



Evento Extremo de Precipitação Observado no Norte do Rio Grande do Sul
Extreme Rainfall Event Observed in Northern of Rio Grande do Sul

Cristiano Wickboldt Eichholz¹; Cláudia Rejane Jacondino de Campos²;
Diogo Monteiro Maria² & Luciana Barros Pinto²

¹INPE, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, C.P. 515, 12.227-010, São José dos Campos, São Paulo, Brasil

²Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-graduação em Meteorologia,

C.P. 354, 96010-970, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

E-mails: cristiano.eichholz@cptec.inpe.br, cjcamos@ufpel.edu.br, diogomonteiro@hotmail.com, luciana.pinto@ufpel.edu.br

Recebido em: 25/08/2014 Aprovado em: 04/03/2015

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_86_94

Resumo

Este trabalho analisa as condições atmosféricas associadas a um evento extremo de precipitação que atingiu o norte do Rio Grande do Sul (RS) em 10/07/07. Utilizaram-se dados diários de precipitação pluviométrica acumulada de 16 estações meteorológicas de superfície do RS, para verificar a precipitação registrada no RS durante a ocorrência do evento; imagens do satélite GOES 10 (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) no canal 4 (infravermelho termal) para analisar a evolução do sistema meteorológico que atuou na geração do evento; cartas sinóticas de superfície e altitude da 00 UTC do dia 10/07/07 para analisar os sistemas meteorológicos atuantes sobre o RS e dados de reanálise global geradas no *National Centers for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis* (NCEP-CFSR), para analisar o ambiente de grande escala associado à ocorrência do evento. Os resultados mostraram que a circulação em baixos níveis da atmosfera contribuiu para abastecer a região de estudo com grande quantidade de calor e umidade. Esta condição aliada à atuação do Sistema Frontal que se formou no dia 09/07/07 na região contribuiu para a instabilidade atmosférica e organização da nebulosidade convectiva observada, favorecendo a ocorrência da precipitação extrema registrada em 10/07/2007 no norte do RS.

Palavras-chave: precipitação extrema; sistemas meteorológicos; sistemas frontais

Abstract

This paper analyzes atmospheric conditions related to an extreme rainfall event that reached Northern of Rio Grande do Sul (RS) in July 10, 2007. Different data sources were used: rainfall daily data from 16 meteorological surface stations of RS to verify the rainfall registered on RS during the event; infra-red (channel 4) satellite imagery from GOES 10 (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), to analyze the evolution of meteorological system that generated the event; surface and altitude synoptic charts from July 10, 2007 at 00 UTC to analyze the meteorological systems acting on the RS and data from NCEP-CFSR Reanalysis (*National Centers for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis*), to analyze the large-scale environment associated with the event. The results showed that the circulation in low-level of the atmosphere contributed to supply the study area with large amount of heat and humidity. This condition combined with the occurrence of Frontal System observed from July 09, 2007 contributed to the organization of atmospheric instability and convective cloudiness observed, favoring the occurrence of the extreme rainfall registered in Northern RS in July 10, 2007.

Keywords: extreme rainfall; meteorological systems; frontal systems

1 Introdução

As condições do tempo e do clima influenciam as atividades humanas, de maneira que podem tanto contribuir para o desenvolvimento da sociedade, como também impor condições extremas para uma determinada região e às vezes, causar até a perda de vidas humanas. Como exemplos disso têm-se os impactos sociais e econômicos causados por longos períodos de estiagem (que podem afetar tanto a agricultura e a pecuária como também a geração de energia pelas hidrelétricas) e a persistência de chuvas intensas (que podem provocar, por exemplo, enchentes e deslizamento de encostas) (Castro, 1998, 2002; Alcántara-Ayala, 2002; Marcelino *et al.*, 2006).

A ocorrência de eventos extremos de precipitação (EEP) sobre a região sul do Brasil e em especial sobre o Rio Grande do Sul (RS) é frequentemente observada durante todo o ano (Teixeira & Satyamurty, 2011; Cavalcanti, 2012). O RS tem as condições do tempo influenciadas por diversos sistemas meteorológicos que podem gerar esses eventos extremos de precipitação. Dentre eles têm-se os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que são aglomerados de nuvens convectivas (Houze, 1993) que ocorrem durante todo o ano e são mais frequentes nas estações quentes (Nicolini *et al.*, 2002; Vila, 2004; Sakamoto, 2009). Esses SCM se formam devido ao calor e umidade trazidos da região amazônica para a região subtropical pelos Jatos de Baixos Níveis (JBN) (Marengo *et al.*, 2004). Outro sistema meteorológico que atua no RS durante todo o ano, porém com maior frequência nos períodos frios, são os Sistemas Frontais (SF), que são definidos como uma zona de transição entre duas massas de ar de características diferentes (Quadro *et al.*, 1996; Satyamurty *et al.*, 1998; Harter, 2004). Estudos mostram que a interação dos SF com a convecção (Siqueira, 2004; Siqueira & Machado, 2004), favorecem a ocorrência de EEP nessa região (Oliveira & Nobre, 1986; Garreaud, 1999; Vera & Vighiarolo, 2000; Eichholz & Campos, 2011).

Cabe lembrar que EEP ou evento chuvoso segundo Vila (2004) é aquele que registra numa determinada estação meteorológica de superfície, precipitação pluvial diária acumulada igual ou superior a 75 mm. Dentro deste contexto, este estudo visa analisar as condições atmosféricas associadas

à ocorrência do EEP que afetou o norte do RS no dia 10/07/07. Este caso foi selecionado por ter sido o EEP que registrou o maior valor de precipitação pluvial diária acumulada neste ano.

2 Materiais e Métodos

Para a seleção do EEP, objeto deste estudo, foram utilizados dados diários de precipitação pluvial acumulada em 24h do ano de 2007, de 16 estações meteorológicas de superfície (EMS) do RS, fornecidos pelo 8º DISME/INMET (8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia). As 16 EMS foram escolhidas por estarem bem distribuídas, por apresentarem uma série completa de dados e por pertencerem a diferentes regiões ecoclimáticas (regiões com características climáticas semelhantes) do RS (Figura 1).

