

TORNADOS EM SANTA CATARINA: ANÁLISE METEOROLÓGICA E DE VULNERABILIDADE COM O AUXÍLIO DE GEOTECNOLOGIAS

Isabela Pena Viana de Oliveira Marcelino¹

Ernani de Lima Nascimento²

Nelson Jesus Ferreira³

ABSTRACT

Aiming to improve the knowledge of tornadoes in Brazil the current study analyzes their space temporal distribution in Santa Catarina (SC) state, as well as the associated vulnerability with this phenomenon. A review on the use of geotechnologies for tornadoes studies and also a case study of a tornado event that took place in Criciúma (SC) on January 3, 2005 are also presented. It was observed that tornadoes do occur practically every year in that region, having higher frequency of occurrence during the southern spring and summer. However, preventive measures in case of tornadoes outbreaks are still limited to assist the public to deal with its phenomenon, such that the local community's vulnerability is relatively high. The presented tornado analyses documents the synoptic conditions and the observed damages. It was observed that the storm in which the tornadoes were embedded developed in a meteorological condition different from its typical middle latitudes counterpart. These tornadoes classified as F1 and F2 left a footprint of destruction in Criciúma.

Keywords: Tornado, meteorological analysis, vulnerability assessment, Brazil

RESUMO

O presente trabalho pretende aperfeiçoar o conhecimento sobre tornados no Brasil, analisando a distribuição espaço-temporal de tornados em Santa Catarina, como também a vulnerabilidade associada a esse fenômeno. Uma discussão sobre o uso de geotecnologias para estudos de tornados será apresentada, como também um breve estudo de caso dos tornados ocorridos no município de Criciúma (SC) no dia 3 de janeiro de 2005. Constatou-se que os tornados ocorrem quase que anualmente em Santa Catarina, apresentando maior frequência nos meses da primavera e verão. Apesar disso, medidas preventivas para ocorrências de tornados são ainda limitadas no sentido de preparar a sociedade para lidar com esses fenômenos, tornando a vulnerabilidade das comunidades locais relativamente alta. A análise do episódio de tornado documenta a situação sinótica do ambiente atmosférico, bem como a análise dos danos ocasionados. As tempestades que geraram os tornados desenvolveram-se em condições meteorológicas que não apresentavam as características clássicas comumente observadas em ambientes atmosféricos típicos de tornados em latitudes médias. Esses tornados que foram classificados como F1 e F2 deixaram um rastro de destruição em locais distintos no município de Criciúma.

Palavras-Chave: tornado, vulnerabilidade, geotecnologias, análise meteorológica.

¹ Núcleo Geodesastres-Sul, Centro Regional Sul, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Santa Maria – RS. isabela@dsr.inpe.br.

² SIMEPAR Tecnologia e Informações Ambientais, Curitiba – PR. elnascimento@ufpr.br.

³ Divisão de Sensoriamento Remoto, Coordenação-Geral de Observação da Terra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP. nelson@ltd.inpe.br.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina, localizado na região sul do Brasil, é propício à ocorrência de vários fenômenos climáticos severos, como vendavais, tempestades de granizo, inundações e até mesmo tornados. Dentre os mais frequentes fenômenos que provocam desastres naturais no território catarinense estão as inundações graduais (enchentes), com 1.215 ocorrências para um período de 21 anos. Os demais tipos de fenômenos extremos apresentaram um terço da frequência das inundações (Herrmann, 2001). Desta forma, em virtude das frequentes ocorrências, alguns municípios já dispõem de medidas preventivas estruturais (obras de engenharia) e não-estruturais (sistemas de alerta, mapeamentos, etc.), que visam diminuir a vulnerabilidade e, conseqüentemente, os impactos causados por tais fenômenos naturais.

De acordo com o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP, 2004), o termo vulnerabilidade está associado ao nível de exposição e fragilidade de um sistema social em relação a um perigo natural. Uma das variáveis que contribuem para determinar o grau de vulnerabilidade é a capacidade de resistência e adaptação da população a esses fenômenos. Outras variáveis também são consideradas, como por exemplo, o baixo nível socioeconômico, a fragilidade das organizações sociais, a existência de edificações de baixa qualidade, dentre outros. Portanto, a vulnerabilidade é atenuada em áreas urbanas mais desenvolvidas, principalmente quando dotadas de planejamento e recursos específicos para mitigar as perdas advindas desses desastres (UNDP, 2004).

Santa Catarina apresenta graus diferenciados de vulnerabilidade em relação a cada tipo de fenômeno natural, a exposição física e social e a capacidade de resposta pós-evento (Cross, 2001). Enquanto já existem medidas preventivas para inundações, o mesmo não é válido para os outros tipos de perigos naturais. Com relação aos tornados, o território catarinense apresenta uma vulnerabilidade elevada, principalmente nas áreas urbanas, onde sua ocorrência pode provocar muitos danos e prejuízos, causando a destruição de edificações e resultando em elevado número de vítimas.

O tornado é definido como uma coluna de ar com rotação violenta em contato com o solo, normalmente observado como uma nuvem funil pendente de um cumulonimbus (Fujita, 1981). Doswell (2001) afirma que o tornado é formado pelo ar em movimento, cujos ventos são fortes o suficiente para causar destruição na superfície terrestre. Além de ser considerado como um dos mais violentos distúrbios atmosféricos, os tornados são normalmente acompanhados por intensas chuvas, precipitações de granizo e vendavais.

Santa Catarina é um dos estados brasileiros que apresenta as condições mais propícias para a ocorrência de tornados. O clima da região é caracterizado por passagens frequentes de sistemas frontais, sistemas convectivos de mesoescala e instabilidades isoladas que causam intensas precipitações, tempestades de granizo, vendavais e tornados (Marcelino, 2003, 2005). Além do que, vários episódios de tornados e trombas d'água (tornados na água) foram documentados nesse estado desde os anos 70. Brooks et al. (2003) também apresenta a Região Sul do Brasil como uma das áreas mais favoráveis no globo para a ocorrência de tempestades tornádicas, sugerindo assim, a necessidade de estudos mais aprofundados para essa região.

Neste contexto, o presente trabalho pretende aperfeiçoar o conhecimento sobre tornados no Brasil, analisando a distribuição espaço-temporal de tornados em Santa Catarina, como também a vulnerabilidade associada a esse fenômeno. Uma discussão sobre o uso de geotecnologias para estudos de tornados será apresentada, como também um breve estudo de caso dos tornados ocorridos no município de Criciúma (SC) no dia 3 de janeiro de 2005.

2. GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDOS DE TORNADOS

A utilização de geotecnologias para estudos de tornados é fundamental tanto na fase de prognóstico (previsão) quanto no diagnóstico. Na fase de prognóstico, a utilização de imagens de satélite e radar meteorológico torna-se imprescindível na determinação das áreas de instabilidades geradoras do fenômeno. No Brasil, apesar de poucos estudos enfocarem essa temática, alguns trabalhos tem sido realizados com imagens de radar visando o estabelecimento de um futuro sistema de alerta (Held et al., 2004; Held et al., 2005a; 2005b).

Quanto à fase de diagnóstico, que requer tanto estudos da atmosfera quanto da superfície, as geotecnologias também estão fortemente presentes, principalmente associados a imagens de satélites e de radar. Alguns trabalhos com esse enfoque já foram realizados no Brasil, por exemplo, Marcelino (2003) e Marcelino e Conforte (2003) utilizaram imagens do canal infravermelho termal do GOES-8 para gerar a temperatura de brilho do topo das nuvens. Essas imagens foram classificadas visando a identificação de células convectivas mais profundas, ou seja, as células prováveis que geraram os tornados. Eles também utilizaram imagens do radar *Precipitation Radar* (PR) do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para diagnosticar a distribuição horizontal e vertical da precipitação ao longo de uma tempestade. Todavia, como limitação, este radar apresenta baixa resolução temporal, o que resulta na perda de registro de diversos episódios de tempestades que ocorrem no globo.

No que se refere à avaliação dos danos ocasionados pelos tornados e a delimitação de sua trajetória, o GPS é uma ferramenta importante para que esses registros sejam feitos de forma precisa. Em cada ponto analisado é retirada a coordenada geográfica e estabelecida à intensidade dos danos (Figura 1), de acordo com a escala Fujita (1981). Ressalta-se que esta é uma das escalas mais utilizadas em todo o mundo para avaliação de danos de tornados. A intensidade é determinada em campo através da análise das edificações danificadas, da tipologia das árvores derrubadas, quebradas ou arrancadas, do tamanho dos projéteis lançados pelo tornado, etc. Por exemplo, utilizando esta metodologia foi possível classificar como F3 (Força 3 – 252 a 332 km/h) o tornado ocorrido em 24/05/05 no município de Indaiatuba/SP (Nascimento e Marcelino, 2005).

