

Análise das condições sinóticas de eventos de ondas de tempestade no litoral norte fluminense

Analysis of synoptic conditions and storm waves events on Rio de Janeiro's north shore

Isadora Borges da Silva Amorim^{*}
Eduardo Manuel Rosa Bulhões^{**}

Resumo

O presente estudo justifica-se pela necessidade de incorporar análises das condições de circulação atmosférica, na escala sinótica, aos estudos de impactos de ondas de tempestade na linha de costa, utilizando para tal o suporte do conhecimento já gerado para a Baía de Campos. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é identificar e caracterizar as condições sinóticas atmosféricas quando da ocorrência de ondas oceânicas de tempestade no Atlântico Sudoeste, especialmente aquelas que atingem o litoral fluminense, buscando identificar padrões atmosféricos de geração, propagação e dispersão de eventos de ondas de tempestade, entre os anos de 2004 e 2014. A estratégia metodológica foi inicialmente definir os eventos de tempestade no período, os quais geraram impactos significativos no litoral fluminense, descrevendo as condições sobre as quais ocorreram. Para essa tarefa são utilizados dados compilados do modelo *Wave Watch III*. Em seguida, foram descritas as etapas de identificação de impactos na linha de costa, a partir dos resultados de simulações de propagação de ondas para o litoral. Posteriormente, foram selecionadas as informações de cartas sinóticas publicadas diariamente pela Marinha do Brasil durante os eventos de aproximação, atuação e dispersão das tempestades oceânicas que atingiram o litoral fluminense. Por fim, foram descritas e mapeadas as condições sinóticas geradoras de ondas de tempestade para o litoral supracitado. Como resultados, identificou-se que os padrões de trajetórias distintas dos centros de baixa pressão variam entre os sentidos sudoeste para nordeste, su-sudoeste para leste-nordeste e noroeste para sudeste; sendo este último referente a um posicionamento dos ciclones mais próximo ao litoral fluminense. Foi inferido também que a posição e a intensidade do vórtice de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS) interferem nas trajetórias dos centros de baixa pressão. No momento de dissipação, as trajetórias são de oeste para leste. O evento de novembro de 2008 é diagnóstico de ondas intensas relacionadas à posição do centro de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS).

Palavras-chave: Circulação Atmosférica. Impactos de ondas de tempestade. Dinâmica costeira.

Abstract

This study is justified by the need to incorporate the analysis of atmospheric circulation conditions, in the synoptic scale, to studies of storm wave impacts on the coastline, using the support of knowledge already generated for the Campos Basin. In this sense, the

^{*} Bacharel em Geografia (UFF). Laboratório de Geografia Física. Universidade Federal Fluminense (UFF) - Campos dos Goytacazes (RJ) - Brasil. E-mail: isadoraborges8@gmail.com.

^{**} Doutor em Geologia e Geofísica Marinha (UFF). Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPG) - Universidade Federal Fluminense (UFF) - Campos dos Goytacazes (RJ) - Brasil. E-mail: eduardobulhoes@id.uff.br.

objective is to identify and characterize the atmospheric synoptic conditions during events of stormy ocean waves in the Southwest Atlantic, especially those that reach the Rio de Janeiro's coast, seeking to identify weather patterns during the generation, propagation and scattering of storm waves events, between 2004 and 2014. The methodological strategy was initially set the storm events in the period, which generated significant impacts on Rio de Janeiro's coast, describing the conditions on which they occurred. For this task are used data compiled from Wave Watch III model. The next step was the description of the impacts on shoreline from the results of the simulations of shallow water wave propagation. The information from synoptic charts, published daily by the Brazilian Navy, during the approach of events, activity and dispersion of ocean storms that hit Rio de Janeiro coast later selected. Finally, they were described and mapped generating synoptic conditions of storm waves to the aforementioned coast. As a result it was found that the different paths patterns of low pressure centers vary between south towards north-east, Su-southwest to east-northeast and even Northwest to Southeast, the latter referring to a positioning of the closest to the coast cyclones Rio de Janeiro state. It was also inferred that the position and intensity of the vortex of high pressure in the South Atlantic (ASAS) interfere with the trajectories of low pressure centers. At the time of dissipation, the trajectories are from west to east. The November event 2008 is diagnostic of intense waves related to the position of the center of high pressure in the South Atlantic (ASAS).

Keywords: Atmospheric circulation. Storm waves impacts. Coastal dynamics.

Introdução

A ocorrência da circulação de massa atmosférica no Atlântico Sul traz mudanças diversificadas na temperatura, na umidade e na pressão atmosférica, gerando formação de nebulosidade, ventos, ondas de calor e frio, precipitação, tempestades de ondas oceânicas, etc. Esses fenômenos ocorrem a partir da desigualdade da distribuição de energia solar. Os trópicos e a região equatorial recebem mais energia do que emitem, já as regiões de latitudes médias e polares emitem mais do que recebem. Observa-se que esse desequilíbrio é o que proporciona a circulação atmosférica e oceânica em escala global, pois esses mecanismos transferem energia de áreas com excesso para aquelas com *deficit*.

As células de circulação atmosférica são as responsáveis pelo movimento do ar atmosférico horizontal e vertical. Numa perspectiva global, o modelo tricelular de circulação explica as diferenças na temperatura na superfície terrestre, o que provoca as variações na pressão atmosférica gerando ventos que são originários dos vórtices de alta pressão para os de baixa pressão. No encontro da célula de circulação, os ventos são incomuns em muitos casos. Assim, tem-se a formação de ciclones com origem em baixa pressão, desenvolvidos a partir do limite entre duas massas de ar propriamente diferentes e que estimulam a formação e intensificação de frentes (PARISE, 2007).

Um detalhamento da ocorrência desses fenômenos na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é importante, pois esse é o sistema atmosférico mais influente no Brasil. A ocorrência de atividade convectiva na ZCAS é intensificada quando a temperatura da superfície do mar (TSM) está maior. Quando menor, a atividade convectiva será enfraquecida. Observa-se também que, quando a convecção maior vem do continente, o percentual de precipitação é maior no nordeste do Brasil; vindas do oceano as variações se dão mais na região sudeste.

O abaixamento da pressão atmosférica de superfície induz à formação da circulação ciclônica dando origem ao processo de ciclogênese. Esse processo pode ser intensificado a partir da vortacidade ciclônica, formando assim diferentes tipos de ciclones. No verão esse fenômeno ocorre usualmente sobre o oceano; enquanto no inverno, sobre o continente.

Um ciclone extratropical é caracterizado por tempestades e ventos formados a partir da região baroclínica, em latitudes médias e com núcleo frio. São esses ciclones os responsáveis pela ocorrência de eventos de tempestade e maré meteorológica junto ao litoral fluminense, e este é o objeto de análise.

Circulação Atmosférica, Ciclones e Geração de Ondas no Atlântico Sul

A ciclogênese é definida como o desenvolvimento ou o ganho de energia de sistemas ciclônicos nas latitudes médias, chamados de extratropicais. Por sua vez, os ciclones e os anticiclones são definidos respectivamente como sistemas de baixa e alta pressão atmosférica, cuja direção dos ventos se desenvolve no hemisfério sul, no sentido horário para os primeiros e no sentido anti-horário para os segundos (AHRENS, 2007).

De acordo com Innocentini et al. (2003), a agitação marítima mais intensa que ocorre no Atlântico Sul é ocasionada pelos ciclones e anticiclones migratórios. Esses vórtices existem em ambos hemisférios e são responsáveis pelas frentes frias que invadem os continentes trazendo massas de ar frio dos polos para o equador, e pelas frentes quentes, que levam massas de ar quente do equador para os polos.

Taljaard (1967) mostra que os anticiclones no Atlântico Sul se encontram limitados entre as latitudes 23° e 43°S, sendo mais numerosos próximos aos 36°S no verão e dos 32°S no inverno. Ainda segundo o autor, a ciclogênese é mais frequente entre as latitudes 35° e 55°S com o núcleo quente permanecendo em torno de 45°S em todas as estações do ano.

Satyamurty e Mattos (1989) mostram que a região centro-sul da América do Sul, localizada entre os dois anticiclones subtropicais (do Pacífico Sul e do Atlântico Sul), é uma região contínua de formação de sistemas frontais. No litoral da América do Sul, o deslocamento das frentes frias segue normalmente o sentido sudoeste (SW) – nordeste (NE). Gan e Rao (1991) identificam duas regiões ciclogênicas no hemisfério sul: a primeira próxima a Argentina (42.5°S e 62.5°W), e a outra sobre o Uruguai (31.5°S e 55°W). Murray e Simmond (1991) identificam um máximo de atividade ciclônica nos oceanos principalmente em torno de 60°S, além de grande densidade de sistemas na costa leste dos continentes.

Parise et al. (2009) encontraram três padrões de trajetórias baseadas no mínimo de vorticidade relativa no centro de ciclones: a) ciclogênese ao sul da Argentina com deslocamento para leste e trajetória entre 47.5°S e 57.5°S; b) ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para leste e trajetória entre 35°S e 42.5°S; e c) ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para sudeste e trajetória entre 35°S e 57.5°S. Adicionalmente, Reboita et al. (2005 apud PARISE, 2010) identificam atividade ciclogênética na costa sul e sudeste do Brasil, situada entre 20°S e 35°S, esta mais próxima ao litoral fluminense.

No Brasil, estudos pioneiros em clima de ondas buscaram caracterizações para fins práticos definidos como em Silva (1969); Homsí (1978) e Souza e Ribeiro (1988).

