

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS
DE UM EVENTO DE MARÉ METEOROLÓGICA OCORRIDO EM
TRAMANDAÍ – RIO GRANDE DO SUL**

MATIAS PACHECO DE OLIVEIRA

Orientador:
Prof. MSc. Francisco Eliseu Aquino

Porto Alegre, julho de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
GEO 01128 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO II

ANÁLISE DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS
DE UM EVENTO DE MARÉ METEOROLÓGICA OCORRIDO EM
TRAMANDAÍ – RIO GRANDE DO SUL

Matias Pacheco de Oliveira

Monografia realizada como
requisito obrigatório para
obtenção do título de
Bacharel em Geografia
nesta Universidade.

Orientador:

Prof. MSc. Francisco Eliseu Aquino (UFRGS - Depto. de Geografia)

Banca Examinadora:

Prof. MSc. Fernando Pohlmann Livi (UFRGS - Depto. de Geografia)

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber (UFRGS - Depto. de Geografia)

Porto Alegre, julho de 2008.

“... e como o mar estivesse manso e liso, a tripulação murmurava, dizendo que não havia dúvida de que ali o mar não era grande e que nunca ventaria o suficiente para voltar para a Espanha; mas depois o mar encrespou-se muito, e sem vento, de modo que foi bem providencial o mar alto, que não aparecia a não ser no tempo dos hebreus, quando fugiram do Egito liderados por Moisés, que os retirou do cativeiro.”
Cristóvão Colombo, 1492.

“...O que poucos amantes de ondas e do mar sabem é que, além de descobrir a América, o Almirante Cristóvão Colombo foi provavelmente, o primeiro a notar e documentar a existência do swell...” Valdir Innocentini.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família pelo carinho. À minha avó Mira pelo incentivo, à minha mãe Rosa pela cobrança, meu pai pelos conselhos, meus irmãos e irmã pelo carinho, amizade e apoio.

Aos grandes amigos de Osório, do surf, do chimarrão, da “carnagem” e dos megaeventos organizados.

A toda turma do Curso Técnico em Hidrologia, aos professores e funcionários do IPH. Aos colegas de trabalho na “Sala de Projetos” bem como aos orientadores: Marcelo, Lawson e Alfonso pelo profissionalismo repassado. A ONG BIGUÀ – Sentinela das Águas pelas batalhas a favor do ambiente natural e a busca de condições melhores para os “hidrotécnicos”.

Aos monitores da limpeza no curso pré-vestibular.

A toda minha turma da faculdade 2003/2 que iniciou junto essa caminhada no qual chego ao fim, por muitas saídas de campo, muito chimarrão, muita “vovó-sentada”, muitas indiadas, muitos sonos em sala de aula, muitos seminários planejados, discutidos e apresentados, enfim por tudo que passamos juntos.

Agradeço ao mais importante conquistado durante esses 5 anos, a amizade que construímos: Alexandre Camargo, Bruno Pinto, Marcelo Haas, Marcelo Giovano e Geovane Brandão. Em especial aos desbravadores naturistas e naturalistas Bruno, Marcelo e Geovane pelas longas viagens que fizemos e iremos fazer, aprofundando e testando nossos conhecimentos geográficos.

Aos professores e mestres da UFRGS pelo conhecimento e incentivo repassado. Em especial ao orientador desse trabalho Prof. Francisco Eliseu Aquino, pelas discussões em sala de aula, ao incentivo durante esses semestres para escrever sobre um tema o qual “mova mundos”.

A uma pessoa muito especial com quem tenho discussões sobre tudo e sobre todos: minha companheira e parceira Luisa. Obrigado pelo amor, carinho, paciência e compreensão.

Muito obrigado a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu estivesse os escrevendo agora.

RESUMO

Este trabalho analisa os parâmetros meteorológicos e oceanográficos do evento de maré meteorológica ocorrido em 04 de setembro de 2006 em Tramandaí, Rio Grande do Sul (RS) que ocasionou grandes impactos ao ambiente natural e antrópico nesse município. Analisou-se cartas sinóticas, imagens GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), campos de vetor vento em superfície das reanálises do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), dados meteorológicos das estações meteorológicas de Tramandaí (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.) e Imbé (Secretaria de Portos e Hidrovias) e boletins de previsão de ondas. Além destes, foram utilizados dados do nível do mar da estação de Imbé e as previsões de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para obter a maré meteorológica resultante. A análise das fotografias e observação in loco dos impactos resultantes desse evento possibilitou a determinação de sua intensidade. Esses impactos também foram relacionados com o tipo de ocupação do solo. No dia 04/09/2006 um ciclone extratropical estava completamente formado com pressão mínima de 960 hPa, no setor oeste do Atlântico Sul (42°S e 40°W), enquanto que o anticiclone sobre o continente tinha 1034 hPa, gerando um gradiente de 74 hPa entre os sistemas. Esse gradiente proporcionou a formação de uma pista de ventos organizada de SW para NE atingindo 1.600 km de extensão, favorecendo a geração de ondulações, com até 5,2 m e período de 12 s, com energia suficiente para percorrer extensas áreas, causando significativos impactos na costa do RS. Além das ondas, o vento gerou o transporte de massa d'água por Ekman, resultando em um empilhamento de massa d'água com uma elevação acima do previsto pela DHN. O registro dessa maré atingiu o valor máximo de 1,38 m no dia 04/09/2006 às 12:30 enquanto que a maré prevista era de 0,41 m, resultando em uma maré meteorológica de 0,97 m. A ação da sobrelevação do mar com as ondas causou severa erosão praias e das dunas em Tramandaí além de danos em equipamentos urbanos, que corresponde à classe de tempestade Severa – IV, em uma escala que varia de I a V, onde a classe I corresponde a eventos fracos e a classe V a ciclones

tropicais (Dolan; Davis, 1992). Esses danos evidenciados em fotografias estão relacionados com a ocupação irregular, onde a remoção de dunas para instalação de equipamentos urbanos facilita a ação das marés meteorológicas.

Palavras-Chave: maré meteorológica, dinâmica costeira, Tramandaí, Rio Grande do Sul

ABSTRACT

This work analyzed the meteorological and oceanographic parameters of the storm surge event of September 04, 2006, Tramandaí, Rio Grande do Sul (RS), causing great impacts on the natural systems and the community. This study employed synoptic chart; imagery from the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES); wind field vector reanalysis from the National Center for Environmental Prediction (NCEP); weather station data from Tramandaí (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.- EPAGRI) and Imbé (Secretaria de Portos e Hidrovias - SPH), as well as the related wave forecast bulletins. The storm surge event was obtained from sea level data from Imbé and tide forecast from the Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). The photographic and *in loci* observations of the related impacts made it possible to determine the intensity of the surge. Such impacts were also related with land use patterns. On September 4, the extratropical cyclone was completely formed in the western south Atlantic (42°S; 40°W), minimum pressure of 960 hPa. Simultaneously, the anticyclone over the continent (1034 hPa) generated a pressure gradient of 74 hPa, between the systems. This gradient organized a SW - NE fetch of 1.600 km (5.2 m waves in a 12 s period), resulting in greater energy over more extensive areas. This caused significant impacts on the coastline and generated Ekman water transport, resulting in the piling up of the water mass, leveling the waters above the DHN forecast. The maximum sea level register for this storm surge was 1.38 m, on the September 04, 2006, at 12:30, while the forecasted tide was 0.41 m, resulting in a storm surge elevation of 0,97 m. The joint performance of sea level and wave risings caused severe beach and dune erosion, as well as property damage in Tramandaí. Considering the scale that varies from I to V, where class I corresponds to weak events and class V to tropical hurricanes (Dolan; Davis 1992), this event corresponded to a class IV, a severe storm event. The storm surge relating property damages, documented by the photographs, were associated to the irregular urban occupation, due to the dune removal for urban growth.

Keywords: storm surge, coast dynamics, Tramandaí, Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificativa.....	2
1.4 Localização da área de estudo.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Clima do Rio Grande do Sul.....	5
2.2 Ciclones extratropicais.....	10
2.3 Efeitos sobre o Oceano.....	14
2.4 Maré Meteorológica.....	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 Caracterização do estado meteorológico e oceanográfico.....	21
3.2 Medição da maré meteorológica.....	23
3.3 Intensidade da tempestade.....	24
3.4 Danos causados e tipos de ocupação.....	27
4. RESULTADOS.....	28
4.1 Caracterização meteorológica e oceanográfica.....	28
4.2 Medição da maré meteorológica.....	43
4.3 Intensidade da tempestade.....	46
4.4 Danos causados e tipo de ocupação.....	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5.1 Conclusões.....	50
5.2 Trabalhos futuros.....	52
6. REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de situação e localização do município de Tramandaí, RS.....	4
Figura 02 – Classificação climática do RS e a situação de Tramandaí.....	6
Figura 03 – ZCBM.....	7
Figura 04 – Massas de ar atuantes na América do Sul.....	8
Figura 05 – ZCAS (Carta Sinótica).....	9
Figura 06 – Ciclo habitual do tempo no Brasil Meridional..	10
Figura 07 – CE, (a) Carta de pressão NMM mostrando um CE à SE do RS em 05/09/2006; (b) Imagem TERRA (MODIS) evidenciando pela nebulosidade associada a evolução/formação de um CE sobre o RS em 02/09/2006.	11
Figura 08 – Esquema geral de um CE..	12
Figura 09 – Estágios de evolução de um CE (identificado pela letra B): a) Onda: nuvens formam um conglomerado único (estágios 1,2 e 3), b) Oclusão: nebulosidade em formato de vírgula invertida (estágio 4), c) Maturação: maior intensidade do centro de baixa (estágio 5), d) Dissipação: desaparecimento da nebulosidade (estágios 6,7 e 8).	13
Figura 10 – CE no Atlântico Sul entre 1989 e 1999.	14
Figura 11 – Formação de ondas.	15
Figura 12 – Altura das ondas (m) x velocidade do Vento (m/s).....	16
Figura 13 – Altura das ondas (m) x tempo de duração do vento (horas)..	16
Figura 14 – Altura das ondas (m) x Pista (km).....	16
Figura 15 – Diagrama de Bretchneider, 1973.....	17
Figura 16 – Atuação em conjunto de um Anticiclone (A) e de um Ciclone (B) no HS. 17	17
Figura 17 – Transporte de Ekman para o HS.....	18
Figura 18 – Formação de um evento de Maré Meteorológica na costa do RS.	18
Figura 19 – Maré normal, de tempestade e meteorológica.	20
Figura 20 – (a) Estação Meteorológica de Tramandaí; (b) Localização da Estação Meteorológica de Imbé, vista da Barra de Tramandaí.....	22
Figura 21 – Dados da previsão meteorológica para 31/08/2006, (a) Pressão NMM, (b) 250 hPa, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES.	30
Figura 22 – Pressão Atmosférica (hPa) e Vento (km/h) ao longo do evento em Imbé RS.	31
Figura 23 – Pressão Atmosférica (hPa) e Vento (km/h) ao longo do evento em Tramandaí - RS.....	31

Figura 24 – Previsão de ondas para o período de estudo.....	32
Figura 25 – Dados da previsão meteorológica para 01/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 250 hPa, (d) Vento em superfície.....	33
Figura 26 – Dados da previsão meteorológica para 02/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES.....	34
Figura 27 – Dados da previsão meteorológica para 03/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES. Fonte:.....	37
Figura 28 – Dados da previsão meteorológica para 04/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 500 hPa, (d) Imagem GOES, (e) Vento em superfície.....	39
Figura 29 – Dados da previsão meteorológica para 05/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES.....	41
Figura 30 – Dados da previsão meteorológica para 06/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 500 hPa, (d) Vento em superfície.....	42
Figura 31 – Maré registrada no canal de acesso ao mar em Imbé, RS..	43
Figura 32 – Previsão da maré para Rio Grande com linha de tendência	44
Figura 33 – Maré em 31/03/2007 (a); e em 04/09/2006 (b).....	44
Figura 34 – Magnitude da Maré Meteorológica: (a) impacto das ondas atingindo o "calçadão" à beira-mar, (b) muro de contenção sendo atingido, (c) praia completamente coberta pela maré, (d) nível do Rio Tramandaí próximo à barra de Imbé, (e) canal de acesso ao mar em Imbé completamente inacessível, (f) atuação da maré com as ondas sobre as dunas frontais em Tramandaí.	45
Figura 35 – Ondas em Tramandaí no dia 4/9/2006. (a) ondas com 3 m, aproximadamente, (b) ondas na plataforma de pesca, (c) lado norte da plataforma, (d) ondas atingindo o lado sul da plataforma.....	46
Figura 36 – Perfil praial no máximo erodido durante o evento.	47
Figura 37 – Fotos dos danos causados pela maré meteorológica em Tramandaí-RS em 04/09/2006: a) Calçada à beira-mar na Zona Central, b) Muro de contenção e antigo restaurante panorama no início da Zona norte, c) Muro e calçada na Zona Central, d) Quiosques na Zona Central, e) Equipamentos urbanos na Zona Central, f) Quiosques e muro de contenção na Zona Norte.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Amplitude térmica e Temperatura média nas estações ao longo do paralelo 30°S.....	7
Tabela 02 – Condições de tempo provocadas por invasão de massas de ar.	8
Tabela 03 – Características das 5 classes de tempestade.	25
Tabela 04 – Classes de tempestade e impactos.....	25
Tabela 05 – Classificação das tempestades do Atlântico Sul.	26

LISTA DE ABREVIATURAS

AST	Alta Subtropical do Oceano Atlântico Sul
CE	Ciclone Extratropical
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
COREDE	Conselho Regional de Desenvolvimento
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha Brasileira
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
FEE	Fundação de Economia e Estatística
GFS	<i>Global Forecasting System</i>
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>
hPa	Hectopascal
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAHIMAR	Laboratório de Hidráulica Marítima
LAMMA	Laboratório de Modelagem de Processos Marinhos e Atmosféricos
METEOSAT	<i>Meteorological Satellite</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NMM	Nível Médio dos Mares
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PNMM	Pressão ao Nível Médio dos Mares
RS	Rio Grande do Sul
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SPH	Secretaria de Portos e Hidrovias
SPO	Sistema de Previsão de Ondas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCBM	Zona de Confluência Brasil-Malvinas

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Esse trabalho analisou quais as condições meteorológicas e oceanográficas responsáveis pelo evento de maré meteorológica ocorrida no dia 04/09/2006 além de determinar sua intensidade que ocasionou grandes impactos ao ambiente natural e antrópico no município de Tramandaí.

São essas marés meteorológicas que causam muitas vezes, a perda de vidas humanas e da destruição de boa parte de equipamentos urbanos instalados em áreas irregulares, como no caso do presente estudo, na cidade costeira de Tramandaí, em 04 de setembro de 2006, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

A zona costeira brasileira é intensamente ocupada e explorada por milhões de habitantes. A maior parte dessa população vive constantemente em contato com o mar durante toda sua vida, tirando da água salgada, do horizonte “sem fim”, seus sustentos. Segundo a lei N.º 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), a Zona Costeira é o espaço geográfico de interação entre o ar, a terra, e o mar. Boa parte da população brasileira está à mercê dos fenômenos oriundos dessa interação. Segundo o PNGC, 36.5 milhões de pessoas vivem nessa faixa de 8.698 km de extensão e largura

variável em 400 municípios resultando em uma densidade média de 121 hab/km², seis vezes a média nacional de 20 hab/km².

Essa interação entre o oceano e a atmosfera provoca alguns fenômenos pouco estudados ainda pela comunidade científica: as marés meteorológicas que são causadas pela presença de sistemas meteorológicos de grandes proporções sobre o oceano causando elevação do nível do mar acima do previsto além de fortes ventos e ondas altas.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo analisar quais as condições meteorológicas e oceanográficas responsáveis pela maré meteorológica ocorrida em 04/09/2006 no município de Tramandaí – RS bem como determinar sua intensidade relacionando seus impactos com o tipo de ocupação.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Caracterizar o estado meteorológico e oceanográfico deste evento;
- b) Obter a maré meteorológica;
- c) Determinar a intensidade da tempestade;
- d) Relacionar os danos causados com os tipos de ocupação.

1.3 Justificativa

Estudar as perturbações atmosféricas bem como sua interação com o mar é essencial para a vida humana hoje em dia. Além de salvar vidas e evitar impactos ambientais em eventos extremos, auxilia em muitos setores da economia como o turismo, a pesca, a extração de petróleo e minerais, a logística, os esportes

náuticos, a carcinicultura e a construção civil. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO) as atividades econômicas na zona costeira chegam a 70% do PIB brasileiro.

Devemos estudar e monitorar os sistemas que afetam as condições do tempo e conseqüentemente as condições do mar para evitarmos maiores danos na medida em que caminhamos para um padrão de aumento na variabilidade de tempo, em decorrência do “nosso” aquecimento global. Delimitar as áreas mais afetadas pela elevação do nível do mar auxilia no planejamento das ações a serem tomadas pelos governantes de todas as instâncias.

Segundo Pugh (1987), milhares de vidas humanas foram perdidas em eventos de maré meteorológica. De acordo com o autor, em novembro de 1970 em Bangladesh, 9,0 m de elevação acima da maré prevista ocasionaram a morte de 500 mil pessoas, enquanto em setembro de 1900, no Texas, foram 6 mil. Enfim, o estudo das marés meteorológicas é de suma importância devido a grande quantidade e variedade de atividades ligadas aos oceanos e praias além de evitar a morte de muitas pessoas.

1.4 Localização da área de estudo

O município de Tramandaí está localizado nas coordenadas geográficas de 29°56'30"S e 50°07'50"W (figura 01), segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002) possui área territorial de 143,918 km² e de acordo com o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) está a uma distância de 116 km da capital Porto Alegre, situado na Zona Costeira do RS banhado pelo Oceano Atlântico Sul. Para a Fundação de Economia e Estatística (FEE) este município está inserido no Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Litoral e seu município de origem é Osório. Possui uma população em 2007 de 39.891 habitantes (IBGE, 2007), porém durante a estação de verão em dias de semana alcança 250 mil e nos finais de semana essa população dobra chegando aos 500 mil.

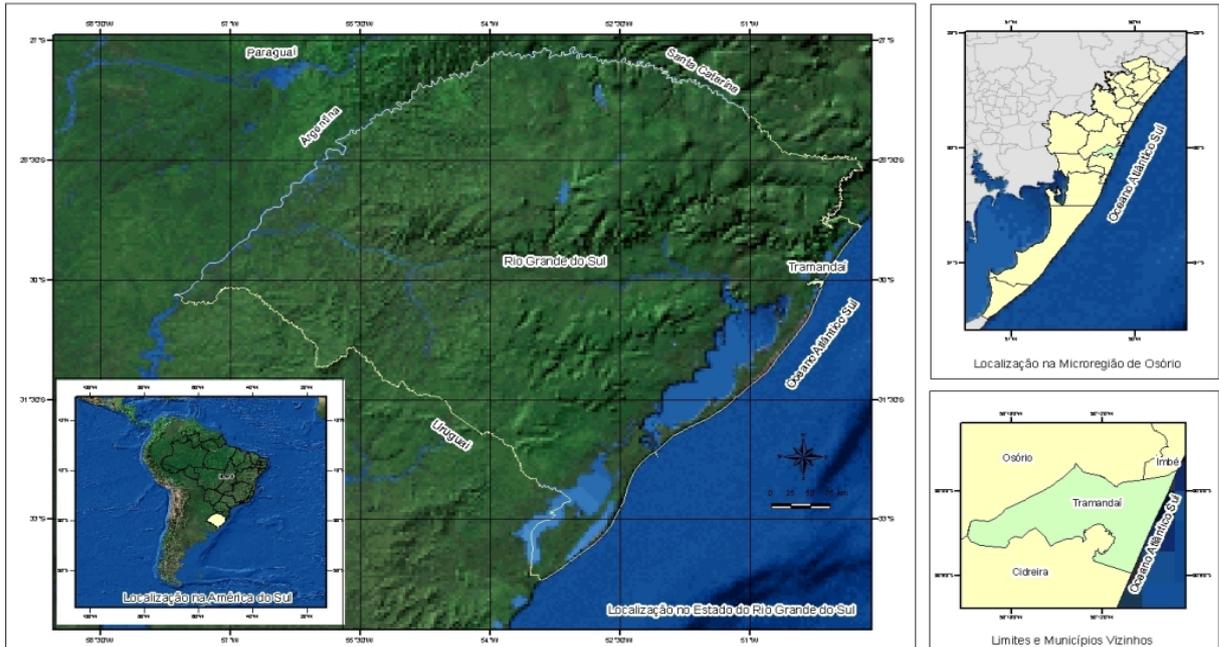


Figura 01 – Mapa de situação e localização do município de Tramandaí, RS.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Clima do Rio Grande do Sul

O estado do RS situa-se entre as coordenadas geográficas 27°S e 34°S de latitude e entre 49°W e 58°W de longitude, sendo caracterizado como zona de transição entre a zona tropical e a temperada. Com isso, podemos definir que o clima desse estado está sob influência tanto das massas de ar tropicais e equatoriais quanto polares, continentais e oceânicas. Além disso, esse estado possui um relevo com contrastes hipsométricos entre 0 e 1.398,0 m (RS - Secretaria da Agricultura, 1989) acima do Nível Médio dos Mares (NMM) determinando diferenças na forma de atuação dessas massas de ar, provendo as regiões mais altas com maiores precipitações e temperaturas mais extremas.

