

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DA EXCENTRICIDADE DE EVENTO DE CHUVA OCORRIDO EM JUNHO DE 2023 NO RIO GRANDE DO SUL

Karine Pickbrenner¹; Adriana Burin Weschenfelder¹; Eber José de Andrade Pinto² & Camila Dalla Porta Mattiuzzi¹

Abstract: The meteorological characterization, mapping of precipitation in different durations, graphs of the temporal evolution of precipitation, the framing of events with historical maximum precipitation and the use of local IDF equations are important tools for characterizing the exceptionality of rainfall events. Between June 15 and 16, 2023, an extratropical cyclone, which brought with rain of exceptional magnitude, exceeding 200 mm, caused severe flooding and disastrous consequences in some regions of Rio Grande do Sul (RS). The extreme event was caused by a phenomenon that combines heavy rainfall with specific geomorphological and climatological conditions. The evaluation of precipitation data recorded in 19 automatic rain gauges showed that the most critical rainfall intensities occurred on the windward side of Serra do Mar and were recorded in a rain gauge located in the municipality of Maquiné. When evaluating the data with publications of extreme precipitation values from RS, Brazil and the world, it was found that the most critical rainfall intensities occurred in durations greater than 2h. When comparing the maximum rainfall in Maquiné with the quantiles of 50 years estimated with IDF equations, it was observed that the magnitudes recorded in Maquiné, with durations longer than 2h, present probabilities of occurrence in any year lower than 3%, and in durations of 8 and 14h these probabilities may be even lower.

Resumo: A caracterização meteorológica, o mapeamento das precipitações em diferentes durações, gráficos da evolução temporal das precipitações, o enquadramento dos eventos com as máximas precipitações históricas e a utilização de equações IDF locais, configuram ferramentas importantes para a caracterização da excepcionalidade de eventos de chuva. Entre os dias 15 e 16 de junho de 2023 um ciclone extratropical, acompanhado de chuva de intensidade excepcional, com registros de acumulados de chuva superiores a 200 mm, provocou inundações severas e consequências desastrosas em algumas regiões do Rio Grande do Sul (RS). O evento extremo foi causado por um fenômeno que combina fortes chuvas com condições geomorfológicas e climatológicas específicas. A avaliação de dados de precipitação registrados em 19 pluviômetros automáticos mostrou que as intensidades mais críticas de chuva ocorreram a barlavento da Serra do Mar e foram registradas em um pluviômetro localizado no município de Maquiné. Ao se avaliar os dados com as publicações de valores extremos de precipitação do RS, do Brasil e do mundo, verificou-se que as intensidades mais críticas de chuva ocorreram em durações superiores a 2h. Na comparação das chuvas máximas de Maquiné com os quantis de 50 anos estimados com equações IDF observou-se que as magnitudes registradas em Maquiné, com durações superiores a 2h, apresentam probabilidades de ocorrência em um ano qualquer inferiores a 3%, e nas durações de 8 e 14h estas probabilidades podem ser ainda menores.

Palavras-Chave – Eventos extremos, Caracterização Meteorológica e Hidrológica, Equação IDF

1) SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300.
karine.pickbrenner@sgb.gov.br; adriana.weschenfelder@sgb.gov.br; camila.mattiuzzi@sgb.gov.br

2) SGB - Serviço Geológico do Brasil - Avenida Brasil, 1731, Funcionários - Belo Horizonte/MG - CEP: 30140-002, Tel.: (31) 3878-0332.
eber.andrade@sgb.gov.br

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul foi fortemente atingido por chuvas intensas causadas por um ciclone extratropical, que alcançou o estado entre os dias 15 e 16 do mês de junho de 2023.

Em apenas 6h foram registrados acumulados de chuva superiores a 200 mm, que causaram inundações severas, perdas de vida humana e animal, destruição agropecuária, além de transtornos na mobilidade das cidades da região e acesso à energia. Os maiores acumulados de chuva se deram em áreas próximas ou junto à Serra do Mar, entre o Vale do Caí, o Vale do Sinos e áreas entre a Serra e o Litoral Norte. A Defesa Civil do estado confirmou 16 mortes, 59 cidades decretaram situação de emergência ou calamidade. Dentre os municípios mais afetados, se encontram Caraá, Esteio, Gravataí, Itati, Maquiné, Montenegro, Osório, Santa Maria do Herval e Vale Real (Ciclone..., 2023; Dias, 2023).

Os Sistemas de Alerta Hidrológico (SAH) possibilitam o estudo dos eventos extremos ocorridos nas bacias com este tipo de monitoramento. O Serviço Geológico do Brasil (SGB) opera o Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, que possibilitou o monitoramento temporal durante o evento de junho de 2023. O SGB é também responsável pelo monitoramento das águas superficiais, em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Além dos dados obtidos pelas estações de monitoramento do Alerta, foi possível levantar dados contínuos de precipitação de estações pluviométricas automáticas vinculadas à operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e de outros operadores, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

O projeto Atlas Pluviométrico, desenvolvido no Serviço Geológico do Brasil –SGB desde 2009, é uma ação dentro do programa Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo reunir, consolidar e organizar as informações sobre chuvas obtidas na operação da rede hidrometeorológica nacional. Dentre os vários objetivos do projeto Atlas Pluviométrico, destaca-se, a definição das relações intensidade-duração-frequência (IDF). Essas relações são estabelecidas para os pontos da rede hidrometeorológica nacional que dispõe de registros contínuos ou diários de chuva. As relações IDF são importantes na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Também podem ser utilizadas de forma inversa, na estimativa da frequência de um evento de precipitação ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário.

