XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos
23 a 28 de novembro de 2025 - Vitória - ES

ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CARACTERIZAÇÃO DAS CHUVAS DOS EVENTOS DE CHEIA DE 2023 E 2024 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Rafaela C. de Oliveira [1]; Rodrigo C. D. Piva [2]; Fernando M. Fan [3]; Walter Collischonn [4]; Matheus S. Medeiros [5]; Stefany G. Lima [6]; Pedro Camargo [7]; Ana P. Fioreze [8]; Saulo A. Souza [9] & Alexandre A. Araújo [10]

Abstract: The major floods in September 2023, November 2023, and April-May 2024 were caused by intense precipitation over several days, which affected Rio Grande do Sul, especially the Guaíba River basin region. Initial analyses of the precipitation from the event were already carried out, but not using all available observed data. Therefore, the objective of this work is to characterize the rainfall that occurred, using information available from telemetered and conventional stations covering the entire state of Rio Grande do Sul and part of Santa Catarina state, through an in-depth analysis. This analysis was carried out in 5 stages, aiming to select stations that would reliably represent the precipitation that occurred during the events, resulting in hourly rainfall maps that were accumulated to represent each of the events. From these maps, it was observed that the precipitation during the September 2023 event was more concentrated in the central-northern region of Rio Grande do Sul state, with accumulations exceeding 400 mm. In the November 2023 rainfall event, precipitation was more concentrated in the northern region, with accumulations exceeding 500 mm. The precipitation that caused the natural disaster during the months of April and May 2024 had the highest accumulations in the Guaíba hydrographic region, with accumulations exceeding 1,000 mm in some areas.

Resumo: As grandes cheias de setembro de 2023, de novembro de 2023 e de abril-maio de 2024 foram causadas pela precipitação intensa, ao longo de vários dias, que atingiu o Rio Grande do Sul, especialmente a região da bacia hidrográfica do Guaíba. Análises iniciais sobre a precipitação do evento já foram realizadas, porém sem usar todos os dados observados disponíveis. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é caracterizar as chuvas que ocorreram, utilizando informações disponíveis em estações telemétricas e convencionais, abrangendo todo o estado do Rio Grande do Sul e parte do estado de Santa Catarina, através de uma análise aprofundada. Essa análise foi realizada em 5 etapas, com o objetivo de selecionar estações que representassem de forma fidedigna a precipitação que ocorreu durante os eventos, resultando mapas de chuva horária que foram acumulados para representar cada um dos eventos. A partir desses mapas observou-se que a precipitação do evento de setembro de 2023 concentrou-se mais na região Centro-Norte do estado do RS, com acumulados

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), rafaela.cristina@ufrgs.br
2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), rodrigo.paiva@ufrgs.br
3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), fernando.fan@ufrgs.br
4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), collischonn@iph.ufrgs.br
5) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), matheus.sampaio@ufrgs.br
6) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), stefglima@gmail.com
7) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre (RS), pedroluisbernardidecamargo@gmail.com
8) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília (DF), ana.Fioreze@ana.gov.br
9) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília (DF), saulo.souza@ana.gov.br
10) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Brasília (DF), alexandre.araujo@ana.gov.br

superiores a 400 mm. No evento de chuva de novembro de 2023 as precipitações concentraram-se mais na região norte, com acumulados superiores a 500 mm. Já a precipitação que ocasionou o desastre natural durante os meses de abril e maio de 2024 obteve os maiores acumulados na região hidrográfica do Guaíba, apresentando acumulados superiores a 1.000 mm em algumas regiões.

Palavras-Chave – Precipitação, Rio Grande do Sul, Cheias.

INTRODUÇÃO

As grandes cheias de setembro de 2023, de novembro de 2023 e de abril-maio de 2024 foram causadas pela precipitação intensa, ao longo de vários dias, que atingiu o Rio Grande do Sul, especialmente a região da bacia hidrográfica do Guaíba. Nos dois eventos de 2023 a precipitação mais intensa atingiu, especialmente, a região da bacia do rio Taquari-Antas, e no evento de 2024 a precipitação extremamente intensa atingiu as bacias dos rios Jacuí, Pardo, Taquari-Antas, Caí e Sinos. O evento de precipitação que originou a cheia na bacia do rio Taquari-Antas em setembro de 2023 foi previamente analisado por Alvalá *et al.* (2024), e o evento de abril e maio de 2024 foi analisado por Marengo *et al.* (2024); Reboita *et al.* (2024); Collischonn *et al.* (2024); Egas *et al.* (2024) e Collischonn *et al.* (2025).

Collischonn *et al.* (2024) analisaram a chuva do evento de maio de 2024 e concluíram que provavelmente foi a precipitação mais intensa já observada no Brasil, para duração de 3 a 14 dias, considerando uma área afetada variando de 2.000 Km² a 100.000 Km². Os autores também observaram que a chuva se concentrou principalmente na Bacia do Guaíba, potencializando os danos associados à sua ocorrência.

