PREVISÃO NUMÉRICA DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL COM WRF-7KM: UMA ABORDAGEM PROGNÓSTICA E OPERACIONAL PARA O RIO GRANDE DO SUL

Rosimeire Araújo Silva
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA Av. Constelação Cruzeiro do Sul, S/N - Bairro Aleixo, Conjunto Morada do Sol
araujosilvarosimeire@gmail.com

Philip Martin Fearnside
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA Av. Constelação Cruzeiro do Sul, S/N - Bairro Aleixo, Conjunto Morada do Sol
philip.fearnside@gmail.com

RESUMO
Entre os dias 9 e 13 de maio de 2025, o estado do Rio Grande do Sul foi novamente atingido por chuvas intensas, exatamente um ano após a histórica enchente de 2024. Este estudo analisou a previsão numérica de alta resolução (7 km), gerada com o modelo WRF (Weather Research and Forecasting), para o período de 7 a 14 de maio de 2025. Também foi avaliada a capacidade do modelo em antecipar esse evento extremo, destacando seu potencial como ferramenta de apoio à gestão de riscos e à tomada de decisão por órgãos de defesa civil. Em consonância com estudos recentes que indicam que cheias extremas poderão se tornar cinco vezes mais frequentes no Rio Grande do Sul, os resultados evidenciam a importância da modelagem atmosférica de alta resolução aliada à vigilância operacional para a construção de estratégias resilientes frente às mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE. modelagem atmosférica; eventos extremos; mudanças climáticas

Tópicos:
1. PO na Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade (AG&MA)
2. Análise e Ciência de Dados (AS&DS)

ABSTRACT
Between May 9 and 13, 2025, the state of Rio Grande do Sul was once again affected by intense rainfall, exactly one year after the historic flood of 2024. This study analyzed the high-resolution (7 km) numerical forecast produced with the WRF (Weather Research and Forecasting) model for the period from May 7 to 14, 2025. The model's ability to anticipate this extreme event was also evaluated, highlighting its potential as a support tool for risk management and decision-making by civil defense authorities. In line with recent studies indicating that extreme floods could become five times more frequent in Rio Grande do Sul, the results underscore the importance of high-resolution atmospheric modeling combined with operational monitoring to build resilient strategies in the face of climate change.

KEYWORDS atmospheric modeling; extreme events; climate change
Paper topics:
1. PO in Agriculture, Environment and Sustainability (AG&MA)
2. 2. Analytics and Data Science (AS&DS)

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

1. Introdução

O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos em escala global tem gerado crescente preocupação e impulsionado a necessidade de estudos que aprofundem a compreensão dos mecanismos atmosféricos associados, ao mesmo tempo em que aprimoram as capacidades de previsão numérica [Fearnside e Silva, 2024]. No Brasil, o estado do Rio Grande do Sul tem se mostrado particularmente vulnerável a eventos de precipitação intensa, resultando em inundações com elevados impactos humanos, sociais e econômicos.

Em maio de 2024, o Rio Grande do Sul enfrentou o maior desastre climático de sua história, com acumulados de chuva que superaram os recordes históricos e afetaram mais de 90% dos municípios do estado. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], apenas em Porto Alegre o total de precipitação no mês alcançou 461 mm, ultrapassando o recorde anterior de 447,3 mm registrado em setembro de 2023, e em Caxias do Sul, os acumulados atingiram 919,1 mm — valor 772,4 mm acima da média histórica. Esses eventos foram impulsionados por uma conjunção de fatores climáticos, incluindo a atuação do fenômeno El Niño, a presença de uma massa de ar quente sobre o Sudeste do Brasil e um sistema de alta pressão no Atlântico Sul. Este último, identificado como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), tem apresentado comportamentos anômalos desde 2023, alterando padrões de circulação e contribuindo para o direcionamento de fluxos de umidade em direção à região Sul do Brasil. Observa-se, ainda, temperaturas da superfície do mar (TSM) anormalmente frias na região associada a esse sistema anticiclônico, o que tende a reforçar sua estabilidade e intensidade ao longo do tempo [Fearnside e Silva, 2024].

A literatura científica já reconhece a importância da interação entre sistemas de baixa e alta pressão na gênese de eventos extremos no Sul do Brasil. Estudos de [Gan e Rao 2012], [Gozzo et al 2014], e [Reboita et al. 2010] evidenciam que sistemas meteorológicos extratropicais e subtropicais, ao interagirem com cavados em altos níveis e fluxos intensificados de umidade, frequentemente resultam em chuvas volumosas, especialmente na presença de bloqueios atmosféricos no Atlântico. Essas interações atmosféricas complexas vêm sendo detalhadas também em campanhas observacionais, conforme [Silva Dias et al. 2013], ressaltando a necessidade de modelagem em alta resolução para representar adequadamente os processos físicos envolvidos.

