XI Workshop Brasileiro 2019 Micro Meteorologia
20 a 22 de novembro de 2019 | INPE | São José dos Campos - SP | Brasil

ANÁLISE DA DINÂMICA DO ESCOAMENTO EM DIFERENTES NÍVEIS VERTICAIS EM UM CASO DE PRECIPITAÇÃO INTENSA NO RS

Luiz Gabriel Cassol Machado[1], Emily Claudia Pereira Ramos, André Becker Nunes[3]

[1]Curso de Graduação em Meteorologia, UFPEL
[2]Curso de Graduação em Meteorologia, UFPEL
[3]Departamento de Meteorologia, UFPEL

Resumo

Este estudo tem como principal objetivo analisar as condições sinóticas do evento de chuva extrema ocorrido em áreas do oeste e campanha do RS, durante os dias 9 e 10 de janeiro de 2019. Os totais de precipitação em 48 horas em diversos municípios superaram os 200 mm, sendo que a maior quantidade foi registrada na Estação Automática do INMET em Uruguaiana com 281 mm das 01 UTC do dia 9 até as 17 UTC do dia 10 de janeiro de 2019, acumulado bem significativo e pouco comum de acontecer. A análise sinótica das condições atmosféricas demonstrou que o principal fator para a ocorrência das chuvas intensas foi a atuação de um cavado associado a baixa do noroeste argentino, que perdurou durante todos os dias do evento, apresentando uma forte convergência do fluxo de umidade em baixos níveis, levando a intensos movimentos verticais observados pelos campos de ômega em 500 hPa e a presença do escoamento difluente em altos níveis. Além disso, foi observado a evolução de uma zona baroclínica entre o Uruguai e a Argentina alimentada por um forte Jato de Baixos Níveis, caracterizando um ambiente favorável para a formação de SCMs genéricos.

Palavras-chave: Escoamento difluente; Baixa do Noroeste Argentino; JBN

Abstract

The main objective of this study was to analyze the synoptic conditions of the extreme precipitation event that occurred in the western and campaign areas of RS State during January 9th and 10th, 2019. The 48 hours total precipitation in several municipalities exceeded 200 mm. The largest amount was registered at the INMET Automatic Station in Uruguaiana with 281 mm from 01 UTC on 9th to 17 UTC on January 10th, 2019, a very significant and unusual accumulation. The synoptic analysis of the atmospheric conditions showed that the main factor for the occurrence of intense rainfall was the action of a trough associated with the Northwestern Argentinean Low that lasted during all the days of the event, presenting a strong convergence of humidity flux at low levels, leading to intense vertical movements observed by the omega fields at 500 hPa and the presence of high-level diffluent flow. In addition, the evolution of a baroclinic zone between Uruguay and Argentina fed by a strong Low Level Jet was observed, characterizing a favorable environment for the formation of generic SCMs.

Keywords: Diffluent flow; Northwestern Argentinean Low; LLJ

1 Introdução

Vários tipos de eventos meteorológicos no Rio Grande do Sul (RS) ocorrem regularmente ao longo do ano (RECKZIEGEL, 2007), entretanto, ocorrem eventos severos potencialmente danosos, como por exemplo: vendaval, enxurrada, enchente, granizo entre outros (KOBIYAMA et al., 2006), que são desencadeados por tempestades severas e dependem das condições atmosféricas, principalmente em escala sinótica (MARCELINO, 2003).

Dentre os principais sistemas atmosféricos que influenciam as condições de tempo no RS, favorecendo a ocorrência de desastres naturais, podem-se citar os sistemas frontais (frentes frias), as convecções locais (devido ao aquecimento diurno da superfície) e os sistemas convectivos de

mesoescala (SCM). Paralelo a esses fenômenos, temos a presença das áreas de baixa pressão continentais do Chaco (BCH) e do Noroeste Argentino (BNOA). No verão, a BCH, se localiza entre o norte da Argentina, Paraguai, Mato Grosso do Sul e o sul da Bolívia. Já no inverno a BCH não aparece, confirmando seu caráter térmico, gerada principalmente pela liberação de calor latente, produto da convecção observada na área de atuação deste sistema, não devendo ser confundida com a BNOA que é um sistema influenciado pela orografia e dos sistemas transientes (ESCOBAR e SELUCHI, 2012).

A forçante sinótica de altos níveis desempenha um papel importante na maioria dos eventos de convecção intensa nas latitudes médias, os quais ocorrem quando a configuração sinótica permite que ascensões convectivas se desenvolvam em toda a profundidade da troposfera, até a tropopausa (SANTURETTE E GEORGIEV, 2005). Alguns estudos mostraram a corrente de jato como um mecanismo gerador de condições favoráveis ao desenvolvimento de sistemas meteorológicos, principalmente aqueles associados à ocorrência de tempestades intensas (UCCELINI e JOHNSON, 1979; MADDOX, 1982; BLUESTEIN e THOMAS, 1984; GUEDES e SILVA DIAS, 1984; KRISHNAMURTI et al., 2018). Em algumas ocasiões dos eventos de desastres naturais causados por precipitação intensa, é possível observar a presença da forçante dinâmica em nível superior intensificando a instabilidade já estabelecida em baixos níveis, aumentando a severidade da instabilidade em superfície (BLUESTEIN, 1993).

