Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

# ANÁLISE DO AMBIENTE ATMOSFÉRICO ASSOCIADO AO CICLONE EXTRATROPICAL QUE SE FORMOU NO RIO GRANDE DO SUL – JULHO DE 2023

## *Analysis of the Atmospheric Environment associated with the Extratropical Cyclone that formed in Rio Grande do Sul – July 2023*

## *Análisis del Ambiente Atmosférico associado al Ciclon Extratropical que se formó em Rio Grande do Sul – julio 2023*

**Luciana Cardoso Neta**
Universidade Federal de Pelotas - UFPel
lcneta@gmail.com

**Luiza Denardi Cesar**
Universidade Federal de Pelotas - UFPel
luiza.cesar@gmail.com

**Mônica Navarini Kurz**
Universidade Federal de Pelotas - UFPel
monicanavarini@yahoo.com.br

**André Becker Nunes**
Universidade Federal de Pelotas – UFPel
andre.nunes@ufpel.edu.br

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo descrever e identificar o ambiente atmosférico de escala sinótica associado ao ciclone extratropical que atingiu em maior proporção o estado do Rio Grande do Sul, nos dias 12 e 13 de julho de 2023. A passagem do ciclone afetou 82 municípios, atingindo 5.889.672 pessoas, das quais 55.912 foram diretamente impactadas, com 620 desalojadas, 7.504 casas destelhadas e 58 casas destruídas. Para análise do evento foram utilizadas imagens do canal infravermelho do satélite GOES16 e dados de reanálise do ERA5 para obtenção dos campos meteorológicos. A análise sinótica demonstrou a formação do sistema já intenso ainda sobre o continente, e que fatores dinâmicos e térmicos colaboraram para a sua ocorrência. A forçante

dinâmica foi a advecção de vorticidade ciclônica devido a presença de um cavado em médios níveis (500hPa) corrente acima, e a térmica relacionada ao transporte de calor e umidade de norte, que contribui para a intensificação do sistema. A origem do sistema de baixa pressão iniciou sobre o interior do continente, a chamada Baixa do Noroeste Argentino (BNOA), intensificada por uma forte convergência do fluxo de umidade em baixos níveis, com a presença do jato de baixos níveis e escoamento difluente em altos níveis.

**Palavras-chave:** Evento Sinótico. Baixa do Noroeste Argentino. Evento Extremo.

**Abstract:** This study aims to describe and identify the synoptic-scale atmospheric environment associated with the extratropical cyclone that hit the state of Rio Grande do Sul on July 12 and 13, 2023. The passage of the cyclone affected 82 municipalities, affecting 5,889,672 people, of which 55,912 were directly impacted, with 620 displaced, 7,504 houses unroofed, and 58 houses destroyed. To analyze the event, images from the infrared channel of the GOES16 satellite and reanalysis data from ERA5 were used to obtain the meteorological fields. The synoptic analysis demonstrated the formation of the already intense system still over the continent, and that dynamic and thermal factors contributed to its occurrence. The dynamic forcing was the advection of cyclonic vorticity due to the presence of a mid-level trough (500hPa) upstream, and the thermal related to the transport of heat and moisture from the north, which contributed to the intensification of the system. The origin of the low pressure system began over the interior of the continent, the so-called Northwestern Argentinean Low (NAL), intensified by a strong convergence of the moisture flux at low levels, with the presence of the low-level jet and diffluent flow at high levels.

**Keywords:** Synoptic Event. Northwestern Argentinean Low. Extreme Event.

**Resumen:** Este estudio tiene como objetivo describir e identificar el ambiente atmosférico de escala sinóptica asociado al ciclón extratropical que afectó en mayor proporción al estado de Rio Grande do Sul, los días 12 y 13 de julio de 2023. El paso del ciclón impactó a 82 municipios, alcanzando a 5.889.672 personas, de las cuales 55.912 fueron directamente afectadas, con 620 personas desalojadas, 7.504 viviendas destechadas y 58 viviendas destruidas. Para el análisis del evento se utilizaron imágenes del canal infrarrojo del satélite GOES-16 y datos de reanálisis ERA5 para la obtención de los campos meteorológicos. El análisis sinóptico mostró la formación de un sistema ya intenso sobre el continente, en el cual factores dinámicos y térmicos contribuyeron a su ocurrencia. La forzante dinámica estuvo asociada a la advección de vorticidad ciclónica debido a la presencia de una vaguada en niveles medios (500 hPa) corriente arriba, mientras que la forzante térmica se relacionó con el transporte de calor y humedad desde el norte, lo que favoreció la intensificación del sistema. El origen de la baja presión se dio sobre el interior del continente, en la denominada Baja del Noroeste Argentino (BNOA), intensificada por una fuerte convergencia del flujo de humedad en niveles bajos, junto con la presencia del chorro de bajos niveles y un flujo difluente en niveles altos.

**Palabras clave:** Evento sinóptico. Baja del Noroeste Argentino. Evento extremo.

Submetido em: 27/12/2024
Aceito para publicação em: 09/08/2025
Publicado em: 23/10/2025

# 1. INTRODUÇÃO

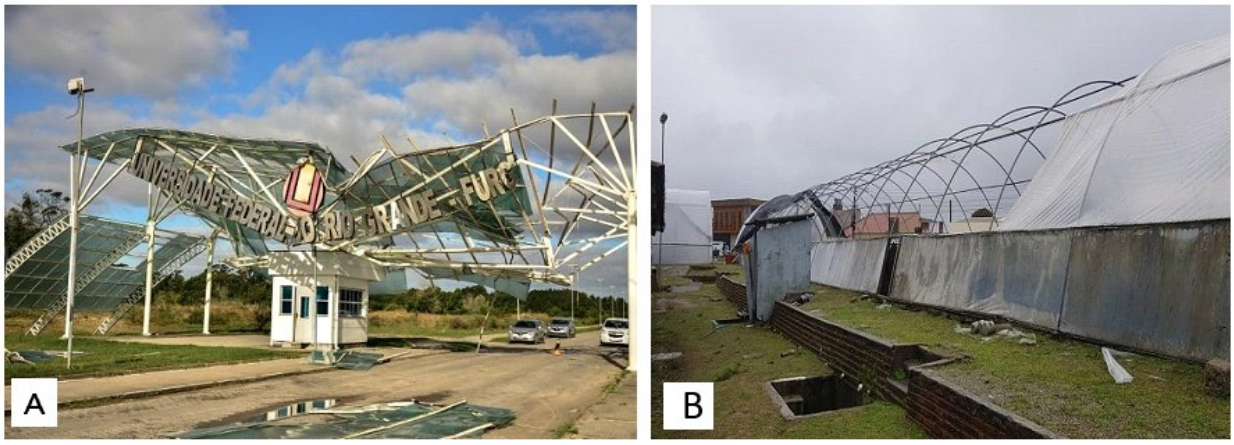
As alterações climáticas induzidas pela ação humana têm provocado eventos meteorológicos e climáticos extremos em diversas regiões do mundo, resultando em danos significativos tanto para a natureza quanto para as populações (*Intergovernmental Panel On Climate Change*, 2023). Esses desastres acarretam transtornos diversos, incluindo grandes investimentos financeiros para o atendimento às vítimas, reconstrução de áreas afetadas e recuperação dos ecossistemas, além de ocasionar perdas de vidas humanas e danos à infraestrutura.

A ocorrência de eventos extremos, mesmo que localizados, é frequentemente impulsionada por um ambiente sinótico favorável. Em outras palavras, forçantes de grande escala, tanto dinâmicas quanto térmicas, favorecem o desenvolvimento desses fenômenos (De Freitas Junior; Nunes, 2022). No estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, os sistemas atmosféricos responsáveis pela ocorrência de eventos extremos incluem frentes frias, convecções locais causadas pelo aquecimento diurno da superfície e sistemas convectivos de mesoescala (SCM). Além disso, as áreas de baixa pressão continentais do Chaco (BCH) e do Noroeste Argentino (BNOA) também desempenham papel relevante nesses eventos (Pereira; Nunes, 2018; Teixeira; Prieto, 2020).