A recorrência de eventos climáticos extremos no Rio Grande do Sul tem sido objeto de crescente atenção Marengo et al [2025]. Análises recentes indicam uma nova frequência para desastres climáticos na região, onde fenômenos que anteriormente possuíam um tempo de retorno secular podem agora se manifestar em intervalos de décadas [Brito, 2025]. De fato, durante o período focal deste estudo, entre 7 e 11 de maio de 2025, o estado do Rio Grande do Sul novamente enfrentou condições meteorológicas severas. Alertas da Defesa Civil foram emitidos para chuvas fortes, risco de alagamentos, temporais com granizo e vendavais em diversas regiões [Defesa Civil RS, 2025]. Relatos confirmaram a ocorrência de temporais que resultaram em alagamentos, destelhamentos, bloqueios em rodovias e suspensão de aulas em várias localidades gaúchas, sublinhando a materialização dos riscos previstos e a importância crítica de sistemas de previsão acurados como o analisado neste trabalho.

Este estudo, portanto, não apenas avalia a capacidade prognóstica do modelo WRF para um evento específico em maio de 2025, mas também se insere no contexto mais amplo da necessidade de adaptação e resposta a um cenário de intensificação de eventos extremos, onde a antecipação

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

provida por modelagem de alta resolução é fundamental para a gestão de riscos e proteção da população.

2. Metodologia

2.1. Acumulados de Precipitação com o Modelo WRF

Neste estudo, foi utilizada a previsão numérica do modelo atmosférico WRF (Weather Research and Forecasting), em sua configuração operacional de alta resolução disponibilizada pelo CPTEC/INPE. A simulação cobre toda a América do Sul com malha espacial de aproximadamente 7 km (0.07°), abrangendo integralmente o estado do Rio Grande do Sul e a bacia do Atlântico Sul, o que permite uma análise detalhada do evento de precipitação intensa associado à atuação de um anticiclone subtropical.

Os dados brutos, em formato GRIB2, foram acessados via FTP diretamente do CPTEC [https://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/WRF/ams_07km/brutos/]. Foram utilizados arquivos das rodadas das 00 e 12 UTC, com projeções de até 180 horas (00 UTC) e 168 horas (12 UTC), nomeados conforme o padrão: WRF_cpt_07KM_YYYYMMDDHH_YYYYMMDDHH.grib2.

A variável meteorológica de interesse foi a precipitação total acumulada (tp), extraída com a biblioteca xarray com suporte a GRIB2 (cfgrib). O pós-processamento incluiu a conversão temporal, extração de latitude/longitude e aplicação de filtros de vizinhança (maximum_filter) para detecção de máximos locais de precipitação. Os mapas foram gerados com projeção geográfica (PlateCarree) e sobreposição de shapefiles de países e estados, com anotações automáticas dos valores máximos de precipitação previstos para a América do Sul. As figuras finais foram salvas em alta resolução (300 dpi), com paleta contínua, possibilitando a identificação qualitativa e quantitativa dos diferentes regimes de chuva.

A resolução de 7 km representa um equilíbrio entre custo computacional e capacidade de capturar detalhes relevantes de padrões convectivos. Essa abordagem é amplamente utilizada em aplicações operacionais, geração de alertas meteorológicos e validação com dados observacionais e estudos climáticos de eventos extremos na Amazônia [Souza et al., 2022]. Essa metodologia permite prever eventos severos com antecedência de até seis dias, oferecendo suporte a ações de defesa civil e planejamento urbano.

2.2. Análise das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar

Para a análise das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), foram utilizados dados do produto NOAA Coral Reef Watch Daily 5km SST Anomalies, versão 3.1. Este produto é baseado em observações por satélite, com resolução espacial de 5 km, e fornece mapas diários de anomalias de TSM em relação à climatologia de longo prazo.

Os dados foram obtidos diretamente da plataforma oficial do NOAA Coral Reef Watch (https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index_5km_ssta.php) e utilizados para identificar padrões térmicos anômalos no Atlântico Sul durante o período antecedente ao evento de previsão. As informações foram fundamentais para investigar possíveis interações entre as condições oceânicas e a configuração atmosférica associada à atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

2.3. Análise da Circulação Atmosférica com o Modelo ECMWF

Para complementar a análise regional, foram utilizados dados de previsão global do modelo ECMWF IFS (Integrated Forecasting System), na configuração HRES (~28 km de resolução horizontal, 137 níveis verticais até 0.01 hPa). As previsões são operacionais, atualizadas às 00 e 12 UTC, com alcance de até 10 dias (240 horas).