Segundo Krishnamurti et al. (2018) a difluência é uma característica cinemática do campo de movimento horizontal. Os autores analisaram a evolução da difluência em altos níveis em 21 furacões intensos que ocorreram no Oceano Atlântico Tropical, e foi observado que na maioria dos casos o máximo de difluência ocorre entre 0 a 5 dias antes do pico de vorticidade na baixa troposfera. De acordo os autores, o escoamento difluente em altos níveis contém um papel potencial na intensificação da vorticidade em baixos níveis para uma categoria maior de furacões. Sanders (1993) verificou que ciclones em superfície se aprofundam mais sob escoamento difluente do que sob escoamento confluente. Schultz e Sanders (2002) analisaram dois casos de frontogênese em altos níveis, um com uma configuração difluente e outro confluente. Conforme os autores, foi observado que a maior facilidade de formação de sistemas transientes em superfície ocorre sob condições de escoamento difluente.

Na América do Sul alguns estudos verificaram casos de intensa convecção associadas ao escoamento difluente em altos níveis, como por exemplo: Riquetti et al. (2018) analisaram um caso de tempestade que gerou precipitação intensa sobre Foz do Iguaçu-PR; Morales e Nunes (2012) identificaram um cavado difluente em altos níveis sobre a América do Sul associado a fortes chuvas acompanhadas de granizo na Campanha e no Sul do Rio Grande do Sul; Veber (2011) verificou que 75% dos casos estudados no período de 2000 a 2009 estavam associados a difluência no escoamento superior sobre a Região Nordeste do Brasil devido a interação entre a circulação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis com a Alta da Bolívia (AB); Ávila et al., (2017) verificaram a presença de um forte escoamento difluente em altos níveis, que somado com as forçantes termodinâmicas na baixa troposfera, favoreceram a formação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) ocorrido no dia 29 de novembro de 2012 entre o oeste do RS, nordeste da Argentina e sul do Paraguai.

Entre os dias 9 e 10 de janeiro de 2019 o RS, em especial a região oeste e campanha, sofreu enormes prejuízos devido ocorrência de chuvas torrenciais e volumosas. Os jornais noticiaram inúmeros problemas à população, dentre eles, cita-se (Gaúcha ZH, 2019): 11 municípios decretam situação de emergência devido às chuvas no RS, balanço da Defesa Civil aponta que houve quase 5 mil pessoas que ficaram fora de suas casas (4300 somente em Alegrete).

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar as características sinóticas e os fatores que levaram a ocorrência desse caso de precipitação intensa que gerou acumulados superiores a 200 mm em diversos municípios do oeste gaúcho apenas 48 horas, sendo que a maior quantidade foi registrada na Estação Automática do INMET em Uruguaiana com 281 mm das 01 UTC do dia 9 até as 17 UTC do dia 10 de janeiro de 2019, a fim de compreender e prever com mais exatidão estes importantes fenômenos atmosféricos, evidenciando algumas características da corrente de jato subtropical e como a mesma está associada ao desenvolvimento da convecção em baixos níveis da atmosfera.

2 Materiais e Métodos

A análise do estudo do caso em questão foi feita por meio de campos meteorológicos, obtidos de dados de reanálises do Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications – Version 2 (MERRA-2) (GELARO et al., 2017). Os dados têm resolução espacial de 0.66° de longitude e 0.5° de latitude (cerca de 50 km na direção latitudinal), 42 níveis verticais e intervalo de tempo de 6 horas, com domínio espacial cobrindo o centro-sul da América do Sul e oceanos adjacentes. Foram usados dados de pressão a nível médio do mar (pnmm), direção e magnitude do vento, altura geopotencial, temperatura do ar e umidade específica para diferentes níveis verticais. A detecção do escoamento difluente em altos níveis seguiu a metodologia de Krishnamurty et al. (2018). Os dados foram visualizados via software Grid Analysis and Display System (GrADS), do Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA). A nebulosidade associada ao sistema foi observada por meio de imagens do satélite GOES-16 (Geostationary Operational Environmental Satellite 16), obtidas da empresa americana WeatherUS. Os dados de precipitação acumulada foram obtidos através das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3 Resultados

Na análise dos campos sinóticos é possível observar que na madrugada do dia 9 de janeiro de 2019, havia a presença da Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) sobre a América do Sul, conforme Seluchi e Saulo (2012). Nota-se na figura 1A o escoamento indicando um transporte de calor e umidade de norte associado ao Jato de Baixos Níveis (JBN) sobre áreas do oeste e campanha gaúcha.