Entre esses fenômenos, o ciclone extratropical se destaca. Este sistema é caracterizado por uma área de baixa pressão atmosférica, onde os ventos circulam no sentido horário ao redor de seu centro, no Hemisfério Sul. Normalmente encontrados em latitudes extratropicais (próximas aos 45°S), esses sistemas podem se formar em latitudes mais baixas, como ao redor dos 30°S, e causam alterações nos estados atmosféricos, como nebulosidade, precipitação, queda da temperatura do ar e ventos fortes (Reboita; Marrafon, 2021). Entre os dias 12 e 13 de julho de 2023, um ciclone extratropical atuou sobre o estado do Rio Grande do Sul, apresentando um deslocamento atípico durante sua intensificação. Embora esses sistemas geralmente atinjam sua fase mais intensa distante da costa, o ciclone em questão causou grandes danos sobre o continente. Durante esse evento, foram registrados volumes de chuva superiores a 150 mm, com picos de 257 mm em Rio Grande, 254 mm em Canguçu e 253 mm em Capão do Leão, conforme dados das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O ciclone trouxe consigo ventos fortes, granizo, chuva intensa, inundações, alagamentos, deslizamentos de terra e enxurradas (DEFESA CIVIL DO RS, 2023), resultando em danos consideráveis à infraestrutura do estado. Segundo levantamento da MetSul Meteorologia, as rajadas de vento atingiram velocidades de 151 km/h em São Francisco de Paula, 148,1 km/h em Cambará do Sul, 146,3 km/h em Rio Grande, 133,0 km/h em Imbé, 104,4 km/h em Cachoeira do Sul e 100,4 km/h em Canguçu (METSUL METEOROLOGIA, 2023). Os danos foram severos, especialmente no município de Rio Grande, onde a infraestrutura no pórtico da entrada pela estrada Roberto Socoowski e em prédios da Universidade Federal de Rio Grande - FURG foi afetada (FURG, 2023) (Figura 1a e 1b). Em Pelotas, houve danos significativos nas Avenidas Bento Gonçalves e Adolfo Fetter, como mostra a Figura 2a e 2b.

**Figura 1 –** a) Danos na infraestrutura no pórtico de entrada pela estrada Roberto Socoowski e b) prédios da Universidade Federal de Rio Grande (FURG).




**Fonte:** FURG (2023).

**Figura 2 –** a) Danos na infraestrutura nas Avenidas Bento Gonçalves e b) Adolfo Fetter em Pelotas/RS.




**Fonte**: DIÁRIO POPULAR (2023).

A passagem do ciclone afetou 82 municípios, atingindo 5.889.672 pessoas, com 55.912 diretamente impactadas. Além disso, 620 pessoas ficaram desalojadas, 7.504 casas foram destelhadas e 58 casas foram totalmente destruídas (DEFESA CIVIL DO RS, 2023a).

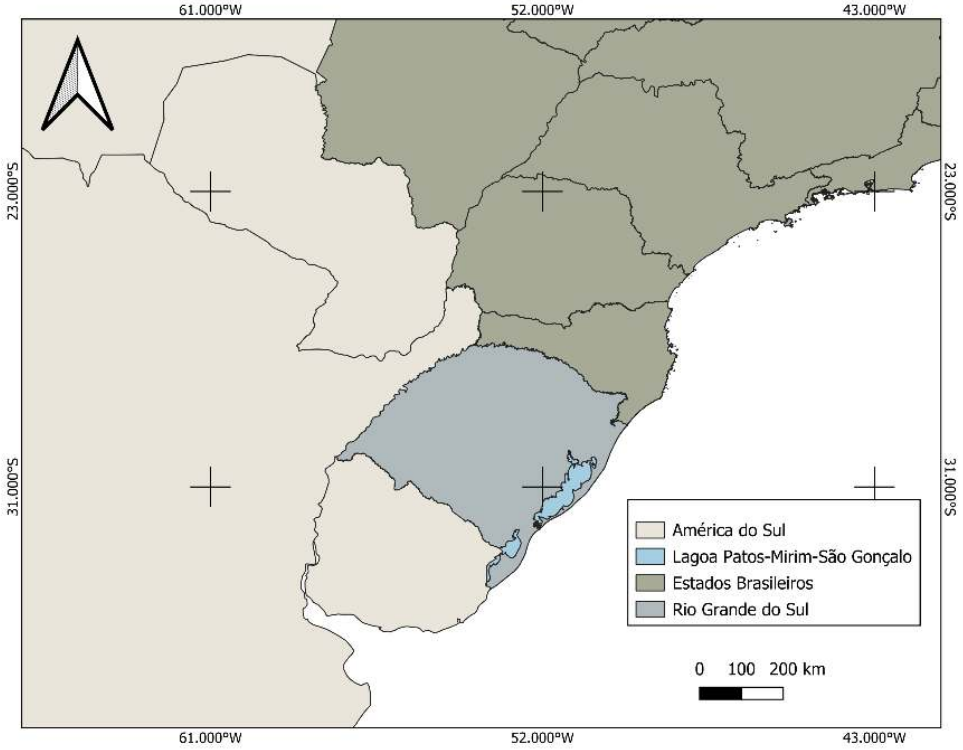
Por meio de uma análise das imagens de satélites, dos campos meteorológicos e pelos danos causados pelas chuvas e ventos intensos, o objetivo desse estudo foi descrever e identificar o ambiente atmosférico de escala sinótica associado ao ciclone extratropical que atingiu, em maior proporção, o estado do RS em julho de 2023.

# 2. METODOLOGIA

## 2.1. Área de Estudo

O estado do Rio Grande do Sul (RS) localiza-se no Sul do Brasil, fazendo fronteira com os países Uruguai, ao sul, com a Argentina, a oeste, e com o estado de Santa Catarina, ao norte (Figura 3). Possui área territorial de 281.707,151km² e densidade demográfica de 38,63 hab/km² em 2022 (IBGE, 2023).

**Figura 3 –** Mapa da área de estudo



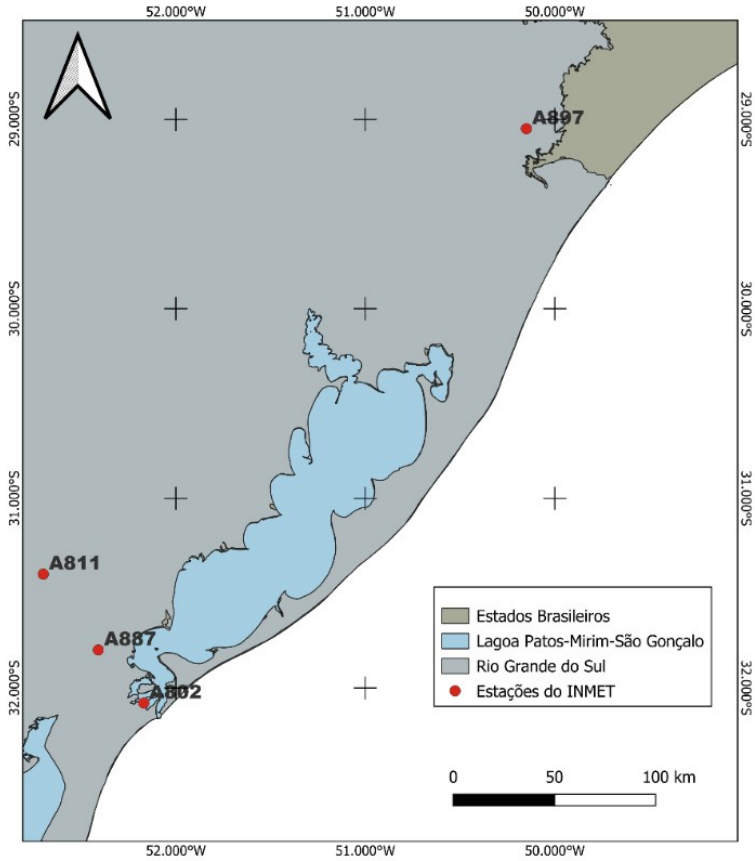

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

## 2.2. Imagem de Satélite e dos Campos Meteorológicos

Para análise do evento sinótico em estudo, foram utilizadas imagens de satélite geoestacionário GOES 16 (*Geostationary Operational Environmental*), realçadas no canal infravermelho, obtidas no banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (CPTEC/INPE), para os dias 11, 12 e 13 de julho de 2023.

Além disso, foram analisados dados de vento e chuva das estações do INMET (Figura 4), a fim de verificar os transtornos causados pelo evento. Segundo o INMET, a estação A802 localizada na cidade de Rio Grande registrou, no dia 13 de julho, às 07 UTC, uma velocidade do vento de 8,4 m/s. Às 05 UTC, o maior volume de chuva foi de 50,02 mm. Em Canguçu (A811), a velocidade do vento atingiu 16,5 m/s no dia 13 às 07 UTC, enquanto a precipitação foi de 10,8 mm às 08 UTC. No município de Capão do Leão (A887), outro local afetado, no dia 12, às 09 UTC, a chuva foi de 9,6 mm, e no dia 13, às 08 UTC, a velocidade do vento chegou a 14,6 m/s. Em Cambara do Sul (A897), o maior volume de chuva registrado no dia 12, às 19 UTC, com 5,4 mm e a velocidade do vento alcançou 13,4 m/s no dia 13 de julho, às 10 UTC. Esses dados mostram a intensidade do evento meteorológico e os impactos causados, especialmente pelos fortes ventos e chuvas que afetaram diversas localidades. Os campos meteorológicos utilizados neste estudo foram obtidos por meio dos dados de reanálise do ERA5, quinta geração de reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Hersbach et al., 2020), com resolução horizontal de 0,25°, resolução temporal de 1h e 137 níveis verticais.