Foram extraídas as componentes zonal e meridional do vento nos níveis isobáricos de 250 hPa, 500 hPa e 850 hPa, além da pressão ao nível médio do mar (MSLP), com o objetivo de caracterizar a circulação atmosférica em diferentes níveis da troposfera para o período mais crítico do alerta. Os dados foram baixados em formato GRIB2 no site oficial do ECMWF [https://www.ecmwf.int/en/forecasts] e processados em Python com as bibliotecas *xarray*, *cfgrib*, *cartopy*, *metpy* e *matplotlib*.

A análise sinótica incluiu análise da magnitude, direção e sentido dos ventos e MSLP, possibilitando a identificação de jatos subtropicais, cavados, cristas e centros de circulação associados ao sistema meteorológico estudado. Essa abordagem foi fundamental para avaliar e validar a previsão regional do modelo WRF com base em padrões sinóticos previstos em escala global.

3. Resultados

3.1 Precipitação Prevista

A previsão de acumulados significativos de precipitação para o Sul do Brasil entre os dias 7 e 14 de maio de 2025. A simulação com o modelo WRF em alta resolução (7 km) capturou com uma expressiva distribuição espacial e temporal dos acumulados de chuva, com destaque para o norte da América do Sul e para porção sul do Brasil (Figura 1). Para o estado do Rio Grande do Sul os maiores volumes foram previstos entre os dias 9 e 13 de maio, com acumulados superiores a 150 mm e picos acima de 300 mm em áreas da porção central e leste do estado.

As previsões de acumulados significativos de precipitação, especialmente para a porção central e leste do estado do Rio Grande do Sul entre os dias 9 e 13 de maio, conforme indicado pelo modelo WRF, encontram corroboração nos alertas emitidos pela Defesa Civil e nos eventos efetivamente reportados durante o período. A Defesa Civil Nacional do Rio Grande do emitiram alertas para chuvas intensas e risco de alagamentos abrangendo diversas regiões do estado, incluindo Noroeste, Centro, Serra, Vales, Metropolitana e Litoral Norte, entre os dias 7 e 11 de maio. Notícias locais confirmaram a ocorrência de temporais com impactos como alagamentos e interrupções de serviços, indicando que as áreas de maior precipitação previstas pelo modelo coincidiram, em grande medida, com as regiões afetadas. Esta correspondência preliminar ressalta o potencial operacional do modelo WRF em antecipar eventos severos, fornecendo subsídios valiosos para ações preventivas, conforme orientado pelo usuário deste estudo em focar no que os modelos conseguiram capturar realisticamente.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

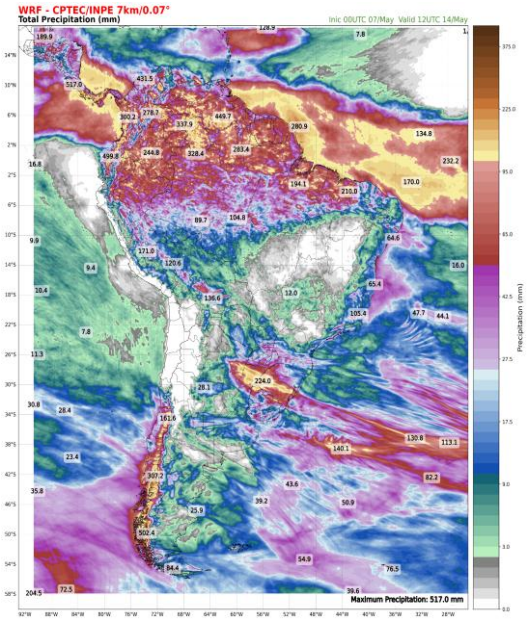


Figura 1 – Previsão dos acumulados de precipitação (mm) na América do Sul para o período de 7 a 14 de maio de 2025, com base na simulação do modelo WRF (resolução de 7 km).

3.2 Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar

As anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) foram analisadas com base no produto operacional do NOAA Coral Reef Watch, que fornece dados diários com resolução espacial de 5 km (versão 3.1).

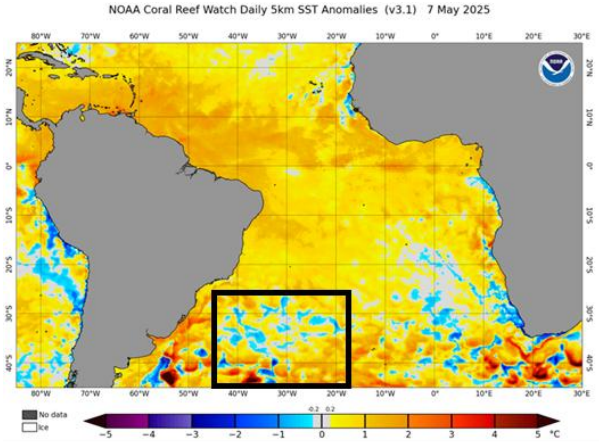


Figura 2 – Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), medidas em graus Celsius (°C), em 7 de maio de 2025, com resolução de 5 km, obtidas a partir do produto operacional do NOAA Coral Reef Watch, com destaque para o Atlântico Sul (demarcado em quadro preto).