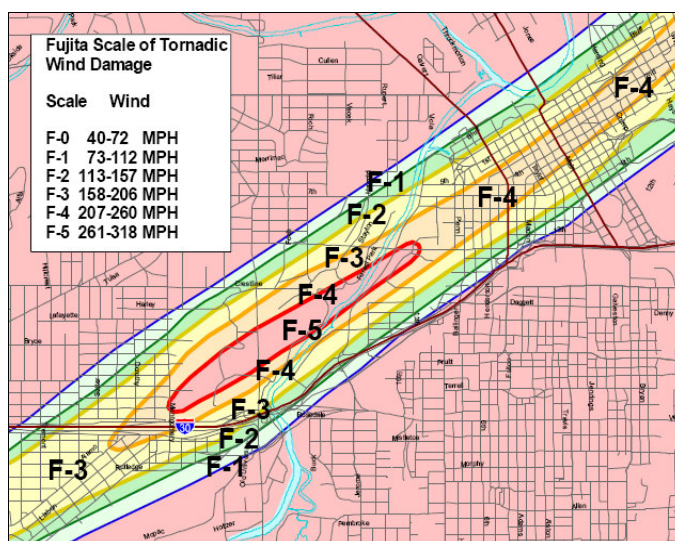


Figura 1 – Variação da intensidade do tornado ao longo de sua trajetória.
Fonte: Rae et al. (2001).

Imagens de satélites ambientais e fotografias aéreas também são utilizadas para determinar a trajetória dos tornados. Lillesand et al. (2002) realizaram diferentes processamentos digitais de imagens para melhor visualizar a trajetória percorrida por um tornado F3 que ocorreu no Estado de Wisconsin (EUA) em junho de 2001. Na Figura 2 pode-se observar a imagem do local da trajetória um mês antes da ocorrência do tornado (Figura 2a), enquanto na Figura 2b observar-se a trajetória do fenômeno um dia após a sua ocorrência. Neste trabalho foi utilizada a técnica de Componentes Principais (CP), para verificar as mudanças produzidas no solo pela passagem do tornado (Figura 2c).

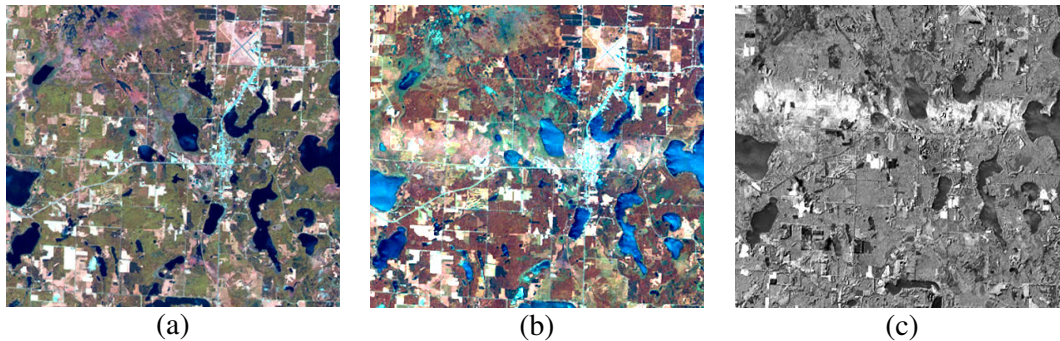


Figura 2 – Imagens do satélite Landsat-7, sensor ETM+, mostrando o local de ocorrência do tornado: (a) Imagem do dia 18/05/2001; (b) Imagem do dia 19/06/2001; (c) Imagem processada: segunda Componente Principal usando as bandas 1, 2 e 5 das imagens (a) e (b).

Fonte: Lillesand et al. (2002).

Outras técnicas de processamento digital também estão sendo usadas para delimitar os rastros dos tornados. Yuan et al. (2002) utilizou três técnicas de processamento digital de imagens para determinar os rastros dos tornados ocorridos em maio de 1999 em Oklahoma (EUA). A melhor técnica para determinar os rastros de tornados mais intensos foi a CP, que permitiu detectar tornados F4 nas áreas rurais e F3 nas áreas urbanas. A segunda técnica utilizada foi o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) (*NDVI analysis*) que se mostrou hábil para determinar tornados com danos F2 e F3, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais. A terceira técnica utilizada foi a detecção de mudanças com NDVI (*NDVI change analysis*) que permitiu identificar os tornados de intensidade F1 e F2 (Yang et al., 2002).

No Brasil, Dyer (1988; 1994) realizou a detecção de rastros de tornados no sudoeste do Brasil, Paraguai e norte da Argentina utilizando imagens do sensor MSS do satélite Landsat 1 e fotografias aéreas com resolução de 1:60.000. O autor concluiu que utilizando as imagens de satélite os rastros de tornados são mais fáceis de serem visualizados quando ocorridos sobre áreas com cobertura vegetal. Assim, como citado por Yuan et al. (2002), a identificação de tornados utilizando imagens multiespectrais está diretamente associada ao tipo de uso e cobertura do solo. Com a chegada dos satélites de alta resolução (ex. Ikonos, QuickBird, entre outros) variando de 1 a 5 m de resolução espacial, tais problemas diminuíram significativamente. Entretanto, o uso não muito freqüente destes sensores nos estudos sobre identificação dos rastros de tornados, deve-se ainda ao elevado custo das imagens (Yuan et al, 2002).

Ainda tratando-se da avaliação dos danos de tornados, alguns trabalhos têm apresentado modelagens da trajetória do fenômeno associado à estrutura urbana das cidades,

utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Isso também tem sido feito para estudos de análise de risco, realizando simulações em 3D de tornados que já ocorreram, em locais com alta probabilidade de ocorrência. Rae et al. (2001) realizaram um trabalho no qual utilizaram os dados dos tornados que ocorreram em maio de 1999 em Oklahoma (EUA) para simular vários cenários de destruição para as cidades do norte do Texas, avaliando assim seus impactos socioeconômicos (Figura 3).

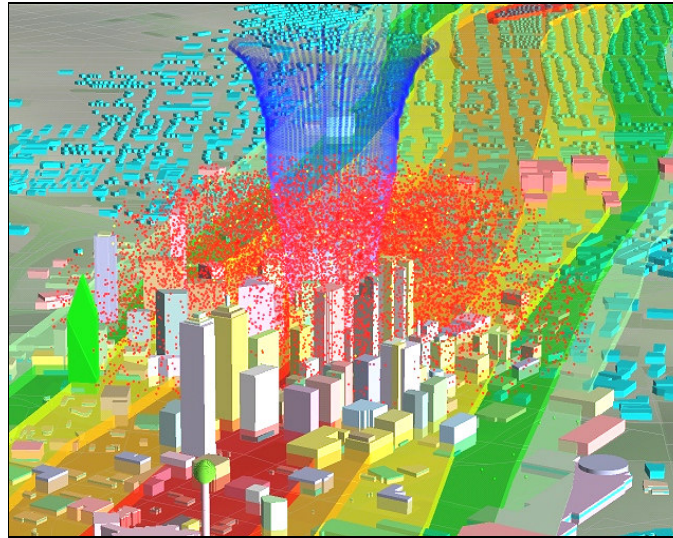


Figura 3 – Simulação em 3D de um tornado atingindo a cidade de Dallas - Texas.
Fonte: Rae et al. (2001).

O SIG também é uma poderosa ferramenta na avaliação, gerenciamento e comunicação de risco, podendo também ser amplamente utilizado na educação e capacitação das comunidades. Além disso, fornece subsídios para a resposta e reconstrução, oferecendo uma complexidade de dados e informações sobre a infra-estrutura das edificações, os danos potenciais, a localização dos abrigos, etc. Também é capaz de demonstrar os benefícios de ações de mitigações passadas e visualizar o potencial das iniciativas futuras, o que poderá resultar em alterações nas formas de uso da terra, na tipologia das construções e nos planos de prevenção de desastres (FEMA, 2003).

3. OCORRÊNCIAS DE TORNADOS EM SANTA CATARINA

3.1 Condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de tornados

A ocorrência de convecção profunda severa depende, fundamentalmente, da presença de quatro elementos atmosféricos: disponibilidade de umidade, instabilidade convectiva, cisalhamento vertical do vento e movimento ascendente que inicie a convecção (p.ex., Doswell e Bosart 2001). Tais padrões são comumente observados em condições precedentes à ocorrência de tempestades tornádicas em latitudes médias. Algumas características meteorológicas que acompanham esses padrões incluem: o esfriamento da atmosfera nos níveis médios (em torno dos 5 km de altitude), muitas vezes associado a um sistema migratório de baixa pressão em escala sinótica; uma camada de ar seco entre a baixa e a média troposfera (de 3 a 5 km de altitude); e presença de umidade na baixa troposfera (Johnson e Mapes, 2001). Quando estas características estão presentes simultaneamente, a atmosfera torna-se substancialmente instável.