**Figura 4 -** Mapa com a localização das estações automáticas do INMET




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

A análise sinótica do evento foi realizada por meio da observação de campos meteorológicos gerados pelo *software* GrADS (*Grid Analysis and Display System)*, versão 2.1.1.b0.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A nebulosidade adicionada à evolução do ciclone extratropical ocorrido entre os dias 11 e 13 de julho de 2023 sobre o estado do Rio Grande do Sul é mostrada na Figura 5.

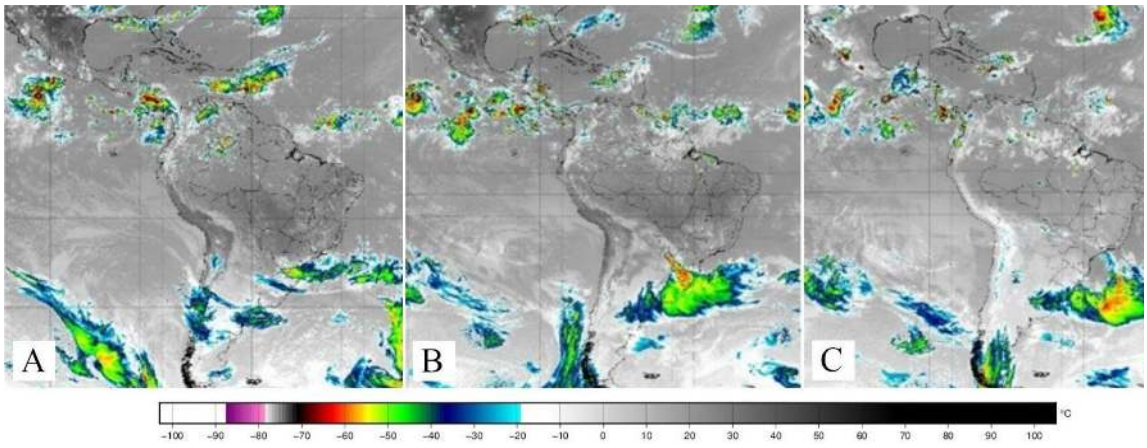
Na terça-feira, 11 de julho de 2023, de acordo com a Figura 5a, ocorreu a presença de instabilidade no Sul do estado do Paraná e na divisa dos estados do RS com a ocorrência de chuvas, ventos e granizo.

Na quarta-feira, 12 de julho de 2023, na Figura 5b, observa-se uma linha de instabilidade associada à formação do ciclone extratropical. A partir daí até próxima a manhã

de quinta-feira, 13 de julho de 2023, o ciclone extratropical evoluiu até a sua formação, apresentando seu centro posicionado próximo ao litoral do RS e SC.

Na quinta-feira, 13 de julho de 2023, de acordo com a Figura 5c, observa-se o ciclone extratropical se deslocando para o Oceano Atlântico.

**Figura 5 -** Imagens realçadas no canal infravermelho 13 do satélite GOES -Leste durante a ocorrência do ciclone extratropical no Rio Grande do Sul, às 18h00 de 11 de julho de 2023 (a), às 18h20 de 12 julho de 2023 (b), às 11h00 de 13 de julho de 2023 (c). Horário expresso em Hora Zulu (Z).




**Fonte:** Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), acesso em [nov/2023].

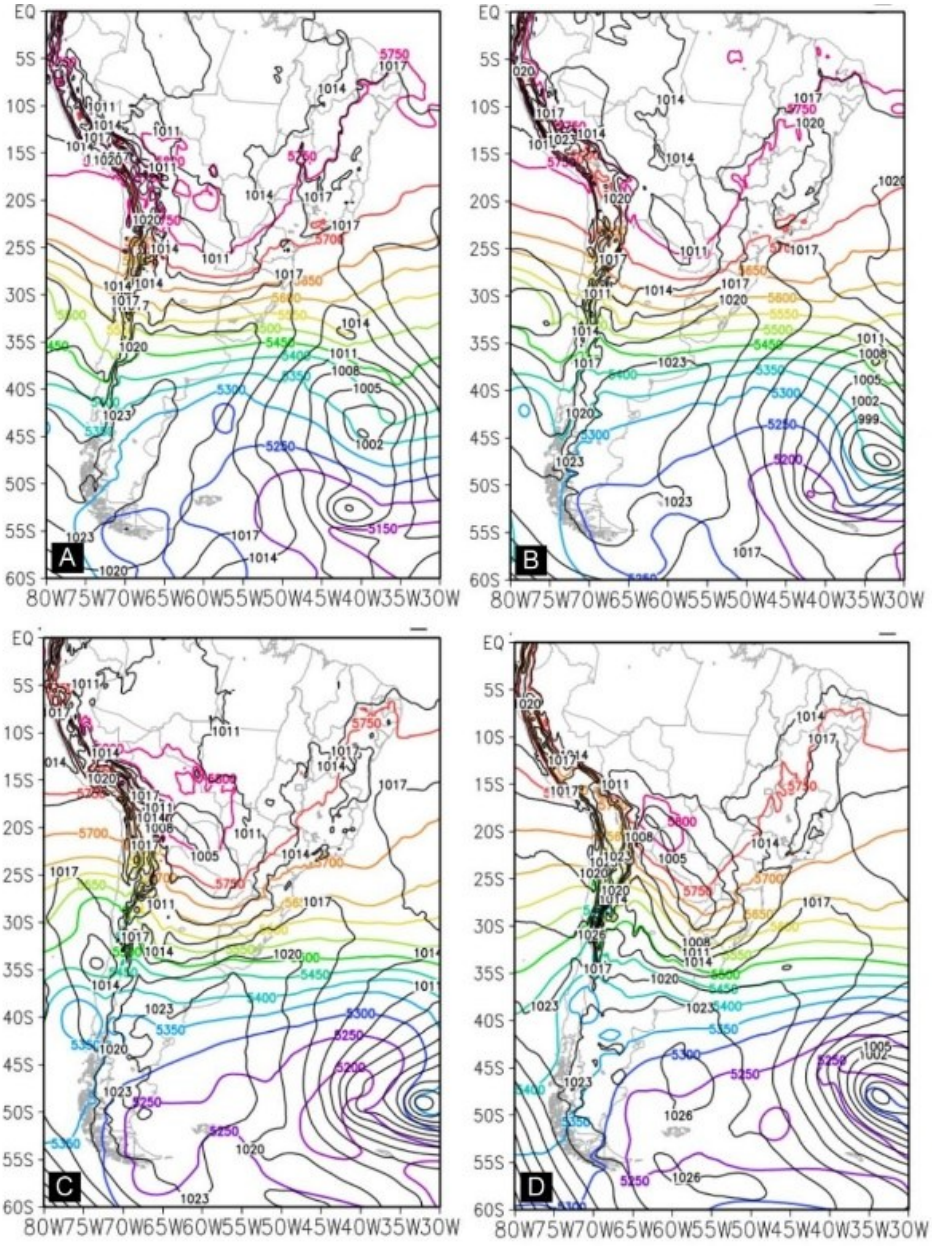
As Figuras 6a e 6b mostram um sistema de baixa pressão térmica, rasa, evidenciado por uma camada atmosférica inchada e valores baixos de espessura, indicados por tons frios.

A partir do dia 11, às 12Z (Figura 6b), observa-se o centro de baixa pressão fechado em superfície sobre o norte da Argentina, a chamada Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) (Escobar; Seluchi, 2012). As Figuras 6c e 6d, representando o dia 12 de julho de 2023 às 00Z e 12Z respectivamente, mostram uma queda de pressão. Os valores de pressão atmosférica próximos e/ou abaixo de 1000 hPa são considerados potencialmente perigosos, pois indicam a presença de sistemas atmosféricos que podem gerar transtornos como temporais e ventanias.

Na Figura 6b, já é possível observar um sistema de baixa pressão sobre o Paraguai, que ao se deslocar para o sul do Brasil, se intensifica e gera áreas de instabilidade. Na Figura 6d, esse sistema de baixa pressão se estende até o Rio Grande do Sul, acompanhado por um gradiente de espessura acentuado. Esse gradiente de espessura é um indicador de instabilidade baroclínica, o que significa que há uma mudança significativa nas propriedades

da atmosfera, como temperatura e umidade. favorecendo o desenvolvimento de ciclones extratropicais e a formação de áreas de precipitação intensa e ventos fortes (Bluestein, 1993).

**Figura 6 -** Campos de PNMM em hPa (linhas pretas) e espessura da camada (500-1000 hPa) em mgp (linhas coloridas) dos dias 11 e 12 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.