Segundo a classificação climática proposta por Moreno (1960) baseada em Köppen, o RS está subdividido em duas áreas morfoclimáticas: aquelas mais altas do planalto juntamente com a “Serra do Sudeste” são classificadas como Cfb no qual a temperatura média do mês mais quente é inferior à 22°C e as precipitações são bem distribuídas ao longo do ano. O restante do estado é classificado como Cfa onde a temperatura média do mês mais quente é superior à 22°C. Moreno (1961), subdividiu em áreas morfoclimáticas o RS onde Tramandaí está inserido na área da Planície Sedimentar Litorânea Lagunar (classe Cfall1d, figura 02) com altitudes inferiores à 100 m, temperatura média do mês mais quente superior à 22°C e temperatura média anual inferior à 18°C (figura 02).

O RS possui 618 quilômetros de linha de costa conforme Esteves (2004), banhados e influenciados pelo Oceano Atlântico Sul. Essa influência é produzida através da Maritimidade e da Continentalidade. A maritimidade é influenciada pela presença de duas correntes: corrente das Malvinas ou Falkland e da corrente do Brasil (Truccolo; Matshinske; Diehl, 2006). A primeira é de origem polar ou subpolar alimentando a planície costeira com águas densas e frias que chegam a 11°C durante o inverno. A segunda, de origem tropical é quente e menos densa podendo

chegar a 26°C durante o verão. A resultante é que nas áreas costeiras as temperaturas máximas e mínimas são amenizadas (maritimidade) enquanto que em áreas mais afastadas do oceano essas amplitudes são acentuadas (continentalidade).

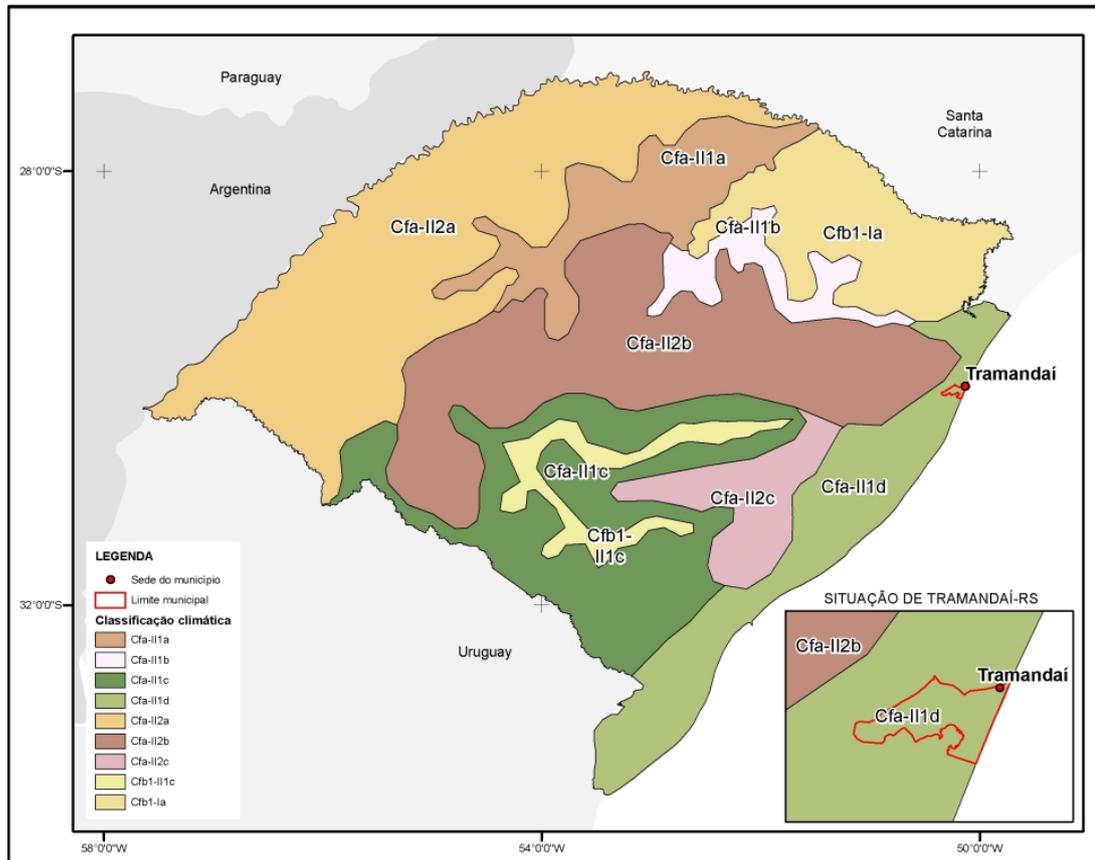


Figura 02 – Classificação climática do RS e a situação de Tramandaí. Fonte: Adaptado de Moreno (1960).

Hasenack (1989) ao realizar considerações sobre o clima da região de Tramandaí utilizou os dados de Machado (1950) para determinar essa influência da proximidade com o mar através da comparação entre os dados de temperatura média em janeiro e fevereiro e amplitude térmica nas estações meteorológicas localizadas próximas do paralelo 30°S. Imbé, localizado na longitude 50°07'W e 2 m de altitude apresenta amplitude térmica de 9,4°C enquanto Uruguaiana, localizado na longitude 57°05'W e 69 m de altitude, apresenta amplitude térmica de 12,6°C (tabela 01).

Tabela 01 – Amplitude térmica e Temperatura média nas estações ao longo do paralelo 30°S.

Estação Meteorológica	Latitude	Longitude	Altitude	AT (°C)	Temp. Média (°C)	
					JAN	FEV
Imbé	29°58'S	50°07'W	2m	9,4	24,4	24,8
Osório	29°55'S	50°19'W	38m	9,0	24,9	25,0
Porto Alegre	30°02'S	51°13'W	10m	10,8	24,6	24,4
Santa Cruz do Sul	29°43'S	52°26'W	56m	11,0	25,1	24,8
Santa Maria	29°41'S	53°49'W	138m	10,7	24,8	24,2
São Gabriel	30°20'S	54°19'W	124m	11,5	24,6	24,1
Uruguiana	29°45'S	57°05'W	69m	12,6	26,6	25,3

Fonte: Hasenack (1989) *apud*. Machado (1950).

Os contrastes de temperatura entre essas correntes e entre o Oceano Atlântico Sul e o continente favorecem a formação de ciclones extratropicais (CE) devido ao fluxo de calor sensível, essa região é denominada Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM), conforme a figura 03.

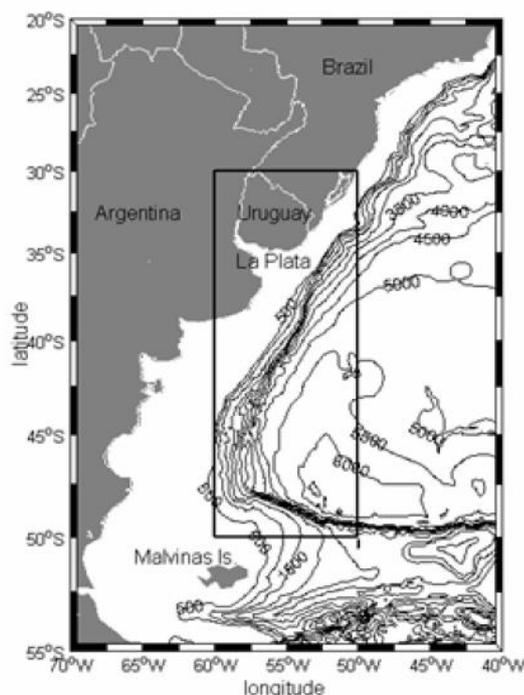


Figura 03 – ZCBM. Fonte: GOAL/PROANTAR, 2005.

Além das massas de água e correntes marinhas que influenciam o clima na zona costeira do RS, as massas de ar atuantes no estado são: massa de ar

equatorial continental (Ec) sendo formada através de um braço dos alísios sobre a planície amazônica, massa de ar tropical continental (Tc) formada sobre a região central da América do Sul, massa de ar tropical atlântica (Ta) formada através das altas pressões subtropicais sobre o oceano atlântico sul, massa de ar polar atlântica (Pa) formada sobre o atlântico na altura centro-sul da Patagônia (figura 04). A tabela 02, abaixo, mostra a relação entre o tipo de massa de ar atuante e a condição de tempo provocada.

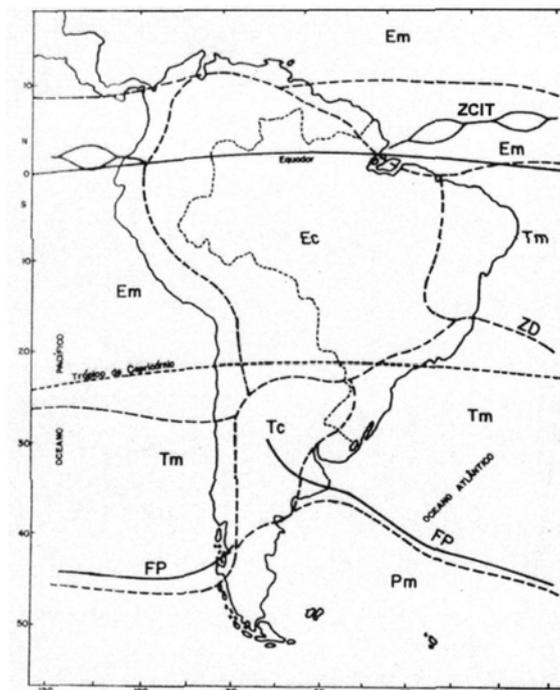


Figura 04 – Massas de ar atuantes na América do Sul. Fonte: adaptado de Tubelis e Nascimento (1980).

Tabela 02 – Condições de tempo provocadas por invasão de massas de ar.

Massa de ar	Condição de Equilíbrio	Gêneros de Nuvens	Caráter da Chuva	Condição do Vento	Visibilidade Horizontal
fria	instável	Cu, Cb	aguaceiro	turbulento com rajadas	boa
quente	estável	St, Sc	contínua	constante	má

Fonte: Varejão, 2001.

Segundo Aquino (2006) a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma faixa de nebulosidade quase permanente localizada sobre o sul da Amazônia

ao Atlântico Central, numa orientação NW para SE que durante o verão pode permanecer durante vários dias causando tempo instável (figura 05).



Figura 05 – ZCAS (Carta Sinótica). Fonte: CPTEC.

Schmitz (2007) ao analisar a precipitação de neve no Brasil Meridional elaborou uma descrição do ciclo habitual de estados do tempo no Brasil Meridional:

- (1) Domínio da mT: tempo estável; temperaturas amenas no inverno e elevadas no verão; ventos de quadrante leste;
- (2) Prenúncio da invasão polar: aquecimento pré-frontal; ar cT do Chaco; ventos de quadrante norte à noroeste; elevadas temperaturas; no inverno com a ausência da cT, o aquecimento é menos acentuado; nuvens do tipo *Cirrus* que precedem a invasão mP;
- (3) Avanço da FP: queda de pressão; aumento da nebulosidade; ventos ainda de norte, porém inicia o giro para o quadrante sul; nuvens do tipo cumuliformes gerando precipitação, controlada pelo gradiente térmico e barométrico entre o ar mT e mP;
- (4) Após FP: domínio da mP; estabilidade retorna com pouca nebulosidade; quedas acentuadas na temperatura devido ao ar polar; formação de geada; desloca-se até o trópico de Capricórnio (23°27'S) gerando precipitação ao longo da encosta do Planalto Meridional; entra em equilíbrio dinâmico com a Alta Subtropical;

O mesmo autor ainda elaborou uma representação sintética e esquemática do ciclo habitual de estados do tempo no Brasil Meridional. A figura 06 mostra o ciclo habitual do tempo.

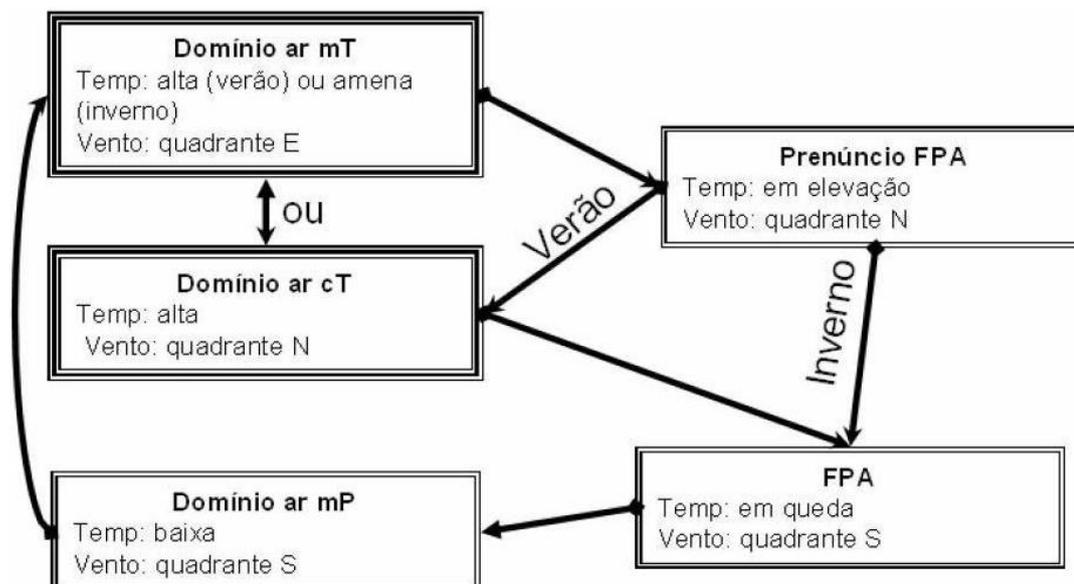
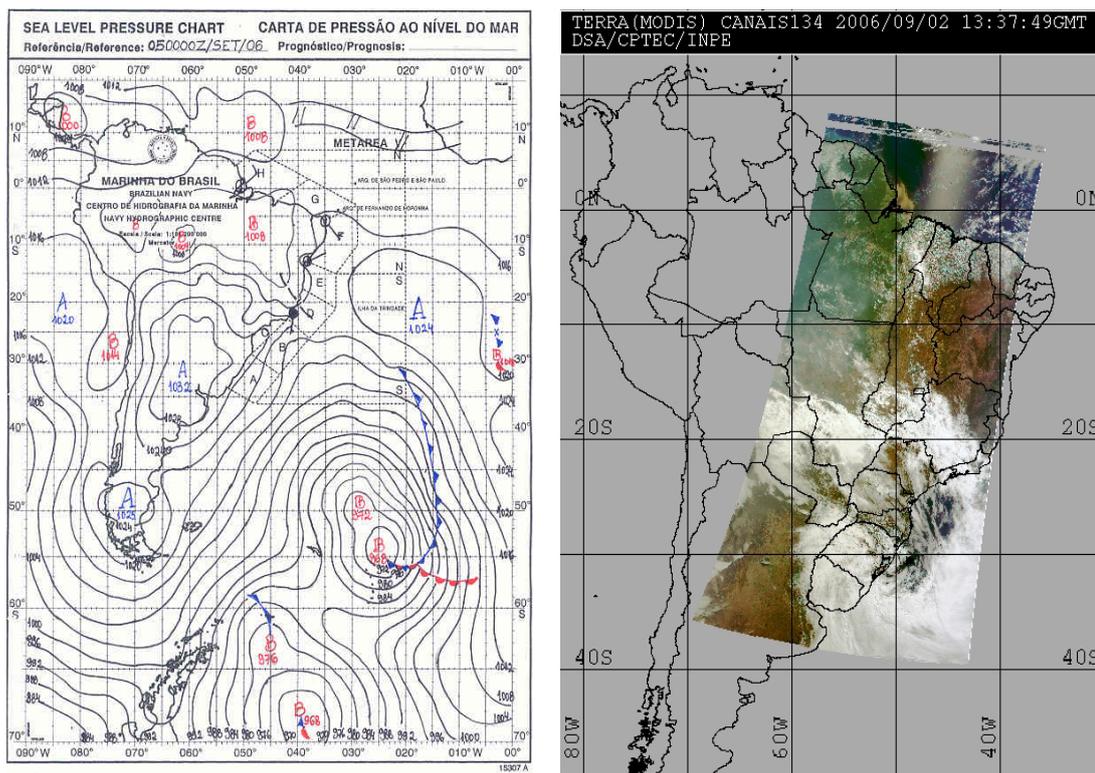


Figura 06 – Ciclo habitual do tempo no Brasil Meridional. Fonte: Schmitz (2007).

Além disso, a atuação dos CE também é vista como um dos grandes influenciadores da sucessão habitual dos estados do tempo no presente estado, uma vez que, no inverno, o RS recebe, em média, um sistema por semana, proporcionando a entrada de massas de ar frias.

2.2 Ciclones extratropicais

Segundo Varejão (2001) centros de baixa pressão, ciclones ou centros ciclônicos são reconhecidos como uma área da superfície da terra onde a pressão encontrada é mais baixa do que em áreas próximas. Em uma carta isobárica, eles são reconhecidos através de isóbaras fechadas e com pressões menores que nas isóbaras vizinhas, cartografados com a letra "B" (figura 07a e b).



a Figura 07 – CE, (a) Carta de pressão NMM mostrando um CE à SE do RS em 05/09/2006; (b) Imagem TERRA(MODIS) evidenciando pela nebulosidade associada a evolução/formação de um CE sobre o RS em 02/09/2006. Fonte: DHN e CPTEC

Segundo Aquino (2006) os CE são centros de baixa pressão atmosférica que podem chegar a três mil quilômetros de diâmetro. Os ventos convergem para o centro, criando uma célula de convergência em superfície e outra de divergência em altitude associado a uma Corrente de Jato além do movimento ascendente do ar. Não são formados necessariamente sobre os oceanos como nos Ciclones Tropicais embora a sua passagem sobre o oceano faça com que esse ganhe maior tempo de vida. A figura 07b mostra a fase de formação de um CE sobre o RS.

Os CE são formados a partir de um encontro entre massas de ar com características diferentes. Esse encontro geralmente é proporcionado em regiões subtropicais que sofrem a influência das massas de origem subpolar e tropical, a primeira tende a ir para regiões tropicais e a segunda para regiões polares. Essas massas de diferentes densidades ao se encontrarem formam uma onda e, com passar do tempo torna-se cada vez mais nítida, caracterizada pela presença da crista e do cavado. Essa onda possui circulação horária no hemisfério sul (HS) e caracteriza a formação do núcleo ciclônico à superfície, formando um centro de

baixa pressão migratório. A figura 08 mostra uma vista em planta e em perfil um CE com a frente quente e a fria atuando, (Varejão,2001).

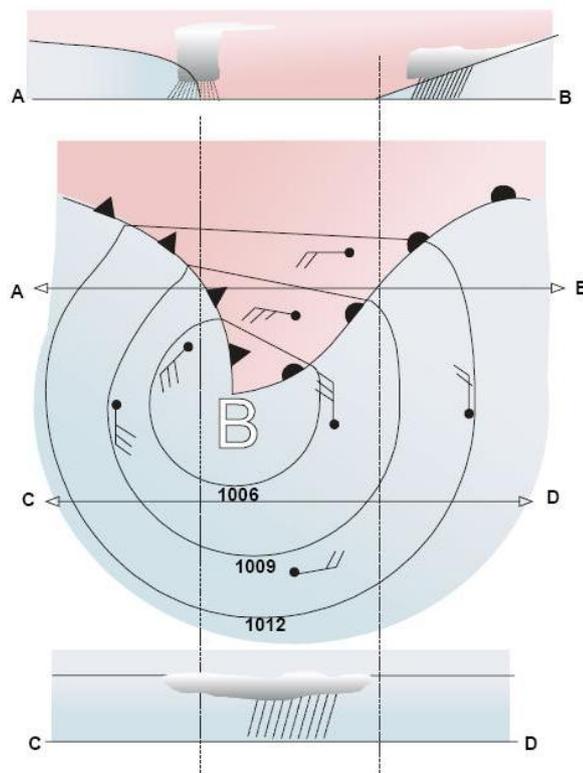


Figura 08 – Esquema geral de um CE.
Fonte: Varejão, 2001.

Gan (1992) ao estudar a Ciclogênese e os CE sobre a América do Sul, constatou que os principais mecanismos de formação dos CE estão intimamente ligados com o efeito de sotavento causado pela Cordilheira dos Andes para os eventos de verão e com a instabilidade baroclínica para os eventos de inverno.

Segundo Aquino (2006) após a passagem desses sistemas, dois casos determinam o estado de tempo característico dessa área em função das massas de ar trazidas por eles:

- aqueles que trazem na retaguarda ar seco e frio vindo do Oceano Pacífico Sul, após atravessar a Cordilheira dos Andes;
- os que trazem ar da região antártica, mais precisamente do Norte do Mar de Weddell, com quedas mais amenas da temperatura, mas com alta umidade provocando neve em alguns locais da região sul do Brasil.