Dos 16 EEP que ocorreram em 2007 no RS (Eichholz & Campos, 2011) selecionou-se o EEP correspondente ao dia em que foi registrado o maior valor diário de precipitação pluvial acumulada em 2007 (10/07/07). Analisaram-se os dados das 16 EMS do RS para detectar a região atingida pelo EEP.

Posteriormente, utilizaram-se imagens do satélite GOES 10 do canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial em seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de 30 minutos, do período de 09 a 11/07/07, para analisar a evolução do sistema meteorológico que atuou na geração do EEP. Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE).

Por fim, para analisar o ambiente de grande escala associado à atuação do evento, utilizou-se cartas sinóticas de superfície e de altitude das 00 UTC do dia 10/07/07 (INPE/CPTEC/GPT) e dados de reanálise global geradas no *National Centers for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis* (NCEP-CFSR, <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#cfsr>), com resolução espacial de 0,5° x 0,5° e disponibilizados de 6 em 6 horas (00, 06, 12 e 18 UTC). Com os dados do NCEP-CFSR foram gerados campos meteorológicos dos horários das 12 UTC do dia 09/07/07, 18 UTC do dia 09/07/07 e 12 UTC do dia 10/07/07. Esses

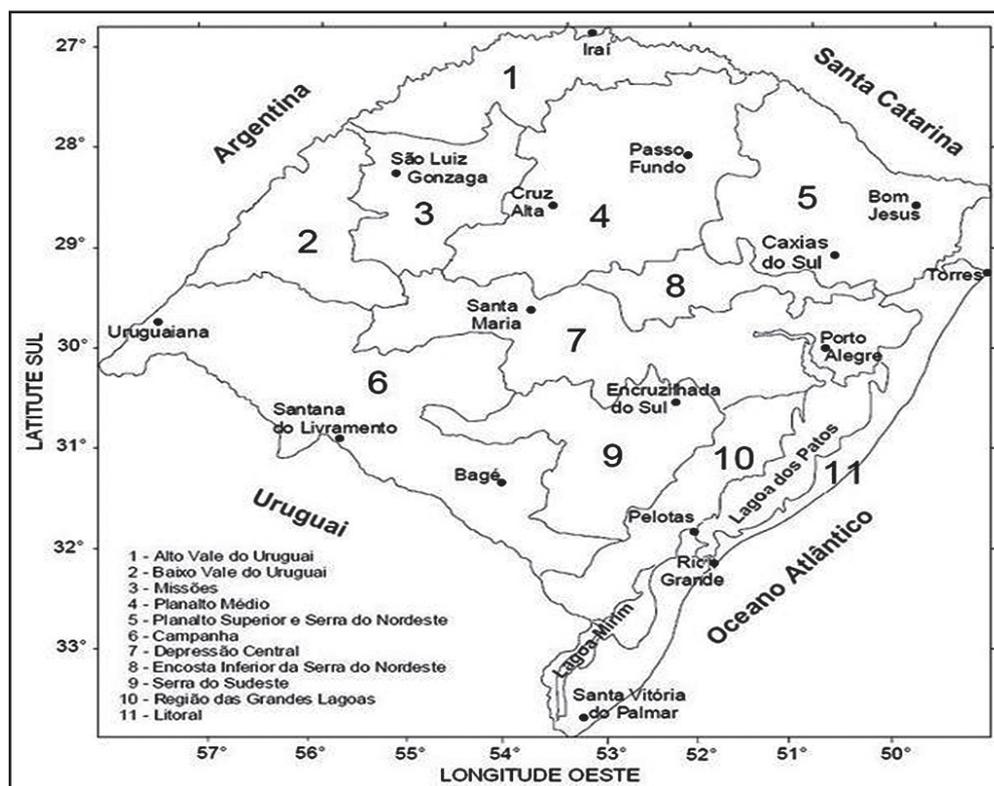


Figura 1 Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho, em suas respectivas Regiões Ecoclimáticas.

horários foram escolhidos porque durante essas 24 h foi registrado o EEP que afetou o norte do RS. Os campos analisados foram: pressão ao nível médio do mar e vento em 10 m, para analisar a posição dos centros de alta e baixa pressão na região de atuação do evento; advecção de temperatura, convergência do fluxo de umidade específica e vento em 850 hPa, que indicam locais propensos à formação de nuvens convectivas, uma vez que a advecção quente e a convergência do fluxo de umidade (transporte de calor e umidade em baixos níveis) tornam a atmosfera instável e criam um ambiente favorável à formação e desenvolvimento de atividade convectiva (Jirak & Cotton, 2004); velocidade vertical (Omega) em 500 hPa, para analisar os movimentos verticais do ar que expressam o nível de estabilidade/instabilidade atmosférica presente. Logo, regiões com movimento do ar ascendente (velocidade vertical negativa) estão associadas à instabilidade atmosférica e ao favorecimento do disparo da convecção em baixos níveis (Ucellini & Johnson, 1979); e divergência do vento em 200 hPa, que indica se na superfície há convergência do fluxo de umidade e calor que geram movimentos verticais ascendentes, evidenciando a atividade convectiva de uma região (Lima *et al.*, 2003).

3 Resultados e Discussão

Pela análise dos dados de precipitação pluvial registrada nas 16 EMS do RS em 2007 foi selecionado para este estudo o EEP que ocorreu no dia 10/07/07.

A composição da precipitação pluvial acumulada (mm) observada em 10/07/07 (acumulada entre às 12 UTC do dia 09/07/07 e às 12 UTC do dia 10/07/07) (Figura 2), nas 16 EMS utilizadas neste estudo (Figura 1), mostra que a precipitação observada neste dia concentrou-se na Metade Norte (MN) do RS (acima de 30°S), com um núcleo de valores mais intensos (acima de 100 mm) na região norte/nordeste do estado. Neste dia as EMS de Passo Fundo (28,21°S; 52,4°O) e Bom Jesus (28,66°S; 52,43°O) foram as que observaram os maiores valores acumulados de chuva: 135,8 mm e 131,4 mm, respectivamente. Cabe destacar que essas 2 EMS registraram em apenas 24 h: 83,9% e 83,3%, respectivamente, da climatologia de precipitação do mês de julho (Ramos *et al.*, 2009).

