Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA PARA DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

Estimate of maximum daily precipitation for different return periods in the state of Mato Grosso do Sul

Estimación de la precipitación máxima diaria para diferentes períodos de retorno en el estado de Mato Grosso do Sul

Elias Silva de Medeiros
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
eliasmedeiros@ufgd.edu.br

Lorena Dias Catellan Teixeira
Faculdade de Engenharia
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil
lorenacatellan@hotmail.com

Resumo: Eventos extremos de precipitação podem causar impactos sociais, ambientais e econômicos, tornando importante a estimativa de chuvas máximas. Este estudo teve como objetivo estimar a precipitação máxima diária para diferentes tempos de retorno em Mato Grosso do Sul. Foram utilizados dados diários de precipitação de 101 centroides de grade, obtidos do projeto POWER da NASA, para o período de 1995 a 2024. Para cada centroide, foi construída a série anual de precipitação

máxima diária. A distribuição Gumbel foi ajustada pelo método da máxima verossimilhança, e o teste de Mann-Kendall modificado, ao nível de 5%, foi aplicado para identificar tendências temporais. As estimativas de precipitação máxima foram obtidas para tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos. A mesorregião Sudoeste apresentou os maiores valores mínimo (29,56 mm), médio (58,22 mm) e máximo (156,44 mm) de precipitação máxima diária anual. Para o tempo de retorno de 2 anos, a maior estimativa foi observada no sul da mesorregião Pantanais, com 66,80 mm. Os resultados contribuem para o planejamento urbano, a gestão de recursos hídricos e a formulação de estratégias de segurança hídrica.
Palavras-chave: Eventos extremos. Desastres naturais. Gumbel.

Abstract: Extreme precipitation events can cause significant social, environmental, and economic impacts, making the estimation of maximum rainfall relevant. This study aimed to estimate maximum daily precipitation for different return periods in Mato Grosso do Sul, Brazil. Daily precipitation data from 101 grid centroids were obtained from NASA's POWER project for the period from 1995 to 2024. For each centroid, an annual maximum daily precipitation series was constructed. The Gumbel distribution was fitted using the maximum likelihood method, and the modified Mann-Kendall test, at the 5% significance level, was applied to identify temporal trends. Maximum precipitation was estimated for return periods of 2, 5, 10, and 20 years. The Southwest mesoregion showed the highest minimum (29.56 mm), mean (58.22 mm), and maximum (156.44 mm) annual maximum daily precipitation. For a 2-year return period, the highest estimate was observed in the southern Pantanal mesoregion, reaching 66.80 mm. These results contribute to urban planning, water resources management, and water security strategies.
Keywords: Extreme events. Natural disasters. Gumbel.

Resumen: Los eventos extremos de precipitación pueden generar impactos sociales, ambientales y económicos, por lo que es relevante estimar las lluvias máximas. Este estudio tuvo como objetivo estimar la precipitación máxima diaria para diferentes períodos de retorno en Mato Grosso do Sul, Brasil. Se utilizaron datos diarios de precipitación de 101 puntos de una cuadrícula, obtenidos del proyecto POWER de la NASA para el período de 1995 a 2024. Para cada punto, se construyó la serie anual de precipitación máxima diaria. La distribución de Gumbel se ajustó mediante el método de máxima verosimilitud y se aplicó la prueba de Mann-Kendall modificada, con un nivel de significancia del 5%, para identificar tendencias temporales. Se estimó la precipitación máxima para períodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años. La mesorregión Sudoeste presentó los mayores valores mínimo (29,56 mm), promedio (58,22 mm) y máximo (156,44 mm) de precipitación máxima diaria anual. Para un período de retorno de 2 años, la mayor estimación se observó en el sur de la mesorregión Pantanais, con 66,80 mm. Los resultados contribuyen a la planificación urbana, la gestión de los recursos hídricos y las estrategias de seguridad hídrica.
Palabras clave: Eventos extremos. Desastres naturales. Gumbel.