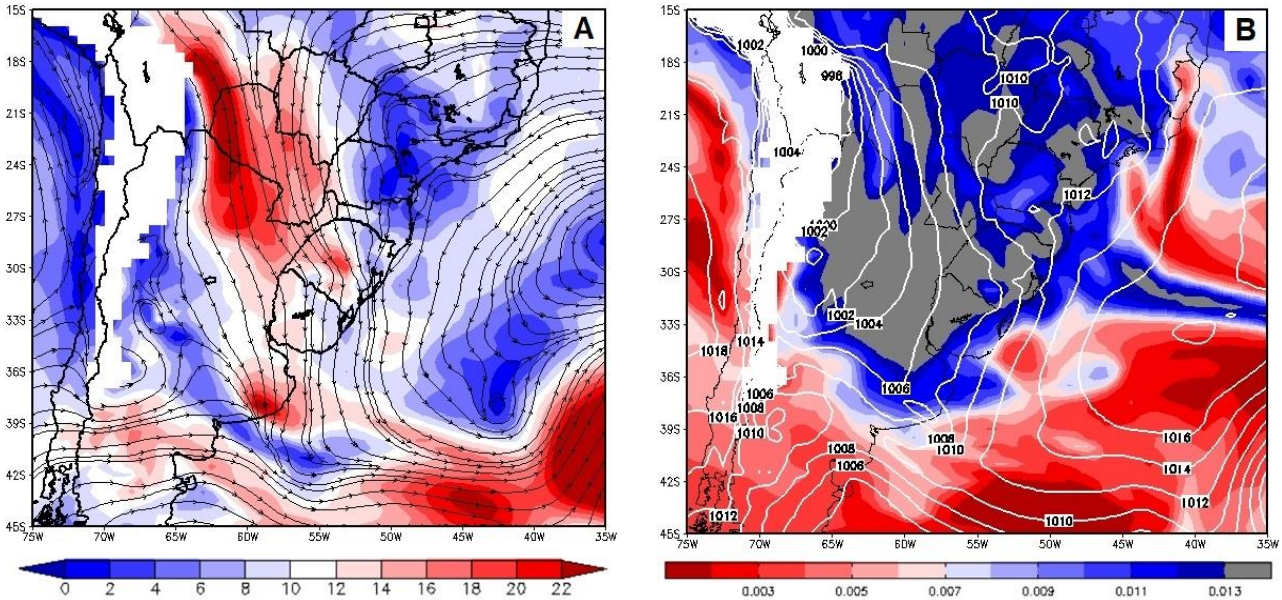

Figura 1 – (A) magnitude do vento (sombreado) e linha de corrente (contornos em preto) em m s^{-1} em 850 hPa as 0600 UTC do dia 09/01/2019 e (B) pressão ao nível médio do mar (pnmm) em hPa (contorno branco) e umidade específica em 850 hPa (sombreado) em g kg^{-1} as 0600 UTC do dia 09/01/2019.

A Figura 1B indica, no nível de 850 hPa, um transporte de umidade devido à presença do JBN na região de estudo e em toda a área de influência da BNOA. Além disso, foi verificada a intensificação da variável em questão (não mostrado aqui), fato que tende a intensificar o sistema de baixa pressão continental. De acordo com Seluchi e Saulo (2012) a BNOA assim como a BCH se desenvolvem em uma atmosfera mais instável do ponto de vista termodinâmico, com maior conteúdo de umidade, sendo afetada por precipitações mais abundantes, dentro de uma massa de ar mais típica das latitudes tropicais.

Observa-se um cavado zonal (figura 1B) associado a BNOA, com eixo entre o norte da Argentina e o centro-oeste do RS, e também a intensificação do JBN (não mostrada aqui), fatores que contribuem para a convergência em baixos níveis.