Com o objetivo de aplicação das equações IDF num foco de caracterização de excentricidade de eventos de chuva, o SGB, em consonância com a sua missão de gerar e difundir conhecimento hidrológico, apresenta uma série de relatórios caracterizando eventos históricos extremos sob aspectos hidrológicos e meteorológico/climatológicos. São apresentados os processos que descrevem a formação das chuvas e os resultados de estudos hidrológicos elaborados com os dados coletados nas estações de monitoramento, visando caracterizar a evolução temporal de tormentas e a excepcionalidade de sua magnitude em termos de intensidade de precipitação e tempo de retorno.

Estudos têm identificado tendências de aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, possivelmente associadas às mudanças climáticas. Essas tendências ressaltam a necessidade de revisões periódicas das equações IDF, incorporando dados atualizados, para garantir a eficácia no planejamento e na gestão dos recursos hídricos. As enchentes que atingiram o Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024 representaram um dos eventos hidrológicos extremos mais devastadores já registrados no Brasil, com chuvas de intensidade, duração e abrangência sem precedentes. Diante desse cenário, a ANA, em conjunto com instituições parceiras, incluindo o SGB, instituiu o Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reserva e de Proteção das Cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS).

A atualização das relações IDF para os municípios do RS, incorporando os dados dos eventos de maio de 2024, tem como objetivo apoiar o cumprimento da missão do GTA, que consiste em analisar os eventos ocorridos, propor diretrizes e estratégias para a reconstrução das áreas afetadas, além de desenvolver ações preventivas para futuras ocorrências, fundamentadas em evidências técnicas e científicas. A atualização das IDF do RS, elaborada pela Universidade Federal da Paraíba, está disponível em <https://idf-rs-ufpb3f417c4037d6.opendata.arcgis.com/>.

A caracterização meteorológica, o mapeamento das máximas precipitações em diferentes durações, a representação gráfica da evolução temporal das precipitações, a utilização de equações IDF locais e atualizadas, configuram ferramentas importantes para a caracterização da excepcionalidade dos eventos severos de chuva. Este documento apresenta a aplicação destas ferramentas para a caracterização do evento extremo ocorrido no RS em junho de 2023.

CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA E CLIMATOLÓGICA DO EVENTO

Os grandes volumes de chuva, acumuladas entre os dias 14 e 16 de junho de 2023, foram resultantes da presença de uma área de baixa pressão que se deslocou do Sudeste para o sul do Brasil, se intensificando entre a noite do dia 15 e a manhã do dia 16 de junho, de acordo com Sias (2023). Segundo a mesma autora, tratou-se de um ciclone de natureza extratropical na sua origem, com todo o seu centro frio, efeito do encontro de massa de ar frio com outra mais quente. Tanto o encontro das frentes quanto a área de baixa pressão (B) estão sinalizados nas cartas de superfície do Centro de Hidrografia da Marinha – CHM (2023), permitindo visualizar o deslocamento de Sudeste para Sul. A Figura 1 apresenta a sinalização do encontro das frentes e zona de baixa pressão, indicada pela letra B, na costa Sudeste; a Figura 2 apresenta a sinalização da frente oclusa (em roxo) no encontro entre a frente quente (em vermelho) e fria (em azul) situado no centro de circulação ciclônica, zona de baixa pressão indicada pela letra B, já deslocada para a costa sul, atuando no litoral sul de SC e litoral norte do RS.

Figura 1 - Carta sinótica, em superfície, dia 15 de junho de 2023 no horário de 12h UTC.

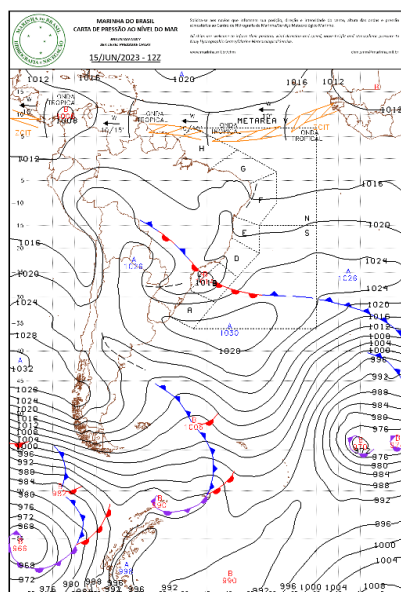
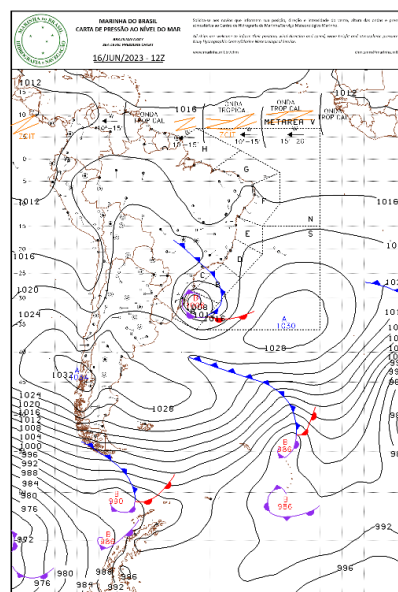


Figura 2 - Carta sinótica, em superfície, dia 16 de junho de 2023 no horário 12h UTC.