Outros processos atmosféricos podem desempenhar um papel relevante no desencadeamento de convecção severa (e que pode, ocasionalmente, resultar em tornados). Um destes processos é o acoplamento entre correntes de jato da baixa e alta atmosfera, conforme descrito por Uccellini e Johnson (1979). Efeitos orográficos também podem contribuir para o desenvolvimento de convecção profunda (incluindo tempestades severas) uma vez que representam forçantes ascensionais para a iniciação convectiva. Esse assunto foi discutido, por exemplo, por Costa et al. (2001), que trataram do papel desempenhado pela forte interação entre o fluxo de escala sinótica e as encostas dos Alpes na formação de tempestades tornádicas na Itália. Entretanto a presença de orografia não é condição necessária para a formação de tornados.

Estudos mais recentes confirmam que os subtropicais da América do Sul, incluindo o sul do Brasil, está entre algumas das regiões do mundo onde eventualmente encontram-se condições sinóticas favoráveis ao desenvolvimento de tempestades convectivas severas, o que inclui tempestades capazes de produzir pedras de granizo de tamanho considerável, vendavais e tornados (Brooks et al., 2003; Nascimento, 2005). Em um trabalho relativamente recente, Brooks et al. (2003) conduziram uma análise “climatológica” global, cobrindo um período de três anos, sobre as condições atmosféricas conducentes ao desenvolvimento de tempo severo. Para este fim, eles calcularam, para todo o planeta (usando dados de 1997 a 1999), parâmetros atmosféricos usados para o prognóstico de tempestades severas e tornados nos Estados Unidos. Os resultados sugerem que a região subtropical da América do Sul está entre as mais ativas em termos de atividade convectiva potencialmente severa.

Há mais de uma razão para a região sul do Brasil (e parte do sudeste, mais o estado de Mato Grosso do Sul) estar incluída nas áreas suscetíveis à ocorrência de tempestades severas. Primeiro, ela é frequentemente influenciada por sistemas baroclínicos migratórios muito ativos, que estão associados a mudanças bruscas de temperatura, induzem a formação de ciclones em superfície (sistemas frontais e ciclones extratropicais) e favorecem o estabelecimento de cisalhamento vertical do vento (Nascimento, 2005). Segundo, a umidade oriunda da Bacia Amazônica é eficientemente transportada para as latitudes mais altas da América do Sul através da presença de escoamentos meridionais na baixa atmosfera, ou jatos de baixos níveis de norte, durante a estação quente neste continente (Berri e Inzunza, 1993). Este processo aumenta a oferta de umidade nos baixos níveis da atmosfera da região, o que também contribui para a desestabilização atmosférica.

O desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala sobre o Paraguai e nordeste da Argentina durante a estação quente está fortemente associado à presença do escoamento de norte em baixos níveis. Tais sistemas convectivos são responsáveis por acumulações de precipitações (que por vezes geram inundações repentinas), bem como pela ocorrência ocasional de fortes ventos em superfície, particularmente sobre o oeste de Santa Catarina (Monteiro, 2001). E conforme apontado por Marcelino (2003), a existência deste fluxo de norte na baixa atmosfera associado a ventos de oeste na alta atmosfera e a difluência zonal na alta troposfera favorecem a ocorrência de tempestades tornádicas (e trombas d’água) em Santa Catarina.

A configuração topográfica complexa do Estado de Santa Catarina também parece contribuir para a formação e/ou intensificação da atividade convectiva em virtude da eficiente forçante mecânica para movimento ascendente representada pelas cadeias montanhosas. Costa et al. (2001), no caso da Itália, e Marcelino (2003), no caso de Santa Catarina, constataram que as localizações circundadas por colinas e montanhas parecem ser mais suscetíveis à ocorrência de tempestades severas, simplesmente porque estas são regiões onde atividade convectiva é mais frequente.

3.2 Distribuição espaço-temporal de tornados em Santa Catarina

De acordo com Marcelino (2003) e Marcelino (2005), 45 episódios de tornados, possíveis tornados e trombas d'água foram registrados no território de Santa Catarina no período de 1976 a 2003. Nesse período, esses fenômenos causaram prejuízos da ordem de US\$ 9.300.000. Na Figura 4, a ocorrência de tornados pode ser observada ao longo desses 27 anos. A média anual de ocorrências de tornados para o período apresentado foi de aproximadamente dois episódios.

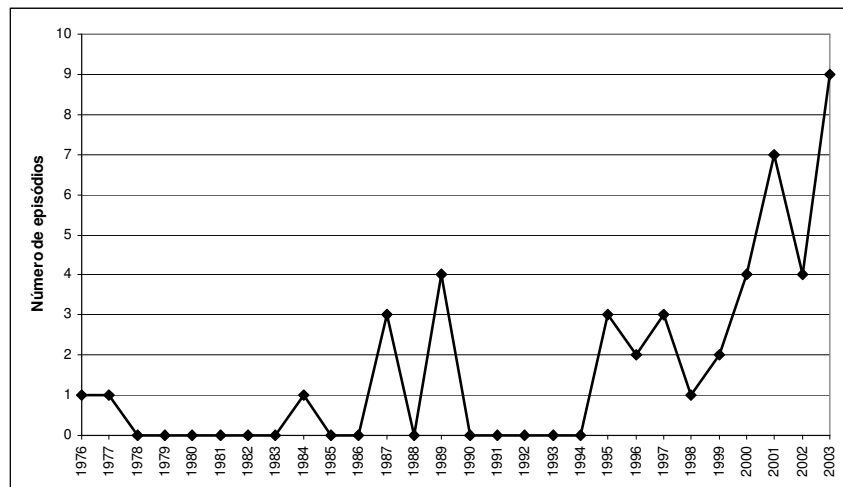


Figura 4 – Frequência anual de tornados em SC no período de 1976 a 2003.

Na Figura 4 verifica-se um aumento progressivo de tornados em Santa Catarina. Isso provavelmente está relacionado com a maior quantidade de dados e informação sobre esses fenômenos nos últimos anos. Desta forma, mesmo nos anos em que houve ausência de tornados, a hipótese de que eles tenham ocorrido não pode ser descartada. A falta de dados e informação sobre tais fenômenos e/ou a baixa intensidade dos danos podem ter contribuído para que não tivesse nenhum registro. Além disso, a grande falta de conhecimento aliada à confusão entre tornados e outros fenômenos fizeram com que muitos eventos de tornados fossem erroneamente registrados como vendavais (Marcelino et al. 2005).

Na Figura 5, pode-se observar a distribuição sazonal da ocorrência de tornado, no qual a estação do verão (janeiro e fevereiro) e da primavera (setembro, outubro e novembro) destacam-se como os períodos do ano mais favoráveis à ocorrência desse fenômeno.

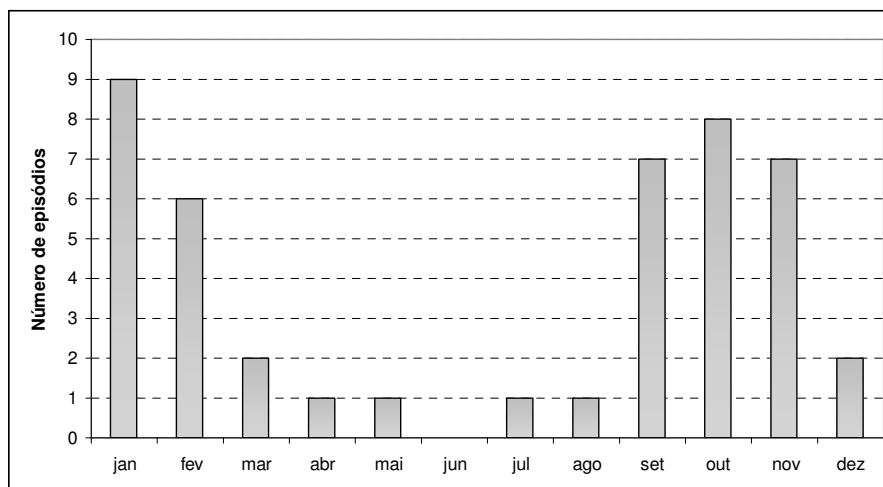


Figura 5 – Distribuição mensal de tornados em SC no período de 1976 a 2003.