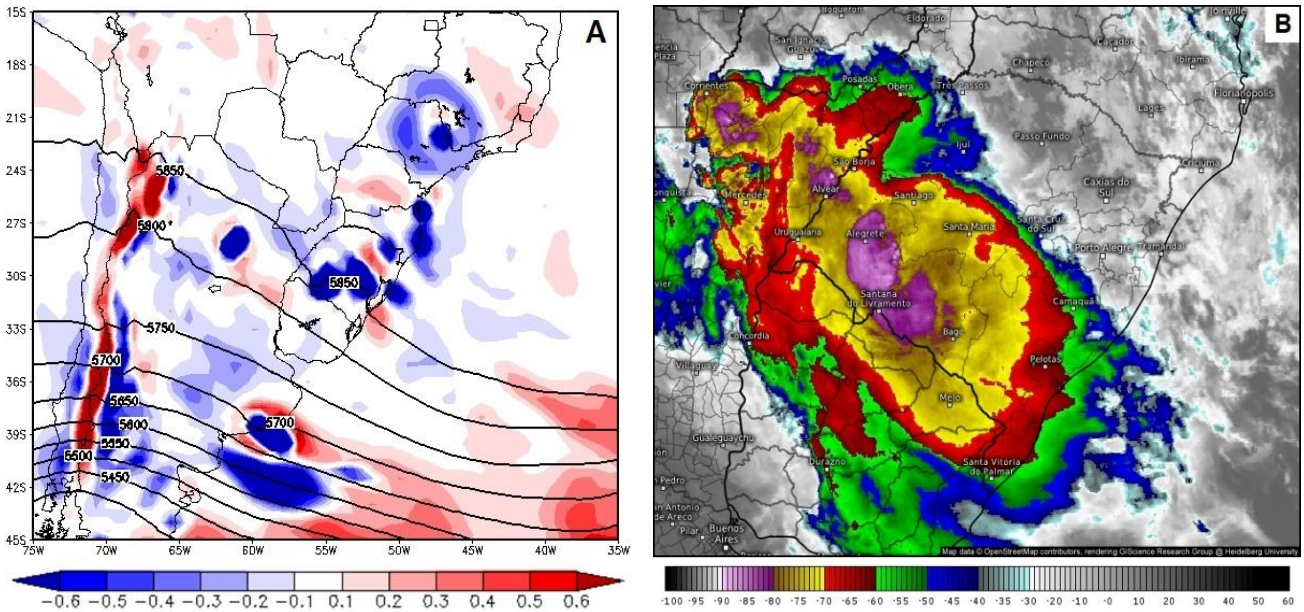

Figura 2 – (A) Ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa s^{-1} e altura geopotencial em 500 hPa (contornos em preto) em mgp para as 0600 UTC do dia 09/01/2019 e (B) Imagem de satélite GOES-16 do canal infravermelho de temperatura realçada para as 0600 UTC do dia 09/01/2019.

No campo de 500 hPa (figura 2A) constata-se um intenso movimento vertical na atmosfera e a presença de uma camada quente e instável representada pelos valores de altura geopotencial de 5850 mgp sobre áreas do centro-oeste gaúcho. Através da imagem de satélite (figura 2B) nota-se a ocorrência de topos entre -70 e -90ºC ao longo do setor mais intenso do SCM, sendo caracterizada por nuvens cumulonimbus de topos mais frios (tons amarelo e rosa).

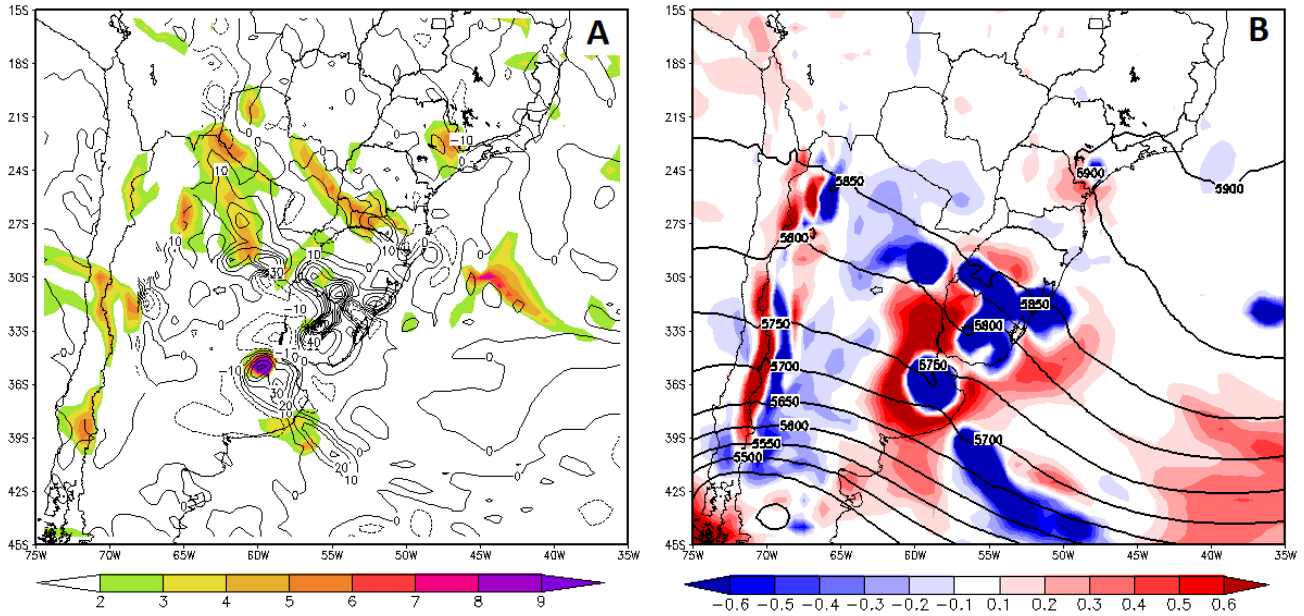

Figura 3 – (A) Convergência de umidade em 10^{-5} g kg^{-1} s^{-1} em 850 hPa (contornos em preto) e difluência em 10^{-5} s^{-1} em 250 hPa (sombreado) para as 1200 UTC do dia 09/01/2019 e (B) Ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa s^{-1} e altura geopotencial em 500 hPa (contornos em preto) em mgp para as 1200 UTC do dia 09/01/2019.