A Figura 2, referente ao dia 7 de maio de 2025, revela anomalias positivas generalizadas de TSM no Atlântico Tropical, com valores variando entre +0,5 °C e +2,0 °C ao largo da costa brasileira.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

Em contraste, observam-se anomalias negativas próximas ao litoral das regiões Sudeste e Sul do Brasil, estendendo-se em direção ao Atlântico Sudoeste, onde valores inferiores a -2,0 °C são demarcados em quadro preto. Esse padrão térmico pode estar dando indícios da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), fenômeno também observado em eventos anteriores, como em 2024. A persistência e intensidade do ASAS favorecem a subsidência atmosférica e o fortalecimento do fluxo de ar descendente, contribuindo para o resfriamento local da superfície oceânica. Essas condições podem influenciar de forma significativa a dinâmica de sistemas frontais e ciclônicos na América do Sul, com impactos mais pronunciados na região Sul do Brasil.

O resfriamento observado na superfície do mar na porção sudoeste do Atlântico Sul, com antecedência de dias, pode atuar como um sinal precursor da intensificação ASAS. A redução anômala da TSM, especialmente quando persistente e abrangente, tende a refletir o fortalecimento de movimentos descendentes na coluna atmosférica, associados à subsidência característica dos sistemas de alta pressão. Esse processo não apenas favorece a estabilização atmosférica, como também contribui para a manutenção de um padrão bloqueio, capaz de inibir a progressão de frentes frias e influenciar o desenvolvimento de sistemas atmosféricos na região. Dessa forma, o monitoramento contínuo dessas anomalias negativas de TSM pode oferecer importantes indícios sobre a evolução da circulação de grande escala na América do Sul, especialmente durante períodos de transição sazonal.

3.3 Análise Sinótica e Dinâmica da Atmosfera: 9 a 13 de Maio de 2025

A evolução sinótica entre os dias 9 e 13 de maio de 2025, conforme simulações do modelo ECMWF/IFS, revelou a formação e intensificação de um sistema de alta pressão inicialmente posicionado sobre o interior da América do Sul, com posterior deslocamento para o Atlântico Sul, promovendo condições propícias à instalação de um bloqueio atmosférico.

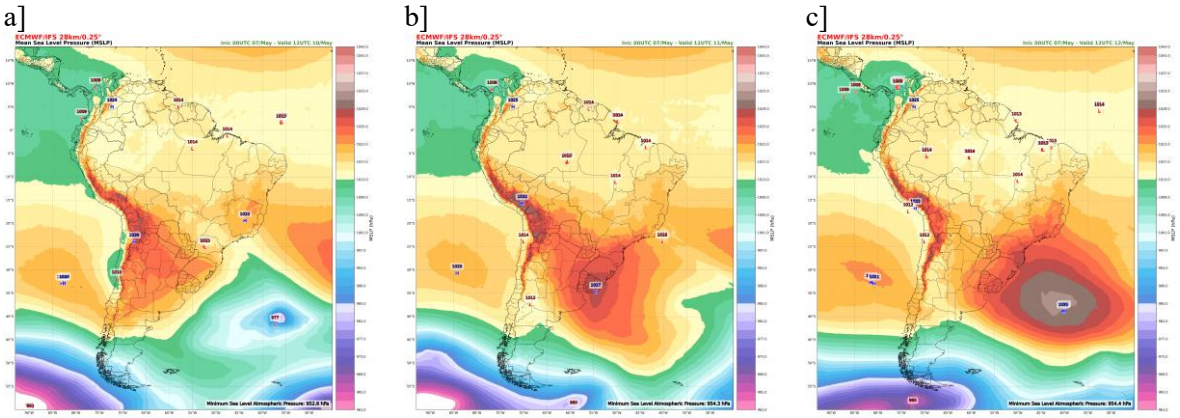


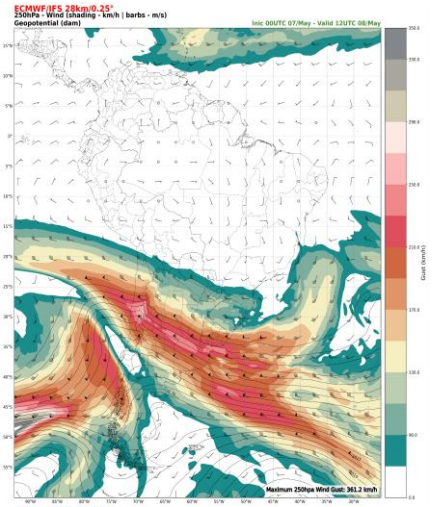
Figura 3 –MSLP - Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) com base na simulação do modelo ECMWF/IFS para os dias 10-13 de maio de 2025

