COMPARAÇÃO DE CURVAS *DEPTH AREA DURATION* PARA O EVENTO DE CHUVA EXTREMA DE 2024 NO RS A PARTIR DE DIFERENTES BASES DE DADOS

Walter Collischonn [1]; Nicole Ramalho [2]; Rafael Cabeleira Filho[3]; Rafaela Oliveira [4]; João Paulo Brêda[5]; Fernando Fan [6] & Rodrigo Paiva [7]

Abstract: The extreme rainfall event of April and May 2024 in Rio Grande do Sul was characterized by long-lasting rainfall over extensive areas. The analysis of this type of event requires regional and multi-window approaches, such as the Depth-Area-Duration (DAD) technique. However, it is of paramount importance to ensure that the DAD technique applied to extreme events is performed from rainfall data that accurately reflects their exceptional character. In this sense, this work sought to compare DAD curves of the 2024 extreme rainfall event in Rio Grande do Sul from four different rainfall databases – MERGE, GSMaP, Automatic and Automatic + Conventional – which differ in the use of remote sensing or measurements by rain gauges, as well as in the inclusion of automatic or conventional rain gauges. Rainfall was accumulated for intervals of 3, 5, 7 and 14 days, and the largest areas analyzed were about 200,000 km^2. It was observed that the Automatic and Automatic + Conventional bases presented higher cores of intense accumulated precipitation, to the detriment of the products based on remote sensing (MERGE and GSMaP). In the same way, the DAD curves for MERGE and GSMaP were lower than those of the Automatic and Automatic + Conventional bases for all the periods analyzed, indicating a tendency to underestimate extreme rainfall of long duration and a lower capacity to capture the spatial extent of the event when compared to bases that use in situ data.

Resumo: O evento de precipitação extrema de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul foi caracterizado por chuvas de longa duração sobre áreas extensas. A análise deste tipo de evento requer abordagens regionais e em múltiplas janelas de tempo, como a técnica *Depth-Area-Duration* (DAD). No entanto, é de suma importância assegurar que a técnica DAD aplicada a eventos extremos seja realizada a partir de dados de chuva que reflitam seu caráter excepcional com precisão. Nesse sentido, este trabalho buscou comparar curvas DAD para o evento de 2024 no Rio Grande do Sul a partir de quatro bases de dados de chuva distintas – MERGE, GSMaP, Automáticas e Automáticas + Convencionais –, que diferem quanto ao uso de sensoriamento remoto ou medições por pluviômetros, bem como quanto à inclusão de pluviômetros convencionais. As chuvas foram acumuladas em 3, 5, 7 e 14 dias, e as maiores áreas analisadas foram de cerca de 200.000 km^2. Observou-se que as curvas DAD para MERGE e GSMaP, que incluem estimativas por sensoriamento remoto, foram inferiores às das bases Automáticas e Automáticas + Convencionais para todos os períodos analisados, ainda que apoiadas em dados observados em alguns pluviômetros, indicando tendência a subestimar chuvas

1) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, collischonn@iph.ufrgs.br
2) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nicolevramalho@gmail.com
3) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cabeleirafilho@gmail.com
4) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rafaela.cristina@ufrgs.br
5) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, joaopaulolfb@gmail.com
6) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fernando.fan@ufrgs.br
7) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rodrigo.paiva@ufrgs.br

extremas de longa duração e menor capacidade de capturar a extensão espacial do evento quando comparados às bases que utilizam dados *in situ*. Ademais, a inclusão de pluviômetros convencionais permitiu identificar que a chuva foi ligeiramente superior ao estimado com base apenas em pluviômetros automáticos.

Palavras-Chave – Precipitação extrema 1, Rio Grande do Sul 2, Enchente de 2024 3.