Silva (1969) utilizou dados observacionais, caracterizando o clima de ondas de acordo com as condições pós-frontais, pré-frontais e de tempo bom para dar as condições oceanográficas de dimensionamento do Porto de Sepetiba (atual Porto de Itaguaí). Ainda nesse estudo, o autor cita que a maior parte dos sistemas frontais no inverno ocorre com ondas inferiores a 2,5 metros, e alguns sistemas mais fortes produzem ondas de 3 metros, segundo suas observações na praia da Gávea (atual São Conrado), Rio de Janeiro.

Homsí (1978), a partir da análise de 17.000 ondogramas, procurou mostrar as características das ondas nos pontos com coleta de dados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) entre 1962 e 1978.

Souza e Ribeiro (1988), na Baía de Campos, coletaram dados entre maio de 1984 e junho de 1985 numa plataforma de exploração de petróleo, utilizaram critérios qualitativos como pista limitada, mar desenvolvido, marulhos e ondas de vento para discretizar condições do espectro direcional das ondas e concluíram que o Anticiclone Semiesticionário do Atlântico Sul (ASAS) tem forte influência sobre a agitação oceânica nessa área. Cerca de 54% das ondulações são originadas entre o quadrante nordeste (NE) e su-sudeste (SSE), com períodos não maiores que 7,5 segundos. Concluíram também que as entradas de frentes frias trazem ventos fortes de sudoeste (SW), produzindo períodos entre 11 e 15 segundos e, após essa passagem, há a formação de ventos de moderados sudeste (SE). Quanto as ondas de sul (S), su-sudoeste (SSW) e su-sudeste (SSE): essas representam 46% das condições durante o período estudado.

Alves (1991) comparou os resultados obtidos no estudo acima citado (Souza e Ribeiro, 1988) com aqueles publicados no atlas *Ocean Waves Statistics* de Hogben (1987) e encontrou boa correspondência para os valores médios anuais de altura significativa de ondas, respectivamente de 2,2 e 2,1 metros. Ainda para o parâmetro altura significativa, o autor encontrou discrepância para os dados de inverno, sobretudo em função da bimodalidade do estado de mar nessa época do ano. O autor conclui que a costa da região sudeste brasileira se encontra exposta a ondulações originárias de duas áreas-fonte. A primeira é o ASAS, que origina ondulações do quadrante NE, com baixa energia e período de pico pequenos, porém com bastante persistência. A segunda área-fonte estaria associada às passagens de ciclones e frentes frias originadas em altas latitudes, que seriam responsáveis por ondas dos setores SSW, S e SE, com maior energia e valores mais elevados de período de pico.

Para Melo (1993), a costa sul do litoral brasileiro tem como principal característica as sucessivas mudanças nas condições de mar associadas a passagens de frentes frias, quando os

ventos mudam do quadrante direcional NE em condições de tempo bom, passando a noroeste (NW) em condições pré-frontais. Quando da passagem da frente fria, os ventos viram para SW e gradualmente passam para S, SE e E, e então retornam às condições de tempo bom novamente. A presença de ondas do tipo marulhos é também característica marcante da costa sul brasileira, eventos relacionados a tempestades extratropicais que produzem ondas em intervalos de 10 a 16 segundos e alturas significativas entre 1 e 4 metros, vindas do quadrante sul. Na costa leste, as ondas tendem a variar menos no seu espectro direcional e de energia. Normalmente, as ondulações são persistentes, estão associadas aos ventos mais comuns e vêm do quadrante leste (entre NE e SE). As observações indicam que esse padrão está bastante associado à geração local de ondas (condição usualmente chamada de “mar local”), com períodos curtos e alturas significativas moderadas (1 a 2 metros). As ondas de tempestade que conseguem atingir essa região costeira são normalmente associadas aos sistemas mais fortes vindas de SE e, mesmo assim, ocorrem concentradas entre os meses de julho e agosto, garantindo marcadamente o período de inverno como o mais energético para essa porção do litoral.

Os estudos supracitados para o litoral brasileiro entre o final da década de 60 e a década de 90, entre outros não citados, tiveram como ponto em comum caracterizações estritamente estatísticas e utilização de poucas informações medidas, estimadas e/ou observadas. A partir do final da década de 90, estudos focados em modelagem matemática dos campos de ventos sobre os oceanos e as ondas por eles geradas começam a ser testados, e atualmente são esses os trabalhos que ganham destaque na literatura nacional e internacional sobre o tema. Nesse aspecto, notadamente para a Baía de Campos, destacam-se os trabalhos de Souza (1988), Candella (1997), Violante Carvalho (1998), Innocentini et al. (2003) e Pinho (2003), sendo esses autores associados ao grupo de engenharia oceânica da COPPE/UFRJ.

Souza (1988) destaca que a principal característica na Baía de Campos é a persistência do mar com vagas de nordeste (NE) e ondulações de sudoeste (SW) com grande período, que chegam durante a primavera, gerados por sistemas meteorológicos extratropicais sobre o Atlântico Sul.

Candella (1997) realizou estudos do campo de ondas através de dados de vento do ECMWF comparando-os com dados de uma boia oceânica da Petrobras S.A. na Baía de Campos. Violante-Carvalho (1998), utilizando dados de ventos da Baía de Campos durante 10 anos, achou que as direções N, NE e E representam somados cerca de 65% da circulação dos ventos a 10 metros de superfície. Já os ventos de W e NW representam somados cerca de 7%.

Parente (1999) desenvolveu uma nova técnica para a análise do espectro de ondas, utilizando dados medidos de propriedade da Petrobras S.A. para a Baía de Campos que o permitiu caracterizar os estados de mar e classificá-los como: a) bom tempo; b) bom tempo com marulhos de sul; c) mau tempo de SW; e d) mau tempo de SE que foram posteriormente descritos e analisados por Pinho (2003).

Pinho (2003), através de modelagem numérica, caracteriza os estados de mar na Baía de Campos em situação de bom tempo (mares de N, E e principalmente NE), que ocorre quando o sistema de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS) domina a circulação; situação de bom tempo com marulhos de sul, sendo esta situação de bimodalidade bastante frequente; situação de mau

tempo de SW, caracterizados por mares de SW e S, sempre que uma frente fria passa pela Baía de Campos e, por fim; situação de mau tempo de SE, quando após a passagem de uma frente fria, um anticiclone polar domina a circulação.

Campos (2009) analisou as condições sinóticas (ciclones e anticiclones) em busca de determinar o período de retorno de ondas extremas para a Baía de Campos a partir de dados do modelo *Wave Watch III*. Adicionalmente, os registros da boia oceânica de propriedade da Petrobras S.A. indicam que o maior registro direcional e ondas na Baía de Campos equivale a 42 meses entre 1991 a 1995. Com a análise estatística, o autor conclui que as ondas significativas na Baía de Campos, com os ventos da reanálise II do NCEP, retratam maior subestimação em casos de ciclones muito fortes, com pistas e duração pequenas, tipicamente de latitudes altas. Grandes pistas e durações são originárias, a partir de ventos moderados próximos ao Rio de Janeiro. Os dados do ondógrafo detectam que na Baía de Campos as ondulações de sudoeste, com períodos de pico acima de 11 segundos, geradas por ciclones, acontecem no inverno e outono, gerando o mau tempo. Ondas de ciclones possuem direção média entre 100° e 250° e altura significativa que pode atingir 6,47 m. Já sob influência dos anticiclones, as ondas apresentam direção média entre 100° e 170°, com alturas significativas menores chegando a 4,50 m.

Souza (2011) relata que o mau tempo de sudeste se oriunda de uma evolução da passagem de frente fria gerada pelos ciclones extratropicais pela Baía de Campos, havendo assim um deslocamento para leste, fazendo com que os anticiclones polares tomem seu lugar próximo à costa da Baía de Campos, com ventos de sul ou sudeste após a frente fria.

O presente estudo justifica-se pela necessidade de as condições sinóticas serem incorporadas aos estudos de impactos de ondas de tempestade na linha de costa, utilizando, para tal, o suporte de conhecimento já gerado para a Baía de Campos.

Objetivos

O objetivo do presente trabalho é identificar e caracterizar as condições sinóticas atmosféricas quando da ocorrência de ondas oceânicas de tempestade no Atlântico Sudoeste, especialmente aquelas que atingem o litoral fluminense, buscando identificar padrões atmosféricos de geração, propagação e dissolução de eventos de ondas de tempestade, entre os anos de 2004 e 2014. As condições em análise são as descritas pelos principais modelos atmosféricos, e por dados medidos por satélite e publicados diariamente por institutos como INPE e Marinha do Brasil.

Materiais e métodos

A estratégia metodológica é inicialmente definir os eventos de tempestade, entre 2004 e 2014, que ocasionaram impactos significativos no litoral fluminense, descrevendo as condições

sobre as quais esses ocorreram. Para essa tarefa, são inicialmente utilizados dados compilados do modelo *Wave Watch III*. Em seguida são descritas as etapas de identificação de impactos na linha de costa a partir dos resultados de simulações de propagação de ondas para o litoral. Posteriormente serão selecionadas as informações de cartas sinóticas publicadas diariamente pela Marinha do Brasil durante os eventos de aproximação, atuação e dispersão das tempestades oceânicas que atingiram o litoral fluminense. Por fim, serão descritas e mapeadas as condições sinóticas geradoras de ondas de tempestade para o litoral supracitado e será elaborado um mapa síntese dessa análise.