Submetido em: 22/07/2025
Aceito para publicação em: 05/09/2026
Publicado em: 10/11/2026

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos de precipitação são definidos como a ocorrência de valores além dos limites extremos superior ou inferior da faixa observada dessa variável (Field *et al.*, 2012). Entre esses eventos, a precipitação máxima é entendida como uma ocorrência extrema, cuja duração e distribuição temporal e espacial apresentam caráter crítico para uma área ou bacia hidrográfica (Bertoni e Tucci, 2015). Atualmente, os eventos extremos de precipitação estão se tornando cada vez mais comuns em diversas partes do globo (*Masson-Delmotte et al.*, 2021). Entre os fatores que contribuem para o aumento de sua frequência e intensidade destacam-se as mudanças climáticas, uma vez que o aumento da temperatura global intensifica o ciclo hidrológico e a capacidade da atmosfera de reter umidade (Gimeno *et al.*, 2022). A ausência de um planejamento eficaz diante de eventos extremos de precipitação pode resultar em perdas de produção agrícola, interrupção do comércio, desabrigamentos e desastres naturais (inundações, erosão do solo, entre outros), com repercussões negativas em diversos setores da sociedade.

No entanto, a falta de estudos abrangentes sobre estimativas de precipitação máxima no estado de Mato Grosso do Sul (MS) é notável, apesar da existência de pesquisas focadas em áreas específicas, como Três Lagoas (Almeida, 2018). O MS está localizado na região Centro-Oeste do Brasil e apresenta um clima predominantemente tropical, com áreas de clima tropical de altitude, marcado por episódios de chuvas intensas durante o verão, que têm se tornado recorrentes (Oliveira *et al.*, 2021). A principal base econômica do estado é o agronegócio, destacando-se a produção de soja, milho e a criação de gado, além de abrigar parte significativa do Pantanal, um dos maiores biomas úmidos do planeta. A vulnerabilidade da região a eventos extremos de precipitação é evidenciada, por exemplo, em 2015, quando 14 cidades no sul do estado decretaram situação de emergência por 180 dias devido a chuvas que ultrapassaram o dobro dos registros históricos em algumas localidades, ocasionando severos impactos nas atividades econômicas e sociais (Mato Grosso do Sul, Decreto "E", Nº 35, de 3 de dezembro de 2015).

Segundo Araújo *et al.* (2008), uma das principais características das chuvas intensas é a irregularidade de sua distribuição no tempo e no espaço. Assim, devido à elevada

variabilidade da precipitação, as distribuições estatísticas têm papel fundamental em seu estudo e análise, permitindo calcular a probabilidade de ocorrência de determinado fenômeno (Musakkir *et al.*, 2023). Entre os modelos comumente utilizados para estimar a precipitação máxima, destaca-se a distribuição de Gumbel (Medeiros *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2021; Abreu *et al.*, 2018), que será utilizada no presente estudo.

No entanto, a escolha do método de distribuição mais adequado depende de fatores regionais, como a variabilidade climática e a topografia, uma vez que esses fatores influenciam os parâmetros da equação. Isso torna relevante a comparação entre modelos de distribuição estatística, já que, segundo Gimeno *et al.* (2022), a análise de valores extremos em escala regional busca identificar modelos adequados a regiões climaticamente homogêneas.

Dispor de estimativas acuradas é fundamental para compreender a intensidade e a frequência com que eventos extremos de chuva podem ocorrer. Essas informações possibilitam um planejamento mais eficaz, seja em relação à infraestrutura, à gestão de recursos hídricos ou à mitigação de riscos. Por exemplo, ao conhecer a magnitude de chuvas extremas associadas a diferentes tempos de retorno, os produtores podem adotar medidas para reduzir perdas no plantio, aspecto especialmente relevante no estado devido à sua atividade econômica. Ademais, essas estimativas orientam o dimensionamento de galerias pluviais ou reservatórios para evitar inundações, além de contribuir para a delimitação de zonas de risco.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo estimar a precipitação máxima diária para diferentes tempos de retorno no estado de Mato Grosso do Sul. Essa modelagem contribuirá para os estudos climáticos e auxiliará na formulação de políticas de segurança hídrica e no planejamento urbano.