INTRODUÇÃO

No evento de precipitação extrema de abril e maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul, grandes volumes de chuva foram observados sobre áreas extensas, persistindo por longa duração, e resultando em escorregamentos de encostas, fluxos de detritos, enxurradas e inundações, caracterizando um dos maiores desastres de origem hídrica já ocorridos no Brasil, em termos de prejuízos sociais, infraestruturais e econômicos (Fan *et al*., 2025; Collischonn *et al*., 2025).

Para analisar a precipitação que ocorre durante esse tipo de evento, é preciso adotar abordagens regionais e em múltiplas janelas de tempo. Registros individuais em pluviômetros únicos não carregam informações robustas sobre vizinhança e, assim, não caracterizam adequadamente eventos de precipitação do ponto de vista regional (Fuentes *et al*., 2008). Nestes casos, uma análise que considera o conjunto de postos pluviométricos possui maior capacidade de associar a intensidade da chuva à sua distribuição espacial. Além disso, eventos de longa duração estão frequentemente relacionados à formação de ondas de cheia em grandes rios e, portanto, são insuficientemente descritos por medições de chuva limitadas a um dia, por exemplo.

A análise *Depth-Area-Duration* (DAD, que pode ser traduzida como Altura, Área e Duração) permite analisar eventos de chuva de grande magnitude temporal e espacial. Usualmente adotada em estudos sobre a Precipitação Máxima Provável (PMP) (World Meteorological Organization (WMO), 2009), importante para a projeção de estruturas hidráulicas como barragens, a ferramenta, para um conjunto de durações (e. g. 3 dias, 5 dias, 7 dias e 14 dias), relaciona a altura da chuva acumulada à área atingida, gerando uma curva DAD que expressa a diminuição progressiva da altura média de chuva com a expansão da área (World Meteorological Organization (WMO), 1969).

Collischonn *et al*. (2024) realizaram uma análise DAD da chuva que resultou no grande desastre de origem hídrica de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul, e concluíram que este evento supera os maiores eventos de chuva registrados no Brasil, no período de 1961 a 2022, em áreas de 2.000 a 100.000 km^2 e duração de 3 a 14 dias. Entretanto, a análise de Collischonn et al. (2024) foi baseada exclusivamente em dados de precipitação observada em postos pluviométricos telemétricos. Aqui a análise apresentada por Collischonn et al. (2024) é repetida, considerando outras três bases de dados: duas parcialmente baseadas em dados de sensoriamento remoto e uma baseada exclusivamente em dados medidos em pluviômetro, porém incluindo os pluviômetros convencionais, de leitura manual ou não telemétricos, além dos pluviômetros telemétricos. O objetivo é verificar a influência do método de estimativa da precipitação sobre a curva DAD resultante.

METODOLOGIA

As curvas DAD foram construídas a partir de quatro bases de dados, e para representar as estimativas de precipitação de satélite foram usados os produtos MERGE (Rozante *et al*., 2010; 2024) e GSMaP (Kubota *et al*., 2020). Além de estimativas de satélite, essas bases de dados utilizam medições *in situ* nos seus produtos, fazendo uma mescla de dados de satélite com dados observados.

Já as bases somente de dados observadas são oriundas de dois tipos de combinação, a de Paiva *et al*., (2025), que usa dados provenientes de estações automáticas e de estações convencionais, e a de Collischonn *et al.* (2024), que usa somente dados de estações automáticas. As características de todas as bases de dados estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Bases de dados de precipitação utilizadas neste estudo.

