

## OBSERVAÇÕES 'IN LOCO' REALIZADAS DURANTE A PASSAGEM DO FURACÃO CATARINA

**Emerson Vieira Marcelino**  
Núcleo Geodesastres-Sul (CRS/INPE)  
[emerson.marcelino@crs.inpe.br](mailto:emerson.marcelino@crs.inpe.br)

**Frederico de Moraes Rudorff**  
Instituto de Pesquisa e Prevenção em Desastres Naturais (IPEDEN)  
[rudorff@ipeden.org](mailto:rudorff@ipeden.org)

**Roberto Fabris Goerl**  
Instituto de Pesquisa e Prevenção em Desastres Naturais (IPEDEN)  
[roberto@ipeden.org](mailto:roberto@ipeden.org)

**Reinaldo Haas**  
Dpto. Engenharia Sanitária e Ambiental (CTC/UFSC)  
[haas@ens.ufsc.br](mailto:haas@ens.ufsc.br)

### RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar as informações meteorológicas e oceanográficas coletadas 'in loco' durante a passagem do Furacão Catarina em Bal. Arroio do Silva (SC). Os dados apresentados são qualitativos, baseados na percepção e experiência dos pesquisadores. Apenas variações bruscas na velocidade e direção dos ventos, elevação do nível do mar, temperatura e intensidade das chuvas foram registradas. Utilizaram-se as escalas Beaufort e Saffir-Simpson para estimar a velocidade dos ventos. No município de Bal. Arroio do Silva, os ventos mais intensos foram do quadrante sul (primeira fase), por volta da 01:00h (28/03/2004), com rajadas de 120 km/h, chuva forte e temperatura baixa. À 01:15h começou a passagem do "olho", as chuvas e os ventos cessaram abruptamente; o céu ficou limpo e a temperatura aumentou consideravelmente. Às 02:48h, os pesquisadores foram surpreendidos por ventos de aproximadamente 180 km/h (segunda fase), chuvas intensas e temperaturas muito baixas. Os principais danos foram os destelhamentos severos, destruição de edificações, queda de árvores e postes de energia elétrica, entre outros. Baseado na velocidade estimada dos ventos e na avaliação dos danos, o Furacão Catarina foi classificado como categoria 2, de acordo com a escala Saffir-Simpson.

**Palavras-chaves:** monitoramento, Furacão Catarina, Bal. Arroio do Silva, Santa Catarina, Brasil.

## OBSERVATIONS 'IN LOCO' REALIZED DURING THE PASSAGE OF HURRICANE CATARINA

### ABSTRACT

The aim of this paper is to present meteorological and oceanographic information obtained during the monitoring of Hurricane Catarina in Arroio do Silva County, Santa Catarina State, Brazil. The data presented are qualitative, based on the perception and experience of the researchers. Only abrupt variations of wind velocity and direction, storm surge, temperature, and rainfall intensity could be observed. The Beaufort and Saffir-Simpson scales were used for wind velocity estimation. At the Arroio do Silva County, the strongest southerly winds (first phase) occurred around 01:00 A.M. (03/28/2004), with gusts around 120 km/h (74 miles/h), heavy rainfall and cool temperature. At 01:15 A.M.,

when the hurricane's eye was beginning to pass over the monitoring site, winds and rain ceased abruptly; the sky began to clear; and temperature got very warm. At 02:48 A.M., the researchers were surprised by hurricane winds around 180 km/h (112 miles/h), heavy rainfall, and very cool temperature (second phase). The highest damages were roof failure, structural destruction, fall of tree and electric power posts, amongst others. Based on the wind speed estimation and on the damage assessment, Catarina was classified as a category 2 hurricane, according to the Saffir-Simpson scale.

**Key-words:** monitoring, Hurricane Catarina, Arroio do Silva, Santa Catarina State, Brazil.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias 27 e 28 de março de 2004, a região sul catarinense foi afetada por um fenômeno atmosférico atípico, que causou grandes danos e prejuízos aos diversos municípios impactados. Marcelino et al. (2005) citam que, em Santa Catarina, 14 municípios decretaram estado de calamidade pública e 7 situação de emergência, totalizando 21 municípios severamente afetados. Esse fenômeno deixou um prejuízo direto de mais de 200 milhões de reais, danificando cerca de 36% das edificações existentes na região sul catarinense. Deste percentual, mais de 2.000 edificações foram completamente destruídas.

Desde a década de 60, quando surgiram os primeiros satélites de observação da Terra, nunca havia sido registrado um fenômeno como este no Atlântico Sul. Além da localização geográfica, o Furacão Catarina apresentou outras particularidades, tornando-se num dos mais complexos fenômenos atmosféricos já registrados. Basicamente, o Catarina despreendeu-se no dia 20/03/2004 de um ciclone extratropical no Atlântico Sul, distante cerca de 1.000 km da costa brasileira. Conforme deslocava-se para o Brasil (Figura 1), a tempestade intensificou-se, adquirindo gradualmente um formato circular. No dia 26/03/04, a instabilidade já era considerada como um furacão, com a presença de um "olho" bem definido. Ao atingir o litoral catarinense, no dia 27/03/2004, apresentava características clássicas de um furacão (ciclone tropical), com ventos extremamente severos (MCTAGGART-COWAN et al., 2006).

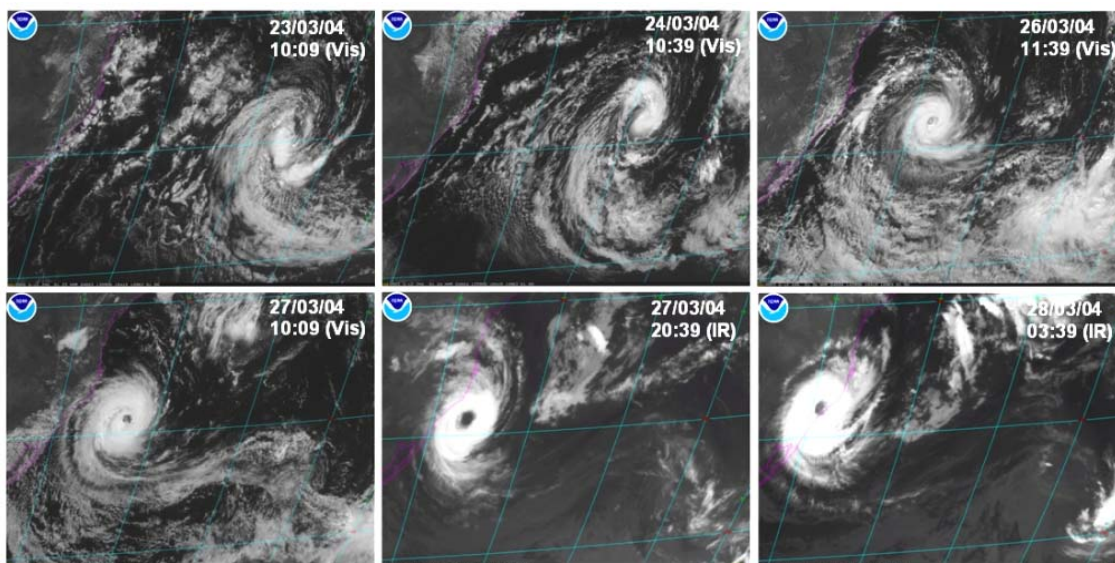


Figura 1 – Imagens do satélite GOES-12 mostrando a gênese e desenvolvimento do Furacão Catarina. Fonte: NOAA (2004).

Segundo Pezza e Simmonds (2005), a gênese desse furacão foi uma combinação rara de índices elevados de TSM (Temperatura da Superfície do Mar), baixo cisalhamento vertical e forte bloqueio latitudinal (média-alta), que interferiu no fluxo atmosférico leste-oeste. Entretanto, este fenômeno ganhou notoriedade por ter sido único no Oceano Atlântico Sul e por ter ocorrido em uma região do globo onde se havia previsto um aumento das tempestades severas para as próximas décadas.

O modelo climático global HadCM3, desenvolvido pelo Met. Office Hadley Centre, simula as condições climáticas associadas à formação de tempestades severas para concentrações dobradas de CO<sup>2</sup> na atmosfera. É interessante destacar que o Catarina desenvolveu-se sobre uma área que apresenta um dos maiores índices de tempestades no Atlântico Sul, isto é, a costa sul e sudeste brasileira, que estão assinaladas em vermelho na Figura 2. Salienta-se também que estas mudanças eram esperadas somente para a segunda metade do século XXI (MET. OFFICE, 2004).