Entretanto, nestas análises iniciais, realizadas pouco tempo após a ocorrência das chuvas, não foram utilizados todos os dados observacionais disponíveis. Em geral, estas análises iniciais utilizaram dados apenas das regiões mais fortemente atingidas, não permitindo uma caracterização mais ampla do evento de precipitação em todo o estado do Rio Grande do Sul. Além disso, algumas destas análises utilizaram produtos de chuva baseados em dados de satélite ou reanálises, obtidos a partir de dados processados ou estimados indiretamente, incluindo filtros automáticos de verificação que podem ter, inadvertidamente, excluído dados muito extremos que de fato aconteceram, já que as chuvas verificadas na região foram sem precedentes.

Assim, o objetivo desse trabalho é apresentar uma análise mais aprofundada dos dados observados de precipitação, incluindo medições de pluviômetros automáticos e convencionais (manuais), e estendendo a região de análise para todo o RS e parte de Santa Catarina. A análise contou também com uma etapa preliminar de consistência de dados, procurando identificar os pluviômetros com dados confiáveis e excluindo os pluviômetros com dados inconsistentes.

METODOLOGIA

Os dados de chuva foram obtidos de três instituições: Agência Nacional de águas e Saneamento Básico (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O período de dados analisado foi de 01/07/2022 a 30/09/2024, em um total de 27 meses ao longo do qual ocorreram os dois eventos severos de 2023 e a chuva que causou o desastre de 2024. A busca de dados pluviométricos se restringiu a área do Rio Grande do Sul, acrescida da área da bacia hidrográfica do rio Uruguai que fica no estado de Santa Catarina. A Tabela 1 apresenta o quantitativo de estações por órgão responsável:

Tabela 1 - Estações pluviométricas com dados, mesmo que parciais, na área de estudo no período de julho de 2022 a setembro de 2024.

Tipo de estação	Quantitativo de estações por órgão responsável		
	ANA	INMET	CEMADEN
Telemétricas	432	55	236
Convencionais	199	11	-

A análise de consistência de dados pluviométricos teve como objetivo identificar erros de medição de chuva, através da verificação da coerência física dos dados medidos em um local, considerando as características do equipamento, e as medições em locais próximos. Em resumo, buscou-se identificar estações com comportamento marcadamente distinto em relação às vizinhas, e retirá-las da base de dados que representa os eventos de 2023 e 2024.

A consistência foi realizada em cinco etapas. Na primeira etapa foram identificados e retirados dados de precipitação considerados espúrios em todas as estações pluviométricas. Na segunda etapa foi utilizada uma metodologia baseada no cálculo da correlação entre os dados de uma estação pluviométrica e suas vizinhas, buscando identificar estações com comportamento anômalo. Nesta segunda etapa foram analisadas apenas as estações pluviométricas convencionais.

Na terceira etapa, foi analisada a correlação entre as estações convencionais e as telemétricas, o que permitiu identificar estações telemétricas com dados distintos em relação às estações convencionais mais próximas. Na quarta etapa foi realizado o *downscaling* (desagregação) temporal, para intervalo de tempo horário, dos dados das estações convencionais, que possuem apenas um valor de medição por dia. Este *downscaling* foi realizado considerando a distribuição temporal sub-diária das estações pluviométricas telemétricas mais próximas.

Na quinta e última etapa, foram analisados os valores acumulados de chuva das estações telemétricas e convencionais ao longo do período mais crítico dos três principais eventos de cheia (setembro de 2023, novembro de 2023, e abril e maio de 2024). Nesta etapa foram identificadas e retiradas da base de dados as estações pluviométricas com anomalias muito grandes em relação às vizinhas.

Ao final do procedimento de análise de consistência foram selecionadas 438 estações telemétricas de um total de 723 e 186 estações convencionais de um total de 210, discretizadas por cada uma das instituições consideradas, conforme Tabela 2. A Figura 1 mostra a localização espacial das estações selecionadas.

Um dado que chama a atenção na tabela é que a proporção de estações telemétricas consideradas consistentes é relativamente baixa. Quase 40% das estações telemétricas da base de dados da ANA foram consideradas inconsistentes e, portanto, descartadas. No caso do CEMADEN a porcentagem de estações telemétricas rejeitadas é ainda maior, chegando a 48%. Já no caso do INMET, que possui um número muito menor de estações telemétricas na região, a porcentagem de estações rejeitadas é inferior a 10%.

As estações convencionais, por outro lado, tiveram um percentual relativamente alto considerado consistente. No caso do INMET, 100% das estações convencionais foram consideradas consistentes, enquanto no caso da ANA cerca de 88% foram consideradas consistentes.

Tabela 2 - Estações pluviométricas com dados para o período de análise na área de estudo.

