literatura científica sobre esse processo, apesar da sua importância em termos de erosão costeira, dinâmica sedimentar e atividades portuárias.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o comportamento da maré meteorológica ao longo do litoral brasileiro, identificando a sua relação com a entrada de FF que penetram na região costeira do Brasil, desde a região Sul até a região Nordeste do país. Os objetivos específicos, são:

- A realização de uma climatologia mensal representando a penetração das FF ao longo das regiões, Sul, Sudeste e Nordeste do litoral brasileiro;
- A construção de um modelo conceitual para a ocorrência de marés meteorológicas, identificando a sua relação com a entrada de FF;
- A avaliação da influência de fenômenos interanuais na penetração de FF, nos episódios de maré meteorológica e a sua relação com as mudanças climáticas.

2. Caracterização da Área de Estudo

A plataforma continental brasileira estende-se por mais de 6.400 km de costa e possui largura máxima de 300 km na região do Amazonas e mínima de 10 km na latitude de 13°S. A área de estudo do presente trabalho corresponde à costa brasileira, que engloba a plataforma Sul, Sudeste e Leste entre 32° 08'S, 52° 06' W e 12° 58' S, 38° 31' W. A plataforma Leste em foco limita-se até a cidade de Salvador e, comparada com as demais, é a que apresenta a menor largura (Castro & Miranda, 1998, Knoppers *et al.*, 1999).

2.1. Aspectos Meteorológicos

A região costeira Sul e Sudeste do Brasil está sob influência de dois sistemas principais: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os movimentos anticiclones de origem polar. O ASAS é caracterizado por um sistema de alta pressão

do tipo permanente (semifixo) com um fluxo divergindo na superfície, localizado no Atlântico Sul, com centro em torno de 30°S, bem como por massas de ar tropicais e um giro anti-horário. Segundo Tchernia (1981), esse centro varia de posição e se movimenta com uma periodicidade sazonal. No verão a alta pressão é mais intensa do que durante o inverno, estação cujo centro é deslocado para menores latitudes. Este centro é a principal fonte de massas de ar marítimas, que possuem uma alta temperatura e alta humidade específica devido à intensa evaporação no oceano.

Durante o inverno os distúrbios atmosféricos primários têm origem polar, devido ao Anticiclone Polar (AP), e migram de sudoeste para nordeste ao longo da América do Sul (Truccolo *et al.*, 2006), se deslocando para baixas latitudes. O AP é caracterizado por uma massa de ar fria e seca.

O limite entre as duas massas de ar, do ASAS e do AP, originam as FF de inverno, que dividem ambas as massas e promovem a variação da pressão atmosférica com o seu deslocamento. Tipicamente, antes da passagem de uma perturbação polar é desenvolvida uma baixa pressão, que está associada a FF. Dependendo da posição de migração da perturbação atmosférica em relação à costa, ventos de diferentes direções podem afetar a plataforma Sul e Sudeste do Brasil. As FF nesta região ocorrem em média três a cinco vezes por mês, sendo assim, em uma escala de tempo de 6 a 10 dias entre elas, com um deslocamento médio de 500 km/dia (Stech & Lorenzetti, 1992). Essas forçantes meteorológicas atuantes na plataforma sul e sudeste do Brasil são importantes fontes de energia hidrodinâmica costeira da ordem de período de 2 a 15 dias (Stech & Lorenzetti, 1992; Castro & Lee, 1995; Truccolo *et al.*, 1996). A passagem de uma FF nesta região caracteriza-se por queda de temperatura, zonas de instabilidade na interface oceano com a atmosfera, precipitação no continente e mudanças na direção do vento. Esses dois sistemas meteorológicos (ASAS e FF) são os principais mecanismos forçantes de correntes na costa sudeste do Brasil, sendo que, a localização e a intensidade do ASAS durante o ano afeta diretamente a magnitude e direção dos ventos que atuam na região Sul e Sudeste do país (Castro & Miranda, 1998).

Segundo Saraiva *et al.* (2003), os ventos de Nordeste predominam durante a maior parte do ano na costa sul do Brasil. Entretanto, no outono e no inverno, vento do quadrante sul, principalmente sudoeste, tem uma importância significativa. Na região Sudeste os ventos mais frequentes durante o ano são de leste e nordeste. Porém esse padrão de vento pode ser cessado com a chegada de sistemas de correntes atmosféricas perturbadas de sul, oeste e leste. A primeira perturbação é representada

pela invasão do AP, com ventos de sul a sudeste; a segunda ocorre de meados da primavera a meados de outono, com a invasão de ventos de oeste a noroeste, trazidos por linhas de instabilidade tropicais e, os últimos, mais frequentes no inverno e outono, são devidos às ondas de leste, que provocam ventos leste (Nimer, 1989).

As forçantes meteorológicas da plataforma leste do Brasil (13°S a 22°S) estão sujeitas a um forte ciclo sazonal da componente do vento meridional, devido ao deslocamento anual da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) marinha (Dominguez *et al.*, 2006). A ZCIT varia sua posição ao longo do ano, penetrando a América do Sul durante o verão e outono, e movendo-se para o norte, se afastando da costa, durante o inverno e primavera austral. O clima desta região é quente e úmido, com os maiores picos pluviométricos durante o outono e inverno, entre março e julho, com os máximos ocorrendo nos meses de abril e maio (1931-1990/INMET). Segundo Kousky *et al.* (1979), a penetração de sistemas frontais tem um papel importante na circulação atmosférica e precipitação na costa do Nordeste, principalmente Bahia, aumentando a precipitação nos meses de outono e inverno.

O regime de ventos na costa leste do Nordeste do Brasil é caracterizado pelos ventos alísios de NE e SE que predominam ao longo do ano, devido principalmente a sua posição geográfica e às oscilações sazonais dos ramos equatoriais dos Anticiclones do Atlântico Norte e Sul e ainda pela zona de confluência do escoamento em baixos níveis (Lima, 1991).

2.2. Aspectos Oceanográficos

A costa do Brasil apresenta diferentes regimes de maré, com um aumento progressivo da altura da maré de sul (menos que 1 m) para o norte (mais de 6 m) (Salles *et al.*, 2000). A linha de costa da região Sul apresenta uma variação de maré astronômica pequena, com amplitude média de 0,46 m, sendo classificada como micromaré segundo a classificação proposta por Davies (1980). Devido ao ponto anfidrômico da componente M2 da maré, a maré e suas correntes na região Sul são predominantemente diurna e fracas, respectivamente (Zavialov *et al.*, 2000). Para a costa Sudeste do Brasil a amplitude média da maré astronômica varia de 0,7 m em Santa Catarina (Truccolo *et al.*, 2006) a 1,60 m em Espírito Santo, sendo assim também classificado como um litoral de micromaré (< 2m). Segundo Mesquita & Harari (2003), as correntes de maré na plataforma Sudeste do Brasil apresentam grandes amplitudes nas componentes diurnas, principalmente nas camadas superficiais da coluna d'água. O regime de maré da plataforma Leste do Brasil adjacente a Salvador foi caracterizado por Cirano & Lessa (2007) como semidiurno, com Número de Forma

($Nf = K1+O1 / M2+S2$) variando entre 0,06 na parte mais interna da Baía de Todos os Santos e 0,11 na região oceânica adjacente. Estes autores observaram que a máxima maré ocorre durante grandes marés equinociais (2,7 m), com um aumento da altura da maré em direção ao interior da baía, e que a maré astronômica explica, aproximadamente, 97,5% da variância do sinal de elevação das marés.

A plataforma Sul e Sudeste do Brasil apresentam uma topografia similar e são forçadas por mecanismos similares. A plataforma Sul do Brasil (28°S a 35°S) é caracterizada por uma topografia de fundo e uma linha de costa suave. No cabo de Santa Marta (28° 40'S) a plataforma é mais estreita com 100 km, chegando a 198 km na sua porção central voltando a estreitar para 170 km no Arroio Chui (33° 48'S). A circulação forçada pelo vento nesta região, segundo Soares & Möller (2001), tem uma resposta de Ekman nas correntes sub inerciais locais, sendo que o vento de sul ao longo da costa gera um transporte perpendicular à costa (onshore) nas camadas superficiais. A banda mais energética do vento e da corrente é de 2-10 dias, sugerindo que a forçante do vento ocorre principalmente na banda de período sinóptico. A principal feição geomorfológica da plataforma Sudeste é o embaiamento Sul do Brasil (SBB) que é limitado por dois cabos, Cabo Frio (23°S) e cabo de Santa Marta (28°S 40'S) (Castro & Lee, 1995). O embaiamento tem a forma de uma lua crescente, sendo mais largo em Santos (230 km) e mais estreito nas proximidades de Cabo Frio (50 km), com isóbatas paralelas à costa. Segundo Stech & Lorenzetti (1992), a resposta do SBB à passagem de FF é quase-geostrófica. Ainda segundo estes autores, o balanço entre o vento e a tensão de fundo pode dominar o fluxo com uma corrente fluindo na direção do vento. Segundo Castro & Lee (1995) a perturbação dominante do nível do mar, pressão atmosférica e forçante do vento, entre 9 a 12 dias se propaga em direção ao equador ao longo da costa proveniente da região mais ao Sul do SBB, próximo a Cananéia.

A plataforma Leste do Brasil é a mais estreita plataforma da costa leste da América do Sul e está localizada na região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial (bCSE) (Amorim *et al.*, 2011). A bCSE é responsável por originar duas correntes de contorno oeste, a Corrente do Brasil (CB) com direção para o sul e a Corrente Norte do Brasil (NBC) com direção para o equador. A forçante do vento é um importante mecanismo na hidrodinâmica local, onde as correntes seguem a direção dos ventos predominantes e apresentam uma completa reversão entre verão e outono. Segundo Amorim *et al.* (2012), a penetração de sistemas frontais também é uma forçante importante na circulação local que é capaz de causar uma completa reversão do fluxo preferencial. Segundo Amorim *et al.* (2011), na região da plataforma adjacente à Baía

de Camamu, as correntes mareais são os principais mecanismos forçantes na plataforma conectada com os estuários. Ainda segundo esses autores, na plataforma interna as correntes subinerciais foram significativas no outono controlando as velocidades das correntes ao longo da costa.

3. Metodologia

3.1. Climatologia de Frentes Frias

Para verificar a influência das FF sobre a maré meteorológica foi realizada uma climatologia mensal de sistemas frontais para 12 estações do litoral brasileiro, desde o ano de 1996 até 2010. Para realização desta climatologia foram analisados os gráficos mensais de penetração de FF (em dias) (vide exemplo na Fig. 1), disponibilizados pela revista *Climanálise*. Segundo a revista *Climanálise*, os sistemas frontais são localizados através das análises diárias do campo de vento e temperatura a 1000 hPa no horário sinótico das 12:00 TMG. Para a validação da posição dos sistemas são analisados também o campo de pressão ao nível do mar e os campos derivados: convergência de umidade e umidade relativa em 925 hPa, assim como imagens de satélite. A partir do mês de setembro de 2006 o CPTEC/INPE passou a utilizar uma nova metodologia (Fig. 2) onde os sistemas frontais passaram a ser identificados através das análises diárias das cartas sinóticas de superfície, níveis médios (500 hPa) e altitude (250 hPa), nos horários de 00:00 e 12:00 TMG. Além disso, foram incluídas novas cidades no Brasil, com um acompanhamento das FF desde sua passagem e/ou formação sobre a Argentina e Uruguai. Para a validação da posição dos sistemas, também foram analisados os campos de convergência de umidade na camada limite, temperatura potencial equivalente em 850 hPa e advecção de temperatura potencial equivalente em 850 hPa.

As estações analisadas corresponderam às cidades da região Nordeste, Sudeste e Sul do litoral brasileiro (Fig. 3). Para representar a região Nordeste foram escolhidas as cidades de Recife (PE), Salvador (BA), Ilhéus (BA) e Caravelas (BA); na região Sudeste, as cidades de Campos (RJ), Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP) e Iguape (SP); e para a região Sul, as cidades de Paranaguá (PR), Florianópolis (SC), Torres (RS) e Rio Grande (RS). A escolha das estações meteorológicas foi baseada na proximidade com os marégrafos do Sistema de Observação Global do Nível do Mar (GLOSS) que serão apresentados no tópico seguinte.

Litoral

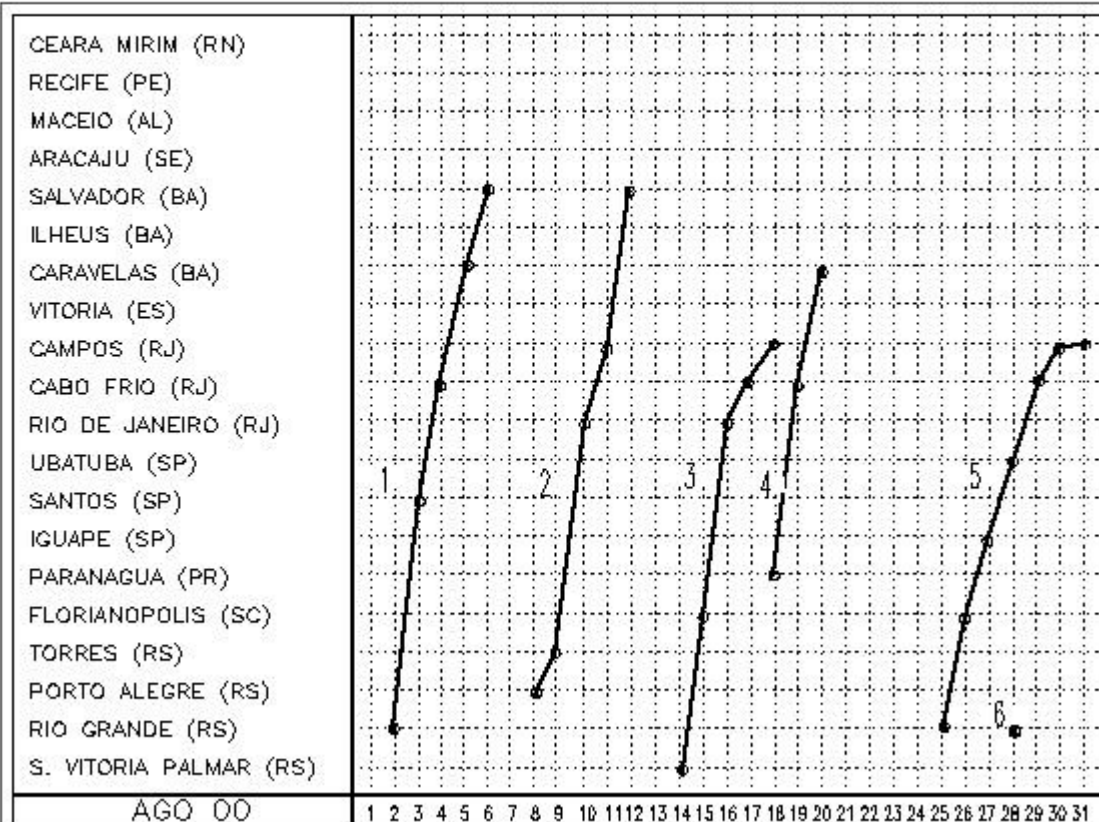


Figura 1 – Exemplo de um gráfico da penetração de sistemas frontais ao longo do litoral brasileiro durante o mês de agosto de 2000. Os pontos indicam que a frente passou pela estação entre as 12:00 TMG do dia anterior e às 12:00 TMG do dia indicado (FONTE: CPTEC).

Na análise do gráfico disponibilizado pelo CPTEC/INPE, alguns meses possuíam FF do mês anterior. Nestes casos, o procedimento para a contagem do número de frentes foi determinado a partir da soma do período de atuação da FF no mês anterior mais o mês seguinte dividido pelo número total de dias que atuou este sistema nos dois meses. Além disto, os meses de abril, junho e julho do ano de 1996, e março de 1997 não possuíam gráficos disponíveis no Boletim Climanálise e sendo assim não foram incluídos na climatologia.

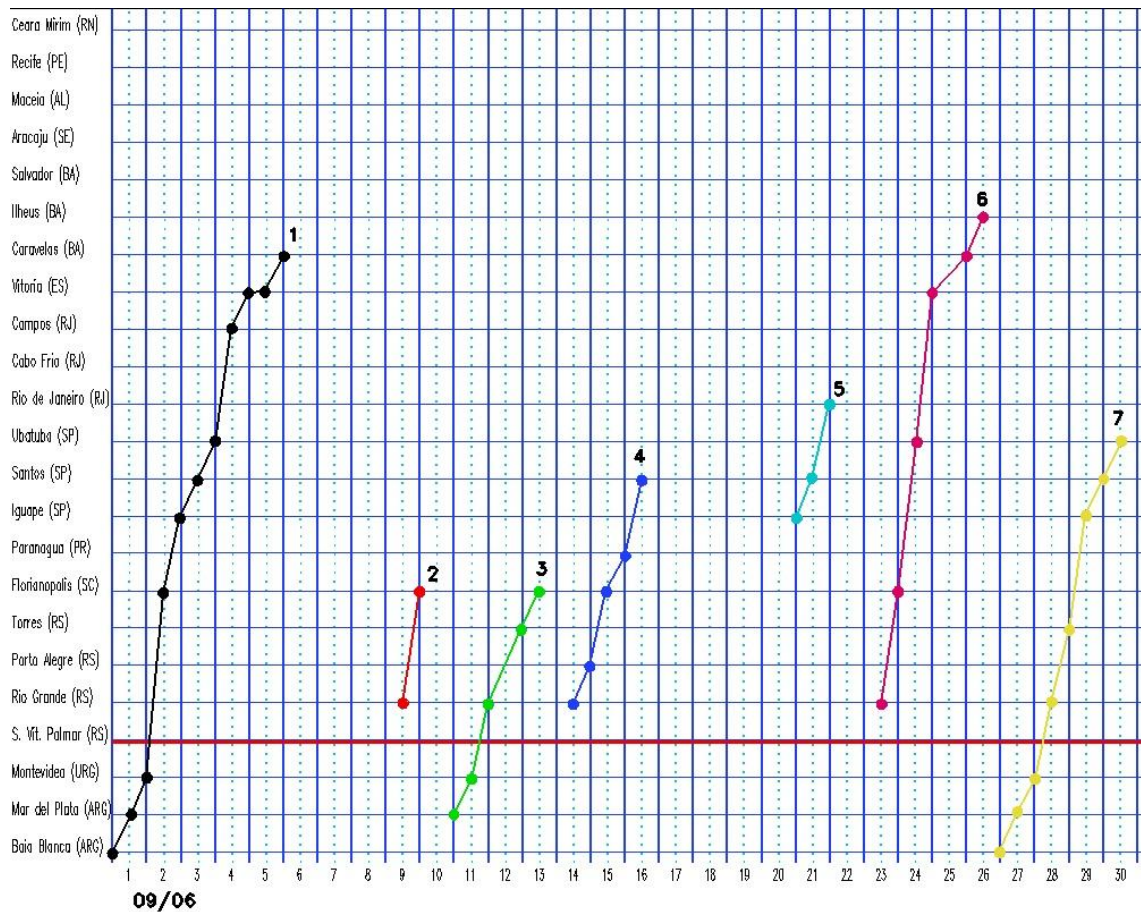


Figura 2 – Exemplo de um gráfico da penetração de sistemas frontais ao longo do litoral do brasileiro durante o mês de setembro de 2006. As linhas contínuas representam o acompanhamento das frentes nos horários das 00:00 TMG e as pontilhadas as 12:00 TMG. Os pontos mostram que a frente esteve posicionada na estação no dia e hora indicados (FONTE: Análises diárias do CPTEC).

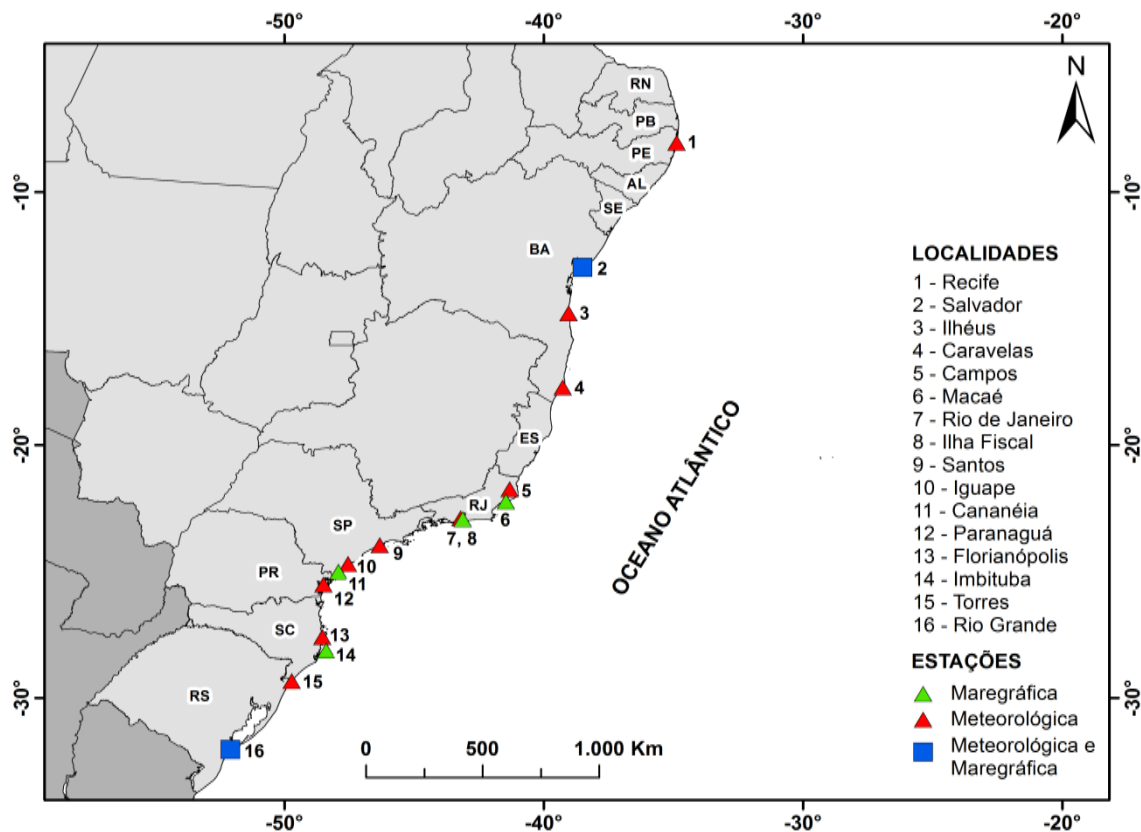


Figura 3: Mapa da região costeira do Brasil. As estações maregráficas (triângulo verde) e meteorológicas (triângulo vermelho) estão indicadas, desde a região Sul até a região Nordeste do país.

3.2. Dados de elevação da superfície do mar

Os dados de altura do nível do mar foram obtidos do Joint Archive for Sea Level (JASL), centro de dados oficial do GLOSS, para as cidades de Salvador, Macaé, Ilha Fiscal, Cananéia, Imbituba e Rio Grande, em resolução horária (Fig. 3). Estes dados fazem parte da maior coleção de dados globais de qualidade controlada do nível do mar em resolução horária. Dentre as estações supracitadas todas estão operacionais, o que significa que os dados já foram aceitos pelo programa GLOSS, menos a de Rio Grande que esta em avaliação.