Na figura 3, referente às 1200 UTC, observa-se uma intensa convergência de umidade na baixa troposfera, além da atuação do escoamento difluente sobre o oeste do estado (figura 3A) e fortes movimentos ascendentes (figura 3B). Tais forçantes foram primordiais para a manutenção no ciclo de vida do SCM ao longo do dia 9. Além disso, foi analisada a sequência dos campos

sinóticos desde o início do evento e verificou-se que primeiramente houve a atuação de acentuados valores negativos de ômega (figura 4) para, posteriormente, se observar a configuração da difluência em altos níveis (figura 5).

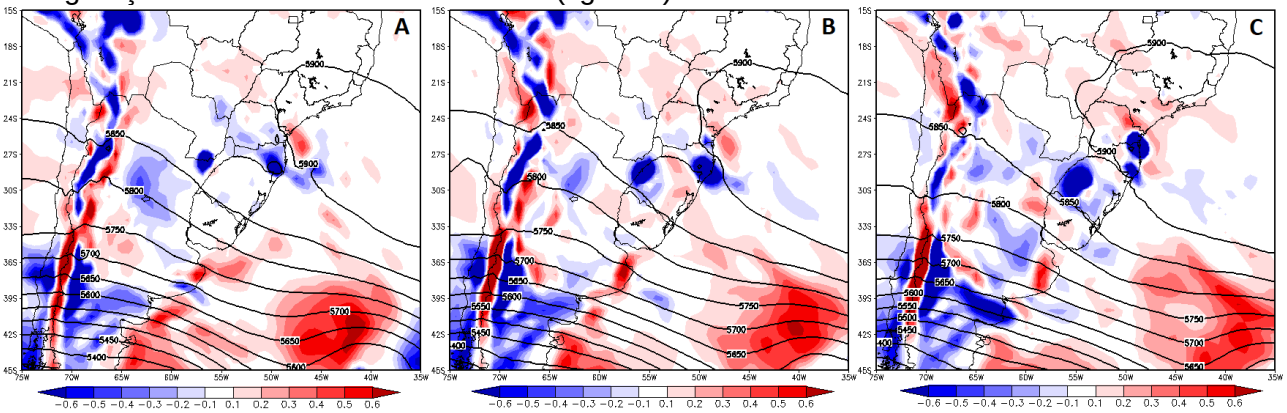

Figura 4 – Ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa s^{-1} e altura geopotencial em 500 hPa (contornos em preto) em mgp. (A) 08/01 18z, (B) 08/01 21z, (C) 09/01 00z.

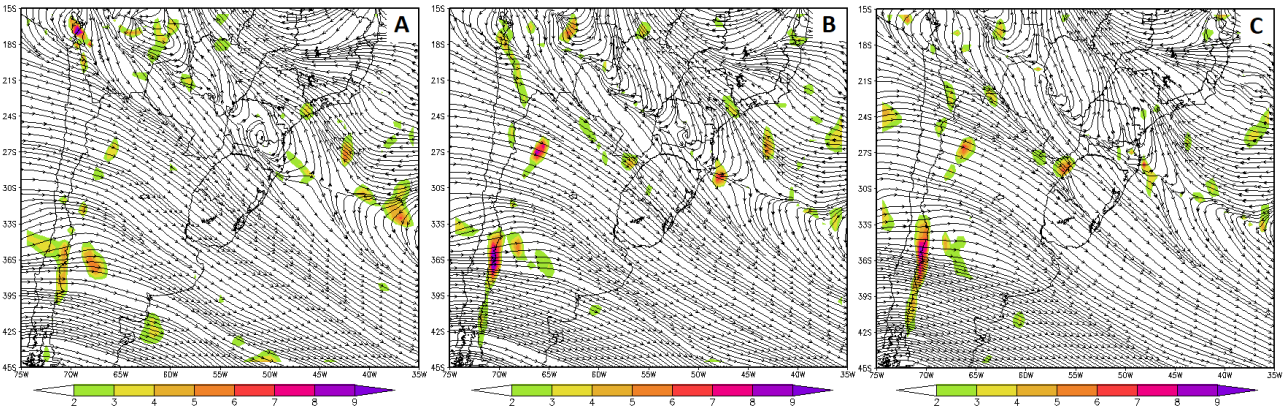

Figura 5 – Campo de linha de corrente em 250 hPa (contornos em preto) e difluência do vento em 250 hPa (sombreado) em (s^{-1}). (A) 08/01 18z, (B) 08/01 21z, (C) 09/01 00z.

Na madrugada do dia 10 houve a configuração e intensificação de um cavado invertido associado a BNOA, que deu origem a uma área de baixa pressão horas depois sobre a campanha gaúcha (não mostrado). Além disso, houve a presença de um intenso JBN advectando ar quente das latitudes mais baixas em direção ao RS (figura 7), que induz a uma intensa convergência de umidade em baixos níveis (figura 8A), favorecendo a formação de um novo SCM sobre a região de estudo (figura 6A), provocando novos acumulados de chuva sobre as áreas que já vinham sofrendo com todo o volume de chuva ao longo do dia 9, o que resultou em acumulados próximos a 300 mm em algumas localidades em apenas 48 horas (figura 6B).