2. METODOLOGIA

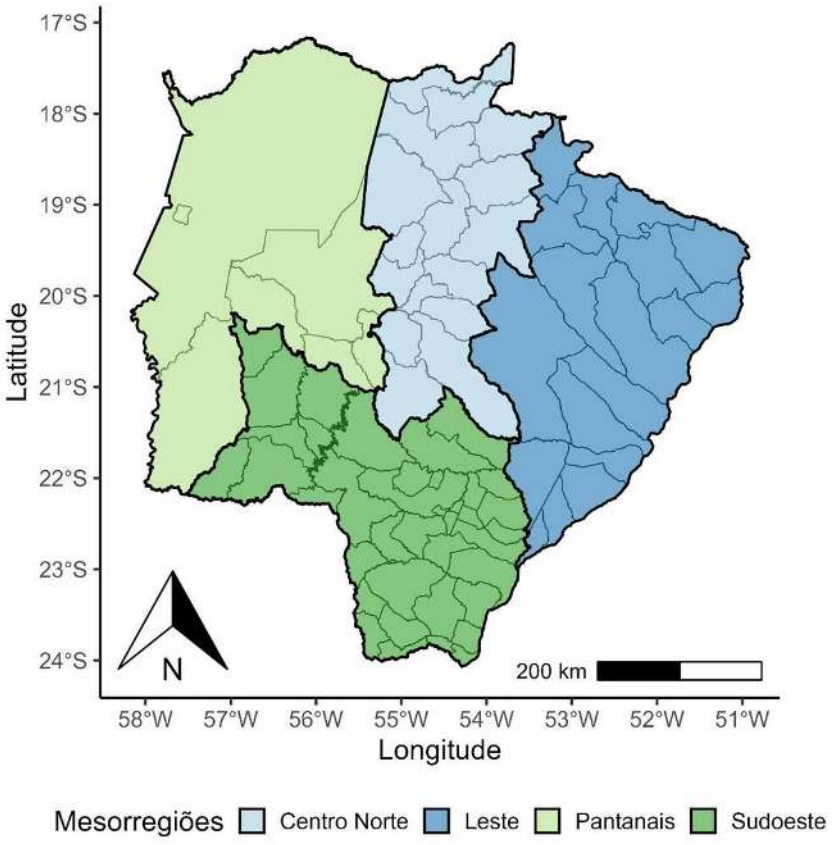
2.1. Área de Estudo

O estado de Mato Grosso do Sul (MS) é uma das 27 unidades federativas do Brasil e está localizado ao sul da região Centro-Oeste. É o sexto maior estado do país em extensão

territorial, com 357.142,01 km², correspondendo a 4,2% da área total do Brasil e a 22,23% da área do Centro-Oeste. Sua população em 2022 era de 2,76 milhões de habitantes, sendo o 21º estado mais populoso do país (IBGE, 2023). A capital e cidade mais populosa é Campo Grande, e outros municípios de destaque são Dourados, Três Lagoas, Corumbá, Ponta Porã, Aquidauana, Nova Andradina e Naviraí.

Os dados utilizados neste estudo abrangem toda a extensão de Mato Grosso do Sul e, adotou-se, para fins de comparabilidade e organização da análise, a antiga divisão do IBGE em mesorregiões geográficas (IBGE, 2017): Centro-Norte, Leste, Sudoeste e Pantanais, que, na divisão regional então vigente, se subdividiam em microrregiões (Figura 1). As mesorregiões reúnem diversos municípios de uma mesma área geográfica, considerando critérios como características sociais, aspectos geográficos e a articulação espacial.

Figura 1 - Divisão territorial do estado de Mato Grosso do Sul em mesorregiões.