O verão em Santa Catarina é caracterizado por temperaturas elevadas e umidade. Um dos sistemas atmosféricos que mais originam fenômenos atmosféricos extremos neste período são sistemas convectivos isolados. Essas tempestades formam-se como resultado do aquecimento da superfície durante o dia, o que causa instabilidades convectivas, geralmente durante o período da tarde. Durante a primavera, outros sistemas atmosféricos contribuem significativamente para a geração de tornados, a exemplo dos sistemas convectivos de mesoescala (CCM) e sistemas frontais transientes. Os CCMs formam-se na região do Chaco (Paraguai) e quando atravessam o Estado de Santa Catarina causam chuvas intensas, tempestades de granizo, vendavais e tornados (Silva Dias, 1996). Apesar de serem mais intensas e freqüentes no inverno, as frentes frias ainda podem surgir com intensidade elevada na primavera. Quando essas frentes frias aparecem, associadas aos CCMs, elas criam situações ainda mais favoráveis a eventos extremos, como tornados (Marcelino, 2003).

A distribuição espacial dos tornados no território de Santa Catarina pode ser observada na Figura 6. Foram registrados tornados nas regiões centrais do Estado, em particular nos municípios de Xanxerê, Florianópolis, Canoinhas, Itapoá, Joinville, Penha, Piçarras, Maravilha, Laguna e Foquilha. Esses municípios apresentaram um grande número de registros do fenômeno aliado a uma maior vulnerabilidade em relação aos demais municípios do Estado, tendo em vista suas densidades demográficas.

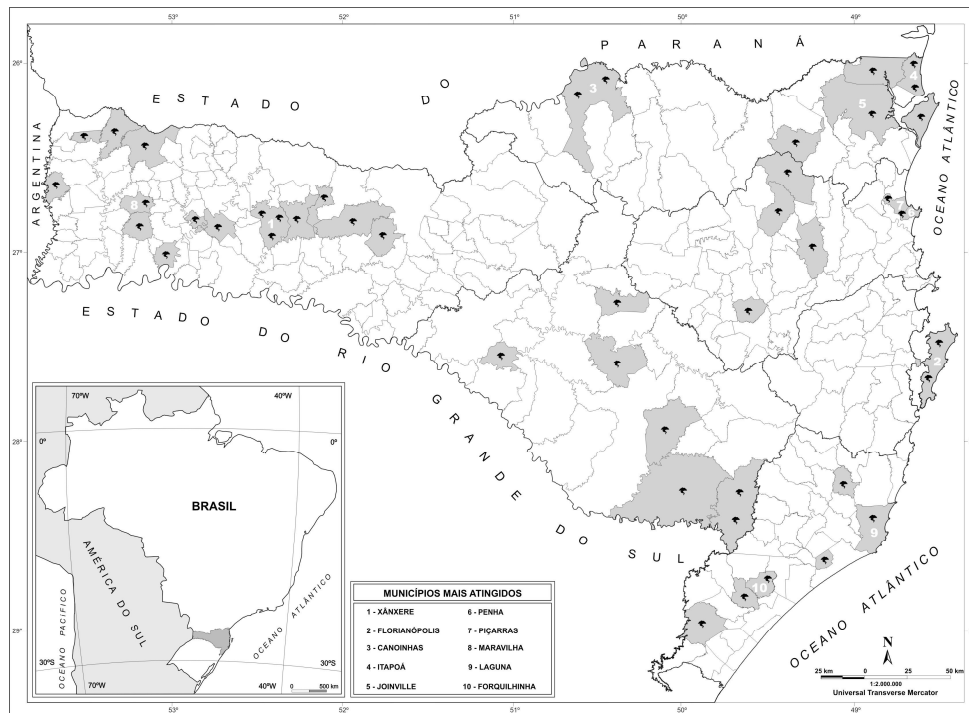


Figura 6 – Distribuição espacial de tornados em SC no período de 1976 a 2003.

3.3 O despreparo da população frente à ocorrência de tornados em Santa Catarina

O despreparo da população para enfrentar os tornados, tanto em Santa Catarina, quanto no território nacional, é notável. Isso se deve, primeiramente, pela falta de conhecimento do fenômeno, visto que ainda existe grande confusão com os vendavais. Conseqüentemente, não conhecendo o fenômeno, as ações preventivas são praticamente inexistentes. Para mostrar tal problemática, apresentam-se algumas denominações dadas aos tornados:

- No município de Maravilha (SC), o tornado ocorrido em outubro de 1984, foi chamado de “furacão” pelo jornal local;
- O tornado em São Joaquim (SC) foi denominado como “vendaval” (erro mais comum);
- O tornado ocorrido no município de Meleiro em fevereiro de 1996 foi chamado pelo Jornal da Manhã e por residentes de “tufão” e “redemoinho de vento”;
- O tornado de Piçarras também foi chamado de “redemoinho de vento” por um residente atingido;
- O tornado ocorrido em Joinville em janeiro de 1999 também foi chamado de “redemoinho de vento”.

Para melhor exemplificar, conforme verificado na Figura 7, o tornado de Forquilha ocorrido em novembro de 1999 foi o primeiro episódio com registro fotográfico do funil do tornado. Mesmo assim, esse fenômeno foi considerado pelo jornal A Notícia como sendo um “vendaval”.

Tornado em novembro de 1999 no município de Forquilha, citado corretamente como “tornado” pelo jornal Diário Catarinense, 25/11/99, Florianópolis/SC.	
Tornado em novembro de 1999 no município de Forquilha, reportado erroneamente como “vendaval” pelo jornal A Notícia, 25/11/99, Joinville, Santa Catarina/SC.	

Figura 7 – Diferentes denominações atribuídas aos tornados em SC.

Além da falta de conhecimento por parte da comunidade, um outro fator que contribui para aumentar a vulnerabilidade social é a falta de equipamentos adequados para monitorar e melhor entender a dinâmica dos tornados, tais como radares e estações meteorológicas. Esses equipamentos são fundamentais para realizar os diagnósticos que por sua vez, servem de base para a previsão deste fenômeno. Além disso, a falta de conhecimento da população em saber como agir diante de um episódio de tornado é visível para todo território nacional. O preparo da população como medida preventiva é fundamental para evitar que ocorram vítimas fatais. Os tipos de construções também aumentam a vulnerabilidade das comunidades atingidas, uma vez que residências e edifícios são construídos desconsiderando-se a possibilidade de ocorrência de tornados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O diagnóstico dos danos ocasionados pelos dois tornados ocorridos no município de Criciúma foi realizado em campo utilizando-se GPS para demarcar a trajetória dos tornados e analisando os tipos de danos ao longo do rastro. A escala utilizada foi a Fujita (1981) que descreve os tipos de danos para cada intensidade relacionada. Apesar de se tratar de uma estimativa da intensidade e restringir-se a uma análise de danos (Doswell e Burgess, 1988), a utilização desse método para classificação dos tornados é utilizada em praticamente todo o globo.

O diagnóstico atmosférico em escala sinótica também foi realizado utilizando-se imagens de satélites e radar meteorológico, dados do modelo de mesoescala Eta/CPTEC apresentados em pontos de grades georreferenciados em 40 km x 40 km de latitude e longitude. Esses dados foram processados no *Grid Analysis and Display System* (GrADS) para vários campos de variáveis meteorológicas fornecendo informações sobre o ambiente atmosférico que favoreceu a formação do tornado.

5. ESTUDO DE CASO: TORNADOS EM CRICIÚMA

No dia 3 de Janeiro de 2005, ocorreram dois tornados no município de Criciúma, localizado no sul do Estado de Santa Catarina (Figura 8). O primeiro atingiu o bairro de Manaus, no centro da cidade. O segundo tornado, que surgiu aproximadamente trinta minutos após a passagem do primeiro, atingiu os bairros de Metropól e Colonial, na área adjacente ao centro de Criciúma.

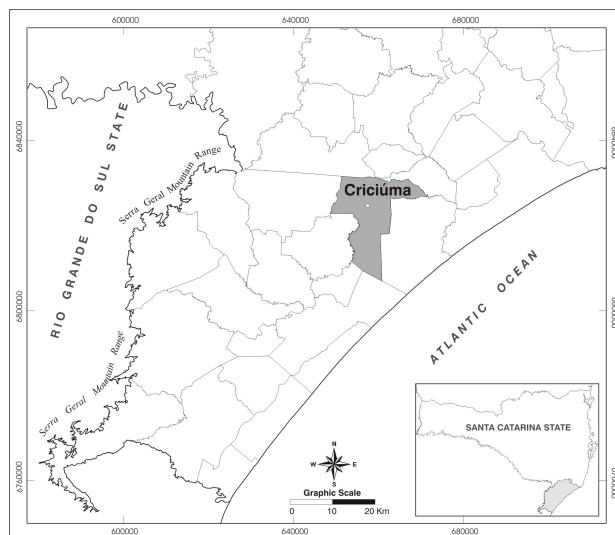


Figura 8 – Localização do município de Criciúma - SC.