Segundo Varejão (2001) os CE possuem quatro estágios característicos que podem ser facilmente identificados em imagens de satélite com boa resolução sobre os oceanos, já em continente essa identificação fica prejudicada devido à orografia e à falta de umidade. Esses estágios podem ser assim enumerados e observados na figura 09:

- Onda: as nuvens formam um conglomerado único, de forma arredondada (estágios 1,2 e 3);
- Oclusão: o sistema nebuloso assume o aspecto de uma vírgula invertida (estágio 4);
- Maturação: maior intensidade do centro de baixa pressão (estágio 5);
- Dissipação: progressivo desaparecimento da nebulosidade (estágios 6,7 e 8);

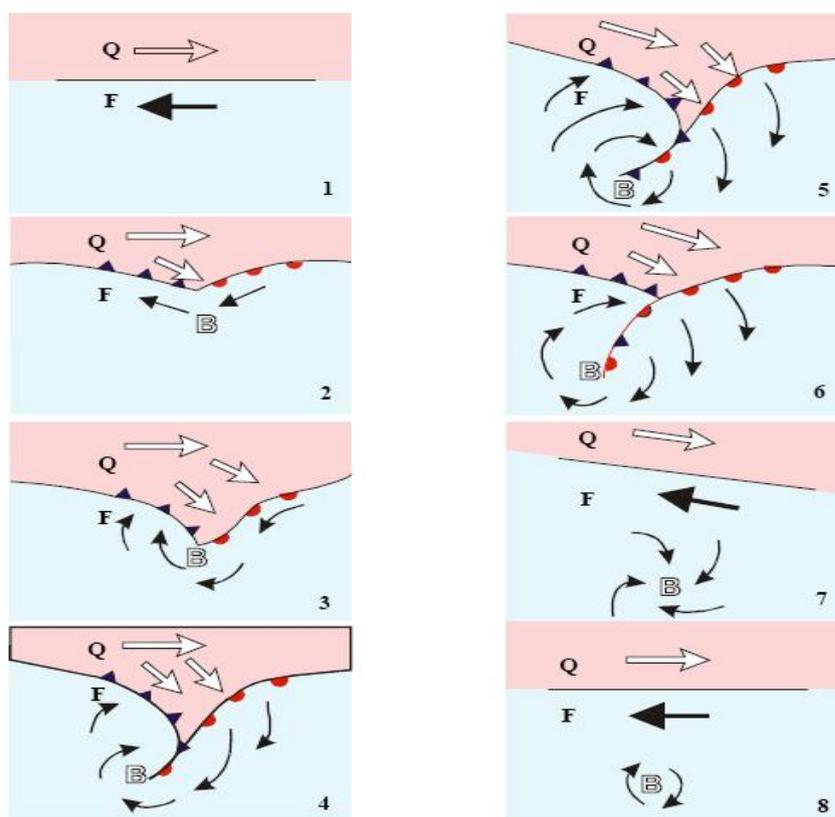


Figura 09 – Estágios de evolução de um CE (identificado pela letra B): a) Onda: nuvens formam um conglomerado único (estágios 1,2 e 3), b) Oclusão: nebulosidade em formato de vírgula invertida (estágio 4), c) Maturação: maior intensidade do centro de baixa (estágio 5), d) Dissipação: desaparecimento da nebulosidade (estágios 6,7 e 8). Fonte: Varejão (2001).

Segundo Gan (1992) existem duas regiões preferenciais de ciclogênese na América do Sul: uma sobre o Uruguai e outra no Golfo de São Matias na Argentina. A estação do ano com maior frequência é o inverno, além de uma maior frequência nos anos de El Niño. Jones e Simmonds (1993) ao elaborar uma climatologia de CE para o HS encontraram duas regiões preferenciais de ciclogênese: uma sobre o Chaco e outra próxima a longitude 40°W. Tozzi (2001) mapeou as tempestades do Atlântico Sul através da análise de cartas sinóticas da Marinha do Brasil desde 1989 a 1999 chegando a um máximo de CE em 40°S e 42°W, a figura 10 mostra a ocorrência dos CE elaborada por Tozzi (2001).

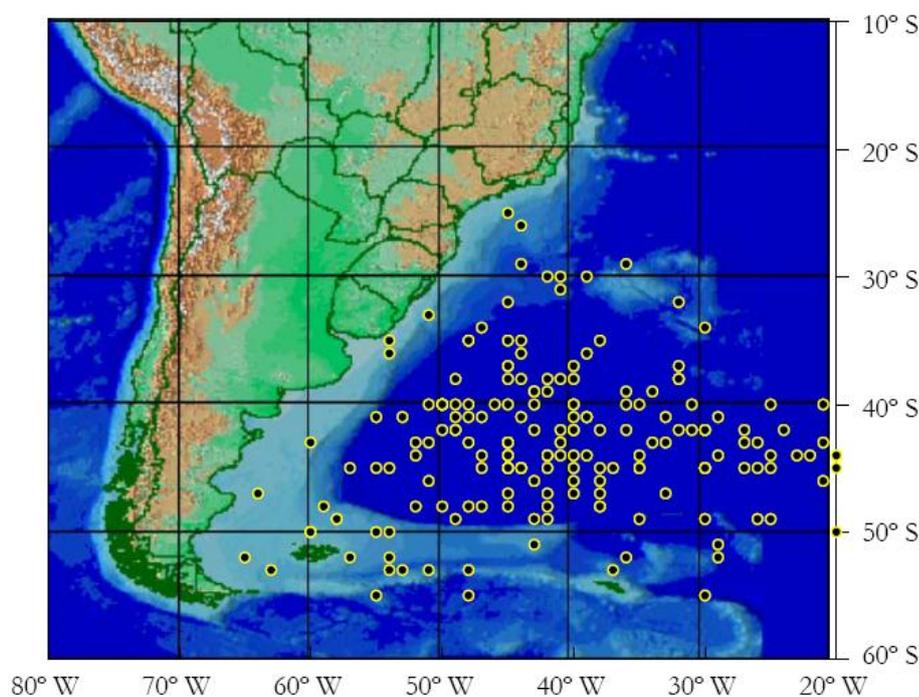


Figura 10 – Localização dos centros dos CE no Atlântico Sul entre 1989 e 1999. Fonte: Tozzi (2001).

2.3 Efeitos sobre o Oceano

Esses CE com suas células de convergência produzem ventos em superfície proporcionais aos gradientes barométricos. Esses ao entrarem em contato com o oceano produzem ondas capilares que ganham altura com a manutenção desse

sistema, e de acordo com a velocidade, duração e área atingida pelo vento tornam as ondas cada vez maiores (figura 11). A área atingida pelo vento é conhecida como pista de ventos ou *fetch*.

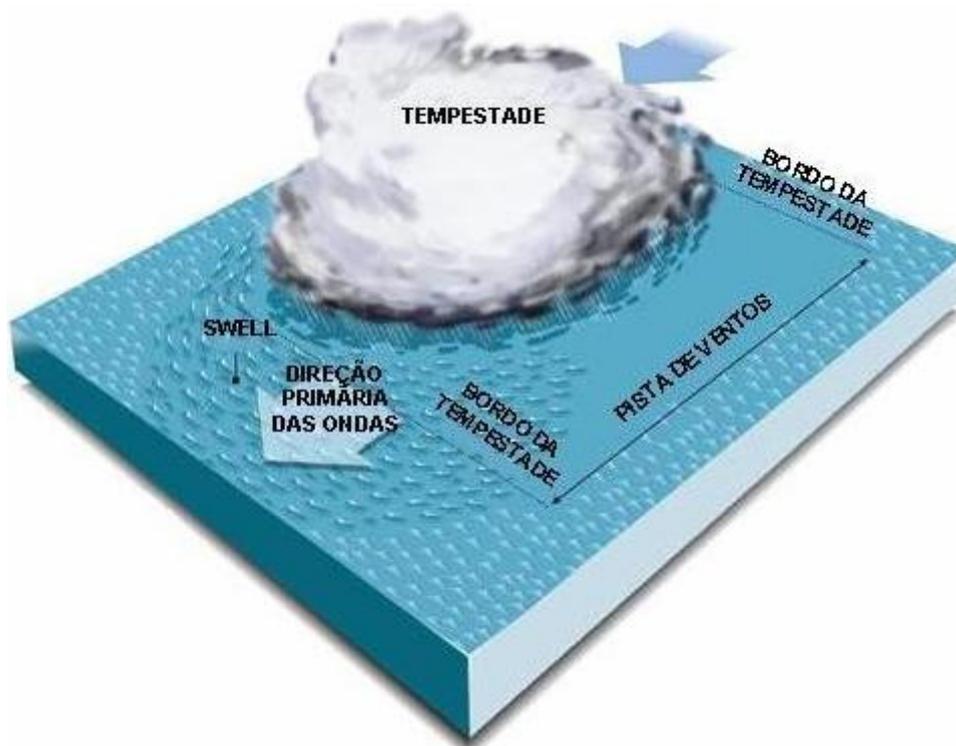


Figura 11 – Formação de ondas. Fonte: UCSD.

De acordo com o Sistema de Previsão de Ondas (SPO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, as ondas são distintas de acordo com a sua origem e localização: as vagas ou *windsea*, sendo as ondas em tempestades com grande agitação marítima e os marulhos ou *swell* que são as ondas no qual avançam para locais sem vento, com cristas arredondadas e a distância entre elas é maior. A altura das ondas está de acordo com a velocidade e o tempo de duração do vento e do tamanho da pista. A figura 12 mostra o comportamento da altura das ondas de acordo com a velocidade do vento.

A figura 13 mostra o gráfico com a altura das ondas em função do tempo para um vento de 15 m/s. Ao tempo de 30 horas o aumento na altura é quase nulo, pois o oceano atingiu o estágio totalmente desenvolvido.



Figura 12 – Altura das ondas (m) x velocidade do Vento (m/s). Fonte: Innocentini; Arantes (2006).

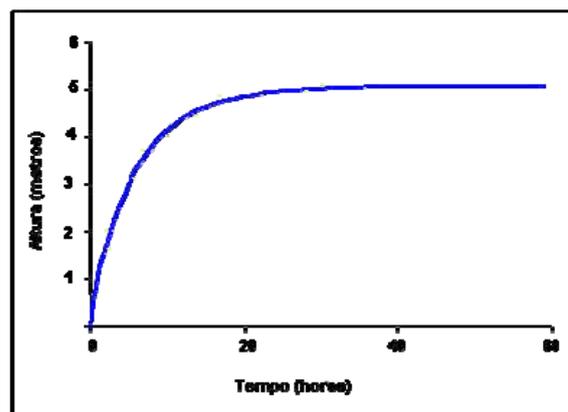


Figura 13 – Altura das ondas (m) x tempo de duração do vento (horas). Fonte: SPO/UFRJ.

A figura 14 mostra ainda a relação entre a altura das ondas e o tamanho da pista gerada pelos ventos.

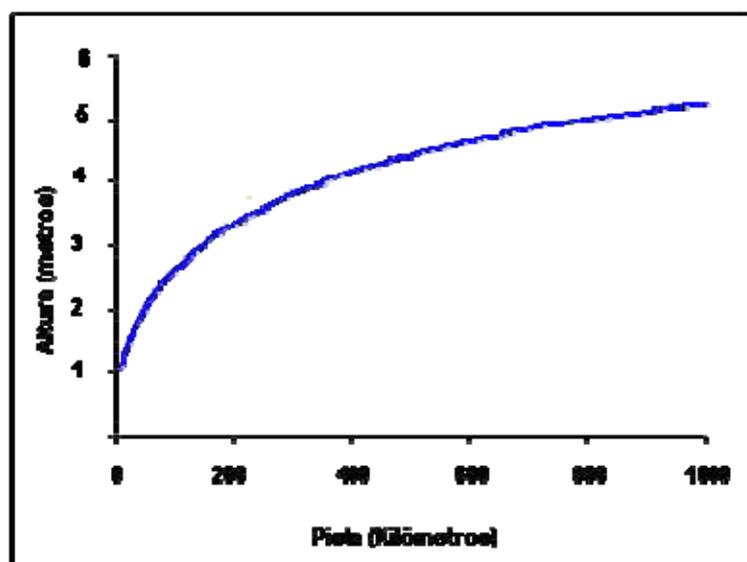


Figura 14 – Altura das ondas (m) x Pista (km). Fonte: SPO/UFRJ.

Bretshneider (1973) elaborou um diagrama que relaciona a altura das ondas e períodos (tempo entre a passagem entre uma onda e outra) em função da velocidade do vento e pista (figura 15). Para exemplificar, partindo de uma pista com 600 km, vento de 16 m/s após atingir o estágio totalmente desenvolvido a altura da onda e o período seriam 15 m e 10 s, respectivamente.

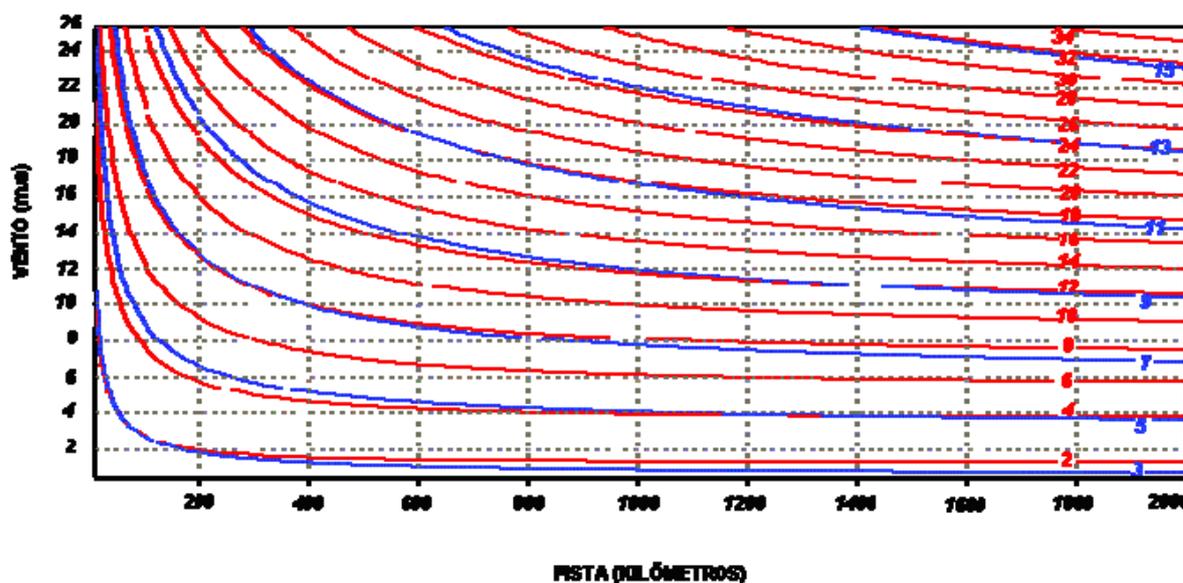


Figura 15 – Diagrama de Bretchneider, 1973. Fonte: SPO/UFRJ.

A pista se intensifica quando um centro de baixa pressão está agindo em conjunto com um centro de alta pressão, devido ao padrão dos ventos que ao divergirem do anticiclone se alinham com os ventos que estão convergindo para o ciclone (figura 16).

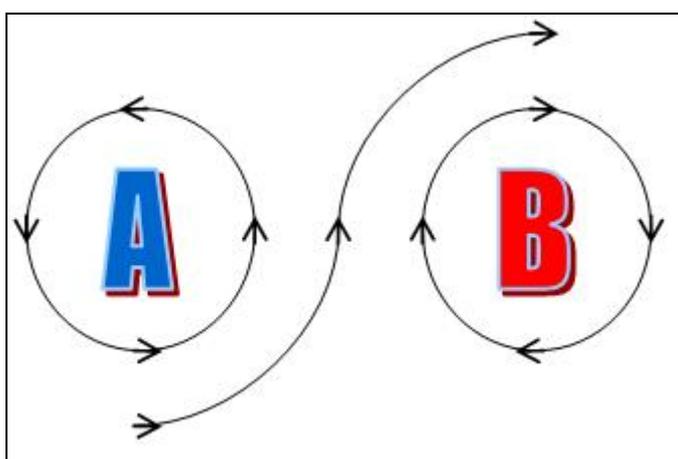


Figura 16 – Atuação em conjunto de um Anticiclone (A) e de um Ciclone (B) no HS.

De acordo com Patchineelam (2004), os ventos produzidos pelos ciclones e anticiclones também geram as correntes oceânicas superficiais. Devido à força de Coriolis, a direção da corrente se move à 45° para a esquerda no HS em relação à

direção do vento. As camadas superficiais ao receberem a energia dos ventos a transferem através da coluna d'água, defletindo cada vez mais e diminuindo sua energia, até a profundidade aproximada de 100 m, limite da influência dos ventos sobre os oceanos. O movimento resultante será sempre à 90° à esquerda da direção do vento, para o HS e é denominado de transporte de Ekman (figura 17).

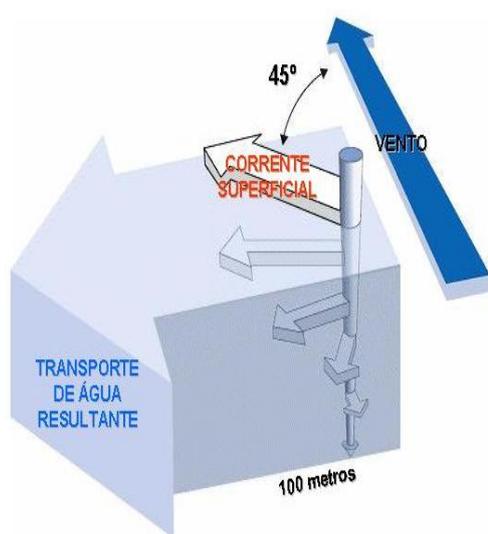


Figura 17 – Transporte de Ekman para o HS. Fonte: adaptado de NOAA/OSE.

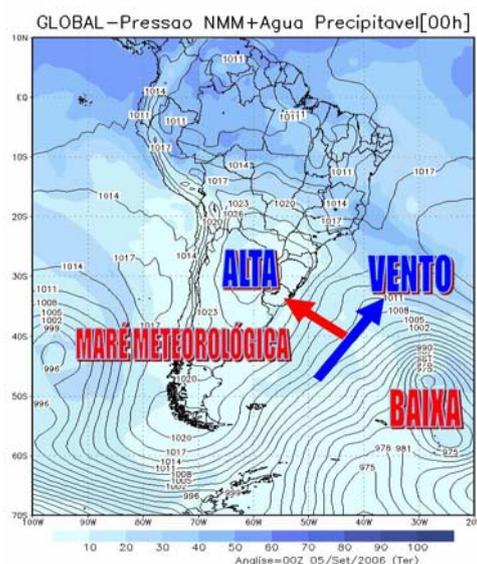


Figura 18 – Formação de um evento de Maré Meteorológica na costa do RS. Fonte: adaptado de CPTEC.

Para Patchineelam (2004), o movimento horizontal em centros de baixa ou alta pressão com sistemas convergentes ou divergentes, respectivamente, nos padrões dos ventos em superfície, ocasiona uma segunda mobilidade das águas: a vertical. Em um ciclone o atrito do vento com o mar gera um movimento divergente das águas superficiais, forçando as águas profundas a ressurgirem no centro da baixa pressão. Essa divergência da massa de água superficial para a área mais afastada do centro de baixa ocasiona o fenômeno conhecido como Maré Meteorológica (figura 18).

2.4 Maré meteorológica

De acordo com Miguens (1993, p. 227):

Maré é a oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa d'água sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e, em menor extensão, do Sol sobre os diversos pontos da Terra. A oscilação da maré é consequência, basicamente, da Lei da Gravitação Universal de Newton, segundo a qual as matérias se atraem na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que as separa. A Lua, devido à sua proximidade, é o corpo celeste que mais influencia a maré, seguindo-se o Sol, por força de sua enorme massa. A influência dos demais planetas e estrelas é bem menos significativa.

Segundo Almeida *et al.* (1997), a maré na barra do rio Tramandaí é classificada como mista semi-diurna com amplitude média da maré astronômica de 30 cm. Essa classificação foi possível através da análise feita com os dados oriundos da estação hidrometeorológica de Imbé, também utilizada nesse trabalho, onde cinco seqüências de dados foram analisadas perfazendo um intervalo total de 6 meses. De acordo com esse estudo, essa pequena variação na amplitude da maré astronômica é completamente sobreposta por marés meteorológicas.

Segundo Pugh (1987), o conceito de maré meteorológica é reservado ao excesso no nível do mar gerado por um evento de tempestade severa ou ainda, simplesmente a diferença entre a maré observada e a prevista. Assim, um acréscimo na pressão atmosférica de 1 hPa ocasionará um decréscimo de 1 cm no nível do mar e assim sucessivamente. Essa resposta do nível do mar a mudança na pressão atmosférica é chamada de “efeito barométrico invertido”.

Conforme o programa de preparação para furacões (*Hurricane preparedness*) do Centro Nacional de Furacões (*National Hurricane Center-NHC*), a maré de tempestade (*storm tide*) é a resultante entre a sobreposição da maré meteorológica (*storm surge*) com a maré astronômica de preamar (*high tide*), figura 19.

De acordo com Harris (1963), existem cinco processos envolvidos na mudança do nível do mar durante a passagem de um evento de tempestade severa:

o efeito da pressão, o efeito direto do vento, de rotação da terra, das ondas e o das chuvas torrenciais.

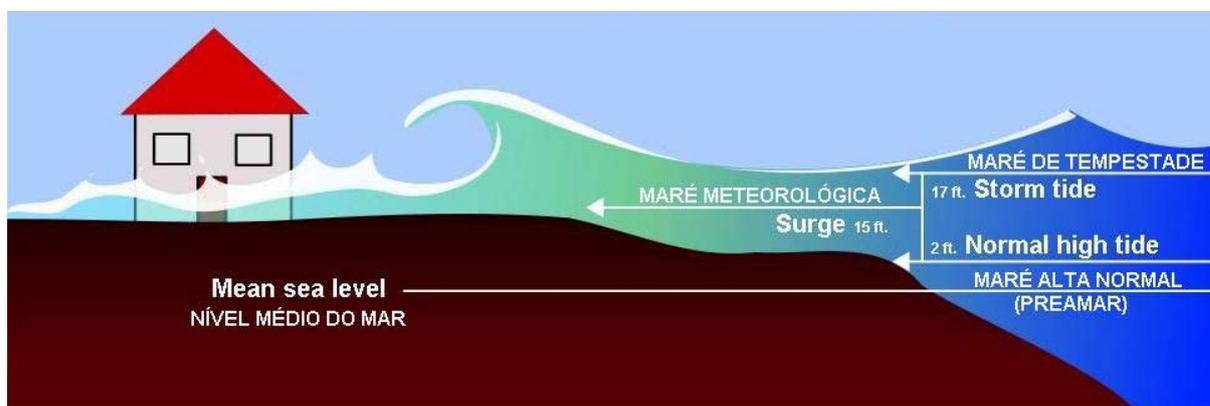


Figura 19 – Maré normal, de tempestade e meteorológica. Fonte: adaptado de NOAA/NHC.