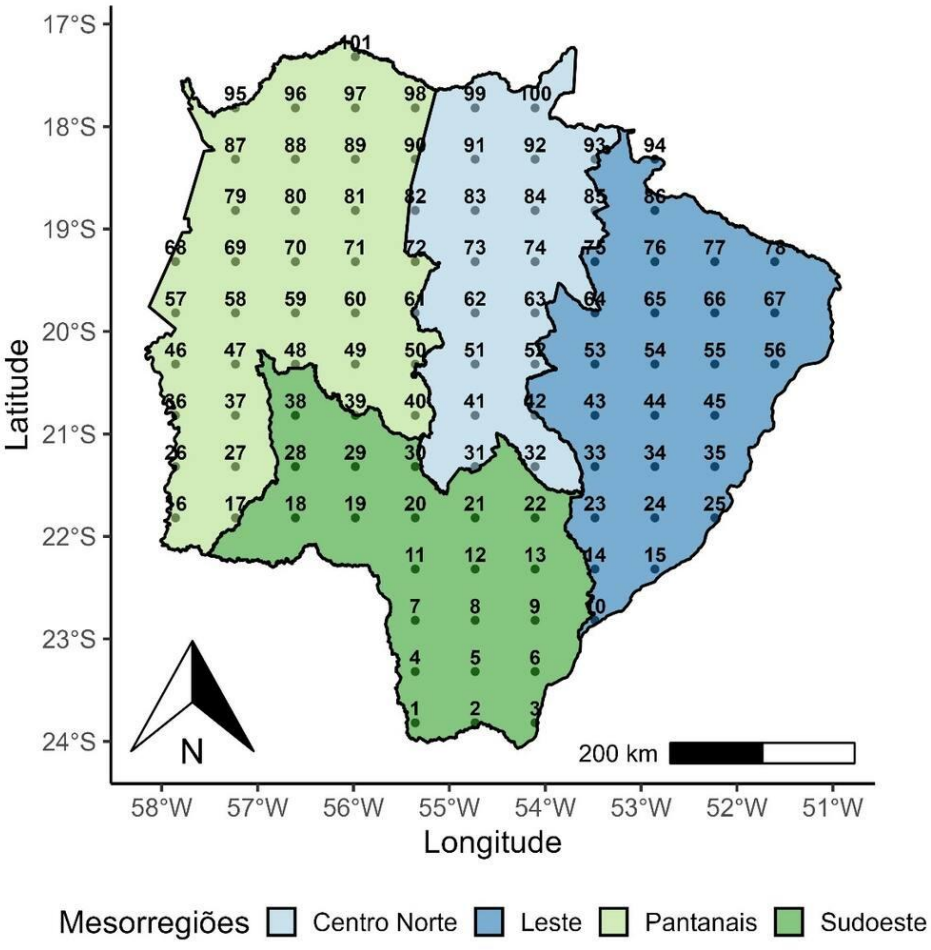


Fonte: Elaboração própria (2025).

2.2. Base de dados

A coleta e a análise dos dados foram realizadas no software R, versão 4.4.1 (R Core Team, 2024). Os dados de precipitação foram extraídos do projeto POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources) da NASA (https://power.larc.nasa.gov/), por meio da função get_power do pacote nasapower 4.2.1 (Sparks, 2018). Essa função trabalha com uma grade de resolução espacial de 0,5° de latitude por 0,625° de longitude; assim, foram definidos 101 centroides de grade na área de estudo (Figura 2). Em seguida, obtiveram-se os dados diários de precipitação para todos os centroides de grade no período de 01/01/1995 a 31/12/2024, totalizando 1.106.758 valores. A partir desses dados, foi elaborada a série de precipitação máxima diária anual em cada centroide de grade.

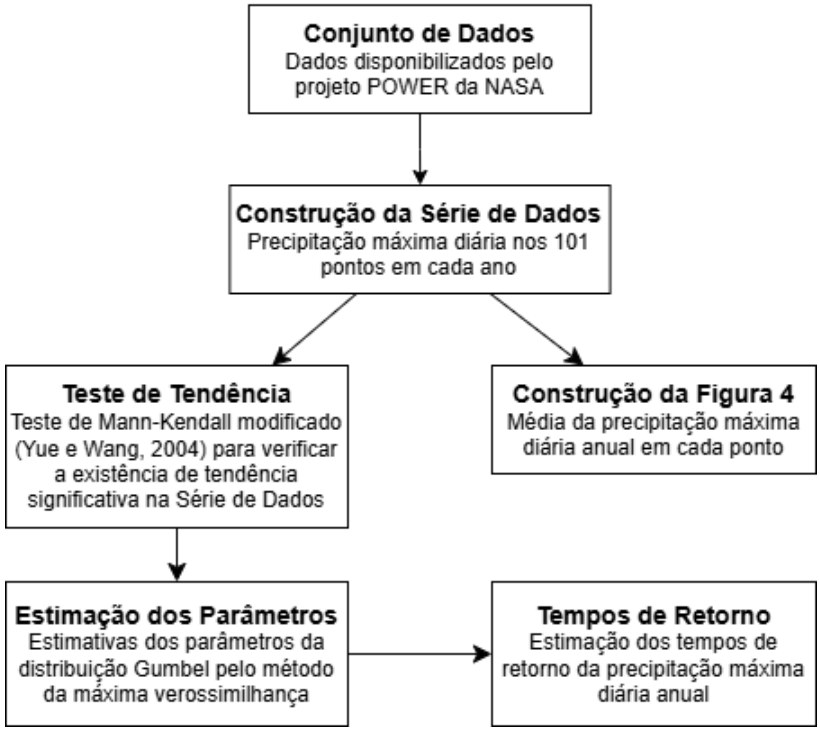
Figura 2 - Grade com resolução espacial de 0,5° × 0,625° abrangendo o estado de Mato Grosso do Sul, com um total de 101 centroides de grade.