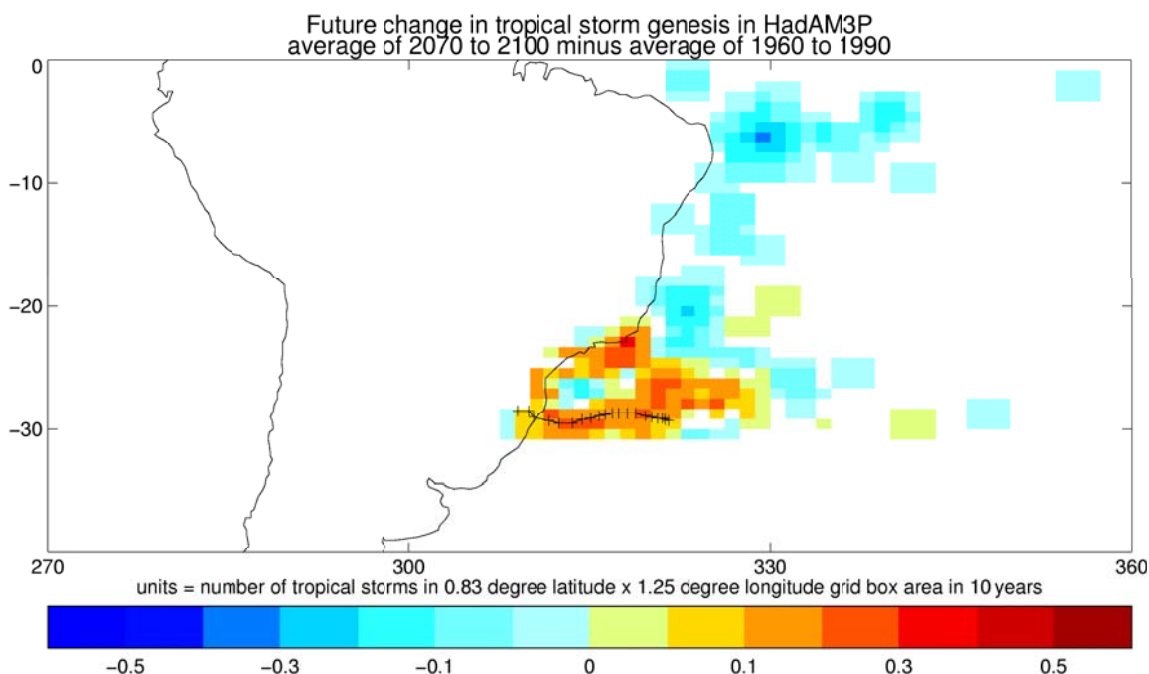


Figura 2 – Resultado do modelo HadCM3 do Met. Office que prevê o aumento de tempestades severas no Atlântico Sul e o trajeto realizado pelo Furacão Catarina. Fonte: Met. Office (2004).

Neste contexto, este artigo apresenta o resultado das observações 'in loco' realizadas durante a passagem do Furacão Catarina, nos dias 27 e 28 de março de 2004, no município de Balneário Arroio do Silva, localizado na região sul catarinense (Figura 3). A equipe que realizou as observações foi composta pelos geógrafos Emerson V. Marcelino e Roberto F. Goerl e pelo oceanógrafo Frederico M. Rudorff, pesquisadores do Grupo de Estudo de Desastres Naturais (GEDN) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A expedição também contou com a participação do físico Reinaldo Haas do Dpto. Eng. Sanitária e Ambiental da UFSC. O objetivo principal da ida ao centro da passagem do sistema foi monitorar e coletar informações meteorológicas e oceanográficas na área provável de impacto do Catarina. Estas informações serviriam de subsídio à previsão meteorológica e o gerenciamento das medidas de prevenção e mitigação realizado pelo Departamento Estadual de Defesa Civil (DEDC/SC).

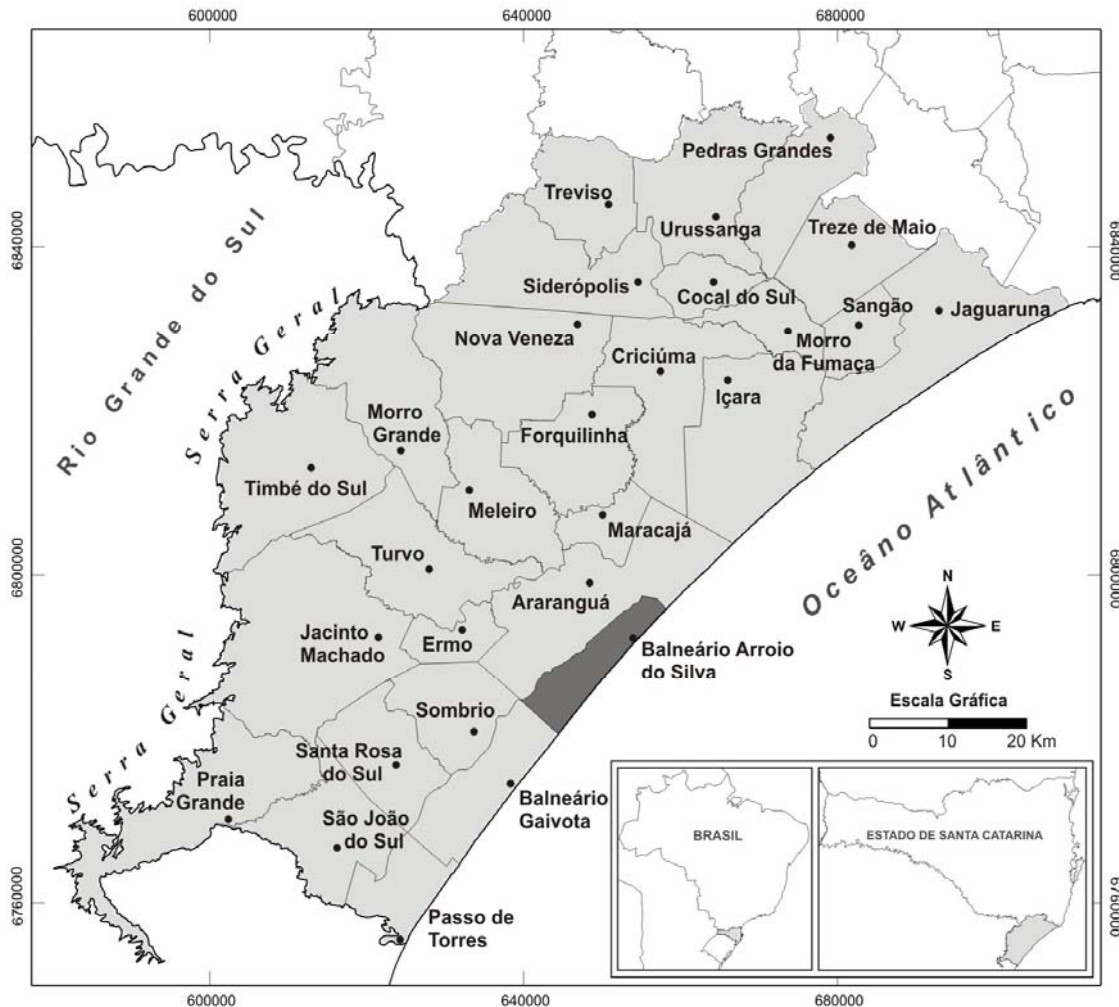


Figura 3 – Local de monitoramento do Furacão Catarina.

## 2. METODOLOGIA

Somente na manhã de sábado (27/03/2004) é que foi confirmada a passagem do “olho” do Furacão Catarina sobre o município de Bal. Arroio do Silva. Desta forma, não foi possível obter instrumentação clássica para as mensurações em campo, como termo-higrômetro, anemômetro, barômetro, entre outros.

Assim, os dados apresentados possuem caráter qualitativo, baseados na percepção e experiência dos pesquisadores que atuam na área de desastres naturais. Tais práticas são válidas e já foram aplicadas em outros monitoramentos e avaliações (SPARKS et al., 1992; NOAA, 1996). Assim, foram observadas as mudanças bruscas das seguintes variáveis: velocidade e direção dos ventos, temperatura, precipitação, tamanho das ondas e avanço do mar.

Para medir a velocidade dos ventos, utilizou-se a escala Beaufort que fornece uma estimativa da intensidade dos ventos com base nos efeitos causados pelos mesmos no ambiente a ele submetido (SPARKS, 2003). Após os ventos atingirem velocidades superiores a 120 km/h, utilizou-

se a escala Saffir-Simpson, aplicada para ventos de furacões, que segue os mesmos princípios da escala Beaufort (SIMPSON, 1974). As observações feitas durante a passagem do Furacão Catarina foram confirmadas posteriormente com a análise dos danos e entrevistas realizadas nos municípios mais atingidos (MARCELINO et al., 2004; MARCELINO et al., 2005).

