

Tornados do Outono de 2004 no Interior Paulista

Maurício de Agostinho Antonio^{1,2}
Carlos Alberto de Agostinho Antonio¹
José Carlos Figueiredo¹

UNESP – Universidade Estadual Paulista

¹ IPMet – Instituto de Pesquisas Meteorológicas; ² Unidade Diferenciada de Ourinhos
Caixa Postal 281 – 17001-970 – Bauru – SP, Brasil
{mauricio, antonio, figueiredo}@ipmet.unesp.br

Abstract. The objective of this paper is to present the analysis of two tornado events occurred during the 2004 autumn season in central São Paulo State. The evaluation was done using aerial view, eye-witness testimonies, satellite images, model analysis, meteorological surface data and S-Band radar data. The tornadoes occurred in May 25, 2004 in rural area, when the first one, early afternoon, did result into about 50 people injured and 2 fatalities. The events were associated with convective activities, caused by a cold front crossing the State.

Palavras-chave: tornado, Doppler weather radar, remote sensing, synoptic analysis, análise sinótica, sensoriamento remoto, radar meteorológico.

1. Introdução

Eventos de tornados ocorrem em praticamente toda a América do Sul. Apesar disso, efetivamente se dispõe de poucos registros de eventos de tornados no Brasil.

Usando uma definição simplificada, o tornado é uma nuvem funil giratória pendente da base de um cumulonimbus e que torna-se visível quando o ar úmido da corrente ascendente se resfria o suficiente para condensar o vapor d'água. Os tornados podem ser ruidosos, resultado da interação dos ventos altamente concentrados com o chão.

Para os casos gerais de tornados no Brasil, podem ser citados vários autores, entre eles Marcelino et al. (2002, 2003). Vesilind (2004), em uma discussão sobre ocorrência de tornados no mundo, mostra as regiões da América do Sul mais favoráveis à formação de tornados, onde se destacam as regiões Sul e Sudeste do Brasil (**Figura 1**).

A ocorrência de pequenos tornados no interior do Estado de São Paulo, tem-se verificado ocasionalmente e com maior frequência nas estações de transição entre o verão e o inverno. Casos de tornados ocorrendo em São Paulo foram discutidos por Antonio (1997), Massambani et al. (1992), e Silva Dias e Grammelsbacher (1991).

Segundo Marcelino et al. (2002, 2003), as condições favoráveis para a ocorrência de tornado, em Santa Catarina, decorrem da influência de sistemas baroclínicos transientes, além de sistemas convectivos isolados. A região sofre também a influência de outros sistemas meteorológicos, como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que podem desencadear sistemas convectivos que resultem na geração de tornados. Os mesmos sistemas atmosféricos atingem São Paulo: segundo Figueiredo e Scolar (1996), 30% dos CCMs que se formam no leste do Paraguai, atuam sobre o Estado com um tempo médio de vida, após o máximo, de 3 a 4 horas (Scolar e Figueiredo, 1996).

O presente trabalho apresenta dois eventos de tornados ocorridos em 25 de maio de 2004, na área rural de Palmital, no sudoeste paulista, e Lençóis Paulista, na região central de São Paulo. O de Palmital, atingiu um ônibus com trabalhadores provocando ferimentos em mais de 50 pessoas e a morte de 2 trabalhadores. O segundo, em Lençóis Paulista, provocou somente danos em plantações.

2. Situação meteorológica de 25 de maio de 2004

2.1. Análise Sinótica

Com base nos dados da rede sinótica de superfície da América do Sul, foram levantadas as posições sucessivas da frente fria, e do ciclone extra-tropical, entre 25 e 26 de maio de 2004, que atuava nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (**Figura 2**). O sistema se movia a 42 km/h.

Às 12:00 UTC do dia 25, o ramo frio da frente cruzava os setores oeste de Santa Catarina e Paraná, e dividia o Mato Grosso do Sul, após bordejar São Paulo. O centro do ciclone estava entre Santa Maria e Porto Alegre, no Rio Grande do Sul.

Às 18:00 UTC, estando o ciclone no Oceano Atlântico, junto ao litoral gaúcho, a frente fria estava sobre o setor centro-leste catarinense, entrando no Estado de São Paulo, passando por Ourinhos, e sobre Três Lagoas, no Mato Grosso do Sul, até o Estado de Mato Grosso.