No pré-processamento dos dados foi realizado uma filtragem para retirar os dados espúrios da série temporal identificados como aqueles maiores ou menores que a média dos valores de altura do nível do mar mais ou menos três vezes o desvio padrão. Além disso, a série temporal foi sujeita a uma interpolação linear de lacunas consecutivas menores que 12 horas.

A série temporal de elevação do nível do mar compreende o período de janeiro de 1996 até dezembro de 2008. No entanto nem todas as estações possuem dados horários correspondentes a este período de tempo. A estação de Rio Grande é a que apresenta a menor série temporal com dados apenas de junho a setembro de 2001 e setembro de 2002 a dezembro de 2003. As estações de Imbituba e Macaé apresentam dados de 2001 a 2007, enquanto que a série temporal de Salvador compreende o período de 2004 a 2008. As séries temporais mais longas são as de Cananéia e Ilha Fiscal que abrangem quase todo o período de estudo, com exceção dos anos posteriores a 2008.

Para eliminar o efeito da maré astronômica na altura do nível do mar foi utilizado o filtro passa baixa de Fourier (Walters & Heston, 1981). Os filtros passa-baixa são filtros que mantêm os sinais de baixa frequência, mas reduzem a amplitude dos sinais com frequências mais elevadas do que a frequência de corte. Para o propósito do presente trabalho um dos requisitos mais importantes, que requer um filtro com inclinações relativamente acentuadas, é discriminar variações com períodos de 2-3 dias ou maiores. O problema chave é a eliminação dos componentes de maré na banda diurna sem atenuações severas na baixa frequência. O período de corte adotado, no presente trabalho, foi o próprio período inercial local que é dado pela seguinte fórmula:

(1)

onde Ω é igual $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e ϕ é a latitude.

Para as estações de Imbituba e Rio Grande devido ao menor período inercial local foi incluída uma análise harmônica da maré para as duas estações, antes da filtragem dos dados, com o objetivo de excluir as componentes harmônicas destas localidades, principalmente as componentes diurnas e semi-diurnas. Sendo assim, após a retirada das componentes harmônicas foi realizado o filtro passa-baixa de Fourier com os períodos inerciais locais.

Por último, para determinar as frequências mais energéticas da série temporal dos dados de elevação, foi realizada uma análise espectral no domínio da frequência.

3.3. Dados de Vento

Os dados de tensão do vento para região em estudo foram obtidos do NCEP em resolução de $1,8^\circ$ a cada 6 horas de 1996 até 2008. O NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis

baseia-se na reanálise do NCEP/NCAR, amplamente utilizado. O objetivo da Reanalysis II é aperfeiçoar a reanálise do NCEP/NCAR corrigindo alguns erros e atualizando as parametrizações dos processos físicos (Kanamitsu *et al.*, 2002).

Esses dados foram interpolados linearmente no tempo para a posterior comparação com os dados de elevação da superfície do mar, passando a ter uma resolução temporal horária. Para a análise entre os dados de vento e de elevação, foi realizada uma rotação de eixo dos dados de vento com o intuito de extrair as componentes paralela e normal à costa da tensão do vento. Associado a isto, também, foi efetuada a filtragem utilizando o filtro passa baixa de Fourier, com corte igual ao período inercial local.

Por fim, a análise espectral no domínio da frequência dos dados filtrados foi realizada para obtenção das frequências mais energéticas.

3.4. Modelo Conceitual

Para a elaboração do modelo conceitual para a ocorrência de marés meteorológicas e sua correlação com FF no litoral brasileiro, foram excluídas algumas estações usadas para a construção da climatologia, já que nem todas as estações meteorológicas possuem dados de elevação da superfície do mar ou encontram-se próximas às estações maregráficas. A estação de Recife (PE) foi excluída da construção do modelo conceitual, pois é sabido que a quantidade de sistemas frontais que penetram nesta região é bastante pequena, de modo que as marés meteorológicas ocorrem por outros fenômenos atmosféricos e oceanográficos que não estão no escopo deste trabalho. As demais estações eliminadas foram Caravelas (BA), Ilhéus (BA), Santos (SP), Paranaguá (PR) e Torres (RS). Os dados da estação de Campos (RJ) foram utilizados para a comparação com os dados maregráficos de Macaé (RJ), já que a primeira estação se encontra a poucos quilômetros de Macaé e as FF que passaram por Campos também influenciaram o nível do mar em Macaé.

Para verificar o tempo de reação e quantificar o aumento ou diminuição do nível do mar subinercial devido às FF foi realizado uma estatística básica no nível do mar de baixa frequência utilizando uma janela de influência pós FF de 3 vezes o período inercial local, para cada estação. Ou seja, em uma faixa de período de 3 vezes o corte do filtro subinercial após a entrada de uma FF, foi retirado o valor máximo (ou mínimo) do nível do mar subinercial e o tempo para ocorrer este aumento. A série temporal da

tensão do vento foi analisada conjuntamente com o nível do mar de baixa frequência através da análise cruzada da densidade espectral, utilizando o método Welch.

A influência dos eventos ENOS sobre as marés meteorológicas foi avaliada a partir da influência deste fenômeno sobre o padrão de entrada de FF no litoral brasileiro, utilizando os dados da climatologia já especificados acima, bem como o índice Niño 3.4 obtido do Climate Prediction Center (<http://www.cpc.noaa.gov>). Este índice de anomalia de temperatura da superfície do mar está centrado na região de 5°N-5°S e 170-120° W do Pacífico (Fig. 4). Os eventos de El Niño ou La Niña são quantificados quando as anomalias nesta região ultrapassam ± 0.4 °C por mais de 5 meses seguidos.

O modelo conceitual proposto pelo presente trabalho tem o objetivo de quantificar a influência das FF no nível do mar subinercial, investigando os efeitos da tensão do vento e o papel dos fenômenos interanuais nas marés meteorológicas ao longo do litoral brasileiro. Sendo assim complementa o modelo conceitual de FF para a SBB proposto por Stech & Lorenzetti (1992), que investigou as características básicas do campo de vento associado à passagem de sistemas frontais.

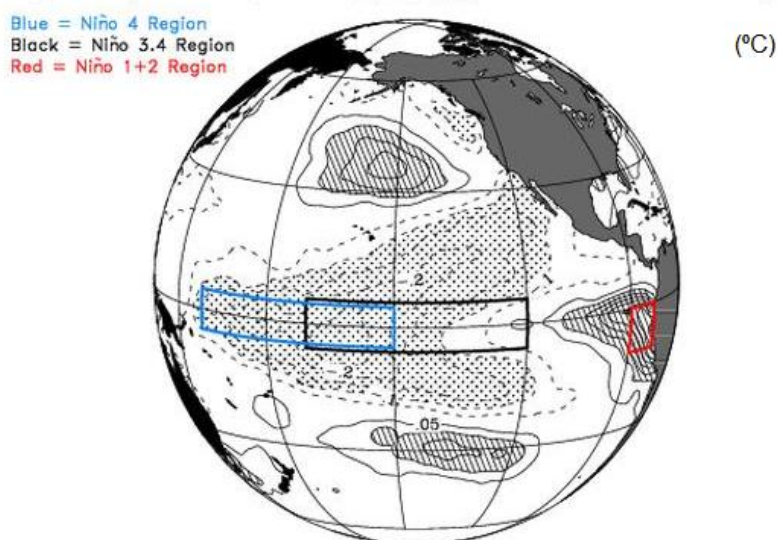


Figura 4: Regiões utilizadas nos índices de anomalia de temperatura da superfície do mar (SST) utilizados para identificar os eventos ENOS. Regressão das anomalias de SST para os anos de 1900 – 1976 em °C. Valores excedendo 0.10 °C em rachurado e menores que -0.10 °C pontilhados. (Modificado de http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/TNI_N34).

4. Resultados e Discussão

4.1. Climatologia de Frentes Frias

A climatologia apresentada no presente trabalho compreende o período de 1996 até 2010 para 12 estações ao longo do litoral brasileiro. A partir desta climatologia foi possível observar uma diminuição da ocorrência de FF com o deslocamento para latitudes mais baixas (Tab.1 e Fig.5). A Tab. 1 mostra que enquanto para as regiões Sul e Sudeste a máxima penetração de FF por mês foi de respectivamente 4,58 e 4,43 (Torres (RS) e Iguape (SP)), no Nordeste a máxima observada foi de 2,12 FF (Caravelas (BA)). Este resultado está de acordo com a climatologia proposta por Andrade (2005).

Os seguintes trimestres foram considerados como estações no presente trabalho: i) verão: janeiro, fevereiro e março (JFM); ii) outono: abril, maio, junho (AMJ); iii) inverno: julho, agosto, setembro (JAS) e iv) primavera: outubro, novembro, dezembro (OND).

A análise de cada região em particular evidenciou que para a região Sul (Fig. 6 e Tab. 1) o inverno e a primavera foram as estações com maior incidência de FF, com máximo em julho para as cidades de Florianópolis (4,43), Torres (4,58) e Rio Grande (3,31) e em outubro para Paranaguá (4,37). O verão e outono foram as estações com menor incidência de FF na região Sul, com o mínimo em fevereiro em todas as cidades. A média anual para a região Sul foi de 4 FF por mês, com exceção da cidade de Rio Grande que registrou 3 FF. É notável na Fig. 6 a menor incidência de FF em Rio Grande comparada as outras cidades da região, apesar da sua localização mais ao sul.

Estações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Recife (PE)	0	0	0	0,07	0,11	0,07	0	0,07	0	0	0	0
Salvador (BA)	0,13	0,15	0,21	0,49	1,02	0,61	0,43	0,45	0,46	0,58	0,59	0,19
Ilhéus (BA)	0,2	0,21	0,43	0,98	1,73	0,91	0,64	0,85	0,95	1,17	0,95	0,48
Caravelas (BA)	0,64	0,28	0,58	1,30	2,03	1,21	1,27	1,25	2,00	2,12	1,53	1,17
Campos (RJ)	1,31	1,18	1,69	2,22	2,79	2,50	2,64	2,44	3,47	2,83	2,60	2,72
Rio de Janeiro (RJ)	1,75	2,15	2,20	2,87	3,59	3,27	3,30	3,36	3,91	3,56	3,40	3,50
Santos (SP)	2,76	2,84	2,51	3,05	3,42	3,79	3,86	3,71	4,29	4,24	3,95	3,87
Iguape (SP)	2,97	3,10	2,85	3,12	3,31	4,14	4,13	3,68	4,43	4,31	4,02	3,95
Paranaguá (PR)	2,92	2,96	2,88	3,08	3,09	3,73	4,24	3,74	4,16	4,37	3,91	3,95
Florianópolis (SC)	3,32	2,98	3,22	3,38	3,40	3,82	4,43	4,19	4,36	4,22	4,11	4,05
Torres (RS)	3,19	2,65	2,93	3,09	3,33	3,98	4,58	4,19	3,70	4,18	3,52	3,68
Rio Grande (RS)	3,00	1,80	2,63	2,30	2,53	2,96	3,31	2,40	2,89	3,06	2,74	2,77

Tabela 1: Climatologia mensal de FF do ano de 1996 até 2010 para 12 estações do litoral brasileiro.

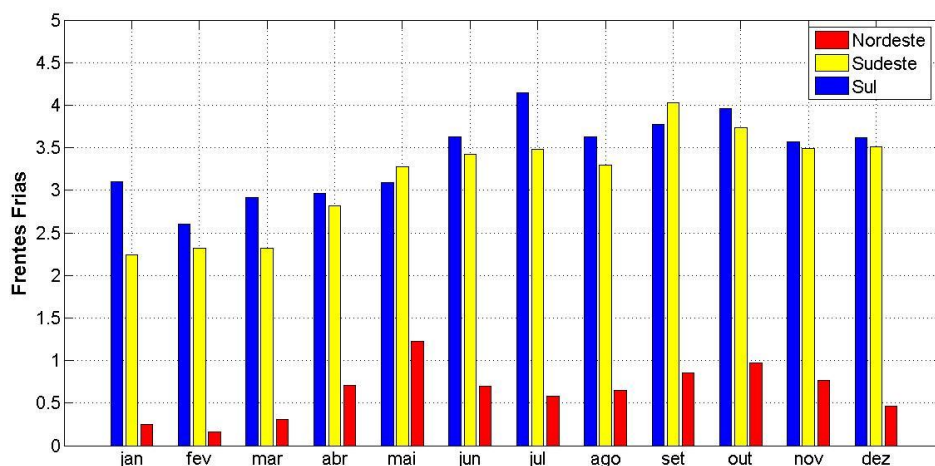


Figura 5: Climatologia mensal de frentes frias para as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do litoral brasileiro.

Para a região Sudeste (Fig. 7 e Tab. 1), assim como a região Sul, o inverno e a primavera apresentaram o maior número de FF, com o máximo em setembro para todas as cidades, enquanto que o verão foi a estação com menor ocorrência. Para Iguape e Santos o mês de março registrou a menor quantidade de FF, 2,85 e 2,51, respectivamente, em contrapartida Rio de Janeiro e Campos registraram as menores quantidades em janeiro (1,75 FF) e fevereiro (1,18 FF), respectivamente. É importante notar que com o deslocamento para menores latitudes, há um aumento na quantidade de FF na estação do outono, principalmente durante o mês de maio. A incidência média anual para a região foi de, aproximadamente, 3 FF por mês.

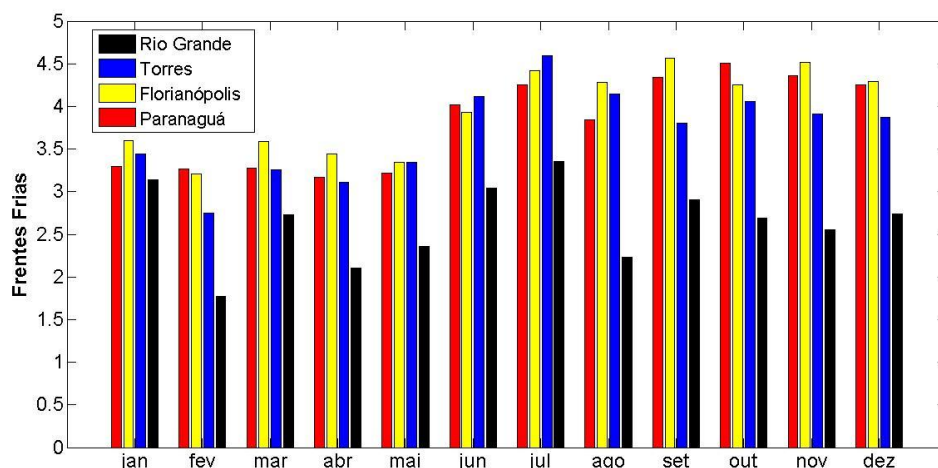


Figura 6: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral sul do Brasil: Paranaguá, Florianópolis, Torres e Rio Grande.

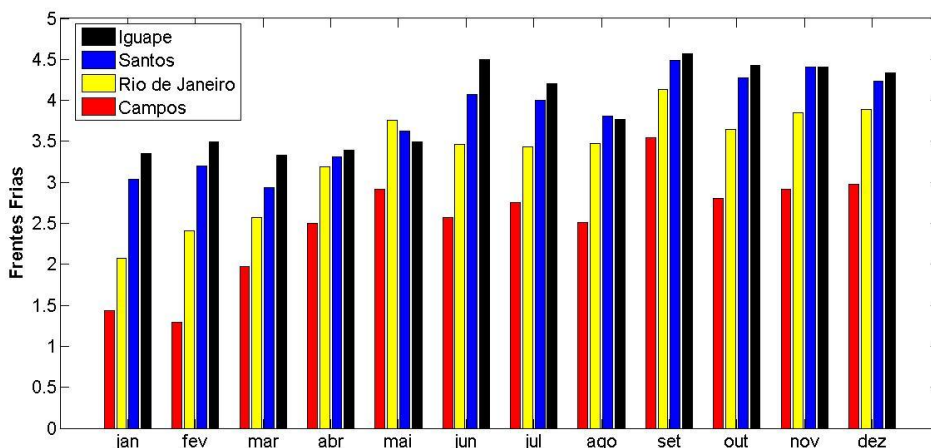


Figura 7: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral sudeste do Brasil: Campos, Rio de Janeiro, Santos e Iguape.

Já para a região nordeste do litoral brasileiro (Fig. 8 e Tab. 1) a máxima penetração de FF ocorre no outono e na primavera, sendo que o mês de maio apresenta a maior quantidade para todas as cidades. O verão foi a estação com penetração mínima de FF, concordando com as demais regiões do país. Resultados semelhantes foram observados por Kousky (1979) e Andrade (2005), que verificaram que a maior frequência de FF que atingem o sul da Bahia se dá no outono, inverno e primavera. Segundo Andrade (2005) no verão o deslocamento dos sistemas frontais é desviado para o oceano ao atingir as regiões sul e sudeste do país, diminuindo assim a frequência de FF em latitudes mais baixas.

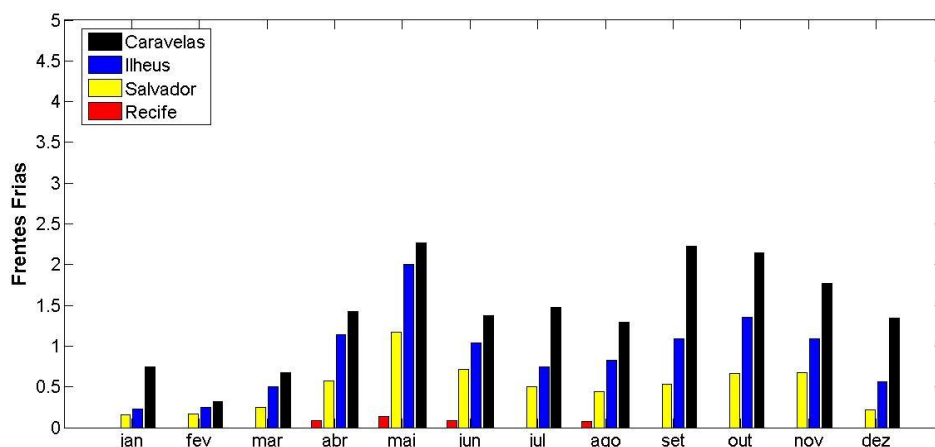


Figura 8: Climatologia mensal de frentes frias para 4 estações do litoral nordeste do Brasil: Recife, Salvador, Ilhéus e Caravelas.

A quantidade de FF que alcançam a cidade de Recife é insignificante, justificando a retirada no modelo conceitual proposto. Por ano, na região, ocorre a penetração média de 1 FF por mês.

4.2. Modelo Conceitual

4.2.1 A elevação subinercial da superfície do mar

Para verificar o papel das FF sobre a maré meteorológica no litoral brasileiro, foi analisado o tempo de resposta para ocorrência da elevação subinercial máxima da superfície do mar, após a entrada destes sistemas sinóticos, utilizando uma janela pós frente de 3 vezes o período inercial local, apresentados nas Figs. 9 a 14. A estatística básica com os tempos de resposta e elevações médias, bem como a porcentagem de eventos de marés meteorológicas acima do desvio padrão, foi sumarizada na Tab. 2. Três possíveis padrões de influência das FF sobre a elevação da superfície do mar (ESM) subinercial podem ocorrer: i) aumento da ESM (maré meteorológica positiva); ii) diminuição da ESM (maré meteorológica negativa); e iii) ausência de maré meteorológica. A seguinte conjunção de fatores propicia a maré meteorológica positiva devido à passagem de sistemas frontais: i) a rápida intensificação de uma frente ao alcançar o oceano, com forte ciclogênese, e ventos associados que podem causar o empilhamento de água na costa, ou ii) a combinação dos efeitos de um centro de baixa pressão sobre o mar e um centro de alta pressão sobre o continente, gerando uma pista de ventos de quadrante sul sobre o oceano os quais tendem a empilhar água na costa devido ao transporte de Ekman. No presente trabalho apenas as oscilações positivas da ESM de baixa frequência são analisadas, pois estas correspondem a mais de 50% das marés meteorológicas acima do desvio padrão (Tab. 2) em todas as regiões estudadas, exceto para o Rio de Janeiro (49,38%). Além disso, considerando o critério de 2 cm de ocorrência normalizada de diminuição ou aumento da ESM de baixa frequência, de acordo com Camargo *et al.* (1999) e Saraiva *et al.* (2003), mais de 86% das oscilações, em todas as estações mareográficas, são positivas, como pode ser observado nas Figs. 9 a 14. Segundo Truccolo *et al.* (2006), o modelo de regressão linear múltipla para a costa norte de Santa Catarina foi mais efetivo em reproduzir oscilações positivas, sugerindo que oscilações negativas podem ser resultantes de efeitos meteorológicos e/ou oceanográficos não locais.

Marégrafos	Elevação média e desvio padrão (cm)	Tempo Resposta e desvio padrão (dias)	Elevações acima do desvio padrão (%)
Rio Grande	27,70 ± 15,96	1,50 ± 0,67	70,00%
Imbituba	25,36 ± 18,49	1,97 ± 0,91	59,03%
Cananeia	29,47 ± 21,22	2,07 ± 1,00	60,30%
Rio de Janeiro	15,40 ± 13,02	1,78 ± 1,16	49,38%
Macaé	14,82 ± 12,38	1,83 ± 1,09	50,31%
Salvador	7,19 ± 4,76	4,01 ± 2,01	59,10%

Tabela 2: Estatística básica dos dados de elevação da superfície do mar subinercial após a entrada de FF. A janela de influência das FF foi de 3 vezes o período inercial local.

A partir das Figs. 9 a 14 é possível notar que um pico negativo da ESM subinercial antecede um evento positivo extremo de maré meteorológica. Este fato pode ser causado pela circulação atmosférica em baixos níveis que promove mudanças na direção do vento, onde a subida da ESM subinercial é causada por ventos de sul como o resultado da ação de ciclones formados no oceano Atlântico sudoeste e o anticiclone polar formado no continente. Quando o anticiclone polar se move em direção ao norte do continente Sulamericano, e o ciclone se move em direção ao leste no oceano Atlântico, a posição do anticiclone em relação à costa sul do Rio Grande do Sul sofre o efeito de ventos de norte, principalmente nordeste, gerando uma pista que causa uma diminuição da ESM ao longo da costa (Saraiva *et al.*, 2003). Ainda, segundo Campos *et al.* (2010), os eventos extremos de elevações positivas do nível do mar são marcados por um cavado bem pronunciado 48 horas antes do evento máximo, com ventos de nordeste que causam maré meteorológica negativa em São Paulo e Rio de Janeiro. Neste momento a costa do Rio Grande do Sul já recebe a influência da pista de sudoeste, gerando maré meteorológica positiva, a qual se propaga e atinge Santos nos dias subsequentes.

Para Rio Grande (Fig. 9, Tab. 2) é possível observar que as oscilações máximas da ESM subinercial são geradas em uma janela de até 48 horas após a entrada do sistema frontal, com um tempo de resposta médio da ordem de 1,5 dias. A elevação média devido as FF foi de 27,7 cm, com oscilações máximas da ordem de 60 cm em 5 de julho de 2001 e 24 de dezembro de 2002. Condições similares de aumento e resposta do nível do mar a condições atmosféricas foram encontradas por Saraiva *et al.* (2003).