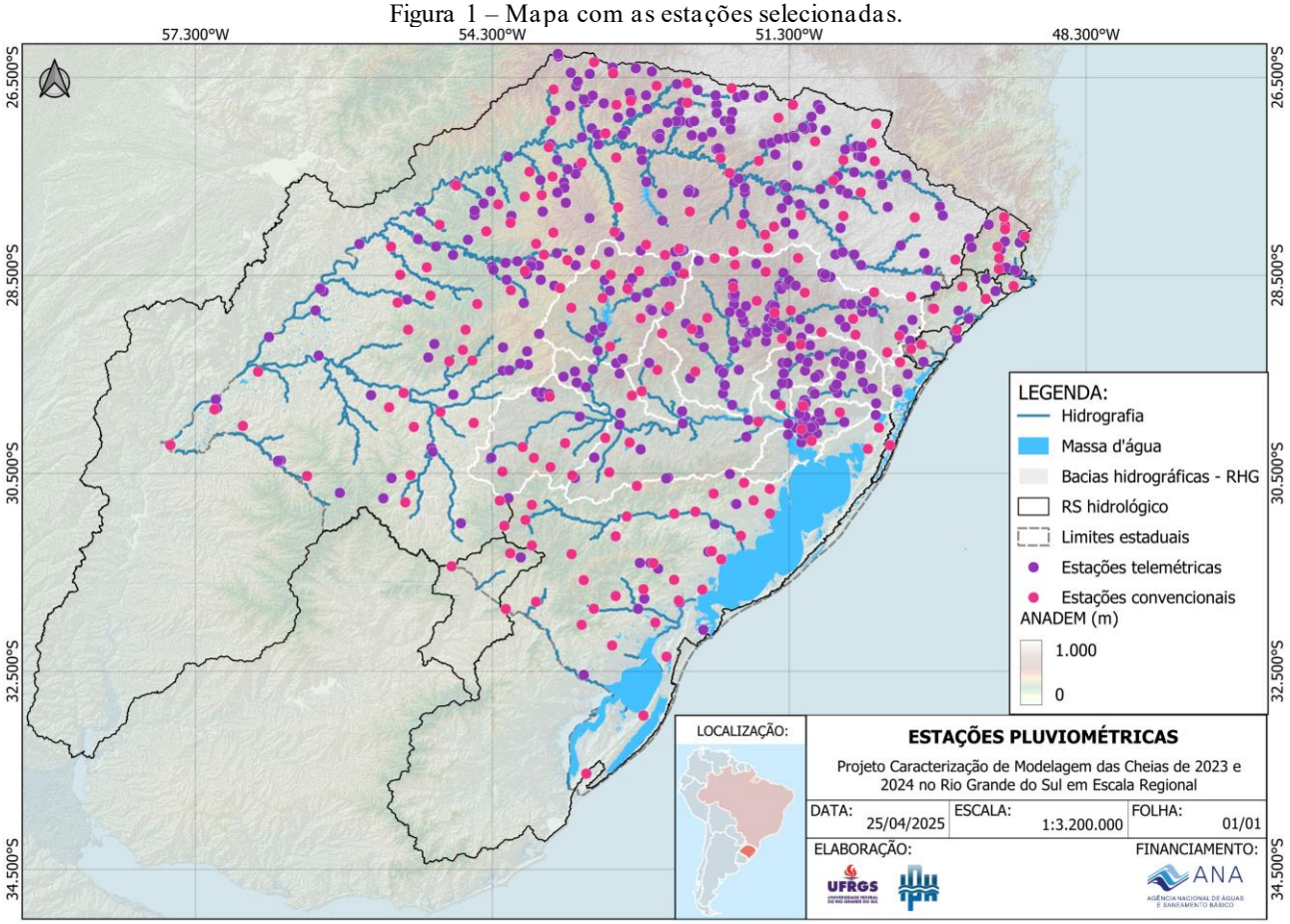
Tipo de estação	Quantitativo de estações por órgão responsável		
	ANA	INMET	CEMADEN
Telemétricas	Inicial:432 Final:264	Inicial:55 Final:51	Inicial:236 Final:123
Convencionais	Inicial:199 Final:175	Inicial:11 Final:11	-

A Tabela 3 mostra a quantidade de estações (telemétricas e convencionais) usadas para representar cada um dos eventos de cheia, após a consistência de dados pluviométricos nos períodos críticos das cheias. Cabe informar que, adicionalmente foi realizada uma análise de viés com eventual aplicação de métodos de correção de viés quando oportuno.

Tabela 3 - Estações pluviométricas usadas em cada um dos eventos de cheia.

Tipo de estação	Quantitativo de estações por evento		
	Setembro (2023)	Novembro (2023)	Maio (2024)
Telemétricas	360	352	356
Convencionais	164	172	160

Figura 1 – Mapa com as estações selecionadas.



RESULTADOS

Chuva do evento de setembro de 2023 (01/09/2023 a 12/09/2023)

O período escolhido para caracterizar a chuva que resultou na grande cheia de setembro de 2023 foi o intervalo de 12 dias entre os dias 01/09/2023 e 12/09/2023. A distribuição espacial da chuva acumulada em todo o RS é apresentada na Figura 2, onde se observa que os maiores valores de precipitação ao longo dos 12 dias ocorreram na porção Centro-Norte do estado. Precipitações superiores a 400 mm em 12 dias ocorreram ao longo de um arco de mais de 300 km de extensão, estendendo-se desde as proximidades de Vacaria até a região de São Luiz Gonzaga, próximo ao rio Uruguai.

A Figura 3 apresenta o mapa de chuva acumulada durante o evento de setembro de 2023 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba, que foi a região do estado em que ocorreram as maiores cheias neste evento. Neste mapa observa-se que os maiores valores de chuva acumulada ocorreram em uma área próxima à cidade de Passo Fundo, nas cabeceiras dos rios Jacuí e Taquari. As bacias de três afluentes do rio Taquari-Antas, os rios Guaporé, Carreiro e Prata, foram especialmente afetadas pela chuva neste evento.

