

## Análise do desempenho do modelo WRF na simulação de um evento extremo de precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul

Vitor Lucas dos Santos Rosa Tenório<sup>1</sup> (IC), Vanessa Silveira Barreto Carvalho (PQ)<sup>1</sup>, Débora Martins de Oliveira (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Análise sinótica. Precipitação extrema. WRF.

### Introdução

A Bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), uma região hidrográfica de expressiva relevância, abrange uma vasta extensão de aproximadamente 55.500 km<sup>2</sup>, distribuídos entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, territórios de grande significado geográfico e socioeconômico (ANA, 2011). O alcance da BRPS enriquece e abastece uma das regiões mais desenvolvidas do Brasil, englobando 184 municípios, dos quais 39 pertencem a São Paulo, 88 a Minas Gerais e 57 ao Rio de Janeiro e com área de drenagem estimada em 55.563 km<sup>2</sup>, conforme documentado por Souza (2012).

Destacam-se na região atividades econômicas, tais como indústria, agricultura, mineração e pesca; e o fornecimento de água para o abastecimento de áreas urbanas, atendendo aproximadamente 14 milhões de habitantes (CAVALCANTI e MARQUES 2016). Logo, a ocorrência de chuvas intensas pode acarretar enchentes, deslizamentos de terra e danos a propriedades e infraestrutura, além de ameaças à saúde humana e à segurança coletiva.

Os eventos meteorológicos de precipitação extrema são definidos por uma quantidade de chuva que ultrapassa os limiares 95% e 99%, os quais são utilizados para avaliar a ocorrência de eventos extremos de precipitação, de acordo com a metodologia utilizada por Costa et al. (2020) e Oliveira et al. (2023).

A diversidade de fenômenos que podem desencadeá-los na região da bacia engloba tempestades, frentes frias e durante o verão, uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) que pode se formar sobre o continente devido à interação de diversos sistemas, como o Jato de Baixos Níveis, frentes e ventos do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (ESCOBAR, 2019). Essa ZCOU se estende no sentido noroeste-sudeste, abrangendo desde a região amazônica até o sudeste do Brasil e o oceano Atlântico Sul. Quando a ZCOU persiste por quatro dias ou mais, ela é denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (QUADRO, 1994). Tanto a ZCOU quanto a ZCAS são facilmente identificadas em imagens de satélite, apresentando-se como uma faixa de

nebulosidade que se estende desde a região amazônica até o oceano Atlântico Sul (REBOITA et al., 2012).

No contexto da previsão do tempo e seu potencial impacto para minimizar danos à sociedade, o modelo de mesoescala *Weather Research and Forecasting* (WRF) possui a capacidade de simular padrões climáticos em uma ampla gama de escalas e é caracterizado por sua resolução variável, permitindo simulações detalhadas em áreas restritas e resoluções mais amplas em extensões maiores, podendo ser utilizado para previsões de curto a médio prazo (NCAR, 2023). Dessa forma, o objetivo principal desse estudo é avaliar a performance do modelo meteorológico WRF na previsão de um evento extremo de precipitação na BRPS. Vale ressaltar que a compreensão das condições atmosféricas que levam à ocorrência de eventos extremos é de fundamental importância para a meteorologia e a tomada de decisões em situações de risco. Logo, melhorar a capacidade de previsão meteorológica permite uma resposta mais eficaz em termos de alertas e medidas preventivas. Além disso, a análise das condições atmosféricas durante eventos extremos contribui para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação dos riscos climáticos.

### Metodologia

Para este estudo, foram utilizados dados coletados de estações automáticas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) obtidos a partir do link: (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>) e cartas sinóticas fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC) disponível em: (<http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/>). Além disso, para a geração das condições iniciais e de fronteira requeridas pelo WRF foram utilizados dados do *Global Forecasting System* (GFS) com 0,25° de resolução espacial horizontal obtidos a cada 6 horas a partir do link: (<https://rda.ucar.edu/datassets/ds084.1/dataaccess/>).

Neste estudo, o evento extremo de precipitação registrado entre os dias 09 a 16 de fevereiro de 2020 sobre a BRPS (Figura 1) foi analisado. A seleção deste evento

considerou os resultados obtidos por Oliveira et al. (2023).

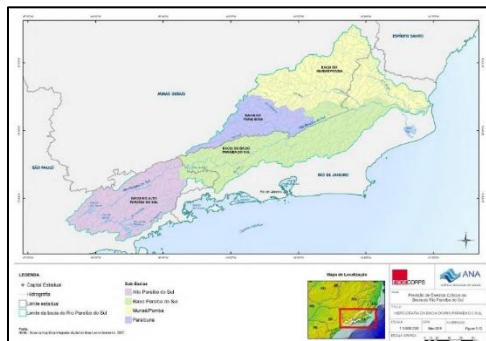


Figura 1: Delimitação da BRPS.  
 Fonte: IBGE/ANA, 2007.