Para Imbituba (Fig. 10, Tab. 2) o tempo de resposta e a elevação média foram de 1,97 dias e 25,3 cm, respectivamente, sendo que, a elevação máxima foi de 77,65 cm após 3,17 dias da entrada da FF no dia 1 de agosto de 2002. Outros quatro eventos de maré meteorológica positiva acima de 70 cm ocorreram em Imbituba, com tempos de resposta variando de 1,92 a 2,88 dias. O aumento da ESM associado à passagem de sistemas frontais, nestas duas localidades, é devido à inclinação nordeste-sudoeste da trajetória destes sistemas com a movimentação rápida do anticiclone sobre o continente (Marone & Camargo, 1994; Saraiva *et al.*, 2003).

A estação maregráfica de Cananéia (Fig. 11, Tab. 2) apresentou a maior elevação média do litoral brasileiro em estudo, 29,47 cm, estando associada a um tempo médio de resposta de 2,07 dias após a entrada do sistema frontal. Segundo Castro & Lee (1995), para a região do embaçamento Sul do Brasil, Cananéia também apresentou as maiores oscilações da ESM de baixa frequência na série temporal estudada, de 1 de agosto a 3 de novembro de 1978. A máxima elevação subinercial para Cananéia ocorreu em 12 de agosto de 2005 com uma subida de 94,28 cm e tempo de resposta de 1,83 dias. Como observado por Campos *et al.* (2010) para a região de Santos, entre um a dois dias após a entrada do sistema frontal ocorre o extremo da maré meteorológica, sendo assim a frente já se deslocou para regiões mais a nordeste quando ocorre o máximo da elevação.

As estações do Rio de Janeiro (Fig. 12, Tab. 2) e Macaé (Fig. 13, Tab. 2) apresentaram tempos de resposta médios de 1,78 e 1,83 dias, e elevações médias de 15,40 e 14,82 cm, respectivamente. O aumento máximo da ESM subinercial no Rio de Janeiro foi de 66,28 cm após 2,79 dias da entrada da FF, no dia 1 de janeiro de 1999. Já em Macaé, o máximo da ESM subinercial foi de 46,43 cm, estando associada a um tempo de resposta de 1,88 dias após a entrada do sistema frontal, em 11 de agosto de 2003.

Por último, Salvador (Fig. 14, Tab. 2) apresentou as menores ESM subinerciais, bem como os maiores tempos de resposta em comparação com as demais estações, com uma média de 7,19 cm e 4,01 dias, respectivamente. A máxima oscilação de 17,62 cm ocorreu no dia 3 de maio de 2005 após 5,63 dias da entrada da FF.

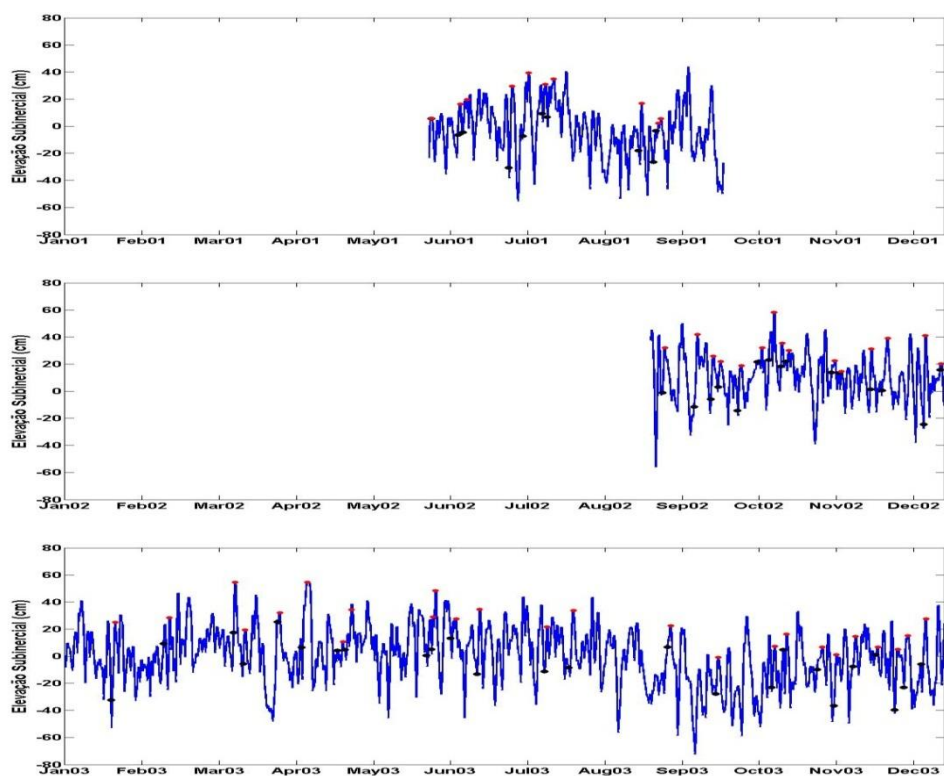


Figura 9: Série temporal por ano, de 2001 a 2003, da ESM subinercial para a estação maregráfica de Rio Grande (RS). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

A influência dos sistemas frontais, de acordo com a Tab. 2, diminui com o deslocamento para a região nordeste do país, com o aumento do tempo de resposta da FF sobre a ESM de baixa frequência e diminuição da elevação máxima após a entrada da Frente, corroborando com os resultados de Castro & Lee (1995), que verificaram uma diminuição da amplitude dos eventos extremos em direção ao nordeste das estações ao sul do embaimento sul do Brasil. Os tempos de resposta para Rio Grande (1.5 dias), Imbituba (1.97), Cananéia (2.07), Rio de Janeiro (1.78) e Macaé (1.83), são próximos ao tempo da rotação completa do vento, igual a 1,5 dias após a entrada da FF, descrito pelo modelo conceitual proposto por Stech & Lorenzetti (2002). Como será discutido na sessão seguinte (4.2.2), o aumento da ESM subinercial é devido, principalmente, ao aumento da tensão do vento paralela à costa.

O menor tempo de resposta na região Sul e Sudeste do litoral do Brasil é devido à maior intensidade e permanência das FF nestas regiões, além de estar associado ao menor período inercial. Segundo Pugh (1987), uma pista de geração de ondas de maré meteorológica depende da intensidade do vento paralela à costa, área de atuação, permanência e da batimetria local. Sendo assim, para ocorrência de marés

meteorológicas é importante que as condições citadas anteriormente se mantenham por um período da ordem de dias.

Para as estações do Rio de Janeiro e Macaé o tempo médio de resposta da ESM em relação à FF diminui em comparação com a região mais ao Sul do litoral brasileiro, o que pode ser causado pela batimetria do local, levando em conta que com o deslocamento para a região norte do país há uma diminuição na intensidade do sistema frontal o que deveria acarretar em um maior tempo de resposta. Segundo Stech & Lorenzetti (1992), os sistemas frontais geram uma forte oscilação inercial. Como esperado, essa oscilação aumenta em amplitude e torna-se mais polarizada com o distanciamento com a costa. A decomposição da escala de tempo desta onda é diretamente proporcional com a profundidade da coluna d'água. Sendo assim, em regiões mais rasas da plataforma, como no Rio de Janeiro e Macaé, o tempo de resposta destas oscilações tende a diminuir.

Segundo Stech & Lorenzetti (1992), em seu estudo sobre a resposta do embaimento sul do Brasil à passagem de frentes frias, a penetração de sistemas frontais é um dos principais mecanismos forçantes de baixa frequência na variabilidade do fluxo do embaimento sul do Brasil. Os resultados encontrados acima estão de acordo com estes autores, visto o papel significativo das FF sobre o aumento da ESM subinercial.

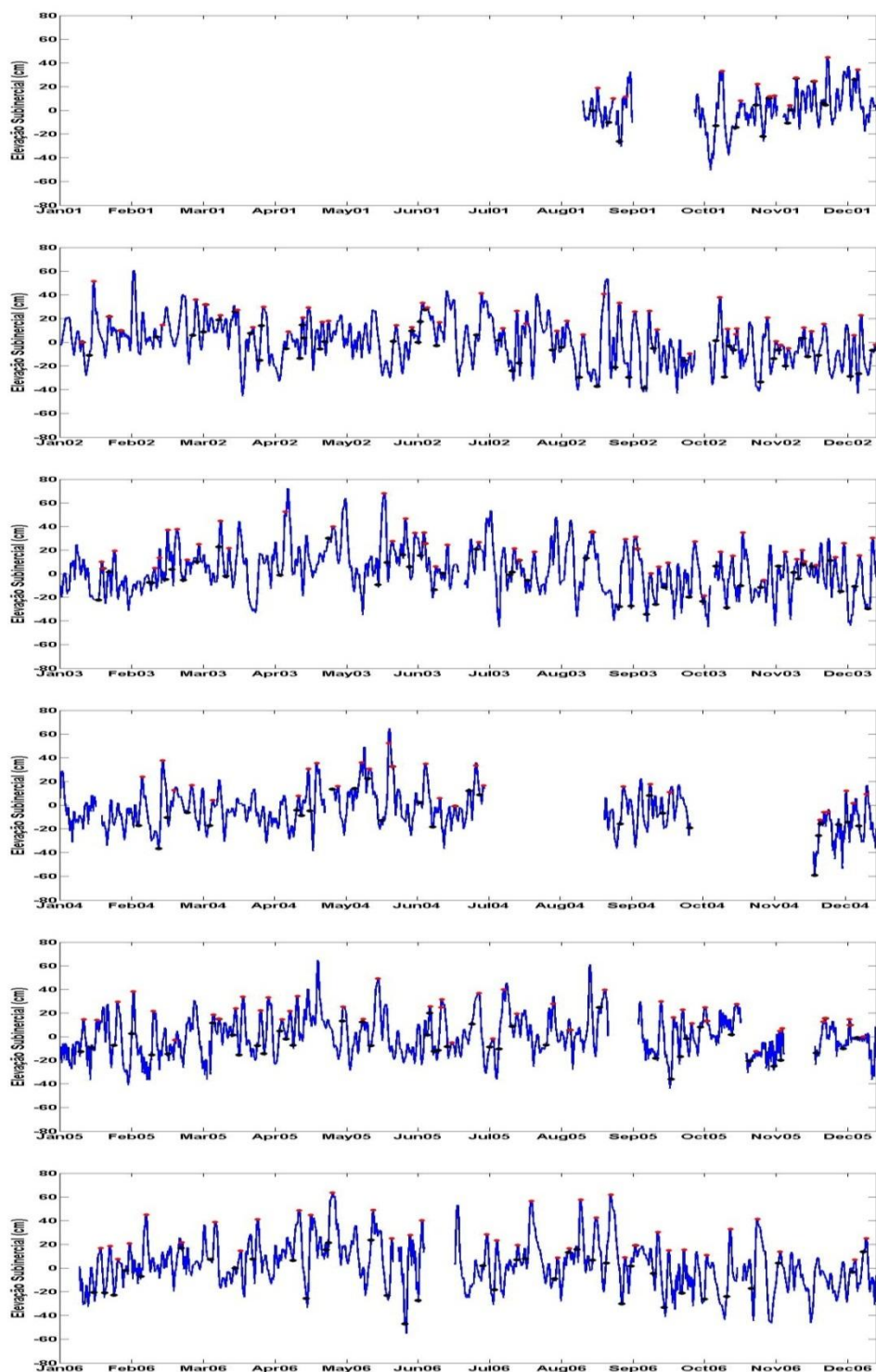


Figura 10: Série temporal por ano, de 2001 a 2006, da ESM sub inercial para a estação maregráfica de Imbituba (SC). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

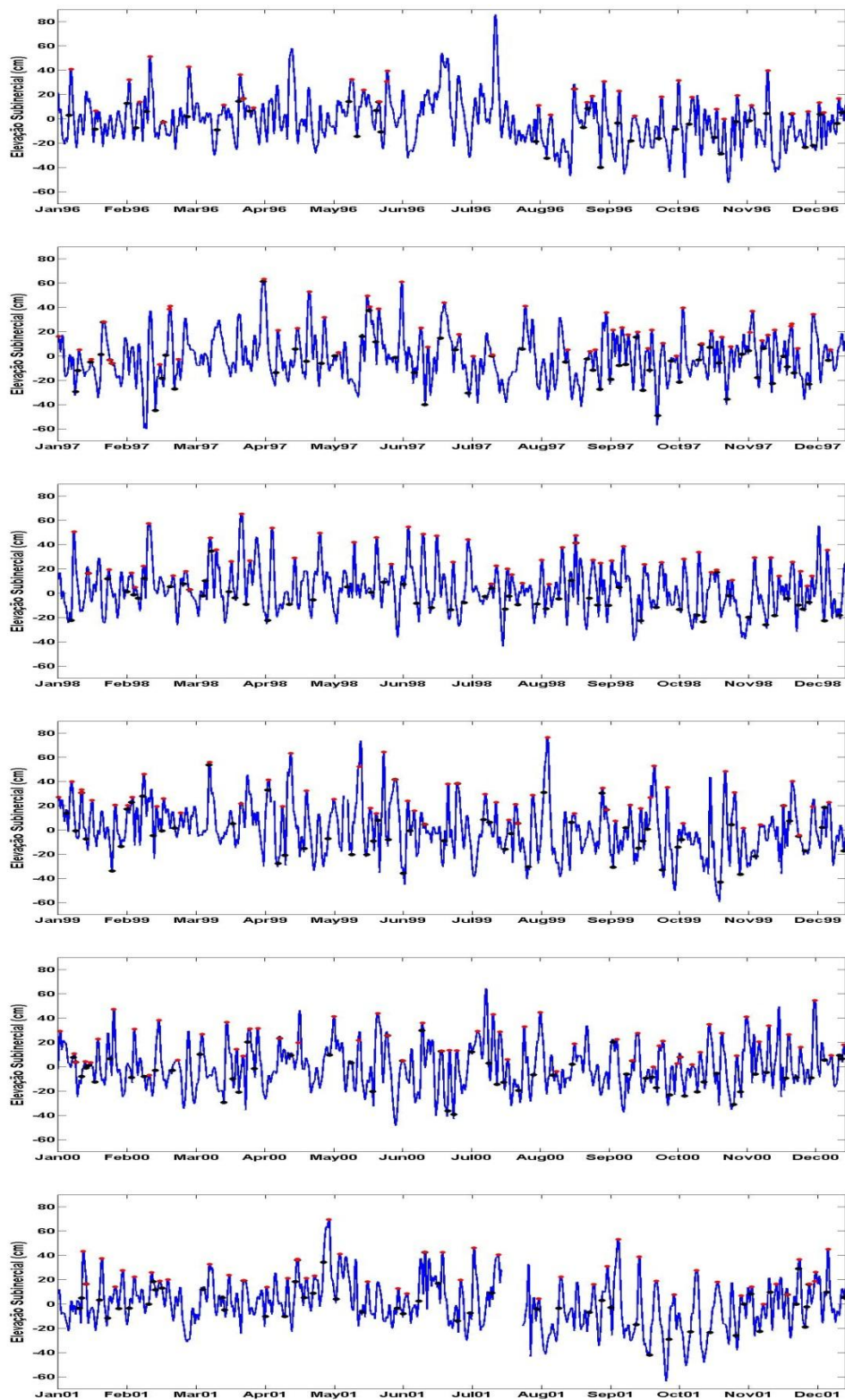


Figura 11: Série temporal por ano, de 1996 a 2001, da ESM subinercial para a estação maregráfica de Cananea (SP). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

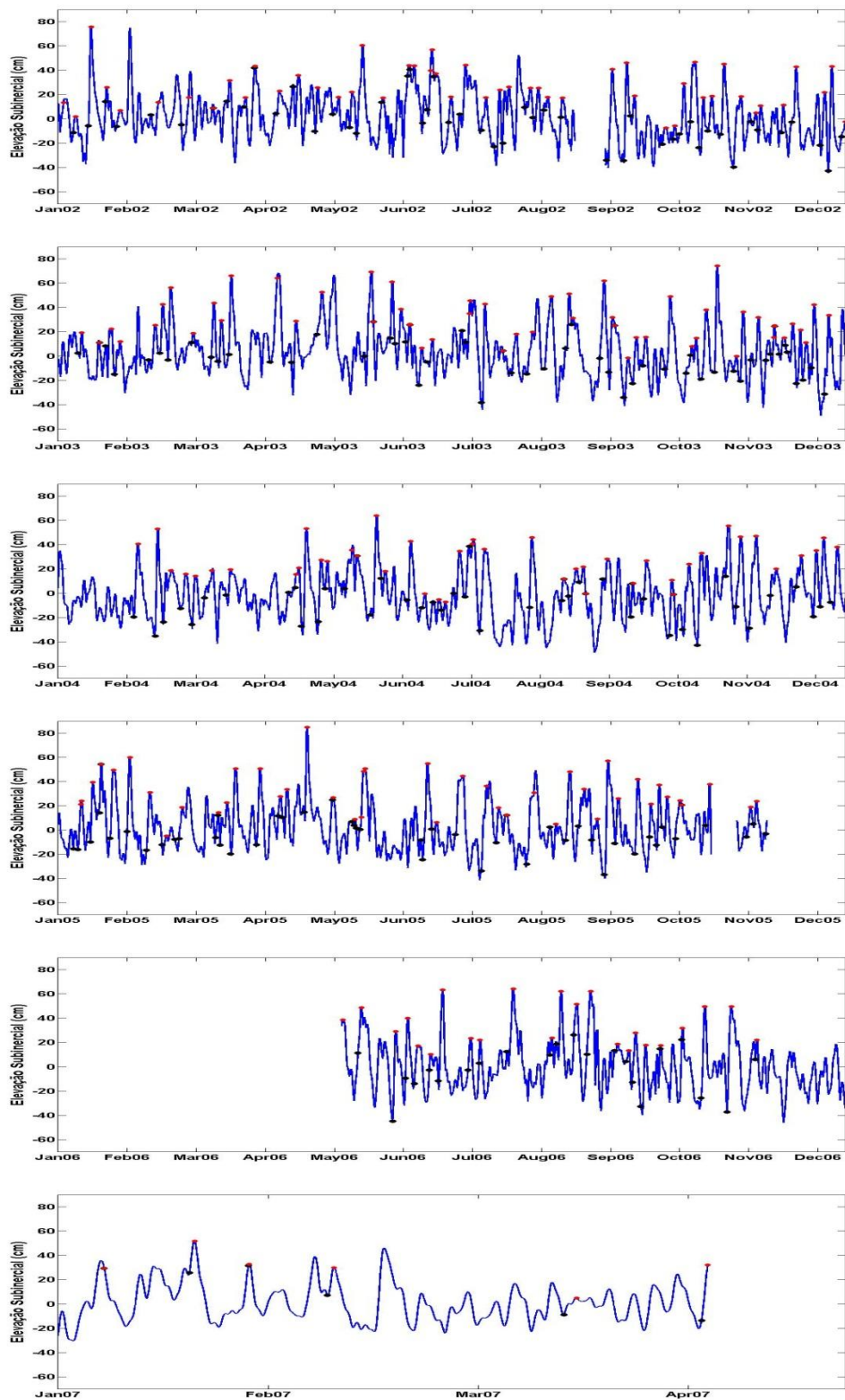


Figura 11 (continuação): Série temporal por ano, de 2002 a 2007, da ESM sub inercial para a estação maregráfica de Cananeia (SP). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

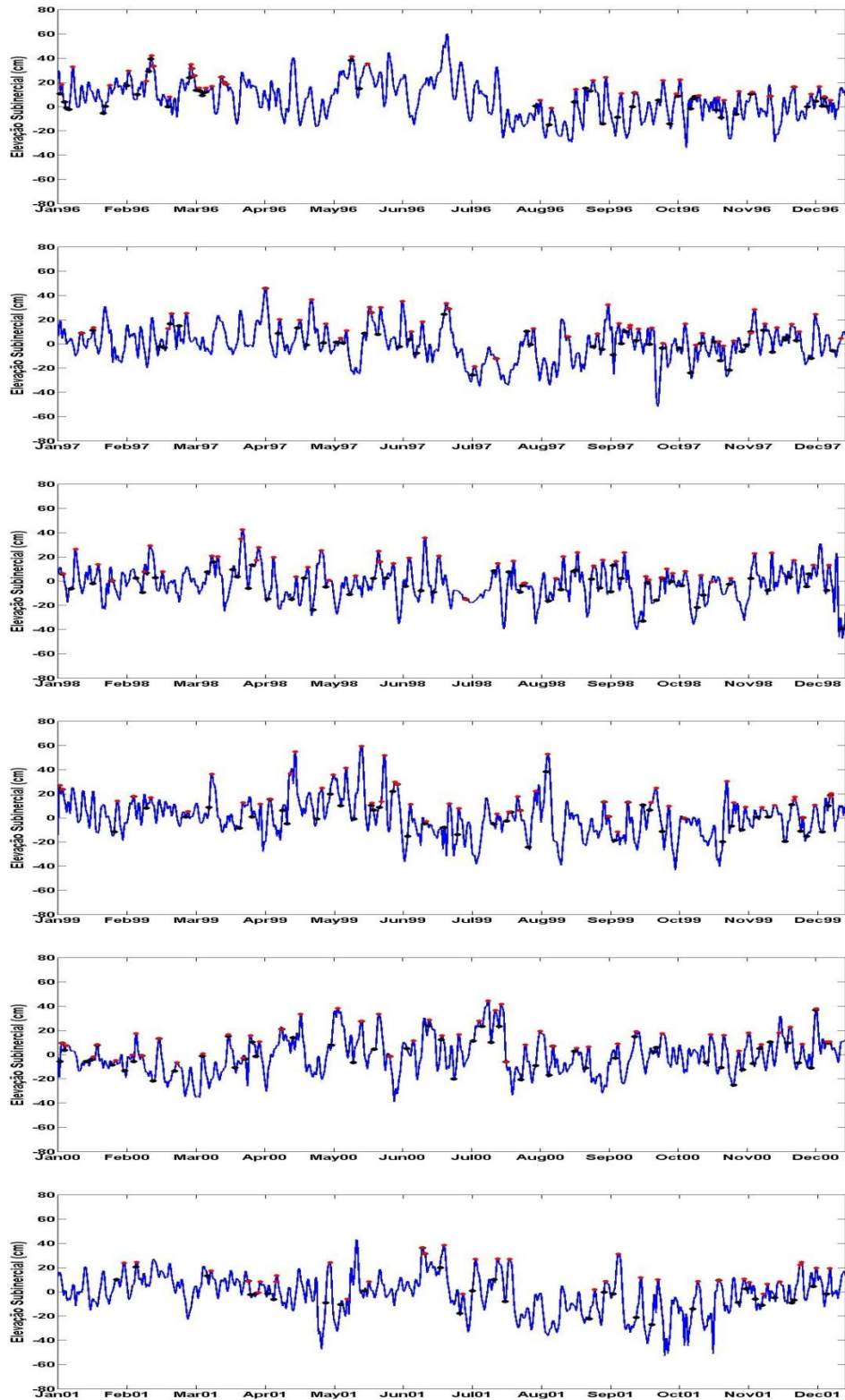


Figura 12: Série temporal por ano, de 1996 a 2001, da ESM sub inercial para a estação maregráfica de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