A região centro-sul de SC constitui-se de uma planície costeira, próxima às encostas íngremes da Serra Geral, que apresentam altitudes médias de cerca de 1.000 m. A proximidade ao mar (maritimidade), a presença de áreas pantanosas e da Mata Atlântica contribuem para aumentar as taxas de umidade observadas na região. Além disto, a presença da Serra Geral favorece movimentos verticais ascendentes (efeito orográfico), os quais aliados às elevadas taxas de umidade e calor, geram condições propícias à formação de tempestades convectivas locais, associadas ou não a outros sistemas atmosféricos de escala regional, tais como frentes frias.

5.1 Análise sinótica

Nesta seção, será apresentada uma análise meteorológica preliminar dos tornados de 3 de janeiro de 2005, reproduzindo alguns resultados de Nascimento e Marcelino (2005). Esta análise não pretende ser uma descrição exhaustiva do ambiente de mesoescala no qual se formaram as tempestades que originaram os tornados, mas fornece uma visão geral das condições sinóticas nas quais as tempestades ocorreram. As áreas de instabilidades que geraram um dos tornados podem ser vista na Figura 9.

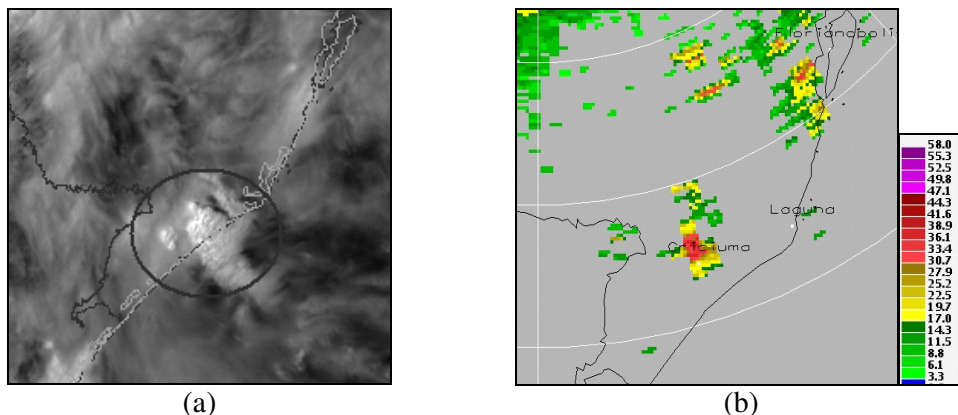


Figura 9 – (a) Imagens do satélite GOES-12, canal visível, dia 03/01/2005 às 17:45 UTC; (b) Imagem PPI do campo de refletividade (dBz) do radar do

SIMEPAR para o dia 03/01/2005 às 17:50 UTC. Fonte: Adaptado de Nascimento e Marcelino (2005).

As condições meteorológicas reinantes durante as horas que antecederam o evento dos tornados e no horário próximo à ocorrência dos mesmos serão examinadas com o auxílio das Figuras 10 e 11, respectivamente. A Figura 10 refere-se à análise do modelo operacional ETA-CPTEC (Seluchi e Chou, 2001) às 12 Z do dia 03/01/2005, enquanto que a Figura 11 mostra a previsão operacional de 6-h deste modelo válida para as 18 Z (exatamente como emitida no dia do evento).

A Figura 10a ilustra as condições atmosféricas em superfície na manhã do dia 03/01/2005. Um sistema de baixa pressão bem definido localizava-se sobre o Paraguai, com um cavado também evidente sobre o litoral do Rio Grande do Sul (RS). Este cavado promoveria chuvas fortes sobre o centro do RS horas mais tarde, chuvas estas que não teriam influência direta sobre o episódio tornádico.

Ventos de quadrante norte prevaleciam sobre todo o sul do Brasil. Sobre o Atlântico Sul estabeleceu-se um gradiente de pressão zonal relativamente forte que favorecia ventos de NE em superfície ao longo do litoral sul brasileiro. Este escoamento contribuiu para uma importante convergência do fluxo de umidade ao longo da costa de SC (Figura 10b) que viria a desempenhar papel relevante para o desenvolvimento da atividade convectiva horas mais tarde. Em 850 hPa os ventos permaneciam de quadrante norte, advectando umidade para as latitudes subtropicais do Brasil (Figura 10c).

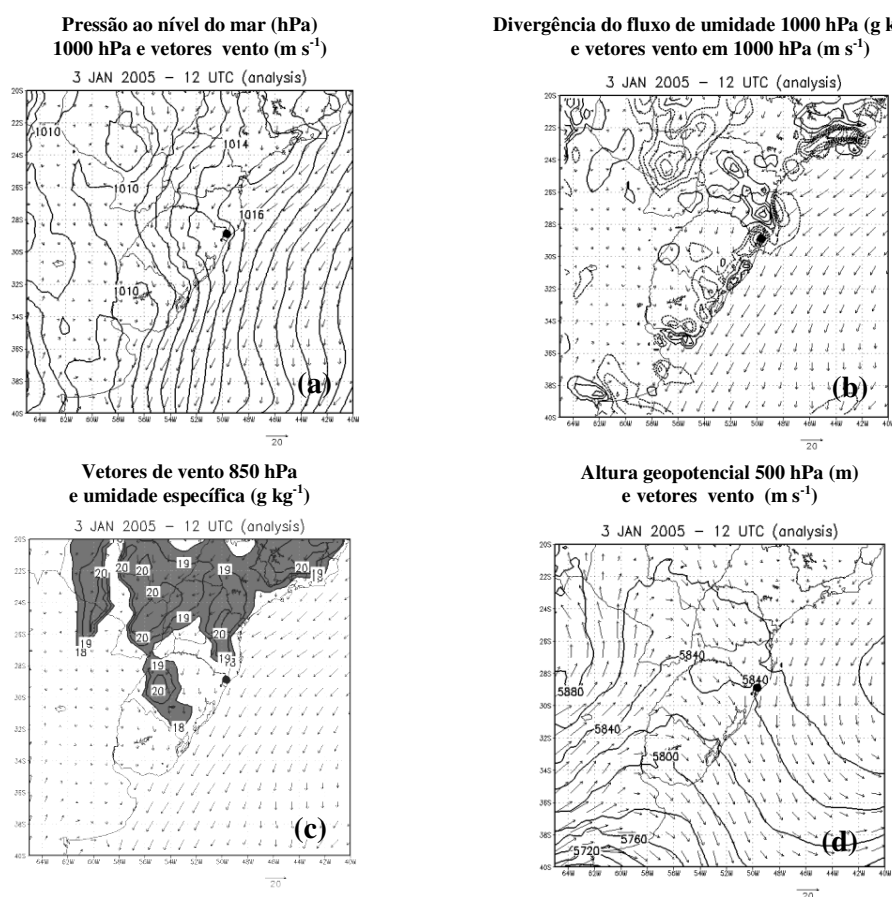


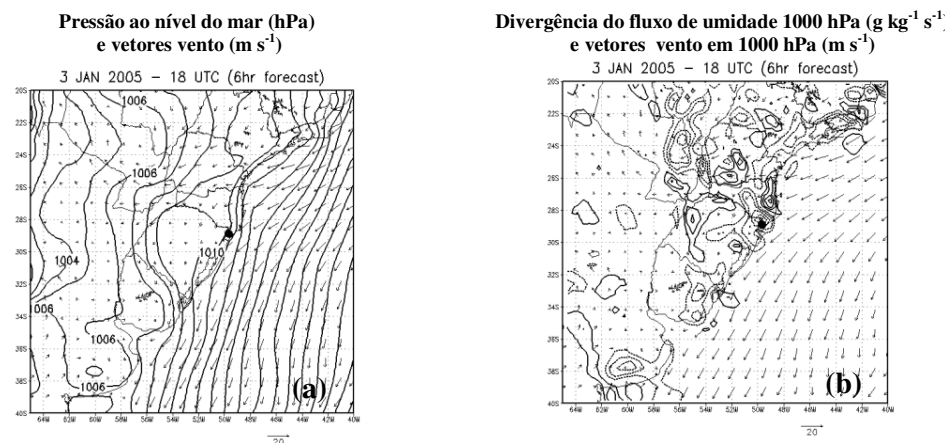
Figura 10 – Análise do modelo Eta/CPTEC válida para as 12 Z do dia 03/01/2005. Vetores representam: ventos a 10 m em (a) e (b), e ventos em 850 hPa e 500hPa em (c)

e (d), respectivamente. Contornos são: (a) pressão ao nível do mar indicada em intervalos de 1 hPa; (b) divergência de umidade em intervalos de $2 \times 10^{-5} \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (linhas pontilhadas são valores negativos, com a linha de zero sendo omitida); (c) umidade específica em intervalos de 1 g kg^{-1} (apenas valores acima de 18 g kg^{-1} são mostrados); (d) altura geopotencial em 500 hPa em intervalos de 20 m. Um vetor referência de 20 m s^{-1} é indicado abaixo de cada painel, e o círculo nas figuras indica a localização de Criciúma (adaptado de Nascimento e Marcelino, 2005).