Base de dados	Características	Referência
MERGE	Combinação do produto de precipitação de uma constelação de satélites - GPM Imerg (sensores de micro-ondas, infravermelho e visível) com conjuntos de pluviômetros. Resolução de 0,1° x 0,1°.	Rozante *et al*. (2010)
GSMaP	Mapas de precipitação baseados em constelação de satélites (sensores de micro-ondas e radar). Cobertura global. Resolução de 0,1° x 0,1°. A base também inclui dados de pluviômetros.	Kubota *et al*. (2020)
Pluviômetros Automáticos	Pluviômetros automáticos selecionados das redes de monitoramento de diversas instituições (ANA, CEMADEN, INMET e SGB). Mapas de precipitação interpolada por vizinho natural.	Collischonn *et al*. (2024)
Pluviômetros Automáticos + Convencionais	Pluviômetros automáticos e convencionais selecionados das redes de monitoramento de diversas instituições (ANA, CEMADEN, INMET e SGB). Mapas de precipitação interpolada por vizinho natural.	Paiva *et al*. (2025)

A base de dados MERGE é um produto produzido pelo INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) que combina estimativas de satélite (GPM/Global Precipitation Measurement) com dados pluviométricos observados (Rozante *et al.,* 2010). Já os dados do GSMaP, extraídos da base operacional mantida pela JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), reúne dados de precipitação obtidos por diversos sensores de micro-ondas e radares instalados em satélites, fornecendo estimativas com cobertura global e atualização horária (Kubota *et al.*, 2020). A base do GSMaP utilizada também inclui dados de pluviômetros.

Os dados de precipitação da base de Collischonn *et al*. (2024), Pluviômetros Automáticos, é composta somente por estações automáticas disponibilizadas pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), Hidrotelemetria (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA) e SGB (Serviço Geológico do Brasil). As estações que compõem a base de dados foram selecionadas com base na quantidade de falhas de observação e na coerência dos registros em relação aos dados de postos vizinhos (Collischonn *et al*., 2024).

A base de dados organizada por Paiva *et al*. (2025), Pluviômetros Automáticos + Convencionais, é composta por estações automáticas e convencionais de diferentes órgãos, sendo eles ANA, CEMADEN, INMET e SGB. As estações foram selecionadas seguindo uma metodologia dividida em 5 diferentes análises: remoção de valores espúrios, correlação entre as estações

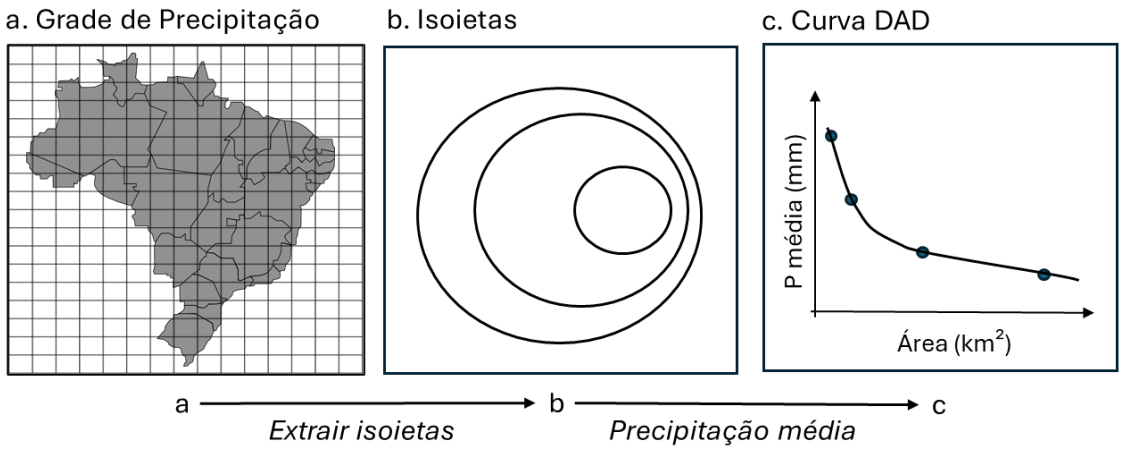
convencionais, correlação e viés das estações telemétricas, *downscaling* dos dados convencionais e análise do viés nos períodos críticos das cheias. Por fim, os dados das estações selecionadas foram interpolados em escala horária pelo método do vizinho natural e acumulados para o período de 25/04/2024 a 15/05/2024 (Paiva *et al*., 2025).