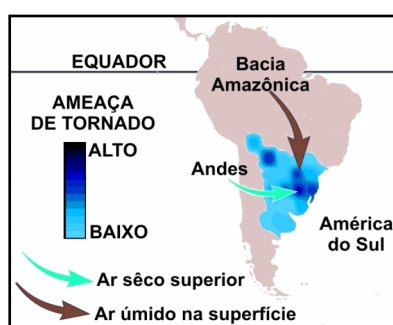


Figura 1. À esquerda, áreas preferenciais de formação de tornados na América do Sul (detalhe do *mapa mundi* proposto por Vesilind, 2004).

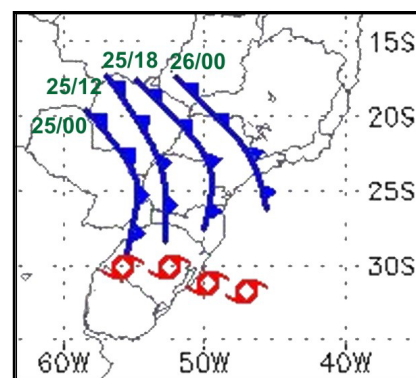


Figura 2. À direita, evolução da frente fria e do centro do ciclone extra-tropical que atuava em 25 e 26 de maio de 2004. Os números junto à representação das posições da frente fria indicam a data do mês de maio de 2004 e o horário em UTC. Fonte de dados: INMET.

2.2. Divergência de umidade

O parâmetro divergência de umidade representa o acúmulo de vapor d'água na região, resultado do transporte efetuado pelos ventos.

Para o caso em estudo, foram determinados os valores da divergência de umidade para as regiões de Dourados, Presidente Prudente, Palmital, e Lençóis Paulista, durante o período das 00:00 UTC do dia 25 de maio de 2004 (21:00 LT de 24 de maio) à 00:00 UTC de 26 de maio de 2004 (21:00 LT de 25 de maio de 2004) (**Figura 3**).

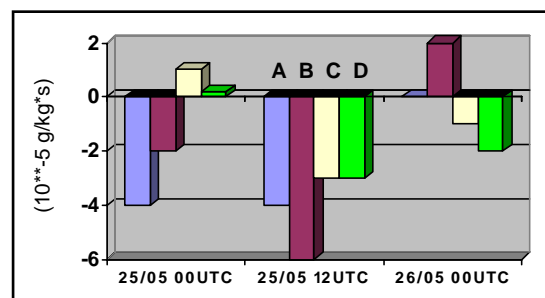


Figura 3. Evolução do parâmetro de divergência de umidade nas regiões de Dourados (A), Presidente Prudente (B), Palmital (C), e Lençóis Paulista (D), no período de 00:00 UTC de 25 a 00:00 UTC de 26 de maio de 2004. Fonte de dados: INMET.

Na noite de 24 de maio, o parâmetro estava forte em Dourados ($-4 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$) e em Presidente Prudente ($-2 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$), enquanto se encontrava positivo (divergência) em Palmital ($1 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$), e ainda fraco em Lençóis Paulista ($-0,2 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$).

Na manhã do dia 25 de maio, às 12:00 UTC, a frente fria estava na porção oeste-sudoeste de São Paulo (**Figura 2**), a divergência de umidade ainda estava forte tendo triplicado em

Presidente Prudente ($-6 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$), Palmital e Lençóis Paulista (ambos, $-3 \times 10^{-5} \text{g/kg*s}$), e sem alteração em Dourados, indicando o potencial de tempestades intensas em toda a parte centro-oeste do Estado.

3 – Ocorrências de Tornado

3.1. Palmital

a. Depoimentos pessoais

No dia 25 de maio, na região rural de Palmital, próximo à sede da Destilaria São Joaquim, várias equipes de trabalhadores rurais estavam abrigadas da chuva em alguns ônibus estacionados; pouco antes das 14:00 LT com a diminuição da chuva, os trabalhadores foram orientados a deixar os ônibus e iniciar o corte de cana-de-açúcar.