Segundo Marone; Camargo (1994), duas causas provocam as marés meteorológicas: as mudanças da pressão atmosférica e a troca de *momentum* entre a atmosfera e o mar. Para eles, os efeitos devidos unicamente à ação da pressão são da ordem de 10% do efeito total observado e o restante devido à tensão de cisalhamento do vento na superfície do mar. Definem como o fator mais importante para a geração da maré meteorológica a pista de ventos, sendo a área oceânica onde efetivamente ocorre a troca de *momentum* entre a atmosfera e o oceano.

Os ventos gerados pelos ciclones resultam em um sistema de correntes superficiais no oceano. Devido ao transporte de Ekman são defletidas à esquerda no HS. Quando um CE está posicionado sobre o Oceano Atlântico Sul em conjunto com um anticiclone sobre o continente sul-americano, forma-se uma pista de ventos de direção Sudoeste propícia à formação, manutenção e elevação de ondas devido ao alinhamento da costa do RS ser de Sudoeste para Nordeste. Além das ondas essa pista produz o empilhamento de água na costa riograndense através do Transporte de Ekman e a conseqüente elevação no nível do mar acima do previsto pelas marés astronômicas: as marés meteorológicas, objeto do presente estudo.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização do estado meteorológico e oceanográfico

Ribeiro (2003) ao analisar as condições meteorológicas que propiciam as marés meteorológicas utilizou-se das imagens *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), das Cartas Sinóticas e dos Avisos de Mau Tempo produzidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha Brasileira (DHN) para propor a definição do evento de maré meteorológica ocorrido em 03/05/2001. Tozzi (1999) utilizou-se também das Cartas Sinóticas (DHN), das Imagens GOES e do *Meteorological Satellite* (METEOSAT) para determinar a influência das tempestades extratropicais sob o estoque subaéreo das praias entre os municípios de Rio Grande e Chuí. Barletta; Calliari (2001, 2002, 2003) ao determinarem a intensidade das tempestades que atuam no litoral do RS utilizaram as Cartas Sinóticas da DHN, modelos atmosféricos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), Imagens GOES além do boletim Climanálise (CPTEC/INPE). Bitencourt; Quadro; Calbete (2002) analisaram dois casos de “ressaca” no litoral da Região Sul no verão de 2002 através das imagens GOES-8, no canal infravermelho, e dos campos de Altura Geopotencial em 500 hPa, obtidos das Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Marone; Camargo (1994) em um estudo de caso semelhante a esse, analisaram as marés meteorológicas no litoral do Paraná através das Cartas Sinóticas da DHN e imagens METEOSAT-4 obtidas no Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. Além disso, utilizaram como complemento dados meteorológicos de pressão atmosférica e ventos amostrados a cada 30 min. pela estação meteorológica automática em Pontal do Sul, PR.

Outros autores também caracterizaram seus eventos meteorológicos através de algumas das metodologias citadas anteriormente: Allan; Komar (2003); Fucella; Dolan (2003); Tabajara (2003 e 2004); Melo (2006). Portanto, a metodologia

utilizada para caracterizar o estado meteorológico foi pela análise das previsões meteorológicas emitidas pelo CPTEC através das Cartas Sinóticas, Imagens GOES-12. Os ventos em superfície foram analisados através das reanálises do NCEP. Os dados das estações meteorológicas de Tramandaí, mantida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (EPAGRI), figura 20a, e Imbé pertencente à Secretaria de Portos e Hidrovias (SPH), figura 20b, foram tabulados e apresentados em formato de gráfico com o aplicativo Microsoft Excel para análise em conjunto com as previsões feitas.



Figura 20 – (a) Estação Meteorológica de Tramandaí; (b) Localização da Estação Meteorológica de Imbé, vista da Barra de Tramandaí. Fonte: (a) EPAGRI e (b) adaptado de Sonia Brusius, Prefeitura Municipal de Tramandaí,RS.

As cartas sinóticas e os Avisos de Mau Tempo produzidos pela DHN também foram utilizadas para fins de comparação e melhor compreensão do fenômeno em estudo.

Além disso, para caracterizar o estado oceanográfico foram utilizadas as previsões de estado do mar (altura e direção das ondas) elaboradas pelo Surfuru. De acordo com o Surfuru, que utiliza como previsão o modelo *WaveWatch* de terceira geração do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) gerado a partir de dados do modelo atmosférico *Global Forecasting System* (GFS) do NOAA. Essas previsões de ondas são elaboradas para grandes profundidades (alto-mar), pois se alteram quando alcançam zonas mais rasas, modificando suas propriedades físicas como altura e período. Segundo o CPTEC, seus modelos

oceânicos são apropriados para águas com profundidade superior a 40 m. Entretanto, nesse trabalho foram utilizados esses modelos a fim de caracterizar o estado, oceanográfico, do mar, possibilitando sua comparação com a observação visual e também com o sistema meteorológico gerador. Esses dados foram tabulados com o auxílio do aplicativo Microsoft Excel e apresentados em formato de gráfico. Innocentini (2003) utilizou o Sistema de Previsão de Ondas do CPTEC para o evento ocorrido entre 5 e 8 de maio de 2001, através da análise da pressão ao nível médio dos mares (PNM), dos ventos em superfície e das ondas simuladas pelo modelo WWATCH. Esta metodologia serviu como base para os experimentos realizados no presente estudo de caso. Melo (2006) também utilizou do mesmo modelo de previsão de ondas, porém usou dados de campo (vento) para ajustá-lo e compará-lo com as informações coletadas pelo ondógrafo. Entretanto, no presente estudo de caso não foi possível o cruzamento com dados coletados por ondógrafo devido a sua inexistência na data do evento em análise. Assim sendo, a observação visual foi utilizada para realizar esse cruzamento de dados simulados e observados.

3.2 Medição da maré meteorológica

Para determinar a maré meteorológica ocorrida no dia 04/09/2006 em Tramandaí foram necessários dados referentes ao nível previsto do mar e o nível do mar observado. Nesse município não existem réguas instaladas para medição do NMM, porém na cidade vizinha de Imbé existe uma Estação Hidrometeorológica instalada às margens do Rio Tramandaí, divisa entre esses municípios, próxima a sua foz, no Oceano Atlântico Sul (figura 20b). Essa estação possui uma régua linimétrica instalada para medição do nível do rio possibilitando a utilização desses dados nesta análise. Esses dados também foram tabulados com auxílio do aplicativo Microsoft Excel e apresentados em formato de gráfico.

Nicolodi *et. al.* (2001) analisou a frequência e sazonalidade das marés meteorológicas no litoral do RS através da utilização dos dados da estação de Imbé. Os autores utilizaram uma série de 40 anos (1944 a 1984), filtrando os valores acima de 70 cm a fim de remover as marés astronômicas. Obtiveram resultados positivos

comparando os 164 dias de potencial “ressaca” com o evento meteorológico associado. Tabajara (2003) ao estudar as interações onda/praias/duna e manejo das dunas das praias de Atlântida Sul e Mariápolis, também utilizou dos dados hidrostáticos (nível da água do mar) dessa estação para descrever os eventos oceanográficos que conduzem à erosão nessas praias. Através do cálculo da diferença entre a maré prevista e observada, o autor pode obter a maré meteorológica, o que não foi realizado pelos autores do estudo anterior. Marone; Camargo (1994) ao analisarem as marés meteorológicas no Paraná utilizaram dados das alturas horárias do nível do mar obtidos no Porto de Paranaguá além das marés previstas para esse porto a fim de obter a maré meteorológica resultante.

Diversos outros autores realizaram esse experimento para determinar a maré meteorológica em outros locais da costa brasileira e estrangeira: Fucella; Dolan (1996); Calliari *et. al.* (1998); Tozzi (1999); Serau (1999); Allan; Komar (2002); Ribeiro (2003); Saraiva *et.al.* (2003); Tabajara *et.al.* (2004); Campos; Camargo (2006); De Oliveira *et. al.* (2007). Enfim, para determinar a maré meteorológica do evento em estudo, foi utilizado o cálculo da diferença entre a maré prevista pela DHN para o Porto de Rio Grande devido à inexistência de previsões feitas para Imbé ou Tramandaí e a maré registrada pela estação de Imbé. A previsão de maré feita pela DHN para Rio Grande foi tabulada e apresentada em formato de gráfico com o auxílio do aplicativo Microsoft Excel além da inserção de uma linha de tendência para estimar os valores para os mesmos horários dos registros da maré. Foram comparadas fotografias da maré ocorrida em Tramandaí próximo à Plataforma de Pesca no dia 04/09/2006 (data de estudo) e 31/03/2007 (data qualquer). Além disso, foram analisadas fotografias da maré meteorológica em diversos locais de Tramandaí.

3.3 Intensidade da tempestade

Dolan; Davis (1992) elaboraram uma classificação de tempestades extratropicais do Atlântico Norte medindo o posicionamento das tempestades, suas

trajetórias, pista de vento, duração e altura das ondas. Desta forma cinco classes de uso prático foram definidas.

Tabela 03 – Características das 5 classes de tempestade.

Classes de Tempestade	Erosão praial	Frequência		Altura significativa das ondas (m)	Duração média (h)	Potência (m ² hr)
		n.º	%			
I fraca	menor	670	50	2	8	Potência < 71,63
II moderada	modesta	340	25	2,5	18	71,63 < Potência < 163,51
III significativa	extensiva	298	22	3,3	34	163,51 < Potência < 929,03
IV severa	severa	32	2,4	5	63	929,03 < Potência < 2.322,58
V extrema	extrema	7	0,1	7	96	Potência > 2.322,58

Fonte: Adaptado de Dolan; Davis (1992).

A classificação proposta por Dolan; Davis (1992) foi elaborada para uma área com características específicas. Para dar aplicabilidade a essa classificação a outras regiões, os autores relacionaram as classes de tempestade com os impactos gerados na costa. A tabela 04 mostra esta relação.

Tabela 04 – Classes de tempestade e impactos.

Classes de Tempestade	Erosão praial	Erosão das dunas	Danos por OVERWASH	Danos em propriedades
I fraca	menor	nenhuma	nenhum	nenhum
II moderada	modesta	menor	nenhum	menor, local
III significativa	extensiva	pode ser significativa	perfil estreito	estruturais: escala local
IV severa	severa	severa erosão das dunas ou destruição	perfil estreito	estruturais: escala comunidade
V extrema	extrema	dunas destruídas em extensivas áreas	massivo	escala regional extensiva: milhões de dólares

Fonte: adaptada de Dolan; Davis (1992).

Baseado na classificação acima, Tozzi (1999) elaborou uma classificação das tempestades extratropicais que atuam no RS. A tabela abaixo mostra o resultado desse trabalho.

Tabela 05 – Classificação das tempestades do Atlântico Sul.

Principais características	Tempestades Leste/sudeste	Tempestades Sul/Sudeste	Meio do Atlântico	CE
Ondas (Hb / Tp)	0,5 - 1,0 m / 11 s	1,0 - 1,5 m / 12 s	≥ 1,5 m / 14 s	≥ 2 m / 12 s
Direção	Leste/Sudeste	Sul/Sudeste	Sul e Sudeste	Sudeste/Sul
Corrente litorânea	p/ SW	p/ NE	p/ NE	p/ NE
Sobrelevação (m)	< 0,5 m	≈ 1,0 m	> 1,0 m	> 1,0 m
Localização	Afastada	Próxima	Ao longo/afastada	Próxima/ao longo
Volume subaéreo	< 10 m ³ /m	5 à 20 m ³ /m	> 20 m ³ /m	> 20 m ³ /m
Impacto	Baixo	Moderado	Significativo	Severo
Classe (Dolan; Davis)	I	I - II	II-III	III-IV

Fonte: adaptado de Tozzi (1999).

Essa classificação foi utilizada por diversos autores para caracterizar as tempestades que atuam em distintas zonas costeiras. Fucella; Dolan (1996) utilizaram essa classificação para determinar a magnitude da variação do estoque subaéreo das praias da Carolina do Norte, nos Estados Unidos da América. Tozzi; Calliari (1997) em um trabalho semelhante determinaram a influência das tempestades extratropicais sobre o estoque de sedimentos das praias entre os municípios de Rio Grande e Chuí no RS. Tozzi (1999), dando continuidade aos estudos realizados anteriormente com Calliari, em sua dissertação de mestrado, utilizou da classificação proposta por Dolan; Davis (1992) para determinar a influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS na campanha do outono e inverno de 1996. Barletta; Calliari (2002 e 2003) para determinarem a intensidade das tempestades que atuam no litoral do RS se basearam na classificação citada anteriormente para elaborar uma climatologia básica das tempestades atuantes no RS. Ponce (2008) utilizou as classes de Dolan; Davis para caracterizar a vulnerabilidade costeira da Catalunha.

Enfim, para determinar a intensidade da tempestade que deu origem à maré meteorológica no dia 04/09/2006 em Tramandaí foram utilizadas as classificações propostas por Dolan; Davis e a classificação adaptada por Tozzi (1999).

3.4 Danos causados e tipos de ocupação

Nicolodi (2000) analisou o tipo de ocupação da orla marítima do município de Cidreira - RS e sua relação com as ressacas e suas conseqüências. Para ele:

As áreas com os cordões de dunas preservados estão naturalmente mais protegidos do que as áreas onde a ocupação humana encontra-se nos pós-praia. É perfeitamente perceptível o avanço da linha de praia e o recuo das dunas frontais em áreas onde existe uma intercalação de casas e dunas à beira mar.

Farion (2005) classificou o município de Tramandaí em três zonas de acordo com o tipo de ocupação: Zona Norte, Zona Central e Zona Sul através da análise de fotografias aéreas e observação visual no campo:

Na Zona Norte os principais conflitos identificados foram a apropriação das dunas frontais com moradias irregulares, o pisoteio antrópico sobre as dunas formando trilhas de acesso à praia, afetando a vegetação já rarefeita. Na Zona Central foram retiradas as dunas frontais para a construção de passeio público (calçadão) ambientado com restaurantes, bares, bancos de descanso e áreas de lazer ativo. Em direção ao sul, próximo à Plataforma de Pesca, é permitido o estacionamento de automóveis no pós-praia. A Zona Central é a área mais urbanizada da orla, sendo utilizada ao longo de todo o ano. A Zona Sul é a área mais preservada com dunas que chegam a ter 78 metros de largura, com maior incidência de vegetação, menor urbanização, sendo utilizada com maior frequência no veraneio por turistas e excursionistas.

Enfim, com o objetivo de relacionar os danos causados pelo evento em estudo com o tipo de ocupação urbana utilizou-se fotografias do impacto deste evento, bem como o zoneamento proposto por Farion (2005) para a faixa praias de Tramandaí de acordo com o tipo de ocupação e a análise da ocupação da orla feita por Nicolodi (2000).

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização meteorológica e oceanográfica

No dia 30/08/2006 a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) emitiu alerta para as defesas civis dos estados da Região Sul e para os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo conforme texto abaixo:

Chuva forte atingirá os estados da região Sul, MS e SP, alerta Defesa Civil

Brasília - Amanhã e sexta-feira (31/08 e 1º/09), novas áreas de instabilidades provocarão chuvas fortes, acompanhadas de descargas elétricas e rajadas de vento de 50 a 60 quilômetros por hora no RS, em Santa Catarina e no Paraná. Nas regiões oeste e sul de São Paulo e no sul e no centro do Mato Grosso do Sul, a intensidade das rajadas de vento será de 40 a 60 Km/h. Os alertas foram enviados hoje (30/08) pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (Sedec) do Ministério da Integração Nacional.

A Sedec orienta a população para evitar áreas de alagamentos e para o risco de deslizamentos de encostas, morros e barreiras. Alerta-se, também, evitar o tráfego em locais sujeitos a alagamentos e que ofereçam pouca ou nenhuma proteção contra raios e ventos fortes.

Com a divulgação de alertas, a Sedec pretende evitar a perda de vidas, danos ao patrimônio e ao meio ambiente e estimular a população, governos e municípios a adotarem medidas preventivas. Informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) orientaram o envio de alerta aos estados da região Sul, do Mato Grosso do Sul e de São Paulo.

Apenas dois dias após esse alerta a SEDEC emitiu novo alerta específico para os estados da Região Sul:

Defesa Civil alerta para temporais, frio intenso e ventos de até 80 km/h na Região Sul

01/09/2006

Brasília - A Secretaria Nacional de Defesa Civil (Sedec), do Ministério da Integração Nacional, enviou hoje alertas para as defesas civis do RS, de Santa Catarina e do Paraná a fim de prevenir sobre a ocorrência, entre sábado e domingo (02 e 03/09), de chuva forte, raios, ventos, baixa

temperatura e mar agitado. Nesse período, os ventos deverão atingir a velocidade de 80 quilômetros por hora (km/h) no RS e em Santa Catarina, e de até 70 km/h no Paraná.

Neste sábado e domingo (02 e 03/09), a formação de um ciclone extratropical sobre o mar, na altura do litoral do RS, intensifica os ventos sobre os estados gaúcho, catarinense e paranaense. Alerta-se que as rajadas de vento poderão ficar entre 60 e 80 km/h, especialmente nos litorais gaúcho e catarinense e no Planalto Sul de Santa Catarina. No litoral paranaense, os ventos poderão ficar entre 50 e 70 km/h. No sábado (02/09), além do vento forte ainda poderá ocorrer chuvas fortes. Sobre o oceano, as rajadas de vento são mais fortes e poderão atingir os 100 km/h, deixando o mar bastante agitado, com altura das ondas em torno de 4 metros no sábado (02/09) e em torno dos 5 metros no domingo (03/09) nos litorais gaúcho e catarinense. No litoral paranaense, os ventos poderão atingir os 80 km/h, deixando mar bastante agitado com ondas de 3 metros no sábado e de 4 metros no domingo. Há risco inclusive de ressaca nas praias da Região Sul.

A Secretaria Nacional de Defesa Civil recomenda orientar a população para evitar lugares que ofereçam pouca ou nenhuma proteção contra ventos fortes e desaconselha a navegação de pequenas e médias embarcações durante o fim de semana e a segunda-feira (02 a 04/09).

Frio intenso - Com a chegada de uma nova massa de ar polar no sul do País, o frio volta a intensificar neste sábado (02/09), alerta-se para frio intenso, com queda acentuada de temperatura em torno de 15°C, no RS. No domingo (03/09), o frio atingirá Santa Catarina, com temperatura em torno de 15°C, e o Paraná, com temperatura em torno de 12°C. Ressalta-se que a sensação térmica neste final de semana será de temperaturas ainda mais baixas devido aos ventos fortes do quadrante sul.

Nas madrugadas dos dias 04 e 05/09 (segunda e terça-feira) há risco de geada nos três estados da Região Sul. Sendo assim, a Secretaria Nacional de Defesa Civil recomenda orientar os agricultores para que tomem as medidas preventivas necessárias para minimizar os efeitos da geada. Também é importante uma atenção especial aos moradores de rua, durante este final de semana e início da próxima.

A Sedec ressalta mais uma vez que, ciclone extratropical atinge a Região Sul normalmente entre os meses de abril e setembro, e não é semelhante em intensidade ao Furacão Catarina que atingiu SC e RS, no mês de março de 2004.

O objetivo da Sedec com a divulgação de alertas é evitar a perda de vidas, danos ambientais e ao patrimônio e incentivar a adoção de medidas preventivas pela população e pelos governos estaduais e municipais. Informações meteorológicas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) orientaram os avisos da Secretaria Nacional de Defesa Civil sobre a previsão de temporais nos três estados.

Segundo a carta sinótica do CPTEC (figura 21a), notou-se a formação de um centro de baixa pressão no dia 31/08/2006 sobre a Bolívia e o Paraguai com pressão mínima de 1008 hPa. Verificou-se também a atuação de um centro de alta pressão (1029 hPa) posicionado em 35°S e 40°W sobre o Oceano Atlântico Sul

próximo à costa do RS. Em altitude, no nível de 250 hPa, notou-se a presença do Jato Subtropical cruzando os Andes e passando sobre o RS (figura 21b). Na figura 21d nota-se a presença da nebulosidade associada a estes sistemas.

