

# A ocorrência de tempo severo sobre o Estado de São Paulo causado pelo vórtice ciclônico em altos níveis: um estudo de caso

Silvia Manami Yaguchi<sup>1</sup>  
Nelson Jesus Ferreira<sup>2</sup>  
Gustavo Carlos Juan Escobar<sup>3</sup>

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Cachoeira Paulista, SP, Brasil

**Resumo:** Neste trabalho foi feito um estudo de caso sobre um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) que atuou no dia 4 de Maio de 2009 causando grandes impactos na região metropolitana de São Paulo e no Vale do Paraíba. O interesse deste caso foi ao fato de ter publicado poucos trabalhos abordando sobre VCAN em latitudes subtropicais na América do Sul e devido à ocorrência de uma forte tempestade de granizo sobre várias cidades do Estado de São Paulo, serviu-se para a avaliação do modelo numérico ETA20 para identificar esses eventos extremos. Foram feitas as análises sinóticas de sequência de campos de vento, velocidade vertical ( $\omega$ ) e altura geopotencial, e também uma simples avaliação das previsões do modelo numérico ETA20. Os resultados mostraram que o VCAN segue para leste em formato de dipolo com ampla amplitude de cavado e de crista na retaguarda e o tempo severo ocorrido sobre grande parte do Estado de São Paulo esteve associado ao comportamento da troposfera média e alta, especificamente devido à presença de ar frio anômalo nestes níveis. Observaram-se máximo gradiente de vento horizontal e intensos movimentos ascendentes na região do cone leste do Estado de São Paulo, ocorrendo pancadas de chuvas e granizo principalmente na região do Vale do Paraíba. A análise do componente termodinâmica indicou a presença de uma massa de ar úmida e muito instável sobre grande parte do Estado de São Paulo. O modelo numérico ETA20 identificou a área favorável à ocorrência de tempestade com 18 horas de antecedência.

**Palavras-chave:** VCAN, índices de instabilidade, previsão do tempo.

## 1) Introdução

Os objetivos desse trabalho foram verificar os impactos causados pelo VCAN, analisando a sua formação e desenvolvimento por meio de imagens de satélite, cartas sinóticas e diagrama termodinâmico, e realizar avaliações simples das previsões do modelo numérico ETA20 representadas nas cartas geradas pelo GEMPAK.

## 2) Dados e Metodologia

Foram utilizadas neste estudo as imagens de satélite do GOES 8 do dia 4 de Maio de 2009, dados de reanálise do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) das variáveis  $\omega$  (velocidade vertical), componentes zonal e meridional do vento, altura geopotencial e vorticidade relativa no intervalo de 6 horas do mesmo dia com resolução horizontal de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  e níveis de 250, 500 e 1000 hPa, visualizados graficamente pelo GrADS (Grid Analysis and Display System). Utilizaram-se também diferentes cartas de previsão que são alguns dos produtos dos sites meteorológicos do Grupo de Previsão do Tempo (GPT).

<sup>1 2</sup> Endereço para contato: Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, Brasil. E-mail: [silvia.yaguchi@cptec.inpe.br](mailto:silvia.yaguchi@cptec.inpe.br); [nelson.ferreira@cptec.inpe.br](mailto:nelson.ferreira@cptec.inpe.br)

<sup>3</sup> Endereço para contato: Rodovia Presidente Dutra, Km 40, Cachoeira Paulista – SP, Brasil. E-mail: [gustavo.escobar@cptec.inpe.br](mailto:gustavo.escobar@cptec.inpe.br)

### 3) Resultados

As Figuras 3.1 mostram imagens de satélite realçadas no canal infravermelho. Nota-se que um núcleo convectivo bem significativo se deslocou para o sudeste do Estado de São Paulo, atingindo a capital e a região do Vale do Paraíba. O fenômeno também atingiu algumas localidades do centro e nordeste de SP, como por exemplo, as cidades de Bauru e Franca, como podem ser vista nesta seqüência de imagens.