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 3 apresenta o fluxograma dos métodos utilizados.

Figura 3 - Fluxograma da série de dados analisada referente à precipitação diária em 101 centroides de grade, no período de 01/01/1995 a 31/12/2024, no estado de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Elaboração própria (2025).

2.3. Distribuição Gumbel

A distribuição Gumbel é um dos modelos de valores extremos mais utilizados no Brasil e foi desenvolvida por Emil Julius Gumbel, em 1958. Essa distribuição é aplicada na modelagem de variáveis associadas a valores extremos de uma amostra e tem sido empregada historicamente na análise de fenômenos climáticos e hidrológicos. A função densidade de probabilidade da distribuição Gumbel é expressa pela Equação (1):

$$f(x;\alpha,\beta) = \frac{1}{\beta}\exp\left\{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right) - \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right]\right\}. \quad (1)$$

Na Equação (1), o termo α representa o parâmetro de locação, cujo domínio é $\alpha \in \mathbb{R}$, e β é o parâmetro de escala, restrito a valores $\beta > 0$.

A função de distribuição acumulada (FDA) da distribuição de Gumbel, apresentada na Equação (2), estima a probabilidade P de ocorrência de uma precipitação máxima menor que um determinado valor x, sendo expressa por:

$$P(X \leq x) = \exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right]\right\}. \quad (2)$$

Assim, a probabilidade P de que ocorra uma precipitação máxima superior a um determinado valor x é estimada pela função complementar da Equação (2), representada pela Equação (3):

$$P(X > x) = 1 - P(X \leq x) = 1 - \exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right]\right\}. \quad (3)$$

A distribuição Gumbel requer que seus parâmetros sejam estimados a partir de amostras. Entre os métodos mais utilizados para esse fim destacam-se o método dos momentos e o método da máxima verossimilhança (MLE), sendo este último o adotado neste trabalho.

2.4. Método de máxima verossimilhança

O método da máxima verossimilhança (MLE) é uma técnica estatística amplamente utilizada para estimar parâmetros de distribuições de probabilidade. O método consiste em encontrar os parâmetros que maximizam a função de verossimilhança (Equação 4), definida como o produto das funções densidade de probabilidade aplicadas às observações da amostra:

$$\mathcal{L}(\theta|x_1, \ldots, x_n) = \prod_{i=1}^{n} f(x_i|\theta). \quad (4)$$

Na prática, utiliza-se com maior frequência o logaritmo da função (Equação 5).

$$\hat{l}(\theta|x_1, \ldots, x_n) = \ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^{n} \ln f(x_i|\theta)\,. \quad (5)$$

Para estimar os valores dos parâmetros, derivam-se as expressões da Equação (5) em relação a cada parâmetro e igualam-se a zero. Segundo Haan (1977) e Assis *et al.* (1996), os estimadores de máxima verossimilhança para a distribuição de Gumbel são definidos pelas Equações (6) e (7).

$$\hat{\alpha} = -\hat{\beta} ln\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \exp\left(\frac{-x_i}{\hat{\beta}}\right)\right], \tag{6}$$

$$\hat{\beta} = \bar{x} - \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \exp\left(\frac{-x_i}{\hat{\beta}}\right)}{\sum_{i=1}^{n} exp\left(\frac{-x_i}{\hat{\beta}}\right)}. \tag{7}$$

2.5. Teste de Mann-Kendall Modificado

O teste de Mann-Kendall é um procedimento não paramétrico utilizado para verificar a existência de tendência estatisticamente significativa em séries temporais. O teste é baseado em duas hipóteses: H_0 (Hipótese nula), não há tendência; e H_A (Hipótese alternativa), há tendência positiva ou negativa.