Também foram realizadas observações do estado do mar, como altura das ondas e a mensuração do avanço do mar. A altura das ondas foi estimada visualmente, conforme metodologia proposta por Melo Filho (1991). A maré de tempestade (*storm surge*) foi monitorada indiretamente, medindo-se a largura da praia entre o nível máximo de espraiamento até a base da duna frontal com o auxílio de uma trena métrica. A maré de tempestade é uma maré meteorológica intensa que ocorre durante eventos de instabilidade severa, sendo definida pela elevação do nível do mar acima do nível previsto para a maré astronômica. Ela é resultante da complexa interação de ventos, pressão atmosférica, ondas, topografia local, velocidade da trajetória, proximidade, duração e intensidade da tempestade na costa (CARTER, 1988). Como não se dispunha de um marégrafo, optou-se por monitorar a largura entre o máximo do espraiamento e a base da duna frontal, uma vez que quanto mais intensa é a maré de tempestade, maior é o avanço do mar e, portanto, menor é a largura da praia seca.

Durante todo o processo de monitoramento foram feitos registros fotográficos das condições oceanográficas, do tempo e dos efeitos da destruição causada pelo furacão. Além disso, poucas horas após a ocorrência do Catarina, a equipe visitou diversos municípios atingidos que estavam sem comunicação, com o intuito de fornecer uma pré-análise da destruição a pedido da Defesa Civil.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Monitoramento 'in loco'

No entardecer de sábado (27/03/04), às 17:45 h, a equipe chegou em Bal. Arroio do Silva. No trajeto para este município também foram feitas observações nos municípios de Palhoça, Garopaba, Imbituba, Laguna e Jaguaruna.

Em virtude dos alertas emitidos pela Defesa Civil, uma boa parte da população de Bal. Arroio do Silva já havia saído do município. Este processo foi chamado de evacuação voluntária, visto que a população era instruída, através de alertas, a visitar parentes e amigos localizados nas áreas adjacentes ao provável local de impacto do Catarina. Estes alertas também forneciam informações passadas sobre o que fazer antes, durante e depois da passagem de um furacão. As informações foram obtidas nos sites da FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) e da Cruz Vermelha Americana (*American Red Cross*), sendo traduzidas e adaptadas às condições geográficas catarinense pelos membros da equipe GEDN. Mesmo assim, muitos moradores foram à praia almejando visualizar a nuvem funil, confundindo erroneamente com um tornado.

No momento da chegada, observaram-se nuvens cumulus congestus prenunciando a chegada do furacão. O vento soprava do quadrante sul, em torno de 40 km/h (força 6), com rajadas mais intensas. O mar apresentava ondas de até 3 metros, e o ponto máximo do estirâncio estava, em média, a 70 metros das dunas frontais (Figura 4). Por volta das 19:50 h começou a chover, e o vento continuava do quadrante sul, com rajadas mais intensas de aproximadamente 50 km/h (força 7). Às 21:15h, o vento atinge força 8, em torno de 60 km/h, do mesmo quadrante anterior. Conforme a intensidade do vento aumentava, ocorria um empilhamento das águas na costa em função do transporte de Ekman. Consequentemente, o mar avançava progressivamente, até atingindo pela primeira vez a duna frontal às 22:14 h.

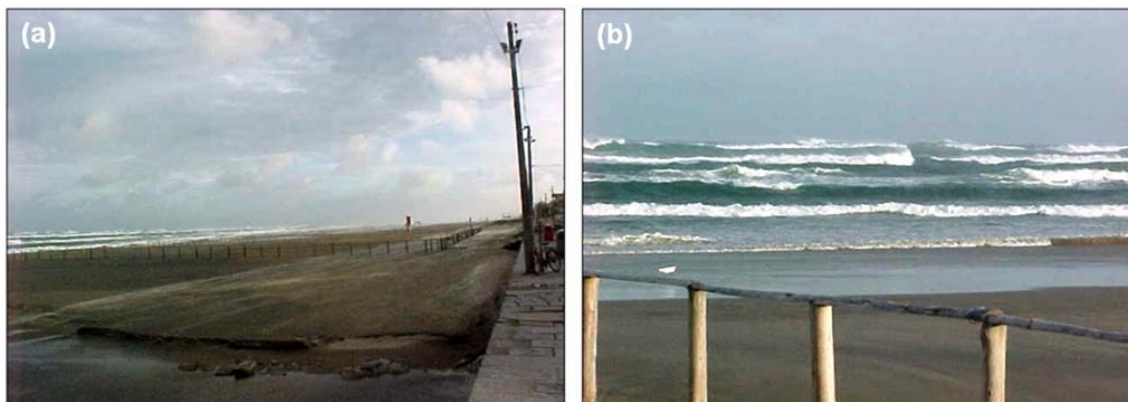


Figura 4 – Situação do mar em Bal. Arroio do Silva às 17:45 h em 27/03/2004: a) distância entre o mar e as dunas frontais; b) mar agitado com presença de grandes ondas.

Às 00:10 h do dia 28/03/2004 (domingo), os ventos atingiram força 9 (80 km/h) e a precipitação era muito intensa. As estruturas de lazer situadas na praia (Figura 4) foram levadas pelo mar e a duna frontal começou a ser erodida pelas constantes subidas da maré.

Às 00:36 h da madrugada de domingo (28/03/04), os ventos do quadrante sul atingiram força 10, com velocidade em torno de 100 km/h, dando assim início ao período de danos mais intensos, como a queda de árvores, placas, destelhamentos e o rompimento das linhas de transmissão elétrica, com conseqüente queda de energia no município. À 01:00 h, os ventos do quadrante sul continuavam em torno de 100 km/h (força 10), mas com rajadas de 120 km/h (força 12). Esse foi o momento mais crítico da primeira parte do fenômeno. Houve destruição generalizada das estruturas mais frágeis, como telhados de casas de madeira, pequenos galpões, queda de árvores e postes, entre outros. A precipitação era intensa e aumentava com o aumento da intensidade dos ventos. O mar havia avançado mais de 70 metros em relação ao início das observações, ultrapassando as dunas frontais, atingindo as casas que estavam situadas na orla.

A passagem do “olho” iniciou-se à 01:15 h. Com isto, os ventos e as chuvas cessaram abruptamente, as estrelas puderam ser vistas no céu e a temperatura aumentou consideravelmente. Houve uma queda acentuada da pressão atmosférica, fazendo com que os pesquisadores sentissem muita sonolência. Na calmaria, muitos moradores saíram em busca de auxílio em virtude dos danos ocasionados pela passagem da primeira fase do Catarina, ignorando os avisos emitidos pelas rádios de que os ventos seriam ainda mais fortes durante a segunda fase.

Às 02:48 h ocorre o fim da passagem do “olho”. Os ventos, agora provenientes do quadrante norte, chegaram subitamente com grande intensidade, atingindo velocidade em torno de 180 km/h. O barulho do vento era semelhante ao de uma turbina de avião, destruindo diversas estruturas frágeis que haviam resistido à primeira fase do fenômeno, além de outras mais resistentes, como as casas de tijolos e de alvenaria. Um orelhão de três cabines, que a equipe utilizava para entrar em contato com a Defesa Civil, foi arrancado pela ação dos ventos. A temperatura diminuiu drasticamente em relação ao “olho”, tanto que membros da equipe tremiam muito em função do choque térmico. A visibilidade era muito baixa e a precipitação era extremamente forte.

Neste período, com a inversão da direção dos ventos, o transporte de Ekman agora se dava para fora da costa, causando o rebaixamento do nível do mar. Às 03:15 h, a precipitação diminuiu sensivelmente e os ventos contínuos do quadrante norte baixaram para aproximadamente 150 km/h. A partir deste momento, pôde-se observar um “achatamento” das ondas, com as águas

escoando para o sul, paralelamente à praia, com grande velocidade. As chuvas e os ventos continuaram a diminuir gradativamente. Contudo, somente às 04:30 h os ventos diminuíram para força 09, possibilitando o deslocamento de veículos que prestavam os primeiros socorros na região. Às 05:15 h, a equipe chegou ao Corpo de Bombeiros de Araranguá, os ventos ainda continuavam do quadrante norte com força 8, chovendo pouco. A partir das 07:00 h, a equipe deslocou-se para outros municípios para realizar a pré-análise dos danos causados pelo Catarina.

Com base nesses dados, foi possível construir um gráfico com os valores de velocidade do vento estimados para Bal. Arroio do Silva (Figura 5). Nota-se que ficou bem demarcado o momento da passagem do “olho”, o que corresponde a um comportamento típico de ventos de furacão. Neste município, o Catarina causou destruição generalizada, com a destruição parcial (destelhamentos) e total de edificações, além da queda de árvores, postes e placas. Contudo outros municípios catarinenses foram tão ou mais afetados, com destaque para Bal. Gaivota, Passo de Torres e São João do Sul. Alguns municípios não tiveram tantos danos nas áreas urbanas, devido à diminuição gradativa da intensidade dos ventos do litoral para o interior. Todavia, na área rural os danos foram severos, pois as plantações de banana, e os cultivos de arroz e milho também foram seriamente afetados.