Identificação de Eventos de Tempestade entre 2004 e 2014

Foram compilados dados de ondas e ventos ao largo do litoral da Baía de Campos. O intervalo de tempo situa-se entre os anos de 2004 e 2014, alimentado com informações diárias do modelo GFS (atmosférico) e WW3 (oceânico), espaçadas de 3 em 3 horas. Os eventos de tempestade têm sido caracterizados na literatura a partir do momento que a altura significativa das ondas (H_s) ultrapassa o limiar de 3 metros por mais de 12 horas (BULHÕES et al. 2014).

Simulações de Propagação de Ondas para Águas Rasas

Foram também compiladas informações batimétricas a partir de sondagens elaboradas pela Marinha Brasileira na década de 80 e posteriores atualizações (2007), dados estes disponibilizados na forma de Cartas Náuticas, a saber: CN1400 — do Rio Doce ao Cabo de São Tomé, da década de 60; CN1550 – Baía de Campos, atualizada em 2007; CN1403 – Da Barra do Itapemirim ao Cabo de São Tomé, atualizada em 2013; da CN1507 – Enseada de Macaé e proximidades, atualizada em 2007; CN1505 – Porto do Açú e da CN1506 – Proximidades Porto do Açú, ambas atualizadas em 2013; visando ser a base sobre a qual o modelo de ondas em águas rasas funciona. Todas as informações batimétricas foram ajustadas a um *datum* horizontal em comum e ao nível de redução.

Em seguida, simulações de propagação de ondas para águas rasas foram elaboradas, através do módulo *Spectral Waves* do pacote de modelagem numérica Mike 21, objetivando reconstituir as condições sobre as quais a linha de costa fica sujeita por ocasião da passagem de tempestades oceânicas. Os dados de entrada foram definidos de acordo com as condições de tempestade mais comuns que atingem a linha de costa da região norte fluminense, em observância às variações direcionais de duração e de intensidade. Por fim, foram setorizados 27 pontos ao longo do litoral para análise comparativa dos resultados das entradas de ondulações de tempestade.

Identificação das Características Sinóticas Durante Eventos de Ondas de Tempestade

A identificação das características sinóticas durante eventos de tempestade partiu inicialmente da seleção de eventos de tempestade representativos das condições de mau tempo no litoral adjacente à Baía de Campos. A partir disto, foram compiladas cartas sinóticas a cada 12 horas para o período das tempestades, cartas estas produzidas e disponibilizadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM), conforme exemplificado na Figura 1.

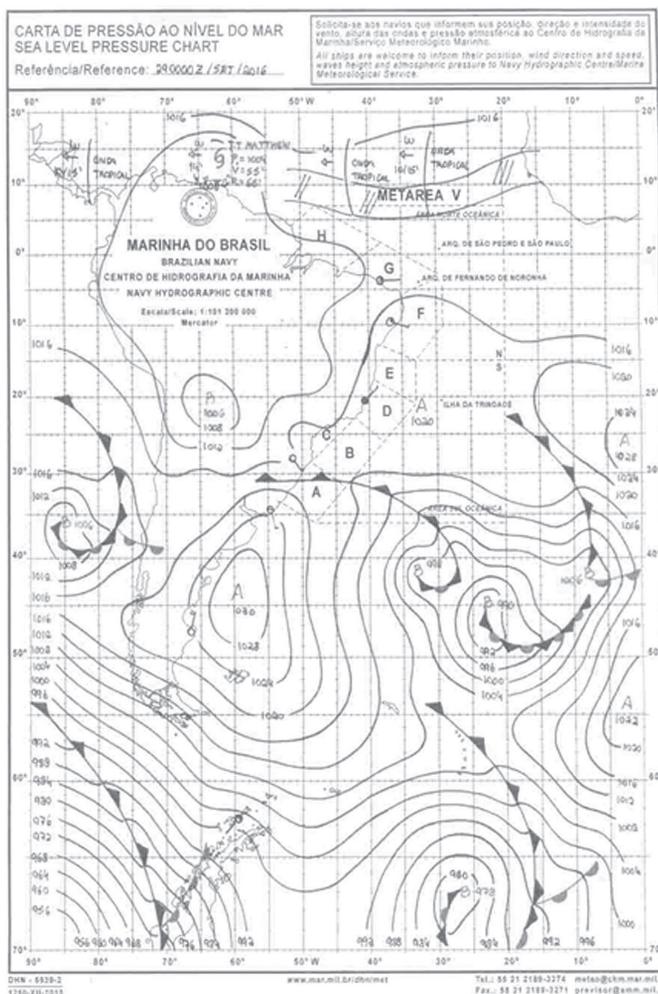


Figura 01. Carta de Pressão ao Nível do Mar ou Carta Sinótica.

Fonte: CHM – Centro de Hidrografia da Marinha.

Posteriormente, as cartas sinóticas foram georreferenciadas, o que permitiu a digitalização dos vórtices ciclônicos e anticiclônicos e permitiu, também, a geração de uma tabela de atributos discriminando a posição (longitude e latitude), a pressão atmosférica indicada e a característica de

baixa ou alta pressão. Por fim, esses pontos foram sobrepostos, por tempestade, para que fossem identificados e descritos os padrões de trajetória entre a entrada, a passagem e a dissipação desses vórtices durante os eventos de tempestade.

Resultados e discussão

Quanto ao comportamento do clima de ondas e ventos, a Tabela I apresenta os resultados de estatística básica das condições médias de ondas, considerando todo o período de tempo coberto, e a Tabela II, os resultados das condições médias de ondas durante a ocorrência de eventos de tempestade.

Quanto às condições médias de ondas, os resultados alcançados foram: ondas com alturas significativas médias de 1,6m, períodos de pico de 9s, provenientes majoritariamente das direções entre o leste e o sul. Esses resultados concordam como o alcançado por Bastos e Silva (2000) e por Pinho (2003) para 75% dos estados de mar na Bacia de Campos. Já os ventos sopram com velocidades médias entre 4 e 13 m/s, majoritariamente das direções entre o nordeste e o sul.

Tabela I. Clima de Ondas e Ventos ao Largo da Área de Estudo

Características do Clima de Ondas e Ventos	Velocidade do Vento (nós)	Direção Média dos Ventos (°N)	Altura Significativa de Ondas (m)	Direção Média de Ondas (°N)	Período de Pico (s)
Máxima	27	337	4.7	315	19
Média	9.6	94	1.6	133.7	8.8
Mínima	0	0	0	22.5	3
Desvio Padrão	4.1	83	0.5	47.5	2.2

Fonte: Dados de saída do modelo Wave Watch III

Quanto às condições de tempestade (Tabela II), dados atualizados por Souza et al. (2015) a partir dos resultados apresentados em Bulhões et al. (2014) apontam a ocorrência de 75 eventos de tempestade entre 2003 e 2014. Numa perspectiva média geral, os eventos de tempestade ocorrem com duração média de 36 horas e altura significativa média de ondas de 3,2 m; resultado que concorda com a condição de mau tempo de sudeste, exposta por Pinho (2003). A média da altura máxima de ondas durante eventos de tempestade é de 3,90 m à direção média de entrada de ondas de sul, e 80% das ocorrências de eventos de tempestade se concentram entre os meses de abril e setembro, consolidando a “temporada de ondas de tempestade” para o litoral fluminense.

Tabela II. Condições Médias de Ondas Durante os Eventos de Tempestade

Ano	Total de Eventos de Tempestade	Duração Média (h)	Altura Média das Ondas (m)	Direção Média de entrada das ondas (°N)	Altura Máxima de Ondas (m)
2003	6	30	3.07	191.82	3.60
2004	11	34	3.07	175.44	3.40
2005	3	54	3.17	144.00	3.40
2006	10	43	3.31	177.81	4.10
2007	9	39	3.36	191.63	4.50
2008	9	32	3.10	162.53	3.90
2009	9	32	3.17	180.00	3.70
2010	3	48	3.51	169.73	4.70
2011	5	37	3.21	186.27	4.00
2012	0				
2013	4	32	3.33	188.23	4.30
2014	6	27	3.09	184.50	3.70
total	75	36	3.22	179.12	3.94

Mês	Total de Eventos de Tempestade	Mês	Total de Eventos de Tempestade	Mês	Total de Eventos de Tempestade
Jan	1	Mai	13	Set	10
Fev	1	Jun	10	Out	3
Mar	1	Jul	7	Nov	7
Abr	8	Ago	12	Dez	2

Fonte: Dados de saída do modelo Wave Watch III.

Na perspectiva de estimar a energia de ondas transportada para a costa e identificar os possíveis impactos, Souza et al. (2015) simularam oito eventos de tempestade, representativos de diferentes combinações de entrada de ondas e ventos, e estimada para cada simulação a altura máxima de ondas na arrebentação em cada um dos 27 pontos, distribuídos em 3 setores: norte, central e sul do litoral da Baía de Campos (Figura 2).



Figura 2. Área de Estudo, Litoral adjacente à Baía de Campos.

O gráfico da Figura 3 ilustra, para a área de estudo, o momento ápice de cada tempestade para cada ponto de monitoramento no litoral e permite inicialmente destacar duas tempestades — **abril de 2010** (barras azul claro) e **novembro de 2008** (barras laranja) — como as geradoras de ondulações significativas sob o ponto de vista dos impactos na costa, que respectivamente recaem nas condições de estado de mar propostas por Parente (1999) e interpretadas por Pinho (2003) como mau tempo de Sudeste e bom tempo. Adicionalmente, o evento de tempestade de **maio de 2007** (barras lilás) foi utilizado para representar a condição descrita como mau tempo de Sudoeste.