Pela análise das imagens do satélite GOES 10 (Figura 3), pode-se notar que a partir do dia 09/07/07 (Figura 3A) formou-se um SF que atuou no RS entre

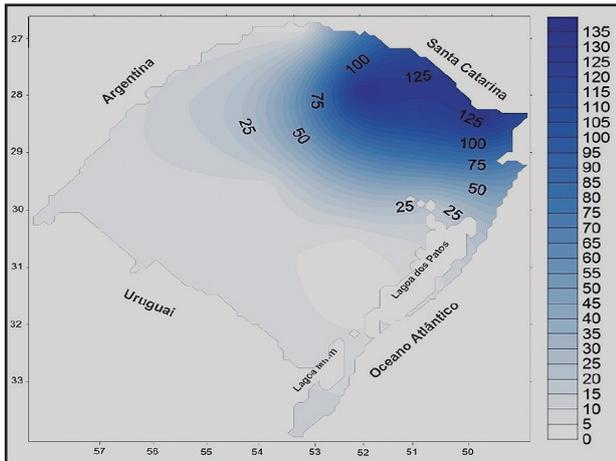


Figura 2 Composição da precipitação acumulada (mm) registrada no dia 10/07/07, para 16 estações meteorológicas de superfície do Rio Grande do Sul. Fonte: INMET.

os dias 09 e 10/07/07 (Climanálise, 2007) e foi o responsável pela elevada precipitação registrada em superfície no dia 10/07/07. Entre às 12 UTC do dia 09/07/07 e às 12 UTC do 10/07/07 (Figura 3B,C,D,E) pode-se notar a presença de uma banda de nebulosidade bem intensa alinhada entre o Paraguai e o Oceano Atlântico associada ao deslocamento do SF pela região. Nas imagens das 12 e 18:15 UTC

do dia 09/07/07 (Figura 3B,C) e das 00 UTC do dia 10/07/07 (Figura 3D) observa-se a presença de topos frios com temperatura acima de -70°C que indicam nuvens de grande desenvolvimento vertical, principalmente no nordeste do RS e sudeste de SC. Após atuar sobre o RS esse SF deslocou-se para nordeste passando por SC e dissipou-se no oceano (Figura 3F).

Estudos demonstraram que casos de intensa precipitação estão associados a nuvens com topos mais frios, uma vez que temperaturas mais baixas denotam topos de nuvens mais altos e com maior probabilidade de produzirem chuva. Já eventos de precipitação mais fracos estão associados a nuvens mais quentes e menores (Adler & Negri, 1988; Barret & Martin, 1981; Scofield & Oliver, 1977). Assim, a análise da temperatura de brilho média observada nos dias 9, 10 e 11/07/07 (Figura 4) indica que os valores de precipitação registrados em superfície foram o resultado da intensa atividade convectiva observada nos dias 09 e 10/07/07 sobre a região norte do RS.

A análise das condições atmosféricas atuantes durante o mês de julho de 2007 mostrou

