

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO MODELO COAWST NA SIMULAÇÃO DE UM CICLONE EXTRATROPICAL NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL

REYNERTH PEREIRA DA COSTA; **HELENA ZIRBES MAURER²**; **DANIEL CAETANO SANTOS³**; **WILLIAM DUARTE JACONDINO⁴**; **LUÍS FELIPE FERREIRA DE MENDONÇA⁵**; **ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS⁶**

¹*Universidade Federal de Pelotas – reynerthy@gmail.com*

²*Universidade Federal de Santa Maria – zm.helena@gmail.com*

³*Universidade Federal de Santa Maria – danielcae@gmail.com*

⁴*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – williamjacordinoufpel@gmail.com*

⁵*Universidade Federal da Bahia – ifelipem@msn.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – freitas.rose@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A intensificação dos eventos climáticos extremos nas últimas décadas evidencia a necessidade de integrar ciência, direitos sociais e justiça ambiental como pilares da produção científica. Esses aspectos tornam-se indissociáveis na análise de desastres naturais, pois os impactos recaem de forma desigual sobre populações vulneráveis, aprofundando desigualdades socioeconômicas e territoriais (SUTIL, 2020; VEIGA et al., 2024). Nesse contexto, as universidades por meio da ciência assumem um papel fundamental não apenas na previsão e compreensão dos fenômenos, mas também no suporte à formulação de políticas públicas que garantam direitos sociais básicos e promovam justiça ambiental.

Um exemplo emblemático foi o ciclone extratropical que atingiu a costa do Rio Grande do Sul em maio de 2025. Com ventos intensos, precipitação extrema e tempestades, o evento expôs a vulnerabilidade das comunidades costeiras e a necessidade de maior capacidade preditiva (MARENGO, 2025; ROSA, 2025). Esse episódio reforça a importância dos modelos acoplados, como o COAWST (Coupled Ocean–Atmosphere–Wave–Sediment Transport), que permitem integrar processos atmosféricos, oceânicos e costeiros de forma realista, ampliando a qualidade das previsões e a eficácia das estratégias de adaptação (WARNER et al., 2010; MASSON et al., 2025; WEHBE et al., 2019).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar a representatividade do modelo numérico acoplado COAWST na simulação do ciclone extratropical ocorrido entre os dias 27 e 31 de maio de 2025, no litoral do Rio Grande do Sul. A análise busca aferir a acurácia do modelo em relação a dados observados em pontos estratégicos de atuação do ciclone, discutindo seu potencial para a compreensão de sistemas costeiros no sul do Brasil. Destaca-se, ainda, sua contribuição científica para o fortalecimento da justiça ambiental e a proteção dos direitos sociais em regiões vulneráveis.

2. METODOLOGIA

A área de estudo comprehende o litoral do estado do Rio Grande do Sul, região mais meridional do Brasil, delimitada ao norte pelo município de Torres e ao sul pela fronteira com o Uruguai (FIGURA 1). Essa faixa costeira caracteriza-se por elevada vulnerabilidade socioambiental, marcada pela presença de comunidades pesqueiras, áreas urbanas em expansão e ecossistemas frágeis, como lagoas costeiras e restingas (ROSA, 2025; VEIGA et al., 2024). A posição geográfica do estado o torna particularmente suscetível à passagem de ciclones extratropicais formados no Atlântico Sul, fenômenos que podem provocar marés de tempestade, ventos intensos e precipitações extremas (MARENGO, 2025; SOBEL, 2021).

O ciclone extratropical ocorrido entre 27 e 31 de maio de 2025 foram analisados a partir de simulações realizadas com o sistema COAWST. O modelo foi parametrizado e configurado de forma a representar a formação, evolução e dissipação do evento, acoplando módulos atmosféricos, oceânicos e de ondas, de modo a assegurar a representação integrada dos processos físicos envolvidos na simulação (WARNER et al., 2010; MASSON et al., 2025).

Foram utilizados campos iniciais e de contorno derivados de reanálises globais do ERA5, garantindo a coerência das condições atmosféricas e oceânicas com os registros observados. A resolução espacial foi ajustada para capturar os padrões regionais de circulação, enquanto a escala temporal buscou representar adequadamente os ciclos de intensificação do sistema.

Para validar os resultados do modelo COAWST, foi utilizada inicialmente a Estação Meteorológica de Capão do Leão (Pelotas/RS), pertencente à rede do INMET e atualmente em operação. Localizada na latitude -31.80 e longitude -52.40, (FIGURA 1), essa estação forneceu dados observacionais de precipitação, pressão atmosférica e temperatura do ar, que foram comparados aos campos simulados pelo modelo. Essa etapa preliminar permitiu avaliar a coerência da modelagem na representação do ciclone extratropical de maio de 2025. Em etapas futuras do projeto, os resultados serão confrontados com registros de outras estações meteorológicas do estado, ampliando a análise espacial e a avaliação da capacidade do modelo em representar os impactos regionais do evento.