A simulação com o modelo WRF seguiu as configurações descritas por Campos et al. (2023). As simulações foram inicializadas 24 horas antes do período de interesse para eliminar o efeito de spin-up. A partir dos resultados das simulações do WRF, foram geradas figuras representando a precipitação diária acumulada; PNMM (Pressão ao Nível Médio do Mar), Espessura e JAN (Jatos em Altos Níveis espessura); espessura 500/1000 hPa, altura geopotencial em 250 hPa e divergência em 250 hPa; média da umidade relativa, altura geopotencial em 500 hPa e ômega em 500 hPa; temperatura potencial em 850 hPa e vetores do vento em 850 hPa; fluxo de umidade integrado na vertical; cisalhamento vertical do vento e PNMM.

### Resultados e discussão

Durante o evento extremo de precipitação em questão, a região da bacia sofreu a influência conjunta de uma ZCAS e de uma frente fria, responsáveis por condições de instabilidade atmosférica, resultando em chuvas intensas e persistentes na região, observados na Figura 2.

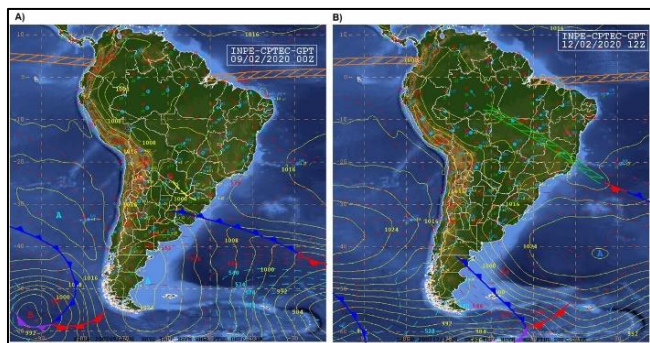


Figura 2: Cartas sinóticas de superfícies  
 Fonte: CPTEC.

Durante esse período foram registrados dados de precipitação diária de até 113,3 mm/dia, 87,6 mm/dia e 96,1 mm/dia na estação Museu Itamarati, na Fazenda Agulhas Negras e em Astolfo Dutra, respectivamente. A Figura 3 apresenta o valor acumulado diário de precipitação simulado pelo modelo WRF durante o evento. Destacam-se, em média, valores entre de 50 mm a 100 mm, próximos aos valores observados na região. Picos de 350 mm/dia foram simulados pelos WRF enquanto o máximo foi registrado pluviômetro da Fazenda Umbaubas de 235,6 mm/dia no estado do Rio de Janeiro no dia 13, mostrando assim que modelo superestimou a precipitação em alguns pontos da bacia.

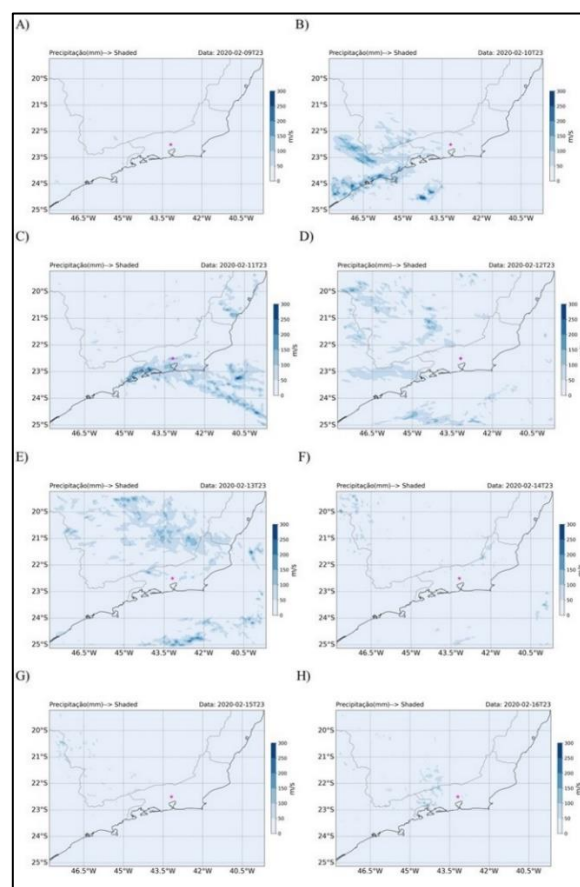


Figura 3: Precipitação diária acumulada durante a semana dos eventos.