Para a geração de curvas DAD, os dados de precipitação foram acumulados em cada base para os períodos de 3, 5, 7 e 14 dias, cujos intervalos são exibidos na Tabela 2. Em seguida, os dados em grade foram usados para a geração de isoietas, a partir das quais foram definidos polígonos. Foram extraídas, então, para cada base de dados e para cada período de chuva acumulada, a área e a precipitação média dos polígonos definidos pelas isoietas. Para cada período acumulado e para cada base de dados, a curva DAD expressou graficamente a precipitação média em função da área afetada, partindo de um núcleo inicial de chuva intensa até maiores extensões atingidas. As maiores áreas analisadas, neste trabalho, foram de cerca de 200.000 km^2. A Figura 1 representa o fluxo de procedimentos adotados para a construção das curvas DAD.

Tabela 2 – Períodos de acumulação da chuva para diferentes durações usadas na análise DAD.

Duração (dias)	Período de acumulação
3	30/04/2024, 00:00 - 02/05/2024, 24:00
5	28/04/2024, 00:00 - 02/05/2024, 24:00
7	28/04/2024, 00:00 - 04/05/2024, 24:00
14	29/04/2024, 00:00 - 12/05/2024, 24:00

Figura 1 – Representação conceitual do fluxo de procedimentos para geração das curvas *Depth Area Duration* (DAD).