Figura 2 - Mapa da distribuição espacial da chuva acumulada do evento de setembro de 2023 no Rio Grande do Sul.

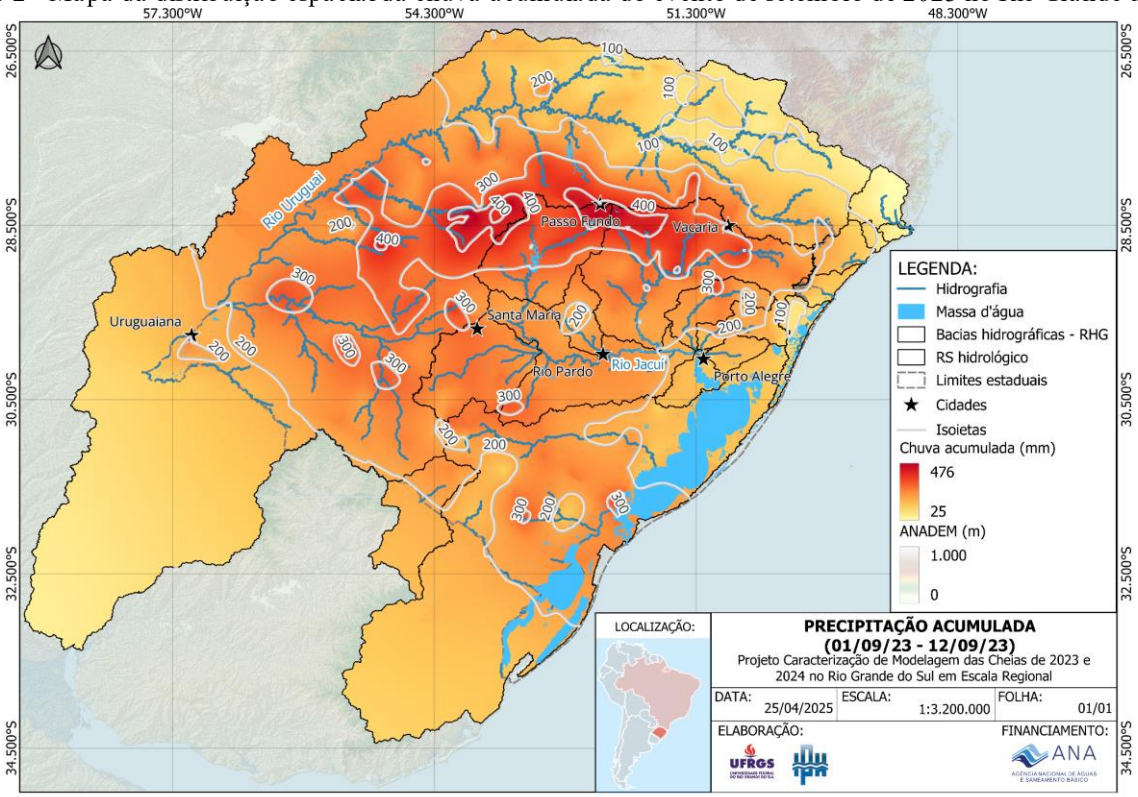
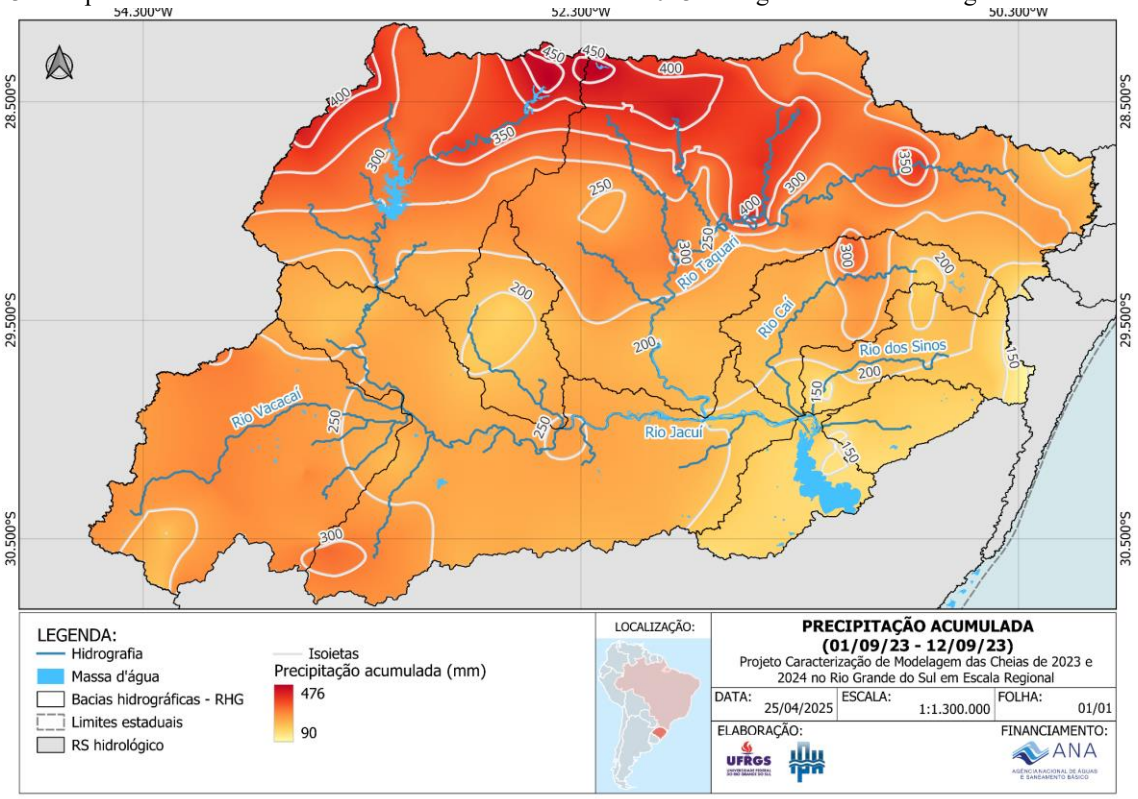