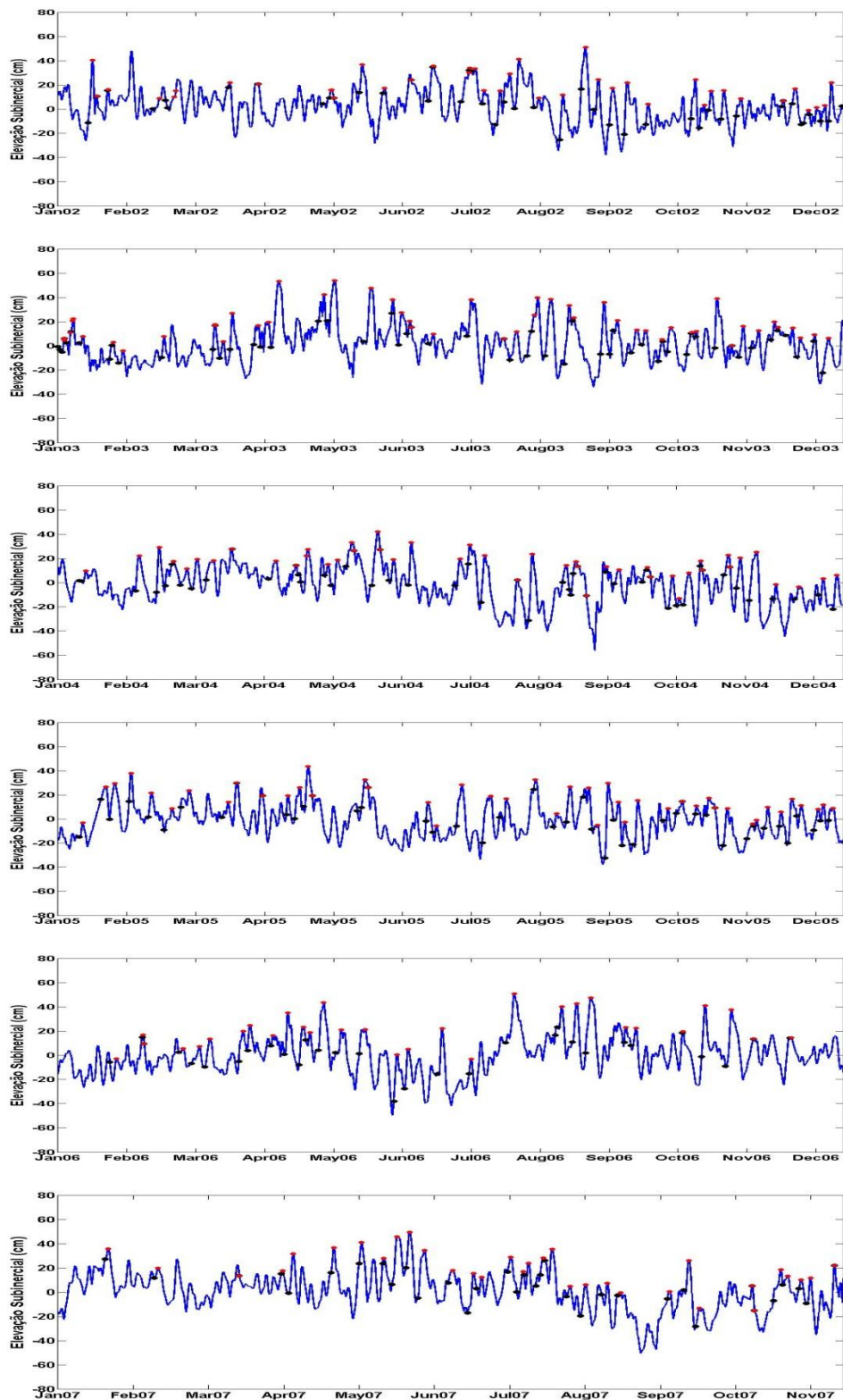


Figura 12 (continuação): Série temporal por ano, de 2002 a 2007, da ESM sub inercial para a estação maregráfica de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

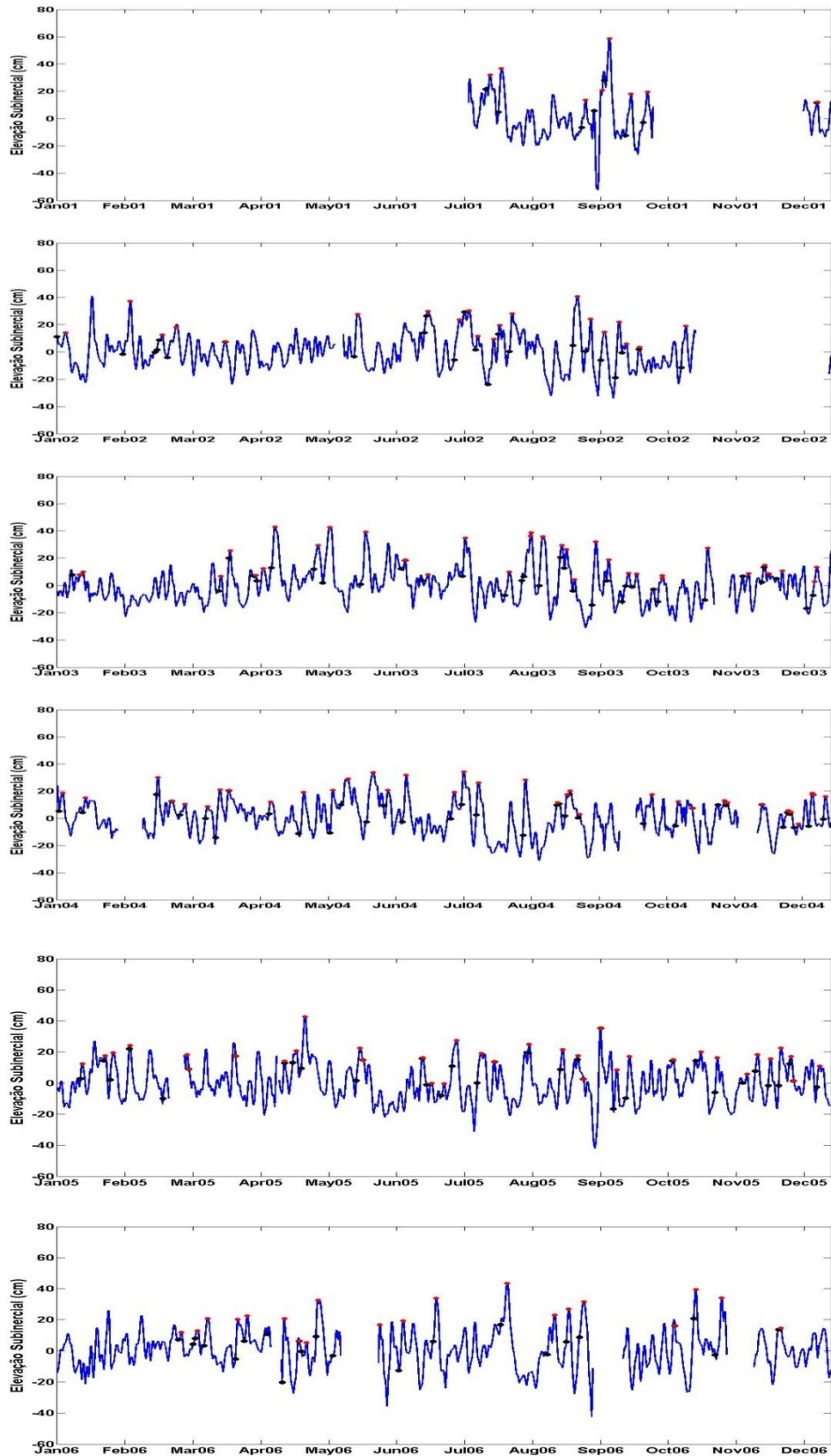


Figura 13: Série temporal por ano, de 2001 a 2006, da ESM subinercial para a estação maregráfica de Macaé (RJ). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

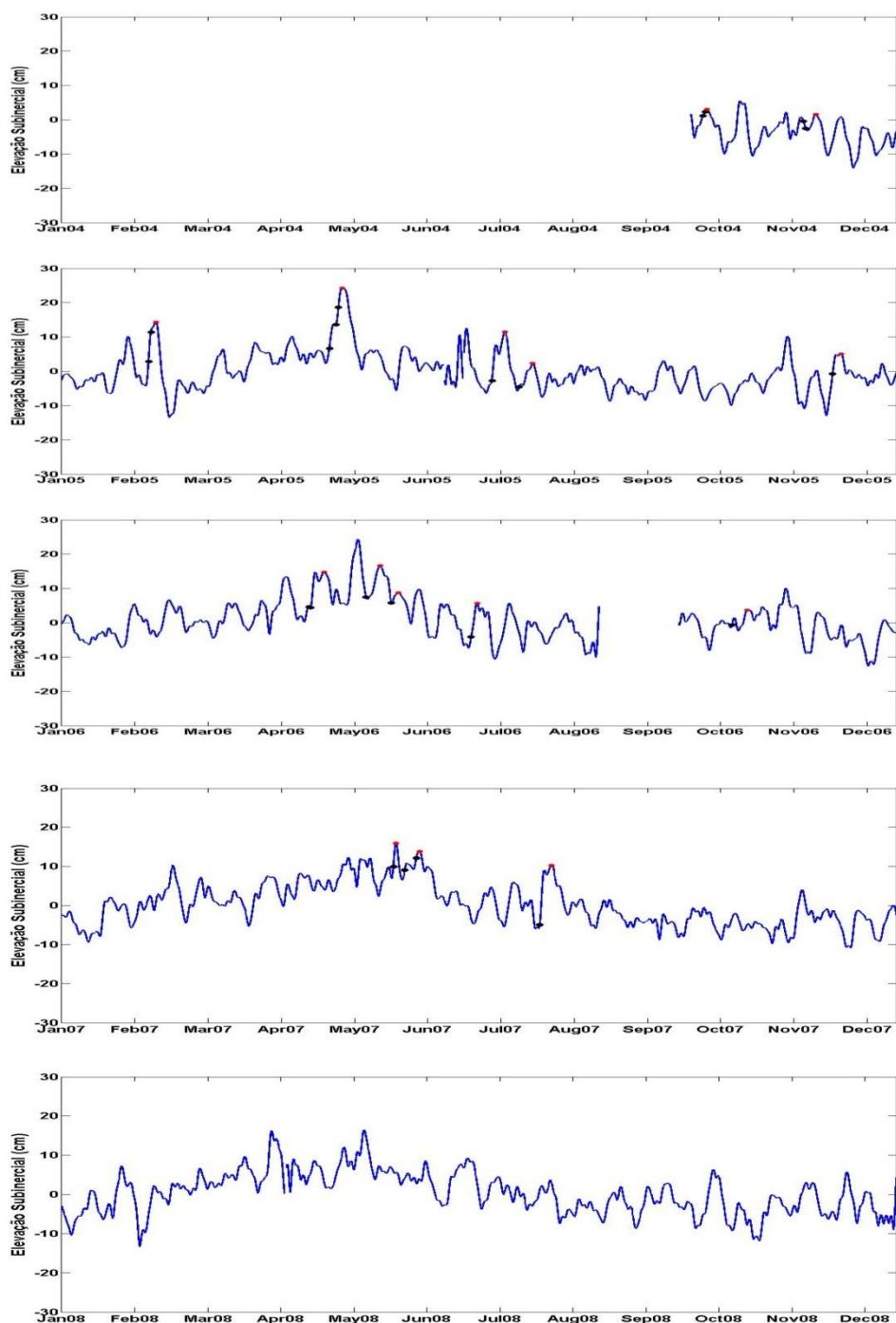


Figura 14: Série temporal por ano, de 2004 a 2008, da ESM sub inercial para a estação maregráfica de Salvador (BA). Os pontos pretos correspondem a entrada de frentes frias e os pontos vermelhos ao máximo da elevação após uma janela de 3 vezes o período inercial local da entrada da frente.

Para verificar o padrão sazonal da ESM subinercial no litoral brasileiro foi realizado um histograma mensal com as médias e máximos das elevações após a entrada dos sistemas frontais, como mostra a Fig. 15. Para Rio Grande (Fig. 15a) os meses de janeiro, fevereiro e agosto apresentaram os mesmos valores tanto para a média como para o máximo da ESM subinercial, já que nestes meses apenas um evento de ESM

devido à penetração de FF foi registrado. Já o mês de maio não apresentou nenhum evento de ESM subinercial após a entrada de FF. As maiores médias foram registradas no inverno (JAS), em torno de 40 cm de ESM subinercial, enquanto que a máxima elevação, em torno de 61 cm, foi observada em dezembro.

Para o marégrafo de Imbituba (Fig. 15b) a média e a máxima ESM subinercial devido à penetração de sistemas frontais ocorreu em setembro com aproximadamente, 35 cm e 78 cm, respectivamente. O outono (AMJ) apresentou valores máximos de ESM subinercial próximos aos valores encontrados no mês de setembro. Os maiores valores encontrados no outono e inverno tanto para Imbituba como para Rio Grande estão associados à maior intensidade das FF nestas estações, bem como a maior intensidade dos campos de vento de Sul (Saraiva *et al.* 2003).

Para Cananéia (Fig. 15c) não foi possível observar um padrão distinto entre as estações, tanto para a média como para os máximos de ESM subinercial. Em comparação com os demais pontos do litoral brasileiro, o marégrafo de Cananéia apresentou os maiores valores de ESM em torno de 90 cm.

Para os marégrafos da Ilha Fiscal (Fig. 15d) e Macaé (Fig. 15e) as estações de inverno e outono também apresentaram as maiores médias de ESM subinercial. Com relação aos valores máximos de ESM o mês de janeiro em Ilha Fiscal apresentou a maior elevação em torno de 77 cm, enquanto que em Macaé o máximo ocorreu em setembro, aproximadamente, 46 cm.

Por último, para Salvador (Fig. 15f) a estação do outono apresentou os maiores valores médios e máximos de ESM subinercial, resultado que está de acordo com a maior quantidade de FF que alcançam esta região na estação indicada. Os meses de janeiro, março e setembro não apresentaram nenhum evento de ESM subinercial devido à penetração de FF. A Fig. 15 também apresenta o mesmo padrão observado na Tab. 2 e Figs. 9 a 14 de menor intensidade do aumento da ESM subinercial, devido à penetração de FF, com o deslocamento para a região nordeste do país.

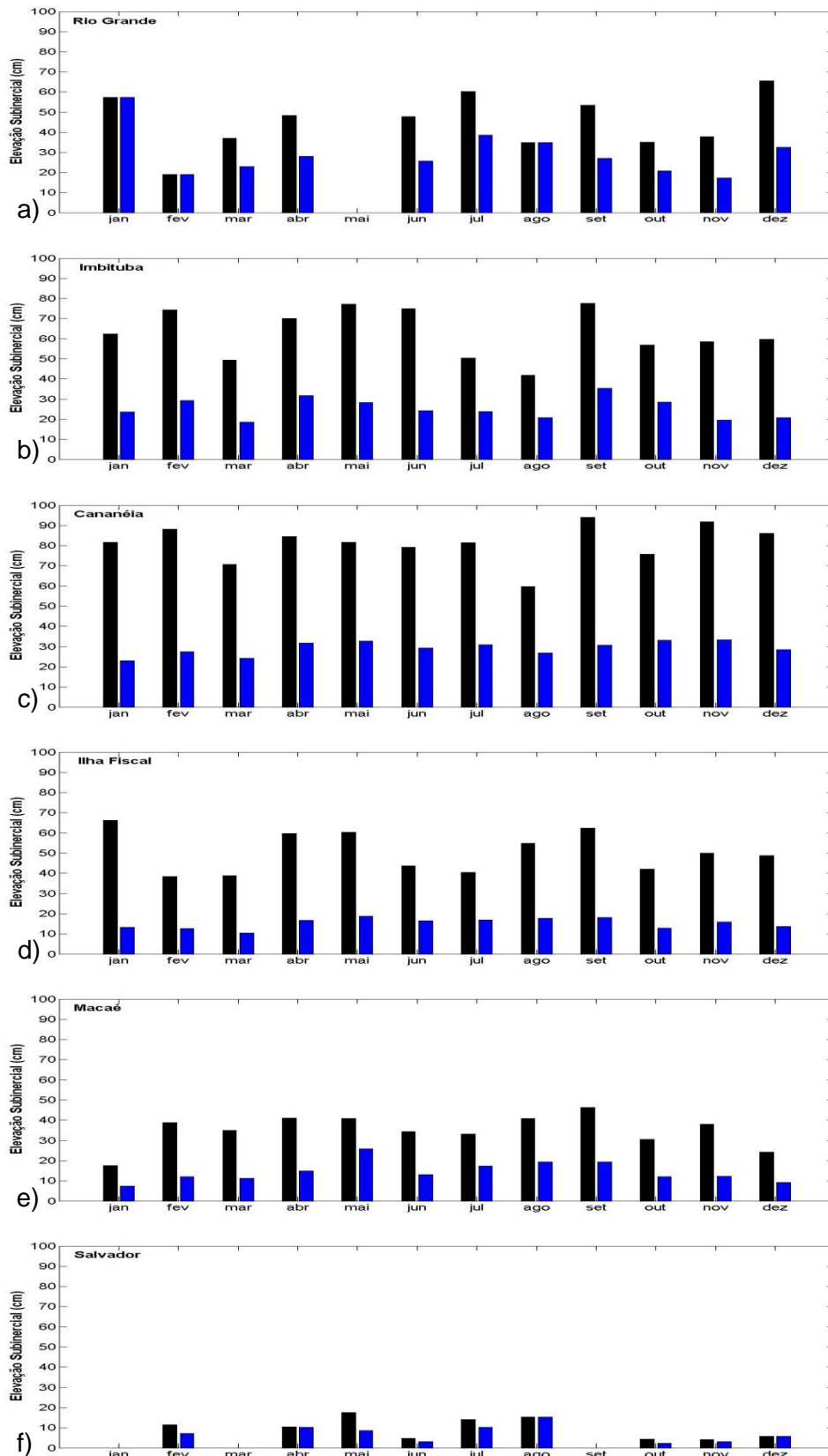


Figura 15: Histograma mensal da série temporal de ESM subinercial para: a) Rio Grande; b) Imbituba; c) Cananéia; d) Ilha Fiscal; e) Macaé; e f) Salvador. A barra em preto apresenta o máximo da elevação subinercial no mês indicado e a barra azul a média da elevação subinercial.

4.2.2 Tensão do Vento paralela à costa

O comportamento da tensão do vento paralela à costa com relação à entrada de sistemas frontais, em cada estação do litoral brasileiro em estudo, foi analisado através das Figs. 16 a 21. A partir destas figuras é possível notar, em todas as estações, que a resposta padrão à penetração de FF é o aumento da tensão do vento paralela à costa. Tendo em vista que a subida ou descida do ESM subinercial é devido, principalmente, à tensão do vento ao longo da costa através do transporte de Ekman, as Figs. 16 a 21 demonstram um favorecimento do empilhamento de água após a entrada de FF no litoral brasileiro. Outro fator importante nas Figs. 16 a 21 é o aumento na amplitude da variação da tensão, na janela de 24 horas da entrada da FF, no inverno em comparação com o verão, isso pode ser observado nas figuras pelo distanciamento do ponto vermelho (máximo após a janela de 24 horas da entrada da FF) em relação ao ponto preto (dia da entrada da FF). Este fato pode estar vinculado à maior intensidade das FF durante o inverno em comparação com o verão. Além disso, segundo Campos *et al.* (2010), no verão os centros de alta pressão são menos intensos e o cavado apresenta-se pouco pronunciado, com ventos moderados abaixo de 8 m/s. Já no inverno e nas estações de transição, os gradientes de pressão tornam-se mais intensos, aumentando a pista de sudoeste junto à costa, com ventos acima de 10 m/s, que provocam o empilhamento de água e a elevação do nível do mar. O aumento da ESM subinercial associado à tensão do vento paralela à costa pode ser causada por dois fatores: i) aumento dos ventos de quadrante Sul, ou seja, da tensão positiva; ou ii) diminuição da intensidade dos ventos de quadrante Norte, tensão negativa. A ESM devido à tensão do vento na superfície é explicada pela teoria de Ekman, onde a resultante do transporte de Ekman na camada superficial promovendo o empilhamento de água em regiões de menor profundidade, ocorre a 90° a esquerda da direção do vento no Hemisfério Sul (Godin, 1972).

A Tab. 3 resume as características, expostas nas Figs. 16 a 21, da tensão do vento no dia da entrada da FF e em uma janela de 24 horas após o sistema sinótico. Na estação mais ao sul do litoral brasileiro (Fig. 16), Rio Grande, em 153 FF's o dia da penetração da frente foi marcado por uma tensão positiva do vento paralelo à costa, ou seja, fluxo de Sul, enquanto que em 235 FF's o dia da penetração ocorreu em uma tensão negativa, correspondendo a um fluxo de Norte. Porém, como observado na Fig. 16 a entrada do sistema frontal promove a diminuição na intensidade da tensão do vento negativa ou aumento da intensidade da tensão do vento positiva, correspondendo a 66,81% e 52,29%, respectivamente (Tab. 3). Segundo Saraiva *et al.*

(2003), em seu monitoramento de ressacas na praia do Cassino, 85% dos casos de aumento do nível do mar foram marcados por ventos de Sul, principalmente sudoeste.

Marégrafos	Número de eventos com tensão positiva no dia da FF	Número de eventos com tensão negativa no dia da FF	Δ Tensão	Δ Tensão
			Negativa (%)	Positiva (%)
			$\Delta+$	$\Delta+$
Rio Grande	153	235	66.81	52.29
Imbituba	273	333	69.77	62.27
Cananéia	278	334	72.45	63.31
Rio de Janeiro	310	255	74.12	60.00
Macaé	214	214	72.90	59.35
Salvador	54	55	75.93	46.30

Tabela 3: Estatística básica da tensão do vento paralela à costa no dia da entrada da FF. O cálculo das variações da tensão foi realizado utilizando uma janela de 24 horas após a entrada da frente, tanto para as tensões positivas como negativas no dia da entrada do sistema frontal. Uma variação positiva significa que após 24 horas da entrada do sistema frontal houve um favorecimento para o empilhamento de água junto à costa.

Em Imbituba (Fig. 17) há um aumento na quantidade de eventos de FF com tensões positivas em comparação com a estação de Rio Grande, sendo que das 273 entradas de sistemas frontais sob tensão positiva, 62,27% destas aumentaram ainda mais a tensão paralela à costa. Nos casos de tensões negativas (333 FF), aproximadamente 70% dos sistemas sinóticos aumentaram a tensão após uma janela de 24 horas da sua entrada. A quantidade de FF's atuando com fluxo de Sul, ou seja, tensão positiva, cresce com o deslocamento para a região norte do país, como é possível observar na Tab. 3. A diferença entre o comportamento da tensão do vento paralela à costa entre Rio Grande, onde observa-se a menor quantidade de tensão do vento positiva no dia da penetração da FF, e as demais localidades pode ser devido às condições atmosféricas distintas nesta região, já que a costa sul do Brasil é considerada uma região frontogenética. Sendo assim, a costa do Rio Grande do Sul apresenta situações em que a pista do vento pode não ser formada ou apresentar pequenas extensões (Saraiva *et al.*, 2003).