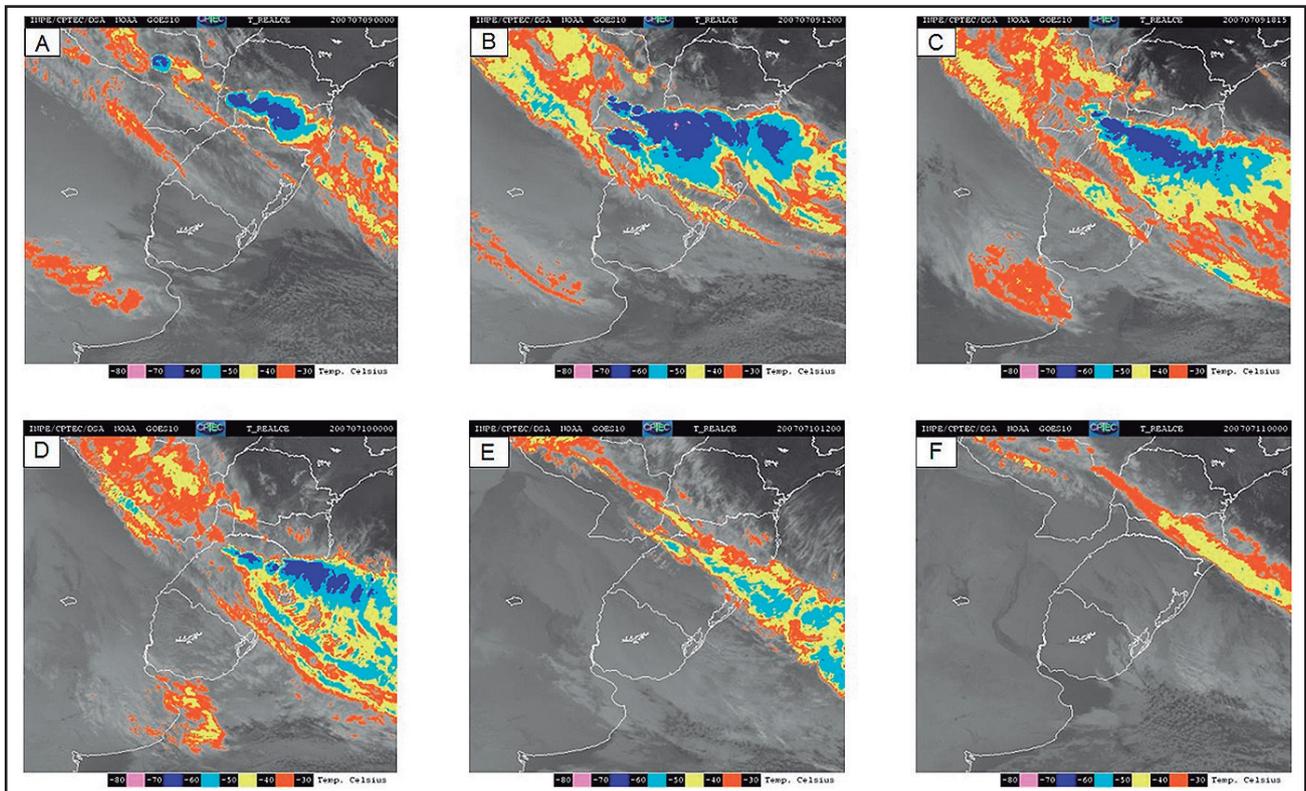


Figura 3 Imagens do satélite GOES 10 no canal 4: (A) 00 UTC do dia 09/07/07, (B) 12 UTC do dia 09/07/07, (C) 18:15 UTC do dia 09/07/07, (D) 00 UTC do dia 10/07/07, (E) 12 UTC do dia 10/07/07, (F) 00 UTC do dia 11/07/07. Fonte: CPTEC/INPE

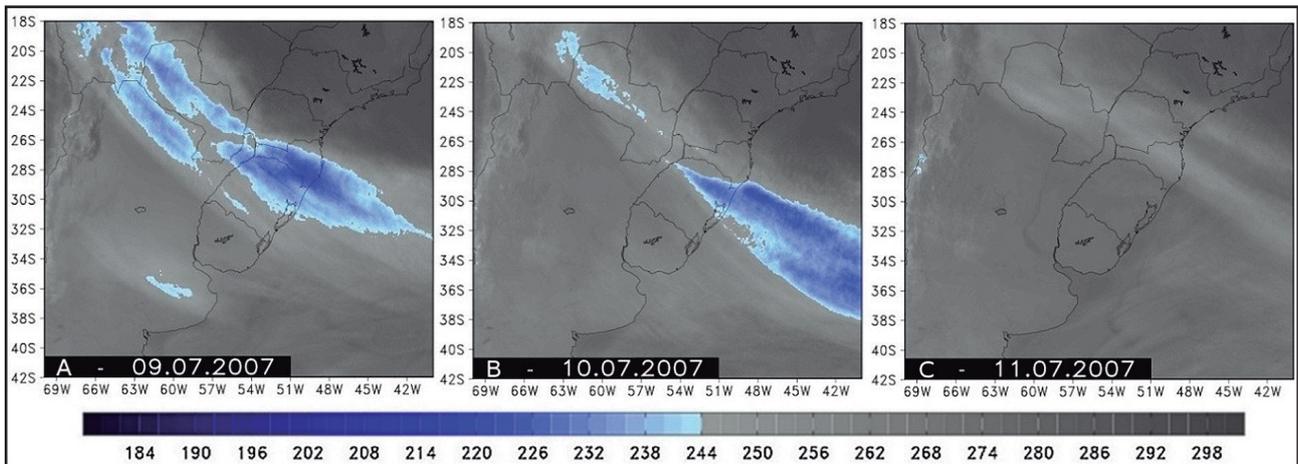


Figura 4 Temperatura de brilho média (K) observada em: (A) 09/07/07, (B) 10/07/07 e (C) 11/07/07, gerada a partir de dados do satélite GOES 10. Fonte: CPTEC/INPE

que sete SF atuaram no Brasil (número acima da climatologia que é de seis SF para latitudes entre 25°S e 35°S) e proporcionaram chuvas intensas e ventos fortes no norte do RS (Climanálise, 2007). O primeiro SF ingressou pelo interior e litoral do RS no dia 06/07/07 e o segundo teve início a partir de um sistema de baixa pressão que se formou no interior do RS no dia 09/07/07, intensificado pelo JBN e pelo cavado na média e alta troposfera, que deram suporte ao sistema em superfície. A carta de superfície (Figura 5) da 00 UTC do dia 10/07/07

mostra esse segundo SF localizado entre o norte da Bolívia e o Oceano Atlântico. Este sistema estava estacionário sobre o Oceano Atlântico a leste do RS. Devido à forte intensidade deste sistema, foram observados totais significativos de precipitação em sua área convectiva e frio intenso na região Sul do Brasil. A atividade desse segundo SF foi intensa no norte do RS, destacando-se os elevados totais diários de precipitação registrados em Passo Fundo-RS (~135 mm) e Bom Jesus-RS (~131 mm) no dia 10/07/07, conforme comentado anteriormente.

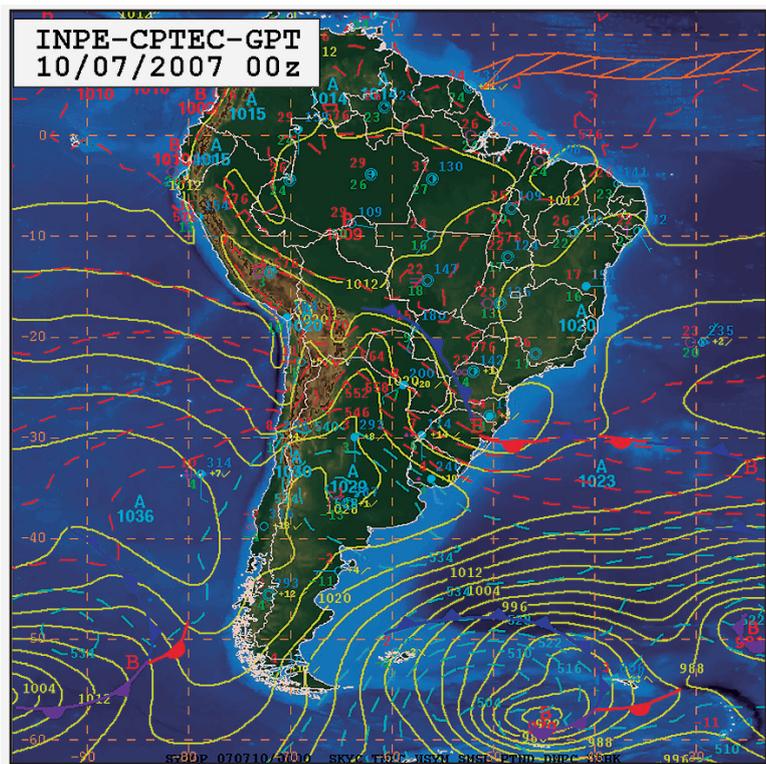


Figura 5 Carta sinótica de superfície das 00 UTC do dia 10/07/07. Observa-se o sistema frontal estacionário, posicionado entre o norte da Bolívia e o Oceano Atlântico, e um centro de baixa pressão no norte do RS.