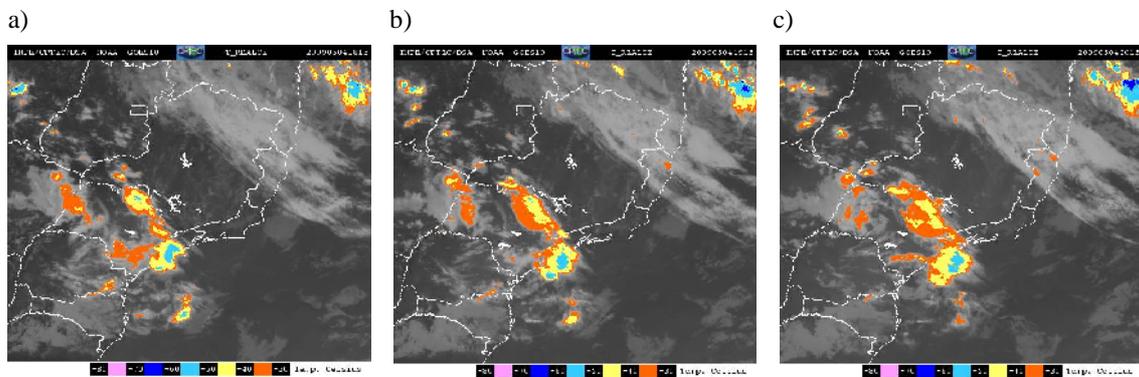
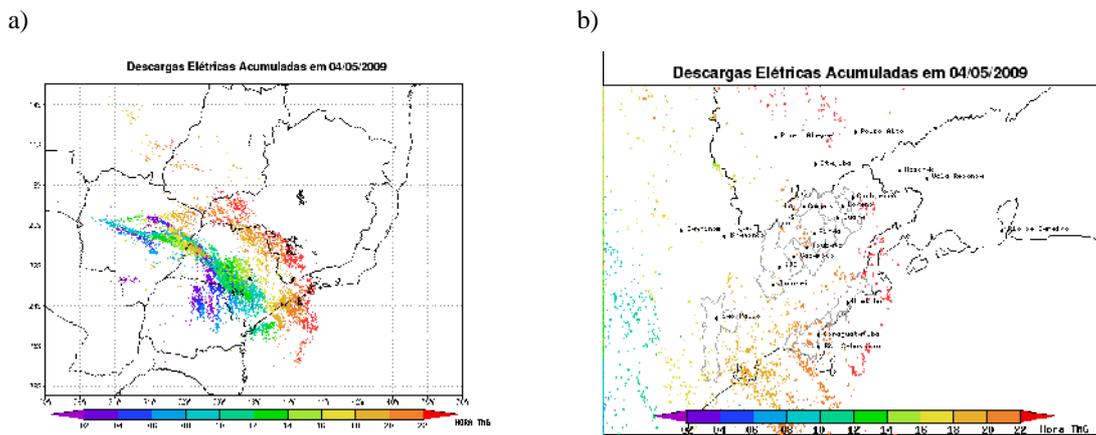


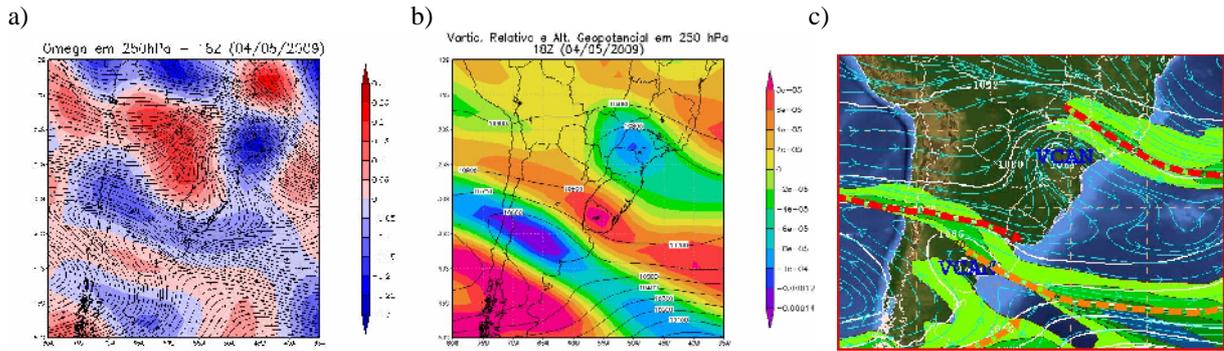
Figura 3.1: Imagem de satélite do GOES-10 realçada no canal infravermelho, (a) 18:15Z, (b) 19:15Z, (c) 20:15Z.