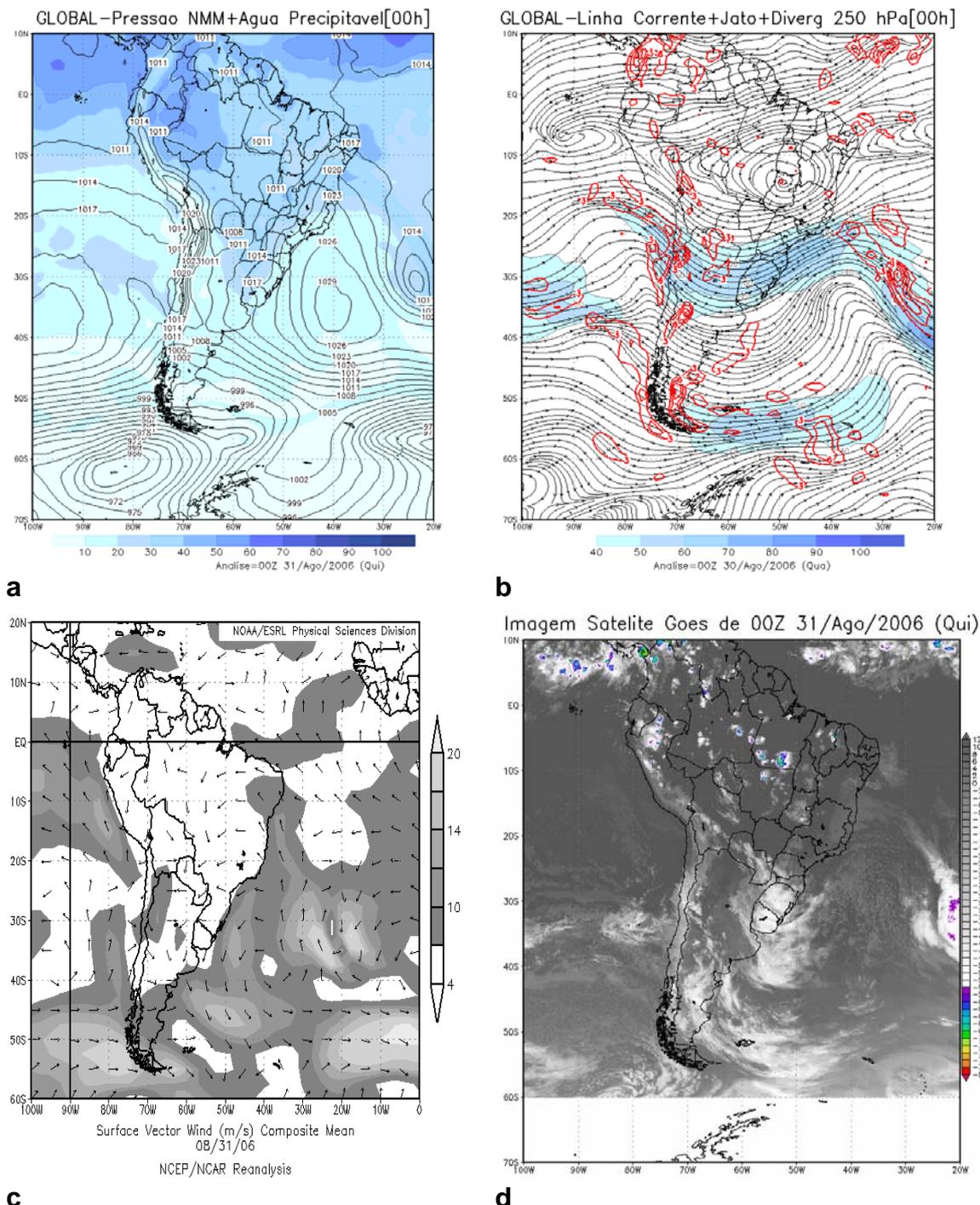


Figura 21 – Dados da previsão meteorológica para 31/08/2006, (a) Pressão NMM, (b) 250 hPa, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES. Fonte: CPTEC e NCEP

De acordo com os dados meteorológicos de Imbé (figura 22), obtidos junto à SPH, a pressão atmosférica registrada foi de 1018.58 hPa e os ventos eram de NE

com velocidade de 18 km/h às 9:00 e às 21:00 a velocidade era 3,6 km/h, direção E, pressão de 1011,92 hPa.

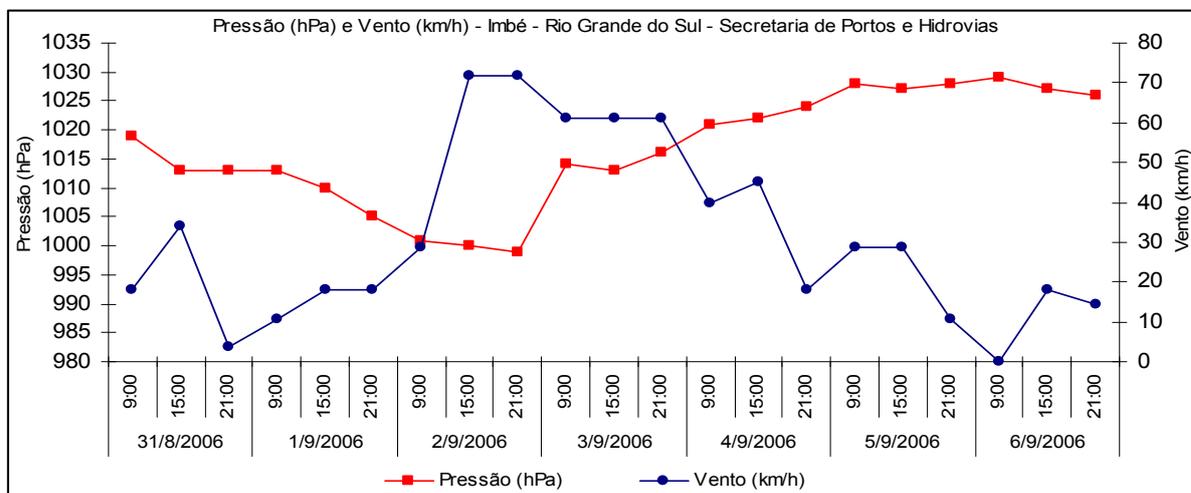


Figura 22 – Pressão Atmosférica (hPa) e Vento (km/h) ao longo do evento em Imbé RS. Fonte: SPH.

Na estação meteorológica de Tramandaí os ventos eram provenientes de NNW com velocidade de 20,56 km/h, pressão 1018 hPa, conforme a figura 23.

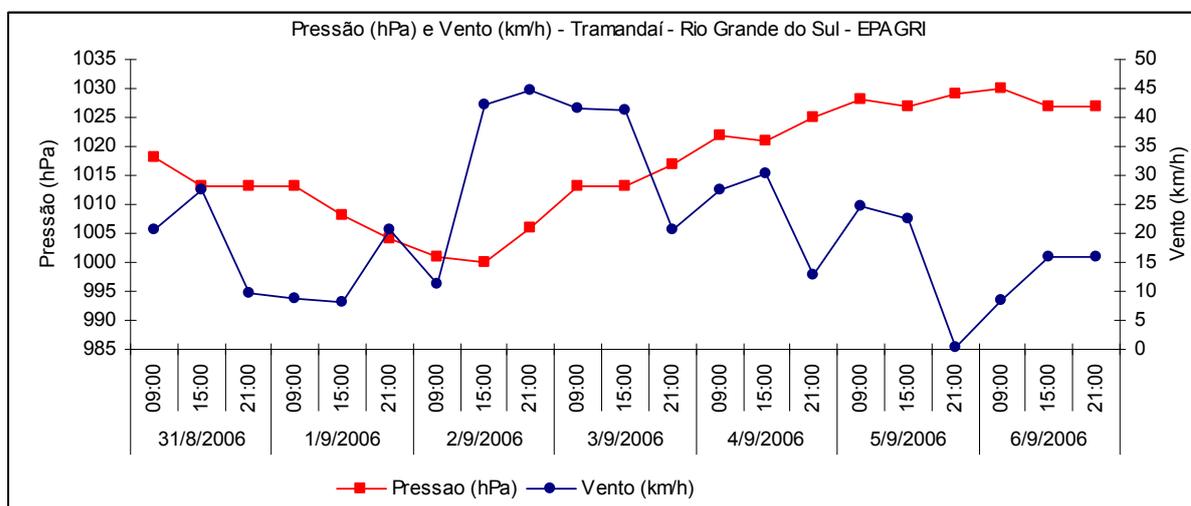


Figura 23 – Pressão Atmosférica (hPa) e Vento (km/h) ao longo do evento em Tramandaí - RS. Fonte: EPAGRI.

De acordo com o SurfGuru, que utiliza como previsão o modelo *WaveWatch* do NOAA gerado a partir de dados do modelo atmosférico GFS, as ondulações previstas para o evento em questão estão representadas na figura 24.

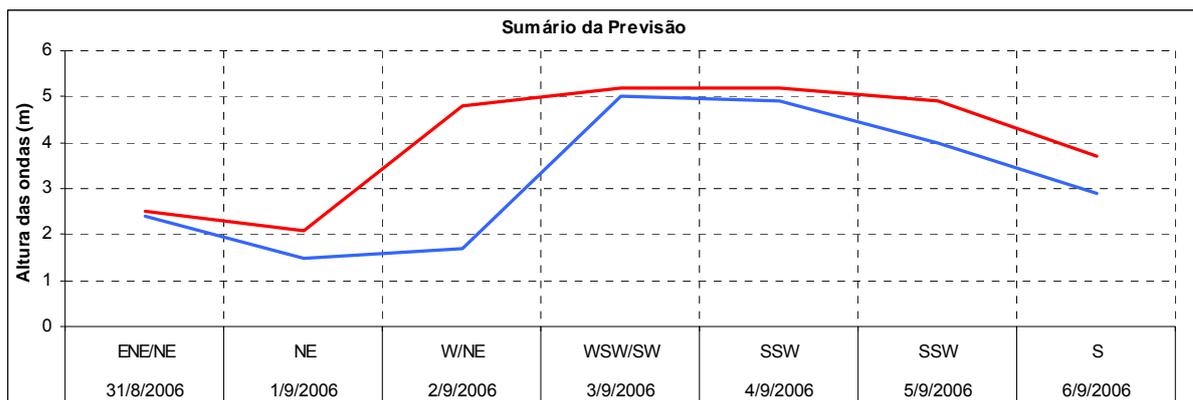
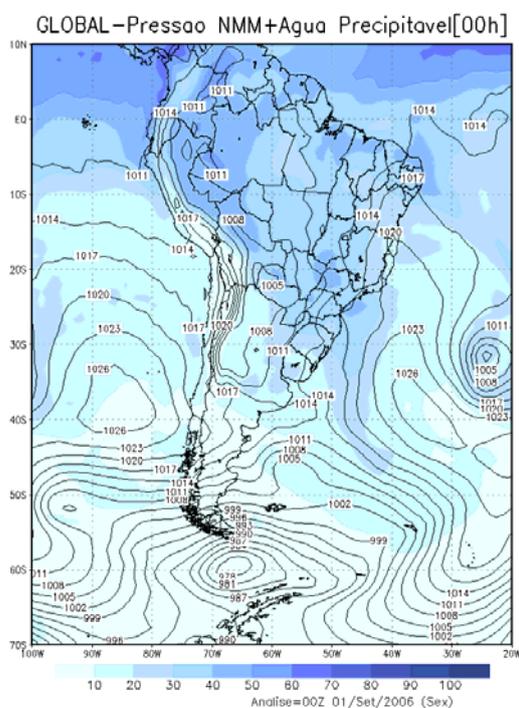


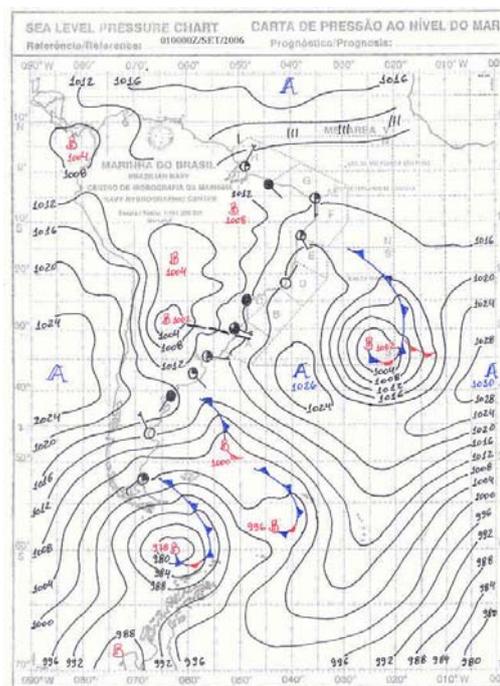
Figura 24 – Previsão de ondas para o período de estudo. Fonte: Surf guru, disponível em www.surfguru.com.br.

No dia 31/08/2006, o anticiclone sobre o Atlântico Sul (figura 21a) contribuiu na geração do vento NE (figura 21c) assim ondas também oriundas da mesma direção com altura de 2,5 m e período de 6 s na média (figura 24).

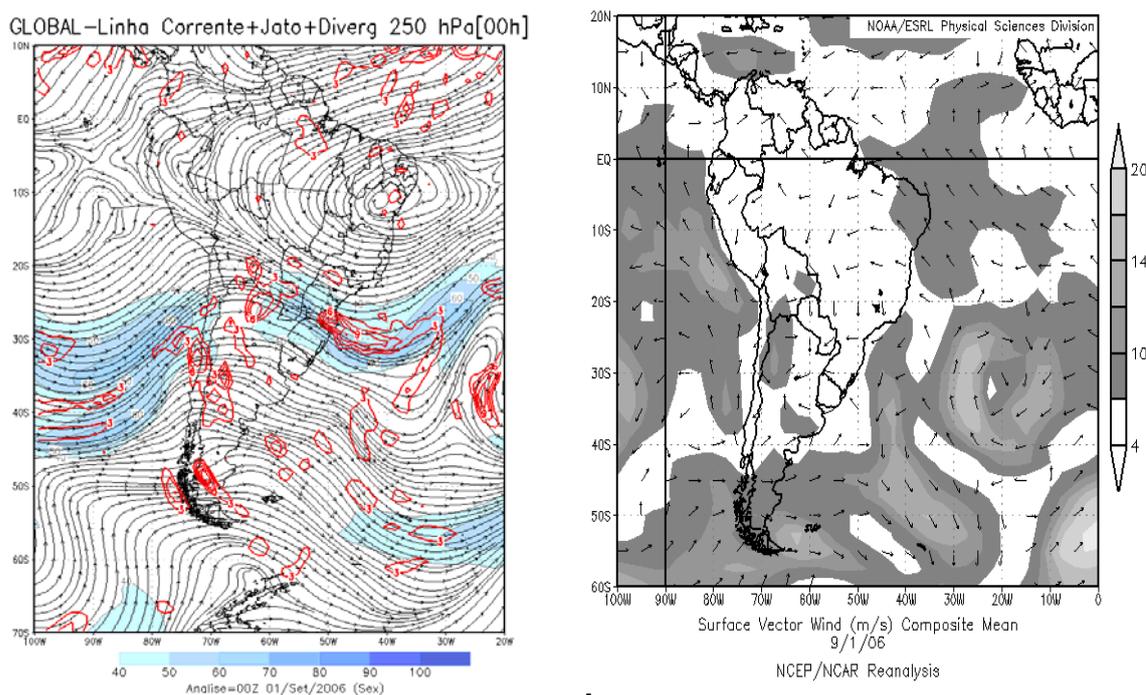
Na sexta-feira, 01/09/2006, notava-se o aprofundamento do sistema de baixa pressão sobre o Paraguai e Bolívia (1005 hPa) e seu prolongamento para o norte da Argentina (1008 hPa), conforme as figuras 25a e 25b. O jato subtropical continuou atuando sobre o RS, figura 25c.



a



b



c **d**
 Figura 25 – Dados da previsão meteorológica para 01/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 250 hPa, (d) Vento em superfície. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

Na estação meteorológica de Tramandaí (figura 23), a pressão medida foi de 1013 hPa, o vento era S com 8,78 km/h às 9:00. Às 21:00 a pressão diminuiu para 1004 hPa, o vento mudou para N.

Em Imbé (figura 22), o barômetro marcava às 9:00 1012 hPa, vento de W com 11 km/h enquanto que às 21:00 o vento mudou para NE com 18 km/h e 1005 hPa.

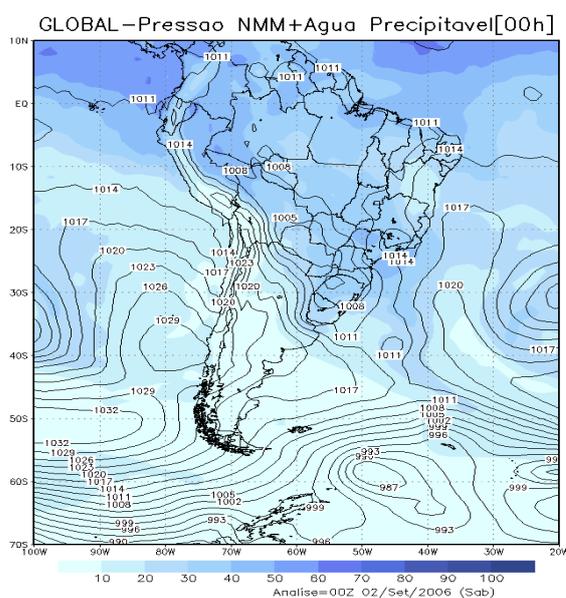
No oceano, as ondas previstas estariam entre 1,5 e 2,1 m de altura, de NE (figura 24). São explicadas pela atuação em conjunto de um centro de baixa pressão (figuras 25a e 25b) que nesse momento se encontrava sobre o continente sul-americano e um centro de alta pressão sobre o oceano, gerando uma pista de ventos de orientação NE-SW, figura 25d. Essa configuração de ventos paralelos à costa gaúcha também é responsável pela geração da maré meteorológica, porém nesse caso para níveis abaixo do previsto.

O texto abaixo é o Aviso de Mau Tempo emitido pela DHN, para o dia 01/09/2006:

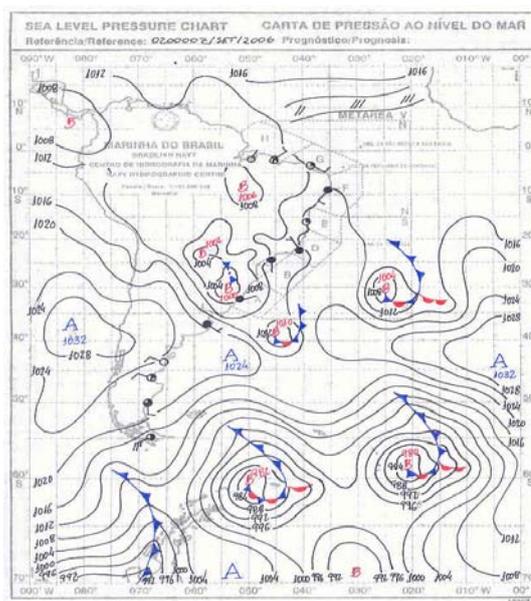
AVISO NR 694/2006
 AVISO DE MAR GROSSO/MUITO GROSSO
 SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
 CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
 EMITIDO ÀS 1330 HMG - SEX - 01/SET/2006
 ÁREAS ALFA E SUL OCEÂNICA AO SUL DE 30S E OESTE DE 30W A

PARTIR DE 021200 HMG. ONDAS DE W/SW 3.0/6.0 METROS.
VÁLIDO ATÉ 040000 HMG.

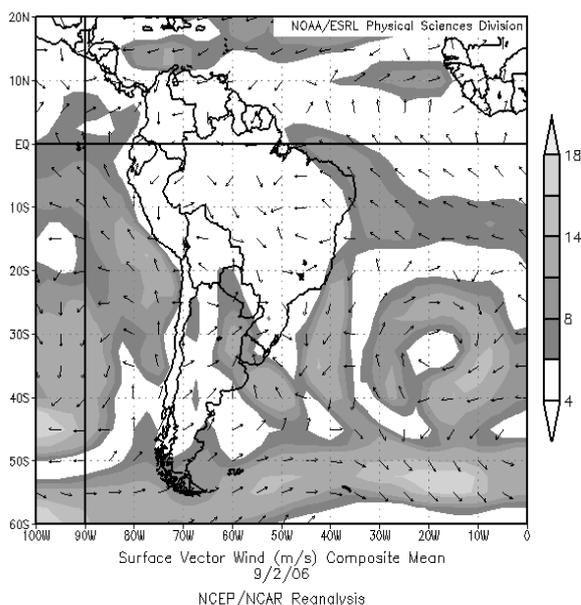
No sábado, 02/09/2006, um pequeno CE se forma no oceano com pressão mínima de 1010 hPa somando-se aos já existentes sobre o continente sul-americano (figuras 26a e 26b). A nebulosidade associada a esse centro pode ser observada na figura 26d. Notou-se ainda que os centros que estavam sobre o continente continuaram a se aprofundar reduzindo suas pressões mínimas para 1000 hPa e 1002 hPa.



a

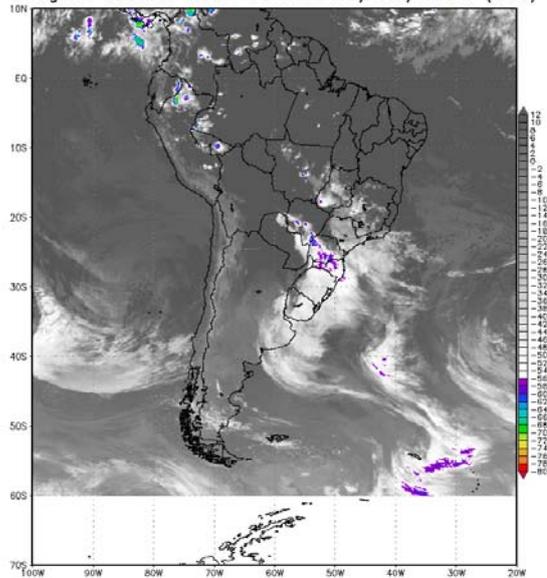


b



c

Imagem Satélite Goes de 00Z 02/Set/2006 (Sab)



d

Figura 26 – Dados da previsão meteorológica para 02/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

Na estação de Tramandaí (figura 23), a pressão às 9:00 foi de 1001 hPa, ventos de SW com 11,2 km/h. Entre às 23:00 do dia anterior e às 03:00 verificou-se o acumulado de 8,89 mm de precipitação. Durante a tarde a pressão continuou a baixar chegando ao mínimo de 999 hPa para o período estudado, evidenciando a passagem do centro do CE sobre esse município em direção ao oceano. Às 21:00 a pressão já havia se elevado para 1006 hPa, a direção do vento mudou para NNW atingindo a velocidade de 44,68 km/h (figura 26). Um máximo de velocidade do vento foi verificado às 17:00 chegando a 53,96 km/h – Escala Beaufort N° 7 (de 1 à 12), referente à ventos fortes com mar grosso, geração de vagas de até 4,8 m de altura, gerando movimentação das grandes árvores e dificuldade para andar contra o vento.