Figura 3 - Mapa da chuva acumulada do evento de setembro de 2023 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba.



Chuva do evento de novembro de 2023 (10/11/2023 a 30/11/2023)

O período escolhido para caracterizar a chuva que resultou na cheia de novembro de 2023 foi o intervalo de 21 dias entre os dias 10/11/2023 e 30/11/2023. A distribuição espacial da chuva acumulada em todo o RS é apresentada na Figura 4, onde se observa que os maiores valores de precipitação ao longo dos 21 dias ocorreram em todo o Norte do RS. Precipitações acumuladas de 450 a 500 mm em 21 dias ocorreram em uma extensão de mais de 500 km, desde o litoral até a fronteira com a Argentina.

A Figura 5 apresenta o mapa de chuva acumulada durante o evento de novembro de 2023 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba, que foi a região do estado em que ocorreram as maiores cheias neste evento. Neste mapa observa-se que os maiores valores de chuva acumulada ocorreram em toda a parte Norte da bacia, com valores superiores a 500 mm em alguns locais. Já na parte Sul da bacia, ao longo do rio Jacuí, a chuva acumulada neste mesmo período ficou em torno de 200 mm. Comparando a chuva do evento de novembro de 2023 com a chuva do evento de setembro de 2023 observa-se que no evento de novembro a área atingida por chuvas intensas é maior, abrangendo toda a parte leste da bacia do rio Taquari-Antas, bem como a bacia do rio Caí. Este fator contribuiu para que a cheia de novembro de 2023 tenha sido maior do que a cheia de setembro de 2023 em alguns locais.

Comparando a distribuição temporal das chuvas de novembro e setembro de 2023 observa-se que a chuva de novembro foi menos concentrada no tempo. Embora os valores totais da chuva de novembro de 2023 sejam um pouco superiores aos de setembro de 2023, e embora a área atingida pela chuva intensa seja maior, a chuva de novembro de 2023 ocorreu de forma mais distribuída ao longo de um período maior.

Figura 4 - Mapa da distribuição espacial da chuva acumulada do evento de novembro de 2023 no Rio Grande do Sul.