Na Figura 3, observa-se no dia 10 de maio (painel a) um padrão de baixa pressão centrado ao sul do continente, próximo à costa da Argentina, em contraste com uma célula de alta pressão incipiente sobre o Brasil. No dia 11 de maio (painel b), a alta se intensifica e migra para o sul do Brasil, atingindo valores superiores a 1027 hPa, enquanto a baixa oceânica se enfraquece. No dia 12 de maio (painel c), o sistema de alta pressão se estabelece sobre o Atlântico Sul com núcleo acima de 1030 hPa, caracterizando um anticiclone subtropical maduro. Essa migração evidencia a

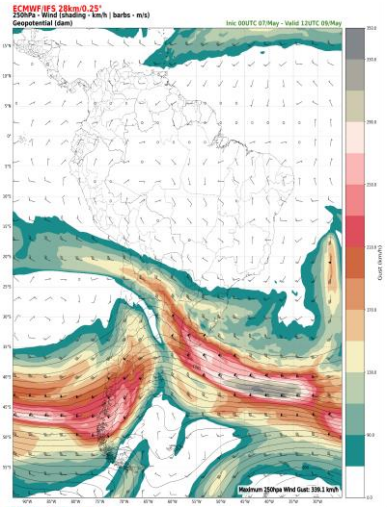
DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

reorganização da circulação em superfície e a possível atuação de um padrão de bloqueio, limitando o avanço de sistemas frontais.

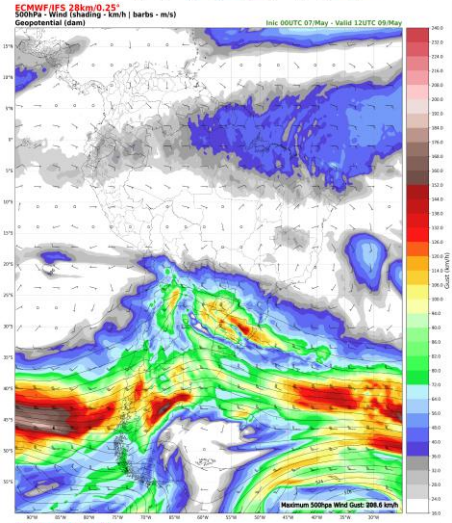
a]



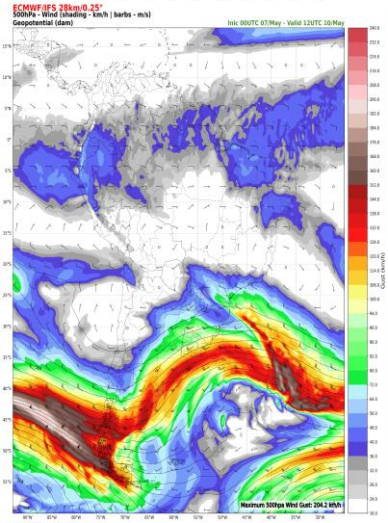
b]



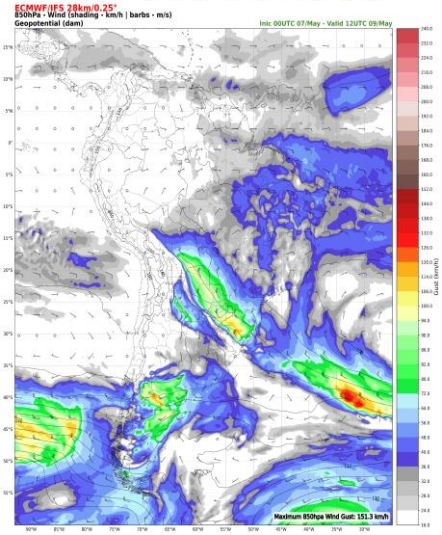
c]



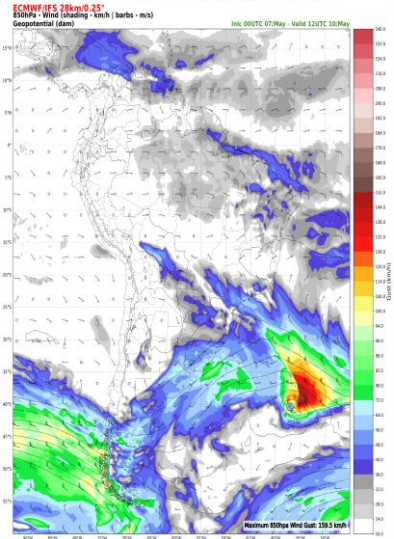
d]



e]



f]



DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

Figura 4 – Campos de vento nos níveis atmosféricos de 250 hPa, 500 hPa e 850 hPa com base na simulação do modelo ECMWF/IFS para os dias 9 e 10 de maio de 2025. Direção e intensidade dos ventos em diferentes altitudes. As cores representam as rajadas máximas de vento (Gust) em km/h.