Este foi um dos mecanismos relevantes para a desestabilização da atmosfera no sul do Brasil neste dia. Entretanto, seguindo os critérios de Bonner (1968), um jato de baixos níveis não ficou caracterizado. A circulação ciclônica sobre o Paraguai era identificável também em 850 hPa.

Em níveis médios (Figura 10d), um cavado migratório bem definido deslocava-se sobre a região sul do Brasil, favorecendo a queda de pressão em superfície que induzia os ventos de NE sobre o litoral sul. A presença deste sistema sinótico contribuiu para o estabelecimento de um ambiente atmosférico propício ao desenvolvimento de tempestades a sua vanguarda, uma vez que favoreceu (como esperado) a formação de correntes verticais ascendentes em escala sinótica (não mostrado). Este é um mecanismo eficiente de desestabilização atmosférica com algumas implicações importantes para a formação de tempestades severas (p. ex., Doswell e Bosart, 2001). Além disto, comparando-se as Figuras 6a e 6d, percebe-se a existência de um importante cisalhamento direcional do vento na vertical sobre o litoral do RS. Em níveis altos, o cavado também estava bem definido (não mostrado), sendo acompanhado de um núcleo de jato (*jet streak*) posicionado sobre o RS. Forte divergência era evidente na entrada equatorial deste padrão sobre o extremo oeste catarinense. O campo de energia potencial convectiva disponível (*convective available potential energy*, CAPE) analisado pelo modelo (não mostrado) indicava valores mais altos (acima de 1000 J kg^{-1}) para a Argentina e RS, sem valores significativos sobre SC naquele horário.

A Figura 11 mostra a previsão de 6-hr do modelo Eta/CPTEC, válida para um horário próximo ao da ocorrência dos tornados em SC. Por se tratar de uma previsão, estes campos são examinados de forma qualitativa. É importante mencionar que a previsão do Eta/CPTEC válida para as 18 Z de 03/01/2005, apesar de prever corretamente a ocorrência de precipitação sobre a região central do RS, não previu a formação de tempestades isoladas sobre o extremo sul catarinense.



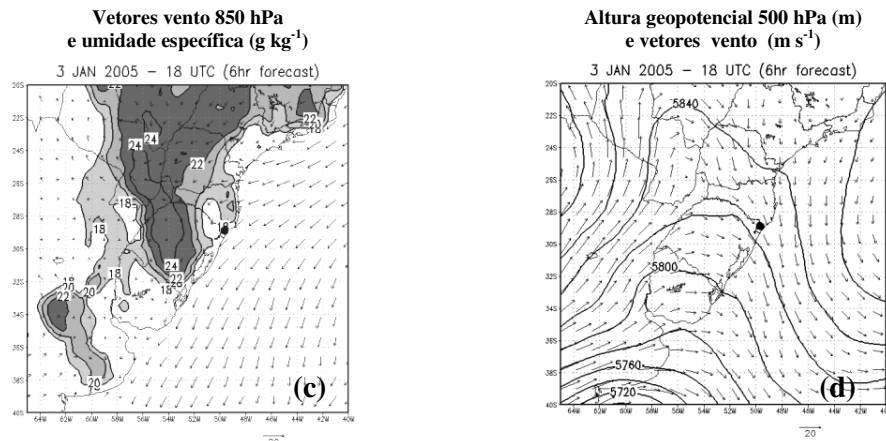


Figura 11 – Igual à Figura 10, porém representando o prognóstico numérico válido para as 18 Z. No painel (c), o intervalo do contorno é de 2 g kg^{-1} (adaptado de Nascimento e Marcelino 2005).

Em resposta ao avanço do cavado em níveis médios, o gradiente de pressão em superfície previsto para o período da tarde intensificou-se sobre o Atlântico Sul (Figura 11a). Isto não apenas induziu ventos mais intensos em superfície como também favoreceu um giro do vento no sentido horário no litoral de SC em relação àquele analisado às 12 Z (comparar com Figura 10a). Dados de METAR de Florianópolis confirmaram esta previsão para a direção do vento, com ventos gradualmente virando de E-NE às 13 Z para de E às 16 Z. Mais adiante veremos que esta evolução em escala sinótica pode ter contribuído para a formação das tempestades tornádicas. O campo previsto de divergência do fluxo de umidade (Figura 11b), por sua vez, mostrou valores substancialmente negativos (i.e., intensa convergência) sobre Criciúma, sugerindo a existência de uma importante forçante de superfície para a iniciação das tempestades.

Em 850 hPa (Figura 11c) o escoamento previsto permaneceu de quadrante norte, mantendo a advecção de umidade em baixos níveis. A umidade específica prevista atingiu 22 g kg^{-1} sobre o RS. Sobre SC o modelo mostrou valores mais modestos de umidade, especialmente sobre terreno elevado (Figura 11c). Entretanto, Criciúma localiza-se a apenas 46 m acima do nível do mar, de modo que a atmosfera no local poderia estar mais úmida do que o previsto pelo modelo para a região serrana. De fato, o METAR de Florianópolis reportou temperatura do ponto de orvalho (T_d) de 24° C naquela tarde. Por outro lado, é interessante notar que o funil de condensação do primeiro tornado não tocou o solo, apesar de sua circulação ter atingido a superfície (caracterizando um tornado). Esta característica indica que a camada sub-nuvem não estava suficientemente úmida para que a condensação do vórtice tornádico tocasse efetivamente o solo.

O escoamento previsto em 500 hPa (Figura 11d) mostrava o avanço gradual do cavado de níveis médios, com tendência negativa do geopotencial sobre o sul do Brasil em relação às 12 Z. Os ventos em níveis médios não eram particularmente intensos sobre o sul brasileiro, com valores previstos atingindo apenas 12 m s^{-1} ao longo da costa norte do RS, enquanto que em ambientes típicos de supercélulas (em latitudes médias) velocidades do vento de pelo menos $15\text{-}20 \text{ m s}^{-1}$ em 500 hPa são geralmente observados (ver Nascimento, 2005).

Por outro lado, é importante ressaltar que o cisalhamento vertical do vento sobre o sul de SC intensificou-se em relação às 12 Z. Para ilustrar isto, analisamos a Figura 12 que compara diversas hodógrafas geradas a partir das saídas do modelo. Primeiramente,

nota-se que todas as hodógrafas previstas para as 18 Z (Figuras 12c,d) são mais longas do que as correspondentes analisadas às 12 Z (Figuras 12a,b), indicando o aumento do cisalhamento vertical do vento previsto para o período da tarde. Comparando-se as Figuras 12a,c [Figuras 12b,d] nota-se que o aumento do cisalhamento previsto foi mais acentuado em baixos níveis. Este aumento tornou-se monotonicamente mais intenso à medida que amostramos pontos de grade localizados gradualmente mais para leste [mais para sul], caracterizando bem a intensificação do escoamento de quadrante NE em baixos níveis, mencionado anteriormente. A previsão do aumento do cisalhamento vertical do vento, especialmente em baixos níveis, sugere que tempestades convectivas formando-se nestas condições encontrariam condições cinemáticas mais propícias para interagirem com vórtices horizontais induzidos pelo escoamento ambiental (Nascimento, 2005) e, portanto, podendo gerar intensas circulações em escala de nuvem. Um resultado interessante envolve o deslocamento de NE para SO do primeiro tornado.