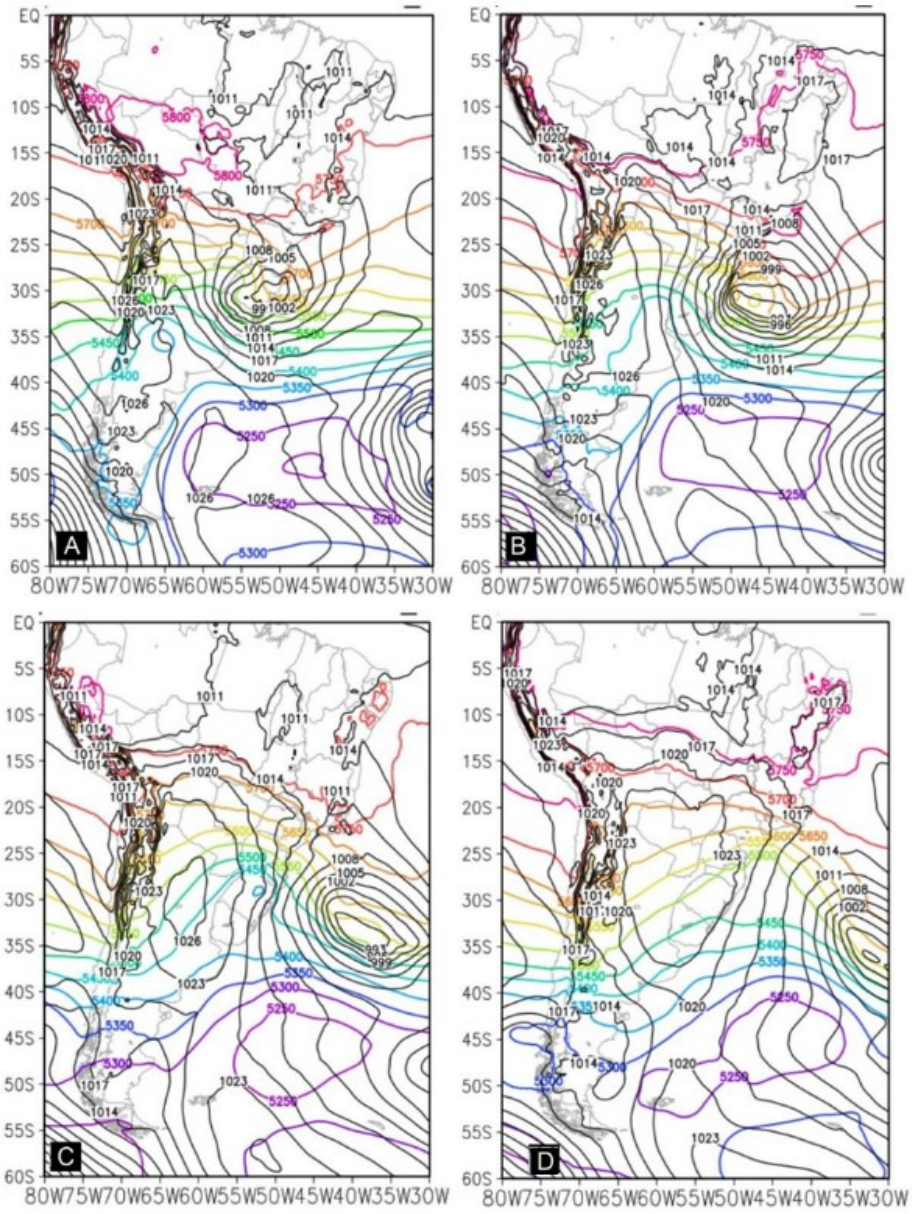



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

Nas Figuras 7a e 7b, extraídas do dia 13 de julho de 2023 às 00Z e 12Z, respectivamente, o ciclone extratropical já está formado, aproximadamente em 50°W e 30°S, como indica na Figura 7a. Ou seja, o ciclone já apresenta um forte gradiente de pressão, indicando sua grande intensidade do vento sobre o continente. Este é o diferencial deste caso

para o comportamento médio dos ciclones extratropicais do Atlântico Sul (Hoskins; Hodges, 2005; Reboita et al., 2017), que normalmente apresentam suas maiores intensidades afastados da costa, mesmo para os casos associados à eventos extremos de precipitação no RS ou mesmo nos casos de ciclones bomba (Ávila et al., 2021; Andrade et al., 2022). As Figuras 7b, 7c e 7d mostram o ciclone se afastando da costa da região sul em direção sudeste, conforme esperado pela ação da advecção quente (Bluestein, 1993; Andrade et al., 2024).

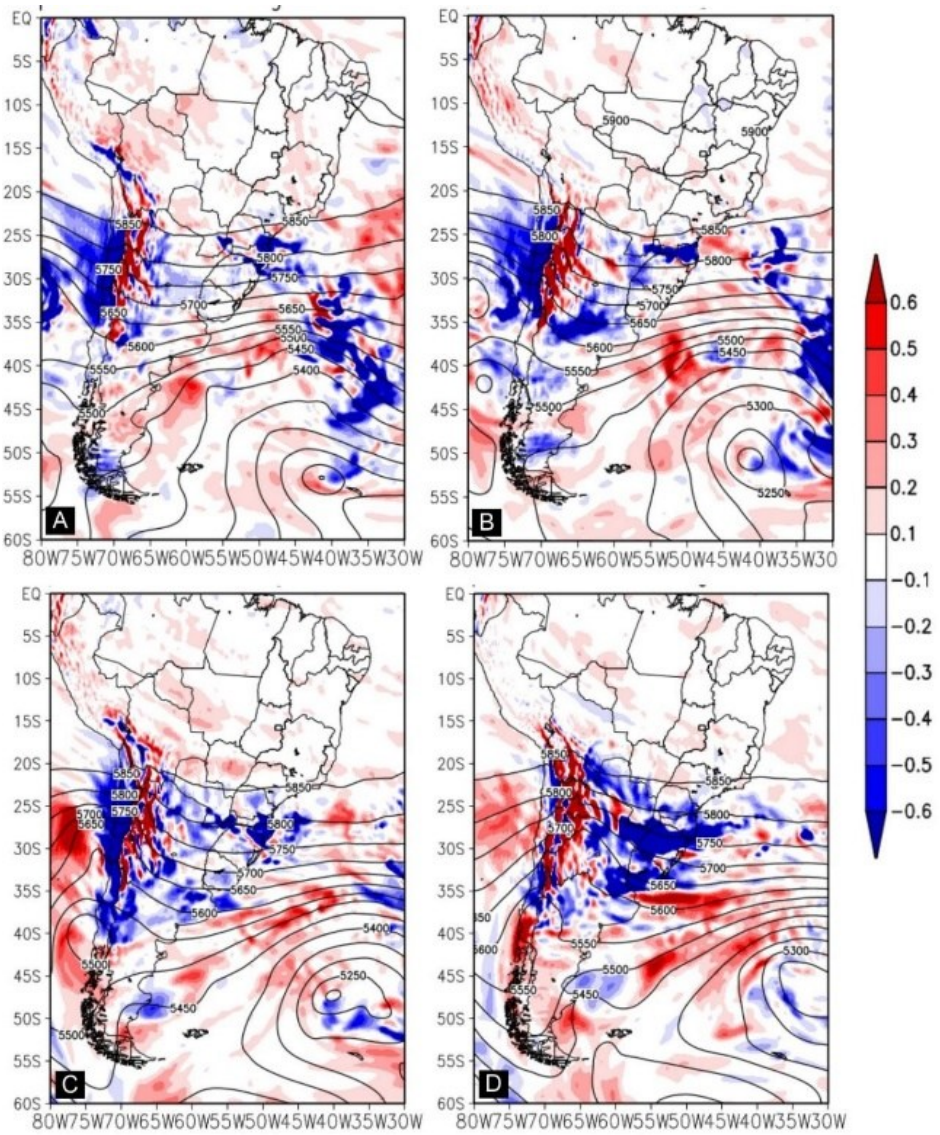
**Figura 7 -** Campo de PNMM em hPa (linhas pretas) e espessura da camada em mgp (linhas coloridas) dos dias 13 e 14 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