Já do lado de fora, as pessoas ouviram um ruído crescente, descrito como um “barulho de jato”, que chamou a atenção de todos. Na direção do ruído, os trabalhadores vislumbraram uma nuvem “negra” que girava muito rápido sugando a cana e ligando a nuvem ao chão, a cerca de 300m deles, e que vinha em sua direção. Assustados, os trabalhadores retornaram aos ônibus procurando abrigo; 53 pessoas entraram num dos ônibus e três deles, não.

Quando o redemoinho atingiu esse ônibus pela parte de trás, ele foi lançado para o alto, sendo arremessado a uma distância de cerca de 50 m, quando caiu no solo com as rodas para cima; na queda, 2 dos trabalhadores faleceram e cerca de 50 ficaram feridos, sendo 3 deles gravemente. Dos 3 trabalhadores que ficaram fora do ônibus, dois nada sofreram; o terceiro foi levantado do solo várias vezes, vindo a sofrer ferimentos no rosto e nos olhos.

O acidente com o ônibus foi presenciado, a cerca de 200 m, por um outro espectador que observou um segundo redemoinho descendo das nuvens a cerca de 500m mais atrás do primeiro. Esse segundo funil não tocou o solo, tendo “voltado” para as nuvens.

b. Descrição dos danos e trilhas

A partir das informações obtidas por um sobrevôo no dia 27 de maio, a trilha total do tornado foi reconstituída e as marcas deixadas no solo tinham uma extensão de 16 km, com largura superior a 150 m, em muitos pontos (**Figura 4**).

Logo após contacto com o solo o tornado arrancou a parte superior de um arvoredos; ali a cana tombada pelo vento tinha largura superior a 100 m. O tornado atingiu outra área de cana (trilha maior que 150 m) e alcançou a estrada vicinal em que ônibus estavam estacionados. Ali, o tornado arrancou do chão o ônibus que estava diretamente em seu caminho e o atirou a cerca de 50 m. Nesse ponto, o tornado atingiu o máximo de sua força, da classe F3.

A seguir, o tornado continuou sobre arvoredos e cana-de-açúcar por mais 500 m e alcançou uma outra estrada vicinal com outros ônibus estacionados; junto a ela, existia uma linha de postes de concreto de 6 m com cabos telefônicos. Na passagem do tornado, quatro postes (extensão de cerca de 80 m) foram quebrados junto ao solo. Um dos ônibus foi arrastado e girado em cerca de 360° pelo tornado, não sofrendo maiores danos. Aí, a força do tornado foi classificada como F2. Até esse último registro, o tornado já havia percorrido cerca de 5 km

Depois disso, os danos e a trilha foram avaliados através do sobrevôo, tendo o tornado prosseguido sua trajetória pelos restantes 10 km deixando suas marcas sobre a cana e o solo, até atingir o Rio Paranapanema. Sobre o solo era possível divisar as marcas de rotação deixadas pelo tornado durante seu deslocamento (**Figuras 5 e 6**).

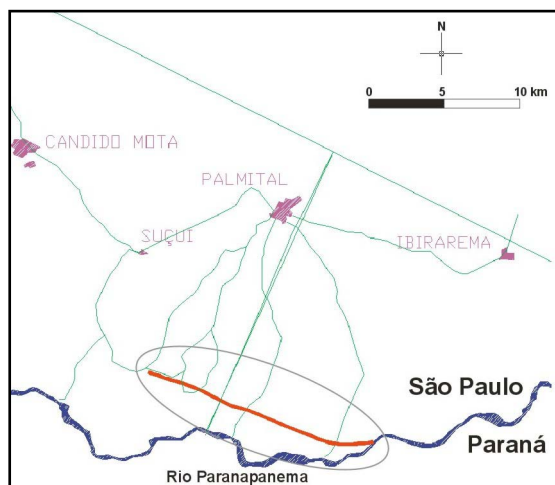


Figura 4. Mapa geral da região de Palmital, junto à divisa entre os Estados de São Paulo e Paraná, na região Sudoeste de São Paulo. A linha contínua junto ao Rio Paranapanema, em destaque, com cerca de 16 km de extensão, corresponde ao caminho percorrido pelo tornado de 25 de maio de 2004.