Além disso, no período de 06 a 13/07/07, houve a atuação sobre a região, com maior intensidade do Jato Subtropical (JST). Pode-se notar na carta sinótica de altos níveis (250 hPa) da 00 UTC do dia 10/07/07 que o JST (Figura 6, linha tracejada vermelha) configurava-se em toda a extensão norte da área ciclônica, com curvatura ciclônica (sentido horário) no Pacífico e anticiclônica (sentido anti-horário) no Atlântico. Os ventos fortes associados a este sistema estavam acima de 140 km/h. Esta configuração do JST fornecia subsídios à manutenção do SF em superfície que estava atuando sobre o norte do RS e oeste de SC. Portanto, o JST associado à ocorrência do SF do dia 09/07/07 contribuiu para a elevada

atividade convectiva observada sobre o RS nos dias 9 e 10/07/07 (Figura 4), gerando os altos índices de precipitação registrados no dia 10/07/07 (Figura 2).

Analisou-se mais detalhadamente o ambiente de grande escala associado à ocorrência do EEP que afetou o norte do RS, durante as 24 h em que este foi registrado: entre às 12 UTC do dia 09/07/07 e às 12 UTC do dia 10/07/07. Para tal analisou-se os seguintes campos de reanálise global gerados no NCEP-CFSR: pressão ao nível médio do mar e vento em 10 m (Figura 7); advecção de temperatura e vento em 850 hPa (Figura 8), convergência do fluxo de umidade específica e vento em 850 hPa (Figura 9), velocidade vertical em 500 hPa (Figura 10) e divergência do vento em 200 hPa (Figura 11).

Figura 6 Carta sinótica de altos níveis (250 hPa) das 00 UTC do dia 10/07/07. As linhas tracejadas representam: o Jato Subtropical (linha vermelha), o Jato Polar Norte (linha laranja) e o Jato Polar Sul (linha branca).

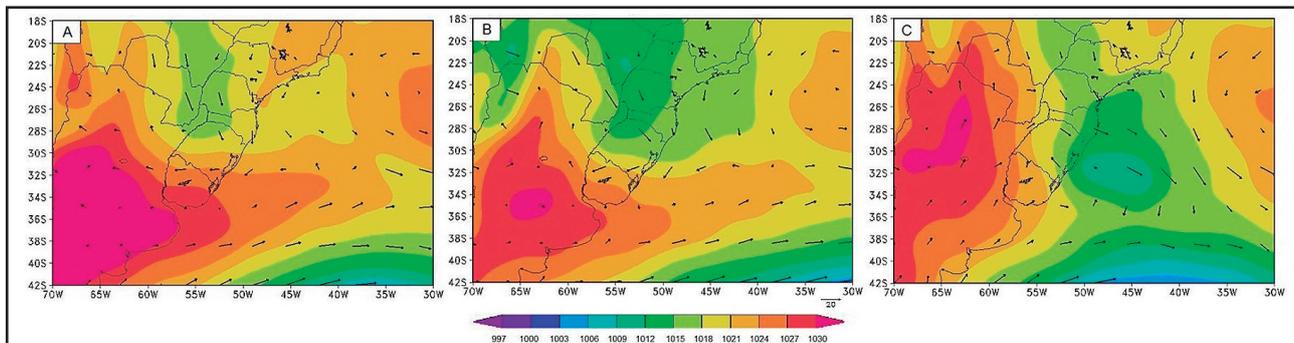
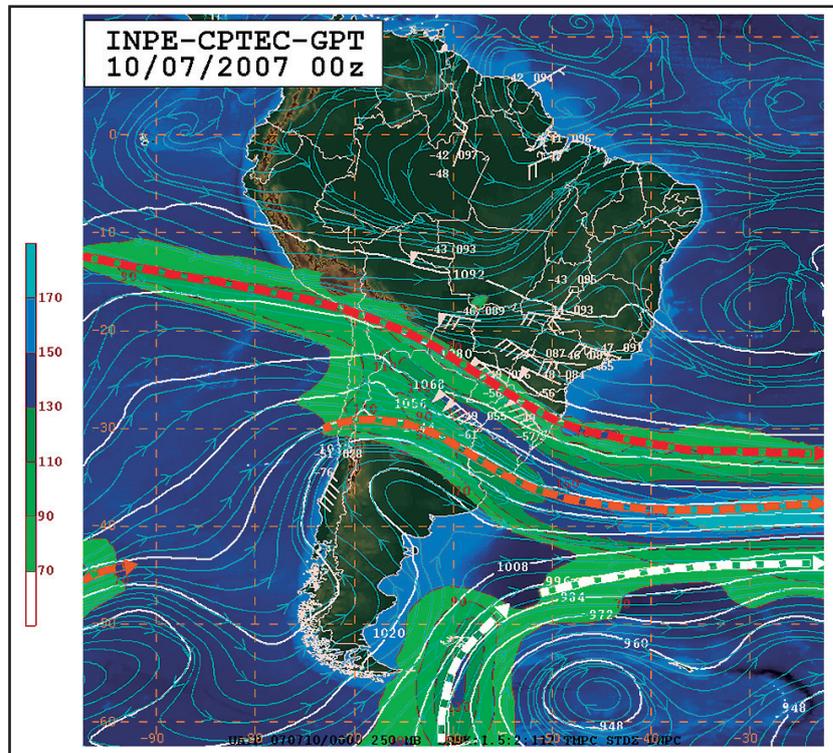