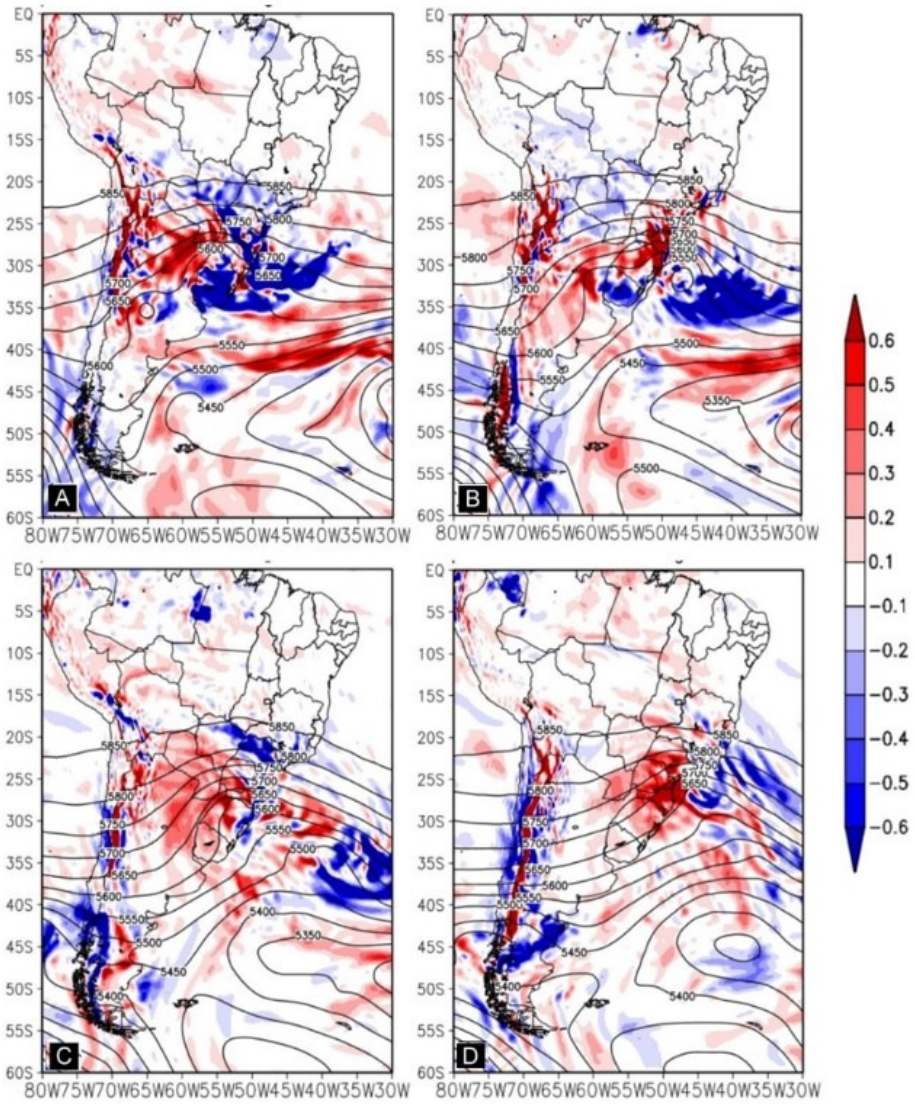
Os campos de altura geopotencial em 500 hPa (linhas pretas) e ômega (sombreado) são apresentados nas Figuras 8 e 9, correspondentes ao período de 11 e 14 de julho de 2023 às 00Z e 12Z. Sobre a Cordilheira dos Andes, identifica-se um cavado (Figura 8c), com valores negativos de ômega à leste do seu eixo, demonstrando grande instabilidade na região, onde é esperada a advecção de vorticidade ciclônica (Bluestein, 1993). Na Figura 9 se observa a instabilidade associada ao setor quente do ciclone sobre o RS, bem como a região e movimento subsidente associada à entrada da massa polar, mais estável, na retaguarda do sistema.

**Figura 8 -** Campos de altura geopotencial 500 hPa (linhas pretas) em mgp e ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa $s^{-1}$ dos dias 11 e 12 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

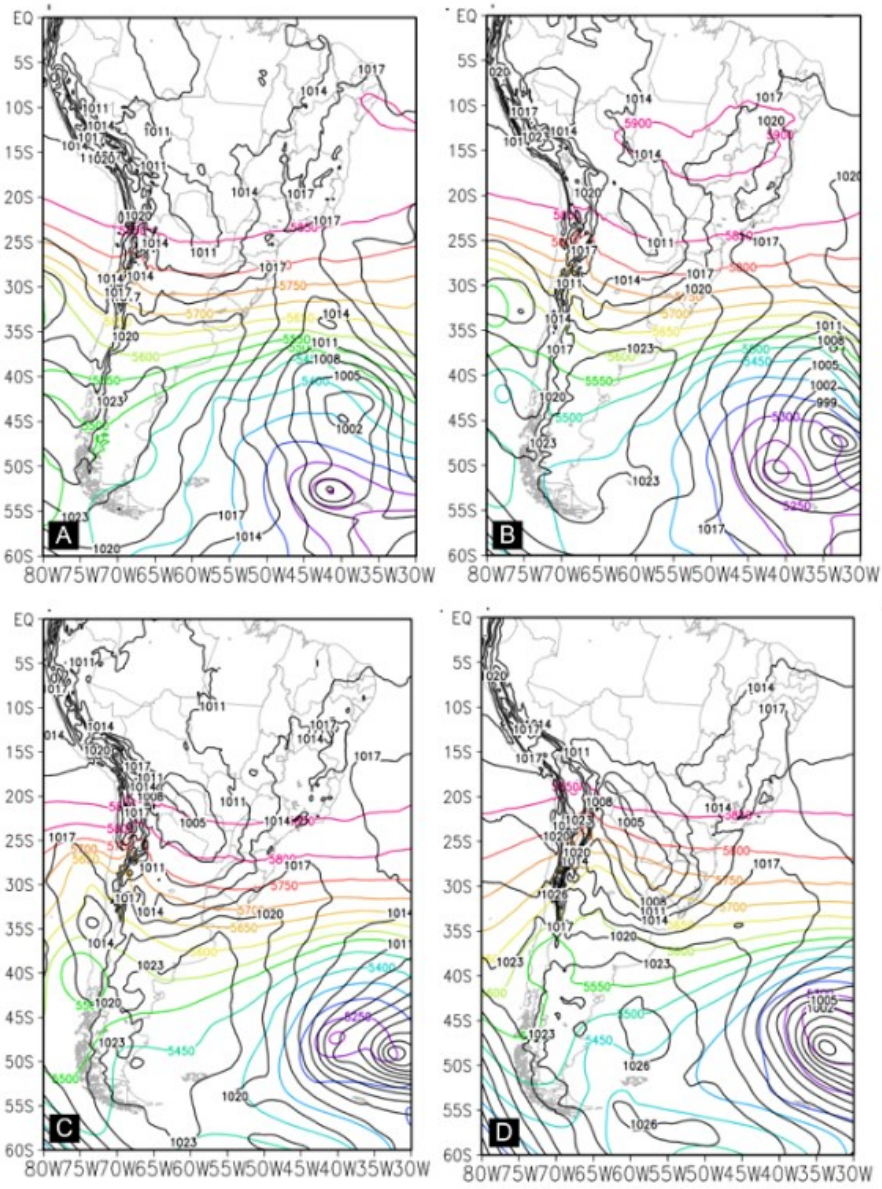
**Figura 9 -** Campos de altura geopotencial 500 hPa (linhas pretas) em mgp e ômega em 500 hPa (sombreado) em Pa $s^{-1}$ dos dias 13 e 14 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 10d confirma-se a influência do cavado em 500hPa localizado sobre a Cordilheira dos Andes, no centro de baixa pressão em superfície corrente abaixo. Na sequência do desenvolvimento do ciclone, observa-se a fase madura, barotrópica, a partir do dia 13 às 12Z (Figura 11b).

**Figura 10 -** Campos de altura geopotencial em 500 hPa (linhas coloridas) em mgp e PNMM em hPa (linhas pretas) dos dias 11 e 12 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.