Os ciclones que atingem o sul do Brasil, segundo Reboita *et al.* (2012) tem duas regiões favoráveis de formação: uma na costa sul/sudeste do Brasil e outra entre o Uruguai e o extremo sul do Brasil. Segundo a autora estes sistemas causam ventos fortes, precipitação e redução de

temperatura. No caso do evento em estudo, a análise visual das imagens obtidas no CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), observadas nas Figuras 3 e 4, permitem observar o evento formado na costa Sudeste e deslocado para Sul, conforme descrito por Sias (2023).

Tomaziello e Gandu (2013) destacam que a evolução dos fenômenos atmosféricos, em escalas mais regionais ou locais, depende fortemente das condições da superfície local, tais como temperatura, umidade do solo, vegetação, topografia e temperatura da superfície do mar (TSM). O fenômeno atuante na data do evento, entre 14 e 16 de junho, combinado com o relevo da região, favoreceu a intensificação das perturbações atmosféricas. Sias (2023) ressaltou que o centro do ciclone próximo à costa impulsionou o fluxo de umidade do oceano para o continente, sofrendo efeito orográfico pela barreira formada pela Serra do Mar.

Figura 3- Imagem do canal 10 vapor d'água (esquerda) e canal 13 realçada (direita), satélite GOES-16, referentes ao dia 15/06/2016, 21h GMT (Fonte: CPTEC/INPE, 2023).

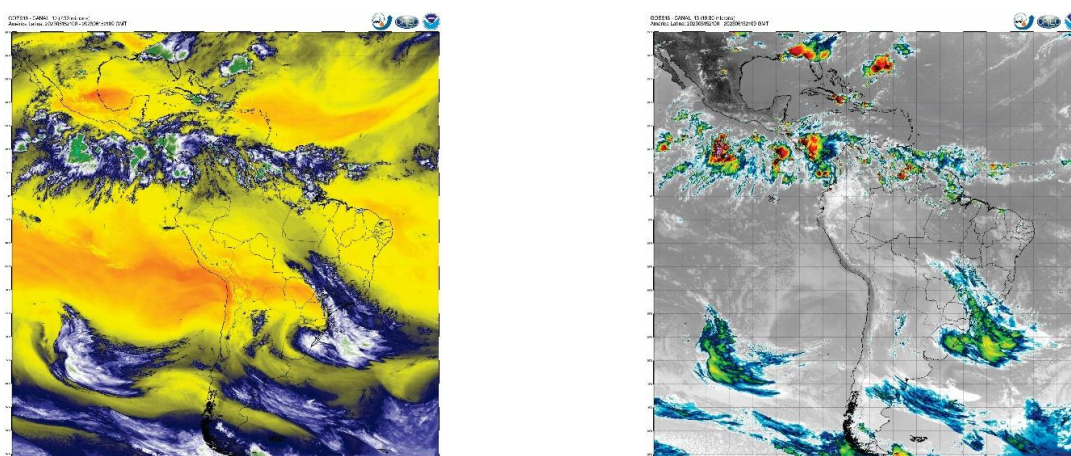
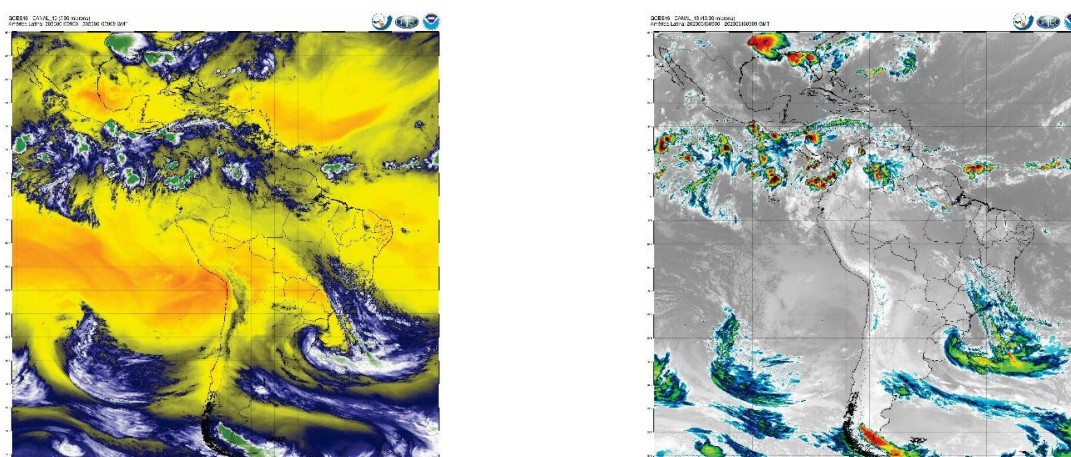


Figura 4- Imagem do canal 10 vapor d'água (esquerda) e canal 13 realçada (direita), satélite GOES-16, referentes ao dia 16/06/2016, 9h GMT (Fonte: CPTEC/INPE, 2023).



DADOS HIDROLÓGICOS

A Tabela 1 apresenta as estações de monitoramento operadas pelo SGB/ANA, CEMADEN e INMET, cujos dados de precipitação contínua de precipitação foram utilizados para caracterizar o evento extremo ocorrido em junho de 2023.

Tabela 1 - Estações de monitoramento pluviométricas avaliadas durante ciclone extratropical no RS.