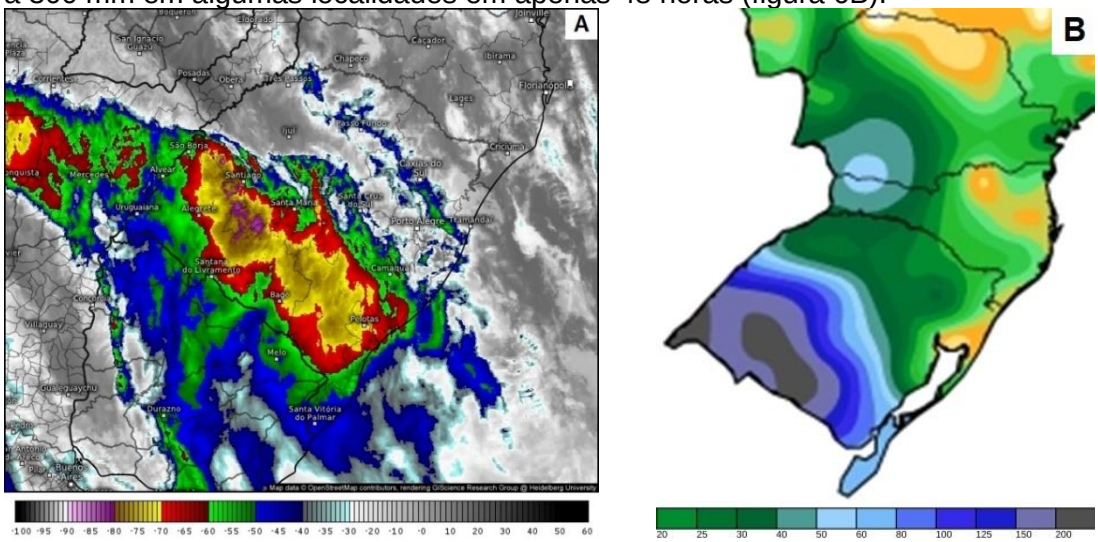

Figura 6 – (A) Imagem de satélite GOES-16 do canal infravermelho de temperatura realçada para as 0600 UTC do dia 10/01/2019. (B) Precipitação acumulada nas estações automáticas do INMET em 72 horas (dias 8, 9 e 10/01/2019).

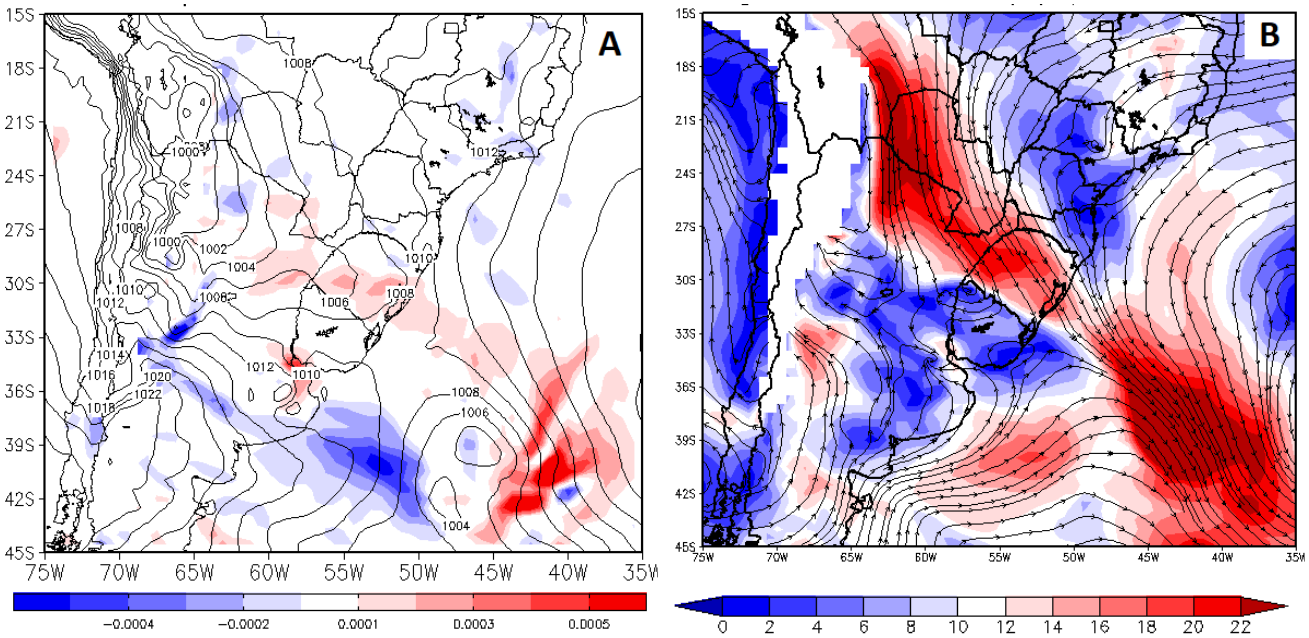

Figura 7 – (A) pressão ao nível médio do mar (pnmm) em hPa (contornos em preto) e campos de advecção de temperatura em 850 hPa (sombreado) em K s^{-1} para as 0600 UTC do dia 10/01/2019. (B) Magnitude do vento (sombreado) e linha de corrente (contornos em preto) em m s^{-1} em 850 hPa as 0600 UTC do dia 10/01/2019.