Figuras 5 e 6. Vistas aéreas de marcas de rotação e da trilha impressa no solo, pelo tornado de 25 de maio de 2004, em Palmital. A extensão total da trilha foi de 16 km.

3.3. Lençóis Paulista, 17:00 LT (20:00 UTC)

a. Depoimento pessoal

No horário anterior a 17:00 LT, a região de Lençóis Paulista, apresentava cobertura de nuvens. Um técnico que estava no campo, observou que a nebulosidade foi se tornando mais densa e baixa, tendo ficado mais escura e com movimento giratório por volta das 16:40 LT. Do ponto onde estava, viu que as nuvens ficaram mais escuras e foram abaixando.

Minutos mais tarde, por volta das 17:00 LT, um segundo observador descreveu o aparecimento de uma nuvem muito escura, em forma de um “canudo”, que girava ao redor de seu eixo e se deslocava horizontalmente. A parte superior era branca, com aspecto de nuvem; ao tocar o solo, a base do “canudo” aumentava e era muito avermelhada. De onde estava, o primeiro espectador efetuou um registro fotográfico da nuvem (**Figura 7**).

O segundo observador acompanhou os movimentos do tornado, o qual permanecia em contacto com o solo por alguns minutos e subia para a nuvem negra; pouco depois voltava a descer e tocar o solo. Ouvia-se o som de uma “turbina” e era também possível ouvir o barulho da cana sendo quebrada. Depois de 10 minutos do tornado, choveu forte, com ventos e raios.

b. Descrição dos danos e trilha

A descrição dos danos provocados pelo tornado que ocorreu na região de Lençóis Paulista e deixou uma trilha impressa sobre plantações de cana-de-açúcar e em pequenos arvoredos em 25 de maio de 2004, foram obtidas por uma equipe de avaliação, em terra.

A partir das informações colhidas com proprietários e funcionários das áreas atingidas, as marcas deixadas no solo pelo tornado tinham uma extensão de 15 km, com larguras que variaram de 20 m a mais de 100 m (**Figura 8**).

Nos primeiros 3 km da trilha do tornado, foram observados somente danos em plantações de cana-de-açúcar, cujas plantas foram arrancadas ou deitadas.

Após essa distância, quando a trilha tinha largura superior a 100 m, o tornado atingiu uma região de arvoredo. Árvores com mais de 30 m de altura tiveram parte superior arrancada, onde os diâmetros eram de cerca de 40 cm. Árvores menores, com tronco de diâmetros de cerca de 20 cm foram quebradas na base, ou torcidas e arrancadas. Pedacos de troncos foram arremessados a mais de 100 m de distância.

Na seqüência, o tornado atingiu nova área de cana. Pedacos de cana e palha ficaram fixados nos fios e mourões de uma cerca, numa trilha de mais de 100 m. Depois disso, já na porção média da extensão da trilha, o tornado atingiu outra seção de arvoredo, danificando as árvores, que ali tinham um porte médio, de 15 a 20 m de altura (diâmetros: 20 a 30 cm). Na **Figura 9**, exemplos de danos na cana-de-açúcar ao longo da trilha são mostrados.

A trilha prosseguiu até 15 km, quando não mais pôde ser identificada claramente.



Figura 7. A foto mostra a nuvem giratória com o cone do tornado tocando o chão, registrada às 17:00 LT de 25/05/2004, na região ao sul de Lençóis Paulista. (foto: Antonio A. da Silva Jr.).

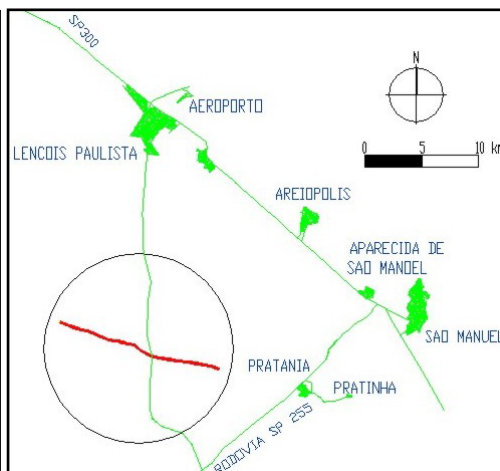


Figura 8. Mapa da região de Lençóis Paulista. A linha contínua ao sul, com cerca de 15 km de extensão, representa a trilha do tornado.