Estação	Código	Município	Sub-bacia	Operador	Altitude (m)
Capão dos Coxos	02950045	São Francisco de Paula	Rio Caí	SGB/ANA	890,0
Barca do Caí	02951143	São Sebastião do Caí	Rio Caí	SGB /ANA	-1,00
Passo Montenegro	02951080	Montenegro	Rio Caí	SGB /ANA	10,0
Nova Palmira	02951022	Caxias do Sul	Rio Caí	SGB /ANA	80,0
São Vendelino	02951027	São Vendelino	Rio Caí	SGB /ANA	140,0
Costa do Rio Cadeia	02951081	São Sebastião do Caí	Rio Caí	SGB /ANA	23,0
Morro Reuter	02951142	Morro Reuter	Rio Caí	SGB /ANA	492,0
Campo Bom	02951139	Campo Bom	Rio Sinos	SGB /ANA	12,0
Maquiné	02950117	Maquiné	Rio Tramandaí	SGB /ANA	13,0
Riozinho	431575001A	Riozinho	Rio Sinos	CEMADEN	85,0
Igrejinha - XV Novembro	431010807A	Igrejinha	Rio Sinos	CEMADEN	30,0
Parobé - Laranjeiras	431405001A	Parobé	Rio Sinos	CEMADEN	51,0
Três Coroas - Centro	432170903A	Três Coroas	Rio Sinos	CEMADEN	55,0
Bento Gonçalves	A840	Bento Gonçalves	Rio Taquari	INMET	623,3
Porto Alegre Jardim Botânico	A801	Porto Alegre	Lago Guaíba	INMET	41,2
Tramandaí	A834	Tramandaí	Rio Tramandaí	INMET	4,6
Canela	A879	Canela	Rio Caí	INMET	830,9
Torres	A808	Torres	Rio Mampituba	INMET	8,4
Campo Bom	A884	Campo Bom	Rio Sinos	INMET	23,4

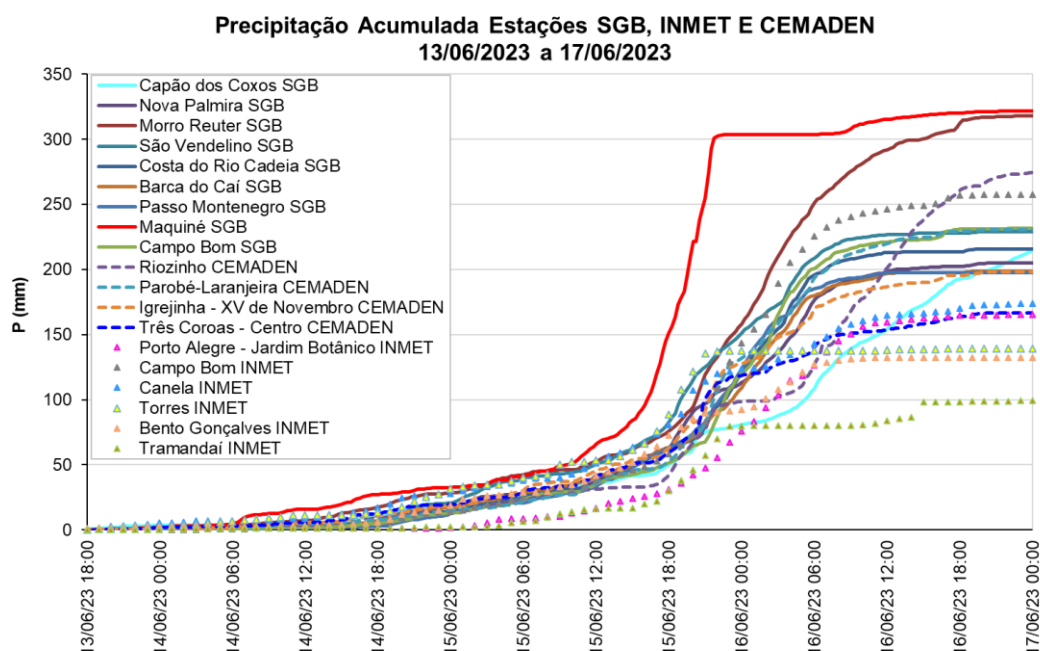
Na Figura 5 pode ser observada a localização das estações e os limites das sub-bacias nas quais elas se inserem.

Figura 5 - Localização de estações pluviométricas avaliadas durante ciclone extratropical no RS.



O gráfico apresentado na Figura 6 ilustra o comportamento das chuvas acumuladas nas estações de monitoramento, entre os dias 13 e 17 de junho de 2023, nas principais regiões afetadas pelo ciclone extratropical.

Figura 6- Comportamento das chuvas acumuladas nas estações de monitoramento operadas pelo SGB, CEMADEN e INMET durante o evento de junho de 2023.



A Tabela 2 apresenta os dados de precipitação máxima horária e a data e horário de ocorrência, referentes aos dados registrados nos pluviômetros operados pelo SGB. Os maiores valores de precipitação, nas diferentes durações, se apresentam em vermelho na tabela e ocorreram em Maquiné, os segundos maiores, apresentados na cor azul, foram registrados em Morro Reuter.

Tabela 2 - Precipitações máximas (mm) e datas de ocorrência -durações de 1h a 96h-SGB/ANA.