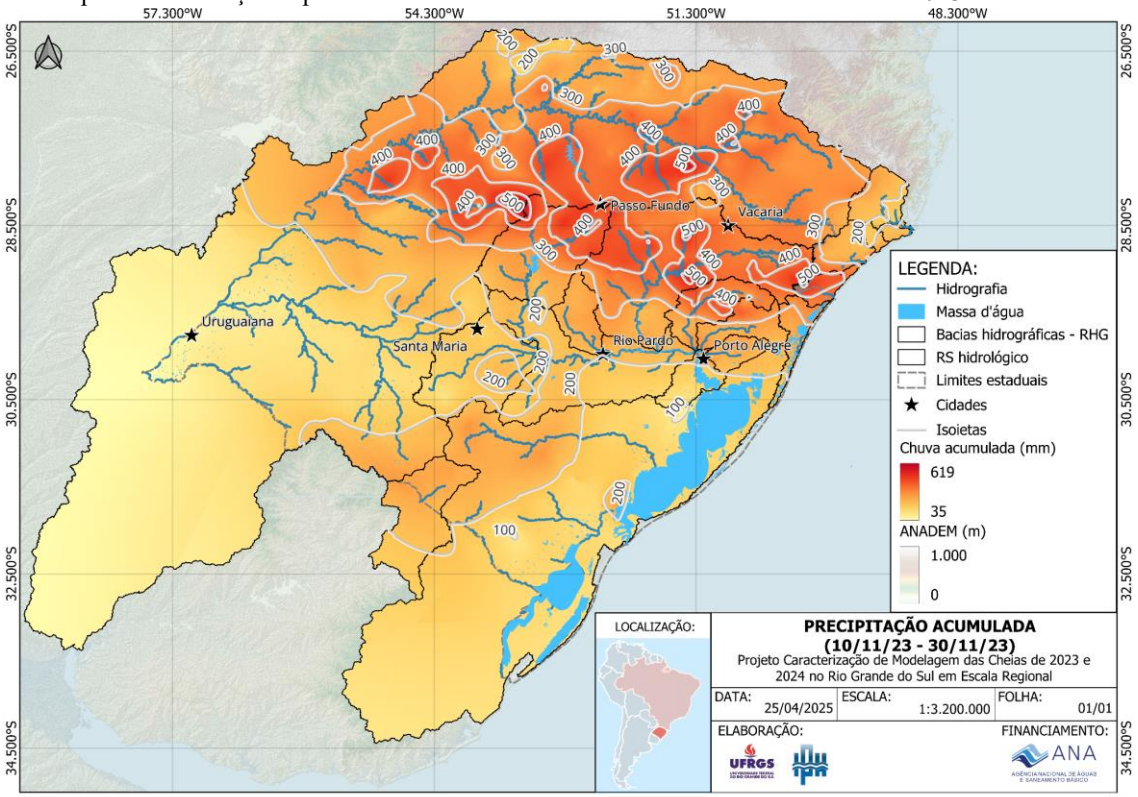
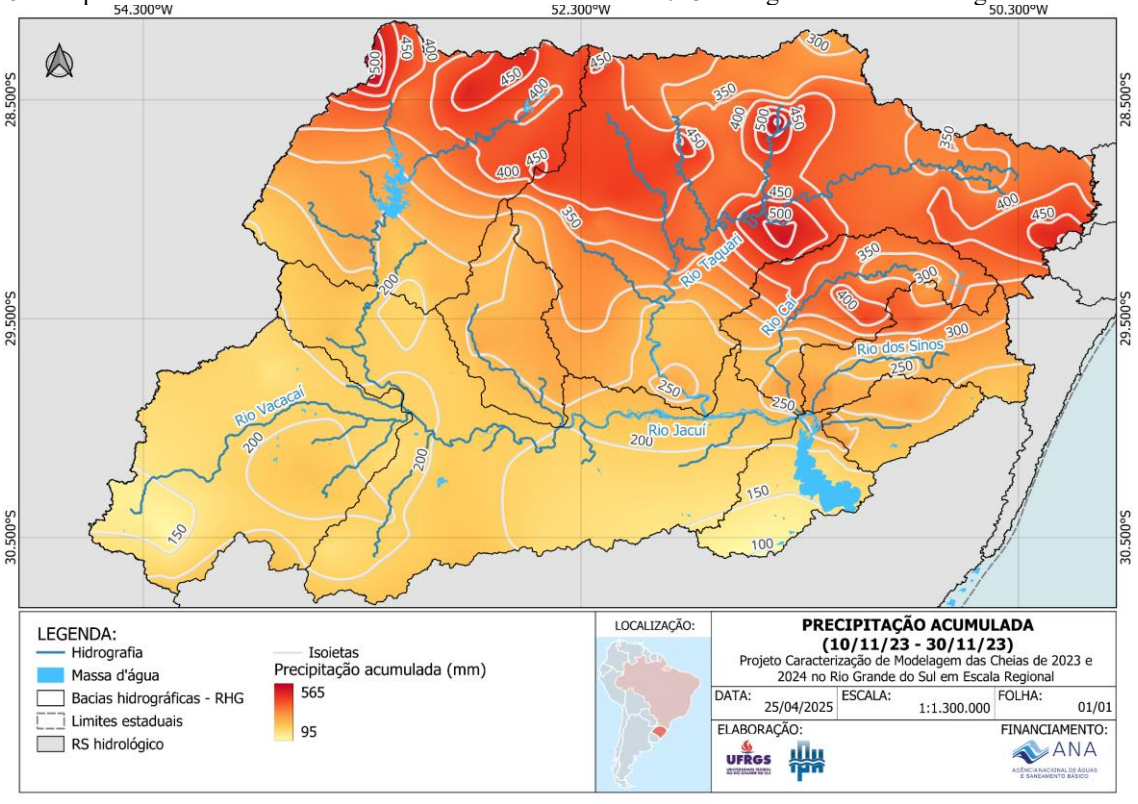


Figura 5 - Mapa da chuva acumulada do evento de novembro de 2023 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba



Chuva do evento de maio de 2024 (25/04/2024 a 15/05/2024)

O período escolhido para caracterizar a chuva que resultou no grande desastre natural de abril e maio de 2024 no RS foi o intervalo de 21 dias entre os dias 25/04/2024 e 15/05/2024. A distribuição espacial da chuva acumulada em todo o RS é apresentada na Figura 6. Observa-se que a precipitação acumulada superou 1.000 mm ao longo destes 21 dias em algumas regiões, e que a região que recebeu as chuvas mais intensas corresponde, aproximadamente, à bacia hidrográfica do rio Guaíba. A chuva acumulada excedeu 600 mm em uma área que se estende em um arco de 460 km de extensão, desde as cabeceiras do rio das Antas, na região dos Aparados da Serra, no Leste, até a bacia do rio Vacacaí, no Oeste.

A Figura 7 apresenta o mapa de chuva acumulada durante o evento de abril e maio de 2024 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba, que foi a região do estado em que ocorreram as maiores cheias neste evento. Neste mapa observa-se que os maiores valores de chuva acumulada ocorreram na parte central da bacia do rio Taquari-Antas e na bacia do rio Pardo. Além disso, a chuva intensa também atingiu a bacia do rio Jacuí, especialmente na região entre a UHE Passo Real (cujo reservatório aparece no mapa) e a confluência do rio Jacuí com o rio Vacacaí.