Para Cananeia (Fig. 18), Rio de Janeiro (Fig. 19), Macaé (Fig. 20) e Salvador (Fig. 21) mais de 70% dos fluxos de Norte diminuíram de intensidade, ou seja, a tensão do vento se tornou mais positiva, acarretando um maior transporte de Ekman favorável ao empilhamento de água na costa. O aumento de intensidade no fluxo de Sul também foi similar para Cananeia, Rio de Janeiro e Macaé, em torno de 60%, enquanto que para

Salvador apenas 46,30% deste fluxo sofreu aumento após a entrada do sistema frontal. Com o deslocamento das FF para regiões mais ao norte do país, os ventos pós-frontal possuem uma componente paralela à costa mais alta (McInnes & Hubbert, 2003), explicando o aumento deste fluxo nas séries temporais analisadas. Ainda segundo Stech & Lorenzetti (1992), a passagem da FF no embaimento sul do Brasil traz uma completa reversão do fluxo e uma aceleração local que é concentrada, principalmente, na direção paralela à costa.

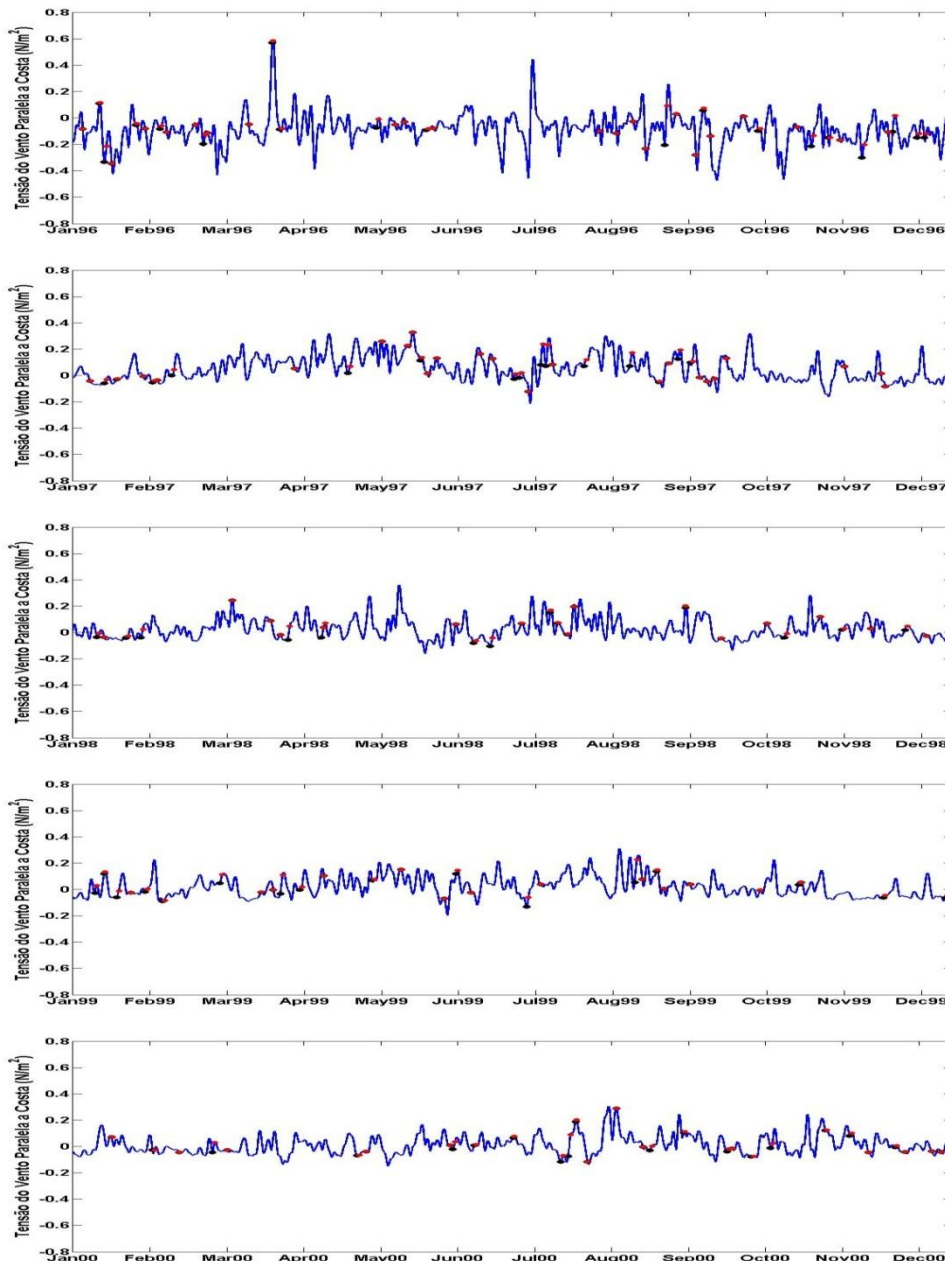


Figura 16: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Rio Grande (RS). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

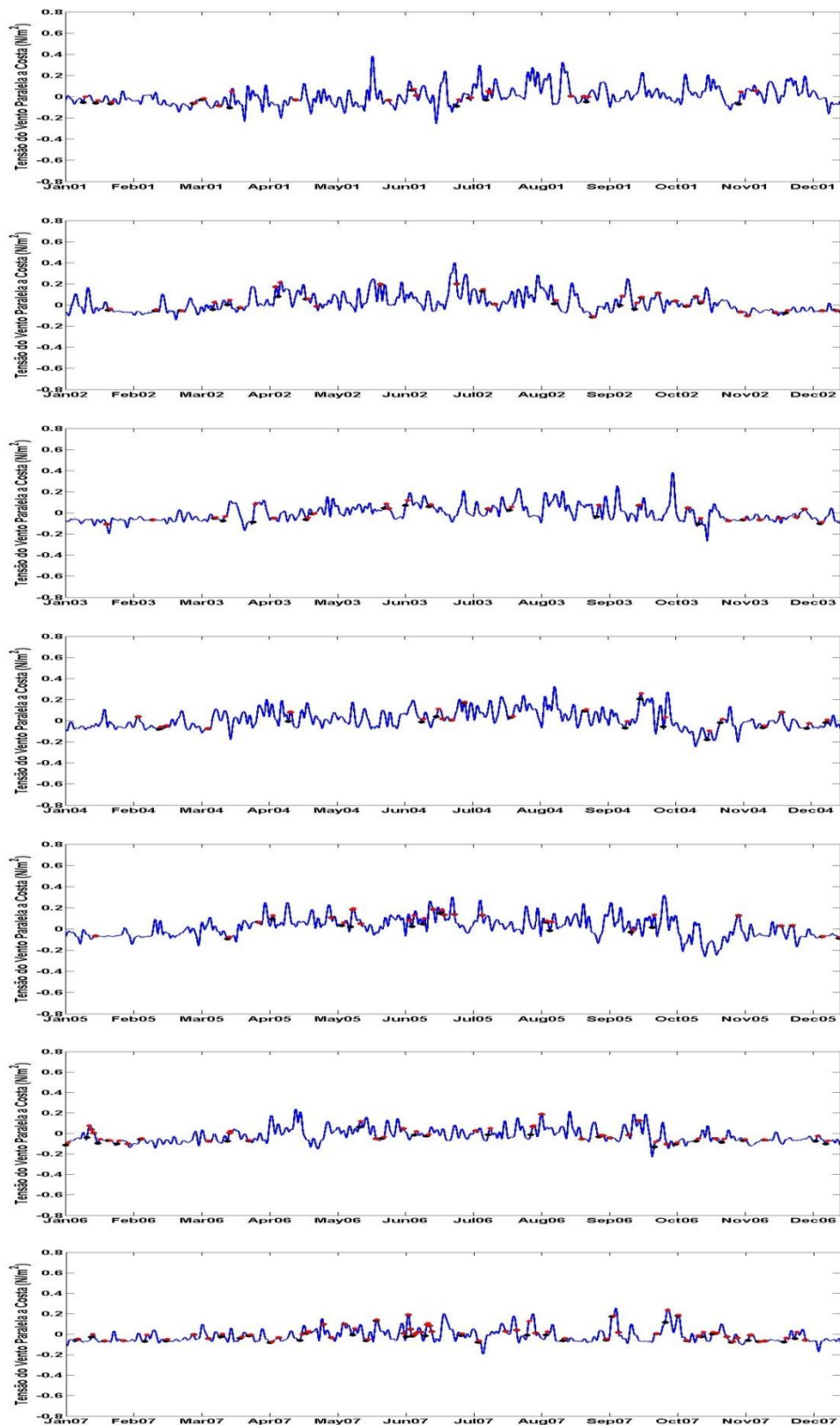


Figura 16 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Rio Grande (RS). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

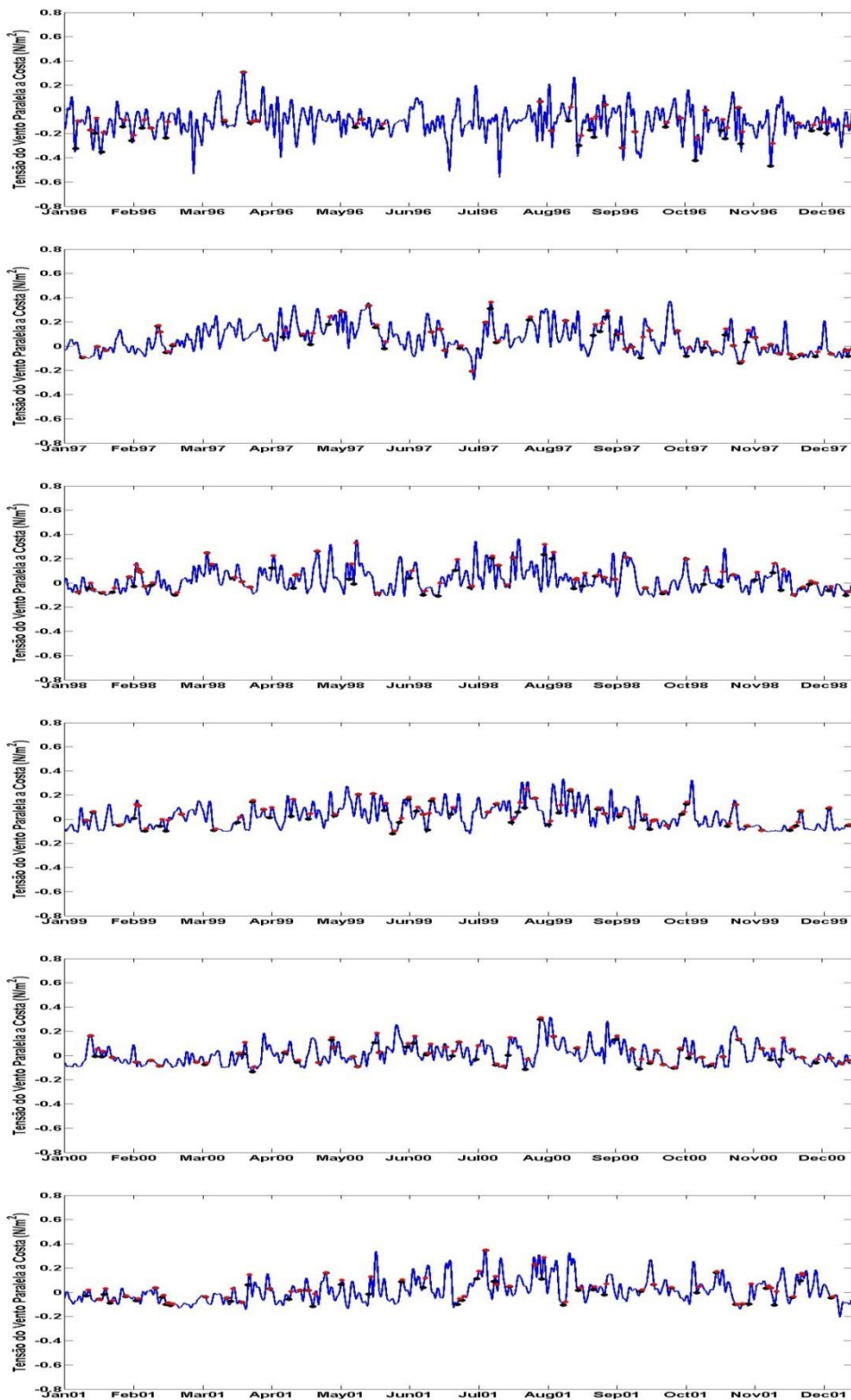


Figura 17: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Imbituba (SC). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

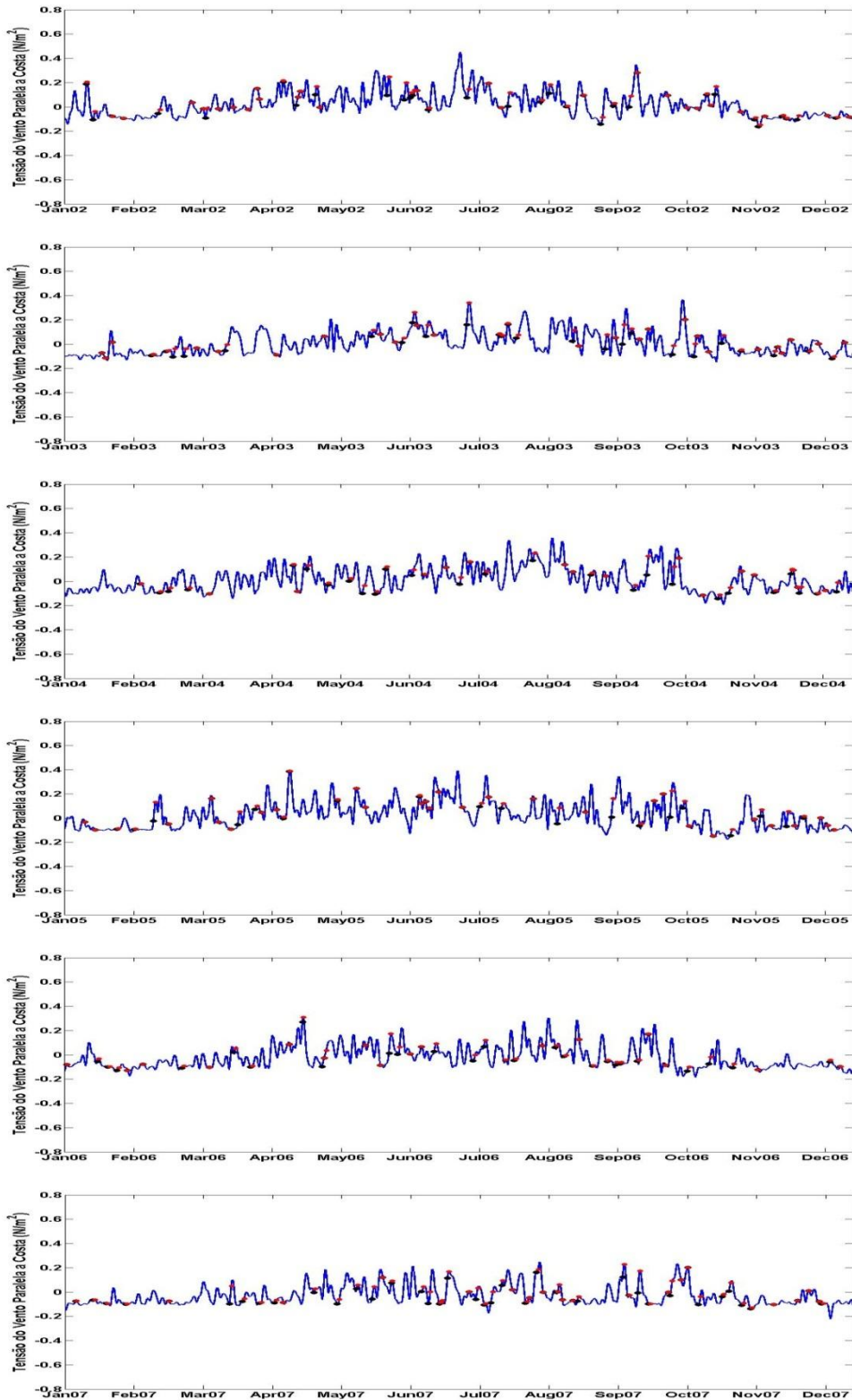


Figura 17 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Imituba (SC). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF..

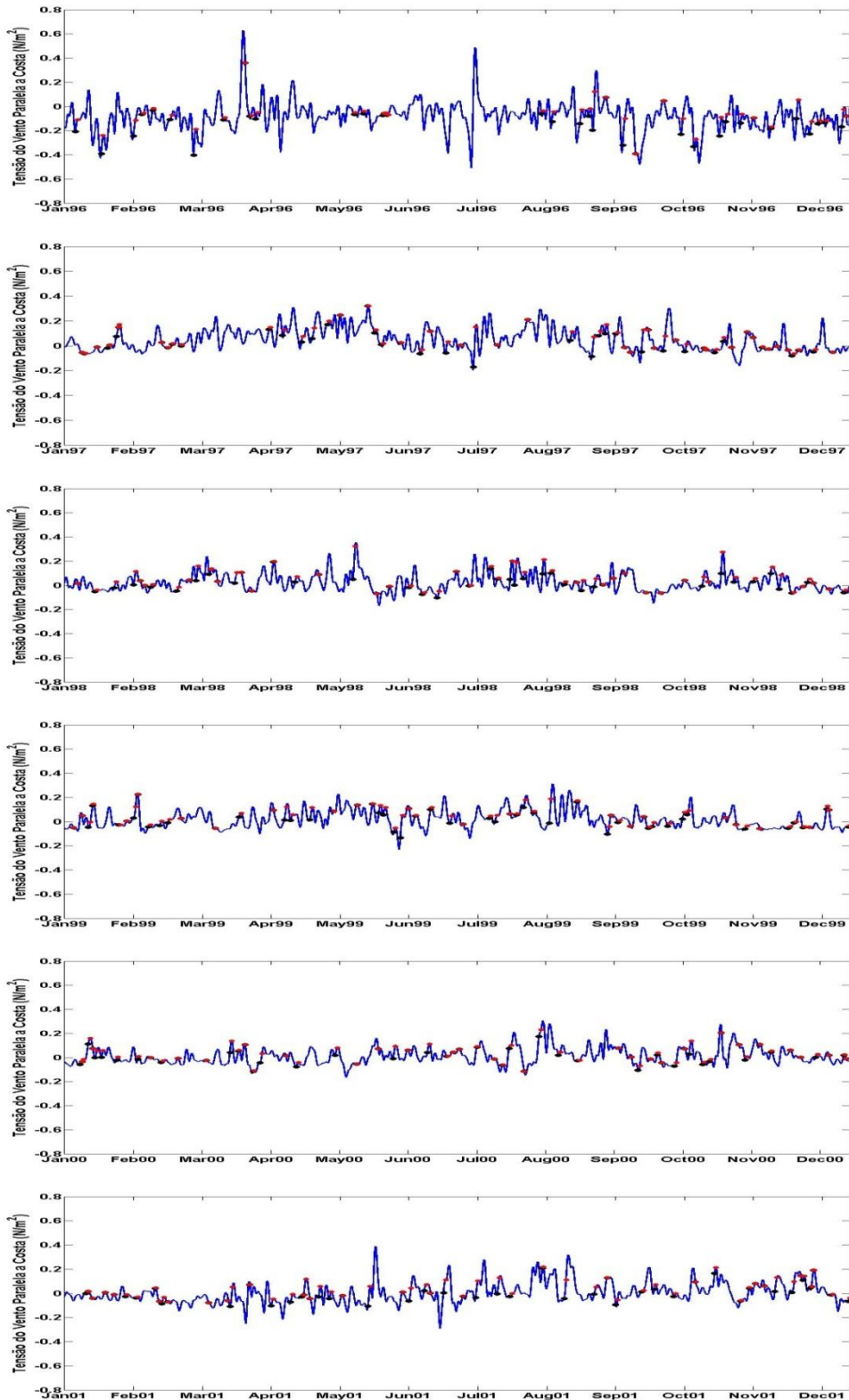


Figura 18: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Cananéia (SP). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

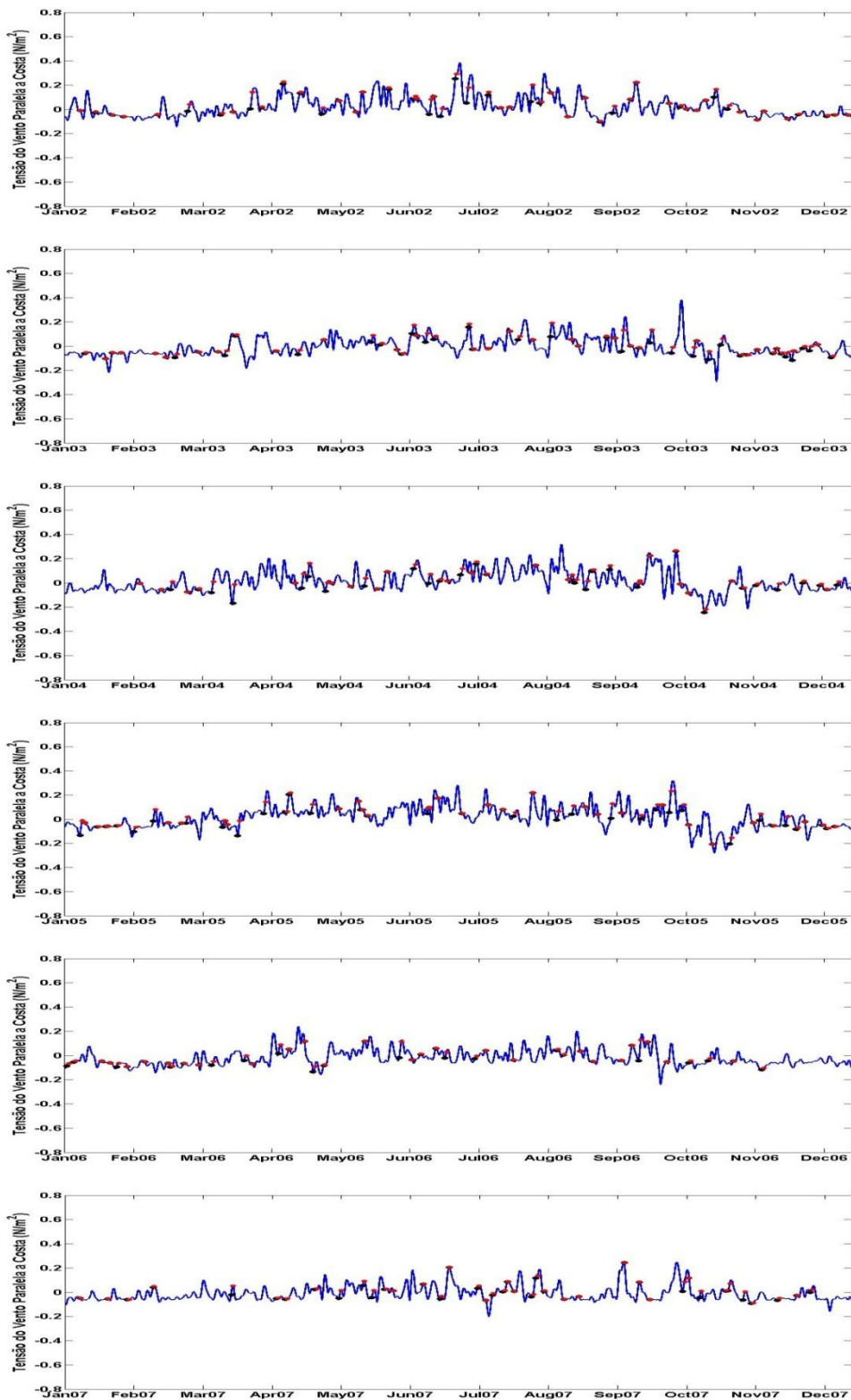


Figura 18 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Cananéia (SP). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