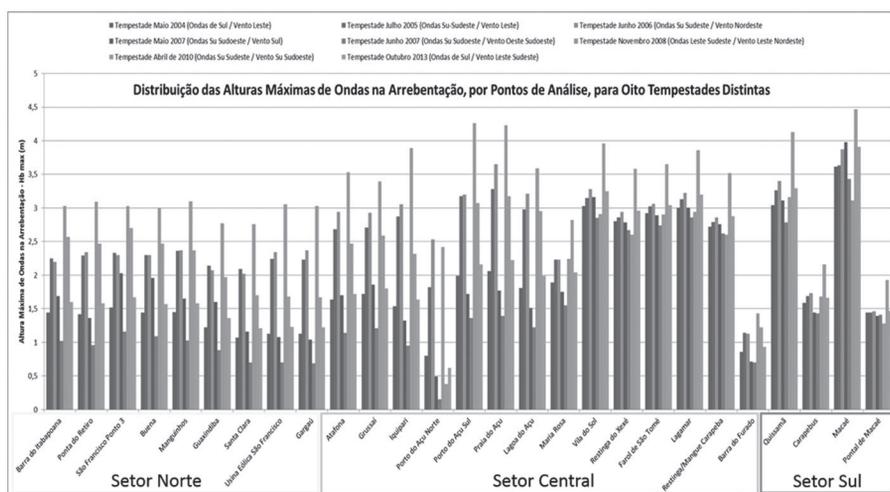


Figura 3. Distribuição das Alturas Máximas de Ondas na Arrebentação, por Pontos de Análise, para oito tempestades distintas. Extraído de Souza et al. (2015).

Uma análise desses eventos de tempestade permitiu identificar com maior detalhe que a tempestade de **maio de 2007** ocorreu durante aproximadamente 60 horas, tendo seu marco inicial às 13 horas do dia 09/05/2007 e o momento ápice (Figura 4) às 04 horas do dia 10/05/2007, com altura significativa de ondas de 4,30 metros. O declínio da condição de tempestade ocorreu a partir das 22 horas do dia 11/05/2007. Durante o ápice, os ventos predominantes foram de sul e ondulações de sudoeste. Na costa, as posições que receberam maior energia foram Macaé e Quissamã no setor sul e Lagamar e Vila do Sol no setor central. As posições menos afetadas por essa tempestade foram Pontal de Macaé e Carapebus no setor sul; Barra do Furado e Porto do Açú Norte no setor central e a maior parte das posições do setor norte ao longo do litoral de São Francisco do Itabapoana.

A tempestade de **novembro de 2008** teve duração aproximada de 78 horas, considerando seu início dia 22/11/2008 a 01 hora. O ápice (Figura 5) ocorreu com alturas significativas de 3,20m no mesmo dia às 10 horas e sua dissipação às 07 horas do dia 25. Ocorreu sobre a predominância de ondas vindas de leste-sudeste e ventos de leste-nordeste. Junto à costa, essa tempestade afetou majoritariamente o setor norte (Figura 3) do litoral da baía de Campos, com destaque para as posições Barra do Itabapoana, Ponta do Retiro, Buena e Manguinhos. No setor central da área de estudo, as posições de Iquipari, Porto do Açú Sul, Praia do Açú e Lagoa do Açú foram as que receberam as maiores ondulações. No setor sul da área de estudo, Quissamã foi a posição mais afetada. As posições menos afetadas foram Barra do Furado e Pontal de Macaé.

Já o evento de tempestade de **abril de 2010** ocorreu durante aproximadas 81 horas, com sua entrada computada às 19 horas do dia 07/04/2010, com ápice (Figura 6) dois dias depois às 04 horas do dia 09/04/2010, com alturas significativas de ondas de 4,70 metros. A tempestade dissipou-se 24 horas depois no dia 11/04/2010. As ondulações predominantes foram provenientes de su-sudeste e os ventos de su-sudoeste. Na costa, as simulações permitiram identificar (Figura 06 e Figura 3), no setor sul, que as maiores ondas atingiram os pontos Macaé e Quissamã. No setor central, as áreas mais afetadas

foram Vila do Sol e Lagamar em Campos dos Goytacazes, e Praia do Açú, em São João da Barra.

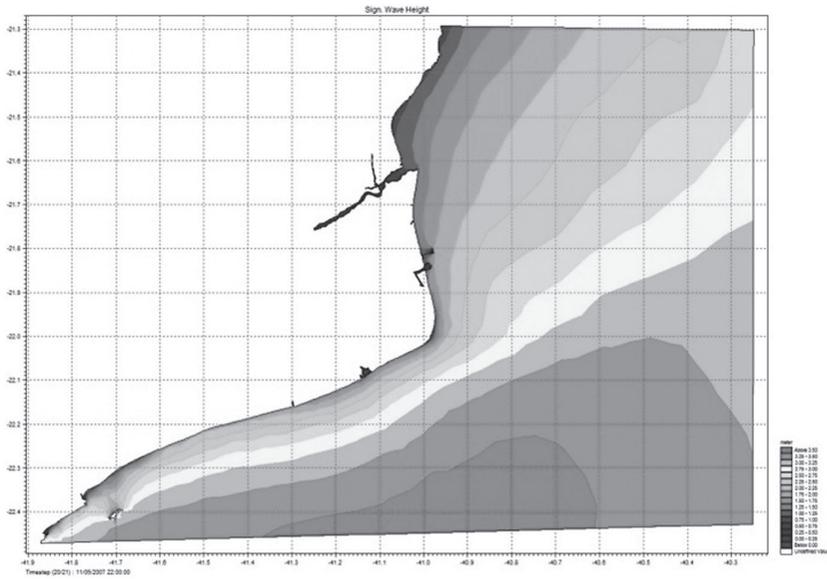


Figura 4. Simulação (acima) do momento ápice da tempestade de maio de 2007.

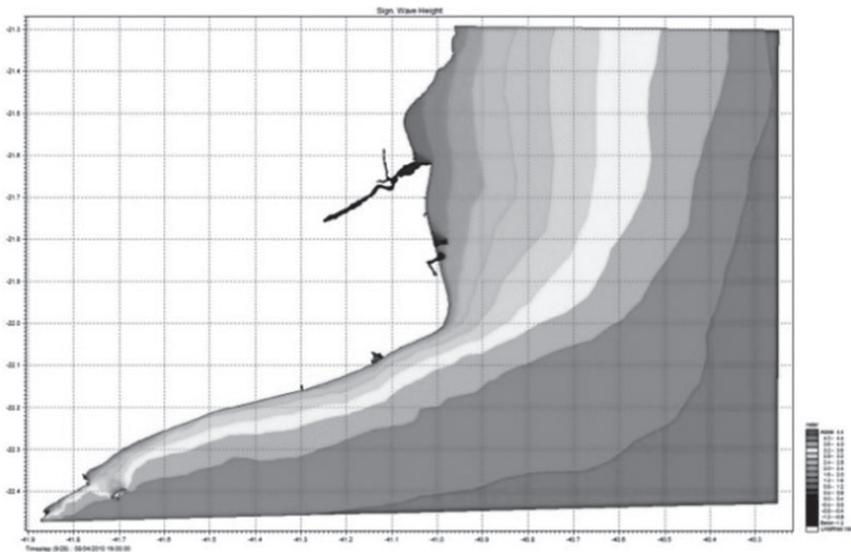


Figura 5. Simulação (esquerda) do momento ápice da tempestade de novembro de 2008.

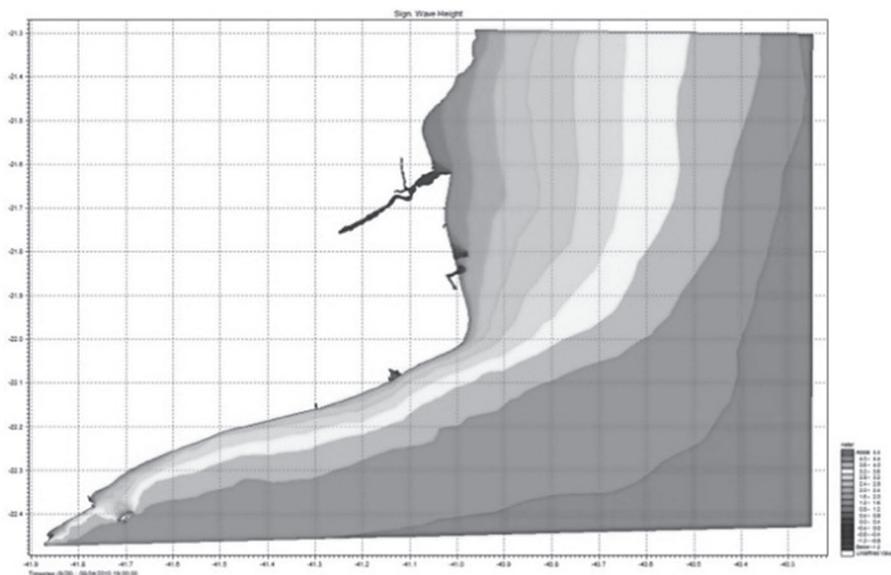


Figura 6. Simulação (direita) do momento ápio da tempestade de abril de 2010.

Os resultados apresentados na Figura 3 e também nas Figuras 4, 5 e 6 permitiram Souza et al. (2015) o estabelecimento de duas áreas distintas de influência de ondas de tempestade de acordo com o espectro direcional. Do setor norte até o ponto “Maria Rosa” no setor central há nítida exposição da linha de costa às ondulações provenientes de direções de leste-sudeste, leste e nordeste sofrendo influência, sobretudo de vagas geradas em condições de vento forte desse quadrante. Do ponto “Maria Rosa” em direção ao setor sul, tem-se exposição às tempestades de su-sudeste, sul e su-sudoeste.