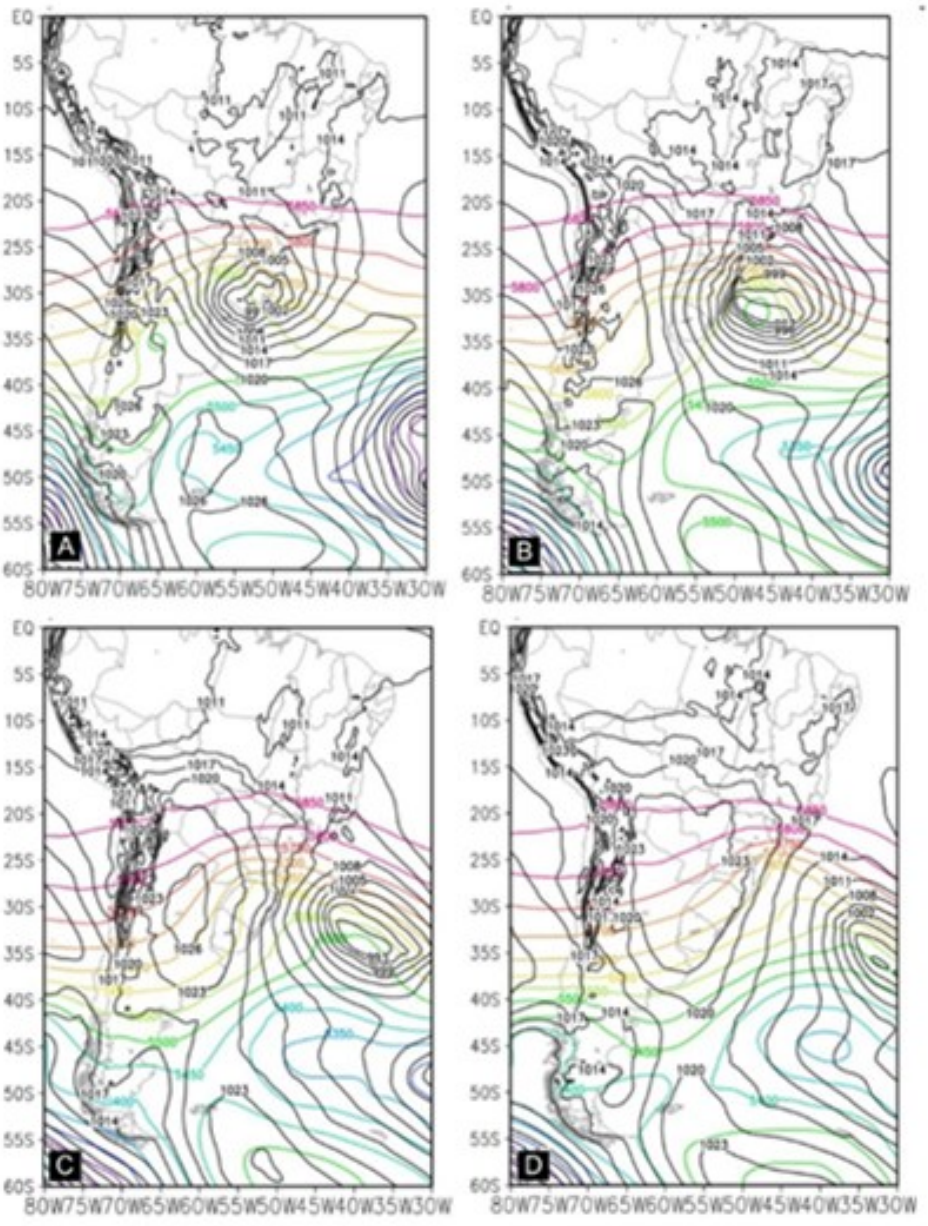



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

Em relação às Figuras 12c e 12d e 13a e 13b, os campos de linhas de corrente em 250 hPa apresentam a difluência do vento a partir do dia 12, às 12Z (Figura 12d), sobre o local onde o centro de baixa pressão continental começa a se intensificar. A presença de difluência em altos níveis é comum em áreas com forte instabilidade e constitui uma característica importante desses sistemas (Sanders, 1993). Essa configuração explica os valores de ômega e a intensidade da instabilidade observada sobre o RS. Outro fator importante é o fato de o sistema de baixa pressão em superfície se formar, e se intensificar, na saída do lado tropical do núcleo da corrente de jato (Figura 12d) e apresentar sua fase de oclusão na entrada do

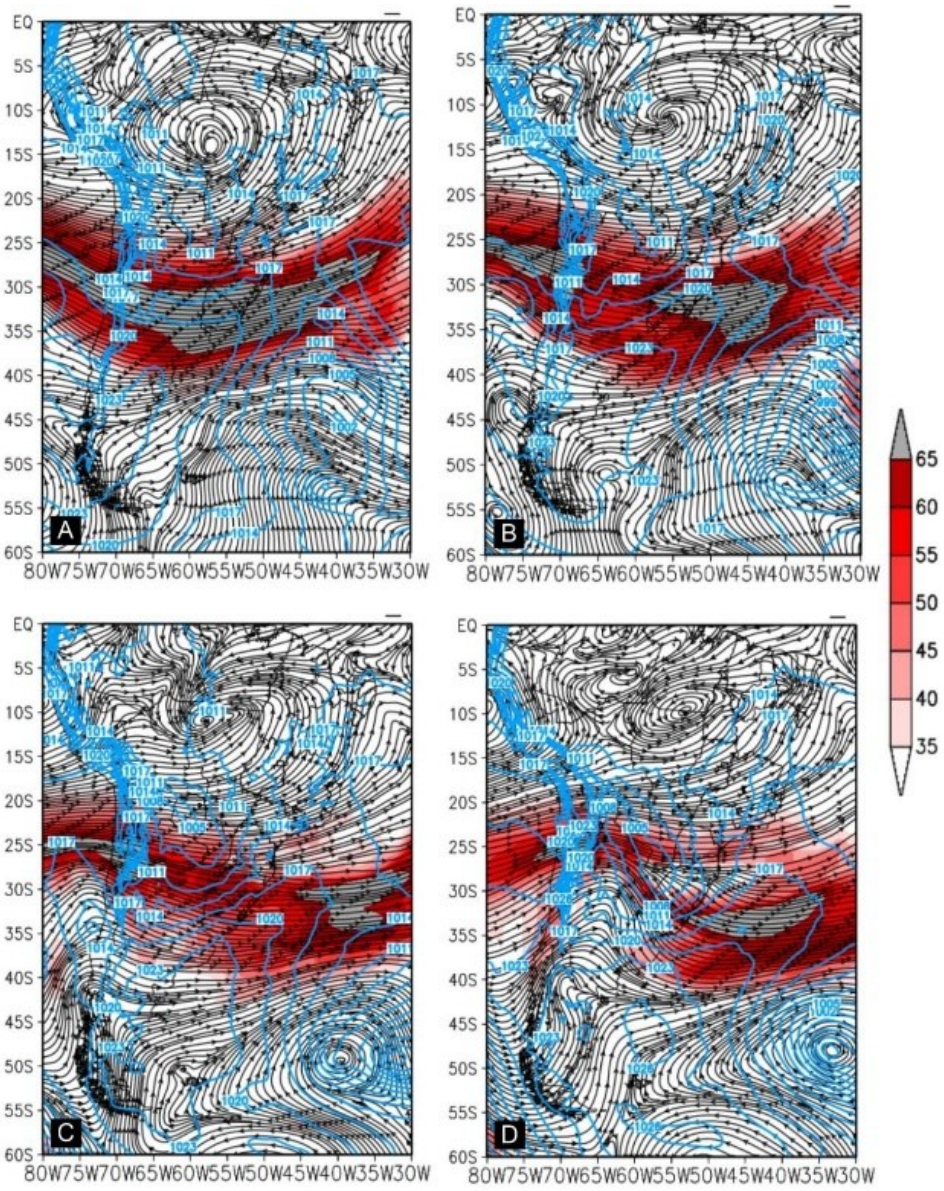
lado polar (Figura 13c) conforme indica a teoria do padrão de quatro células (Uccellini; Johnson, 1979).

**Figura 11 -** Campos de altura geopotencial em 500 hPa (linhas coloridas) e PNMM em hPa (linhas pretas) dos dias 13 e 14 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

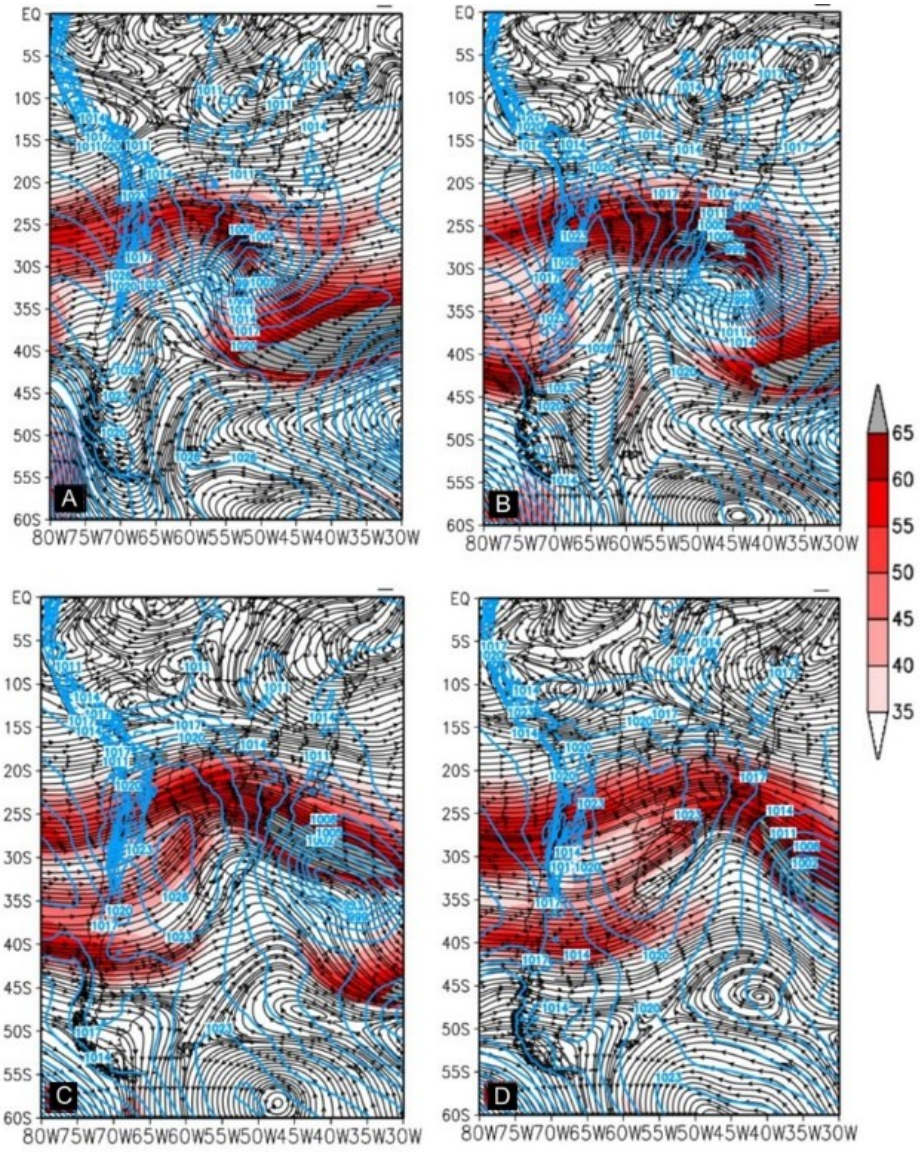
**Figura 12 -** Campos de linha de corrente e velocidade do vento (sombreado, em m $s^{-1}$-1) em 250hPa e PNMM em hPa (linhas azuis) dos dias 11 e 12 julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