A análise dos dias 09 e 12 de fevereiro de 2020, às 0h e 12h, respectivamente, permitiu uma análise abrangente das condições atmosféricas em momentos cruciais para a gênese e evolução dos sistemas associados com estes eventos extremos, com destaque para a cidade mais afetada da bacia, Petrópolis, situada na região serrana do estado do Rio de Janeiro. Logo, foi possível capturar variações diurnas e noturnas nas condições atmosféricas, o que é essencial para a compreensão das dinâmicas envolvidas. Essa abordagem permite uma análise



minuciosa dos processos físicos que impulsionam a formação de eventos extremos.

Na Figura 4, por exemplo, é evidente que no início da semana os JATs avançaram em direção aos trópicos, atingindo seus limites na cidade em destaque. Vale destacar que segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (INPE/ELAT, 1996) esse padrão meteorológico desencadeia movimentos ascendentes na atmosfera, resultando no levantamento de umidade e na criação de um ambiente propício à instabilidade atmosférica e surgimento de eventos extremos.

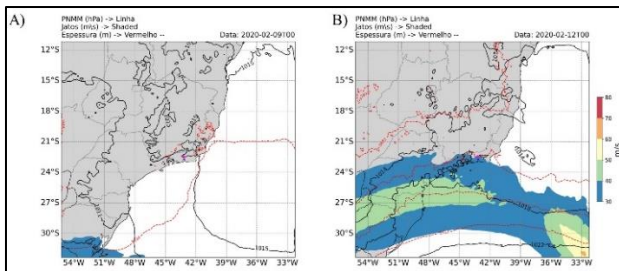


Figura 4: Pressão ao Nível Médio do Mar, Espessura e Jatos em Altos Níveis.

A Figura 5 exibe um mapa que ilustra os campos atmosféricos: a espessura em 500/1000 hPa, a altura geopotencial em 250 hPa e a divergência em 250 hPa, que descrevem a dinâmica atmosférica. A representação da Altura Geopotencial em 250 hPa na Figura 5 revelou padrões notavelmente alinhados com as variações na espessura, indicando aumentos de temperatura na coluna atmosférica. Isso, por sua vez, resulta em áreas de convergência, indicando regiões de ascensão do ar em cima da bacia.

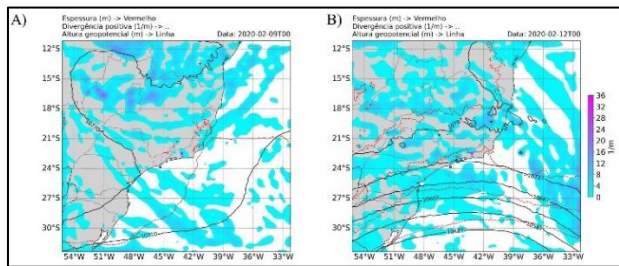


Figura 5: Mapa de Espessura 500/1000 hPa, Altura Geopotencial em 250 hPa e Divergência em 250 hPa.

A Figura 6 apresenta a Média da Umidade Relativa, a Altura Geopotencial em 500 hPa e o Ômega em 500 hPa. A Umidade Relativa média, representada no mapa, mostra que durante a semana havia taxa de 100% de umidade na atmosfera. Além disso, o Ômega em 500 hPa, indica os padrões de ascensão da parcela de ar, mostrou uma associação interessante com a distribuição da Umidade Relativa, implicando nas formações desses

eventos extremos, na região BRPS.

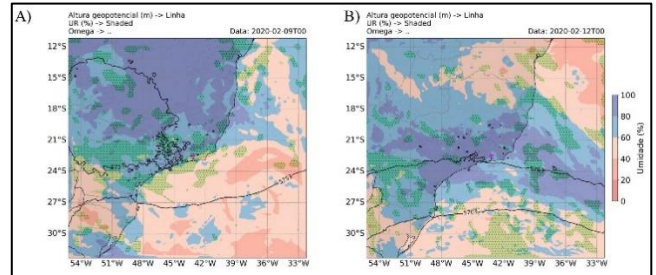


Figura 6: Mapa da Média da Umidade Relativa, Altura Geopotencial em 500 hPa e Ômega em 500 hPa.

Na Figura 7, é apresentado o mapa do fluxo de umidade integrado na vertical, acompanhado pela indicação da direção dos ventos. Nesse contexto, torna-se perceptível que, no dia 12, houve um notável aumento no fluxo de umidade procedente do Sul e dirigindo-se para o nordeste. Esse influxo de umidade desempenhou um papel significativo na região da bacia, tendo um impacto relevante sobre as condições climáticas locais

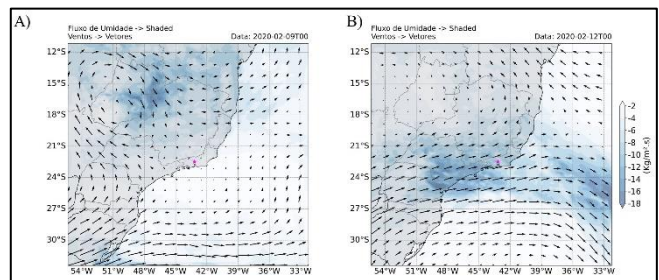


Figura 7: Mapa de Fluxo de Umidade Integrado na Vertical.