Os campos de vento em múltiplos níveis atmosféricos apresentados na Figura 4 corroboram a estrutura vertical do sistema. Nos níveis de 250 hPa (painéis a e b), observa-se uma corrente de jato subtropical intensa ao sul da América do Sul, com núcleo superior a 100 km/h, favorecendo divergência em altos níveis. Nos níveis de 500 hPa (painéis c e d), um cavado profundo é identificado sobre o continente, acompanhado por uma circulação anticiclônica a leste, indicando a presença de uma estrutura baroclínica verticalmente acoplada. Nos baixos níveis (850 hPa, painéis e e f), nota-se a organização de um padrão anticiclônico com ventos intensificados a leste da baixa, evidenciando o acoplamento dinâmico entre os sistemas de alta e baixa pressão.

A coerência vertical da circulação, aliada ao enfraquecimento da baixa pressão oceânica, sustenta a hipótese de formação de um bloqueio atmosférico subtropical, típico da atuação anômala do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Tal configuração inibe a progressão de frentes frias e favorece a persistência de instabilidades na região Sul do Brasil. A migração do anticiclone para o Atlântico e sua intensificação podem estar associadas à subsidência persistente e a padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) anormalmente frios na região sudoeste do Atlântico, reforçando a estabilidade do sistema.

Essa configuração atmosférica é altamente favorável à ocorrência de chuvas intensas e prolongadas, como aquelas previstas entre os dias 9 e 13 de maio de 2025 para o estado do Rio Grande do Sul. O bloqueio gerado pela alta pressão limita o escoamento meridional, aprisionando umidade e promovendo a intensificação da convecção na região afetada. Tais características são compatíveis com os eventos extremos registrados em maio de 2024, sugerindo uma possível recorrência associada à variabilidade de larga escala na circulação do Atlântico Sul.

3.4 Aplicação Operacional

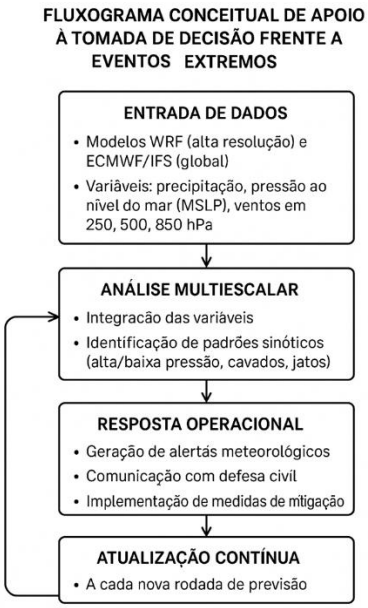
O uso combinado do modelo de alta resolução WRF (Weather Research and Forecasting) com o modelo global ECMWF/IFS (Integrated Forecasting System) em tempo real tem se mostrado uma estratégia eficaz para a previsão e monitoramento de desastres naturais associados à chuva extrema, especialmente no contexto da América do Sul e, em particular, na região Sul do Brasil. Essa abordagem integrada permite uma análise atmosférica multiescalar — abrangendo os altos, médios e baixos níveis — essencial para a identificação de padrões dinâmicos responsáveis pela intensificação ou bloqueio de eventos extremos.

No caso específico da formação de sistemas meteorológicos subtropicais ou eventos de chuva intensa na região Sul, destaca-se o papel potencial de sistemas anticiclônicos que podem atuar como bloqueios atmosféricos. Esses bloqueios dificultam o avanço de frentes frias e sistemas frontais, promovendo a persistência de instabilidades ou a intensificação de eventos convectivos sobre áreas vulneráveis. A análise combinada dos campos de vento em 250, 500 e 850 hPa, associada aos campos de pressão ao nível do mar (MSLP), permite compreender o acoplamento vertical da atmosfera, fator decisivo na evolução e manutenção de sistemas meteorológicos de alto impacto.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

A alta resolução espacial do WRF (7 km) fornece simulações detalhadas de variáveis como precipitação, essenciais para o acompanhamento em tempo real e para a emissão de alertas meteorológicos. O ECMWF/IFS, com sua robustez global e atualização contínua, oferece um panorama mais amplo da dinâmica atmosférica. A combinação dessas saídas possibilita a identificação precoce de sistemas meteorológicos, além da estimativa da intensidade e abrangência dos eventos, com delimitação de áreas vulneráveis à ocorrência de desastres.

Com base nas funcionalidades complementares desses modelos, propõe-se um fluxograma conceitual de apoio à tomada de decisão frente a eventos meteorológicos extremos.



4. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a robustez do modelo WRF, em resolução de 7 km, para prever com antecedência significativa a ocorrência de um evento hidrometeorológico de alta complexidade sobre o Sul do Brasil. A simulação indicou acumulados expressivos de precipitação entre os dias 9 e 13 de maio de 2025, em consonância com os padrões sinóticos subtropicais descritos em trabalhos anteriores [Gan e Rao, 2012; Reboita et al., 2010]. Tais padrões incluem a interação entre sistemas de baixa e alta pressão, presença de cavados em altos níveis, todos elementos identificados nas simulações regionais e globais conduzidas neste trabalho.

A previsão da distribuição espacial dos acumulados, com destaque para a porção central e leste do Rio Grande do Sul, sugere que o modelo regional foi capaz de capturar a convergência de umidade e o forçamento dinâmico induzido pela circulação associada ao sistema subtropical. Este aspecto é de particular relevância operacional, uma vez que a correta localização dos máximos de precipitação pode auxiliar ações de defesa civil e planejamento de resposta a desastres, como reforçado por [Souza et al. 2022].

O padrão de anomalias negativas de TSM observadas no Atlântico Sudoeste, próximo à costa do Sul do Brasil, sugere uma possível retroalimentação entre o resfriamento oceânico e a intensificação do ASAS, mecanismo semelhante ao observado por [Fearnside e Silva 2024] no

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

evento extremo de maio de 2024. A persistência dessas anomalias, além de indicar subsidência prolongada, reforça a hipótese de que o ASAS tem exercido um papel mais estruturante na configuração dos bloqueios atmosféricos que favorecem a estagnação de sistemas frontais e a intensificação de chuvas sobre o continente.

A evolução sinótica do campo de pressão ao nível do mar corrobora o desenvolvimento de um sistema anticiclônico sobre o Atlântico Sul, com deslocamento gradual em direção ao oceano. Esta configuração é compatível com a formação de sistemas meteorológicos subtropicais, com a intensificação de ventos e instabilidades em áreas adjacentes, conforme descrito por [Gozzo et al. 2014]. A atuação simultânea de um sistema de alta pressão sobre o oceano e um cavado em altos níveis foi essencial para organizar o escoamento e sustentar a convecção profunda, levando à ocorrência de precipitações intensas em curto período.

A dinâmica atmosférica prevista pelos modelos, notadamente a formação e intensificação de um sistema de alta pressão sobre o Atlântico Sul (conforme Figura 3, painel c, para 12 de maio de 2025, com núcleo acima de 1030 hPa), encontra paralelos em análises meteorológicas de tempo real. Por exemplo, a atuação de um centro de alta pressão de 1031 hPa sobre o Oceano Atlântico, a Leste-Sudeste do Uruguai, influenciando as condições no Centro-Sul do Brasil (MetSul, 2025]. Esta configuração de alta pressão, consistente com o ASAS, foi descrita como responsável por transportar umidade do oceano para o continente.

A interação dessa umidade com o relevo da Serra Gaúcha e da Serra do Mar foi apontada como um mecanismo chave para a formação de nuvens e precipitação em pontos específicos do Sul e Sudeste. No Rio Grande do Sul, a influência dessa alta pressão resultou em nebulosidade e potencial para chuva fraca em áreas como a Serra Gaúcha, Grande Porto Alegre e Litoral Norte, mesmo com predomínio de tempo seco na maior parte do estado. Adicionalmente, o gradiente de pressão entre o sistema de alta pressão oceânico e as áreas de menor pressão no continente foi associado à intensificação dos ventos na faixa leste gaúcha, com velocidades médias de 30 km/h a 50 km/h [MetSul, 2025].

A descrição da MetSul sobre o transporte de umidade e a formação de chuva orográfica devido à circulação anticiclônica reforça os mecanismos físicos que os modelos numéricos buscam simular ao prever acumulados de precipitação em regiões de relevo acidentado, como destacado nas previsões do WRF para o período (Figura 1). A menção ao valor de pressão central (1031 hPa) pela MetSul também oferece um ponto de comparação para a intensidade do sistema de alta pressão previsto pelos modelos.

Assim, a atuação do sistema de alta pressão, alinha-se com as previsões de um anticiclone subtropical maduro e influente, destacando a relevância de se monitorar e modelar precisamente esses sistemas para a previsão de vento e chuva, especialmente em áreas costeiras e de serra.

Por fim, ressalta-se a relevância da abordagem metodológica adotada neste estudo para o aprimoramento das práticas operacionais em meteorologia. A combinação entre modelagem de alta resolução, análise sinótica detalhada e uso de anomalias oceânicas em tempo quase real representa um avanço significativo frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente recorrência de eventos extremos. Nesse sentido, o presente trabalho contribui para a construção de um arcabouço técnico-científico voltado à antecipação de riscos e à proteção de comunidades

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

vulneráveis, especialmente no contexto de um Sul do Brasil cada vez mais suscetível a impactos hidrometeorológicos severos.