Em Imbé (figura 22), a pressão medida foi de 1000 hPa, ventos com direção de NW com 28,8 km/h às 9:00. Durante o dia a pressão continuou diminuindo até chegar a 999 hPa às 21:00. O vento também aumentou sua intensidade chegando à 72 km/h e 9 na Escala Beaufort (responsáveis pelos vagalhões de 7,5 m de altura). Aqui cabe ressaltar que a diferença entre as medidas feitas pela estação de Tramandaí e as realizadas pela estação de Imbé são oriundas da utilização de equipamentos automáticos (Tramandaí) e obsoletos (Imbé).

Segundo a modelagem oceânica para esse dia, o centro de alta pressão sobre o mar (figuras 26a e 26b) continuou atuando gerando ventos de NE (figura 26c) e ondulações entre 1 e 1,7 m de NE até as 12 horas onde se verificou a mudança de direção para NW/W com altura entre 2,9 e 4,8 m, conforme a figura 24.

Os Avisos de Mau tempo (DHN) para o dia 02/09/2006 foram os seguintes:

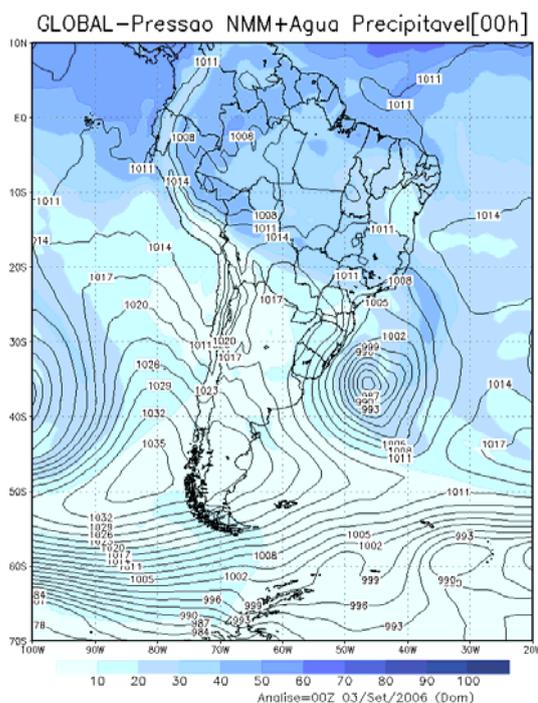
AVISO NR 697/2006
AVISO DE VENTO FORTE/DURO
SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
EMITIDO ÀS 1330 HMG - SÁB - 02/SET/2006
ÁREAS ALFA, BRAVO AO SUL DE 28S E SUL OCEÂNICA AO SUL DE
28S E OESTE DE 28W A PARTIR DE 040000 HMG. VENTO NW/W
PASSANDO SW 7/9 COM RAJADAS.
VÁLIDO ATÉ 050000 HMG.

AVISO NR 699/2006
AVISO DE MAR GROSSO/MUITO GROSSO
SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
EMITIDO ÀS 1430 HMG - SÁB - 02/SET/2006
ÁREAS ALFA E BRAVO A PARTIR DE 040000 HMG. ONDAS DE SW/S

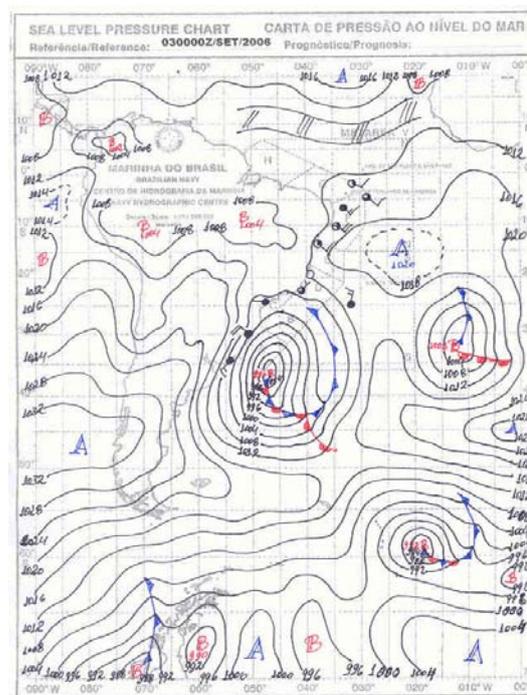
3.0/6.0 METROS.
 VÁLIDO ATÉ 051200 HMG.
 ESTE AVISO CANCELA E SUBSTITUI O AVISO NR 695/2006.

AVISO NR 701/2006
 AVISO DE RESSACA
 SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
 CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
 EMITIDO ÀS 1430 HMG - SÁB - 02/SET/2006
 ÁREA ALFA A PARTIR DE 041200 HMG. ONDAS DE S/SE 2.5/4.0
 METROS.
 VÁLIDO ATÉ 061200 HMG.

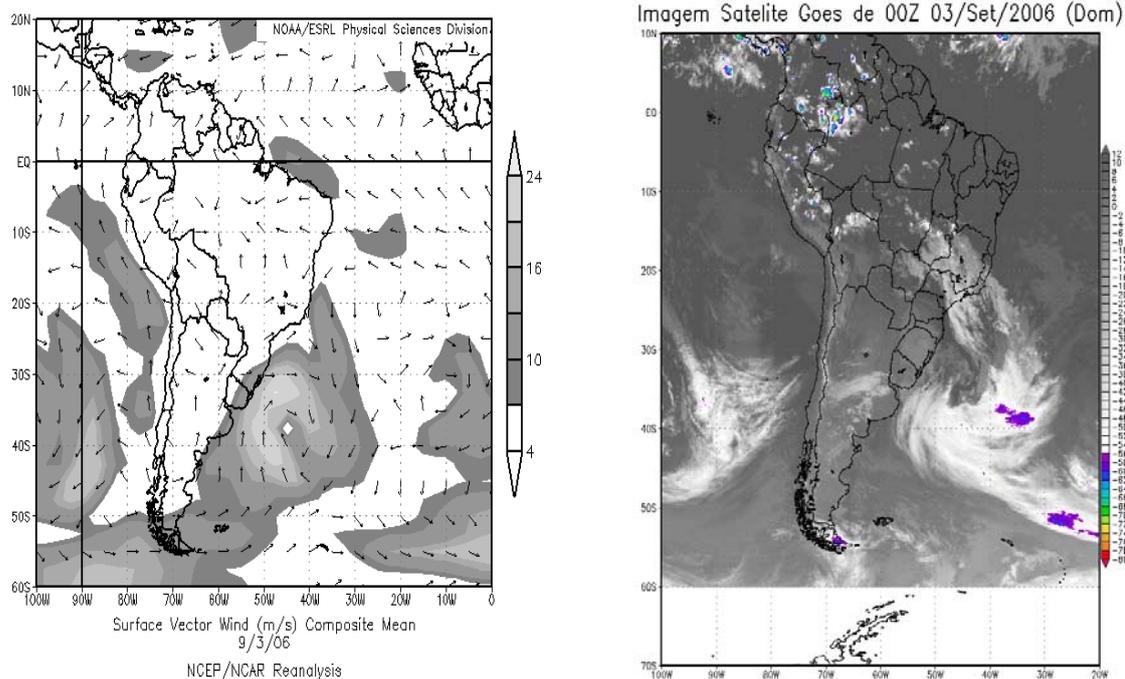
No dia 03/09/2006, o CE avançou para o oceano por completo e se organizou com um mínimo de 984 hPa (CPTEC) e 980 hPa (DHN). Estava posicionado na latitude 35°S e longitude 45°W e sua atuação em conjunto com o anticiclone sobre continente pode ser observada conforme as figuras 27a e 27b. A nebulosidade característica do CE foi registrada pela imagem de satélite, figura 27d. Nesse momento a formação de uma extensa pista de ventos paralelos à costa gaúcha foi observada devido ao gradiente entre o centro de alta (Oceano Pacífico) e o centro de baixa (Oceano Atlântico) que foi de 51 hPa para o CPTEC e 52 hPa para a DHN. Essa pista de ventos (figura 27c) foi responsável pela agitação marítima com ondas de 5,0 a 5,2 m orientadas na direção SW/WNW e período entre 8 e 11 s, figura 24.



a



b



c **d**
 Figura 27 – Dados da previsão meteorológica para 03/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

Segundo os dados da estação de Imbé (figura 22), às 9:00, a pressão foi 1013 hPa, vento W com 61,2 km/h. As 21:00 o barômetro marcava 1016 hPa e o vento mantinha orientação de W porém com velocidade reduzida à 34 km/h.

Enquanto que em Tramandaí (figura 23), os registros marcavam 1013 hPa e ventos de NW com 41,51 km/h. Durante o dia a pressão continuou a subir evidenciando a migração do CE para alto-mar. Às 21:00 a pressão atmosférica era 1017 hPa e o vento manteve-se na direção NW com 20,77 km/h.

Os Avisos de Mau tempo da DHN evidenciaram a passagem do CE no Oceano Atlântico:

AVISO NR 703/2006
 AVISO DE VENTO FORTE/ MUITO FORTE
 SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
 CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
 EMITIDO ÀS 1330 HMG – DOM – 03/SET/2006
 AREAS ALFA E BRAVO A PARTIR DE 050000 HMG. VENTO W/SW
 FORÇA 7/8 COM RAJADAS.
 VÁLIDO ATÉ 060000 HMG.

AVISO NR 704/2006
 AVISO DE MAR GROSSO/MUITO GROSSO
 SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
 CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
 EMITIDO ÀS 1330 HMG – DOM – 03/SET/2006
 ÁREAS ALFA, BRAVO, CHARLIE E DELTA A PARTIR DE 040000 HMG

NAS ÁREAS ALFA, BRAVO E CHARLIEE A PARTIR DE 041800 HMG NA
ÁREA DELTA. ONDAS DE SW/S 2.5/4.0 METROS NA ÁREA CHARLIE E
3.0/6.0 METROS NAS ÁREAS ALFA, BRAVO E DELTA.
VÁLIDO ATÉ 060000 HMG.
ESTE AVISO CANCELA E SUBSTITUI O AVISO NR 699/2006.

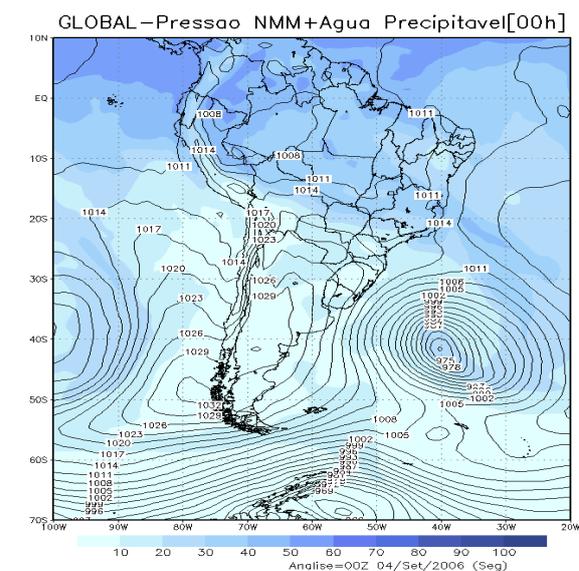
Dia 04/09/2006, o CE estava completamente formado sobre o Oceano Atlântico Sul, posicionado nas coordenadas 42°S e 40°W (figura 28d). A pressão mínima foi de 972 hPa (CPTEC) e 960 hPa (DHN) conforme as figuras 28a e 28b. Essa pressão mínima resultou em um gradiente de pressão com 60 hPa, de acordo com as cartas sinóticas do CPTEC, em associação com o anticiclone posicionado sobre a América do Sul e Oceano Pacífico. Para a DHN 74 hPa foi o gradiente de pressão entre o centro de baixa e alta. Em altitude notou-se claramente a onda formada pela crista e o cavado, Onda de Rossby, bem como a evolução do sistema de baixa pressão até níveis de 250 hPa (figura 28c). As ondas no mar responderam a esse CE mantendo grandes alturas, porém com um aumento no período das ondas. No dia 03/09/2006 o período previsto foi de 8,9 s enquanto que no dia 4 foi de 12 segundos. Esse aumento no período das ondas foi possível devido à manutenção da extensa pista de ventos, figura 28e. Com o aumento do período, as ondas ganharam potência para percorrerem uma pista de 1.600 km até alcançarem a costa do RS com grande intensidade.

Conforme a estação de Tramandaí (figura 23), a pressão atmosférica foi de 1022 hPa, vento de NW com 27,58 km/h às 9:00 enquanto que às 21:00 a pressão subiu para 1025 hPa e a velocidade do vento continuou a cair chegando a 12,71 km/h de NW.

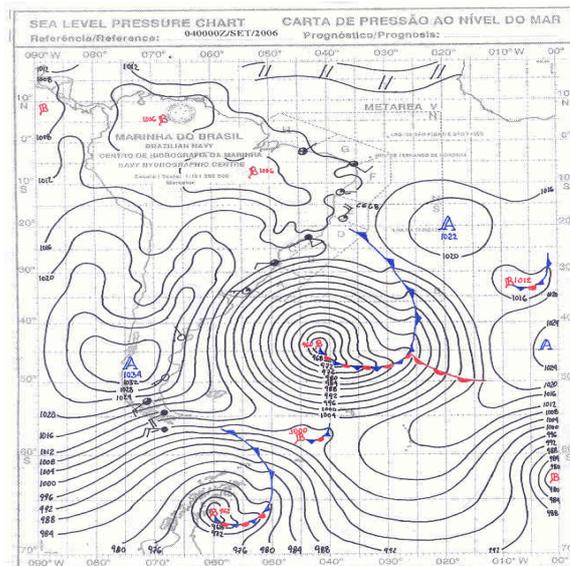
Segundo os dados da estação de Imbé (figura 22), a pressão atmosférica registrada às 9:00 foi de 1020 hPa e o vento foi de 39,6 km/h. Às 21:00, a pressão havia subido para 1024 hPa e o vento de W com 18 km/h.

O aviso de mau tempo da Marinha do Brasil emitido nesse dia mostra a grandeza do fenômeno em estudo.

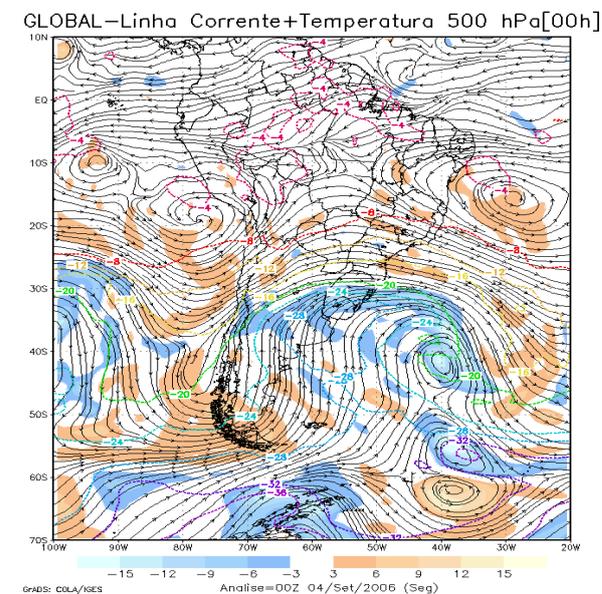
AVISO NR 708/2006
AVISO DE MAR GROSSO/MUITO GROSSO
SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DA MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA
EMITIDO ÀS 1330 HMG - SEG - 04/SET/2006
ÁREAS ALFA, BRAVO, CHARLIE E DELTA A PARTIR DE 060000 HMG.
ONDAS DE SW/S 2.5/4.0 METROS NAS ÁREAS CHARLIE E DELTA E
3.0/5.0 METROS NAS ÁREAS ALFA E BRAVO.
VÁLIDO ATÉ 071200 HMG.



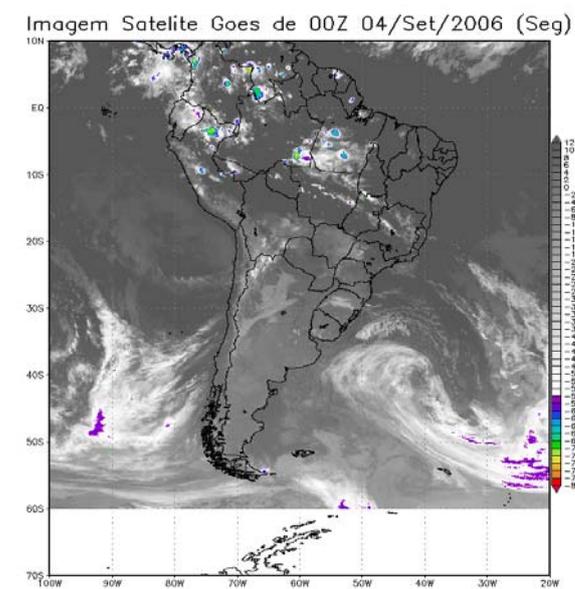
a



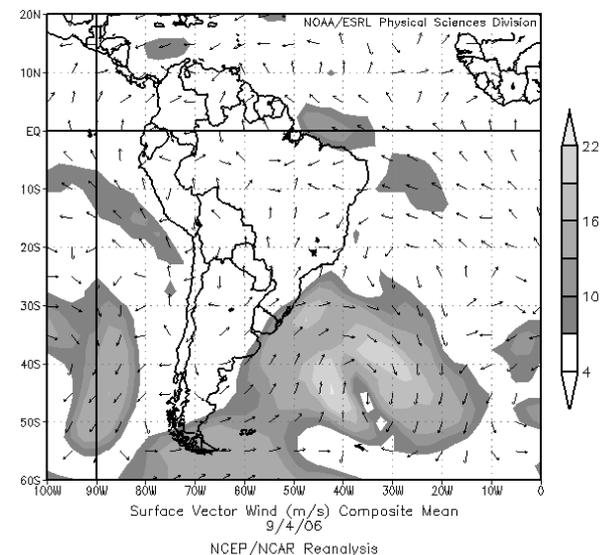
b



c



d



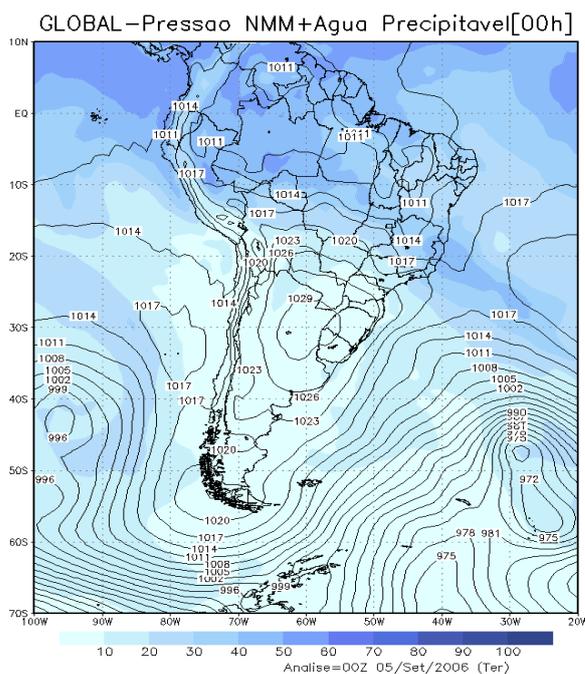
e

Figura 28 – Dados da previsão meteorológica para 04/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 500 hPa, (d) Imagem GOES, (e) Vento em superfície. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

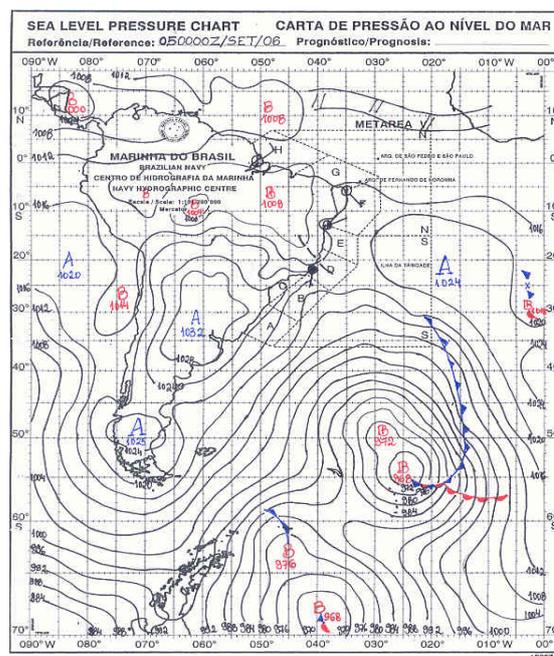
Na terça-feira, 05/09/2006, o CE estava posicionado sobre as coordenadas 35°W e 55°S, demonstrando a tendência natural desses sistemas em evoluir para SE, nesse caso, o centro do Atlântico Sul como mostra as figuras 29a e 29b. O CE se mantinha com mínimas barométricas de 968 hPa (DHN) e 972 hPa (CPTEC). Nesse momento o centro de alta pressão se deslocou para o interior do continente sul-americano, resultando em linhas isobáricas paralelas à costa sudeste desse continente, construindo uma pista de ventos ideais (figura 29c) para a formação das grandes ondas, das correntes superficiais e da maré meteorológica. A nebulosidade associada ao CE não foi mais registrada pelo satélite meteorológico (figura 29d).