Estação	Município	1 hora	6 Horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Maquiné	Maquiné	55,0	208,6	251,0	271,2	302,2	321,2	321,8
		15/06 21:30	15/06 21:45	15/06 22:15	15/06 22:15	15/06 22:30	16/06 20:30	17/06 0:15
Capão dos Coxos	São Francisco de Paula	14,4	52,9	90,5	144,5	198,5	214,1	217,9
		15/06 20:45	16/06 9:45	16/06 17:00	16/06 17:00	17/06 0:30	17/06 4:30	17/06 4:30
Nova Palmira	Caxias do Sul	17,0	64,2	113,4	164,0	198,2	204,0	204,8
		16/06 5:45	16/06 6:15	16/06 6:00	16/06 10:30	16/06 16:45	16/06 19:30	16/06 23:45
Morro Reuter	Morro Reuter	24,8	97,4	176,4	241,4	296,8	317,2	317,8
		15/06 21:00	16/06 2:15	16/06 6:15	16/06 13:45	16/06 18:15	16/06 22:30	16/06 23:45
São Vendelino	São Vendelino	18,6	69,2	128,6	180,6	224,0	228,4	229,0
		15/06 19:30	15/06 22:45	16/06 5:15	16/06 10:45	16/06 12:15	16/06 19:30	16/06 23:45
Costa do Rio Cadeia	São Sebastião do Caí	19,4	79,8	136,6	179,4	209,8	215,8	216,0
		16/06 4:15	16/06 4:45	16/06 7:30	16/06 10:30	16/06 11:45	16/06 19:15	17/06 3:00
Barca do Caí	São Sebastião do Caí	15,2	76,0	119,2	157,6	195,0	198,4	198,6
		16/06 1:00	16/06 5:15	16/06 7:15	16/06 8:15	16/06 12:45	16/06 19:00	16/06 23:45
Passo Montenegro	Montenegro	16,4	79,2	122,8	167,4	196,0	197,8	197,8
		16/06 1:00	16/06 2:30	16/06 5:30	16/06 8:45	16/06 11:30	16/06 19:15	16/06 23:45
Campo Bom	Campo Bom	25,2	99,0	151,4	190,0	226,2	231,4	231,6
		16/06 3:15	16/06 3:30	16/06 7:00	16/06 10:30	16/06 17:30	16/06 22:00	16/06 23:45

A análise conjunta da Figura 6 com a Tabela 2 permite avaliar que o maior volume precipitado e a maior intensidade de precipitação foram registrados a barlavento da Serra do Mar, na estação Maquiné, corroborando o aumento da turbulência do ar relacionado à ascensão orográfica.

As Figuras 9 a 12 mostram o mapeamento das precipitações máximas registradas nas estações de monitoramento, nas durações de 1h, 6h, 12h e 24h, respectivamente, entre os dias 15 e 16/06/2023.

Figura 9-Precipitação máxima (mm) de duração de 1h.

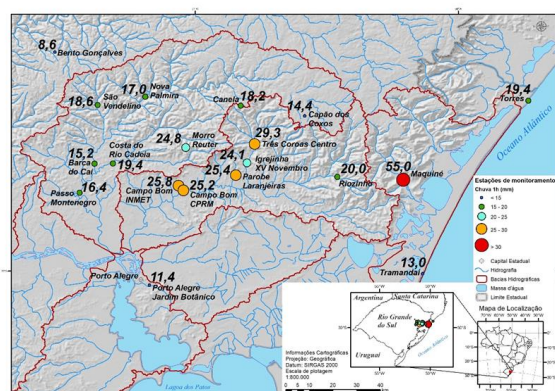


Figura 10-Precipitação máxima (mm) com duração de 6h.

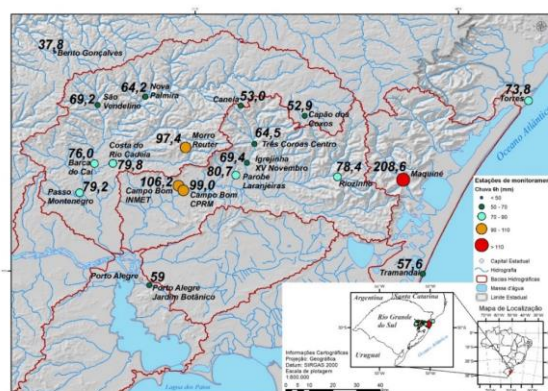


Figura 11-Precipitação máxima (mm) de duração de 12h.

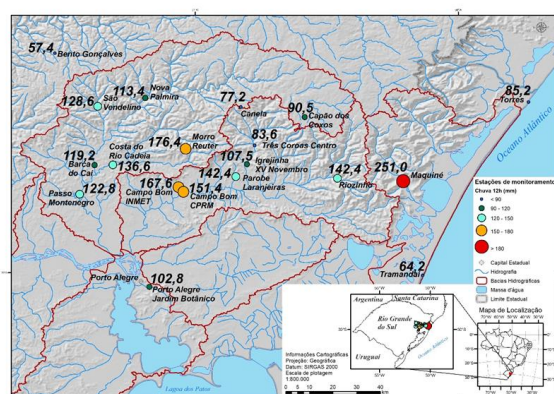
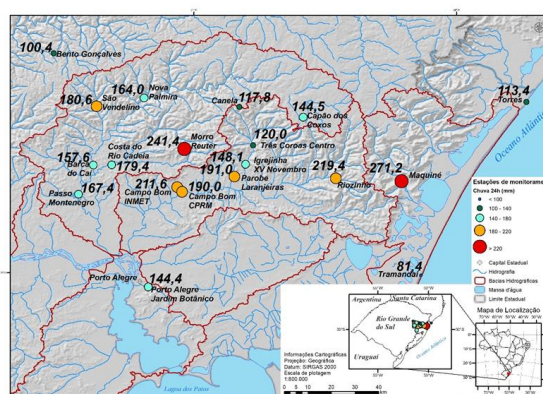


Figura 12- Precipitação máxima (mm) de duração de 24h.