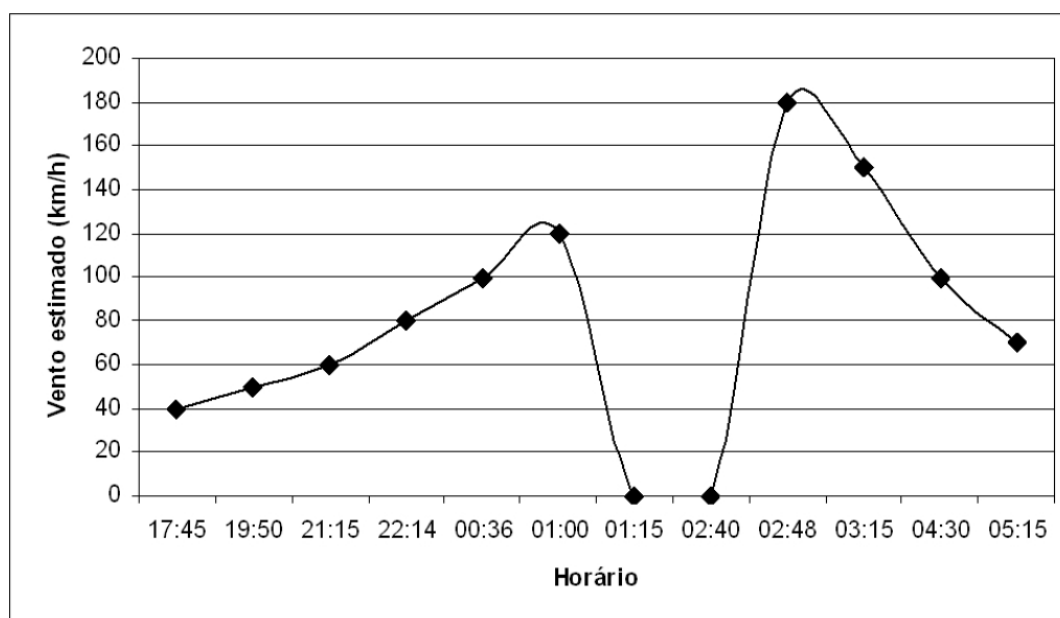


Figura 5 – Vento estimado em Bal. Arroio do Silva durante a passagem do Furacão Catarina.

De acordo com Marcelino et al (2005), utilizando dados dos relatórios de Avaliação de Danos (AVADAN) da Defesa Civil (Tabela 1) homologados pelo Decreto Estadual n. 1.691 de 26 de abril de 2004, o Catarina destruiu 2.194 edificações e danificou outras 53.728 (Figura 6), o que corresponde a 36,4% do total de edificações existentes na área de impacto (153.111). Os prejuízos foram significativos, em torno de 2 a 37 milhões de reais por município, totalizando R\$ 211.474.277,30, o que corresponde a US\$ 67.337.773,38 (cotação de 16/06/2004 – R\$ 3,14). Esses prejuízos correspondem aos custos diretos, que são representados pelos danos ocasionados na infra-estrutura produtiva (indústrias, agricultura, pecuária, etc.), na infra-estrutura de serviços (estradas, eletricidade, água, comércio, etc.) e na infra-estrutura social (casas, escolas, hospitais, etc.).

Tabela 1

Danos nas edificações causados pelo Catarina

Tipo	Unidade	%
Residências danificadas	44.815	80,1
Residências destruídas	653	1,2
Comerciais danificadas	8.451	15,1
Comerciais destruídas	1.535	2,7
Públicas danificadas	492	0,9
Públicas destruídas	6	---
Edificações danificadas	53.728	35,0
Edificações destruídas	2.194	1,4
Total edificações afetadas	55.922	36,4

Fonte: Marcelino et al. (2005).

Com relação ao número de pessoas afetadas, o Catarina deixou 24.181 desalojadas, 2.262 desabrigadas, 1.174 deslocadas, 435 feridas e 2 vítimas fatais. É interessante notar que a maioria dos feridos (80%) foi por descuido e imprudência durante o processo de reconstrução das residências e não durante o impacto dos fortes ventos.



Figura 6 – Danos causados pelos fortes ventos do Furacão Catarina: a) telhados destruídos; b) destelhamentos generalizados; c) destruição total de casas.



Convém salientar que, apesar dos avisos emitidos pela Defesa Civil, o baixo número de pessoas feridas e mortas pode estar relacionado não apenas aos alertas, mas também com a hora em que o Catarina atingiu a costa. Verificou-se que a maioria das pessoas não saiu de casa com medo da escuridão (baixa visibilidade), que dificultava a fuga da área de impacto. Conseqüentemente, havia poucas pessoas circulando nas ruas e estradas. Caso tivesse ocorrido durante o dia, acredita-se que muitos teriam se aventurado e poderiam ser facilmente atingidos pelos projéteis que eram lançados pelos fortes ventos.

De acordo com as entrevistas realizadas, o pânico foi generalizado nas áreas mais afetadas. Apesar de terem sido informados acerca do furacão, muitos duvidaram da intensidade e das conseqüências do fenômeno em virtude da falta de conhecimento (nunca tinha acontecido) e da confusão gerada pelos meios de comunicação. Alguns canais de rádio e televisão afirmavam que os ventos seriam intensos, outros que seria apenas um vendaval mais forte que o habitual. Isto gerou um sentimento de descrédito na população.

### 3.2. Comportamento atmosférico do Catarina sobre a área de impacto

Utilizando uma imagem do sensor MODIS, o Catarina apresentou um diâmetro de 650 km associado à área de influência indireta e de 500 km a de influência direta (Figura 7), ou seja, onde os ventos causaram mudanças significativas no comportamento atmosférico. O diâmetro do olho foi de aproximadamente 50 km. Para exemplificar a magnitude do fenômeno, a Ilha de Santa Catarina, que mede 54 km de extensão N-S, caberia dentro do “olho” do furacão.

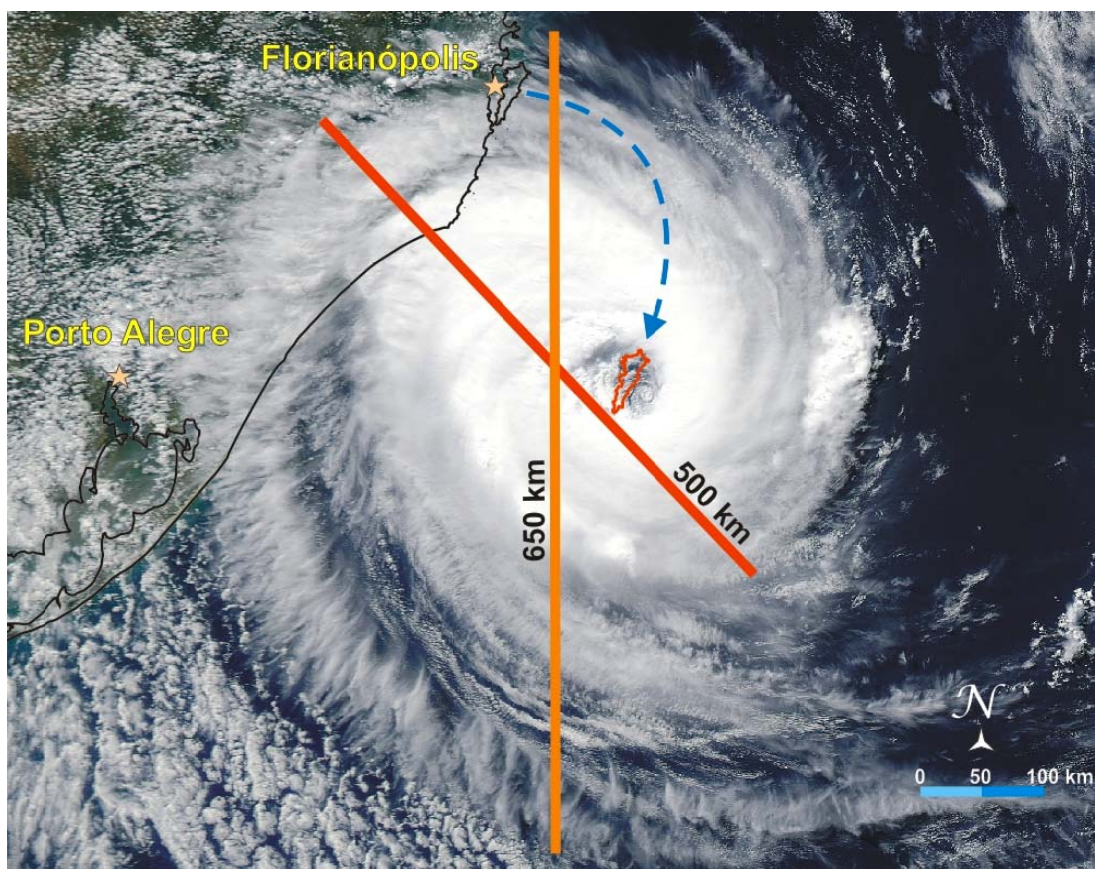


Figura 7 – Diâmetro do Catarina obtido através da imagem do sensor MODIS do dia 27/03/2004. Fonte: adaptada de NASA (2004).