Figura 7 Pressão atmosférica (hPa) ao nível médio do mar e vetor vento em 10 m (ms^{-1}): (A) 09/07/07 às 12 UTC, (B) 09/07/07 às 18 UTC e (C) 10/07/07 às 12 UTC. Fonte: dados do NCEP-CFSR

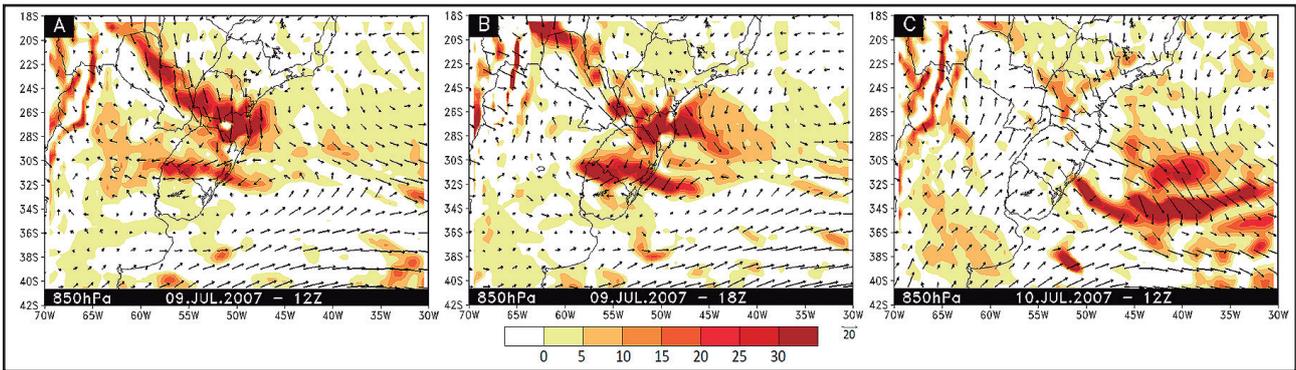


Figura 8 Advecção de temperatura ($10^{-4}K.s^{-1}$) (sombreado) e vento ($m.s^{-1}$) no nível de 850hPa. (A) 09/07/07 às 12 UTC, (B) 09/07/07 às 18 UTC e (C) 10/07/07 às 12 UTC. Fonte: dados do NCEP-CFSR

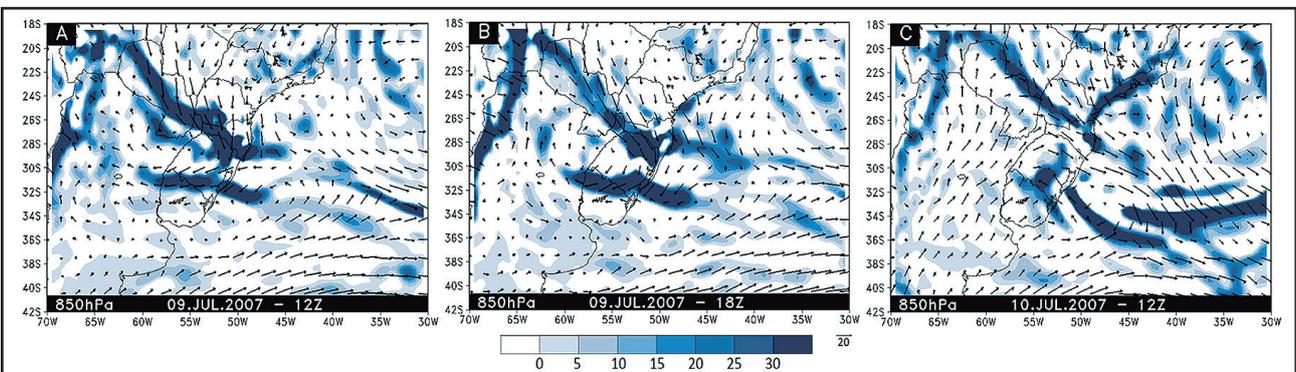


Figura 9 Convergência do fluxo de umidade específica ($10^{-5}g.kg^{-1}.s^{-1}$) (sombreado) e vento ($m.s^{-1}$) no nível de 850hPa. (A) 09/07/07 às 12 UTC, (B) 09/07/07 às 18 UTC e (C) 10/07/07 às 12 UTC. Fonte: dados do NCEP-CFSR

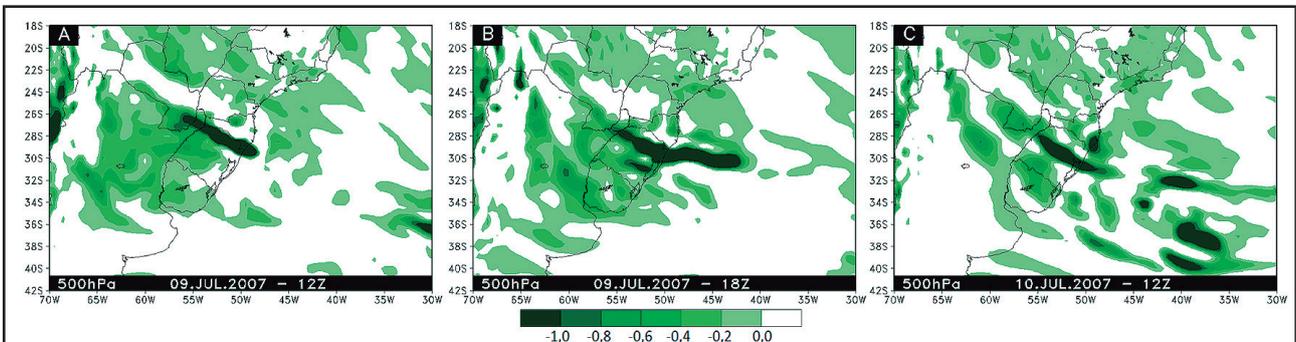


Figura 10 Velocidade vertical (Omega) ($Pa.s^{-1}$) (sombreado) no nível de 500hPa. (A) 09/07/07 às 12 UTC, (B) 09/07/07 às 18 UTC e (C) 10/07/07 às 12 UTC. Fonte: dados do NCEP-CFSR