Se o valor p for inferior ao nível de significância adotado (comumente 0,10, 0,05 ou 0,01), conclui-se que existe evidência estatística de tendência significativa na série. No presente estudo, foi adotado um nível de significância de 0,05. A estatística S do teste de Mann-Kendall é dada pela Equação (8).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_k). \tag{8}$$

Em que a função sinal, sgn(x), é definida por:

$$sgn(x) = \begin{cases} 1 \; se \; x > 0 \\ 0 \; se \; x = 0 \\ -1 \; se \; x < 0 \end{cases} \tag{9}$$

Neste estudo, aplicou-se o teste de Mann-Kendall modificado (Yue e Wang, 2004), desenvolvido para fornecer inferências mais adequadas na presença de autocorrelação serial nas séries temporais. A autocorrelação positiva, comum em séries climáticas, pode reduzir a

variabilidade efetiva dos dados e levar o teste de Mann-Kendall tradicional a identificar tendências quando elas não existem. O teste modificado ajusta a variância da estatística S levando em conta a dependência temporal, preservando o nível de significância nominal e evitando conclusões enviesadas.

2.6. Análise computacional

Os parâmetros de locação e escala da distribuição Gumbel foram obtidos por meio da função fevd do pacote extRemes 2.0 (Gilleland e Katz, 2016), que também ajustou a distribuição e retornou as estimativas de precipitação para diferentes períodos de retorno.

O teste de Mann-Kendall modificado foi aplicado com a função zyp.trend.vector do pacote zyp (Bronaugh e Schoeneberg, 2023) obtendo-se os valores-p. Para a elaboração dos gráficos e manipulação espacial dos dados, foram utilizados os pacotes ggplot2 (Wickham, 2016) e geobr (Pereira e Gonçalves, 2024), ambos do software R (R Core Team, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela (1) resume os dados estatísticos descritivos das precipitações máximas anuais obtidos em cada centroide de grade em um período de 30 anos (1995–2024).

Tabela 1 – Quantidade de centroides de grade analisados por mesorregião e valores mínimo, médio, mediano, desvio padrão e máximo da precipitação diária máxima anual, no período de 1995 a 2024, em Mato Grosso do Sul.

Mesorregião	Centroides (N)	Mínima	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo
Centro-Norte	20	19,40	49,85	47,29	16,80	139,15
Leste	26	21,75	47,17	44,77	15,02	129,40
Pantanais	33	21,99	48,19	45,81	14,70	129,83
Sudoeste	22	29,56	58,22	55,63	16,39	156,44

Fonte: Elaboração própria (2025).

Analisando a Tabela (1), a mesorregião Sudoeste apresentou a maior média de precipitação máxima anual entre as quatro mesorregiões (58,22 mm). As demais regiões apresentaram valores próximos entre si, com médias de 47,17 mm, 48,19 mm e 49,85 mm para Leste, Pantanais e Centro-Norte, respectivamente. Além disso, o Sudoeste também registrou tanto o maior valor máximo (156,44 mm) quanto o maior valor mínimo (29,56 mm) de precipitação máxima anual.

Esses resultados são compatíveis com os registros de desastres apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), que identifica a mesorregião Sudoeste como a mais afetada por eventos extremos, como enxurradas, inundações e alagamentos, respondendo por 33%, 47% e 50% das ocorrências de cada tipo de desastre, respectivamente.

A mesorregião Centro-Norte, embora tenha registrado a menor precipitação mínima (19,40 mm), apresentou valores superiores aos das mesorregiões Leste e Pantanais nos demais parâmetros analisados. Sua precipitação média, mediana e máxima só foi inferior às observadas no Sudoeste, enquanto seu desvio padrão foi o maior entre todas as mesorregiões. As mesorregiões Leste e Pantanais apresentam valores similares entre si, sendo também os menores encontrados no estado.