Considerando estes três eventos de tempestade representativos dos estados de mar na Bacia de Campos e significativos para a geração de impactos de ondas de tempestades na linha de costa da área de estudo, como erosão costeira, recuo de falésias e transposição de ondas conforme descrito em Ribeiro et al. (2016), foram analisadas as cartas de pressão ao nível do mar para cada um dos três eventos de tempestade e descritas as características sinóticas, destacando a posição e os valores dos vórtices atmosféricos responsáveis pela geração dessas ondulações.

Para o primeiro evento, as posições dos vórtices ciclônicos foram observadas a partir da análise de três cartas sinóticas entre os dias dia 09 e 11 de **maio de 2007** indicadas pelas Figuras 7, 8 e 9, a seguir:

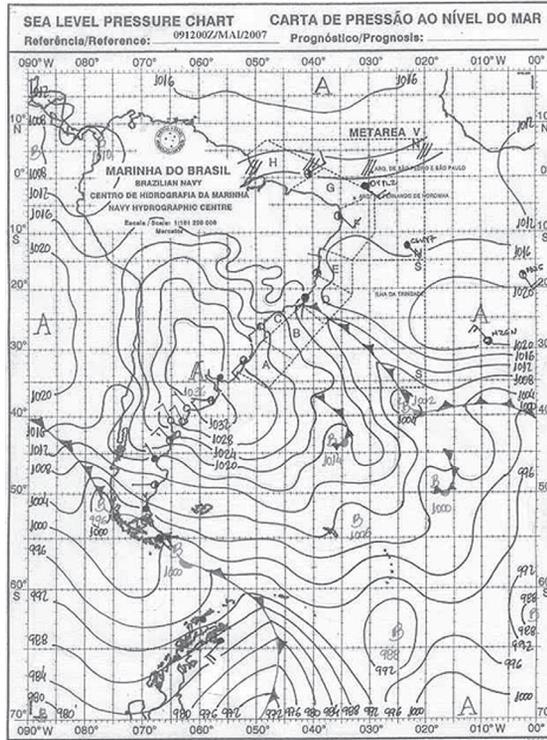


Figura 7. Carta Sinótica representativa das 12hs do dia 09/05/2007.

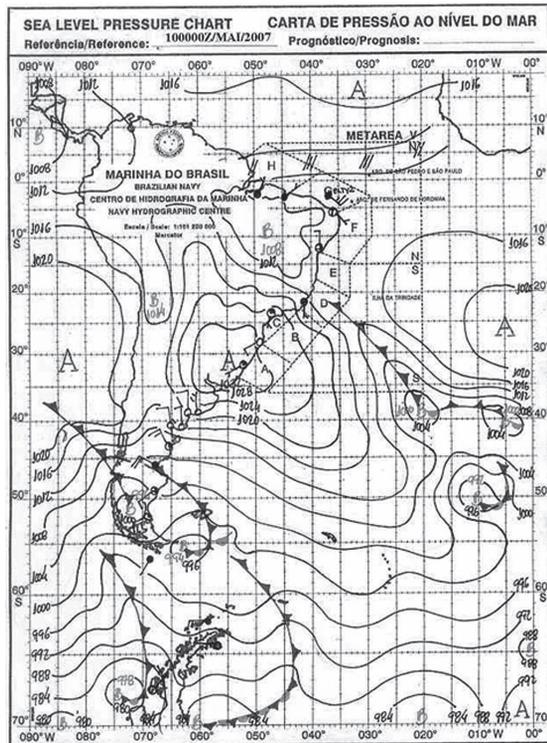


Figura 8. Carta Sinótica representativa das 00 hs do dia 10/05/2007.

Na Figura 7, para as áreas de interesse no Atlântico Sul, representando as condições às 12h do dia 09/07/2007, estão posicionados dois centros de alta pressão, o 1º em 1024 mb na posição 25°S/10°W e o 2º em 1032 mb na posição de 35°S/60°W. Vê-se ainda a distribuição das posições de sete centros de baixa pressão: o 1º em 1014 mb na posição 43°S/38°W, o 2º em 1002 mb na posição 39°S/24°W, o 3º em 1006 mb na posição 54°S/33°W, o 4º em 1000 mb na posição 48°S/18°W, o 5º em 988 na posição 63°S/25°W, o 6º em 988 mb na posição 62°S/0°W e o 7º em 1000 mb na posição 56°S/64°W. Há nítida formação de uma pista de ventos sobre o oceano entre o sul da América do Sul e a área C que engloba o litoral fluminense. Nessas condições, houve o desenvolvimento de ondas de alta energia, atingindo o litoral fluminense com alturas médias superiores aos 4,30 metros e ventos fortes, superiores a 26 m/s soprando da direção sudoeste.

Na Figura 8, seguindo a mesma lógica na carta sinótica, representando à 0h do dia 10 de maio de 2007, os dois centros de alta pressão diminuíram, o 1º passou para 1020 mb na posição 26°S/5°W, deslocado ligeiramente para sudeste, e o 2º em 1032mb na posição de 32°S/65°W, deslocado ligeiramente para oeste. Os sete centros de baixa pressão, anteriormente identificados, permanecem e aparecem deslocados nitidamente para a direção oeste: o 1º em 1004 mb na posição 39°S/20°W, 2º em 1002 mb na posição 40°S/5°W, o 3º em 992 mb na posição 50°S/10°W. Os que se posicionavam mais ao sul, deslocam-se ligeiramente para nordeste, sendo o 4º em 988 mb na posição 65°S/0°W, o 5º em 984 mb na posição 68°S/20°W, o 6º em 978 mb na posição 67°S/74°W e o 7º em 994 mb na posição 55°S/63°W. O deslocamento sugere o início da dissipação desses sistemas, que se concretiza quando é observado o estabelecimento em posições também mais a oeste dos centros de alta pressão, conforme a Figura 9, a seguir.

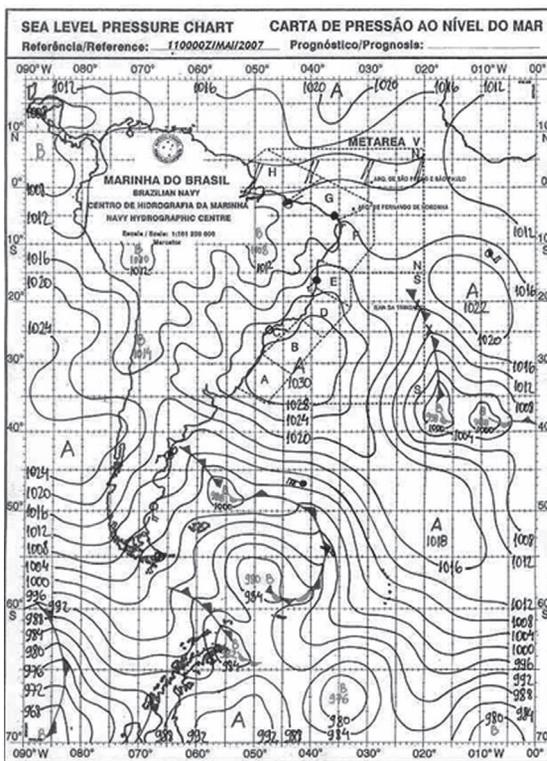


Figura 9. Carta Sinótica representativa da 0h do dia 11/05/2007

A Figura 9, mostra uma condição de 24 horas após a Figura 8, representando a 0h do dia 11/05/2007. A distribuição atual dos dois centros de alta pressão, o 1º em 1024 mb na posição 22° S/10°W, o 2º em 1030mb na posição 33°S/ 42°W, e um terceiro se posicionando a 1018mb em 52°S/18°W, mostra o início do predomínio da alta pressão no Atlântico Sudoeste e, consequentemente, a inibição da pista de geração de ondas de tempestade. São cinco os centros de baixa pressão destacados: o 1º em 1014 mb na posição de 41°S/41°W, o 2º em 1009 mb na posição de 36°S/27°W, o 3º 996 mb na posição 50°S/23°W, o 4º em 982 mb na posição de 28°S/9°W e o 5º em 982 mb na posição 68°S/33°W.

A sobreposição (figura 10) ao longo dos dias das posições dos centros de alta e baixa pressão atmosférica na área do Atlântico Sudoeste mostra que, durante a passagem dos sistemas frontais que geraram pistas propícias para a tempestade de maio de 2007, há indicação de que os sistemas de alta pressão, posicionados respectivamente a oeste e a leste, tendem a adotar deslocamentos opostos e, com isso, se aproximam para dominar a circulação. Já os centros de baixa pressão, ou ciclones, migram na direção oeste para leste com pequenas variações entre as direções oeste-sudoeste para leste-nordeste.