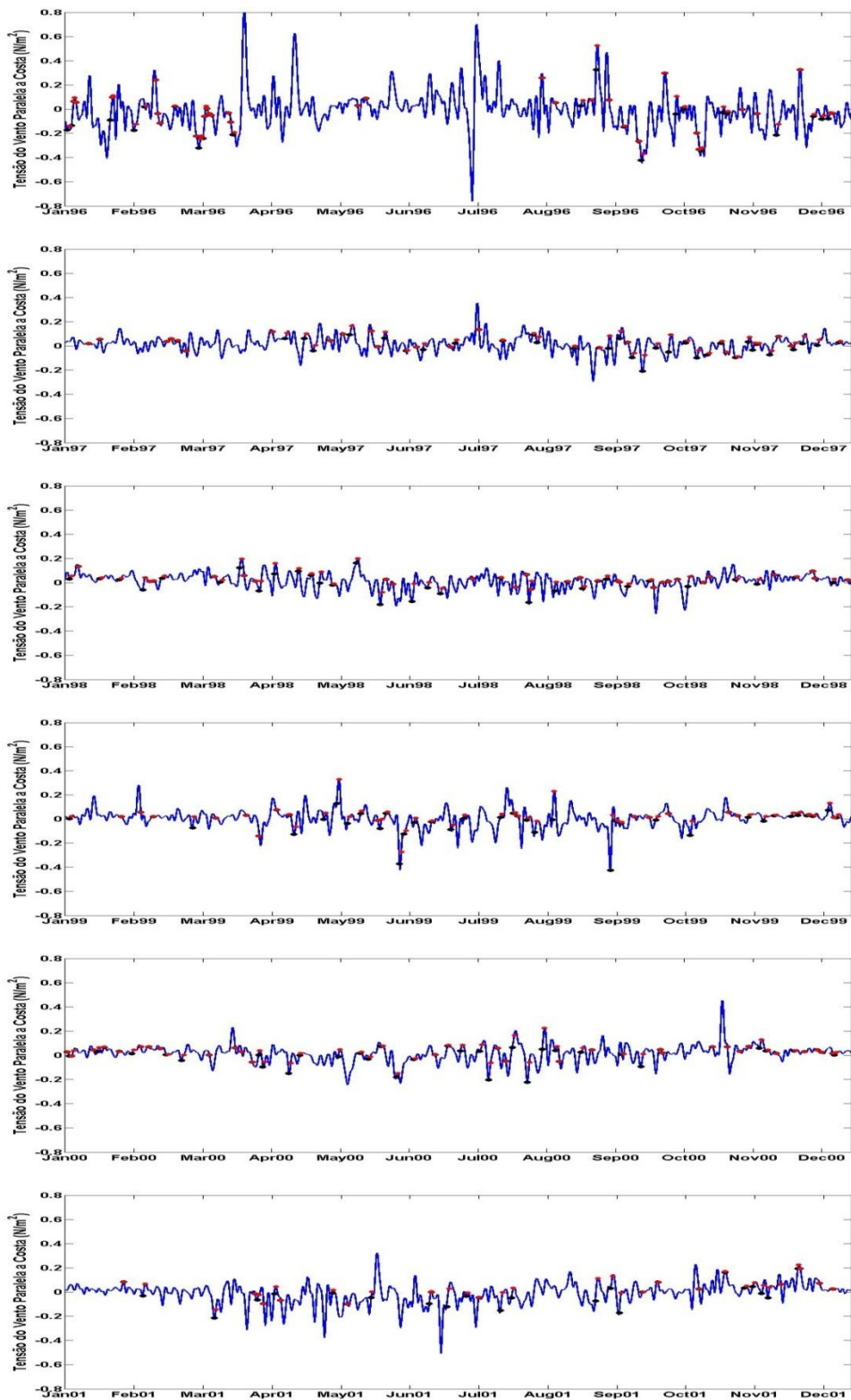


Figura 19: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

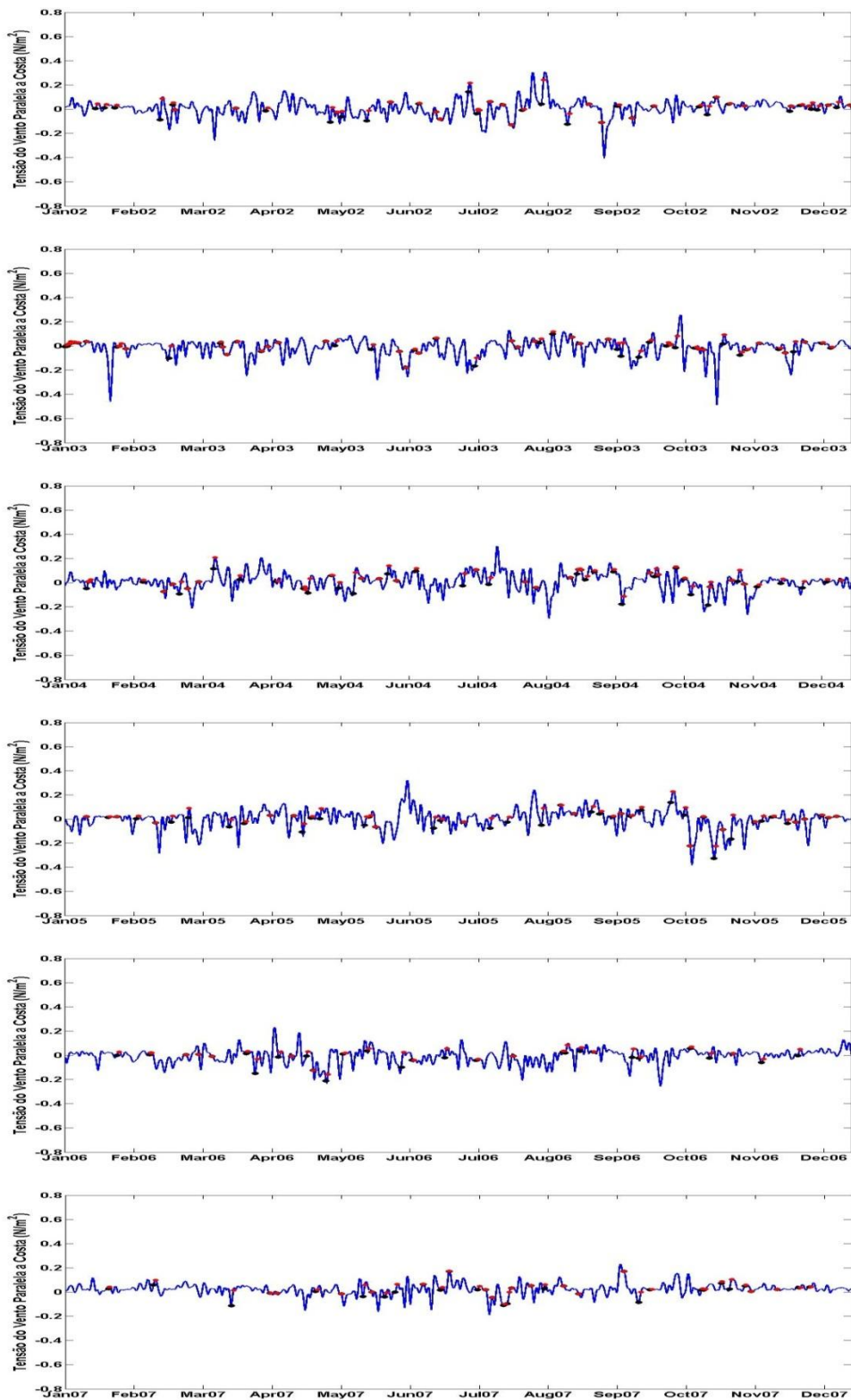


Figura 19 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Ilha Fiscal (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

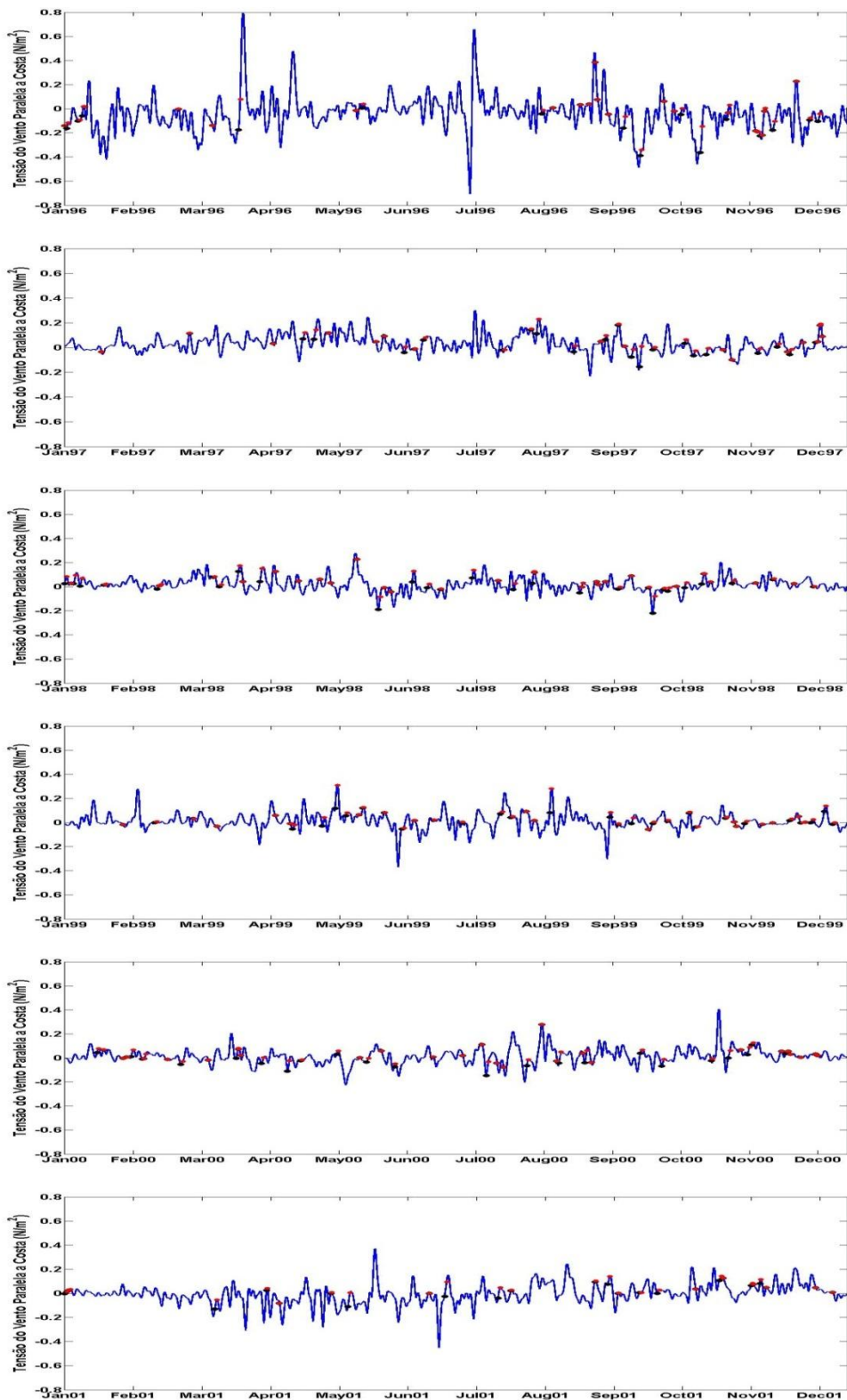


Figura 20: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Macaé (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

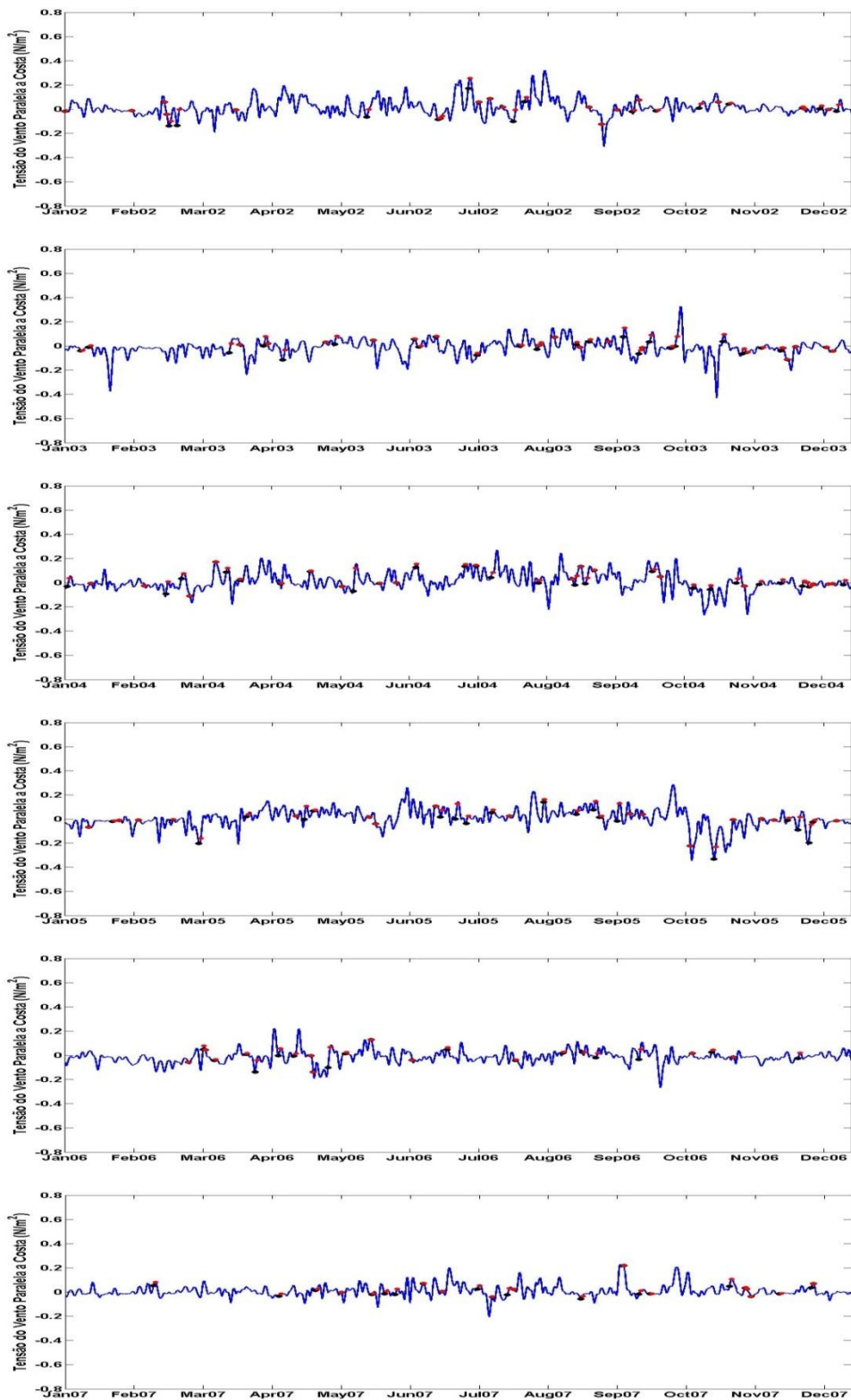


Figura 20 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Macaé (RJ). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

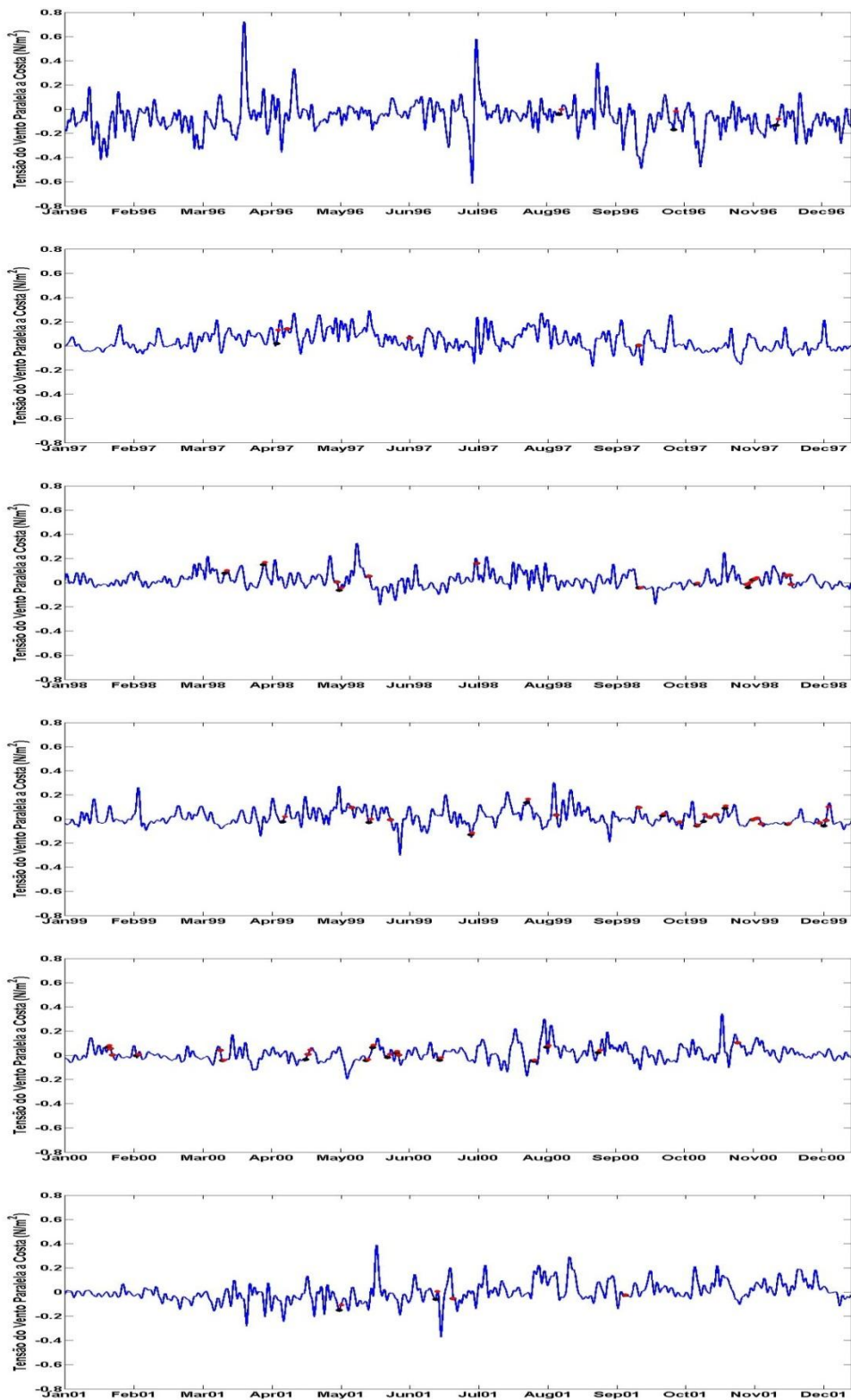


Figura 21: Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Salvador (BA). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

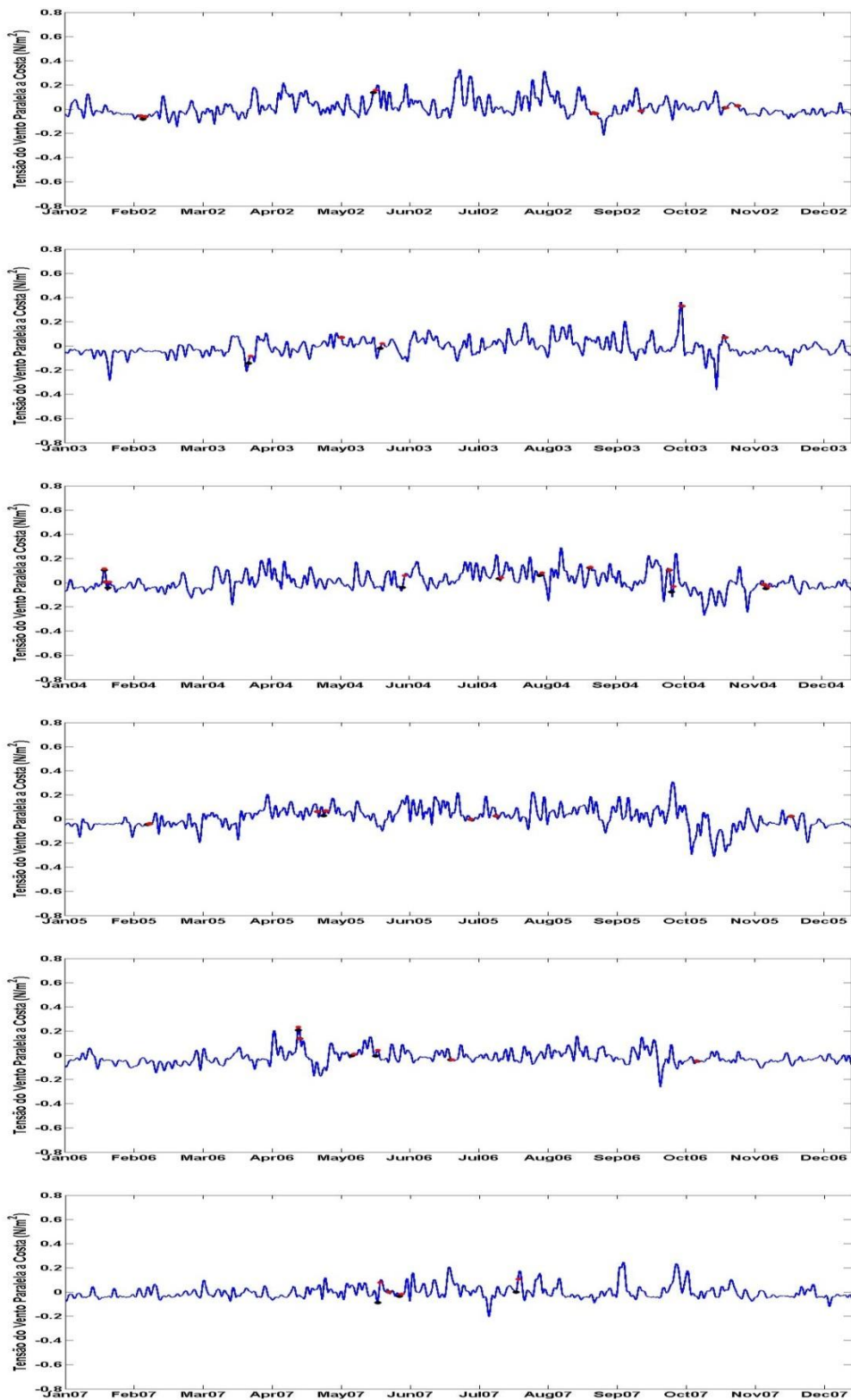


Figura 21 (continuação): Tensão do vento paralelo à costa da reanálise II do NCEP filtrada na banda subinercial para o ponto mais próximo do marégrafo de Salvador (BA). Os pontos pretos correspondem à entrada de FF e os pontos vermelhos ao máximo da tensão após um período de 24 horas após a entrada da FF.