Também ocorreram fortes chuvas próximas às encostas íngremes da Serra Geral, sobre os municípios de Jacinto Machado, Timbé do Sul e Praia Grande, onde foram registradas inundações bruscas (*flash flood*) e escorregamentos. Já na parte norte do “olho” (Figura 9), não ocorreram chuvas intensas, conforme estimativa de precipitação via satélite TRMM (GEVAERD et al., 2004).

O deslocamento do “olho” em direção a Serra Geral fez com que os ventos de sul soprassem inicialmente paralelos à Serra. Porém, com o avanço do “olho”, a porção sul passou a apresentar ventos ascendentes (anabáticos), enquanto a porção norte apresentava ventos descendentes (catabáticos). Assim, as chuvas orográficas estavam associadas aos ventos anabáticos, enquanto que na região norte, com ventos catabáticos, houve pouca precipitação.

Conforme pode ser observado na Figura 9, os elevados valores de TSM (temperaturas entre 26 e 27°C) na costa catarinense contribuíram para intensificar ainda mais o fenômeno nos dias precedentes ao impacto. Pezza e Simmonds (2005) comentam que apesar da TSM permanecer a maior parte do tempo abaixo do limiar propício para o desenvolvimento de furacões, no início da trajetória a TSM estava bem próxima dos 26,5°C necessários.

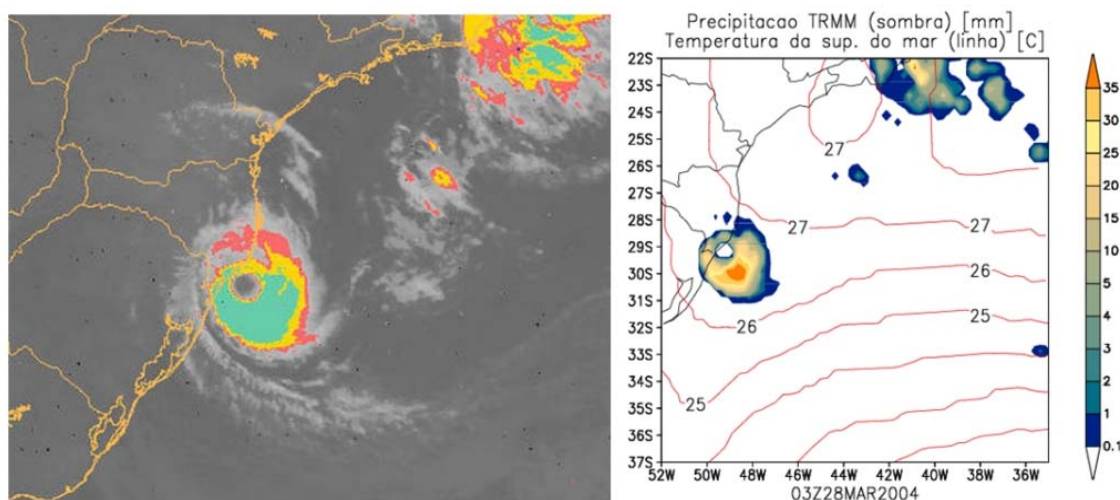


Figura 9 - Imagem do satélite GOES-12 do dia 27/03 (11:45h) e estimativa de precipitação do TRMM associada as isolinhas de TSM do dia 28/03 (00:00 h). Fonte: adaptada de Gevaerd et al. (2004).

Outro fato de destaque foi a diferença existente entre a temperatura do “olho” e a das nuvens localizada na borda ou parede do olho (*eyewall*). De acordo com a Figura 10, no dia 26/04/2004 (18:00 h), um dia antes de atingir a costa, a temperatura do olho era de aproximadamente 15°C, enquanto que a temperatura no topo das nuvens oscilava entre -55 e -40°C (CALEARO et al., 2004). A diferença corresponde a um intenso gradiente de 55 a 70°C. Pereira Filho e Lima (2006) não encontraram valores tão elevados. Utilizando imagens do satélite NOAA-16,

Os autores encontraram um gradiente de aproximadamente 20°C na superfície. A temperatura estimada no olho foi de 7°C e nas nuvens da parede foi de -13°C. Entretanto, esta medição foi realizada às 00:43 h do dia 27/03/04. Foi ao longo deste dia que o furacão atingiu sua intensidade máxima, o que pode ter alterado expressivamente o gradiente quando atingiu a costa.

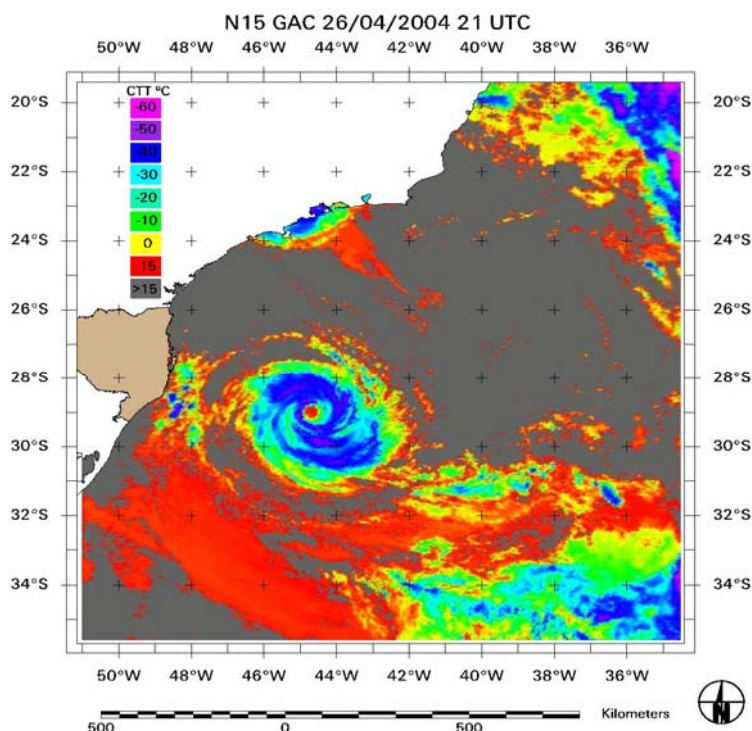


Figura 10 – Temperatura de topo de nuvem no dia 26/04/2004 (18:00h) mensurada com imagens do sensor AVRH. Fonte: Calearo et al. (2004).

Isto confirma as variações de temperatura observadas 'in loco', que foram suficientemente intensas para provocar um choque térmico nos pesquisadores, no início da segunda fase do fenômeno. Este é um dos principais fatores que contribuem para a diferenciação entre ciclones tropicais (furacão) e extra-tropicais. Nos furacões, a temperatura do olho é bem mais quente do que as bordas, ao contrário dos ciclones extra-tropicais, que é mais fria.

Outra particularidade do Catarina foi seu avanço em terra. Logo que atingiu a costa, o fenômeno se dissipou rapidamente, o que não corresponde com a dinâmica de furacões típicos, como os que ocorrem nos EUA. Os furacões tendem a percorrer grandes distâncias em terra, apesar do enfraquecimento progressivo. Como exemplo, cita-se o Furacão Erin ocorrido em 1995, com intensidade similar ao Catarina, que se formou próximo às Bahamas (LAWRENCE et al., 1998; POWELL e HOUSTON, 1998).

Durante a sua trajetória, atravessou a península da Flórida (aproximadamente 200 km), voltando a se intensificar no Golfo do México. A partir daí seguiu para o Norte, atingindo a cidade de Fort Walton Beach, no noroeste do Estado da Flórida, como um furacão de categoria 2. Conforme deslocava-se continente adentro, foi perdendo intensidade, mas até se dissipar percorreu centenas de quilômetros. Desta forma, acredita-se que o Furacão Catarina não avançou mais para o interior devido a presença da Serra Geral (Figura 11). Quando o fenômeno chocou-se com as encostas da Serra não havia mais condições de umidade, temperatura e pressão que pudessem alimentá-lo. Além disso, em poucos quilômetros ( $\pm 5$  km) a altitude aumenta de aproximadamente 200 para 1.200 metros.