Outras estações de monitoramento, mais afastadas da costa, mas sob influência direta da atuação do ciclone, nas encostas e vales, apresentaram valores variáveis de precipitação, conforme pode ser observado nas Figuras 9 a 12. As precipitações mais significativas, em sequência a Maquiné, se manifestaram em Morro Reuter, na encosta da serra, e em Riozinho, no vale (Figura 6).

AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO EVENTO

A severidade do evento será avaliada comparando as alturas máximas de diferentes durações (15 minutos até 96 horas) registradas na região durante o evento de junho de 2023, com eventos máximos publicados referentes ao Rio Grande do Sul, o Brasil e ao mundo.

O gráfico da Figura 13 ilustra as séries com os recortes de precipitações registradas, nas diferentes durações, em escala mundial; a fonte destes dados se encontra em Pickbrenner, Weschenfelder e Pinto (2023). Também são apresentados, em escala nacional e no estado do Rio Grande do Sul/RS, os maiores registros de precipitação levantados em estudo de Chuvas Intensas onde foram reunidos dados de pluviógrafos em 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (Pfafstetter, 1982). Os registros de máximos de precipitação observados em evento extremo ocorrido no município de Pelotas/RS, em janeiro de 2009, descrito por Saldanha *et al.* (2012), se apresentam, para as durações de 3h e 24h, em dois postos de monitoramento: Embrapa Cascata e Embrapa Sede. Em ambos postos, as magnitudes registradas são superiores às publicadas por Pfafstetter (1982), mesmo em nível nacional, confirmando a sugestão apresentada pelos autores de que este foi possivelmente o mais intenso evento de chuva já registrado no Brasil até o evento de precipitações superiores a 600mm ocorridas entre os dias 18 e 19 de fevereiro de 2023 e registradas pelo CEMADEN no litoral norte de São Paulo. Conforme os dados apresentados no gráfico da Figura 13, os valores de máximos de precipitação registrados em Maquiné, entre os dias 15 e 16 de junho de

2023, apresentaram-se mais extremos nas durações acima de 2 horas, verificando-se, a partir desta duração, uma aproximação com as séries de máximos registradas por Pfafstetter (1982), tanto em nível nacional, como no estado do RS. A partir da duração de 8h, os máximos do evento de junho de 2023, se apresentam superiores aos registros de Pfafstetter (1982), referente ao RS, mas inferiores aos máximos nacionais. Para fins de comparação com eventos extremos recentes ocorridos no RS, na Figura 13 também se encontram apresentados os máximos de precipitação registrados em pluviômetros que se inserem no Sistema de Alerta Hidrológico do Taquari (SAH Taquari), durante os eventos de setembro de 2023, novembro de 2023 e maio de 2024. Em setembro de 2023, os maiores valores de precipitação ocorreram nas estações pluviométricas de Barra do Fão, Passo Tainhas e Ibiraiaras. Em novembro de 2023, os máximos se alternaram entre as estações de Auler, Muçum, Linha José Júlio, Taquari, Encantado, Muçum e Vacaria; em maio de 2024 os máximos se concentraram em Guaporé e Muçum. O evento de junho de 2023 se apresentou superior aos eventos recentes do RS entre as durações de 2h e 21h, confirmando sua excentricidade nesta faixa de durações.

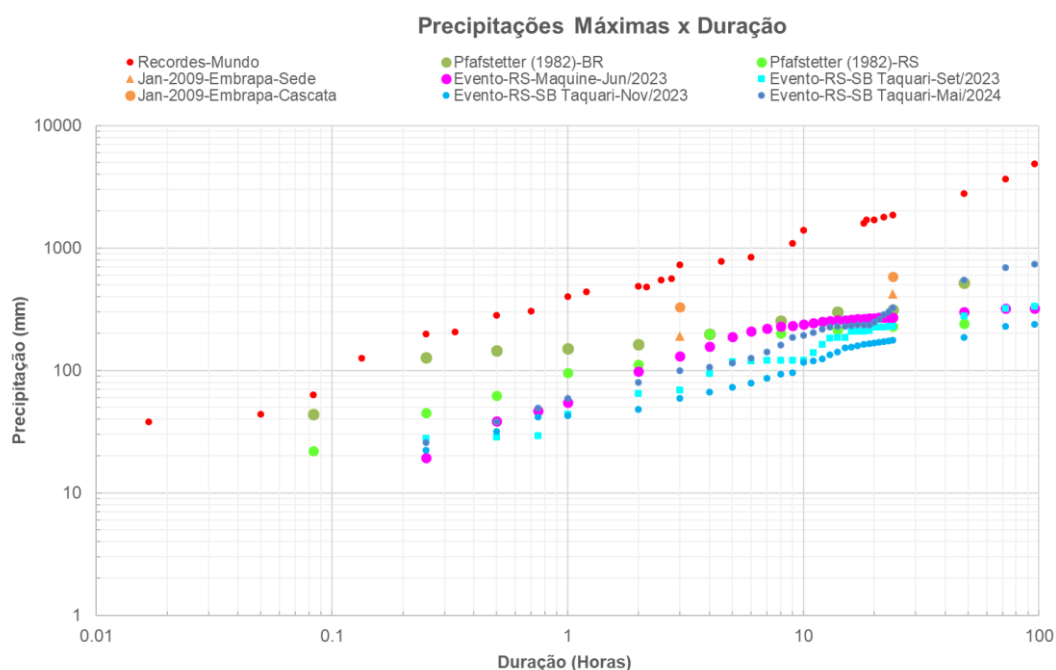


Figura 13 - Precipitações Máximas Históricas Observadas em diferentes durações.