Figura 9. Cana-de-açúcar danificada pela passagem do tornado (25/05/2004) em Lençóis Paulista. As touceiras de cana foram quebradas ou arrancadas na trilha do tornado.

4. Observações de Radar

As observações dos dados dos sistemas de radar Doppler de Bauru e Presidente Prudente, para a análise apresentada, se restringiram ao período que compreendem a permanência dos tornados na superfície.

A partir das observações do Doppler do radar (vento radial), a rotação do sistema meteorológico é inferida quando as velocidades radiais, com valores positivos e negativos, estão adjacentes ao longo de uma linha que se estende para fora, a partir do radar. O tornado, quando se forma, está sempre localizado nas proximidades dessa área de descontinuidade de velocidades.

4.1. Palmital – Radar de Presidente Prudente

O tornado de Palmital foi determinado como tendo permanecido no solo cerca de 18 minutos, tocando o chão a partir das 13:57LT (16:57UTC) até as 14:15LT (17:15UTC).

Os dados de radar, de refletividade e vento radial, foram dos CAPPIs de altura 3,5 km e resolução de 1 km², elaborados com os registros das 13:46LT às 14:23LT. A avaliação preliminar elaborada por Held (2004) das imagens do radar de Presidente Prudente, indicava que os sistemas convectivos atuantes na região próxima à Palmital, tinham topos acima de 10 km com níveis de refletividade de 15 dBZ próximo ao horário do registro do tornado. Já às 13:23LT a pesquisadora reconhecia a formação de eco de gancho na célula de precipitação que se deslocava para Palmital, e às 14:01LT, a área de convergência do vento radial, associada ao movimento rotacional do sistema, indicava valores que variavam de -27,7 m/s a +9,0 m/s.

O eco de gancho ficou caracterizado na célula de precipitação, e assim permaneceu nas informações do radar, das 14:01LT, 14:08LT e 14:16LT, perdendo essa característica às 14:23LT. O CAPPI das 14:08LT apresentava a forma mais definida do eco de gancho na célula de precipitação, não obstante o vento radial tenha apresentado a maior velocidade relativa, de cerca de 36,7 m/s, no CAPPI das 14:01LT (**Figura 10**).

As refletividades máximas observadas na célula de precipitação geradora do tornado, variaram de 45 a 50 dBZ. O tornado de Palmital ocorreu em área com refletividades entre 36 e 42 dBZ, próximo à borda norte da célula de precipitação, em região ao norte da descontinuidade do vento radial.

4.2. Lençóis Paulista – Radar de Bauru

No caso do tornado de Lençóis Paulista, determinou-se que permaneceu no solo por 16 minutos, tocando o chão a partir das 16:52LT (19:52UTC), até as 17:08LT (20:08UTC).

Para esse caso, os dados do radar de Bauru foram os CAPPIs de 3,5 km (refletividade e vento radial), com os registros das 14:46LT até 17:23LT.

Notou-se no CAPPI das 16:46LT a presença do eco de gancho e também um indicativo seguro de movimento de rotação no vento radial. O eco de gancho estava presente nas imagens das 16:53LT, 17:01LT e 17:08LT. O movimento de rotação aparecia junto com o eco de gancho e permanecia ainda nos CAPPIs das 17:16LT e 17:23LT (**Figura 11**).

As refletividades máximas observadas na célula de precipitação geradora de tornado, variaram de 48 a 54 dBZ. O tornado de Lençóis Paulista ocorreu na porção norte da célula de precipitação com refletividade de 33 a 39 dBZ, em posição ligeiramente ao norte da região que apresentava a descontinuidade do vento radial.

5. Comentários e Conclusão

A disponibilidade de informação dos radares meteorológicos Doppler de Bauru e Presidente Prudente, aliada ao estudo das condições atmosféricas em escala sinótica, permitiu um levantamento detalhado acerca dos tornados de 25 de maio de 2004.