4.2.3 A resposta da elevação subinercial da superfície do mar à tensão do vento paralela à costa

As Fig. 22 a 26 apresentam a análise espectral das series temporais da elevação do nível do mar subinercial e da tensão do vento paralela à costa, bem como, a coerência e defasagem do espectro cruzado destas duas componentes, para cada estação maregráfica do litoral brasileiro. O índice de 95% de confiança foi usado para estimar a coerência com 8 graus de liberdade. Para realização dos espectros de densidade foram utilizados os períodos mais longos de cada série temporal ao longo do litoral brasileiro.

É possível observar que os espectros de energia são similares para todas as estações, com uma pequena diferença para a estação de Salvador, que apresenta menores energias na banda subinercial tanto para a ESM subinercial como para a tensão do vento paralela à costa. Este fato está de acordo com os resultados propostos nas seções 4.1 e 4.2.1, onde há uma diminuição na amplitude do nível do mar subinercial e na quantidade de FF, com o deslocamento para a região norte do litoral brasileiro.

Em geral, as máximas correlações entre a ESM e a tensão do vento paralela à costa ocorreram em torno das faixas de períodos de 5 a 9 dias e de 2 a 4 dias, com defasagens de 12 a 40 horas em relação a forçante do vento. Segundo Stech & Lorenzetti (1992), as oscilações do nível do mar e da tensão do vento nos períodos em torno de 6 dias possuem a mesma banda de frequência do intervalo de penetração dos sistemas frontais, suportando a hipótese que os sistemas frontais são os principais mecanismos forçantes da variabilidade do fluxo no litoral brasileiro em estudo. Já as correlações em torno dos períodos de 2 a 4 dias correspondem ao tempo de resposta das FF sobre a ESM subinercial, que como observado na Tab. 2 varia em média de 1,5 a 4 dias com o deslocamento para a região norte do país.

Em Rio Grande (Fig. 22) três bandas de frequência apresentaram energias relativamente altas: entre 16 e 9 dias, 5 e 8 dias e, 3 e 4 dias, tanto para a ESM subinercial como para tensão do vento paralela à costa. As mesmas bandas de frequência podem ser observadas no gráfico de coerência do espectro cruzado das duas series temporais. Os períodos com maiores coerências foram de 12, 6,64, 3,22 e 2 dias, todos acima de 90%, com defasagem de -35, -51, -12 e -5 horas, respectivamente. Os períodos de 5 a 10 dias foram encontrados por Truccolo *et al.* (2006) como os de maior variância para a costa norte de Santa Catarina.

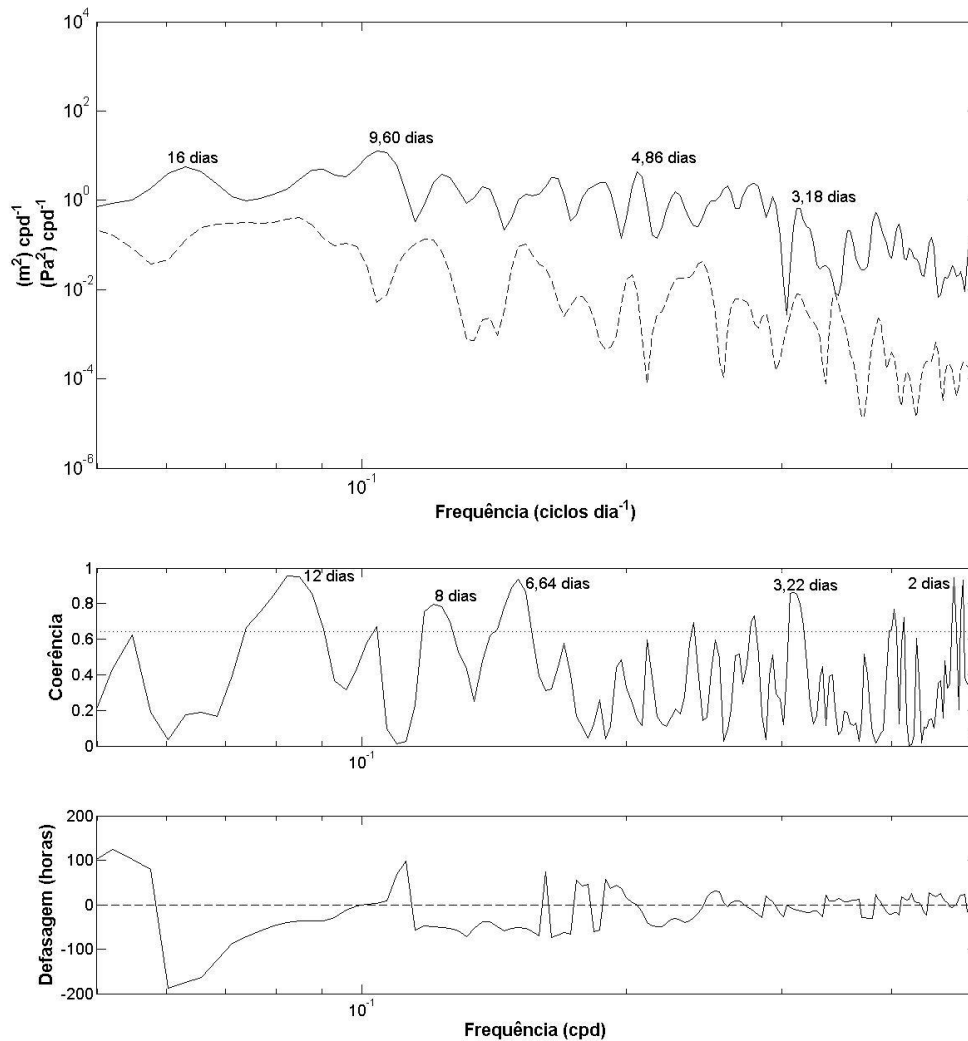


Figura 22: Densidade espectral de energia para o ano de 2003 para Rio Grande da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

Os períodos com maiores variâncias na análise espectral da ESM subinercial para Imbituba (Fig. 23) foram semelhantes aos encontrados para Rio Grande, sendo eles: 7,73, 6,37, 5,70 e a faixa entorno de 3 dias. Já para o espectro da tensão do vento paralela à costa, além das mesmas faixas encontradas para a elevação, a faixa entre 13 e 11 dias se destaca. Tais resultados estão de acordo com os estudos de Truccolo *et al.* (2006) e Castro & Lee (1995), para estações próximas a Imbituba. Os últimos autores encontraram máximos de energia para as frequências entre 0,083 e 0,104 cpd (12 e 9,6 dias) para o vento em superfície em Arvoredo (SC). Já o espectro cruzado apresentou boas correlações para os períodos de 6, 4, 3 e 2 dias com defasagens de -51, -23, 8 e 14 horas. A resposta da ESM subinercial anterior a ação da tensão do vento local paralela à costa nos períodos de 3 e 2 dias pode ser devido a efeitos não

locais provenientes do deslocamento de ondas longas (Stech & Lorenzetti, 1992). Castro & Lee (1995) mostraram que as flutuações de baixa frequência da ESM observadas em um ponto do embaixamento sul do Brasil são melhores correlacionados com ventos localizados ao sul deste ponto. Sendo assim, a penetração de FF em regiões mais ao sul da estação de Imbituba pode ocasionar um deslocamento de uma onda que altera a ESM subinercial antes da chegada e influência deste sistema sinóptico na tensão do vento local.

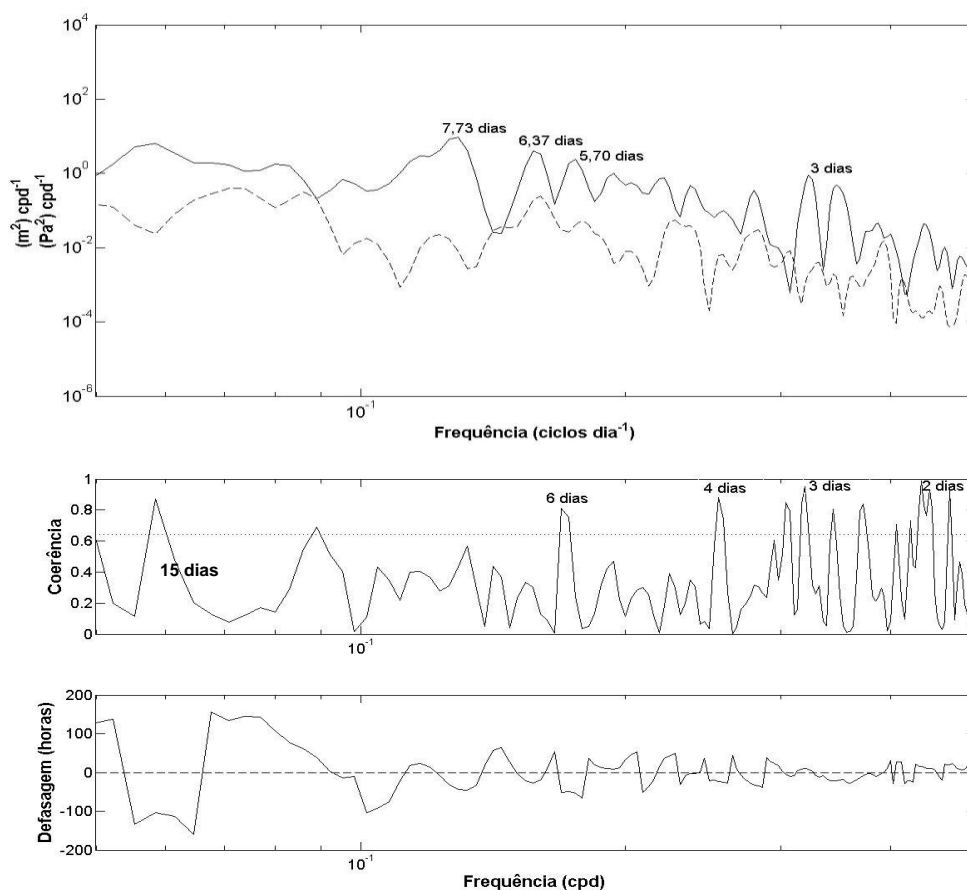


Figura 23: Densidade espectral de energia para o ano de 2001 para Imbituba da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

Em Cananeia (Fig. 24) a tensão do vento paralela à costa também apresenta um máximo de energia na banda de 13 dias, porém com maior energia que em Imbituba. A ESM subinercial segue o mesmo padrão das estações supracitadas com destaque para o período entorno de 6 dias, que apresentou as maiores energias do espectro. Com relação ao espectro cruzado o mesmo padrão de correlação, acima de 85%, foi encontrado em Cananeia com defasagens da tensão do vento de -96, -51, -22, -22 e

0,93 horas para os períodos de 9, 5, 4, 3 e 2,5 dias, respectivamente. Tendo em vista que a propagação das FF no embaiamento sul do Brasil se dá entre 1,5 e 2 dias (Stech & Lorenzetti, 1992), os resultados da defasagem para a banda de frequência correspondente ao período de 5 e 4 dias está de acordo com este deslocamento.

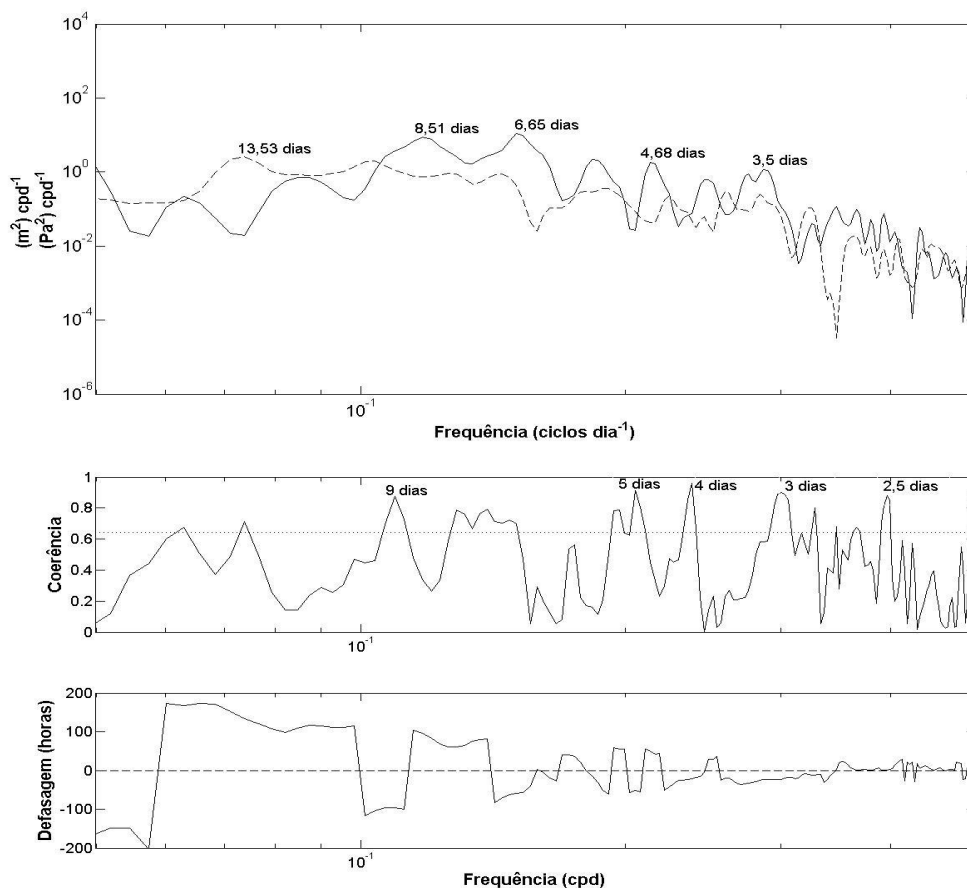


Figura 24: Densidade espectral de energia para o ano de 1996 para Cananea da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

Para a estação de Ilha Fiscal (RJ) (Fig. 25) além das frequências com máximas energias destacadas anteriormente, tanto para a tensão do vento como para a ESM subinercial, a banda de período de 17 dias na ESM subinercial apresenta uma alta energia no espectro de densidade, assim como para Rio Grande e Imbituba. Castro & Lee (1995) atribuem ao período de 16 dias o deslocamento de ondas livres de plataforma, que são geradas em regiões mais ao sul do litoral brasileiro. As mais altas coerências no espectro cruzado apareceram na banda de frequência cujo período foi de 2,6 dias com 8 horas de defasagem da ESM com relação à tensão do vento. As demais bandas de frequência entre os intervalos de FF (4 a 9 dias) apresentaram

defasagens de -104 e -53 horas para o pico de 9 e 4 dias, respectivamente. Sendo assim, a ESM subinercial no Rio de Janeiro reage à tensão do vento paralela à costa com um maior atraso em relação às estações mais ao sul do litoral brasileiro. A tendência de enfraquecimento dos sistemas frontais com o deslocamento para região norte do país pode causar este aumento no valor absoluto da defasagem da ESM em relação ao vento.

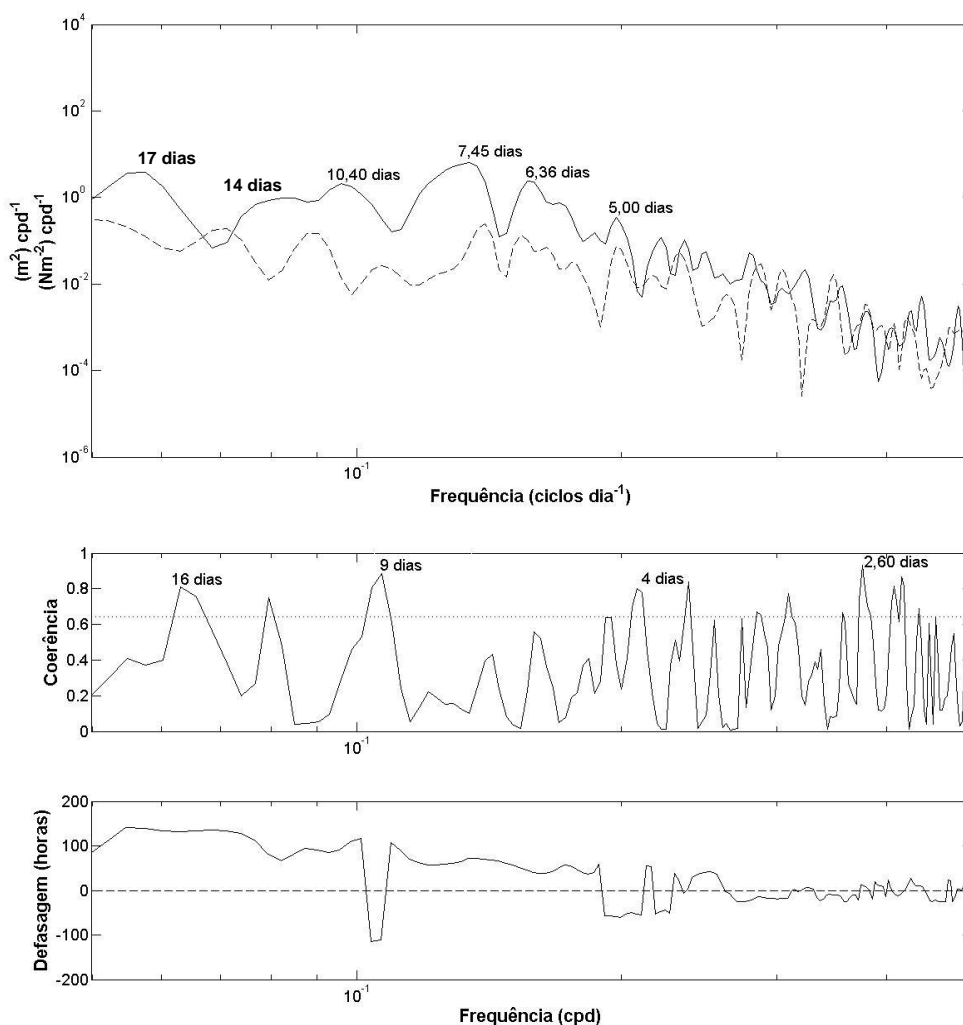


Figura 25: Densidade espectral de energia para o ano de 2002 para o Rio de Janeiro da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

Como supracitado na metodologia (seção 3.4) os dados meteorológicos de FF utilizados para a comparação com a ESM subinercial em Macaé corresponde à estação de Campos (RJ), assim como os dados de tensão do vento paralelo à costa. A Fig. 26 para Macaé apresenta as mesmas frequências de máximas energias no

espectro de densidade, das estações anteriores, para as duas séries temporais analisadas. É importante notar a diminuição na energia do espectro da tensão do vento em comparação com as estações anteriores. Uma característica distinta do espectro cruzado para Macaé foi a defasagem positiva para os períodos em torno de 8, 6 e 4 dias. Este fato pode ser devido a utilização dos dados de tensão do vento na estação de Campos, que está alguns quilômetros mais ao norte da estação de Macaé. O período de 3 dias, correspondente ao tempo de resposta dos sistemas frontais sobre o nível do mar, apresentou a mais alta coerência, em torno de 92%, com defasagem de -24 horas.

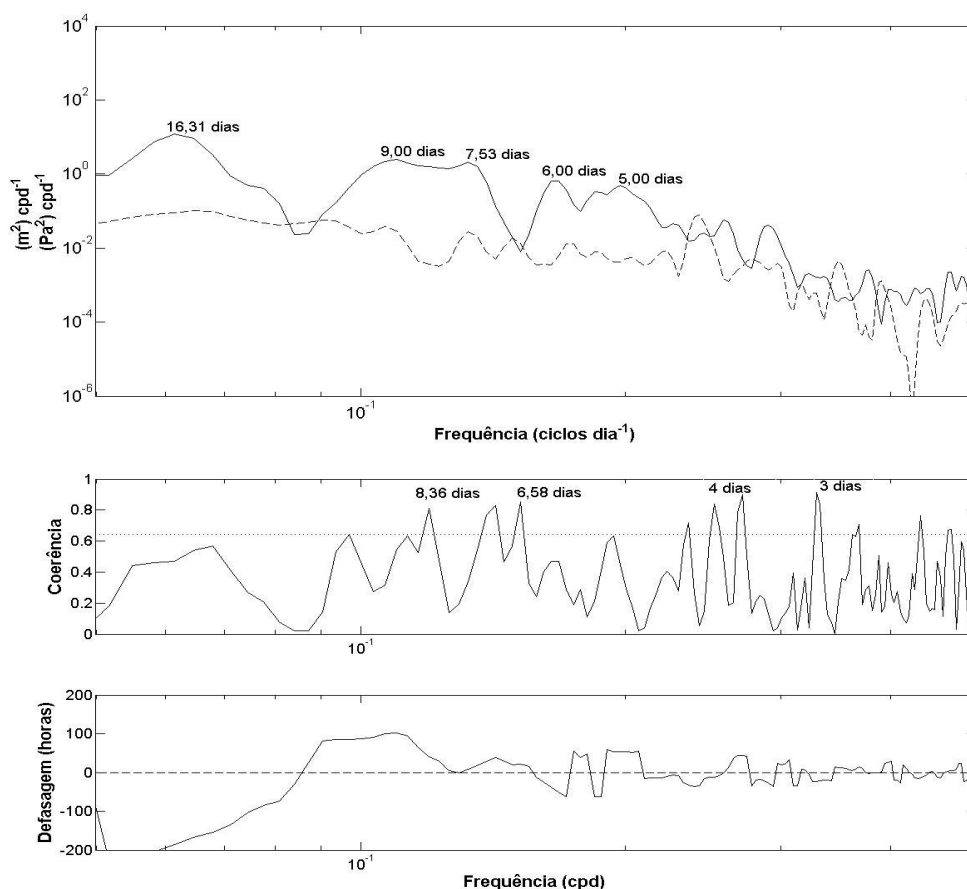


Figura 26: Densidade espectral de energia para o ano de 2003 para Macaé da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

É possível observar através da Fig. 27 (superior) a diminuição da energia da ESM subinercial em Salvador, em comparação com as estações localizadas mais ao sul do litoral brasileiro. A dominância do espectro da ESM subinercial ocorreu na banda de frequência de 13,5 dias, enquanto que o espectro da tensão do vento paralela à costa

apresentou as demais frequências anteriormente descritas. O período de 13,5 dias para Salvador corresponde ao intervalo de penetração de FF, já que com o deslocamento para o equador há uma diminuição na quantidade de FF, o que acarreta em um maior intervalo de tempo entre estas. A coerência do espectro cruzado apresentou valores acima de 90% para os períodos de 16,5, 10, 6,5 e 3 dias com defasagens de 145, -100, -14 e 10 horas, respectivamente.