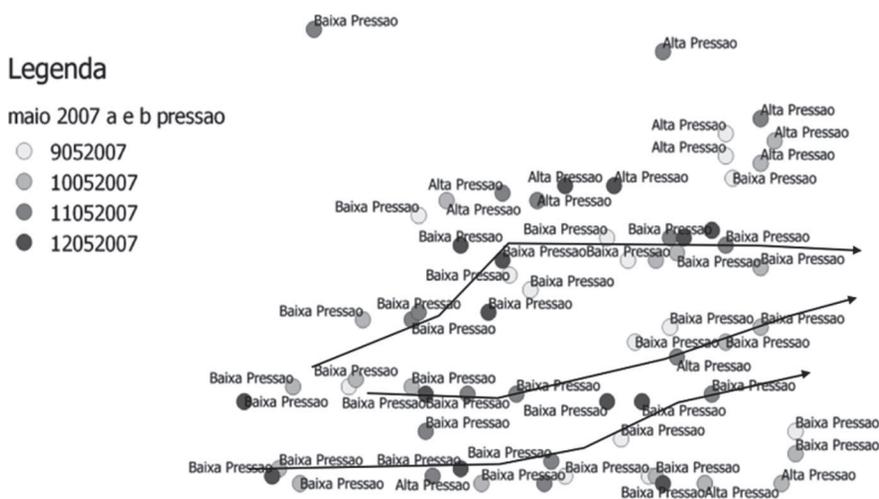


Figura 10. Sobreposição dos centros de alta e baixa pressão atmosférica durante a tempestade de maio de 2007.

Durante a tempestade de **novembro de 2008**, as condições de circulação atmosférica puderam ser avaliadas a partir de três cartas sinóticas. A Figura 11 é representativa para as condições da 0h do dia 22 de novembro de 2008, onde estão posicionados para a área de interesse dois centros de alta pressão, sendo o 1º com 1024 mb na posição 27°S/7°W mais a nordeste, e o 2º com 1036 mb na posição 37°S/33°W dominando a posição central da carta e as condições oceânicas para o litoral sudeste brasileiro.

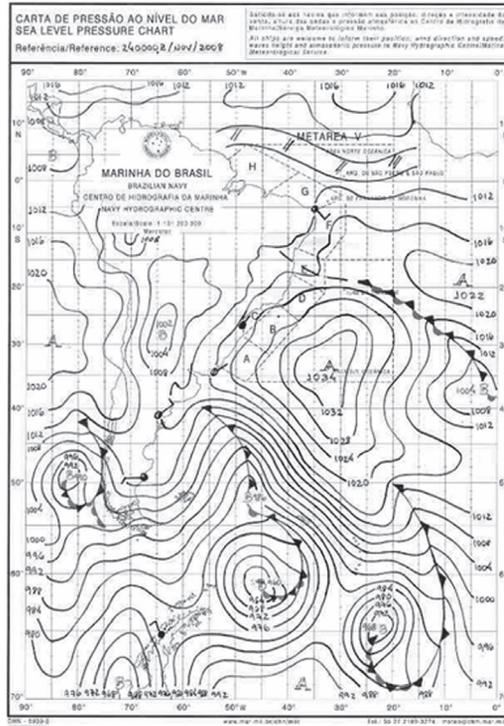


Figura 11. Carta Sinótica representativa das 0h do dia 22/11/2008.

| 270 |

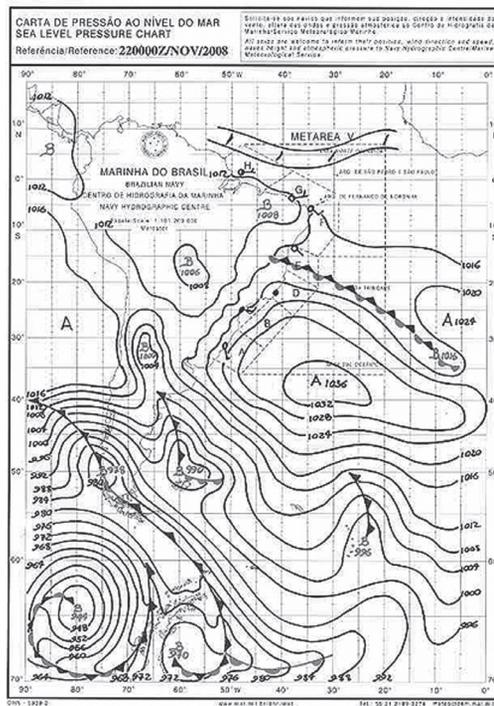
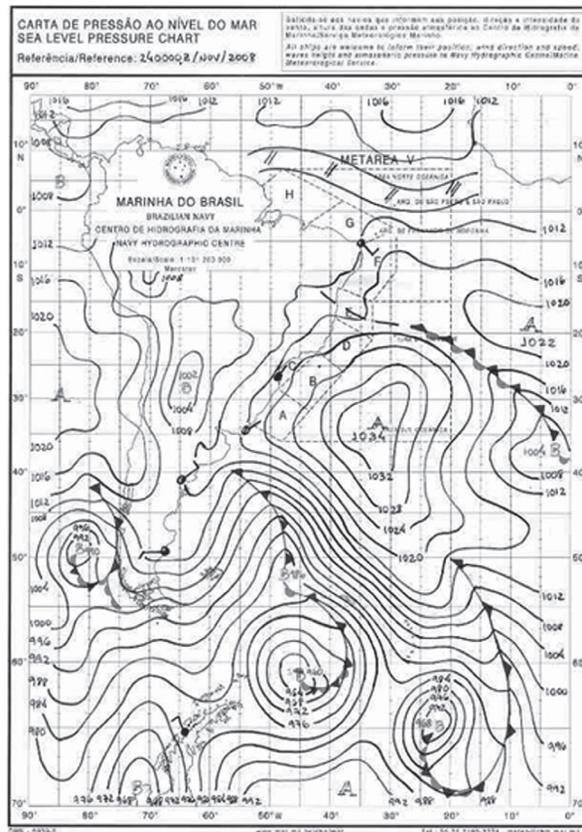


Figura 12. Carta Sinótica representativa das 0h do dia 23/11/2008.

Ainda sobre a Figura 11, aponta-se a ocorrência de cinco centros de baixa pressão no Atlântico: o 1º com 1016 mb na posição de 32°S/10°W, o 2º em 990 mb na posição 50°S/60°W, o 3º em 996 mb na posição 58°S/23°W, o 4º em 946 mb na posição 64°S/80°W e o 5º em 970 mb na posição 66°S/60°W. Na Figura 12, representando as condições para 24 horas depois, no dia 23/11/2008, o centro de alta pressão dominante aumenta para 1039 mb na posição 35°S/30°W um pouco mais ao norte e a oeste. Vê-se a ocorrência de sete centros de baixa pressão no Atlântico, sendo o 1º com 1014 mb na posição de 33°S/7°W, o 2º em 998 mb na posição 49°S/52°W, o 3º em 980 mb na posição 64°S/65°W, o 4º em 990 mb na posição 59°S/19°W, o 5º em 968 mb na posição 62°S/52°W, o 6º em 950 mb na posição 66°S/72°W e o 7º em 972 mb na posição 69°S/39°W. As condições de mar nesses dois dias permanecem idênticas, com vagas com alturas significativas médias de 3,0 metros e direção leste-sudeste, acompanhando os ventos de leste com velocidades médias na faixa dos 15 m/s. Já a Figura 13, representativa da 0h do dia 24/11/2008, ainda ilustra o posicionamento dos dois centros de alta pressão, sendo o 1º com 1022 mb na posição 19°S/6°W, e o dominante permanece, agora com 1034 mb, na posição 33°S/32°W. Existe ocorrência de quatro centros de baixa pressão no Atlântico, sendo o 1º com 1004 mb na posição de 37°S/2°W, o 2º em 986 mb na posição 62°S/48°W, o 3º em 960 mb na posição 61°S/45°W e 4º em 968 mb na posição 65°S/21°W.



Há nítida indicação de um padrão de trajetórias dos centros de baixa pressão. Observa-se que suas trajetórias são condicionadas pelo domínio do anticiclone do Atlântico Sul, ou ASAS. A trajetória dos ciclones assume então um padrão de oeste para leste, com ligeiro flexionamento na trajetória para a direção sudeste, ou seja, cria-se uma trajetória arqueada entre o oeste e o sudeste e nessas condições, ondas do tipo marulhos, quando geradas para o litoral fluminense, são usualmente de baixa energia e sobrepostas às vagas geradas pelos ventos do quadrante leste e nordeste. Essas condições foram identificadas por Parente (1999) e Pinho (2003) como bom tempo com marulhos de sul e são as condições de circulação típicas para o litoral da Baía de Campos. A sobreposição da posição dos vórtices dos centros de alta e baixa pressão atmosférica (Figura 14) durante esse evento ilustra o domínio do anticiclone semiestacionário do Atlântico Sul na faixa central do Atlântico Sul. Logo ao sul, está indicada a trajetória dos ciclones migratórios, circulando de oeste para leste.

Legenda

novembro 2008 a e b pressão

- 22112008
- 23112008
- 24112008
- 25112008

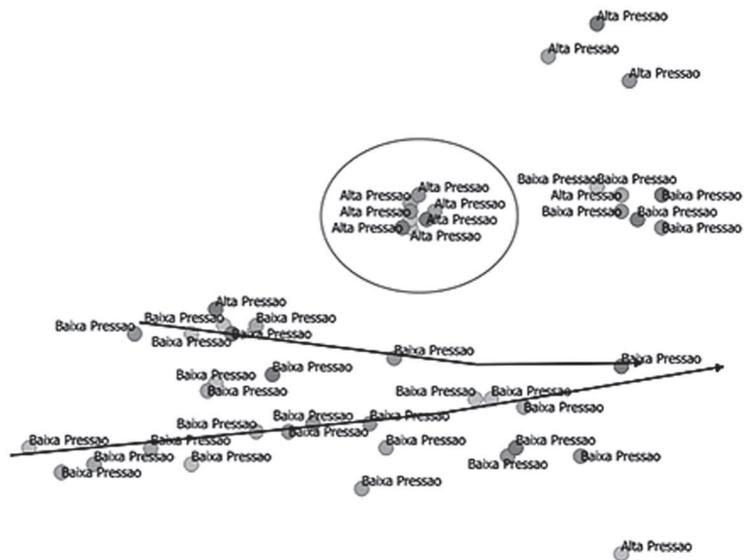


Figura 14. Sobreposição dos centros de alta e baixa pressão atmosférica durante o evento de Novembro de 2008.