De acordo com as informações dos radares, os núcleos de chuva mais intensa próximos dos horários em que ocorreram os tornados de Palmital e Lençóis Paulista, estavam imersos nas

bandas precipitantes que varriam o Estado de São Paulo e acontecendo nas vizinhanças das regiões onde se verificaram os fatos descritos.

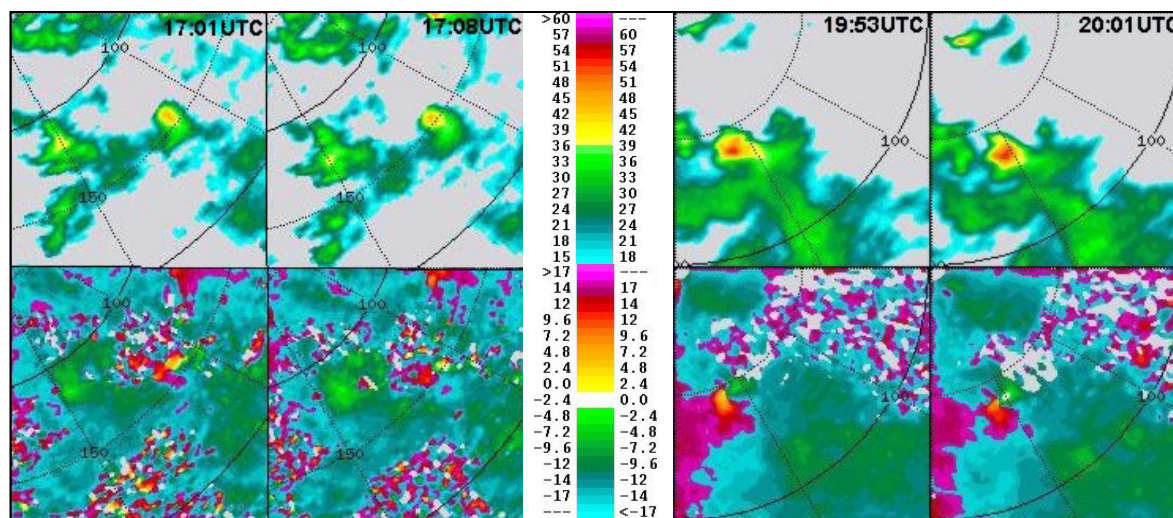


Figura 10. À esquerda, imagens setorizadas dos CAPPIs de 3,5 km do radar de Presidente Prudente, com resolução de 1 km². As imagens superiores mostram refletividade de radar, em dBZ; as imagens inferiores mostram o vento radial, em m/s (escalas no centro). À direita imagens setorizadas dos CAPPIs de 3,5 km do radar de Bauru, com resolução de 1 km². As imagens superiores mostram refletividade de radar, em dBZ; as imagens inferiores mostram o vento radial, em m/s (escalas no centro).

Em ambas ocorrências, as intensidades máximas da refletividade nos ecos das células geradoras dos tornados estiveram ao redor de 50 dBZ, sendo que os tornados ocorreram em áreas com refletividades entre 35 e 40 dBZ, em média.

Não obstante as informações de velocidade radial indiquem rotação no sistema meteorológico, isso implica que haja um tornado tocando o solo. Em ambos os casos analisados, os dados de velocidade radial dos radares indicavam rotação nas células precipitantes durante um período de tempo bastante superior ao da verificação dos tornados nos solo e em outras tempestades ocorrendo nas proximidades, onde não registraram tornados.

A indicação das classes dos tornados ocorridos, foi feita de acordo com os danos verificados em terra, segundo a Escala Fujita. Para tal, os eventos foram classificados nos pontos de maiores danos (e intensidades), sendo da classe F3 em Palmital, e da classe F2 em Lençóis Paulista, ambos da categoria Forte. Comparando os valores encontrados de largura e comprimento dos tornados F2 e F3, com os valores encontrados em tornados por Fujita e Pearson (1973), observa-se que o F2 está no limiar superior do comprimento da trilha, enquanto que o F3 está nos limiares inferiores de comprimento e largura da trilha (**Figura 12**). Dessa forma, pode-se afirmar que os ventos que atuaram na região de Palmital estavam entre 252 e 330 km/h, enquanto em Lençóis Paulista estiveram entre 180 e 251 km/h.