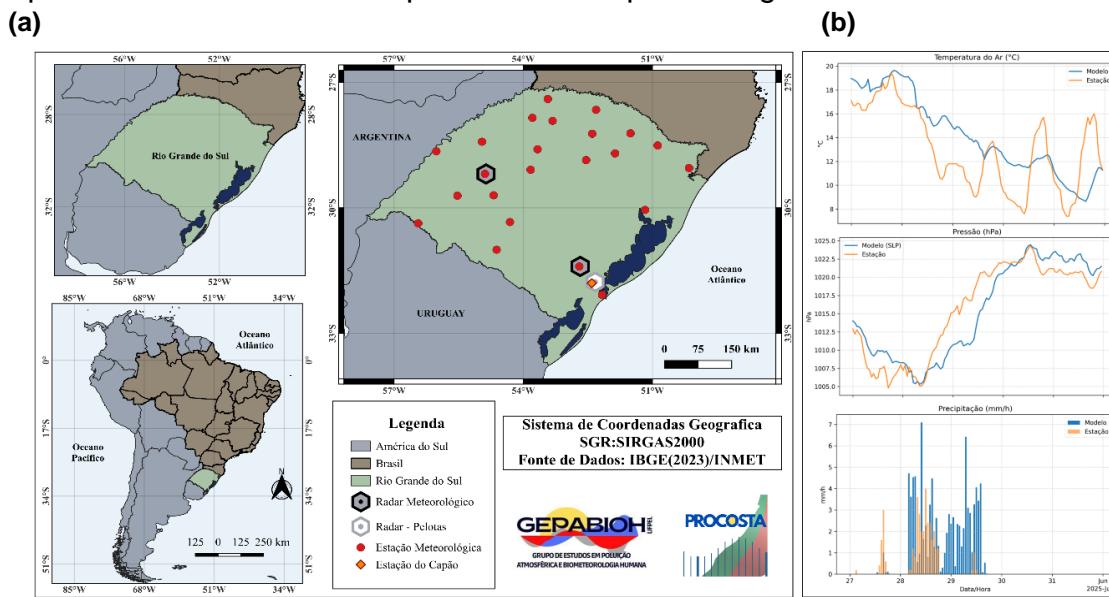


Figura 1. (a) Mapa da área de estudo no Rio Grande do Sul, com a localização dos radares meteorológicos (hexágonos), das estações do INMET (círculos) e da Estação de Capão do Leão (losango), utilizada na validação inicial do modelo. (b) Comparação entre simulação COAWST e observações da Estação de Capão do Leão, para temperatura, pressão e precipitação durante o ciclone extratropical de maio de 2025. Fonte: Autor

A comparação entre os campos simulados e as observações permite avaliar a acurácia dos dados representando a trajetória, intensidade e impactos do ciclone, além de verificar a confiabilidade do modelo na representação de eventos extremos. Essa abordagem integrada, que combina modelagem numérica e dados de superfície, é essencial para compreender os efeitos regionais dos ciclones e apoiar a formulação de estratégias de adaptação diante da vulnerabilidade socioambiental.

Embora o Brasil não esteja localizado em rota típica de ciclones tropicais, a costa Sul e Sudeste é frequentemente afetada por sistemas subtropicais e extratropicais, que geram impactos relevantes para populações costeiras e infraestrutura (IPCC, 2021; Banco Mundial, 2025). Os ciclones tropicais, de núcleo quente e associados a águas mais aquecidas, são raros no Atlântico Sul, tendo como exemplo marcante o Ciclone Catarina, em 2004. Já os ciclones subtropicais, que apresentam características híbridas entre tropicais e extratropicais, ocorrem com maior frequência no Atlântico Sul, como o Ciclone Subtropical Cari, em 2019. Os ciclones extratropicais, por sua vez, de núcleo frio e associados a frentes frias e fortes gradientes de pressão, são comuns no Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, com registros importantes como os eventos de 2009, 2020 e o ciclone de maio de 2025 (Sobel, 2021; IPCC, 2021; Banco Mundial, 2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da simulação com o modelo WRF, acoplado ao sistema COAWST, permitiu acompanhar a evolução do ciclone extratropical que atingiu o litoral do Rio Grande do Sul entre 27 e 31 de maio de 2025. O modelo representou de forma satisfatória a trajetória do sistema, que se intensificou nas proximidades de Pelotas e Rio Grande, reproduzindo a queda de pressão central e os ventos intensos registrados nas áreas costeiras. A precipitação acumulada também apresentou boa correspondência com os dados do INMET, sobretudo nos municípios do sul do estado.

A avaliação quantitativa mostrou melhor desempenho na simulação da pressão atmosférica e da temperatura do ar, enquanto vento e precipitação apresentaram maiores discrepâncias, refletindo limitações na representação desses processos em escala regional. Esses resultados estão sintetizados na Figura 2, que apresenta as métricas estatísticas (MAE, RMSE, viés, R^2 e correlação de Pearson), confirmando a utilidade do WRF/COAWST para a análise de ciclones extratropicais, ainda que melhorias sejam necessárias em etapas futuras do projeto.