Os dados da estação de Imbé (figura 22) marcavam às 9:00, pressão atmosférica de 1028 hPa e os ventos eram provenientes de W com 28,8 km/h. Às 21:00, o vento era de SW com velocidade de 10,8 km/h e a pressão medida foi de 1028 hPa.

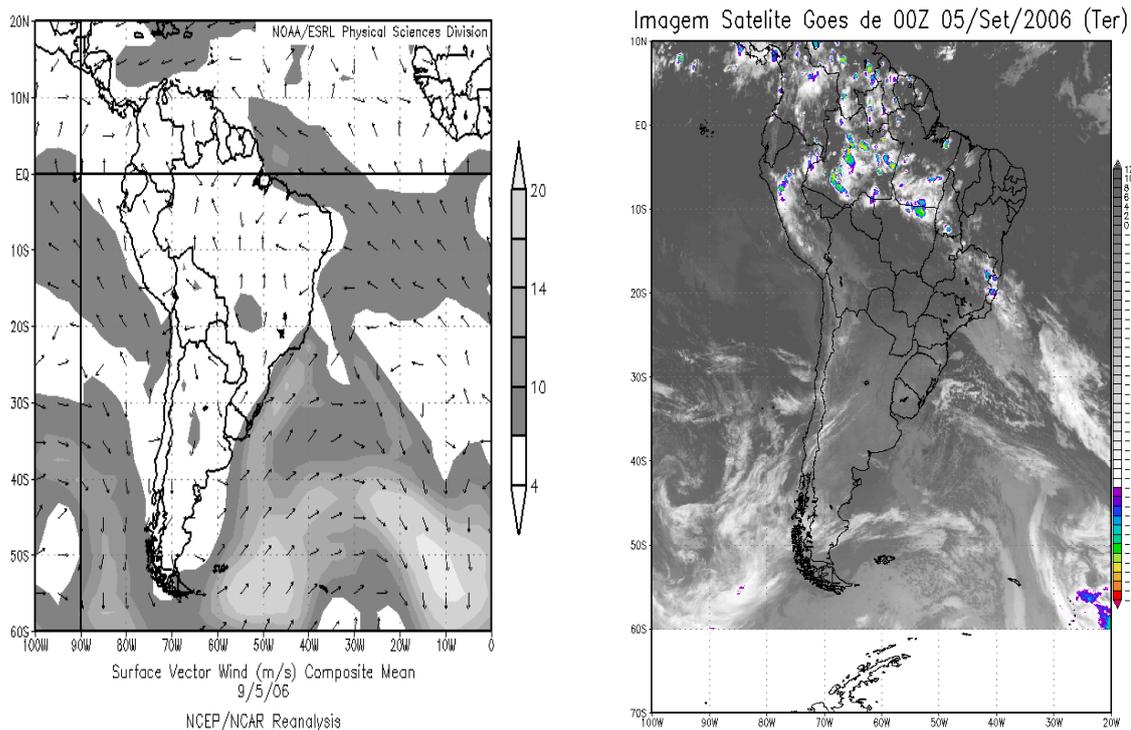
Em Tramandaí (figura 23), às 9:00 a pressão medida foi de 1028 hPa e o vento de NW à 24,59 km/h. Às 21:00, a pressão foi de 1029 hPa, e o vento reduziu à 0,43 km/h e alterando a direção para NNW. Os dados das estações estavam de acordo com as cartas sinóticas uma vez que a direção dos ventos era de NW, perpendiculares com as linhas isobáricas partindo de um centro de alta para um de baixa pressão.



a



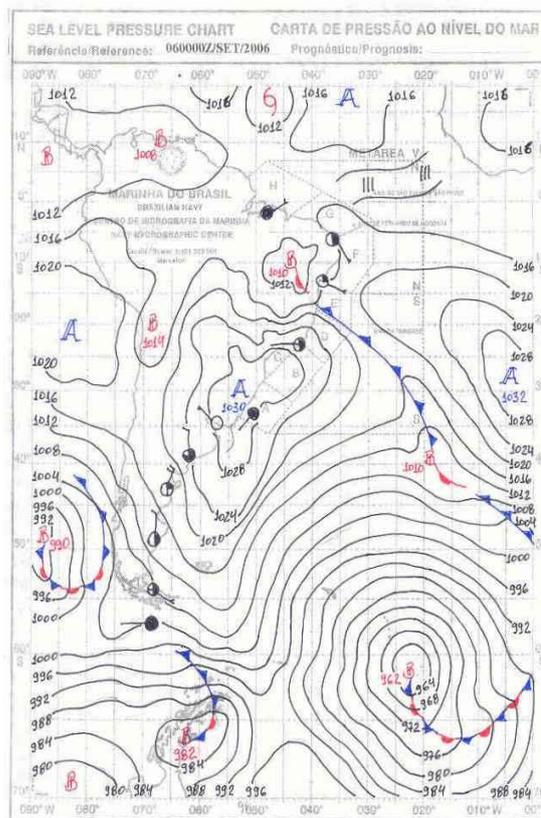
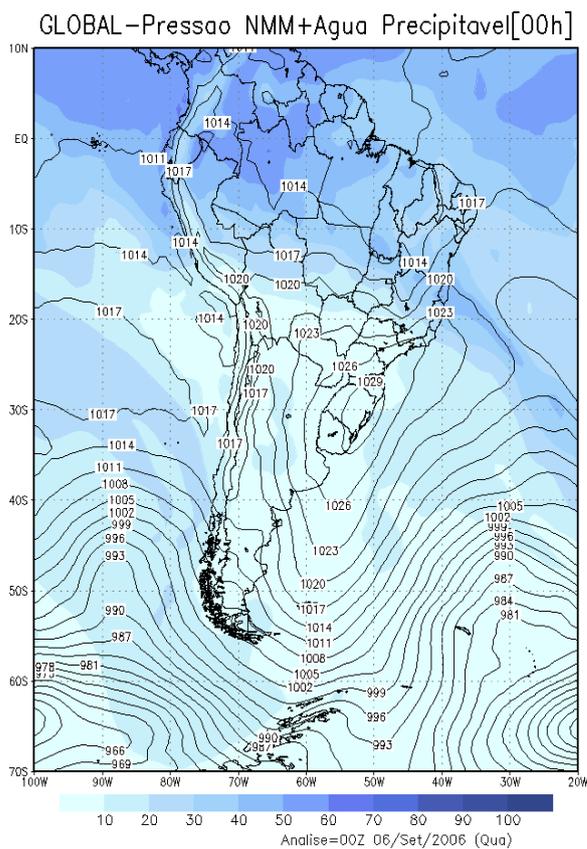
b



c **d**
 Figura 29 – Dados da previsão meteorológica para 05/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) Vento em superfície, (d) Imagem GOES. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

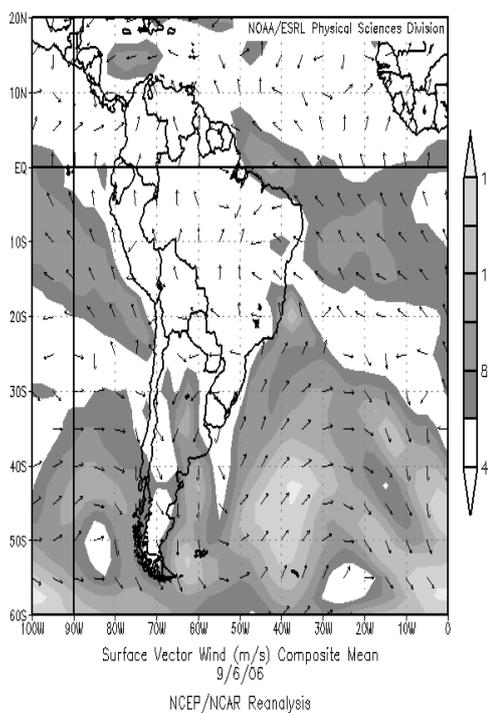
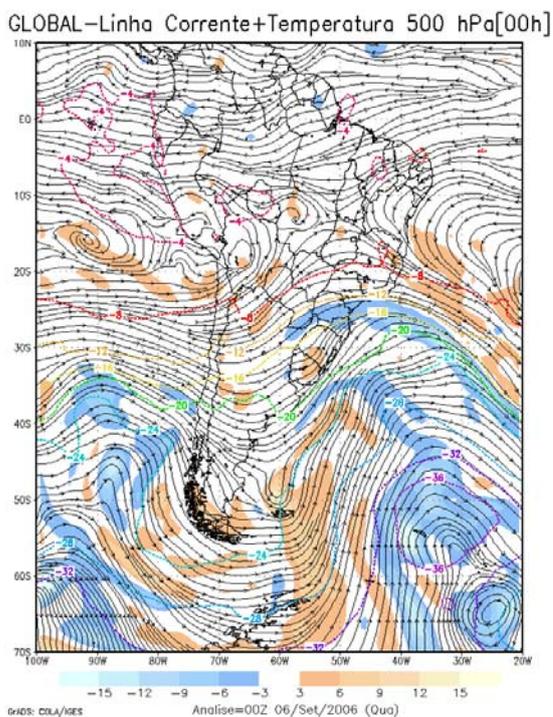
Com o afastamento do CE para alto-mar e a diminuição dos ventos, as ondas geradas entraram em declínio como mostra a figura 24 onde as ondas previstas para esse dia foram de 4 à 4,9 m, direção SSW e período entre 11 e 12 s.

No dia 06/09/2006, o centro de baixa pressão estava posicionado nas coordenadas 23°W e 61°S continuando sua trajetória rumo SE, figura 30b. O centro de alta estava posicionado sobre o RS, mantendo a extensa pista de ventos de SW sobre o oceano (figuras 30a e 30d). O centro da baixa não podia mais ser observado nas cartas sinóticas do CPTEC, somente na DHN o destacava devido à sua finalidade de previsões meteorológicas para a navegação. As baixas pressões resistiram ao grande tempo sobre o oceano e se mantiveram muito reduzidas com valores de 962 hPa. Em altitude, o padrão de circulação que havia evoluído no dia anterior se manteve, porém agora posicionado nas coordenadas 25°W e 65°S próximas ao centro de baixa em superfície conforme a figura 30c. As ondas reduziram após a passagem do evento e para esse dia foram estimadas ondas entre 2,9 e 3,7 m com direção de S e período entre 10 e 11s, conforme a figura 24.



a

b



c

d

Figura 30 – Dados da previsão meteorológica para 06/09/2006, (a) PNMM, (b) PNMM, (c) 500 hPa, (d) Vento em superfície. Fonte: CPTEC, DHN e NCEP.

Os dados meteorológicos da estação de Tramandaí (figura 23) acusavam uma pressão de 1030 hPa às 9:00, de acordo com as cartas sinóticas do CPTEC e DHN. Os ventos de direção NW eram de 8,39 km/h. Às 21:00, a pressão era 1027 hPa e ventos de SSE evidenciando o fim da atuação do CE.

Em Imbé (figura 22), essa mudança nos ventos e na pressão também foi registrada, às 9:00 a pressão era 1028 enquanto que às 21:00, 1025 hPa. Os ventos também mudaram de orientação passando de NW à velocidade de 3,6 km/h para E com velocidade de 10,8 km/h.

4.2 Medição da maré meteorológica

As marés registradas na estação de Imbé durante o período compreendido entre 31/08/2006 e 06/09/2006 estão representadas na figura 31. O valor máximo observado foi 1,38 m no dia 4/09/2006 às 12:30. O crescimento da maré meteorológica se deu de acordo com a evolução do sistema meteorológico onde uma pista de ventos de direção SW paralelos à costa do RS teve início no dia 02/09/2006 e permaneceu até o dia 05/09/2006 provocando elevação gradual na maré.

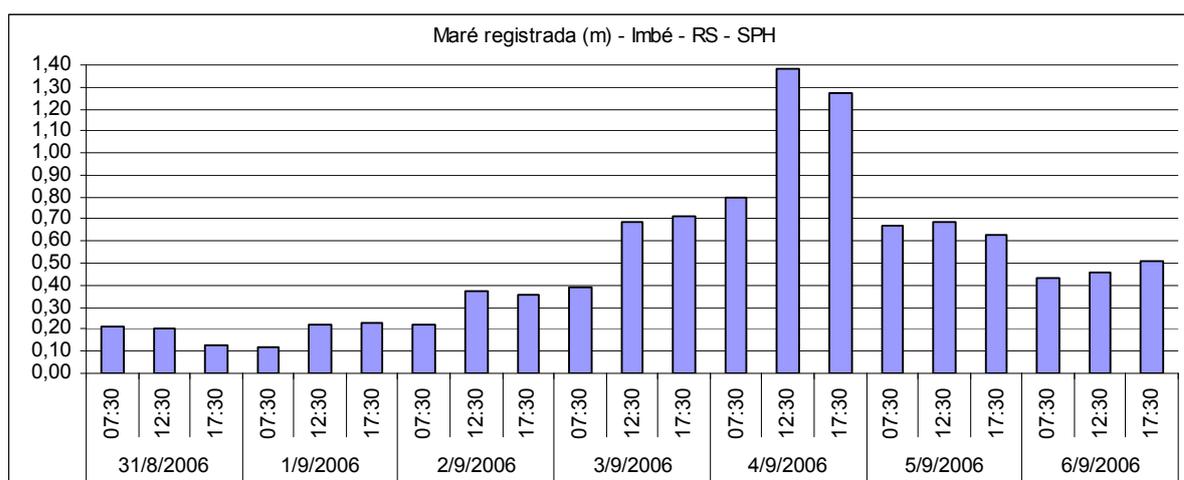


Figura 31 - Maré registrada no canal de acesso ao mar em Imbé, RS. Fonte: SPH.

A maré prevista pela DHN para o Porto de Rio Grande para o dia de 04/09/2006 está representada na figura 32.

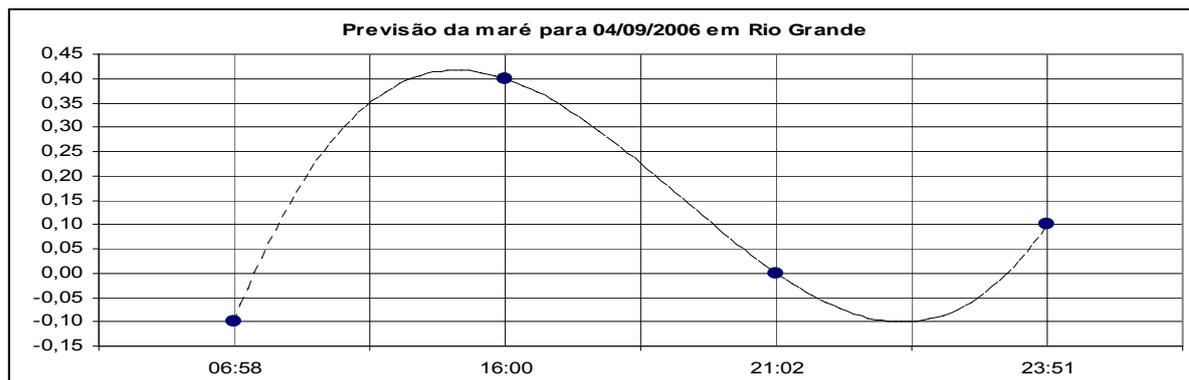


Figura 32 – Previsão da maré para Rio Grande com linha de tendência. Fonte: DHN

A maré registrada às 7:30 foi de 0,80 m enquanto que a previsão para Rio Grande aproximada pelo gráfico foi de 0,03 m resultando em uma maré meteorológica de 0,77 m. Para às 12:30 a maré observada foi de 1,38 m enquanto que a previsão aproximada pelo gráfico foi 0,41 m resultando em uma maré meteorológica de 0,97 m. Às 17:30 a maré observada foi de 1,27 m enquanto que a prevista aproximada pelo gráfico para o mesmo horário foi de 0,33 resultando em uma maré meteorológica de 0,94 m. Entretanto sabe-se que a maré em Imbé possui amplitude de 0,30 m apenas, evidenciando uma possível sobrelevação na previsão de Rio Grande se adotada para Imbé assim, a maré meteorológica resultante tende à valores ainda maiores do que os estimados nesse estudo.

A figura 33 mostra uma comparação entre a maré ocorrida em 31/03/2007 e a ocorrida em 04/09/2006.



Figura 33 – Maré na plataforma de pesca de Tramandaí em 31/03/2007 (a); e em 04/09/2006 (b). Fotos: OndasdoSulRS.

A magnitude da maré no evento em estudo pode ser observada na figura 34.



a



b



c



d



e



f

Figura 34 – Magnitude da Maré Meteorológica: (a) impacto das ondas atingindo o "calçadão" à beira-mar, (b) muro de contenção sendo atingido, (c) praia completamente coberta pela maré, (d) nível do Rio Tramandaí próximo à barra de Imbé, (e) canal de acesso ao mar em Imbé completamente inacessível, (f) atuação da maré com as ondas sobre as dunas frontais em Tramandaí. Fonte: OndasdoSulRS e Jorge.

4.3 Intensidade da tempestade

As ondas previstas pelos modelos para o evento em estudo foram superiores a 5 m, porém sabe-se que essas alturas são adequadas para áreas com profundidades superiores a 40 m, segundo o CPTEC. Assim a altura na costa foi de aproximadamente 3 metros conforme observações visuais in loco e análises das fotografias existentes (figura 35), devido à falta de instrumentos científicos que registram os parâmetros das ondas.

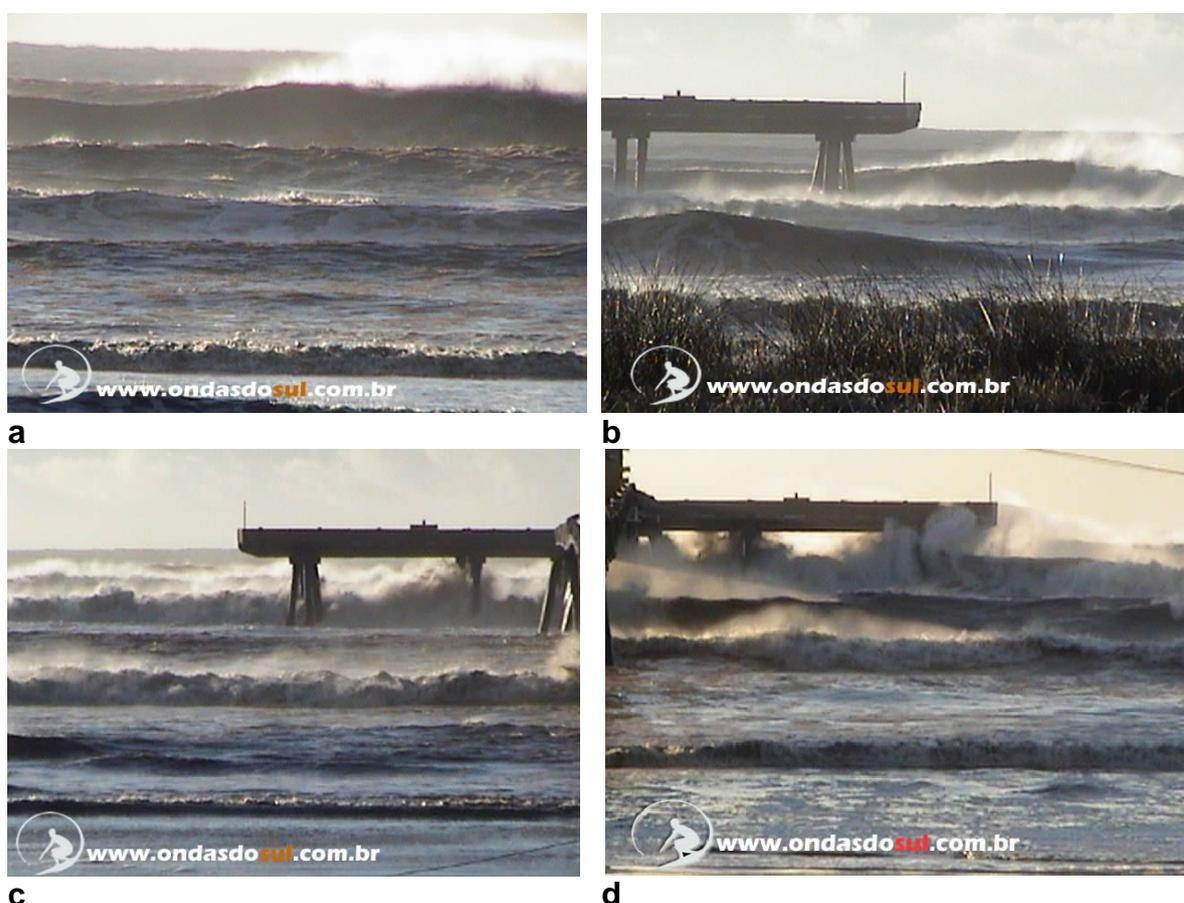


Figura 35 – Ondas em Tramandaí no dia 4/9/2006. (a) ondas com 3 m, aproximadamente, (b) ondas na plataforma de pesca, (c) lado norte da plataforma, (d) ondas atingindo o lado sul da plataforma. Fotos: OndasdosulRS.