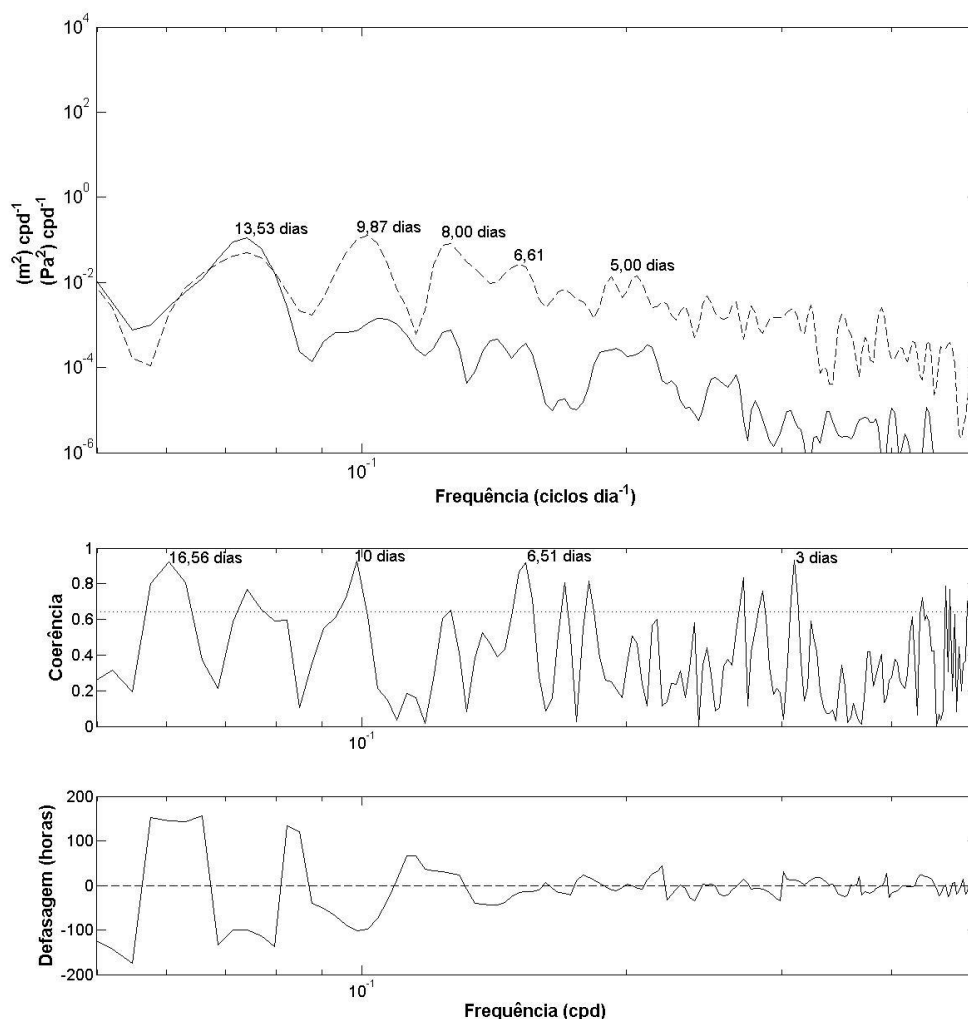


Figura 27: Densidade espectral de energia para o ano de 2007 para Salvador da série temporal da ESM subinercial (linha cheia) e da tensão do vento paralela à costa (linha pontilhada) (superior) e; coerência e defasagem do espectro cruzado da elevação subinercial e tensão do vento paralela à costa (inferior). Linha pontilhada no quadro superior corresponde ao índice de confiança de 95%.

4.2.4 Fenômenos Interanuais

Para verificar a influência dos eventos El Niño e La Niña no padrão de entrada de sistemas frontais na região estudada e conseqüentemente nas flutuações da ESM

subinercial, foi plotada a quantidade de FF que penetraram durante eventos ENOS (Fig. 28). Foi definido como ano ENOS, o período de atuação deste fenômeno que compreende ao ano 0, ou seja, de julho a junho. Valores acima de 0.4 e abaixo de -0.4 são considerados anos El Niño e La Niña, respectivamente, de acordo com o índice Niño 3.4. A Tab. 4 exibe a média dos eventos extremos da ESM subinercial que ocorreram durante anos ENOS e normais. Foram considerados eventos extremos de ESM subinercial valores maiores ou iguais à média mais o desvio padrão (Tab.2).

Estações Maregráficas	Média de eventos extremos em El Niño	Média de eventos extremos em La Niña	Média de eventos extremos em anos Normais
Salvador	1	1	1
Macaé	6	X	4
Rio de Janeiro	9,4	7	8
Cananéia	10,2	6,7	5,7
Imbituba	6,5	X	6
Rio Grande	2	X	2

Tabela 4: Média dos eventos extremos de subida do nível do subinercial ocorridos em anos de El Niño, La Niña e Normal. Foram considerados eventos extremos de ESM subinercial todos aqueles maiores ou iguais a média mais o desvio padrão da elevação. O X corresponde à ausência de anos La Niña na série temporal registrada pelos marégrafos.

De acordo com a Fig. 28, em geral não é possível observar uma diferença significativa entre anos El Niño e La Niña quanto à quantidade de FF's que penetram em Rio Grande e Florianópolis. Porém o ano de 1997-1998, considerado El Niño forte pelo CPTEC/INPE, apresenta a maior quantidade de FF's em Florianópolis, aproximadamente 57 FF, quatro a mais que a La Niña de 1998-2001. Os demais anos de El Niño não apresentaram quantidades maiores de FF em comparação com anos normais e de La Niña, enquanto que todos os anos de La Niña apresentaram maiores quantidade de FF's em relação a anos normais. Já em Rio Grande o ano com a maior quantidade de FF's foi 2007-2008, considerado La Niña forte pelo CPTEC/INPE. Segundo Andrade (2005), há uma pequena diferença entre a quantidade de FF que penetram em anos de El Niño e La Niña na região Sul do país, com um leve aumento em anos de La Niña. Apesar das séries temporais de ESM subinercial em Rio Grande e Imbituba não compreenderem anos de La Niña, os eventos extremos de ESM subinercial não apresentaram variações entre anos de El Niño em comparação a anos normais (Tab. 4).

O mesmo padrão é observado para Cananéia, Rio de Janeiro e Macaé (Fig. 28), com pouca diferença na quantidade de FF's entre anos El Niño e La Niña. Cananéia e Macaé apresentaram uma maior quantidade de FF na La Niña de 1998-2001, enquanto que no Rio de Janeiro o ano de 1997-1998 (El Niño) apresentou o máximo de FF registrado na série temporal. Com relação aos eventos extremos de ESM subinercial (Tab. 4) todas as estações apresentaram maiores quantidades de eventos em anos de El Niño com valores de 10,2, 9,4 e 6 para Cananéia, Rio de Janeiro e Macaé, respectivamente. Já em anos de La Niña houve uma quantidade semelhante de eventos extremos em comparação com os anos normais, para as estações supracitadas, lembrando que a série temporal de ESM subinercial de Macaé não englobou nenhum ano de La Niña. Segundo Allan *et al.* (2002), para a região Noroeste do Pacífico nos Estados Unidos, durante o El Niño de 1997-1998 o nível do mar mensal foi maior do que em anos normais e da La Niña de 1998-1999, o que acarretou em maiores alturas de marés meteorológicas.

Em Salvador (Fig. 28) é evidente a maior quantidade de FF em anos de La Niña em comparação a anos normais e de El Niño, sendo que no ano de 1999-2000 (La Niña) foi registrado o máximo de FF na região, com 19 FF, 14 a mais que o ano de 1997-1998 (El Niño) e 12 a mais que o ano normal de 2005-2006. Segundo Kousky *et al.* (1984) a fase negativa da Oscilação Sul (El Niño) está relacionada a secas no nordeste do Brasil, bem como, situações de bloqueios em latitudes médias, que favorecem a manutenção de sistemas frontais ativos no sul do Brasil (Kousky & Cavalcanti, 1984). Com relação a estes resultados é esperado um maior número de marés meteorológicas durante os anos de La Niña. De acordo com a Tab. 4 apenas um evento extremo ocorre em La Niña na série temporal dos dados de ESM subinercial em Salvador, porém este resultado tem que ser visto com cautela já que esta série temporal só engloba o ano da La Niña de 2007-2008, que apresenta apenas uma FF.

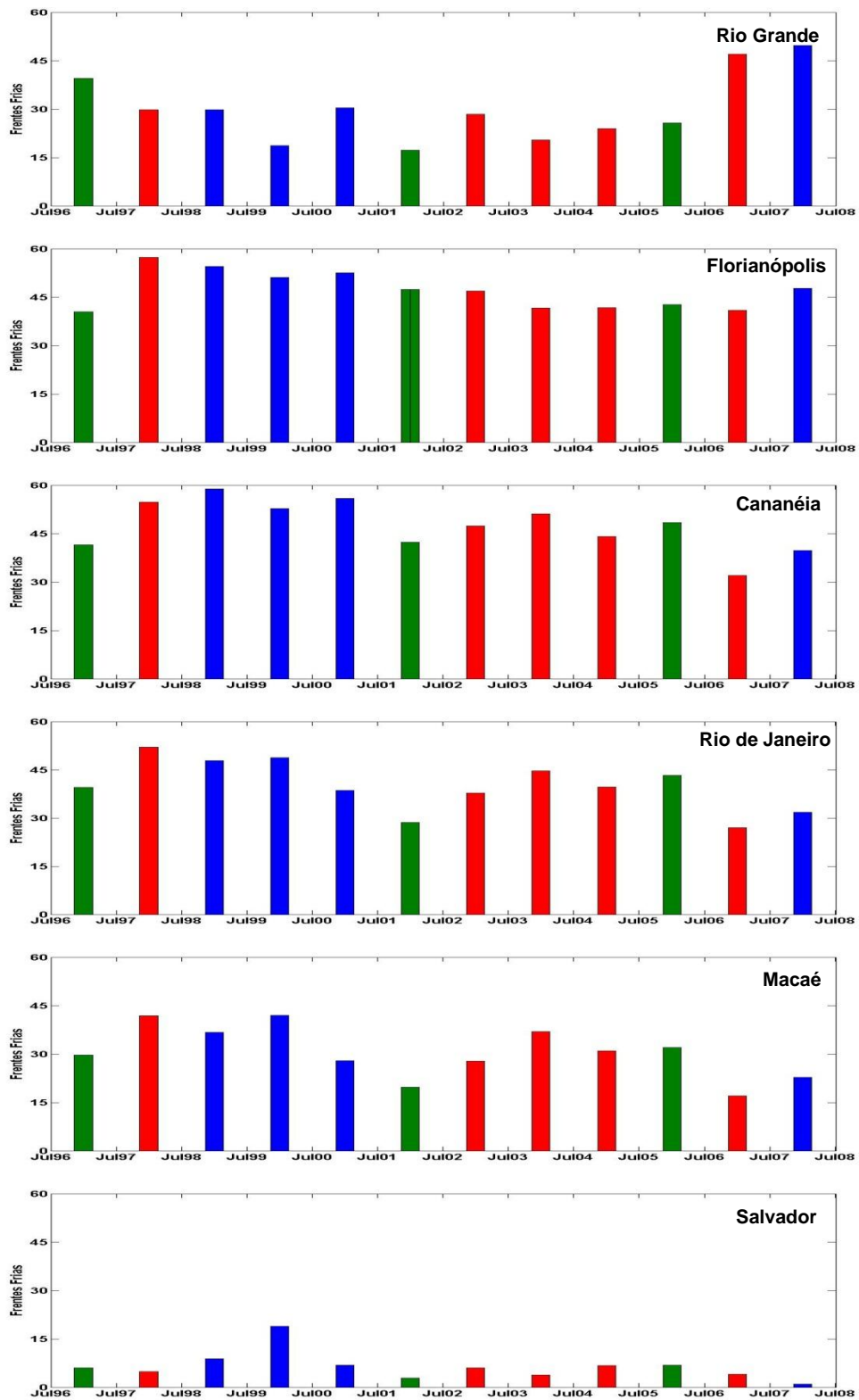


Figura 28: Número de FF em anos ENOS para Rio Grande, Florianópolis, Cananéia, Rio de Janeiro, Macaé e Salvador. As barras em verde correspondem a anos normais, em vermelho a anos de El Niño e em azul a anos de La Niña, segundo o índice niño 3.4. Um ano ENOS corresponde ao intervalo de julho a junho, ou seja, o ano 0 de atuação do fenômeno.

5. Conclusão

A climatologia proposta com os dados de FF's de 1996 a 2010 do Boletim Climanalise para as regiões sul, sudeste e nordeste do litoral brasileiro, foi semelhante aos resultados propostos pela climatologia de Andrade (2005). A partir destes resultados foi possível verificar a diminuição na quantidade de sistemas frontais com o deslocamento para latitudes mais baixas, bem como, o padrão sazonal da ocorrência destes fenômenos sinóticos em cada região do litoral em estudo.

O modelo conceitual de influência da penetração de FF na maré meteorológica incluiu a estatística básica da ESM subinercial e da tensão do vento paralela à costa, a resposta espectral entre estas duas séries temporais, bem como, a influência dos fenômenos interanuais El Niño e La Niña.

A maré meteorológica positiva para o litoral brasileiro desde Rio Grande até Salvador apresentou uma diminuição da amplitude com o deslocamento para a região nordeste do país, bem como um aumento do tempo de resposta das FF sob a ESM subinercial. A aumento da ESM subinercial após a entrada de sistemas frontais se deu através do aumento da componente sul da tensão do vento paralela à costa, ou diminuição da intensidade da componente norte, já que o empilhamento de água no Hemisfério Sul devido ao transporte de Ekman ocorre à esquerda da direção do vento. O papel das FF no aumento da tensão paralela à costa, também foi estudada por Stech & Lorenzetti (1992), Castro & Lee (1995) e McInnes & Hubbert (2003). Eles encontraram resultados semelhantes com relação à intensidade do vento paralelo à costa. Em todas as estações do litoral brasileiro o aumento da ESM subinercial após a entrada de uma FF foi marcado anteriormente por um pico negativo de maré meteorológica, resultado também encontrado por Saraiva *et al.* (2003) e Campos *et al.* (2010).

A análise espectral no domínio da frequência entre a série temporal da ESM subinercial e a tensão do vento paralela à costa apresentaram a dominância do espectro nas faixas de frequência relativas aos períodos de 5 a 9 dias e 2 a 4 dias. Os períodos de 5 a 9 dias foram identificados como o intervalo entre a entrada de sistemas frontais no litoral brasileiro, com um aumento para 13,5 dias para a estação de Salvador, mais ao norte do país. Já os períodos de 2 a 4 dias foram identificados como o intervalo de resposta da ESM e da tensão do vento paralela à costa à penetração de FF. Com o deslocamento para a região nordeste do litoral brasileiro houve a diminuição da energia das duas séries temporais. Isso pode estar relacionado com o distanciamento da região geradora dos distúrbios na ESM subinercial, já que a

forçante do vento se propaga em direção ao equador ao longo da costa proveniente da região mais ao sul do litoral brasileiro. Este fato que está de acordo com o aumento da defasagem com o deslocamento para região nordeste do país.

Os fenômenos interanuais El Niño e La Niña não apresentaram grandes alterações na quantidade de sistemas frontais que atingiram a região sul e sudeste do litoral brasileiro, porém foi notável o maior número de eventos extremos de ESM subinercial em anos de El Niño em comparação com anos normais e de La Niña, na região Sudeste. Nesta região os anos de La Niña apresentaram menores quantidades de eventos extremos em comparação com os anos normais. Já em Salvador a quantidade de sistemas frontais em anos de La Niña foi maior que em anos normais e de El Niño, entretanto devido à série temporal de ESM subinercial em Salvador abranger um período curto de dados não foi possível observar uma relação entre o aumento da quantidade de FF com os eventos extremos de maré meteorológica positiva.

O modelo conceitual proposto para o comportamento da maré meteorológica com foco no papel das FF no litoral brasileiro apresentou resultados análogos ao da literatura, adicionando informações como o tempo de resposta e elevações médias da maré meteorológica positiva, bem como a influência dos fenômenos interanuais. Análises mais detalhadas não foram possíveis devido à falta de dados de elevação da superfície do mar no litoral brasileiro. Em trabalhos futuros pretende-se utilizar a modelagem hidrodinâmica para analisar o efeito da passagem dos sistemas frontais na maré meteorológica e no campo de correntes associado.

6. Referências Bibliográficas

Aceituno, P. 1988. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South America Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*, 116, 505-524.

Allan, J. C.; Komar, P. D., 2002. Extreme storms on the Pacific northwest coast during the 1997-98 El Niño and 1998-99 La Niña. *Journal of Coastal Research*, 18, 175-193.

Amorim, F. N.; Cirano, M.; Soares, I. D.; Lentini, C. A. D., 2011. Coastal and shelf circulation in the vicinity of Camamu Bay (14° S), Eastern Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research*, 31, 108-119.

Amorim, F.N.; Cirano, M.; Soares, I.D.; Campos, E.J.D.; Middleton, J. F., 2012. The influence of large-scale circulation, transient and local processes on the seasonal circulation of the Eastern Brazilian Shelf, 13°S. ***Continental Shelf Research***, 32, 47-61.

Andrade, K. M. 2005. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. ***Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)***, 185p.

Camargo, R. D.; Harari, J., 1994. Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície. ***Bolm. Inst. Oceanogr., S. Paulo***, 42(1), 19-34.

Camargo, R. D.; Harari, J.; Caruzzo, A., 1999. Basic Statistics of Storm Surges over the south-western Atlantic. ***Afro American Gloss News***, 3(2), 12-34.

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.

Castro Filho, B. M. & Miranda, L. B. 1998. ***Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf 10cated between 4°N and 34°S costal segment (4'W)***. In: Robinson, A R. & Brink, K. H. *The Sea*. Oxford, John Wiley & Sons., p.209-251.

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.

Cavalcanti, I. F. A.; Kousky, V. E., 2003. Climatology of South American cold fronts. In: ***International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography***, 7., Wellington, New Zealand.

Chao, S. Y., 1981. Forced shelf circulation by an alongshore wind band. ***Journal of Physical Oceanography***, 11, 1325-1333.

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

Chuang, W. S.; Wang, D. P.; Boicourt, W. C., 1979. Low-frequency current variability on the southern Mid-Atlantic Bight, ***Journal of Physical Oceanography***, 9, 1144-1154.

Chuang, W. S.; William, J.; Wiseman, Jr., 1983. Coastal sea level response to frontal passages on the Louisiana-Texas shelf. ***Journal of Geophysical Research***, 88(C4), 2615-2620.

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. Número Especial. Boletim de Monitoramento Climático. INPE.

Davies, J. L., 1980. ***Geographical Variation in Coastal Development***. 2a ed. Longman, Londres, 221p.

Dominguez J.M.L., 2006. The coastal zone of Brazil – an overview. ***Journal Coastal Research***, SI 39, 16-20.

Flick, R. E., 1998. Comparison of California tides, storm surges, and mean sea level during the El Niño winters of 1982-83 and 1997-98. ***Shore & Beach***, 66, 7-17.

Gill, A. E., 1982. ***Atmosphere-Ocean Dynamics***. New York: Academic Press, 662 p. 482.

Godin, G. 1972. ***The Analysis of Tides***. Univ. Toronto Press, Buffalo, 1972, p.264.

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.

Grimm, A. M. 2003. The El Niño Impact on Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. ***Journal of Climate***, 16, 263-280.

Grimm, A. M. 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? ***Climate Dynamics***, 22, 2-3, 213-138.

Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E. 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. ***Monthly Weather Review***, 13, 35-58.

INMET. Dados climatológicos de precipitação (1931-1990). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>. Acessado em 19/03/2012

Jong, M. P. C.; Holthuijsen, L. H.; Battjes, J. A., 2003. Generation of seiches by cold fronts over the southern North Sea. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C4), 3117, doi:10.1029/2002JC001422.

Kanamitsu M.; Ebisuzaki W.; Woollen J.; Yang S-K; Hnilo J.J.; Fiorino M.; Potter, G. L., 2002. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1631-1643.

Knoppers, B., Ekau, W., Figueiredo, A.G., 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Letters*, 19 (3), 171–178. doi:10.1007/s003670050106.

Kousky, V. E. 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107, 1140-1153.

Kousky, V. E.; Kayano, M. T.; Cavalcanti, I. F. A. 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic – atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.

Lemos, C.F.; Calbete, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987- 1995. Climanálise, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717- PRE/6178). Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/14.html>>. Acesso em : 20 janeiro 2012.

Lima, M. D. O.; Lima, J. B., Cirano, M.; Lentini, C. A. D., 2010. Impacto dos eventos de ENOS nos sistemas frontais ao longo da região litorânea do Brasil. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Oceanografia*.

Lima, M.C., 1991. Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, Dissertação de Mestrado em Meteorologia, 222.

Lisitzin, E. 1974. *Sea Level Changes*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 335 p.

Marone, E.; Camargo, R., 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: O evento de 18 de Agosto de 1993. *Néritica*, 8, 73-85.

McInnes, K. L.; Hubbert, G. D. 2003. A numerical modeling study of storm surges in Bass Strait. *Australian Meteorology Magazine*, 52, 143-156.

Mesquita, A. R.; Harari, J., 2003. On the harmonic constants of tides and tidal currents of the South-eastern Brazilian shelf. ***Continental Shelf Research***, vol. 23, p. 1227 – 1237.

Nimer, E., 1989. ***Climatologia do Brasil***. 2 ed., Rio de Janeiro, IBGE.

Orfanidis, S.J. 1996, ***Optimum Signal Processing***. An Introduction. 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 75-85.

Parise, C. K.; Calliari, L. J., Krusche, N., 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. ***Brazilian Journal of Oceanography***, 57(3), 175-188.

Pugh, D. T. 1987. ***Tides, surges, and mean sea level***. A handbook for Engineers and Scientists. New York: John Wiley & Sons. 184-208.

Pugh, H. P. 2004. ***Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate***. Southampton Oceanography Center, UK, 280.

Quadro, M.F.L.; Machado, L.H.R.; Calbete, S.; Batista, N.N.M.; Sampaio, G. Climatologia de Precipitação e Temperatura. Climanálise, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178). Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>>.

Raichich, F., 2007. A review of sea level observations and low frequency sea-level variability in South Atlantic. ***Physics and Chemistry of the Earth***, 33, 239-249.

Salles F. J. P., Bentes F. C. M, Santos J.A., 2000. Catálogo de Estações Maregráficas. Fundação de Estudos do Mar, Rio de Janeiro.

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.

Schwing, F. B., 1992. Subtidal response of Scotian shelf circulation to local and remote forcing. Part I: Observations. ***Journal of Physical Oceanography***, 22, 523-541.

Soares, I.; Möller Jr., O., 2001. Low frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. ***Continental Shelf Research***, 21, 1785-1814.

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.

Tchernia, P., 1981. *The Atlantic Ocean – Descriptive Regional Oceanography*. Oxford: Pergamon Press, p. 87-170.

Truccolo, E. C.; Franco, D.; Shettini, C. A. F., 2006. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39, 547-552.

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.

Truccolo, E. C.; Shettini, C. A. F., 1999. Marés Astronômicas na Baía da Babitonga, SC. *Notas técnicas da FACIMAR*, 3, 57-66.

Walters, R. A.; Heston, C., 1981. Removing Tidal-Period Variations from Time-Series data using low-pass digital filters. *Journal of Physical Oceanography*, 12, 112-115.

Zavialov, P. O.; Ganesella-Galvão, S. M. F.; Pimenta, F. M.; Castelão, G. P.; Abdoullaev, S. M., 2000. Diurnal variability on the continental shelf of Southern Brazil. *Continental Shelf Research*, 20, 15-35.