Além dos valores altos de convergência da umidade em baixos níveis (figura 8A), verificou-se a atuação de movimentos ascendentes (figura 8B) sobre a região de atuação do novo SCM (figura 6A). Não foi observado a presença do escoamento difluente na madrugada do dia 10.

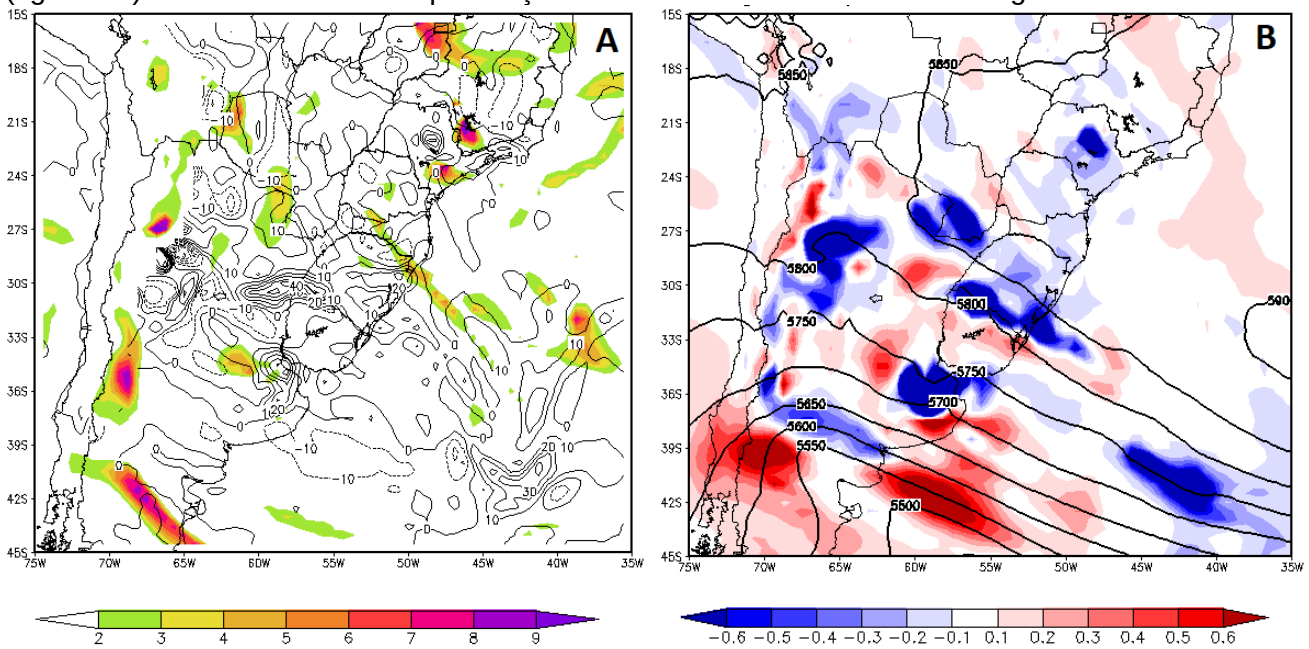

Figura 8 – (A) convergência de umidade em 10^{-5} g kg^{-1} s^{-1} em 850 hPa (contornos em preto) e difluência em 10^{-5} s^{-1} em 250 hPa (sombreado) para as 0600 UTC do dia 10/01/2019 e (B) ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa s^{-1} e altura geopotencial em 500 hPa (contornos em preto) em mgp para as 0600 UTC do dia 10/01/2019.

4 Conclusão

O entendimento do ambiente sinótico associado aos eventos de chuva intensa é de extrema importância, tendo em vista os transtornos e os prejuízos ocasionados na sociedade. A análise do escoamento em diferentes níveis verticais, como a apresentada aqui, fornece informações sobre a estrutura do sistema associado ao evento severo. Por meio de dados de reanálise do MERRA-2 observou-se um ambiente favorável para formação de SCMs entre os dias 9 e 10. A formação de um cavado associado a BNOA, que perdurou durante todos os dias do evento sobre o RS, colaborou mais incisivamente com um transporte de ar quente e úmido, fundamental para a formação dos SCMs genéricos. Além disso, observou-se a relação do escoamento difluente em altos níveis com o movimento ascendente, constituindo em parte importante da configuração sinótica do caso. Notou-se que o movimento vertical surgiu horas antes da ocorrência da difluência, dando indício que o escoamento difluente foi uma consequência do intenso ômega negativo. Futuros trabalhos colaborarão na análise da relação entre o escoamento difluente e o movimento vertical em outros casos de precipitação intensa.