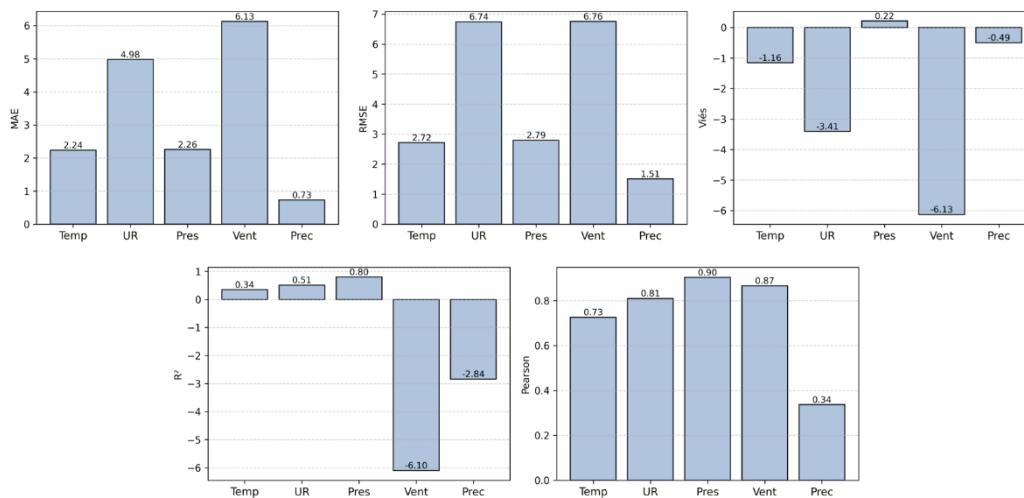


Figura 2. Métricas estatísticas aplicadas à comparação entre simulação COAWST e dados observados na Estação de Capão do Leão, durante o ciclone extratropical de maio de 2025. São apresentados os valores de MAE, RMSE, Víés, R^2 e correlação de Pearson para as variáveis de temperatura do ar, pressão atmosférica, vento e precipitação. Fonte: Autor

4. CONCLUSÕES

Os resultados desta etapa inicial do projeto PROCOSTA demonstram que a aplicação do sistema COAWST, integrado ao modelo atmosférico WRF, foi capaz de representar de forma consistente o ciclone extratropical de maio de 2025 no litoral do Rio Grande do Sul, reproduzindo sua trajetória, intensidade e impactos de maneira coerente com os dados observacionais (FIGURAS 1b e 2).

A análise qualitativa, complementada por métricas estatísticas, indicou melhor desempenho na simulação da pressão atmosférica e da temperatura, enquanto variáveis como vento e precipitação apresentam grandes desafios de representação em escala regional.

Os resultados reforçam a utilidade da modelagem acoplada para estudos de eventos extremos, oferecendo subsídios tanto para o avanço científico quanto para estratégias de prevenção em áreas costeiras vulneráveis (Warner et al., 2010; Sobel, 2021). Contudo, o trabalho permanece em andamento e prevê a implementação de modelos oceânicos, capazes de detalhar a circulação costeira e os processos de interação oceano-atmosfera, ampliando a robustez das análises e contribuindo para políticas públicas de adaptação e justiça ambiental (Masson et al., 2025; IPCC, 2021; Veiga et al., 2024).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO MUNDIAL. Climate Knowledge Portal: Brazil – Tropical Cyclones Projections. Washington, DC: World Bank, 2025. Acessado em 18 agosto. 2025. Online. Disponível em: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

ALLAN, Richard P. et al. Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Summary for policymakers. In: **Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2023. p. 3-32.

MARENGO, Jose A. et al. Early warning services for disaster risk reduction in Brazil: The experience of CEMADEN during the floods of Rio Grande do Sul of May 2024. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, p. 105645, 2025.

MASSON, Sébastien et al. An updated non-intrusive, multi-scale, and flexible coupling interface in WRF 4.6. 0. **Geoscientific Model Development**, v. 18, n. 4, p. 1241-1263, 2025.

ROSA, Priscila Bárbara Zanini et al. Climate catastrophe in Rio Grande do sul, Brazil: impact of strategic actions in response to flooding. **BMC Research Notes**, v. 18, n. 1, p. 56, 2025.

SOBEL, Adam H. et al. Tropical cyclone frequency. **Earth's Future**, v. 9, n. 12, p. e2021EF002275, 2021. <https://doi.org/10.1029/2021EF002275>.

VEIGA, Carolina; DA SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi; DA SILVA, Fabricio Polifke. Heavy rainfall event in Nova Friburgo (Brazil): numerical sensitivity analysis using different parameterization combinations in the WRF model. **Natural Hazards**, v. 120, n. 13, p. 11641-11664, 2024.

SUTIL, Ueslei Adriano; PEZZI, Luciano Ponzi. COAWST User's Guide. 2020.