Além da confrontação com alguns máximos registrados no mundo, no Brasil e no Rio Grande do Sul, procedeu-se ao cálculo do quantil de 50 anos, em diferentes durações, utilizando a equação IDF com dados contínuos de precipitação elaborada para Praia Grande por Weschenfelder; Pickbrenner e Pinto (2013) e também a equação atualizada em 2025 pelo GTA, Universidade Federal da Paraíba (2024), para o mesmo posto pluviométrico de Praia Grande, utilizando metodologia de desagregação. A estação de Praia Grande se localiza a 55 km de Maquiné e foi escolhida por representar o mesmo regime de chuvas intensas que se manifesta em Maquiné, sob efeito orográfico. Mesmo supondo-se que as configurações dos processos de formação de chuvas intensas em outras regiões do RS não seriam similares a Maquiné, procedeu-se, em caráter comparativo, às estimativas das alturas de chuva com tempo de retorno de 50 anos, utilizando outras equações IDF localizadas na região: i) IDF elaborada com dados contínuos de precipitação para o município de Gravataí (Weschenfelder, Pickbrenner e Pinto, 2022), distância de 70km; ii) IDF elaboradas pelo GTA (Universidade Federal da Paraíba, 2024), para os municípios de Rolante e Glorinha, respectivamente a 34 e 61km; iii) IDF apresentada no estudo de Pfafstetter (1982), para o município de Viamão, a uma distância de 72km. As máximas precipitações registradas em Maquiné em 2023, em diferentes durações, as máximas

precipitações levantadas nos estudos de IDF com dados contínuos de precipitação, as razões entre os valores registrados em Maquiné e os máximos das IDF, os resultados calculados para o quantil de 50 anos utilizando as diferentes IDF, assim como as estimativas de recorrência para os máximos registrados podem ser observados nas Tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Máximos em Maquiné em jun/2023 (mm), máximos em estudos de IDF (mm) e relações entre máximos.

Duração	Máximos Maquiné jun/2023	Máximo dados IDF Praia Grande SGB - 1998 a 2011	Máximos Maquiné /Máximos Praia Grande	Máximos dados IDF Gravataí SGB -1993-2021	Máximos Maquiné /Máximos Gravataí	Máximos dados IDF Otto Pfafstetter Viamão	Máximos Maquiné /Máximos Viamão
15 min	19,4	28,0	0,69	26,6	0,73	28,0	0,69
30 min	38,6	42,5	0,91	42,0	0,92	48,0	0,80
45 min	46,8	50,8	0,92	53,1	0,88	-	-
1 h	55,0	57,6	0,96	62,0	0,89	42,5	1,29
2 h	98,2	82,7	1,19	79,0	1,24	48,0	2,05
3 h	130,0	98,3	1,32	86,2	1,51	59,0	-
4 h	156,6	113,4	1,38	88,8	1,76	-	2,65
8 h	227,8	196,7	1,16	109,6	2,08	105	2,17
14 h	257,0	200,0	1,29	112,4	2,29	111,0	2,32
24 h	271,2	215,0	1,26	121,9	2,23	110,0	2,47

Tabela 7 - Máximos em Maquiné em jun/2023 (mm), quantis 50 anos (mm) e TR (anos) calculados com IDF regionais.

Duração	Máximos Maquiné jun/2023	Quantil 50 anos Praia Grande SGB	Quantil 50 anos Praia Grande GTA	Quantil 50 anos Gravataí SGB	Quantil 50 anos Glorinha GTA	Quantil 50 anos Rolante GTA	Quantil 50 anos Viamão Pfafstetter	TR Praia Grande SGB	TR Praia Grande GTA	TR Gravataí SGB	TR Glorinha GTA	TR Rolante GTA	TR Viamão Pfafstetter
15 min	19,4	31,9	46,3	34,0	32,3	33,2	28,1	4	<1	2	<1	2,0	3
30 min	38,6	50,0	62,4	50,5	44,4	45,8	40,2	13	3	11	14	18	38
45 min	46,8	61,6	72,9	60,9	52,1	53,8	48,2	12	4	11	19	22	41
1 h	55,0	69,5	80,8	68,5	57,9	59,8	55,0	14	5	15	32	31	50
2 h	98,2	98,3	102,2	86,8	73,0	75,5	70,4	50	40	>100	>100	>100	>100
3 h	130,0	113,4	116,5	97,4	82,8	85,7	79,8	90	95	>100	>100	>100	>100
4 h	156,6	125,4	127,6	105,1	90,4	93,5	87,3	>100	>100	>100	>100	>100	>100
8 h	227,8	160,0	158,1	123,9	110,9	114,8	104,6	>100	>100	>100	>100	>100	>100
14 h	257,0	179,7	187,6	140,1	130,3	134,8	119,5	>100	>100	>100	>100	>100	>100
24 h	271,2	197,2	220,9	156,9	151,8	157,2	136,0	>100	>100	>100	>100	>100	>100