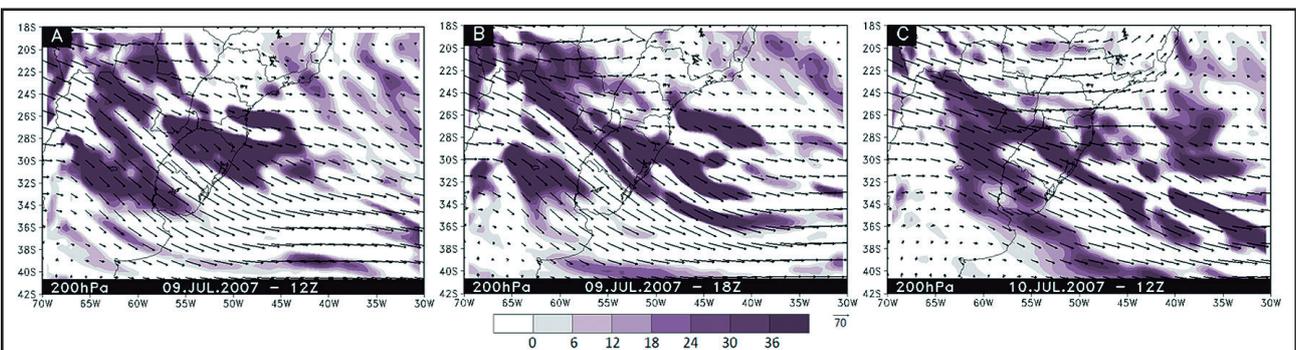


Figura 11 Divergência ($10^{-5}s^{-1}$) (sombreado) e vento ($m.s^{-1}$) no nível de 200hPa. (A) 09/07/07 às 12 UTC, (B) 09/07/07 às 18 UTC e (C) 10/07/07 às 12 UTC. Fonte: dados do NCEP-CFSR

Às 12 UTC do dia 09/07/07 (Figuras 7A, 8A, 9A, 10A, 11A), observa-se em superfície o SF localizado entre a Bolívia e o Oceano Atlântico (Figura 7A). No nível de 850 hPa percebe-se a presença de um JBN que transportava ar quente e úmido que confluiu sobre o norte/nordeste do RS, onde foram observados os altos registros de precipitação. Nessa região podem-se notar valores elevados de advecção de temperatura (Figura 8A) e de convergência do fluxo de umidade específica (Figura 9A). Observa-se ainda em 850 hPa que a confluência do JBN foi marcada por um giro no sentido horário, evidenciando o surgimento de um centro de baixa pressão ao nível médio do mar (Figura 7A). Ainda às 12 UTC do dia 09/07/07 em 500 hPa pode-se notar que sobre a região norte do RS havia velocidade vertical ascendente (Figura 10A), associada à formação do centro de baixa pressão em superfície que favoreceu o levantamento do ar. Pelo campo de divergência do vento em 200 hPa pode-se observar que neste horário havia sobre a região norte do RS um Jato de Altos Níveis (JAN) de noroeste e a presença de divergência do vento (Figura 11A). Portanto os campos neste horário indicavam a existência de condições favoráveis à manutenção e intensificação do SF.

Às 18 UTC do dia 09/07/07 (Figuras 7B, 8B, 9B, 10B e 11B) observa-se em superfície, o SF atuando sobre o RS (Figura 7B). Em 850 hPa o JBN continuava levando ar quente (Figura 8B) e úmido (Figura 9B) para o norte/nordeste do RS. Também foi verificada a presença de divergência no nível de 200 hPa (Figura 11B) a qual estava associada a existência de forte movimento vertical em 500 hPa (Figura 10B), indicando a presença de forte movimento convectivo sobre a região norte do RS.

Às 12 UTC do dia 10/07/07 o SF já estava menos ativo sobre o RS e o centro de baixa pressão posicionado sobre o Oceano Atlântico (Figura 7C). Neste horário em 850 hPa pode-se observar que houve diminuição acentuada dos valores de advecção de temperatura (Figura 8C) e convergência do fluxo de umidade específica (Figura 9C) na região norte/nordeste do RS. Observa-se ainda, em 850 hPa, que a circulação ciclônica (no sentido horário) que havia as 12 e 18 UTC do dia 09/07/07 sobre a região norte/nordeste do RS desintensificou-se e deslocou-se para o Oceano. Logo sobre a região diminuíram a atividade convectiva, os movimentos verticais ascendentes

em 500 hPa (Figura 10C) e a divergência no nível de 200 hPa (Figura 11C). Portanto, neste horário, o ambiente sobre o norte do RS já não fornecia mais calor e umidade suficientes para sustentar a atividade convectiva que alimentava o SF.

Em suma, a precipitação extrema registrada em 10/07/07 no norte do RS foi o resultado da atuação do SF observado dia 09/07/07. Vários autores observaram que a interação de SF com a convecção pode favorecer a ocorrência de eventos extremos de precipitação (Oliveira & Nobre, 1986; Kousky, 1988; Machado & Duvel, 1998; Garreaud, 1999; Vera & Vigliarolo, 2000).

Outro fator que merece destaque é a região onde foi registrado o EEP: norte do RS. Estudos indicam que eventos extremos de precipitação no RS são registrados preferencialmente na MN do Estado, sendo que um dos fatores que contribui para isso é a distribuição topográfica do RS que é bastante variada (Eichholz & Campos, 2011). A MN apresenta topografia mais acidentada, com altitudes que podem chegar a mais de 1.000 m, enquanto que a Metade Sul é mais plana, com altitudes chegando a menos de 100 m (Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul-ASERS, <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>).