A distribuição espacial das descargas elétricas acumuladas ao longo do dia (Figuras 3.2), que é representado por diferentes tonalidades de cores permitindo deduzir o deslocamento do sistema meteorológico, mostra que praticamente todo o Estado de São Paulo foi afetado pelo fenômeno extremo, atingindo a região do cone leste de São Paulo no período da tarde (tonalidades em vermelho).



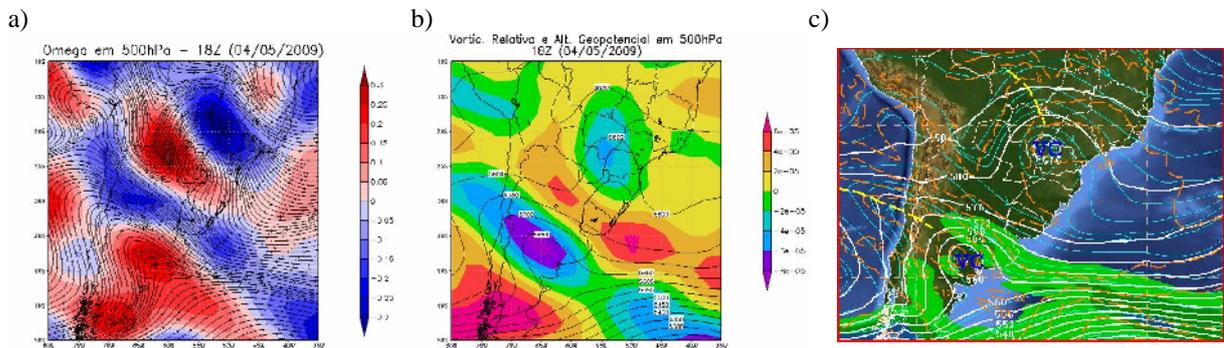
Figuras 3.2: Representação bi-dimensional das descargas elétricas acumuladas do dia 04/04/2009 no (a) Brasil e (b) nas regiões específicas do Estado de São Paulo. Fonte: ELAT-INPE.

Nas figuras 3.3.1, mostram-se o vórtice ciclônico centrado próximo ao Paraná e os ventos ascendentes bem intensos sobre o sudeste brasileiro. Na análise da carta sinótica de 250 hPa gerado pelo CPTEC-INPE (Figura 3.3.1.c), a parte dianteira do vórtice ciclônico aparece contornada pelo Jato Subtropical e influenciando grande parte da Região Sudeste, incluindo o Estado de São Paulo.



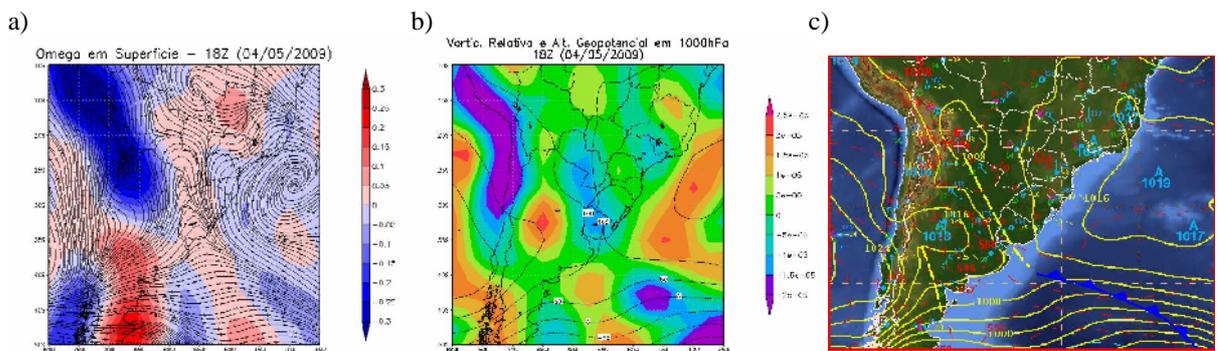
Figuras 3.3.1: Em 250hPa das 18Z do dia 04/05/2009: (a) Omega (sombreado) e linha de corrente (contorno); (b) Vorticidade relativa (sombreado) e altura geopotencial (contorno); (c) Carta sinótica.