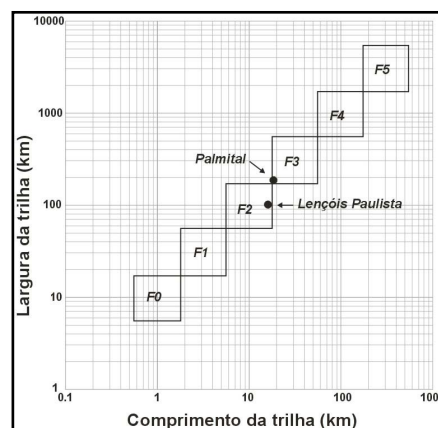
Os valores do parâmetro divergência de umidade encontrados no setor oeste do Estado de São Paulo, além dos verificados para as localidades específicas de Palmital e Lençóis Paulista no dia 25 de maio, confirmam ser esse parâmetro dos mais significativos para indicação de previsão de ocorrência de tempo severo.

Reconhecimentos

Os autores registram seus agradecimentos ao IPMet/UNESP, pela manipulação de dados dos radares meteorológicos e geração de produtos para análise, ao INMET – Instituto Nacional de

Meteorologia, os autores agradecem a cessão dos dados sinóticos e ao CPTEC/INPE pela geração das previsões numéricas do modelo regional e a cessão de imagens de satélites meteorológicos.

Figura 12. Diagrama do comprimento médio da trajetória em função da largura máxima média segundo a intensidade do tornado. As duas marcas identificadas representam os pares de valores de comprimento e largura para os tornados de 25/05/2004, em Palmital e Lençóis Paulista (adaptado da Tabela I de Fujita e Pearson, 1973).



Às testemunhas dos eventos que pacientemente forneceram informações e detalhes. Em Palmital, Eduardo Tirol, Eliezer Paiva da Silva e Moises Ricardo Caetano; em Lençóis Paulista, Luiz Carlos Dalben, Antonio Aparecido da Silva Junior e Washington José Corsino.

Ao Mestrando Eduardo Brighenti Antonio, filho, sobrinho e amigo, pelo entusiasmo e interesse ao trabalho, que partiu sem vê-lo concluído.

6. REFERÊNCIAS

- Antonio, M. A. Ocorrência de tornado na região tropical do Brasil. **Boletim Climatológico**, n. 4, p. 136-141, 1997.
- Figueiredo, J. C., Sclar, J. O tempo de vida média dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9, Campos do Jordão, 1996. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992, v.2, p. 984-986.
- Fujita, T.T. Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales. **J. Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 8, p. 1511-1534, 1981.
- Fujita, T.T.; Pearson, A.D. Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. In: Conference on Severe Local Storms, 8, 1973, Denver. **Proceedings...** Boston: AMS, 1973, p. 142 – 145.
- Held, A. M. G. **Tornado em Palmital - SP**. Bauru (Brasil), IPMet/UNESP. [on line] <www.ipmet.unesp.br/tornado/EVENTO_PALMITAL.pps>. 2004.
- Marcelino, I. P. V. O.; Ferreira, N. J.; Conforte, J. C. Análise de episódio de tornado ocorrido no dia 07/02/1998 no Município de Abdon Batista – SC. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte, 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p.479-486. Disponível em: <ftcid.inpe.Br/sbsr/2003/11.13.>.
- Marcelino, I. P. V. O.; Herman, M. L. P.; Ferreira, N. J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. **Australian Meteorological Magazine**.(submetido), 2002.
- Massambani, O.; Carvalho, L. M. V.; Vazquez, M. A. Tornado ou microexplosão?: um diagnóstico via radar do evento de Itu - São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992, v.2, p. 763-768.
- Sclar, J., Figueiredo, J. C. Estudo da trajetória dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. In: Congresso Argentino de Meteorologia, 7, e Congresso Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia, 7, Buenos Aires, 1996. **Anais...** Buenos Aires: Sociedade Argentina de Meteorólogos, 1996, 4 p.
- Silva Dias, N. A. F.; Grammelsbacher, E. A. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.6, n.2, p. 513-522, 1991.

Vesilind, P. J. Chasing tornadoes. **National Geographic**, p. 2-37, Apr. 2004.