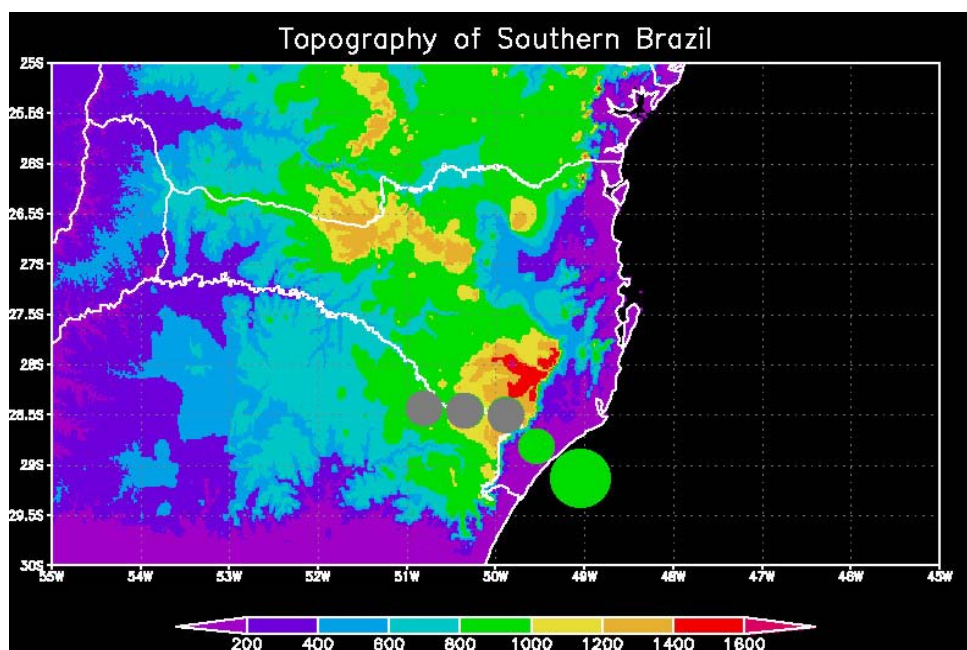


Figura 11 – Efeito da topografia sobre o desenvolvimento do Catarina. Fonte: Pezza e Simmonds (2006).

Esta ruptura na trajetória fez com que os danos refletissem o mesmo comportamento. Para melhor exemplificar, na Figura 12 é apresentado o mapa de intensidade de danos sobreposto ao modelo digital de terreno (MDT). No litoral, em virtude da ausência de barreiras topográficas, os ventos atingiram as edificações com intensidade máxima. Mas, ao deslocar-se algumas dezenas de quilômetros perdeu praticamente toda a sua intensidade. Tanto que, apesar de terem sido registradas algumas rajadas mais intensas nos municípios do planalto catarinense, os danos foram inexpressivos. Em alguns pontos próximos a Serra também foram detectados locais com danos mais concentrados. Isto se deve ao efeito de canalização dos ventos em vales e encostas da região, como bem explicitado por Marcelino et al. (2005).

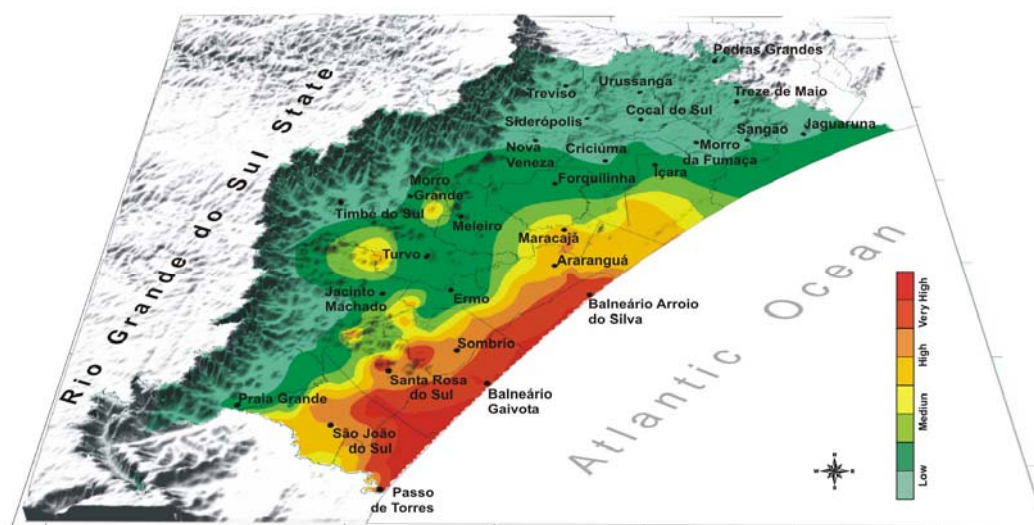


Figura 12 – Efeito da topografia sobre a intensidade dos danos do Catarina.

Em diversos municípios foram identificados acamamentos nos arrozais, ora lineares ora circulares (Figura 13). Os lineares foram produzidos por fortes rajadas de vento, enquanto que os circulares foram gerados pela presença de pequenos vórtices. Numa área próxima, os danos em uma indústria foram semelhantes aos produzidos por explosões associadas à variação brusca de pressão, como no caso dos tornados. Entretanto, é necessária a realização de estudos mais detalhados que possam confirmar tal hipótese.

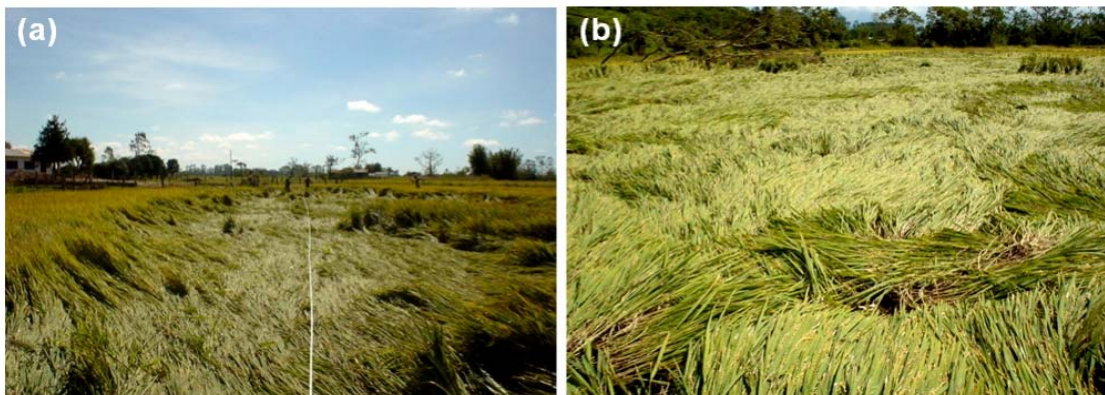


Figura 13 – Acamamento nos arrozais: (a) lineares e (b) circulares.

Em relação à maré de tempestade, acredita-se que ela foi mais intensa na porção sul da área afetada pelo furacão. O maior empilhamento da água ocorre quando os ventos sopram do mar em direção à costa. No caso do Furacão Catarina, ventos provenientes do quadrante leste e sudeste atingiram os municípios de Passo de Torres e região sul de Bal. Gaivotas com força máxima, causando forte empilhamento na costa. De fato, em Passo de Torres foram observadas grandes escarpas nas dunas frontais e leques de sobrelavagem que penetraram dezenas de metros além das dunas frontais. Nesta região, não foram observados danos causados pela maré de tempestade, pois a costa era pouco urbanizada e as casas e ruas estavam situadas bem atrás das dunas interiores.

Já no setor norte da área afetada, a maré de tempestade foi causada por ventos do quadrante sul que atingiram força máxima em torno de 120 km/h, nos momentos que antecederam a chegada do "olho". Esses ventos, devido ao efeito de rotação da Terra, também causaram maré de tempestade. No Hemisfério Sul, o transporte de Ekman faz com que o vetor resultante do transporte da água se dê a 90° para a esquerda do sentido do vento. Como a costa sul catarinense apresenta orientação NO/SE, os ventos do quadrante sul provocaram empilhamento no litoral do município de Araranguá. Após a passagem do olho, ventos fortes do quadrante norte, com velocidades em torno de 180 km/h, provocaram o rebaixamento do nível do mar.

Este tipo de efeito (empilhamento e rebaixamento) concorda com modelos que simulam marés de tempestade durante a passagem de furacões na costa leste dos Estados Unidos (WEISBERG e ZHENG, 2006). Apesar da maré de tempestade ter sido menos intensa nas áreas mais ao sul, no Bal. Arroio do Silva o mar chegou a inundar diversas casas que estavam situadas logo atrás das dunas interiores. No dia seguinte ao monitoramento, foram observados depósitos de areia que chegavam até o quintal de algumas casas.

### 3.3 Avaliação da intensidade dos ventos

A escala Saffir-Simpson é utilizada para classificar a intensidade dos furacões, cujos ventos atingem velocidades superiores 120 km/h (SIMPSON, 1974). Além da velocidade máxima dos ventos sustentados (*maximum sustained wind speed*), outros parâmetros podem ser utilizados para determinar a intensidade dos furacões, como a pressão mínima em superfície (*minimum surface pressure*), a altura da maré de tempestade (*storm surge*) e as conseqüências produzidas em terra.