3. Conclusão

Este estudo demonstrou a eficácia da integração entre os modelos WRF (7 km) e ECMWF/IFS para a previsão e o monitoramento de eventos hidrometeorológicos extremos na região Sul do Brasil, com destaque para o episódio de maio de 2025. A abordagem multiescalar permitiu uma análise atmosférica vertical abrangente, evidenciando o papel de sistemas anticiclônicos e cavados em altos níveis na intensificação e manutenção da convecção profunda, resultando em acumulados significativos de precipitação sobre áreas vulneráveis do Rio Grande do Sul.

O modelo WRF, com sua alta resolução, mostrou-se capaz de capturar a distribuição espacial dos acumulados de chuva. Por sua vez, o ECMWF/IFS forneceu suporte sinótico e identificação de anomalias oceânicas que contribuíram para a atuação persistente do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), destacando uma possível retroalimentação entre as condições oceânicas e os bloqueios atmosféricos observados.

A aplicação operacional proposta, baseada na combinação dessas ferramentas, mostrou-se promissora para subsidiar estratégias de antecipação e resposta a desastres. O fluxograma conceitual apresentado integra dados em tempo real, análise multiescalar e geração de alertas, oferecendo suporte técnico-científico à tomada de decisão por órgãos de defesa civil. Tal estrutura se alinha às necessidades de resiliência diante do aumento na frequência e severidade dos eventos extremos, potencialmente exacerbados pelas mudanças climáticas.

Recomenda-se, para investigações futuras, a validação quantitativa das previsões, o uso de ensembles para aumentar a confiabilidade dos cenários e a implementação de ferramentas operacionais baseadas no WRF. Além disso, reforça-se a importância de estudos que aprofundem a influência das anomalias de TSM sobre a dinâmica atmosférica regional, especialmente no que se refere ao papel do ASAS na organização de sistemas meteorológicos de alto impacto.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo apoio institucional; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processos 312450/2021-4 e 406941/2022-0); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (Processo 01.02.016301.02529/2024-87); e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Processo 88887.95454/2024-00).

4. Referências Bibliográficas

1. BRITO, M. *Eventos do século em décadas: entenda a nova frequência dos desastres climáticos no RS*. G1 Rio Grande do Sul, 11 maio 2025. Disponível em: https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2025/05/11/eventos-do-seculo-em-decadas-entenda-a-nova-frequencia-dos-desastres-climaticos-no-rs.ghtml. Acesso em: 13 maio 2025.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br

2. DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. *Alerta de chuvas fortes no Rio Grande do Sul*. Disponível em: https://www.defesacivil.rs.gov.br/aviso-meteorologico. Acesso em: 13 maio 2025.

3. FEARNSIDE, P. M.; SILVA, F. B. *Surpresas climáticas: da Amazônia ao Rio Grande do Sul*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2024. Disponível em: https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2024/Fearnside_&_Silva-2024-Surpresas_climaticas-Amazonia-&_Rio_Grande_do_Sul.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.

4. GAN, M. A.; RAO, V. B. *Surface cyclogenesis over South America and adjacent oceans in the austral cold season*. Climate Dynamics, v. 39, n. 7, p. 1829–1847, 2012.

5. GOZZO, L. F.; GAN, M. A.; RAO, V. B. *South Atlantic cyclones: Life cycle and interactions with upper-level troughs*. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 123, n. 1–2, p. 91–104, 2014.

6. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. *Dados meteorológicos históricos e boletins de precipitação*. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br. Acesso em: 8 maio 2025.

7. MARENGO, J. A. et al. *O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024*. Estudos Avançados, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/LyHVHKHzm67CwpvcWPKPwTm/. Acesso em: 13 maio 2025.

8. METSUL. *Alta pressão favorece vento e chuva em pontos do Sul e Sudeste do Brasil*. 12 maio 2025. Disponível em: https://metsul.com/alta-pressao-favorece-vento-e-chuva-em-pontos-do-sul-e-sudeste-do-brasil/. Acesso em: 13 maio 2025.

9. REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. *Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

10. SCHNEIDER, S. H. *The role of "surprises" in climate change predictions*. Science, v. 303, n. 5662, p. 1613–1617, 2004. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1093309.

11. SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, P. L.; LONGO, M.; FREITAS, S. R.; GONÇALVES, L. G. G. *Overview of the Chuva Project and field campaigns in Brazil*. Atmospheric Research, v. 128, p. 1–16, 2013.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212452
https://proceedings.science/p/212452?lang=pt-br