Figura 6 - Mapa da distribuição espacial da chuva acumulada do evento de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul.

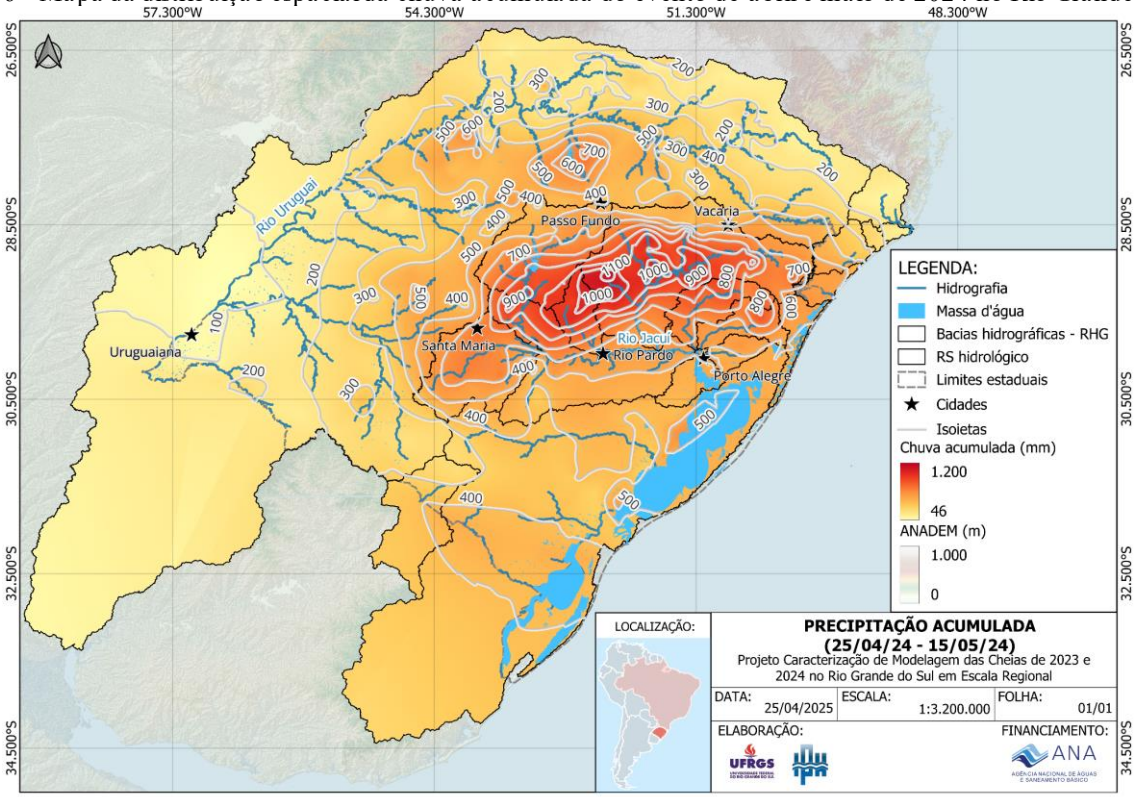
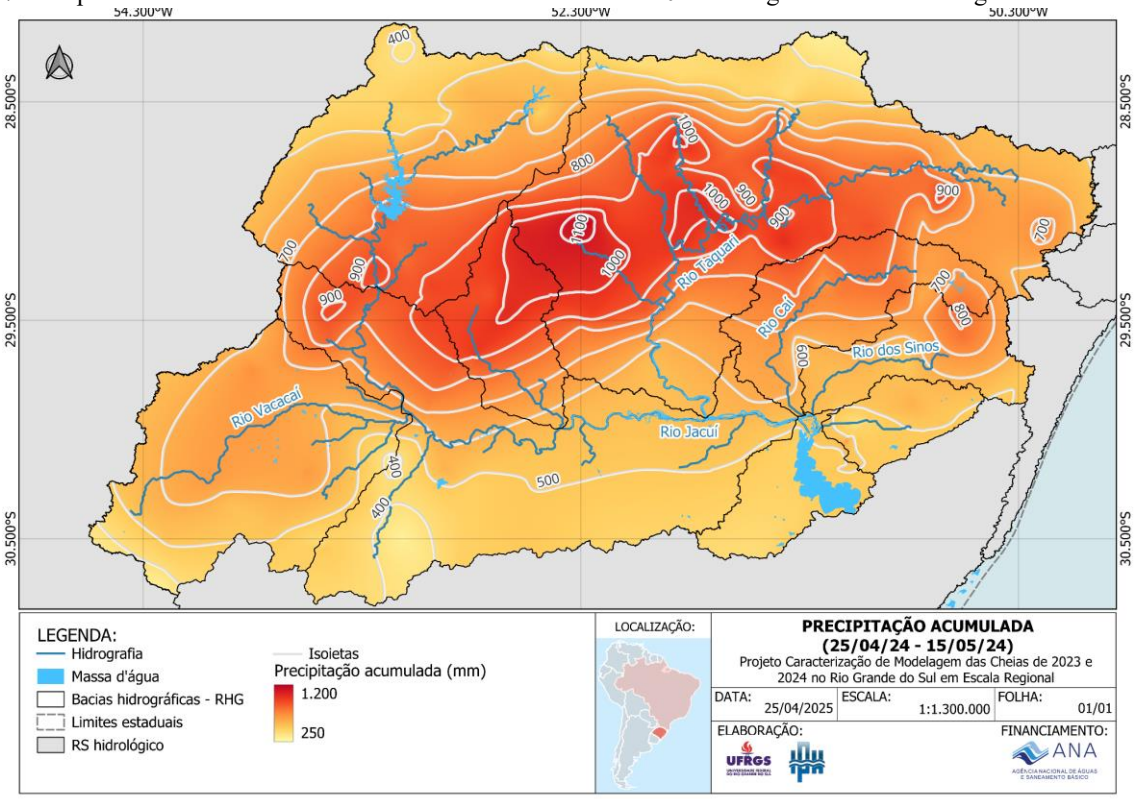