Segundo Martins et al. (2004) e Pezza e Simmonds (2006), a velocidade do vento e a pressão atmosférica oficialmente medidas na estação meteorológica do município de Siderópolis foi de 146,7 km/h e 994 hPa, respectivamente (Figura 14). Tendo como base estes dois parâmetros, pode-se concluir que o Catarina foi um furacão categoria 1, como vem sendo amplamente divulgado pela mídia. Entretanto, o que se verificou em campo diverge dessa classificação.

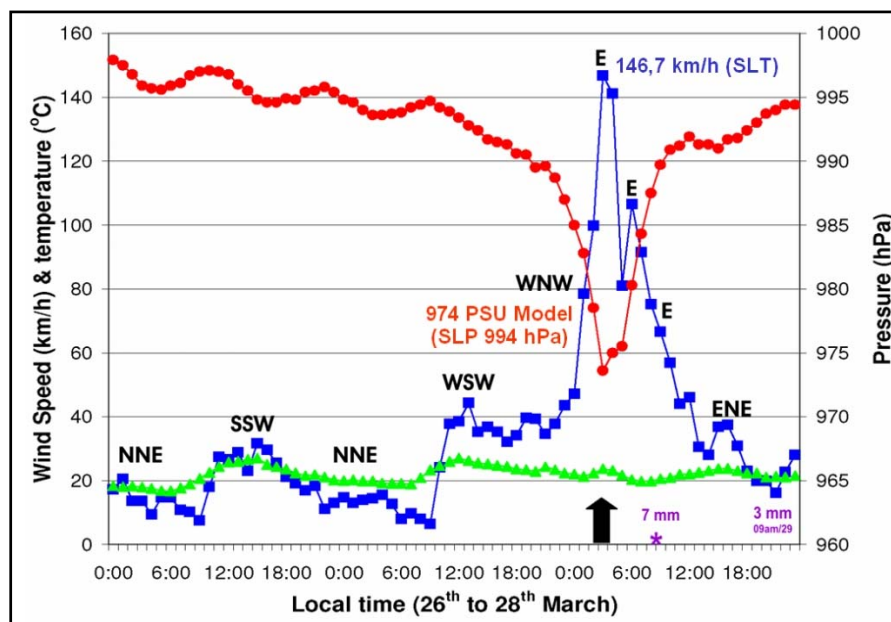


Figura 14 – Velocidade dos ventos e pressão atmosférica medida em Siderópolis (SC).  
Fonte: Pezza e Simmonds (2006).

De acordo com a avaliação preliminar dos danos realizada em campo, Marcelino et al (2005) classificaram o Catarina como um furacão de categoria 2. Conforme Simpson (1974), Coch (1994) e FEMA (2000), esta escala é caracterizada por ventos de 154 a 177 km/h, onde os principais danos observados são queda de grandes árvores, danos estruturais em telhados, destruição de casas de madeira e presença de muitos projéteis. Estes danos foram comumente observados nos municípios Bal. Arroio do Silva, Bal. Gaivota, Passo de Torres, São João do Sul, Santa Rosa do Sul e Sombrio.

Coch (1994) afirma que a velocidade dos ventos e os danos mais intensos sempre estão associados à passagem e à proximidade do “olho”, sendo que as pressões mais baixas são registradas no interior do mesmo. O autor também comenta que em uma distância de poucas dezenas de quilômetros o poder de destruição de um furacão pode mudar consideravelmente por

interferência positiva ou negativa do relevo. Esta mesma observação é feita por Walton (1976), que também menciona que a aproximadamente 25 km do olho ocorre normalmente uma queda acentuada da velocidade do vento.

No caso do Catarina, a estação meteorológica de Siderópolis está a aproximadamente 50 km do local onde foi feito o monitoramento 'in loco', considerado um dos locais mais afetados pelo furacão. Nas entrevistas aplicadas na região, houve unanimidade de que não houve passagem do olho sobre o município de Siderópolis. Os danos neste local foram considerados baixos quando comparados com os da faixa litorânea. No litoral as edificações, em geral, tiveram danos estruturais severos, muitas sendo totalmente destruídas, enquanto que no interior, próximo aos paredões da Serra Geral, houve em sua maioria destelhamentos leves (Figura 15).

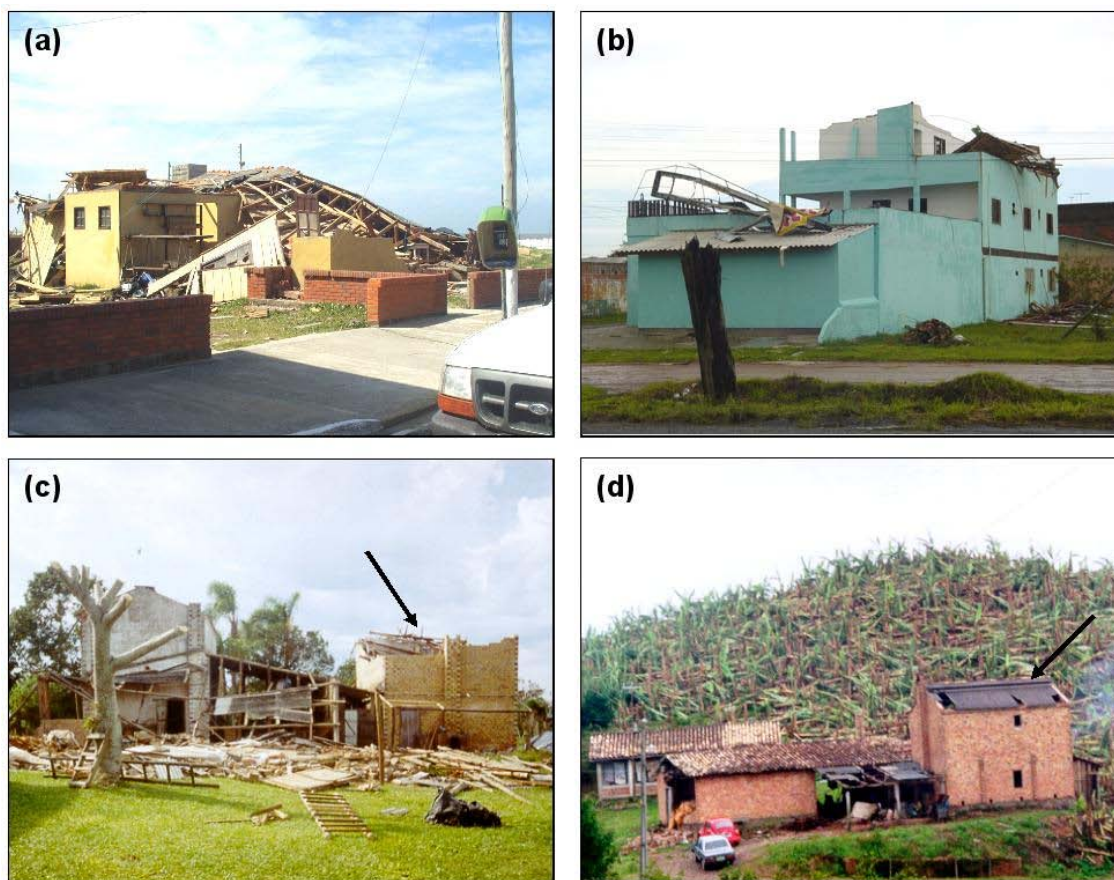


Figura 15 – Tipos de intensidade de danos: (a) Muito Alta (casa de tijolos destruída em Bal. Arroio do Silva), (b) Alta (destruição do telhado e avarias na estrutura da casa de alvenaria em Araranguá), (c) Média (destruição parcial da estufa de fumo em Santa Rosa do Sul) e (d) Baixa (perda total do bananal, destelhamento parcial da estufa de fumo em Jacinto Machado).

Para efeito de análise, utilizou-se as residências como referência, pois estas apresentaram grande similaridade (forma e estrutura) em toda a região afetada pelo Catarina. Assim, enquanto que em Siderópolis houve somente 1 residência destruída, em Bal. Arroio do Silva foram contabilizadas cerca de 150 residências (Figura 16). Isto vem confirmar ainda mais que a intensidade do vento em Bal. Arroio do Silva foi bem superior à medida em Siderópolis, o que ratifica a classificação adotada



para a intensidade do fenômeno e os ventos estimados através do monitoramento “in loco”. Além disso, esse gráfico também demonstra de forma geral que os municípios do litoral (barras escuras) foram afetados por ventos muito mais intensos do que os do interior (barras claras).