RESULTADOS E DISCUSSÕES

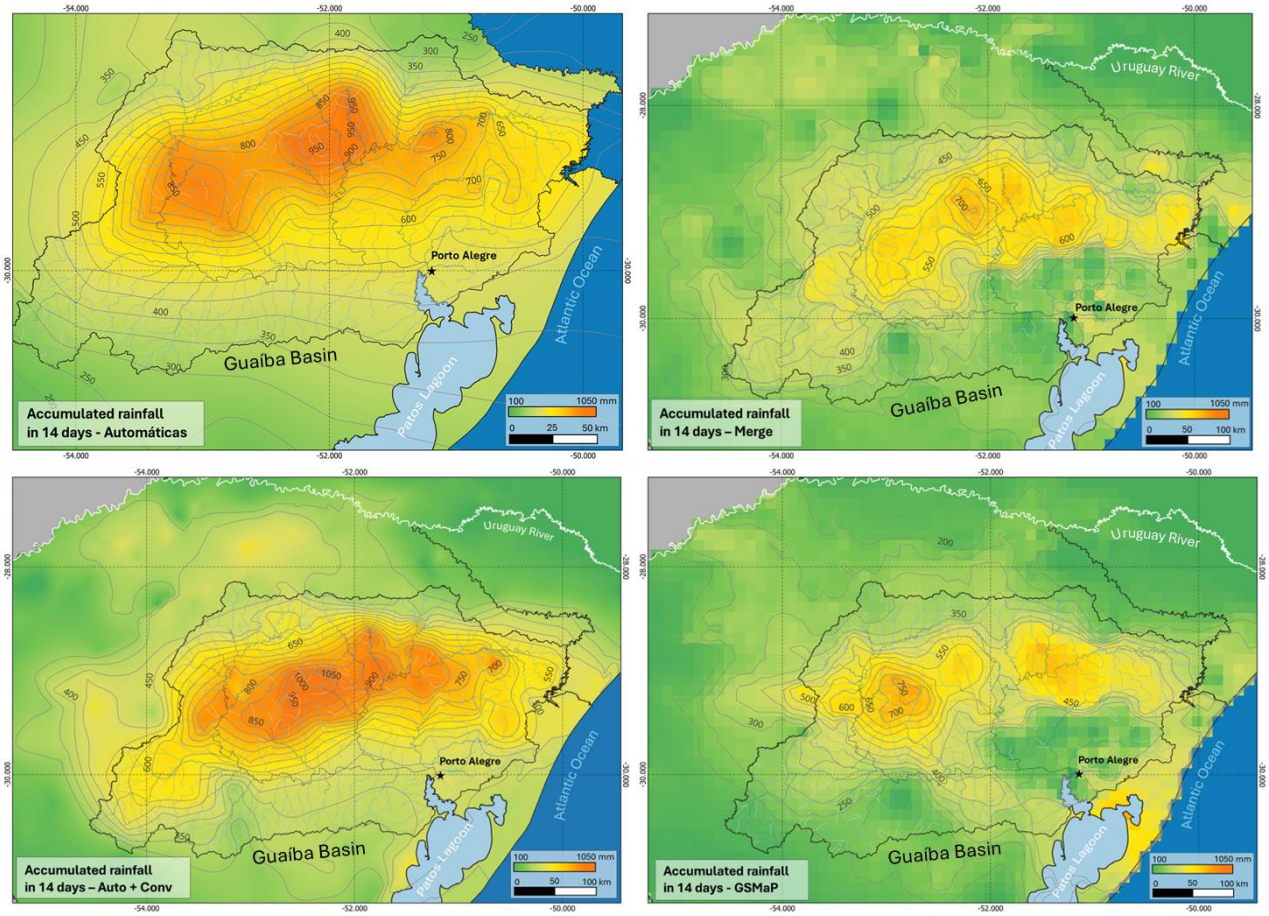
Distribuição espacial da chuva

A Figura 2 exibe os mapas de precipitação acumulada de 14 dias para as quatro bases de dados estudadas (MERGE, GSMaP, Automáticas e Automáticas + Convencionais.). A chuva concentrou-se na porção norte do estado do Rio Grande do Sul, e foi maior no quadrante Nordeste. Embora variem em magnitude, todas as bases de dados foram similares de forma geral espacialmente entre si,

registrando maiores volumes de chuva sobre a área central da bacia do Guaíba, afetando diversos de seus principais tributários.

No acumulado de 14 dias, MERGE e GSMaP apresentaram menores núcleos definidos pelas isoietas de maior precipitação, enquanto os núcleos intensos das bases Automáticas e Automáticas + Convencionais foram mais amplos. Ademais, MERGE e GSMaP apresentaram, no intervalo de 14 dias, menores acumulados de chuva nas porções Sul e Sudeste da Bacia do Guaíba, em contraste às bases Automáticas e Automáticas + Convencionais, que apresentaram chuva mais homogênea ao redor dos núcleos de mais alta precipitação.

Figura 2 – Precipitação acumulada em 14 dias para o evento de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul a partir de diferentes bases de dados.