A análise das condições sinóticas durante a tempestade de **Abril de 2010** pode ser ilustrada utilizando as cartas dos dias 8, 9, 10 e 11 representadas pelas figuras 15, 16, 17 e 18.

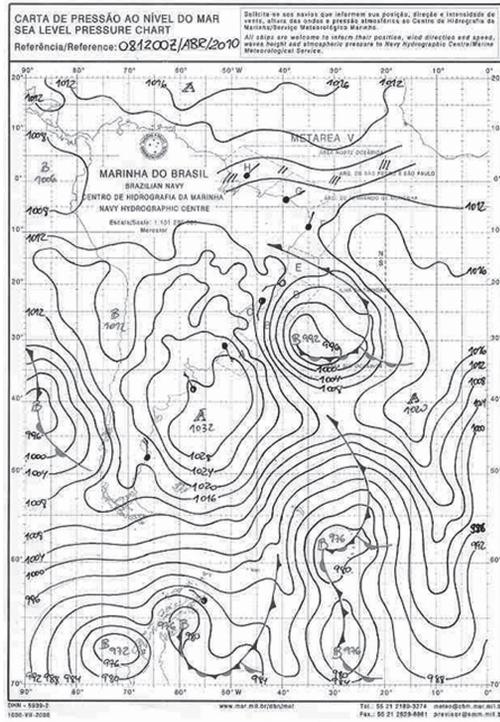


Figura 15. Carta Sinótica representativa das 12hs do dia 08/04/2010.

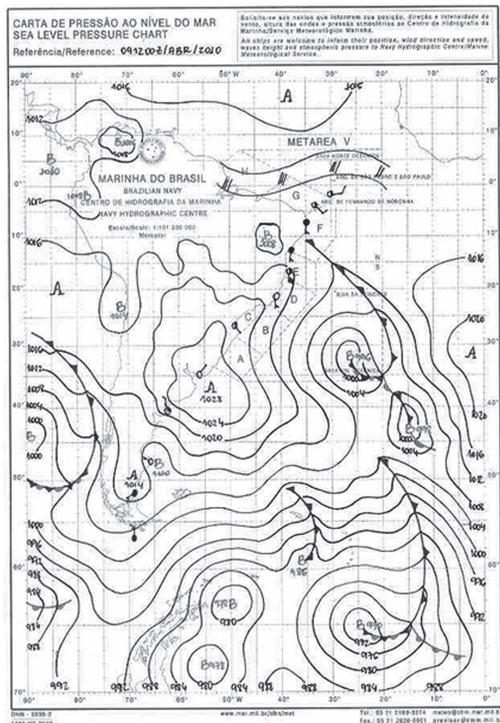


Figura 16. Carta Sinótica representativa das 12hs do dia 09/04/2010.

Na carta sinótica do dia 08 de abril de 2010, às 12hs, estão posicionados dois centros de alta pressão no Atlântico, o 1º com 1020 mb na posição 40°S/15°W, e o 2º com 1032 mb na posição 42°S/56°W, praticamente alinhados. Nota-se também a ocorrência de cinco centros de baixa pressão, sendo o 1º com 992 mb na posição de 30°S/39°W, dominando a circulação junto à Baía de Campos, o 2º em 976 mb na posição 57°S/33°W, o 3º em 976 mb na posição 66°S/60°W, o 4º com 972 mb na posição 67°S/75°W e o 5º em 976 mb na posição 67°S/30°W. No dia 09/04/2010 (Figura 16), o 1º e o 2º vórtices de baixa pressão se alinham e, apesar da ligeira movimentação para leste, mantém o domínio da circulação. Há ligeiro deslocamento do 1º centro de alta pressão também para leste, enquanto o 2º centro de alta pressão diminui sua intensidade para 1028 mb com ligeiro deslocamento para a direção noroeste. Nesse momento, existe ocorrência de quatro centros de baixa pressão no Atlântico, sendo o 1º com 996 mb na posição de 21°S/26°W, o 2º em 992 mb na posição 43°S/15°W, o 3º em 978 mb na posição 63°S/50°W, e o 4º com 970 mb na posição 65°S/25°W. Os deslocamentos dos centros de baixa pressão são nitidamente no sentido sudoeste-nordeste, e, nessas condições, as pistas geradas para o ataque das ondulações permitem que estas cheguem ao seu auge durante o evento, com ondas na faixa dos 4,70 metros, provenientes de su-sudeste, sobrepostos por ventos na faixa dos 13 m/s, provenientes de su-sudoeste.

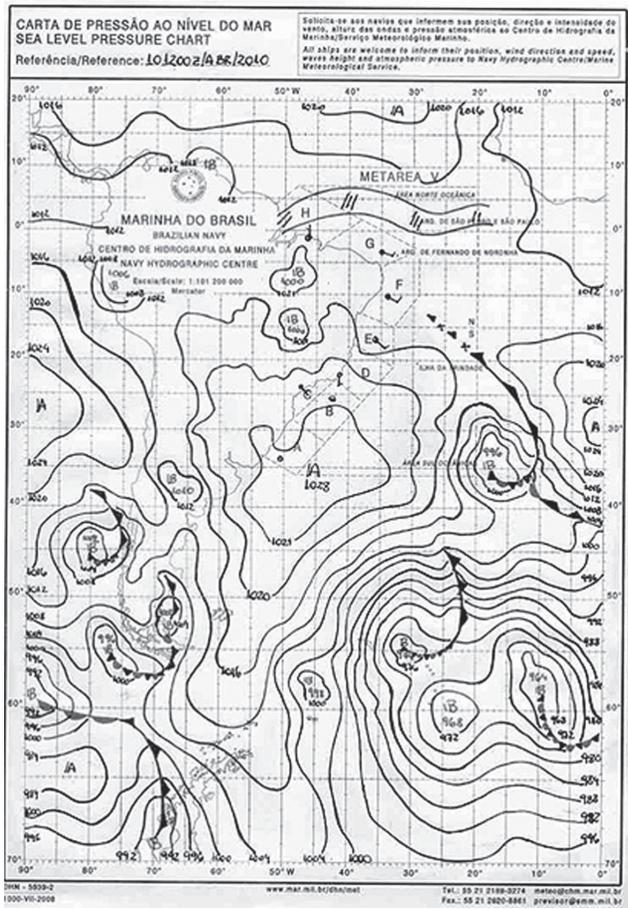


Figura 17. Carta Sinótica representativa das 12hs do dia 10/04/2010.

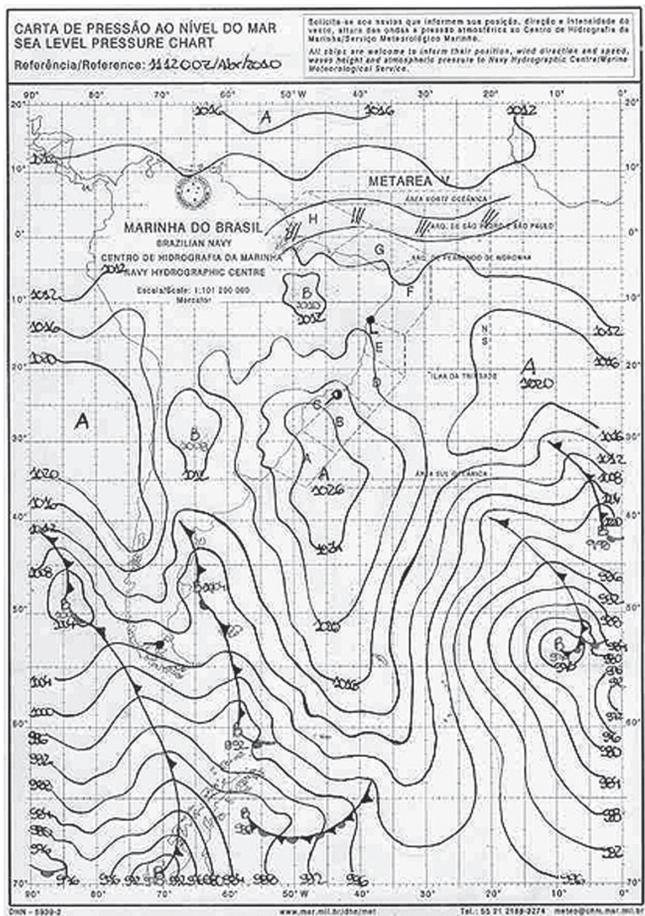


Figura 18. Carta Sinótica representativa das 12hs do dia 11/04/2010.