Na análise da carta de 500 hPa (Figuras 3.3.2), mostra-se uma situação bem similar à descrita no campo de 250 hPa. O vórtice ciclônico possui núcleo frio associado inferior a  $-12^{\circ}\text{C}$  e está praticamente em fase com o campo de 250 hPa indicando um comportamento barotrópico.



Figuras 3.3.2: Em 500hPa das 18Z do dia 04/05/2009: (a) Omega (sombreado) e linha de corrente (contorno); (b) Vorticidade relativa (sombreado) e altura geopotencial (contorno); (c) Carta sinótica.

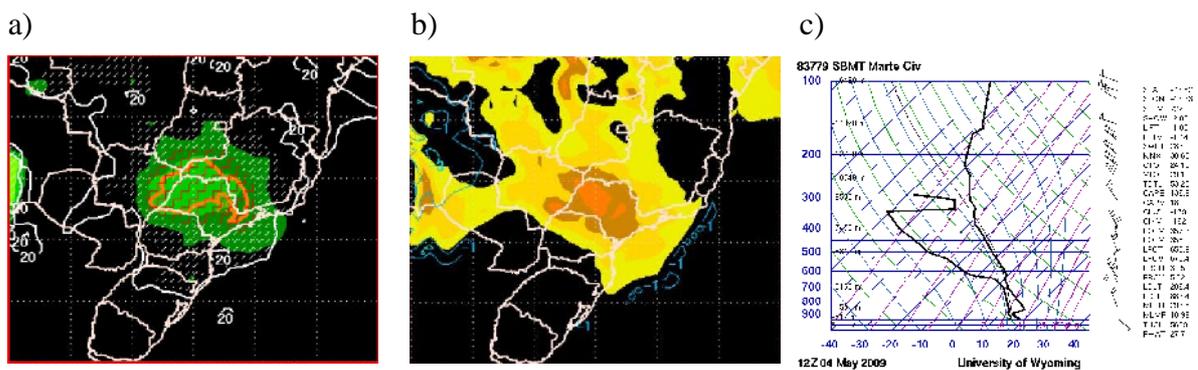
Próximo à superfície, observando as figuras 3.3.3, destacam-se um sistema de alta pressão migratória sobre o Atlântico. Isto significa que o tempo severo ocorrido sobre grande parte do Estado de São Paulo esteve associado ao comportamento da troposfera média e alta, especificamente à presença de ar frio anômalo nestes níveis.



Figuras 3.3.3: Em 1000hPa das 18Z do dia 04/05/2009: (a) Omega (sombreado) e linha de corrente (contorno) em 1000 hPa das 18Z; (b) Vorticidade relativa (sombreado) e altura geopotencial (contorno) em 1000 hPa das 18Z; (c) Carta sinótica.

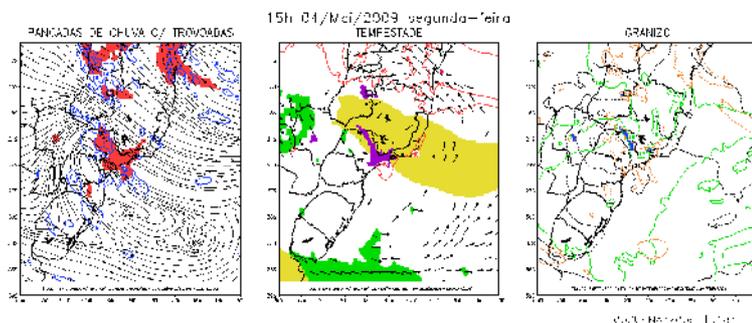
Os índices de instabilidade TT (Total Totals), VT (Vertical Totals) e CT (Cross Totals) são apresentados na Figura 3.4.a. Observa-se que os valores de TT e VT estão acima

de 50 e 27, respectivamente, sobre uma ampla área do Estado de São Paulo, incluindo a Capital e a região do Vale do Paraíba. O VT elevado, principalmente acima de 25, indica a presença de ar frio na troposfera média devido à atuação do vórtice ciclônico mencionado na análise da carta de 500 hPa. Este comportamento anômalo foi a principal característica associada à ocorrência de tempo severo sobre a área analisada. A presença de ar relativamente mais frio em altitude favorece o aumento da instabilidade do ar, apesar das temperaturas não muito elevadas observadas em superfície. O índice de instabilidade CAPE (Figura 3.4.b) registra valores acima de 2000 J.kg<sup>-1</sup> sobre grande parte do Estado de São Paulo, sendo este mais um elemento que mostra a presença de uma massa de ar potencialmente instável. Na sondagem de São Paulo capital (aeroporto de Campo de Marte), correspondente às 12Z (Figura 3.4.c), pode-se observar uma camada relativamente mais seca localizada acima de 600 hPa. É uma característica típica associada à ocorrência de granizo e fortes rajadas de vento.