Análise das curvas DAD para diferentes bases de dados

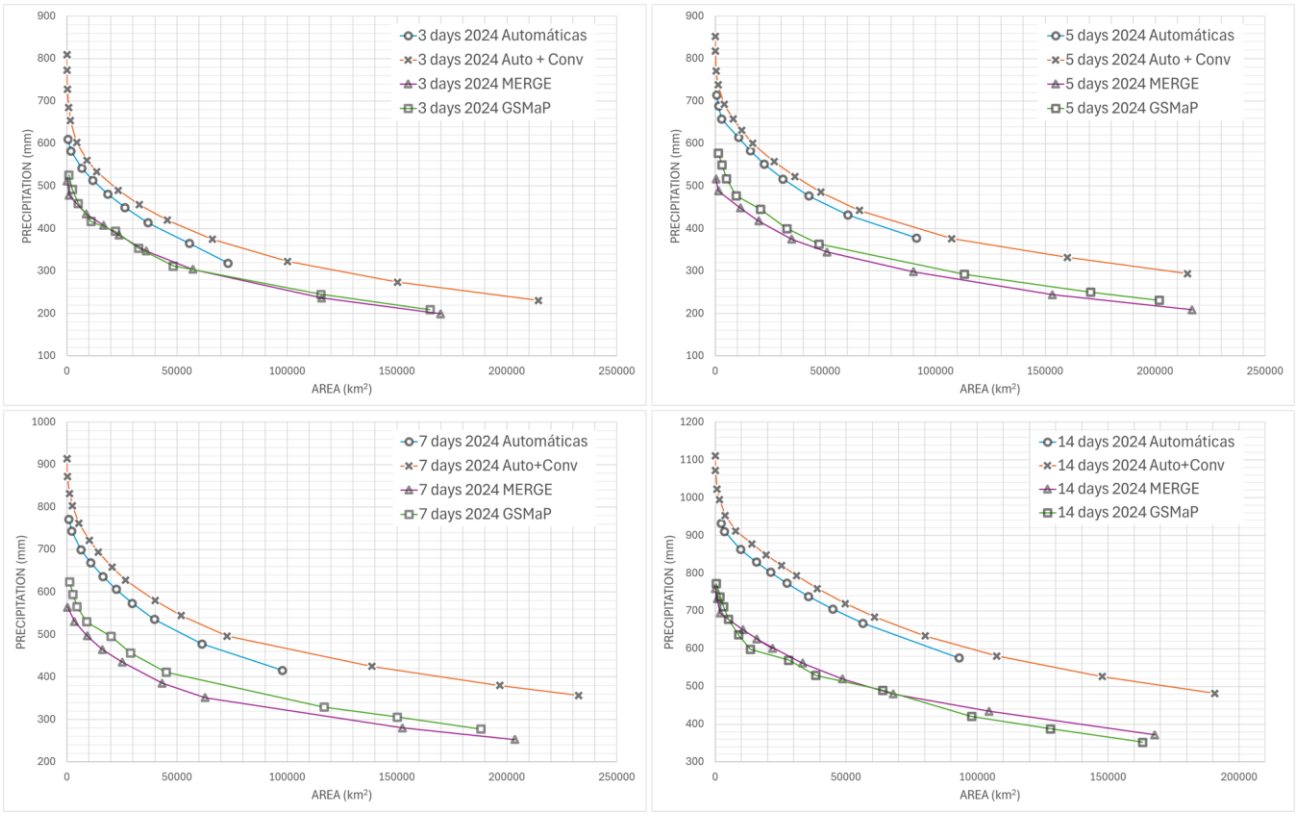
A análise das curvas DAD resultantes do evento de 2024 no Rio Grande do Sul entre os meses de abril e maio (Figura 3) foi comparada com as 4 bases de dados para os mesmos intervalos. As bases de dados MERGE e GSMaP subestimaram para todos os intervalos analisados (3, 5, 7 e 14 dias), quando comparadas às bases Automáticas e Automáticas + Convencionais.

Na escala de 20.000 km^2, e em 3 dias de acumulação, a base do MERGE registrou uma precipitação máxima de aproximadamente 395 mm, e o GSMap teve um valor semelhante. Na mesma escala espacial e temporal a chuva máxima usando apenas pluviômetros telemétricos é de 475 mm, e a chuva máxima usando a base mais completa, que combina pluviômetros telemétricos e convencionais é de 500 mm. Considerando que esta última é a base mais confiável, e que o valor de 500 mm é o mais próximo do real, este resultado sugere que as duas estimativas baseadas em sensoriamento remoto subestimam em cerca de 20% a precipitação máxima.

Em outras escalas temporais e espaciais os produtos GSMaP e MERGE também subestimam a chuva máxima, em relação à melhor estimativa. As subestimativas ficam, em geral, na faixa entre 20% e 30%. Embora tanto o GSMaP como o MERGE contem com uma mescla entre dados estimados por satélite e dados observados *in situ*, esse apoio parece não ser suficiente para corrigir a subestimativa da medição por sensoriamento remoto.