A sobrelevação calculada anteriormente foi de aproximadamente 1,0 m. Assim, de acordo com a classificação de Tozzi (tabela 05), esse evento foi classificado na classe dos CE, onde as ondas são superiores ou iguais à 2m com período de 12s, com direção de SE/S, corrente litorânea para NE, sobrelevação

superior à 1m, com remoção superior à 20 m³/m, impacto severo e equivale a categoria III ou IV da escala de Dolan; Davis (1992).

Através da observação in loco e identificação em fotografias (figura 36) pode-se notar que as dunas foram extensivamente erodidas, assim com base na classificação proposta por Dolan; Davis (1992), tabela 04, o evento em estudo foi classificado na categoria IV, referente às severas erosões praias e das dunas, impactos estruturais na escala da comunidade, potência média de 1455 m²/hr, altura significativa das ondas de 5m, duração de 63h e frequência de 2,4%. Essa escala de I à V onde os eventos de primeira ordem são fracos enquanto que os de quinta ordem são limitados aos ciclones tropicais.



Figura 36 – Perfil praias no máximo erodido durante o evento. Foto: Jacqueline Estivallet.

4.4 Danos causados e tipo de ocupação

As imagens da figura 37 evidenciam os danos causados nos equipamentos urbanos de Tramandaí devido à ocorrência da maré meteorológica de 4/09/2006.

Com base no zoneamento proposto por Farion e análise das fotografias dos danos causados pelo presente evento pode-se notar que os principais danos causados foram associados à Zona Central e Norte onde predominam a ocupação irregular realizada pela administração pública municipal.



a



b



c



d



e



f

Figura 37 – Fotos dos danos causados pela maré meteorológica em Tramandaí-RS em 04/09/2006: a) Calçada à beira-mar na Zona Central, b) Muro de contenção e antigo restaurante panorama no início da Zona norte, c) Muro e calçada na Zona Central, d) Quiosques na Zona Central, e) Equipamentos urbanos na Zona Central, f) Quiosques e muro de contenção na Zona Norte. Fotos: Jacqueline Estivallet (2006) e Jorge (2006).

Além desses conflitos Farion (2005) identificou no pós-praia quiosques de madeira, guaritas de salvamento e trânsito de veículos. Propôs a retirada de todas as moradias irregulares sobre as dunas frontais e de todos os quiosques do pós-praia. Sugeriu a construção de passarelas sobre as dunas frontais nas principais vias de acesso à praia além de duchas públicas nas três zonas. Para as dunas foi sugerido um plano de manejo com plantio de espécies na base da duna para diminuir a sua migração e servir de abrigo e alimento para algumas espécies. À sotavento da duna também foi sugerido a colocação de toras de madeira cortadas transversalmente para barrar o transporte de areia e servir como obstáculo ao pisoteio antrópico. Foi sugerida a colocação de resíduos vegetais para barrar o transporte de sedimentos sobre a crista das dunas bem como no sotavento e barlavento da duna. Ainda para manejo das dunas foi sugerido o mesmo trabalho realizado por Tabajara (2000) em Osório onde a instalação de esteiras de palha de "junco" e "tiririca" foi utilizada para crescimento e desenvolvimento das dunas e posterior recomposição da vegetação nativa.

Enfim, são inúmeros problemas levantados por diversos autores com muitas alternativas simples de serem executadas por parte da administração pública, porém nada é feito para melhorar as condições de vida da população e do ambiente natural.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Através da análise das condições meteorológicas e oceanográficas pode-se constatar que um CE com 1008 hPa começou a se organizar no dia 31/08/2006 sobre a Bolívia e o Paraguai, sob a influência do Jato Subtropical que atuava sobre a América do Sul e do anticiclone do Atlântico Sul. Esse cenário persistiu até o dia 02/09/2006 gerando uma pista de ventos de NE e conseqüentemente ondas de NE entre 2 e 4 m, na costa do RS.

Nesse instante a estação meteorológica de Tramandaí registrou a pressão mínima, para o evento, de 999 hPa e ventos de até 72 km/h, categoria 9 na Escala de Beaufort (responsáveis pelos vagalhões de 7,5 m), evidenciando a passagem do CE para alto-mar na direção SE. A DHN, preocupada com a segurança da navegação, emitiu Alerta de Mau Tempo para os dias 01, 02, 03 e 04/09/2006.

No dia 03/09/2006, o CE avançou para o oceano por completo e sua atuação em conjunto com o anticiclone sobre o continente sul-americano propiciou uma pista de ventos paralelos à costa gaúcha devido ao gradiente de pressão de 52 hPa gerando ondas de até 5,2 m com período de até 11 s.

O CE apresentava pressão mínima de 960 hPa no dia 04/09/2006, sobre o setor oeste do Atlântico Sul, nas coordenadas 42°S e 40°W, enquanto que o anticiclone sobre o continente, com 1034 hPa, gerou em um gradiente de 74 hPa. Conseqüentemente, a pista de ventos de SW para NE se intensificou atingindo 1.600 km de extensão, possibilitando a formação de ondulações com até 5,2 m. Com a contínua atuação dos ventos sobre essa pista, o período das ondas também foi elevado, propiciando maior energia às ondas para percorrerem grandes extensões e causarem importantes impactos na costa do RS.

O CE gerou uma pista de ventos com até 1.600 km de comprimento paralelos à costa do RS durante aproximadamente 4 dias ocasionando ondas de até 5 m com período de 12 s. Além das ondas, o vento gerou transporte de água por Ekman em

direção à costa ocasionando empilhamento da massa de água e sobrelevação no nível do mar acima do previsto pela DHN. No dia 02/09/2006, a maré registrada às 07:30 foi de 0,22 m enquanto que às 17:30 foi 0,35 m. No dia seguinte, quando o CE atuava juntamente com o anticiclone no continente, a maré às 7:30 já registrava 0,39 m e às 17:30 0,71 m. A maré máxima registrada durante o evento ocorreu no dia 04/09/2006 às 12:30 quando atingiu 1,38 m, mesmo dia em que o CE atingiu a pressão mínima durante o evento 960 hPa sobre o oceano. As marés previstas pela DHN para o Porto de Rio Grande para às 12:30 era 0,41 m. Neste trabalho obteve-se para a maré meteorológica o valor de 0,97 m. Porém, sabe-se que a maré astronômica em Imbé têm amplitude de 0,30 m apenas, assim, a maré meteorológica resultante seria superior à estimada.

A elevação acima do previsto pelas tábuas de marés juntamente com a ação das ondas ocasionou severa erosão da praia e das dunas em Tramandaí além de danos em propriedades do tipo estrutural na escala da comunidade. Estes danos correspondem à classe de tempestade Severa – IV, em uma escala que varia de I à V segundo Dolan; Davis (1992), onde a classe I corresponde aos eventos fracos enquanto que a categoria V fica limitada aos eventos de ciclones tropicais. Segundo à classificação de Tozzi (1999), o evento em estudo foi relacionado com a classe dos CE onde as ondas são superiores à 2 m, maré meteorológica superior à 1 m, remoção superior à 20 m³/m e impacto severo nas dunas e perfil de praia.

Os danos causados foram evidenciados por fotografias e relacionados com o tipo de ocupação irregular, onde as dunas foram removidas para construção de equipamentos urbanísticos voltados para o turismo. A instalação desses equipamentos faz com que essas áreas fiquem mais expostas à ação dos eventos de grande magnitude como neste estudo de caso, ocasionando danos ao ambiente natural e antrópico.

Atualmente, algumas iniciativas foram tomadas pela administração pública, sugeridas como a retirada das moradias irregulares e a construção de passarelas. Porém com relação ao manejo das dunas, não se pode dizer o mesmo. As dunas da Zona Norte de Tramandaí foram completamente erodidas por esse evento e necessitariam de manejo adequado para sua recomposição como realizado nas praias de Osório por Tabajara (2000), porém nada foi feito até a presente data.

Sabe-se que a freqüência das marés meteorológicas no litoral norte do RS é mais intensa durante as estações de outono e inverno (Nicolodi; Toldo Jr.; Gruber,

2001), assim o que ainda resta das dunas em Tramandaí após a crescente urbanização e o evento em estudo, entende-se que esta região está vulnerável devido à proximidade de mais uma estação típica para ocorrência de eventos similares, por falta de um gerenciamento costeiro adequado por parte da administração pública.

5.2 Trabalhos futuros

A investigação da intensidade da maré meteorológica ocorrida em Tramandaí - RS no dia 04/09/2006 fez-se necessário para buscar maior conhecimento desse evento isoladamente, porém para relacionar a ocorrência desse fenômeno com as mudanças climáticas no sul do Brasil faz-se necessário um estudo climatológico da ocorrência e magnitude desses episódios.

Para se elaborar um estudo climatológico deve-se ter acesso a uma série longa de dados, 30 anos no mínimo. Entretanto, a instalação, operação e manutenção de equipamentos que registrem esses dados não é vista como um bom investimento pelas administrações públicas, dificultando a elaboração de trabalhos científicos de qualidade que possam ajudar esses governos à tomarem decisões além de fornecer dados para a previsão dos eventos de grande magnitude, como nesse estudo de caso.

O conhecimento da comunidade local dos fenômenos característicos é muitas vezes ignorado em trabalhos científicos, porém sabe-se que a percepção ambiental dos atores dessa paisagem, zona costeira, também poderá ser utilizada para determinar uma possível variabilidade climática na ocorrência de marés meteorológicas no RS.

6. REFERÊNCIAS

ALLAN, Jonathan C.; KOMAR, Paul D. Extreme Storms on the Pacific Northwest Coast during the 1997-98 El Niño and 1998-99 La Niña. In: **Journal of Coastal Research**, 18 (1), 175-193, 2002.

ALMEIDA, Luiz Emílio Sá Brito de; ROSAURO, Nara Maria Luzzi; TOLDO JÚNIOR, Elírio Ernestino. Análise preliminar das marés na barra do rio Tramandaí (RS-Brasil). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (12. : 1997 : Vitória). **Anais**. São Paulo: ABRH, 1997, v. 4, p. 559-566.

AQUINO, Francisco Eliseu; SETZER, Alberto. O clima da Amazônia azul. In: _____. **Geografia: ensino fundamental e ensino médio: o mar no espaço geográfico brasileiro**. Brasília: Ministério da Educação, 2006. Cap. 7/7, p. 226-230.

BARLETTA, Rodrigo do Carmo; CALLIARI, Lauro Julio. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências, v. 28 (2): p. 117-124, 2002.

BARLETTA, Rodrigo do Carmo; CALLIARI, Lauro Julio. An Assesment of the Atmospheric and Wave Aspects Determining Beach Morphodynamic Characteristics Along the Central Coast of RS State Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, SC – Brazil. Special Issue, 35: p.300-308, 2003.

BARLETTA, Rodrigo do Carmo; CALLIARI, Lauro Julio. Escala de Intensidade das Tempestades que atuam no litoral Central do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **IV Seminário Sobre Ondas, Marés e Engenharia Oceânica**, Arraial Do Cabo - RJ. Disponível em <http://www.lahimar.ufsc.br/producao/resumos.php>.

BITENCOURT, Daniel Pires; QUADRO, Mario F. Leal de; CALBETE, Nuri O. de. Análise de dois casos de ressaca no litoral da Região Sul no verão de 2002. In: XII **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de iguaçu-PR,2002.

CALLIARI, Lauro Julio. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO DA ABEQUA (8. : 2001 : Mariluz, Imbé, RS). **Boletim de resumos**. Porto Alegre: Abequa, 2001. p. 51-53.

CALLIARI, Lauro Julio. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil - Rio Grande to Chuí, RS. In: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro: vol.70, n.2 (1998), p. 231-247.

CAMPOS, Ricardo Martins; CAMARGO, R.. Caracterização das condições sinóticas sobre o atlântico sudoeste associadas à marés meteorológicas no Porto de Santos.. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia a Serviço da Sociedade, 2006, Florianópolis SC. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia a Serviço da Sociedade**.

CPTEC. **Glossário**. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/glossario/#20>. Acesso em 21/06/2008.

CPTEC. **Boletim Técnico**. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/bol_tecnico/data/. Acesso em 05/07/2008.

DAER, Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Mapa Rodoviário do Rio Grande do Sul**. Disponível em http://ww1.daer.rs.gov.br/aplicdiv/servlet/hconsmun_internet. Acesso em 05/07/2008.

DOLAN, R.; DAVIS, R.E., 1992. An Intensity for Atlantic Coast Northeast Storms. **Journal of Coastal Research**, 8 (3), 840-853.

EPAGRI/Instituto do Milênio RECOS. Disponível em: <http://www.mileniodomar.org.br/estacoes/tramandai.htm>. Acesso em 21/06/2008.

ESTEVES, Luciana Slomp. **Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul**. 2004. 137p. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2004.

FARION, Sônia Rejane Lemos. Subsídios para o planejamento da faixa praias de Tramandaí-RS: Alternativas de manejo e preservação. In: Congresso da ABEQUA (10. : 2005 : Guarapari, ES). **Resumos expandidos**. Guarapari, ES: Abequa, 2005.

FEE, Fundação de Economia e Estatística. **Resumo Estatístico RS**. Disponível em http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Tramanda%ED. Acesso em 05/07/2008.

FUCELLA, Joseph E.; DOLAN, Robert. Magnitude of Subaerial Beach Disturbance During Northeast Storms. . In: **Journal of Coastal Research**, 12 (2), 420-429, 1996.

GAN, Manoel Alonso. **Ciclogêneses e ciclones sobre a América do Sul**. 1992. Tese de Doutorado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 225f.

GERCO, **Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/gerco/capa/index.html>. Acesso em 12/05/2008.

GOAL/PROANTAR. São José dos Campos. Disponível em: http://www.im.ufrj.br/~wilton/Papers/INTERCONF_21102005_final.PDF. Acesso em 21/06/2008.

HARRIS, D. Lee. **Characteristics of the Hurricane Storm Surge**. Technical Paper NO. 48. United States Weather Bureau, Washington, D.C., 139p. Disponível em www.csc.noaa.gov/hes/images/pdf/CHARACTERISTICS_STORM_SURGE.pdf. Acesso em 13/04/2008.

HASENACK, Henrich; FERRARO, Lílian Waquil. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. In: **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências, v. 22: p. 53-70, 1989.

IBGE. Contagem da população, 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>. Acesso em 03/05/2008.

IBGE. Resolução N° 05, de 10 de outubro de 2002: **Área Territorial Oficial**. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm. Acesso em 03/05/2008.

INNOCENTINI, Valdir; ARANTES, Fernando Oliveira. Ondas do mar: Conhecer para explorar. **Ciência Hoje**. Vol. 39. n 231. p 40-46

INNOCENTINI, Valdir; ARANTES, Fernando Oliveira; PRADO, Simone C. S. Cunha. Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 18, n. 1, 97 -107,2003.

JONES, David A; SIMMONDS, Ian. A climatology of Southern Hemisphere extratropical cyclones. **Climate Dynamics**, v. 9, n. 3, 131-145. 1993.

MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés Meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: O Evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, 8, 73-85.

MELO Fo, Eloi; HAMMES, Guilherme R.; FRANCO, Davide (2006). Estudo de caso: A Ressaca de Agosto de 2005 em Santa Catarina. In: **II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica**, FURG, Rio Grande, pp 19, (Publicado em CD sem paginação), disponível em <http://www.lahimar.ufsc.br/producao/anais.php>.

MIGUENS, Altineu Pires. **A navegação: ciência e a arte. Volume I - Navegação costeira, estimada e em águas costeiras**. Disponível em: http://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/publica_manualnav.html. Acesso em 05/07/2008.

MORENO, José Alberto. Secretaria da Agricultura. **Clima do estado do Rio Grande do Sul, 1960**.

NICOLODI, Joao Luiz; TOLDO Jr, Elírio E; GRUBER, Nelson L. S. Frequência e sazonalidade das marés meteorológicas no litoral norte do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DA ABEQUA (8. : 2001 : Mariluz, Imbé, RS). **Boletim de resumos**. Porto Alegre : Abequa, 2001. p. 212-214.

NICOLODI, Joao Luiz. Análise do tipo de ocupação da orla marítima do Município de Cidreira - RS : a relação com a incidência de ressacas e suas consequências. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA (13. : 2000 : Itajaí, SC)..**Anais.**, Itajaí : CTTMar, 2000. p.43-45.

NICOLODI, Joao Luiz. **O impacto produzido pelas ressacas no balneário de Cidreira, litoral norte do Rio Grande do Sul**. 1999. 95 f. Monografia (Trabalho de Graduação do Curso de Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

NOAA/Ocean Service Education. Coastal Currents. Disponível em <http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/currents/03coastal4.html>. Acesso em 21/06/2008.

NOAA/National Hurricane Center/Hurricane preparedness. Disponível em: http://www.nhc.noaa.gov/HAW2/english/storm_surge.shtml. Acesso em 21/06/2008.

OndasdosulRS. **Ressacas**. Disponível em: <http://www.ondasdosulrs.com.br/>. Acesso em 21/06/2008.

PATCHINEELAM, Soraya Maia. **Circulação Oceânica**. In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A; SICHEL, S. E. (orgs.) 2004. Introdução à Geologia Marinha. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. Cap. 7, p. 153-174.

PMT - Prefeitura Municipal de Tramandaí-RS. Fotografia: Sônia Brusius. Disponível em: http://www.tramandai.rs.gov.br/index.php?acao=conteudo&conteudos_id=119. Acesso em 05/07/2008.

PNGC, Plano **Nacional de Gerenciamento Costeiro**. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/pngc2.pdf. Acesso em 12/05/2008.

PONCE, Ernesto Tonatiuh Mendoza. **Coastal vulnerability to Storms in the Catalan Coast**. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya. 2008.

PUGH, David T. **Tides, surges and mean sea-level**. John Wiley & Sons, Chichester, 1987. xiv+472p.

RIBEIRO, Gustavo Guterres. **Situações atmosféricas que propiciam as marés meteorológicas**. 2003. xii, 84 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Divisão de Geografia e Cartografia. **Estado do Rio Grande do Sul: mapa morfológico**. Rio de Janeiro : Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1989.

SARAIVA, Jaci M. B.; BEDRAN, Carolina; CARNEIRO, Cristiane. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, RS, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, SC – Brazil. Special Issue, 35: p.323-331, 2003.

SERAU, Aline Keller. **Alterações morfológicas e sedimentares induzidas por tempestades costeiras. Praia do Concheiros do Albardão, RS, Brasil**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 1999.

SCHMITZ, Claudio Marcus. **A Precipitação de neve no Brasil meridional**. 2007. 67f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2007.

SPO/UFRJ - **Sistema de Previsão de Ondas**. Disponível em: <http://www.lamma.ufrj.br/spo/>. Acesso em 21/06/2008.

Surfguru. **Previsão litoral Norte do RS**. Disponível em: <http://www.surfguru.com.br/previsao/default.asp?lit=4&ini=01&mesini=9&ano=06>. Acesso em 21/06/2008.

TABAJARA, Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque. **Interações onda-praia-duna e manejo das dunas das praias de Atlântida Sul e Mariápolis, RS**. 2003. 216 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2003.

TABAJARA, Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque. Efeito dos ciclones extratropicais sobre as dunas frontais das praias de Osório-RS. In: CONGRESSO DA ABEQUA (8.: 2001: Mariluz, Imbé,RS). **Boletim de resumos**. Porto Alegre: Abequa, 2001. p. 53-55.

TABAJARA, Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque. Resposta e recomposição das praias e dunas após seqüência de ciclones extratropicais. In: **Gravel** Vol.2 (2004), p. 104-121.

TABAJARA, Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque. Resultante geológica causada pela passagem do Ciclone Catarina no litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: **Gravel** Vol.2 (2004), p. 125-130.

TOZZI, Heitor Augusto de Moraes. Mapeamento das tempestades do Atlântico Sul entre 1989 e 1999, nas cartas sinóticas e meteoro-marinhas. In: CONGRESSO DA ABEQUA (8. : 2001 : Mariluz, Imbé, RS). **Boletim de resumos**. Porto Alegre: Abequa, 2001. p. 553-554.

TOZZI, Heitor Augusto de Moraes. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS: campanha do outono e inverno de 1996. 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

TOZZI, Heitor Augusto de Moraes. Influencia das tempestades extratropicais sobre o estoque de sedimentos das praias entre rio grande e Chuí, RS. In: Semana Nacional de Oceanografia (10. : 1997 : Itajai,Sc). **Anais**. Itajai, SC: Facimar, 1997. p. 85-87.

TOZZI, Heitor Augusto de Moraes. Resposta das praias entre rio grande e chui a passagem de um sistema frontal de alta energia. In: Salao de Iniciacao Cientifica (6. : 1994: Porto Alegre, RS). **Livro de resumos**. Porto Alegre: UFRGS. Propesp, 1994. p. 26 resumo 62.

TRUCCOLO, Eliane; MATCHINSKE, Emma; DIEHL, Fernando. As Correntes Marinhas do Brasil. In: _____. **Geografia: ensino fundamental e ensino médio: o mar no espaço geográfico brasileiro**. Brasília: Ministério da Educação, 2006. Cap. 7/7, p. 226-230.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

UCSD - Scripps Institution of Oceanography. Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/cooljerk/361600873/in/set-72157594271190564>. Acesso em: 21/06/2008.

UNISANTA. **Correntes oceânicas e Massas de água**. Disponível em http://cursos.unisanta.br/oceanografia/correntes_marinhas.htm. Acesso em 21/06/2008.

VAREJÃO SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2001. 515 p.