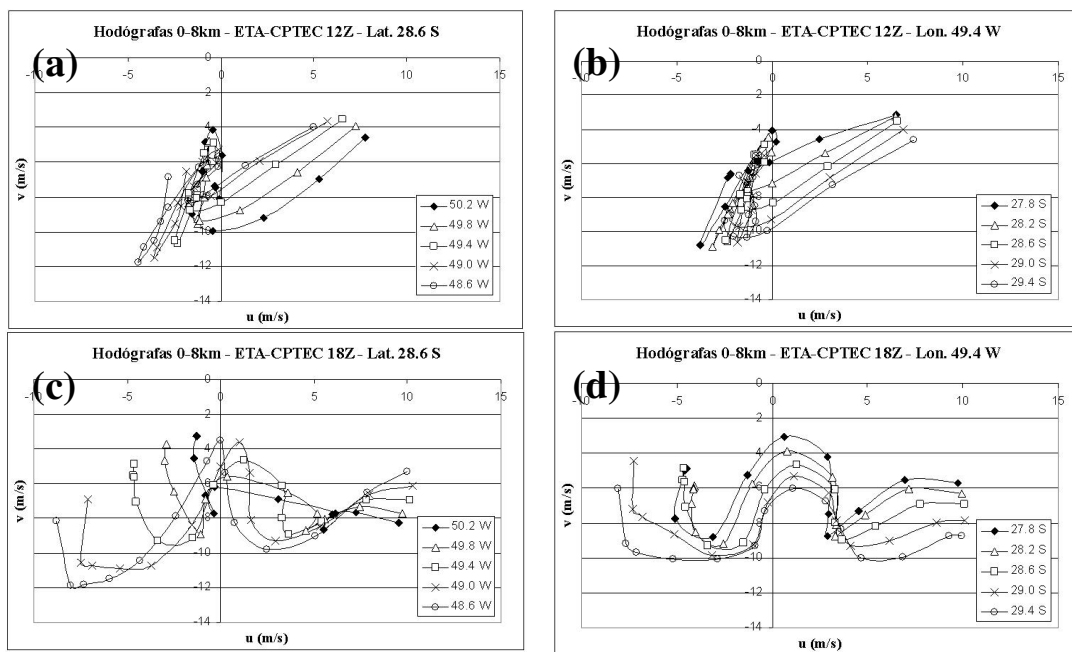


Figura 12 – Hodógrafas na camada 0-8 Km obtidas a partir do modelo Eta/CPTEC para diversos pontos de grade em torno da cidade de Criciúma/SC para o dia 03/01/2005. O ponto de grade representativo de Criciúma é $28,6^{\circ}$ S e $49,4^{\circ}$ W. Os dois gráficos da esquerda [direita] mostram hodógrafas em cinco pontos de grade zonalmente [meridionalmente] adjacentes, tendo Criciúma ($28,6^{\circ}$ S; $49,4^{\circ}$ W) ao centro. A distância entre cada ponto de grade adjacente é de $0,4^{\circ}$. Todas as hodógrafas acima iniciam-se em suas extremidades à esquerda, e evoluem ao longo dos níveis de 1000, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400 e 350 hPa. Painéis (a) e (b) referem-se à análise das 12 Z do Eta/CPTEC, e painéis (c) e (d) mostram as hodógrafas previstas (em modo operacional) pelo Eta/CPTEC às 18 Z. (Adaptado de Nascimento e Marcelino, 2005).

Note que todas as hodógrafas previstas para Criciúma e arredores (Figuras 12c,d) apresentavam ventos de NE para SO em baixos níveis, o que pode ter desempenhado um papel importante no deslocamento da circulação tornádica neste mesmo sentido,

especialmente em um ambiente com cisalhamento relativamente fraco em níveis médios.

Este resultado motivou Nascimento e Marcelino (2005) a realizarem uma simulação numérica em escala convectiva de uma tempestade idealizada com o modelo *Advanced Regional Prediction System* (ARPS) em um ambiente horizontalmente homogêneo, utilizando-se, como “sondagem ambiental”, o perfil atmosférico previsto pelo Eta/CPTEC sobre Criciúma. Os resultados (Nascimento e Marcelino, 2005) mostram o desenvolvimento de uma tempestade de curta duração (menor que 1h) com sua estrutura de baixos níveis deslocando-se de NE para SO. Este resultado fornece informação relevante para entender, ao menos em parte, o deslocamento do primeiro tornado. O deslocamento de SE para NO do segundo tornado, entretanto, não é facilmente explicado pela análise das hodógrafas e merece análise mais detalhada em trabalhos futuros. Outro ponto importante da simulação mencionada acima foi a obtenção de uma tempestade de curta duração, o que representa indício adicional de que o ambiente sinótico na tarde de 3 de janeiro de 2005 não era particularmente favorável para o desenvolvimento de tempestades tipo supercélulas. Este resultado parece ser consistente com a análise anterior realizada com os dados de radar e satélite.

Em níveis altos (campos não mostrados), o cavado mantinha-se bem definido sobre o sul do Brasil com ventos sendo previstos a atingir 20 m s^{-1} sobre o leste catarinense. Para o extremo sul de SC a previsão indicava uma região de fraca convergência em 200 hPa, sendo ligeiramente desfavorável à formação de tempestades intensas. Análises futuras abordarão o papel desempenhado pelo escoamento em altos níveis na evolução do sistema convectivo de Criciúma. Em termos de instabilidade convectiva, o Eta/CPTEC previa um aumento da CAPE sobre o litoral de SC em relação à análise das 12 Z, com um núcleo de valores moderados de CAPE (acima de 1000 J kg^{-1}) exatamente sobre a região de Criciúma (não mostrado). Assim sendo, o modelo capturou a tendência geral de desestabilização da atmosfera no período da tarde. É possível ainda que o Eta/CPTEC esteja subestimando os valores de CAPE já que os valores de Td observados no litoral de SC estiveram acima do previsto. Comparação com outros modelos operacionais e simulações de estudo de caso são necessárias para se avaliar melhor o campo da CAPE para este evento.

5.2 Descrição e classificação dos tornados

De acordo com as observações e dados de campo coletados pelos técnicos do Grupo de Estudos de Desastres Naturais (GEDN) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o primeiro tornado teve início aproximadamente às 14:40 h no *campus* da Universidade Estadual de Santa Catarina (UNESC), com intensidade F0. Em seguida, ele se deslocou para NE-SO na direção do bairro de Vila Manaus, atingindo a intensidade F1. Na chegada a este bairro, ele se intensificou para F2. Neste momento, ocorreram danos mais severos, o que durou cerca de sete minutos. A seguir, o tornado regrediu para as intensidades F1 e F0, dissipando-se por volta de 15:10 h.

Com base na análise do rastro, este tornado não tocou o solo continuamente. No entanto, quando o funil de vento não tocava o solo, ele permanecia a apenas alguns metros da superfície (10 m -15 m) destruindo violentamente o telhado de inúmeras casas (efeito de sucção). Segundo estas características, o tornado foi classificado como de intensidade F2 (Figura 13).



Figura 13 – Danos ocasionados pelo tornado F2 ocorrido no município de Criciúma em janeiro de 2005: (a) casa de madeira com o telhado seriamente destruído; (b) casa de tijolos totalmente destruída.

Com relação aos danos produzidos, o primeiro tornado causou a destruição de telhados, destruição total e parcial de casas e galpões; casas de madeira foram erguidas e deslocadas pela ação dos ventos (saindo de suas fundações); telhados foram lançados a dezenas de metros; muitos projéteis foram lançados a até 150 m aproximadamente. Esses projéteis foram encontrados cravados em troncos de árvore e no solo; árvores com raízes foram arrancadas e arremessadas a até 50 m de distância, assim como várias delas foram tombadas, retorcidas e quebradas; várias pessoas ficaram feridas principalmente devido aos projéteis e materiais em suspensão (telhas e pedaços de madeira) e houve uma morte. No bairro de Vila Manaus, quatro casas foram totalmente destruídas, 40 parcialmente destruídas e 30 danificadas, principalmente com avarias nos telhados.

O segundo tornado teve início por volta de 15:30 h, próximo ao rio Maina, com intensidade F0, deslocando-se na direção SE-NO. Ao alcançar o bairro de Metrópol, ele se intensificou para F1, causando mais danos severos. A partir daí, ele se deslocou na direção do bairro Colonial como um F1, retornando para F0 próximo à colina circunvizinha a este bairro. Este tornado se dissipou às 15:45 h. Assim como no primeiro caso, este tornado não tocou o chão continuamente. Este tornado foi classificado com intensidade F1.

Os danos ocasionados pelo segundo tornado ficaram concentrados nos bairros Metrópol e Colonial, nos quais os telhados foram total ou parcialmente destruídos e houve destruição parcial de edificações e de estruturas mais frágeis como garagens, barracos e currais; várias árvores (sobretudo eucaliptos) acabaram destruídas e retorcidas, muitas das quais foram tombadas e tiveram seus galhos quebrados. Um carro foi lançado para fora da pista, atingindo um muro. Muitos projéteis foram arremessados a longas distâncias, ferindo moradores e alguns animais desapareceram.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de geotecnologias para estudos de tornados tem sido amplamente utilizado tanto na previsão de tempo quanto na avaliação de impactos e análise de risco. Apesar do estudo de caso apresentado não ter utilizado todas as ferramentas possíveis para análise de tornados, a tendência para análise de eventos futuros é utilizar cada vez mais a geoinformação. Dessa forma, acredita-se que a vulnerabilidade poderá ser amplamente reduzida à medida que se incorporar cada vez mais tais ferramentas na prevenção.

A documentação e análise histórica de ocorrências de tornados em uma determinada região é o passo inicial para a compreensão do comportamento espaço-temporal desses fenômenos. Aliado a isso, o estudo dos ambientes atmosféricos que desencadeiam esses fenômenos também conduzem ao avanço das previsões, podendo assim, fornecer informações apropriadas para a emissão de alertas. Com base no estudo de caso apresentado, verifica-se que as condições atmosféricas que ocasionaram os tornados em Criciúma não seguiram o padrão clássico do ambiente atmosférico típico para ocorrências de tornados em latitudes médias. Assim, torna-se ainda mais necessário determinar o padrão atmosférico que geram tornados no Sul do Brasil.