Figuras 3.4: (a) TT (tracejado branco – acima de 45 e tracejado vermelho – acima de 50), VT (sombreado), CT (contornado – 20, 25, 30); (b) CAPE (sombreado) e CINE (contornado); (c) Diagrama de Skew-T Log-P do aeroporto de Campo de Marte.

As cartas de previsão do ETA20 (Figura 3.5), geradas pelo GEMPAK, permitiram identificar as áreas sombreadas das três primeiras cartas que mostram alta nebulosidade e pancadas de chuva sobre o cone leste do Estado de São Paulo. Pode ser observada a condição para ocorrência de tempo severo nas áreas sombreadas em vermelho e roxo sobre o sul, centro-norte e nordeste de SP, incluindo a capital e a região do Vale do Paraíba.



Figuras 3.5.: Cartas previstas para o dia do evento a partir da aplicação da ferramenta objetiva de previsão de tempo severo com 18 horas de antecedência. Vermelho: pancadas de chuva com trovoadas e ocasionais descargas elétricas, chuvas associadas serão moderadas e fortes. Roxo: pancadas de chuva com trovoadas, descargas elétricas e rajadas de vento, chuvas associadas serão moderadas e fortes. Azul escuro: pancadas de chuva com trovoadas, descargas elétricas, rajadas de vento e queda de granizo, chuvas associadas serão moderadas e fortes.

#### 4) Conclusões

O núcleo convectivo bem significativo se deslocou para o sudeste do Estado de São Paulo onde a distribuição espacial das descargas elétricas acumuladas mostra que praticamente a região do cone leste de São Paulo foi atingida pelo fenômeno extremo no período da tarde do dia 4 de Maio de 2009.

Em 250 hPa, a parte dianteira do vórtice ciclônico aparece contornada pelo Jato Subtropical. O vórtice ciclônico, em 500 hPa, possui núcleo frio associado inferior a  $-12^{\circ}\text{C}$  e está praticamente em fase com o campo de 250 hPa indicando um comportamento barotrópico. A existência de uma alta pressão migratória sobre superfície explica que não houve nenhum gradiente significativo de pressão sobre o Estado de São Paulo, indicando a ausência de sistemas meteorológicos, mostrando que o tempo severo ocorrido sobre grande parte do Estado de São Paulo esteve associado ao comportamento da troposfera média e alta, especificamente à presença de ar frio anômalo nestes níveis.

A análise do componente termodinâmica indicou a presença de uma massa de ar úmida e muito instável sobre grande parte do Estado de São Paulo. O índice VT indicou a presença de ar frio na troposfera média devido à atuação do vórtice ciclônico mencionado na análise da carta de 500 hPa, a qual este comportamento anômalo foi a principal característica associada à ocorrência de tempo severo sobre a área analisada. O índice de instabilidade CAPE mostrou a presença de uma massa de ar potencialmente instável.

O modelo ETA20 preveu a ocorrência de tempo severo e granizo no centro-norte e nordeste de SP, incluindo a capital e a região do Vale do Paraíba, com 18 horas de antecedência.

#### 5) Agradecimentos

Os autores desse projeto de pesquisa agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela concessão da bolsa de pesquisa, ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pelo fornecimento dos produtos de previsão do tempo.

#### 6) Referências Bibliográficas

DIAS PINTO, J. R., e A. C. NÓBILE TOMAZIELLO, 2008: *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis de Origem Tropical e Extratropical sobre o Brasil: Análise Sinótica e Energética*. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP.

GAN, M. A., 1982: *Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

LOURENÇO, M. C. M., N. J. FERREIRA, e M. A. GAN, 1996: *Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis de Origem Subtropical*. Climanálise, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP

NASCIMENTO, E. L., 2007: *Previsão de Tempestades Convectivas Severas: Teoria e Aplicações Básicas*. Nota Técnica, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, SP.