Figura 7 - Mapa da chuva acumulada do evento de abril e maio de 2024 na região da bacia hidrográfica do rio Guaíba.



CONCLUSÃO

Após a análise mais aprofundada dos dados observados de precipitação, com medições de estações automáticas e convencionais, para a área de estudo, observou-se que os três eventos de cheia ocorreram em diferentes escalas espaciais e temporais de precipitação. Apesar dessas diferenças, observou-se que as maiores cheias se concentraram na região hidrográfica do Guaíba nesses três eventos. A partir disso, conclui-se as seguintes características sobre cada evento de cheia:

- No evento de setembro de 2023 (entre os dias 01/09/2023 e 12/09/2023) os maiores valores de precipitação ocorreram na região Centro-Norte do estado do RS, com precipitações superiores a 400 mm em um arco de mais de 300 Km de extensão. As bacias de três afluentes do rio Taquari-Antas, os rios Guaporé, Carreiro e Prata, foram especialmente afetadas pela chuva neste evento.
- No evento de novembro de 2023 (entre os dias 10/11/2023 e 30/11/2023) os maiores valores de precipitação ocorreram na região Norte do estado do RS, com precipitações acumuladas de 450 a 500 mm em uma extensão de 500 Km. Na bacia do Guaíba grandes acumulados atingiram toda a parte leste da bacia do rio Taquari-Antas, bem como a bacia do rio Caí, contribuindo para que a cheia de novembro de 2023 tenha sido maior do que a cheia de setembro de 2023 em alguns locais.
- No evento dos meses de abril e maio de 2024 (entre os dias 25/04/2024 e 15/05/2024) os valores de precipitação acumulada, que resultaram no grande desastre natural, superaram os 1.000 mm ao longo destes 21 dias em algumas regiões. A região que recebeu as chuvas mais intensas corresponde, aproximadamente, à bacia hidrográfica do rio Guaíba, em um arco de 460 km de extensão. Os maiores valores de chuva acumulada ocorreram na parte central da bacia do rio Taquari-Antas e na bacia do rio Pardo.

REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R. C. S.; RIBEIRO, D. F.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; GONÇALVES, D. A.; SILVA, L. A.; CUARTAS PINEDA, L. A.; Saito, S. M. (2024). "*Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: vulnerabilities and risk management capabilities*". International Journal of Disaster Risk Reduction, 110, 104645.

COLLISCHONN, W.; CABELEIRA, R.; RAMALHO, N.; RUHOFF, A.; PAIVA, R.; FAN, F.; WONGCHUIG, S.; BREDA, J. (2024). "*Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record*". RBRH, 29, e50.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; MICHEL, G. P.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; MORAES, S. R.; MARCUZZO, F. F. N.; MICHEL, R. D. L.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S.; FERNANDES, E. H. L.; SANTOS, L. L. D.; RUHOFF, A.; KOBIYAMA, M.; COLLARES, G. L.; BUFFON, F.; DUARTE, E. (2025). "*The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil*". RBRH, 30, e1-35.

EGAS, H. M.; STABILE, R. A.; DE ANDRADE, M. R. M.; MICHEL, G. P.; DE ARAÚJO, J. P. C.; MICHEL, R. D. L.; MENDES, T. S. G.; NERY, T. D.; DE PAULA, D. S.; RECKZIEGEL, E. W. (2024). "*Comprehensive inventory and initial assessment of landslides triggered by autumn 2024 rainfall in Rio Grande do Sul, Brazil*". LANDSLIDES 22, 579–589 (2025).

MARENGO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇALVES, D.; LUIZ, SILVA, R.; ALVALA, R.; SELUCHII, M. E.; MORAES, O.; SOARES, R.W. & NOBRE, C. A. (2024). "*O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024*". Estudos Avançados, 38(112), 203-228.

REBOITA, M. S.; MATTOS, E. V.; CAPUCIN, B. C.; DE SOUZA, D. O. & DE SOUZA FERREIRA, G. W. (2024). "*A multi-scale analysis of the extreme precipitation in southern Brazil in April/May 2024*". Atmosphere, 15(9), 1123.