A Figura 8 ilustra o cisalhamento vertical do vento (CVV) associado à PNMM. Este resultado revela uma correlação fundamental entre a dinâmica atmosférica e as variações da PNMM. O cisalhamento vertical do vento refere-se à mudança na velocidade e direção do vento com a altitude. Observa-se claramente que áreas afetadas pelos eventos estão com os maiores índices de cisalhamento vertical do vento.

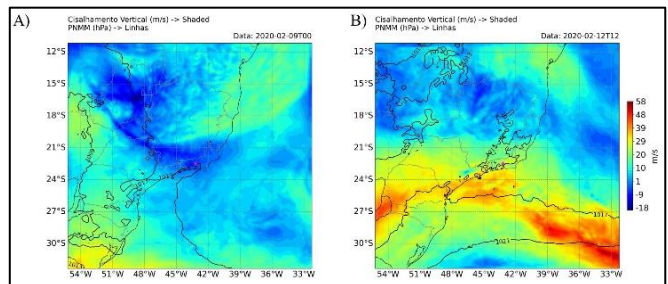


Figura 8: Mapa do Cisalhamento Vertical e Pressão ao Nível Médio do Mar.

## Conclusões

Este estudo teve como objetivo analisar o desempenho do modelo WRF na simulação de um evento extremo de precipitação registrado em fevereiro de 2020 na BRPS. A partir dos resultados, foi possível verificar que o modelo WRF conseguiu detectar a ocorrência de precipitação na região, demonstrando sua habilidade em capturar a ocorrência de grandes volumes de precipitação.

O WRF também foi eficaz em mostrar que a atmosfera na região estudada apresentava as condições propícias para a formação de extremos de precipitação. Logo, conclui-se que o modelo representou com coerência as condições atmosféricas associadas com o evento extremo de precipitação selecionado indicando o potencial do uso de seus resultados para a previsão de eventos dessa natureza na região.

## Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Itajubá e ao apoio da Agência Nacional das Águas (AGEVAP), além do financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

ABRHidro, 2022. **A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/ivsrhps/index.php?ID=1064>>. Acesso em: 13 set. 2023

ANA, 2011. **Estudos Auxiliares para a Gestão do Risco de Inundações Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em: <<http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>>. Acesso em: 13 set. 2023

ANA, 2011. **Estudos Auxiliares para a Gestão do Risco de Inundações Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em: <<http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.html>>. Acesso em: 13 set. 2023

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, Rio de Janeiro-RJ, v.15, n.1, p.4-16, 2016. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rgplp/article/view/78411>. Acesso em: 16 set. 2023.

COSTA, R. L.; DE MELLO BAPTISTA, G. M.; GOMES, H. B.; DOS SANTOS SILVA, F. D.; DA ROCHA JÚNIOR, R. L.; DE ARAÚJO SALVADOR, M.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, p.28, 2020.

EMC, 2021. **GFS**. Disponível em: <[https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical\\_forecast\\_systems/gfs.php](https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs.php)>. Acesso em: 13 set. 2023

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo**. CEP, v.12, p.10, 2019.

INPE/ELAT, 1996. **Conceitos meteorológicos**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/conceitos.meteorologicos.php>> Acesso em: 17 set. 2023.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 94f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

NCAR, 2023. **Weather Research & Forecasting Model (WRF)**. Disponível em: <<https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>>. Acesso em: 13 set. 2023

OLIVEIRA, Débora Martins. **Desenvolvimento e calibração de um sistema de previsão de eventos extremos de chuva e vazão como suporte à prevenção de inundações: um estudo de caso para a bacia do paraíba do sul**. Novembro, 2023. Programa de pós-graduação em meio ambiente e Recursos hídricos, UNIFEI, 2022.

SOUZA, T. **Gestão de recursos hídricos: bacia do rio Paraíba do Sul**. 2012. 134f. Monografia (Especialização) – Universidade Cândido Mendes, Faculdade Integrada AVM, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias\\_publicadas/K218610.pdf](http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/K218610.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2023.

Reboita, Michelle; Krusche, Nisia; Ambrizzi, Tércio; Rocha, Rosmeri. (2015). Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática.**, v.34, p.8, 2015.