Outro resultado importante apresentado nos gráficos é que as chuvas máximas obtidas usando os pluviômetros telemétricos e convencionais são maiores do que as chuvas obtidas usando exclusivamente os pluviômetros telemétricos. Esse resultado se mantém em todas as durações e todas as escalas espaciais analisadas.

Figura 3 – Comparação das curvas DAD do evento de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul para acumulados de 3 dias (30/04/2024 - 02/05/2024), 5 dias (28/04/2024 - 02/05/2024), 7 dias (28/04/2024 - 04/05/2024) e 14 dias (29/04/2024 - 12/05/2024) para diferentes bases de dados.



CONCLUSÃO

A inclusão dos pluviômetros convencionais, combinados com dados de pluviômetros automáticos, permitiu identificar que a chuva foi um pouco maior do que havia sido quantificado anteriormente, usando apenas os pluviômetros automáticos.

As estimativas baseadas em sensoriamento remoto, ainda que apoiadas por dados observados em pluviômetros, subestimam consideravelmente a chuva em várias escalas espaciais e temporais relevantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ao Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) pela disponibilização de dados que compuseram este estudo e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela infraestrutura.

REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, W.; BRÊDA, J. P. L. F.; WONGCHUIG, S.; RUHOFF, A.; PAIVA, R. C. D. DE; FAN, F. M.; MACHADO FILHO, R. C. DE C.; RAMALHO, N. (2024). *"Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record"*. RBRH, 29. https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420240088

DUQUE-GARDEAZABAL, N.; RODRÍGUEZ, E. A. (2023). *"Improving Rainfall Fields in Data-Scarce Basins: Influence of the Kernel Bandwidth Value of Merging on Hydrometeorological Modeling"*. Journal of Hydrologic Engineering, 28(7). https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-5541

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R. C. D. DE; RUHOFF, A. L. (2025). *"A cheia de 2024 no Rio Grande do Sul" in RS: resiliência & sustentabilidade: reflexões para reconstrução do Rio Grande do Sul*. Org. por Ferrer, J., Danéris, M., e Marques, P. R., ed. Libretos, Porto Alegre – RS, pp. 46 – 63

FUENTES, M.; REICH, B.; LEE, G. (2008). *"Spatial–temporal mesoscale modeling of rainfall intensity using gage and radar data"* in Anais do Applied Statistics, 2(4). https://doi.org/10.1214/08-AOAS166

KUBOTA, T.; AONASHI, K.; USHIO, T.; SHIGE, S.; TAKAYABU, Y. N.; KACHI, M.; ARAI, Y.; TASHIMA, T.; MASAKI, T.; KAWAMOTO, N.; MEGA, T.; YAMAMOTO, M. K.; HAMADA, A.; YAMAJI, M.; LIU, G.; OKI, R. (2020). *"Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)*

Products in the GPM Era" in Satellite Precipitation Measurement. Org. por Levizzani, V., Kidd, C., Kirschbaum, D. B., Kummerow C. D., Nakamura, K. e Turk F. J., ed Springer, pp. 355–373. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-9_20

PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; MEDEIROS, M. S.; OLIVEIRA, R. C.; LIMA, S. G.; CAMARGO, P.; MEDEIROS, P. M. (2025). *"Caracterização e modelagem das cheias de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul em escala regional"*. Relatório Técnico. UFRGS: IPH, Porto Alegre – RS

ROZANTE, J. R., & ROZANTE, G. (2024). "*IMERG V07B and V06B*: *A Comparative Study of Precipitation Estimates Across South America with a Detailed Evaluation of Brazilian Rainfall Patterns".* Remote Sensing, 16(24), 4722. https://doi.org/10.3390/rs16244722

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; DE GONCALVES, L. G. G.; VILA, D. A. (2010). *"Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America"*. Weather and Forecasting, 25(3), pp. 885–894. https://doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). (1969). *"Manual for Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation"*.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). (2009). *"Manual on estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)"*.