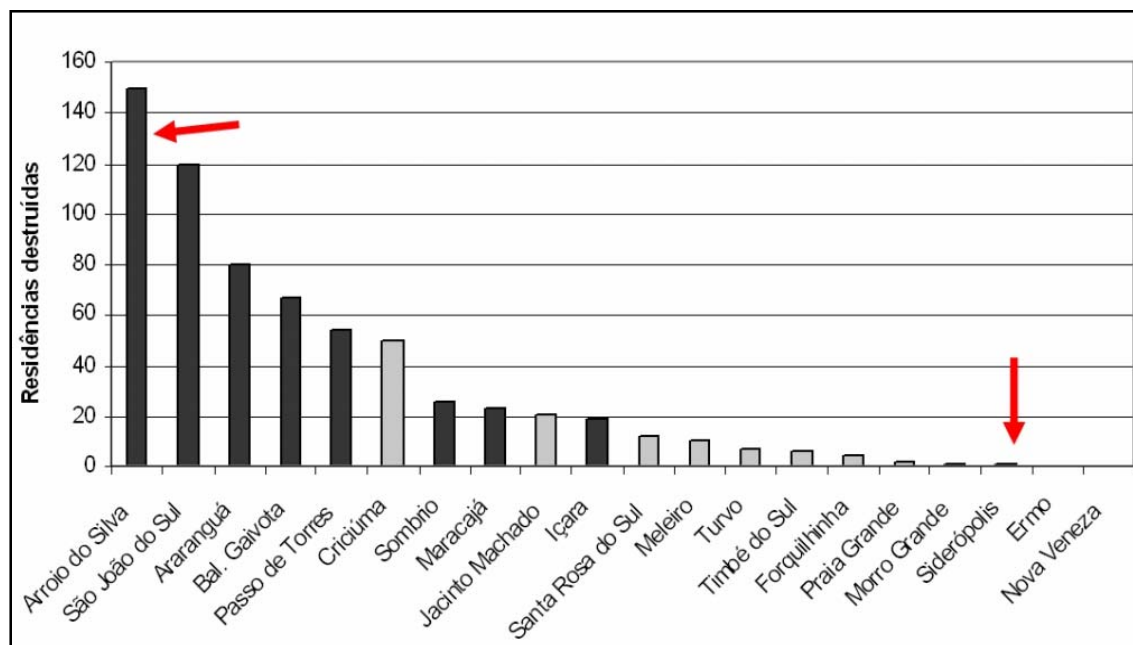


Figura 16 – Residências destruídas por município durante a passagem do Catarina.

Silva Dias et al. (2004) comentam que devido à intensidade dos danos do litoral os ventos podem ter atingido 50 m/s, que equivale a aproximadamente 178 km/h. Calearo et al. (2004) citam que na noite do dia 27/03/04 (23:40 h), foram registrados ventos com Força 14 (150-166 km/h) a cerca de 100 km da costa (29,30°S e 49,30°N) por um barco pesqueiro (Águia Dourada 11). Neste mesmo artigo, também é apresentado uma previsão do modelo *Geophysical Fluid Dynamics Lab* (GFDL) para furacões, mostrando que a pressão no olho para a madrugada de 28/03/04 chegaria a 985,4 hPa e a velocidade prevista seria de 150 km/h.

Mctaggart-Cowan et al. (2006), fazendo uma análise meteorológica detalhada do Furacão Catarina apresentam uma tabela onde são apresentados dados de pressão e ventos desde às 15:00 h do dia 19/03/04 até às 15:00 h do dia 28/03/04, medidos a partir de imagens de sensores que operam na faixa do microondas. A partir das 03:00 h do dia 26/03 ele foi considerado como um furacão classe 1 com ventos de 120 km/h. Na madrugada do dia 28/03, às 03:00 h, foram registrados ventos de 158 km/h e uma pressão de 972 hPa. Neste momento, o Furacão atingiu seu ápice, isto é, um furacão categoria 2 (Figura 17).

Estes dados concordam com as observações de campo em relação ao momento dos ventos mais intensos (02:48 h), e deixam claro que as medições realizadas em Siderópolis não refletiram a real intensidade do Catarina.

Com base nos dados de campo e na intensidade dos ventos estimada pelos sensores microondas, pode-se afirmar com segurança que o Furacão Catarina, quando atingiu a costa brasileira, apresentava características típicas de um furacão classe 2.



## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Isabela P. V. de Oliveira Marcelino pelas contribuições e revisão do trabalho, ao Edson F. Gonçalves pela composição do MDT com o Mapa de Intensidade de Danos e ao Departamento Estadual de Defesa Civil de Santa Catarina (DEDC-SC) pelo auxílio prestado na realização do monitoramento do Furacão Catarina e pelo fornecimento dos dados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALEARO, D. S.; ARAÚJO, G.; CORREA, C.; MORAES, M.; RODRIGUES, M. L.; MONTEIRO, M.; MARTINS, M.; VICTORIA, R.; ARAÚJO, C. E. Monitoramento do Catarina no centro operacional da EPAGRI/CLIMERH. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2004. (CD-ROM)

CARTER, R. W. G. **Coastal environments**: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London: Academic Press, 1988. 617p.

COCH, N. K. Geologic effects of hurricanes. **Geomorphology**, v.10, n.1-4, p.37-63, 1994.

FEMA – FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Design and construction guidance for community shelters**. Washington: FEMA, 2000. (FEMA 361)

GEVAERD, R.; LONGO, M.; DA SILVA DIAS, P. L.; BRANCO, F. V. Análise da precipitação associada ao Ciclone Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.734-748 (CD ROM)

LAWRENCE, M. B.; MAYFIELD, B. M.; AVILA, L. A.; PASCH, R. J.; RAPPAPORT, E. N. Atlantic hurricane season of 1995. **Monthly Weather Review**, v.126, p.1124-1151, 1998.

MARCELINO, I. P. V. O.; SAITO, S. M.; MARCELINO, E. V.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F. Análise dos questionários aplicados nas comunidades catarinenses mais atingidas pelo Ciclone Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.719-733 (CD ROM)

MARCELINO, E. V.; RUDORFF, F. M.; MARCELINO, I. P. V. O.; GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Impacto do Furacão Catarina sobre a Região Sul Catarinense: monitoramento e avaliação pós-desastre. **Geografia**, v.30, n.3, p.559-582, 2005.

MARTINS, M.; VICTÓRIA, R.; MONTEIRO, M.; MORAES, M.; CALEARO, D.; ARAÚJO, G.; CORREA, C.; RODRIGUES, M. L. Comportamento da pressão atmosférica e do vento máximo no episódio Catarina: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2004. (CD-ROM)

MELO FILHO, E. **Projeto Sentinelas do Mar**: instruções para efetuar as observações. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1991. 11p.

MET. OFFICE. **Catarina hits Brazil**: South Atlantic Hurricane breaks all the rules. Disponível em: <http://www.metoffice.com/sec2/sec2cyclone/catarina.html> Acesso em: 30 out. 2004.

MCTAGGART-COWAN, R.; BOSART, L. F.; DAVIS, C. A.; ATALLAH, E. H.; GYAKUM, J. R.; EMANUEL, K. A. Analysis of Hurricane Catarina (2004). **Monthly Weather Review**, v.134, p.3029-3053, 2006.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Earth Observatory & Natural Hazards. **Rare south Atlantic tropical cyclone.** Disponível em: [http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/shownh.php3?img\\_id=12036](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/shownh.php3?img_id=12036) Acessado em: 30 out. 2004.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **Hurricane Marilyn:** september 15-16, 1995. Silver Spring: NOAA, 1996. 81p. (Natural Disaster Survey Report).

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. Satellite Services Division. **Tropical Products.** Disponível em: <http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/catarina.html> Acessado em: 30 out. 2004.

PEREIRA FILHO, A. J.; LIMA, R. S. Synoptic and mesoscale analysis of Hurricane Catarina, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: 2006. p.1901-1907 (CD-ROM)

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I. The first South Atlantic hurricane: unprecedented blocking, low shear and climate change. **Geophysical Researcher Letters**, v.32, L15712, 5p., 2005.

POWELL, M. D.; HOUSTON, S. H. Surface wind fields of 1995 Hurricanes Erin, Opal, Luis, Marilyn, and Roxanne at landfall. **Monthly Weather Review**, v. 126, 1998, p. 1259-1273.

SILVA DIAS, P. L.; SILVA DIAS, M. A.; SELUCHI, M.; DINIZ, F. A. O Ciclone Catarina: análise preliminar da estrutura, dinâmica e previsibilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2004. (CD-ROM)

SIMPSON, R. H. The hurricane disaster potential scale. **Weatherwise**, v.27, p.169-186, 1974.

SPARKS, P. R. Wind speeds in tropical cyclones and associated insurance losses. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.91, n.12-15, p.1731-1751, 2003.

SPARKS, P. R.; REID, G. T.; REID, W. D.; WELSH, S.; WELSH, N. Wind conditions in Hurricane Hugo by measurement, inference, and experience. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.41, n.1-3, p.55-66, 1992.

WALTON, T. L. **Hurricane:** resistant construction for home. Florida: Florida Sea Grant Publication/NOAA, 1976. 32 p. (FLSGP-T1-76-003 C2)

WEISBERG, R. H.; ZHENG, L. Hurricane storm surge simulations for Tampa Bay. **Estuaries and Coasts**, v.29, n.6A, p.899-913, 2006.