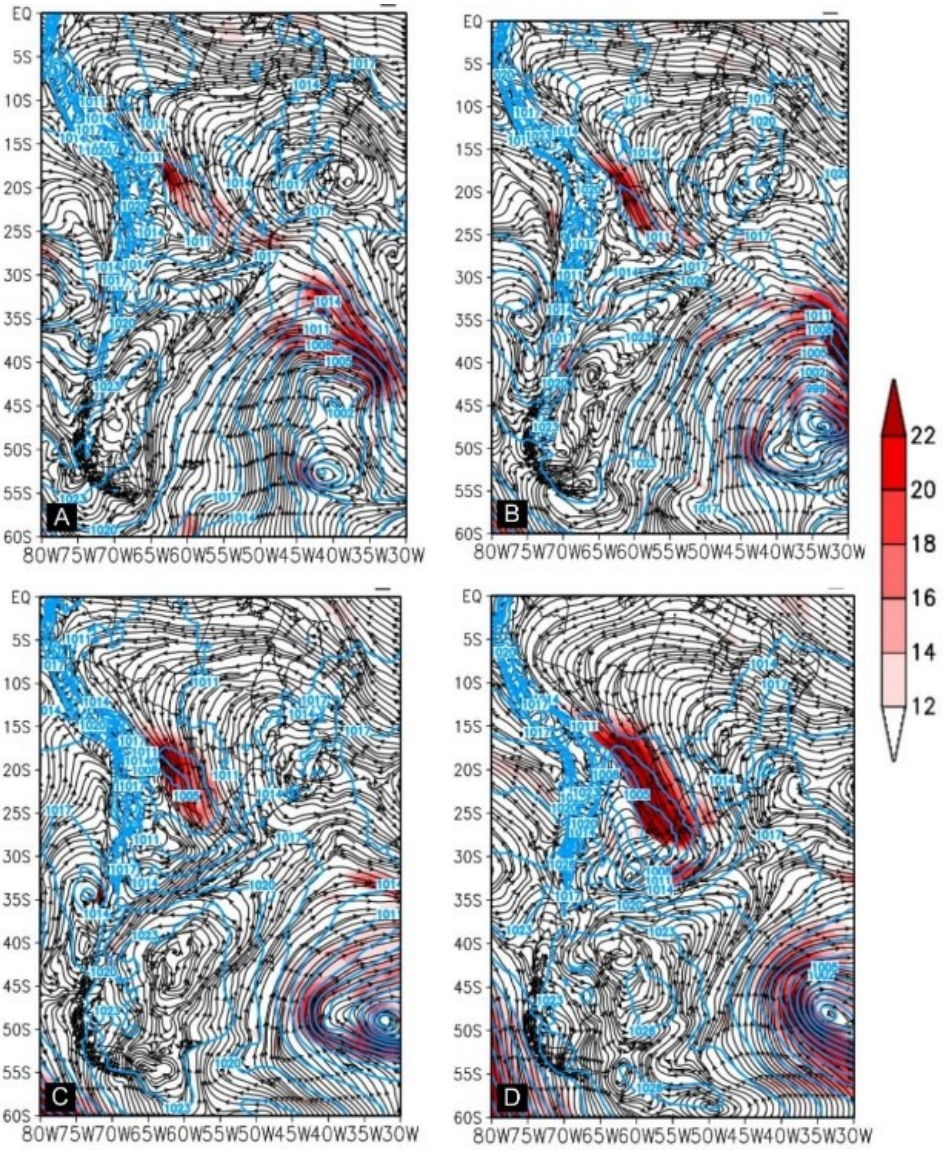
Observa-se na Figura 14 um escoamento indicando um transporte de calor e umidade de norte associado aos Jatos de Baixos Níveis (JBN) sobre a região sul do Brasil. O JBN acelera o transporte de calor e umidade da Amazônia para o sul do Brasil, consequentemente, está quase sempre relacionado a um evento extremo e ciclogênese extratropical (Marengo et al., 2004; Salio et al., 2007; Gimeno et al., 2016). Na Figura 15, pode-se observar a intensidade do vento em 850hPa associada ao ciclone.

**Figura 13 -** Campos de linhas de corrente e velocidade do vento (sombreado, em m $s^{-1}$) em 250hPa e PNMM em hPa (linhas azuis) dos dias 13 e 14 de julho de 2023, para (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.



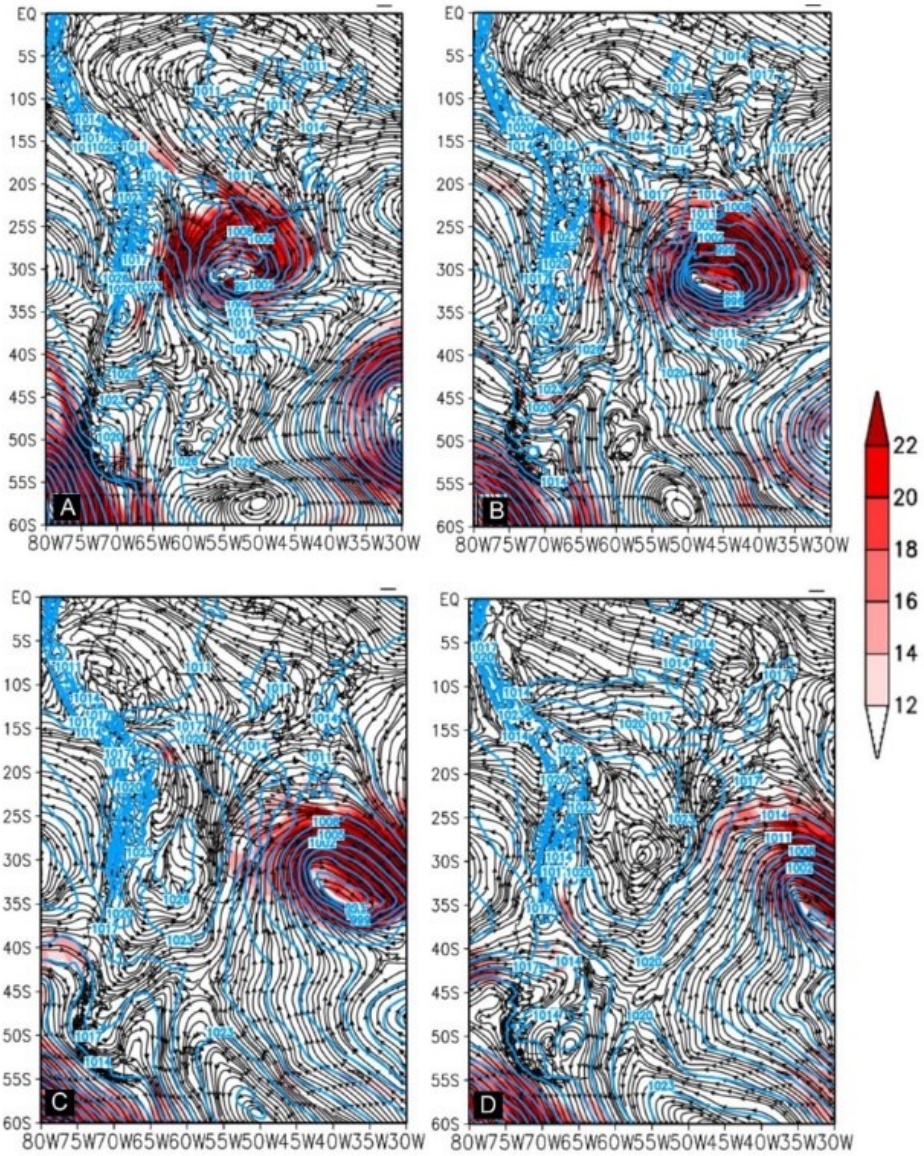

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

**Figura 14 -** Campos de vento em 850hPa e velocidade do vento (sombreado em ms -1) em 850hPa e PNMM em hPa (linhas pretas) dos dias 11 e 12 de julho de 2023, nas horas (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