4 Conclusões

O EEP registrado no norte do RS em 10/07/07 foi analisado neste estudo.

As condições atmosféricas observadas na região entre os dias 09 e 10/07/07 foram extremamente favoráveis à ocorrência deste evento. A circulação em baixos níveis da atmosfera contribuiu para abastecer a região de estudo com grande quantidade de calor e umidade. Esta condição aliada à atuação do SF que se formou no dia 09/07/07, e que se intensificou devido à presença de um cavado observado na média e alta troposfera e a atuação com maior intensidade do JST, contribuiu para a instabilidade atmosférica e organização da nebulosidade convectiva observada. Este SF desenvolveu maior atividade na porção norte/nordeste do RS, onde foi detectada convecção mais intensa, confirmada pelos altos valores de precipitação registrados em superfície na região no dia 10/07/07.

ORS, por possuir sua economia essencialmente voltada à agroindústria, é um dos estados que mais sofre com a atuação de eventos extremos de precipitação, que além de causarem grande impacto sobre a economia local, também podem levar à perda de vidas humanas. Portanto, o maior conhecimento das condições atmosféricas associadas à ocorrência desses eventos, que são bastante frequentes nesta região, permite a sua melhor previsão, e pode ajudar a minimizar os danos por eles causados.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

6 Referências

- Alcántara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4): 107-124.
- Adler, R.F. & Negri, A.J. 1988. A Satellite Infrared Technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 27: 30-51.
- Barret, E.C. & Martin, D.W. 1981. The use of satellite data in rainfall monitoring. *International Journal of Climatology*, 2(2): 198.
- Castro, A.L.C. 1998. *Glossário de Defesa Civil: estudo de riscos e medicina de desastres*. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 283 p.
- Castro, A.L.C. 2002. *Manual de desastres: desastres mistos*. Brasília: MIN, 91p.
- Cavalcanti, I.F.A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, 118: 27-40.
- Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática-INPE/CPTEC, 2007. São José dos Campos - SP, Brasil. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 11/09/2013.
- Eichholz, C.W. & Campos, C.R.J. 2011. Distribuição de eventos extremos de precipitação no estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO CUBANO DE METEOROLOGIA, 6, Habana-Cuba, 2011. *Anais*, Habana Sociedade Cubana de Meteorologia.
- Garreaud, R.D. 1999. Cold air incursions over subtropical and Tropical South America: A numerical case study. *Monthly Weather Review*, 127(12): 2823-2853.
- Houze, R.A. 1993. Mesoscale convective systems. In: HOUZE, R.A. (ed.). *Cloud dynamics*. Academic Press, Inc., v.53, p. 334-404.
- Harter, I.B. 2004. *Análise de precipitação em Pelotas - RS utilizando transformada Wavelet de Morlet*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 85 p.
- Jirak, I.L. & Cotton, W.R. 2004. Environmental precursors to mesoscale convective system development. In: CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, AND AEROSPACE, 11 AND CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS OPENING REMARKS, 22, Hyannis-MA-USA, 2004. *Trabalhos online*. Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf>>. Acesso em: 16/01/2014.
- Kousky, V.E. 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3(1): 217-231.
- Lima, A.A.; Machado, L.A.T. & Laurent, H. 2003. A divergência do vento em altos níveis e sua relação com a cobertura de nuvens e a precipitação, durante o WETAMC/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 18(2): 105-117.
- Machado, L.A.T. & Duvel, J.P. 1998. Propagação meridional da convecção na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília, 1998. *Anais*, Rio de Janeiro: SBMet, p. 1-5.
- Marcelino, E.V.; Nunes, L.H. & Kobiyama, M. 2006. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia*, 6(19): 130-149.
- Marengo, J.A.; Soares W.R.; Saulo, C.; Nicolini, M. 2004. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17(12): 2261- 2280.
- Nicolini, M.; Saulo, A.C.; Torres, J.C.; Salio, P. 2002. Enhanced precipitation over Southeastern South América related to strong low-level jet events during austral warm season. *Meteorologica, Special Issue for the South American Monsoon System*, 27(1): 59-69.
- Oliveira, A.S. & Nobre, C.A. 1986. Interaction between frontal systems in South America and tropical convection over the Amazon. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE, 3, Wellington, 1986. *Anais*, Wellington, p. 56-59.
- Quadro, M.F.L.; Machado, L.H.R.; Calbete, S.; Batista, N.N.M.; Oliveira, G.S. 1996. Climatologia de Precipitação e Temperatura. *Climanálise Especial - Edição Comemorativa de 10 anos. MCT/INPE/CPTEC*.
- Ramos, A.M.; Santos, L.A.R. & Fortes, L.T.G. 2009. *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília-DF: INMET. 465 p.
- Sakamoto, M.S. 2009. *Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Satyamurty, P.; Nobre, C.A.; Silva Dias, P.L. 1998. South America. In: Karoly, D.J & Vicent, D.G. (Coordenadores). *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston: American Meteorological Society, v.27, p. 119-139.
- Scofield, R.A. & Oliver V. J. 1977. A Scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery. *NOAA Technical Memorandum*, v. 86, p. 47.
- Siqueira, J.R. 2004. *Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Dissertação de Mestrado, 186 p.
- Siqueira, J.R. & Machado, L.A.T. 2004. Influence of the Frontal Systems on the Day-to- Day Convection Variability over South America. *Journal of Climate*, 17: 1754- 1766.
- Uccellini, L.W. & Johnson, D.R. 1979. The coupling of upper and lower tropospheric jet streams and implications for the development of severe convective storms. *Monthly Weather Review*, 107: 682-703.
- Teixeira, M.S. & Satyamurty, P. 2011. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960-2004. *Journal of Climate*, 24: 1913-1921.
- Vera, C.S. & Vigliarolo, P.K. 2000. A diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. *Monthly Weather Review*, 128(1): 3-24.
- Vila, D.A. 2004. *Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy mesoscale convective systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)*. Programa de Pós-graduação em Ciências, Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Buenos Aires, Tese de doutorado, 132 p.