A figura 17, representativa da carta sinótica do dia 10 de abril de 2010 às 12 horas, ilustra a ocorrência de dois centros de alta pressão no Atlântico. O 1º com 1024 mb na posição 29°S/1°W e o 2º com 1028 mb na posição 36°S/45°W. Este último começa a ganhar posição central e de predomínio para a área de interesse, enquanto ao sul os seis centros de baixa pressão: o 1º com 996 mb na posição de 35°S/18°W, o 2º em 974 mb na posição 54°S/31°W, o 3º em 998 mb na posição 58°S/45°W, o 4º com 964 mb na posição 58°S/10°W, o 5º em 968 mb na posição 60°S/23°W e o 6º com 992 mb na posição 68°S/70°W passam a se afastar do litoral sudeste brasileiro na medida em que mantêm seu deslocamento para leste. Já a figura 18, representativa do dia 11 de abril de 2010 às 12 horas, mostra o predomínio do centro de alta pressão com 1026 mb posicionado em 35°S/45°W. O outro centro de alta pressão, com 1020 mb, encontra-se na posição 20°S/15°W e mostra ligeiro deslocamento para noroeste. Nota-se, também, cinco centros de baixa pressão no Atlântico: o 1º com 998 mb na posição de 41°S/3°W, o 2º em 1004 mb na posição 47°S/65°W, o 3º em 974 mb na posição 53°S/10°W, o 4º com 992 mb na posição 60°S/58°W e o 5º com 986 mb na posição 66°S/57°W, todos bem afastados do litoral sudeste brasileiro.

A configuração durante a tempestade de abril de 2010 mostra que a trajetória de ciclones na faixa dos 20° de latitude pode assumir um padrão de noroeste para sudeste, e essas condições permitem plena aproximação do litoral da Bacia de Campos. Outro deslocamento ocorre em latitudes mais elevadas e segue o padrão mais comum de trajetória oeste para leste com ligeira inflexão para nordeste. Ambos os padrões de trajetória tendem ao alinhamento na faixa de latitude entre 35° e 40°, já bem afastados da costa brasileira, com tendência a migrarem para leste, permitindo gradualmente o reestabelecimento da circulação do ASAS. A Figura 19 apresenta a sobreposição dos centros de circulação atmosférica durante essa tempestade e ilustra esses dois padrões de circulação.

Legenda

abril 2010 a e b pressao

- 7052010
- 8052010
- 9052010
- 10052010
- 11052010

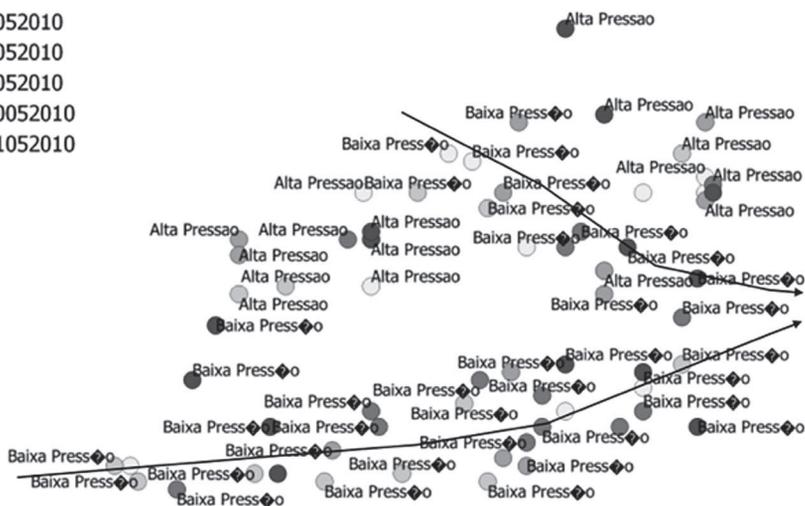


Figura 19. Sobreposição dos centros de alta e baixa pressão atmosférica durante o evento de abril de 2010.

Conclusões

Os resultados indicam a ocorrência de 75 eventos de tempestade em 11 anos. Nesse sentido, foram selecionadas três tempestades representativas de condições distintas de direção, período e altura de ondas, assim como suas combinações com as condições de vento que mostram que as áreas ao longo do litoral da Bacia de Campos com maior exposição às ondas de sul e su-sudoeste são os municípios de Campos dos Goytacazes, Carapebus e Macaé, e que as ondas vindas de leste-sudeste atingem os municípios de São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Carapebus, Quissamã e Macaé com maior intensidade. As áreas com menor exposição na maioria das simulações são São Francisco de Itabapoana e São João da Barra, devido à alta ocorrência de ondas de su-sudeste, sul e su-sudoeste.

Quanto às condições sinóticas, o mapeamento dos centros de vórtices ciclônicos e anticiclônicos no Atlântico Sul, durante a ocorrência de 3 tempestades selecionadas, a saber: maio de 2007, novembro de 2008 e abril de 2010, indicam padrões de trajetórias distintas dos centros de baixa pressão que variam entre o sentido sudoeste para nordeste, su-sudoeste para leste-nordeste e mesmo noroeste para sudeste, sendo este último referente a um posicionamento dos ciclones mais próximo ao litoral fluminense. A posição e a intensidade do vórtice de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS) interferem nas trajetórias dos centros de baixa pressão. No momento de dissipação, as trajetórias são de oeste para leste. O evento de novembro de 2008 é diagnóstico de ondas intensas relacionadas à posição do centro de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS).

Referências

- AHRENS, C.D. *Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate and the Environment*. Ed. Thomson / Brooks Cole. 8th Edition. 537 pp. 2007.
- ALVES, J.H.G.M. *Estudo Comparativo de dois Climas de Onda para o Litoral do Estado do Rio de Janeiro Estimados a Partir de Dados Visuais e Instrumentais*. Monografia de Estágio Orientado II. Instituto de Geociências. Dpto. de Oceanografia. UERJ. 28 pp. 1991.
- BULHOES, E.; FERNANDEZ, G.B; OLIVEIRA FILHO, S.R.; PEREIRA, T.G.; ROCHA, T.B. *Impactos Costeiros Induzidos por Ondas de Tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil*. Quaternary and Environmental Geosciences. Vol. 5 (2). 2014
- CAMPOS, R.M. *Análise dos Extremos de Onda no Rio de Janeiro Associados a Ciclones Extratropicais no Atlântico Sul*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 269 p. 2009.
- CANDELLA, R. N. *Estudo de Casos de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 80 p. 1997.
- GAN, M.A. e RAO. B.V. Surface Cyclogenesis Over South America. *Monthly Weather Review*. Vol. 119, p. 1293-1302. 1991.
- HOGBEN, N. *Global Wave Statistics (GWS)*. British Maritime Technology Limited. 1987.
- HOMSI, A. Wave Climate in Some Zones of the Brazilian Coast. *Proceedings of the 16th International Conference on Coastal Engineering, ASCE*. vol.1 pp. 114-133. 1978.
- INNOCENTINI, V.; ARANTES, F. O.; PRADO, S. C. C. Modelo de Ondas Aplicado ao Caso 5-8 de Maio de 2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*. São Paulo, Vol. 18 (01). pp. 97-104. 2003.
- MELO, E. The Sea Sentinels Project: Watching Waves in Brazil. *Proceedings of VII Symposium*

Coastal and Ocean Management. Coastal Zone 93. ASCE. 8. pp 505-517. 1993.

MURRAY, R.J. e SIMMONDS, I. A Numerical Scheme for Tracking Cyclone Centers from Digital Data. Part. II. Application to January and July General Circulation Model Simulations. *Australian Meteorological Magazine*. v. 39, p.167-180. 1991.

PARENTE, C. E. *Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas*. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Março, 1999.

PARISE, C.K. *Padrões Atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da Praia do Cassino*. Monografia (Graduação). Departamento de Geociências. Fundação Universidade Federal de Rio Grande. 2007

PARISE, C.K. *Estudo da Variabilidade de Ondas no Oceano Atlântico Sul e a Contribuição Energética de um Ciclone Extratropical Intenso nos Espectros das Ondas ao Largo do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado (Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

PARISE, C.K.; CALLIARI, L.J. e KRUSCHE, N. Extreme Storm Surges in the South of Brazil: Atmospheric Conditions and Shore Erosion. *Brazilian Journal of Oceanography*. Vol. 57 (3). pp.175-188. 2009.

PINHO, U.F. *Caracterização dos Estados de Mar na Baía de Campos*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 123 p. 2003.

| 278 |

REBOITA, M.S.; ROCHA, R.P. e AMBRIZZI, T. *Climatologia de ciclones sobre o Atlântico Sul utilizando métodos objetivos na detecção destes sistemas*. In: IX Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, AR, Outubro 3-7. 2005.

RIBEIRO, M.G; GOMES, T.B; BULHOES, E. Respostas Morfodinâmicas e Fisiográficas da Zona Costeira ao Norte da Baía de Campos frente à Eventos de Tempestade. *Revista Tamoios* (no prelo). 2016.

SATYAMURTY. P., MATTOS L.F. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence. *Monthly Weather Review*, Vol. 117. pp. 1355-1364. 1989.

SILVA, P.C.M. *Wave Penetration at Sepetiba Bay* (Translation). Cia. Internacional de Engenharia e Construções. Relatório Técnico para MBR (Minerações Brasileiras Reunidas S.A.) 23 pp. 1969.

SOUZA, M. H. S. *Clima de Ondas ao Norte do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 181 pp. Abril 1988.

SOUZA, M.H.S.; RIBEIRO, C.E.P. Wave Climate Off Rio de Janeiro. *Proceedings of the 21th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE. vol. 1 pp. 261-269. 1988.

SOUZA, T.A.; BULHOES, E.; AMORIM, I.B.S. Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. *Quaternary and Environmental Geosciences*. Vol. 6 (2) p. 10-17. 2015.

TALJAARD, J.I. Development, Distribution and Movement of Cyclones and Anticyclones in the Southern Hemisphere During the I.G.Y. *Journal of Applied Meteorology*. Vol.6. pp 973-987. 1967.

VIOLANTE-CARVALHO, N. *Investigação Sobre a Evolução do Clima de Ondas na Bacia de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas*. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 133 pp. Junho, 1998.