É válido salientar que o entendimento das circunstâncias ambientais nas quais se desenvolvem os tornados também é importante para o prognóstico dos mesmos, para a verificação de indícios de mudanças climáticas e para o planejamento de medidas mitigadoras em desastres naturais.

Considerando-se que nenhuma medida está completa sem a participação das comunidades freqüentemente atingidas, é necessária a realização de campanhas de esclarecimentos e conscientização social. Pois, a comunidade preparada é a que sabe enfrentar e resistir aos desastres naturais.

6. REFERÊNCIAS

- Berri, G. J.; Inzunza, B. J. The effect of the low-level jet on the poleward water vapor transport in the central region of South America. *Atmos. Environ.*, v. 27A, p. 335-341, 1993.
- Brooks, E. H.; Lee, W. J.; Craven, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm e tornado environments from global reanalysis data. *Atmospheric Research*, v. 67-68, p. 73-94, 2003.
- Costa, S.; Mezzasalma, P.; Levizzanu, V.; Alberoni, P.P.; Nanni, S. Deep convection over Northern Italy: synoptic e thermodynamic analysis. *Atmospheric Research*, v. 56, p. 73-88, 2001.
- Cross, J. A. Megacities e small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Environmental Hazards*, 3, p. 63-80, 2001.
- Doswell III, C. A.; Bosart, L. F. Extratropical synoptic-scale processes e severe convection. In: Doswell III, C. A. (Ed.) *Severe Convective Storm*. Cap. 2. A Meteorological Monograph: American Meteorological Society. Submitted: May 2000. Disponível em: <www.cimms.ou.edu/~doswell/Monograph/Synoptics.html>. Acesso em: 15 jan. 2003.
- Doswell III, C. A.; Burgess, D. W. On Some Issues of United States Tornado Climatology. *Monthly Weather Review*. v. 116, 1988, p. 495-501.
- Doswell, C. A. *What is a tornado?* Norman: NOAA/ERL/National Severe Storms Laboratory, Oct. 2001. Disponível em: <http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html>. Acesso em: 10 jan. 2003.
- Doswell, C. A., 1991: A review for forecasters on the application of hodographs to forecasting severe thunderstorms. *Nat. Wea. Dig.*, 16, p. 2-16.
- Doswell, C. A., Bosart, L. F., 2001: Extratropical synoptic-scale processes e severe convection. *Severe Convective Storms*, C. A. Doswell III (Ed.), AMS Meteor. Monograph, 28 (50), p. 27-69.
- Dyer, R. A. A review of tornado activity in Brazil. In: *Anais International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Rio de Janeiro: INPE, v. 30 part 7a, 1994, p.203-213.

Dyer, R. A. Remote Sensing Identification os tornado tracks in Argentina, Brazil and Paraguay. In: *Photogrammetric Engineering Remonte Sensing*. v. LIV, n. 10, 1988, p.1429-1435.

FEMA - Federal Emergency Management Agency. *Mitigation Case Studies: safe rooms save lives*. 2003, 17 pp.

Fujita, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalize planetary scales. In: *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 8, 1981.

Fujita, T. T. Tornadoes e downbursts in the context of generalize planetary scales. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 8, p. 1511-1524, 1981.

Held, G., Gomes, A. M., Naccarato, K. P., Pinto Jr., O., Nascimento, E. L., Antonio, C. A. and Marcelino, I. P. V. O., 2005: Analysis of Tornado Characteristics in the State of São Paulo for the Improvement of an Automatic Alert System. In: *32nd Radar Meteorology Conference*, Albuquerque, New Mexico, 24-29 October 2005b (aceito para publicação).

Held, G., Gomes, A. M., Nascimento, E., Pinto Jr., O, Naccarato, K. P., Antonio, C. A. and Porto Da Silva A. B. Tornado Signatures for Nowcasting Using Radar and Lightning Observations in Brazil. *Geophysical Research Abstracts*, Volume 7, CD ROM, EGU General Assembly 2005a, Vienna, Austria, 24-29 April 2005a, 6pp.

Held, G., Gomes, A. M., Pinto Jr., O., Antonio, C. A. A. and Porto da Silva, A.B., 2004: The Palmital Tornado: Lightning and Radar Observations. *Proceedings, International Conference on Grounding and Earthing (GROUND'2004) & 1st International Conference on Lightning Physics and Effects*, Belo Horizonte, Brazil, 7-11 November 2004, 23-28.

Herrmann, M. L. de P. *Levantamentos dos desastres naturais ocorridos em Santa Catarina no período de 1980 a 2000*. Florianópolis: IOESC, 2001, 89 p.

Johnson, R.H., e B.E. Mapes, 2001: Mesoscale processes e severe convective weather. In: Doswell III, C. A. (Ed.) *Severe Convective Storm*. Cap. 4. A Meteorological Monograph: American Meteorological Society. Submitted: May 2000. Disponível em: <[www.cimms.ou.edu/~doswell/Monograph/ Synoptics.html](http://www.cimms.ou.edu/~doswell/Monograph/Synoptics.html) >. Acesso em: 15 jan. 2003.

Lillesand, T.; Podger, N.; Chipman, J.; Goldmann, R.; Lewelling, K.; Olsen, T. Assessing Tornado Damage via Analysis of Multi-temporal Landsat 7 ETM+ Data. In: Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Washington, D.C., April 21-27, 2002.

Marcelino, I. P. V. O. *Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados*. São José dos Campos. 220 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2003.

Marcelino, I. P. V. O. Tornados. In: Santa Catarina. Secretaria de Segurança Pública. *Atlas dos desastres naturais de Santa Catarina*. Florianópolis: Imprensa Oficial, 2005. (No prelo).

Marcelino, I. P. V. O.; Conforte, J. C. Uso de sensoriamento remoto para análise de tornados no Brasil: episódio de Abdon Batista/SC. In: Dias, N. W.; Batista, G.; Mausel, P. W.; Novo, E. M. L.; Skelton, D. L.; Krug, T. (Eds.) *Sensoriamento Remoto: Aplicações para a preservação, conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia*. São José dos Campos: INPE/NASA/ Indiana State University, 2003. (CD Room).

Marcelino, I. P. V. O.; Herrmann, M. L. P; Ferreira, N. J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. *Australian Meteorological Magazine*, 2005. No prelo.

Mills, G; Colquhoun, J. Objective prediction of severe thunderstorm environments: preliminary results linking a decision tree with an operational regional NWP Model. *Weather e Forecasting*, v. 13, n. 4, p. 1078–1092, 1998.

Monteiro, M. A. Caracterização climática do Estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. *Geosul*, v. 16, p. 69-78, jan./jun. 2001.

Nascimento, E. L. and Marcelino, I.P.V.O., 2005: A multiple-vortex tornado in Brazil. Submitted to *Mon. Wea. Rev.*

Nascimento, E. L. Identifying severe thunderstorm environments in southern Brazil: analysis of severe weather parameters. In: *22nd Conference on Severe Local Storms*, Hyannis, EUA, Amer. Meteor. Soc., em mídia digital, 2004. (Disponível em [//ams.confex.com/mas/11aram22sls/techprogram/paper_81745.htm](http://ams.confex.com/mas/11aram22sls/techprogram/paper_81745.htm))

Nascimento, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? *Rev. Bras. Meteor.*, 20, p. 121-140, 2005.

Rae, S.; Stefkovich, J.; Woodall, G; O'Neal, B.; Gardiner, R.; Tidwell, J. *Data Analysis and Geographic Information System Data Compilation*. Service for the National Weather Service/Emergency Management Community. 2000, 21 pp.

Seluchi, M. E., Saulo, A. C., Nicolini, M., Satyamurty, P., 2003: The Northwestern Argentinean Low: a study of two typical events. *Mon. Wea. Rev.*, 131, p. 2361-2378.

Seluchi, M. E.; Chou, S. C. Evaluation of two Eta model versions for weather forecast over South America. *Geophys. Int.*, 40, p.219-237, 2001.

Silva Dias, M. A. F. Complexos convectivos de mesoescala. *Climanálise*, Cachoeira Paulista: MCT/INPE/CPTEC, p.173-182, 1996. Edição especial.

Uccellini, L. W.; Johnson, D. R. The coupling of upper e lower tropospheric jet streaks e implications for the development of severe convective storms. *Monthly Weather Review*, v. 107, n. 7, p. 682-703, June 1979.

UNDP – United Nations Development Programme. *Reducing Disaster Risk: a challenge for development*. New York: UNDP, 2004. 129 p.

Yuan M.; Dickens-Micozzi, M.; Magsig, M. A. Analysis of Tornado Damage Tracks from the 3 May Tornado Outbreak Using Multispectral Satellite Imagery. *Weather and Forecasting*. v. 17, 2002, p. 382 – 398.