Comparando os máximos de Maquiné com Praia Grande (Tabela 6) se identificam chuvas percentualmente superiores a 30% em relação aos máximos ocorridos em Praia Grande, num período de 13 anos de dados. A Tabela 7 mostra que as magnitudes máximas registradas em Maquiné são superiores ao quantil de 50 anos nas durações superiores a 3h, avaliando as duas IDF de Praia Grande. As maiores diferenças se apresentam em 8 e 14h. Nas demais IDF a superação dos máximos do evento aos quantis de 50 anos já se apresenta na duração de 2h. Relativamente aos dados de máximos registrados nos municípios de Gravataí e Viamão, apresentados na Tabela 6, quando comparados com os registros de Maquiné, observa-se um incremental de mais de 100%, nas durações acima de 8h e 2h, respectivamente. A avaliação das estimativas de tempos de retornos para os máximos registrados em Maquiné confirma a excentricidade do evento ocorrido nas durações acima de 3h, apresentando resultados maiores que 100 anos, com as IDF de Praia Grande. Para as demais IDF os resultados se apresentam acima de 100 anos para as durações a partir de 1h, mostrando que a escolha da IDF de Praia Grande se apresenta mais indicada para avaliar o evento de Maquiné.

COMENTÁRIOS FINAIS

A análise visual de cartas sinóticas e imagens de satélite, com a identificação e interpretação do tipo de formação dos eventos meteorológicos, o mapeamento das máximas precipitações em diferentes durações, gráficos da evolução temporal das precipitações, o enquadramento dos eventos ocorridos com os máximos históricos mundiais, nacionais e regionais e a utilização de equações IDF locais, configuram ferramentas importantes para a caracterização da excepcionalidade de eventos.

O maior volume precipitado e a maior intensidade do evento de junho de 2023 foram registrados a barlavento da Serra do Mar, em Maquiné código 02950117, confirmando a importância dos efeitos da ascensão orográfica.

Ao se comparar os dados do evento de chuvas intensas ocorrido em junho de 2023 com as publicações de valores extremos de precipitação do Rio Grande do Sul, do Brasil e do mundo, verificou-se que as intensidades mais críticas de chuva ocorreram em durações superiores a 2 horas.

Na confrontação das chuvas máximas de Maquiné com os quantis de 50 anos estimados com seis equações IDF locais observou-se que, com relação aos resultados estimados com as IDF de Gravataí, Glorinha, Rolante e Viamão, as magnitudes em Maquiné foram superiores nas durações acima de 1h. Com a IDF elaborada para Praia Grande, localizada a 55 km de Maquiné, em região sob efeito orográfico, as magnitudes se apresentaram superiores nas durações acima de 3h. As maiores diferenças ocorreram nas durações de 8 e 14h. Estes resultados indicam que possivelmente as alturas máximas de chuva observadas em Maquiné com durações superiores a 2h apresentam probabilidades de ocorrência em um ano qualquer inferiores a 3%, sendo que, nas durações de 8 e 14 horas estas probabilidades podem ser ainda menores.

REFERÊNCIAS

CENTRO DE PREVISÃO DE ESTUDOS CLIMÁTICOS (2023). *Imagens do canal 10 vapor água e canal 13 realçada do satélite GOES-16 sobre a América do Sul*. INPE, São José dos Campos- SP. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic?i=br>.

CICLONE no RS: 9 cidades têm situação de emergência reconhecida pelo governo federal. (2023). G1 RS, Porto Alegre. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/06/26/ciclone-no-rs-cidades-tem-situacao-de-emergencia-reconhecida-pelo-governo-federal.ghtml>.

DIAS, J. (2023). “Número de mortes provocadas por chuva na semana passada é o maior em ocorrências do tipo no RS em 40 anos”. Casa Militar, Defesa Civil do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/numero-de-mortes-provocadas-por-chuva-na-semana-passada-e-o-maior-em-ocorrencias-do-tipo-no-rs-em-40-anos>.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha (2023). *Cartas Sinóticas*. Brasília- DF. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>.

PICKBRENNER, K.; WESCHENFELDER, A. B.; PINTO, E. J. de A. (2023). *Atlas pluviométrico do Brasil: ciclone extratropical no Rio Grande do Sul em junho de 2023*. CPRM, Porto Alegre. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23985>.

PFAFSTETTER, O. (1982). *Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos*. 2.ed. DNOS, Rio de Janeiro.

REBOITA, M. S.; KRUSCH, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA R. P. da. (2012). “Entendendo o tempo e o clima na América do Sul”. Revista Terra e Didática, 8, (1), pp. 34 - 50. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>.

SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M.; STEINMETZ, S.; ALMEIDA, I. R. de; REISSER JÚNIOR, C. (2012). “O evento de chuva intensa de janeiro de 2009 sobre a região de Pelotas, RS”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17 (2) pp. 255-265.

SIAS, E. (2023). *Entenda o desastre no Rio Grande do Sul em perguntas e respostas*. Metsul - Meteorologia, Disponível em: <https://metsul.com/entenda-o-desastre-no-rio-grande-do-sul-em-perguntas-e-respostas/>.

TOMAZIELLO, A. C. N., GANDU, A. W. (2013). “Impacto da temperatura da superfície do mar na simulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul”. Revista Brasileira de Meteorologia, 28, pp. 291-304.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. (2024). *Curvas IDF Rio Grande do Sul: GTA ANA 2024*. Disponível em: <https://idf-rs-ufpb3f417c4037d6.opendata.arcgis.com/>.

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. de A. (2013). *Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência; município: Praia Grande, SC*. CPRM, Porto Alegre. 12p.

WESCHENFELDER, A. B., PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. de A. (2022). *Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência; município: Gravataí, RS*. CPRM, Porto Alegre. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23252>.