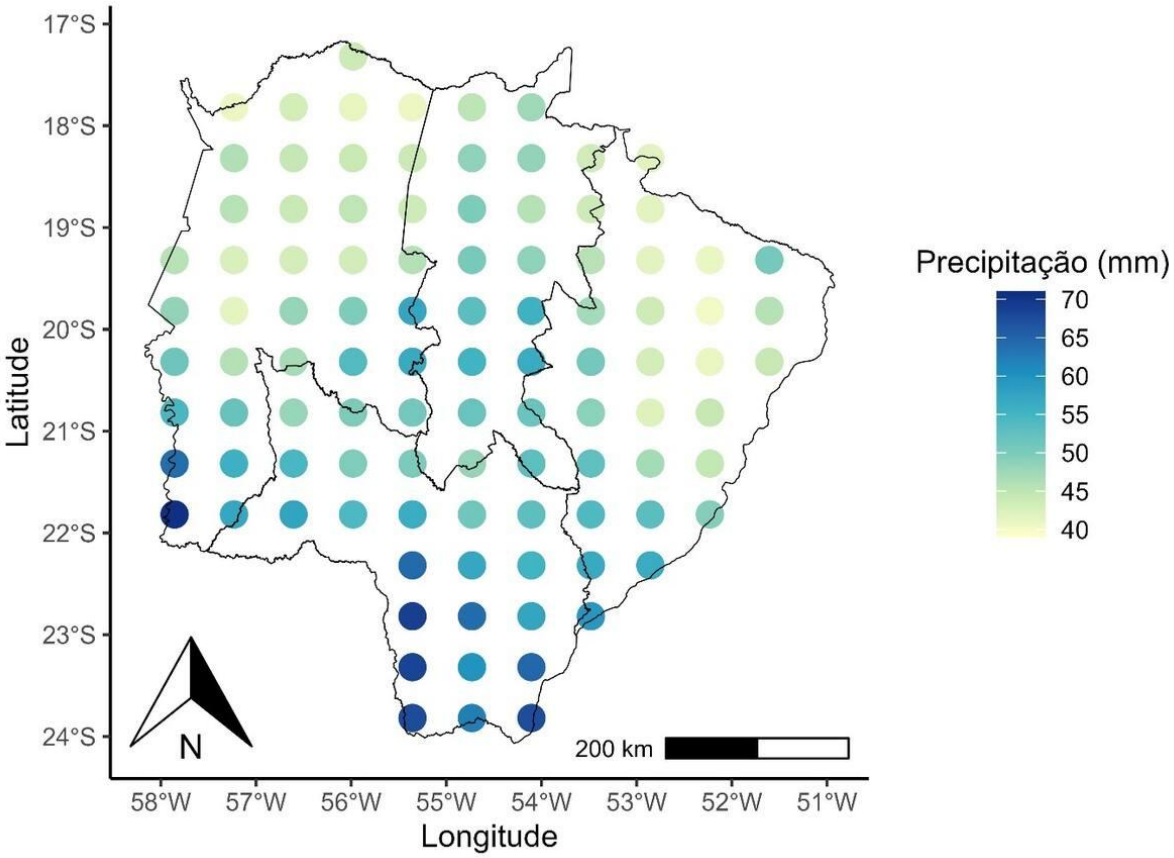
Os dados do Atlas também destacam a mesorregião Centro-Norte como uma das mais afetadas por eventos extremos de enxurradas, respondendo por 35% das ocorrências, enquanto as mesorregiões Leste e Pantanais registraram 18% e 14%, respectivamente (CEPED UFSC, 2013). Entre os municípios, destacam-se Campo Grande e Porto Murtinho, que registraram o maior número desses eventos.

Além disso, outro aspecto a ser observado é a proximidade entre a média e a mediana das precipitações em todas as mesorregiões, sugerindo indícios de que a distribuição dos dados seja simétrica, sem forte influência de valores extremos que pudessem distorcer os resultados.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos valores médios da precipitação máxima diária anual no estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1995 a 2024. Nota-se que os maiores valores médios ocorrem no extremo sul do estado, especialmente na mesorregião

Sudoeste. Também se destaca o sul da mesorregião Pantanais, que apresenta precipitação máxima média de 70,62 mm.

Figura 4 – Distribuição espacial da precipitação máxima diária anual média, de 1995 a 2024, em Mato Grosso do Sul.