Referências Bibliográficas

ÁVILA, A. V.; NOLASCO JUNIOR, L. R.; COELHO, W. F.; NUNES, A. B. Análise sinótica de uma tempestade convectiva e a influência do acoplamento entre o Jato de Baixos Níveis e o Jato Subtropical em seu desenvolvimento. **VII Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, 2017, Pelotas. Anais do VII ESBMET, 2017.

BLUESTEIN, H.B. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Volume II: **Observations and Theory of Weather Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1993. 594p.

BLUESTEIN, H. B.; THOMAS, K. W. Diagnossis of a Jet Streak in the vicinity of a severe weather outbreak in the Texas Panhandle. **Monthly Weather Review**. Vol. 112, p.2499-2519, 1984.

DSA – CPTEC/INPE. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>. Acesso em: 18 set. 2019.

ESCOBAR, G.C.J.; SELUCHI, M.E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do Chaco e do Noroeste argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 365-375, 2012.

GAÚCHA ZH. **11 municípios decretam situação de emergência devido às chuvas no RS**. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2019/01/11-municipios-decretam-situacao-de-emergencia-devido-as-chuvas-no-rs-cjquwhpbo009801pk5wfycmt1.html>. Acesso em: 11 set. 2019.

GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M.J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; RANDLES, C.A.; DARMENOV, A.; BOSILOVICH, M.G.; REICHLE, R.; WARGAN, K.; COY, L.; CULLATHER, R.; DRAPER, C.; AKELLA, S.; BUCHARD, V.; CONATY, A.; DA SILVA, A.M.; GU, W.; KIM, G.K.; KOSTER, R.; LUCCHESI, R.; MERKOVA, 30 D.; NIELSEN, J.E.; PARTYKA, G.; PAWSON, S.; PUTMAN, W.; RIENECKER, M.; SCHUBERT, S.D.; SIENKIEWICZ, M.; ZHAO, B. MERRA-2: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). **Journal of Climate**, v.30, p.5419-5454, 2017.

GUEDES, R. L.; SILVA DIAS, M. A. F. Estudo de tempestades severas associadas com o jato subtropical na América do Sul. **III Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 1984, Belo Horizonte. Anais do III CBMET, p.289-296, 1984.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Mapas de Precipitação. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/mapasPrecipitacao>. Acesso em: 18 set. 2019.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres: Conceitos Básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109p.

KRISHNAMURTI, T. N.; KARMAKAR, N.; MISRA, V.; NAG, B.; SAHU, D.; DUBEY, S.; HADDAD, Z. The Role of Upper Level Diffluence in the Tropical Easterly Jet in the Formation of the Recent Strongest Atlantic Hurricanes. **EarthArXiv**, v. 8, 2018.

MADDOX, R. A.; ROGERS, D. M.; HOWARD, K. W.: Mesoscale convective complexes over the United States during 1981- An annual summary. **Monthly Weather Review**, v.110, p.1501-1514, 1982.

MARCELINO, I. P. V. **Análise Episódica de Tornados em Santa Catarina: Caracterização Sinótica e Mineração de Dados**. 2003, 214 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

MORALES, W. A.; NUNES, A. B. Análise de um Cavado Difluente em Altos Níveis Ocorrido nos Dias 27 e 28/08/2011 Sobre a América do Sul. **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2012, Gramado. Anais do XVII CBMET, 2012.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2007.

RIQUETTI, N. B.; DORNELES, V. R.; NUNES, A.B. Estudo do Caso de Precipitação Intensa Sobre Foz do Iguaçu-PR em setembro de 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 589-606, 2018.

SANDERS, F. Upper-Level Geostrophic Diffluence and Deepening of Surface Lows. **Weather and Forecasting**. Vol. 8, p. 339-344, 1993.

SANTURETTE, P., GEORGIEV, C. G. **Weather Analysis and Forecasting: Applying Satellite Water Vapor Imagery and Potential Vorticity Analysis**. 1 ed. San Diego: Elsevier, 2006. 179 p.

SCHULTZ, D. M.; SANDERS, F. Upper-Level Frontogenesis Associated with the Birth of Mobile Troughs in Northwesterly Flow. **Monthly Weather Review**, v. 130, p. 2593–2610, 2002.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Mecanismos físicos associados à formação da Baixa do Chaco. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010, Belém. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Baixa do noroeste argentino e Baixa do Chaco: Características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 27, n. 1, p. 49-60, 2012.

UCCELINI, L.W; JOHNSON, D.R. The Coupling of Upper and Lower Tropospheric Jet Streaks and Implications for the Development of Severe Convective System, **Monthly Weather Review**., v. 107, p.682-703, 1979.

VEBER, M. E. **Desenvolvimento de Atividades Convectivas Sobre a Região Nordeste do Brasil, organizada pela Extremidade Frontal**. 2011, 129 p. Dissertação (Mestrado em Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2011.