**Figura 15-** Campos de Vento e velocidade do vento (sombreado, em m s -1) em 850 hPa e PNMM em hPa (linhas pretas), dos dias 13 e 14 de julho de 2023, nas horas (a e c) 00Z e (b e d) 12Z, respectivamente.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi descrever e identificar as características sinóticas do ciclone extratropical que atingiu em maior proporção o estado do Rio Grande do Sul (RS) entre os dias 12 e 13 de julho de 2023. Em relação a abrangência e o comportamento do evento, pode-se descrever que o fenômeno teve início na terça-feira, dia 11 de julho de 2023, no Sul do estado do Paraná e divisa dos estados do RS e Santa Catarina (SC), ocasionando intensas instabilidades, como fortes ventos, altas taxas de chuva, e precipitação de granizo. Na quarta-

feira, dia 12 de julho de 2023, teve início a formação do ciclone extratropical nas proximidades das regiões Norte e Noroeste do RS, deixando muitos municípios afetados, pessoas desabrigadas, desalojadas, casas destelhadas e destruídas. O fato de o ciclone apresentar já características de grande intensidade de vento ainda sobre o continente foi o diferencial deste caso, já que de acordo com a literatura (Hoskins; Hodges, 2005, por exemplo) espera-se que este estágio ocorra sobre o oceano. Na madrugada do dia 13 de julho de 2023, o fenômeno começou a se deslocar para o oceano, ainda impactando regiões localizadas no Leste do RS, como a Região Metropolitana e a Serra Gaúcha. Na manhã do mesmo dia, ocorreu um aumento da pressão atmosférica, indicando a redução da intensidade do ciclone extratropical, evoluindo na tarde do mesmo dia para o Oceano Atlântico.

Em relação a análise sinótica realizada pode-se inferir:

I) O ciclone extratropical teve um comportamento atípico, por sua formação e abrangência ocorrer sobre o continente;

II) Originou-se como Baixa do Noroeste Argentino (BNOA);

III) Origem baroclínica na fase inicial;

IV) Identificou-se um cavado em níveis médios sobre a Cordilheira dos Andes indicando uma forçante dinâmica para o desenvolvimento do sistema em superfície;

V) Observou-se difluência em altos níveis sobre o RS durante a fase de intensificação do BNOA;

VI) Observa-se também um escoamento indicando um transporte de calor e umidade de norte associado aos Jatos de Baixos Níveis (JBN) sobre a região sul do Brasil;

VII) Preliminarmente, pode-se dizer que a posição das forçantes (cavado em 500hPa e JBN) influenciou na posição da formação do ciclone que, por sua vez, justificou a série de transtornos observados nas cidades gaúchas.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. N.; NUNES, A. B.; TEIXEIRA, M. S. South Atlantic Explosive Cyclones in 2014-2015: Study Employing NCEP2 and MERRA-2 Reanalyses. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v. 94, supl.4, p. 1-17, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200797.

ANDRADE, H. N.; DE QUADRO, M. F. L.; NUNES, A. B.; DE OLIVEIRA, F. S. C.; DE AVILA, V. D.; TEIXEIRA, M. S.; ALVES, R. de C. M. Explosive Cyclones occurred between 2010 and 2020 in the South Atlantic under the perspective of two detection schemes. **Anais da Academia Brasileira de Ciência,** v. 96, Supl.1e20231501, 2024. DOI:https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231051.

ÁVILA, V. D de.; NUNES, A. B.; ALVES, R. de C. M. Comparing Explosive Cyclogenesis of Different Intensities Occurred in Southern Atlantic. **Anais da Academia Brasileira de Ciência,** v.93, p.1-23, 2021.

BLUESTEIN, Howard Bruce. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Volume II: Observations and theory of weather systems. **Oxford University Press**, New York, 1993, p.594.

**DEFESA CIVIL DO RS.** *Boletim Defesa Civil Estadual.* Porto Alegre, 2023. Disponível em: https://www.defesacivil.rs.gov.br/boletim-defesa-civil-estadual#:~:text=*%20Derrubadas%20%2D%2011%2F07%2F;Danos%20em%20aproximadamente%20100%20resid%C3%AAncias. Acesso em: 3 dez. 2023.

**DEFESA CIVIL DO RS.** *Municípios afetados pelo ciclone no RS – 11 a 14/07/23.* Porto Alegre, 2023a. Disponível em: https://grd.defesacivil.rs.gov.br/portal/apps/dashboards/d23ba967ffa240f99d44f799778313ff. Acesso em: 3 dez. 2023.

DIÁRIO POPULAR. *Pelotas começa a calcular estragos do ciclone.* Pelotas, 2023. Disponível em: https://diariopopular.com.br/geral/pelotas_comeca_a_calcular_estragos_do_ciclone_.529551. Acesso em: 21 out. 2025.

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; SELUCHI, Marcelo Enrique. 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, n.3, p.365-375, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000300011.

FREITAS JÚNIOR, Alceu Lopes de; NUNES, André Becker. Investigação do Ambiente Atmosférico durante chuva histórica ocorrida em São Lourenço do Sul-RS. **Conjecturas**, v. 22, n. 15, p. 547-570, 2022. DOI: https://doi.org/10.53660/CONJ-1931-2Q04**.**

FURG. Forte vento e chuva intensa deixaram rastro de danos materiais na FURG; confira. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 14 jul. 2023. Disponível em: https://www.furg.br/noticias/noticias-institucional/forte-vento-e-chuva-intensa-deixaram-rastro-de-danos-materiais-na-furg-confira. Acesso em: 21 out. 2025.

GIMENO, L.; DOMINGUEZ, F.; NIETO, R.; TRIGO, R.; DRUMOND, A.; REASON, C. J. C.; TASCHETTO, A. S.; RAMOS, A. M.; KUMAR, R.; MARENGO, J. A. Major Mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. **Annual Review of Environment and Resources**, v.41, p.117-141, 2016. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-185558.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ-SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.;SOCI, C.; ABDALLA, S.; ABELLAN, X.; BALSAMO, G.; BECHTOLD, P.; BIAVATI, G.; BIDLOT, J.; MASSIMO, B.; CHIARA, G. de; DAHLGREN, P.; DEE, D.; DIAMANTAKIS, M.; DRAGANI, R.; FLEMMING, J.; FORBES, R.; FUENTES, M.; GEER, A.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S.; HOGAN, R. J.; HÓLM, E.; JANISKOVÁ, M.; KEELEY, S.; LALOYAUX, P.; LOPEZ, P.; LUPU, C.; RADNOTI, G.; ROSNAY, P. de; ROZUM, I.; VAMBORG, F.; VILLAUME, S.; THÉPAUT; J. N. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,** v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020. Disponível em: [https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qj.3803]. Acesso: 07 dez. 2023.

HOSKINS, Brian John, HODGES, Kevin I. A new perspective on Southern Hemisphere storm tracks, **Journal of Climate**, v.18, p.4108-4129, 2005. DOI: https://doi.org/10.1175/JCLI3570.1

**IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Indicadores e Dados Estatísticos de População. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br]. Acesso em: 26 dez. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Boletim Agroclimatológico**. v.58 n. 08, Brasília: Inmet; 2023. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro]. Acesso em: 12 nov. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023. Core Writing Team; Lee, H.; Romero, J. (eds.). p. 1–34. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf]. Acesso em: 10 set. 2023.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C..; NICOLINI, M. Climatology of the low level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalysis: Characteristics and temporal variability. **Journal of Climate,** v.17, p. 2261-2280, 2004. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)/<2261:COTLJE>2.0.CO:2

METSUL METEOROLOGIA. *Ciclone: vento destrutivo de 151 km/h no RS e 157 km/h em SC.* Porto Alegre: MetSul Meteorologia, 13 jul. 2023. Disponível em: https://metsul.com/ventos-destrutivos-de-mais-de-140-km-h-foram-gerados-pelo-ciclone-em-parte-do-sul/. Acesso em: 21 out. 2025.

PEREIRA, R. da S.; NUNES, A. B. Estudo climático dos eventos de precipitação associados a alagamentos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física** [online], v. 11, n.6, p. 2010-2017, 2018. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2010-2017.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; CUSTÓDIO, I. S. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I - Revisão Bibliográfica, **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 32, n. 2, p.171-186, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863220010.

REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. Ciclones Extratropicais: o que são; climatologia e impactos no Brasil. **Terræ Didatica,** v. 17, p. e021032-e021032, 2021. Disponível em: [https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8666028/27390]. Acesso em: 10 dez. 2023.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. ***Monthly Weather Review***, v.135, n.4, p.1290-1309, 2007. DOI: https://doi.org/10.1175/MWR3305.1. Acesso em: 10 set. 2023.

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

TEIXEIRA, Mateus da Silva; PRIETO, Raidel Báez. Eventos extremos de chuva no Estado do Rio Grande do Sul; Brasil; entre 2004 e 2013. Parte 1: Definição dos eventos e estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v.35, p.45-52, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102- 7786351027.

UCCELLINI, Louis Warren; JOHNSON, Donald R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective storms. ***Monthly Weather Review***, v.107, p.682-703, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<0682:TCOUAL>2.0.CO;2]. Acesso em: 10 set. 2023.