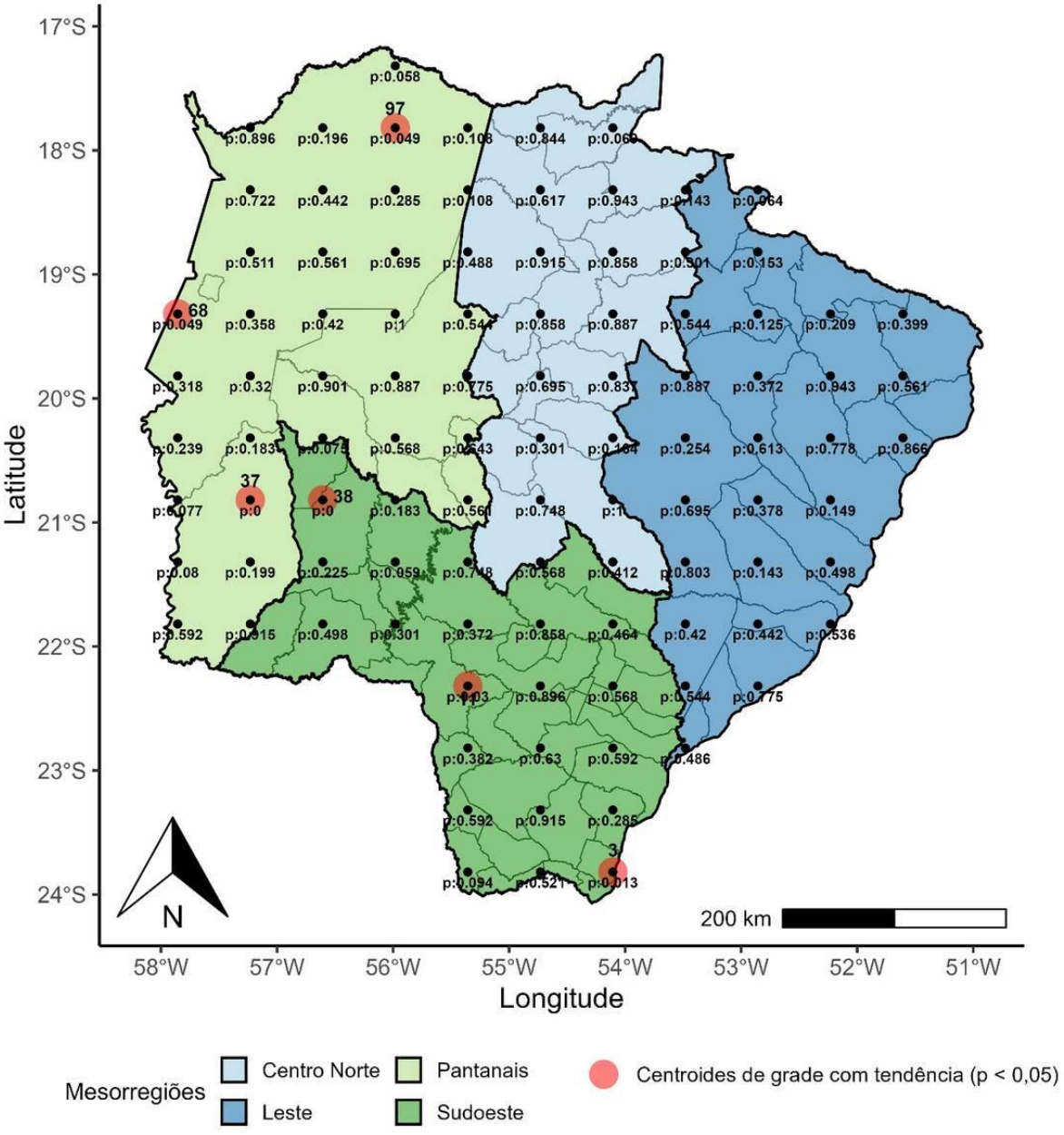


Fonte: Elaboração própria (2025).

As menores médias foram registradas no norte do estado, abrangendo as mesorregiões Leste e Pantanais. Ademais, a região central de Mato Grosso do Sul, especialmente o Centro-Norte, apresentou valores intermediários em comparação às demais regiões. A escala de cores evidencia um aumento progressivo da precipitação máxima diária anual média do norte para o sul do estado, padrão observado por Abreu *et al.* (2021), que, ao analisarem a precipitação acumulada mensal, verificaram redução nas direções leste e oeste, enquanto o sul do Pantanal Sul-Mato-Grossense e a mesorregião Sudoeste concentraram os maiores valores de precipitação.

Para identificar a presença de tendência nas séries de dados, o teste de Mann-Kendall modificado foi aplicado em cada centroide de grade. A Figura (5) apresenta os valores-p do teste.

Figura 5 – Valores-p do teste de Mann-Kendall modificado aplicados às séries de precipitação máxima diária anual, no período de 1995 a 2024, em Mato Grosso do Sul.

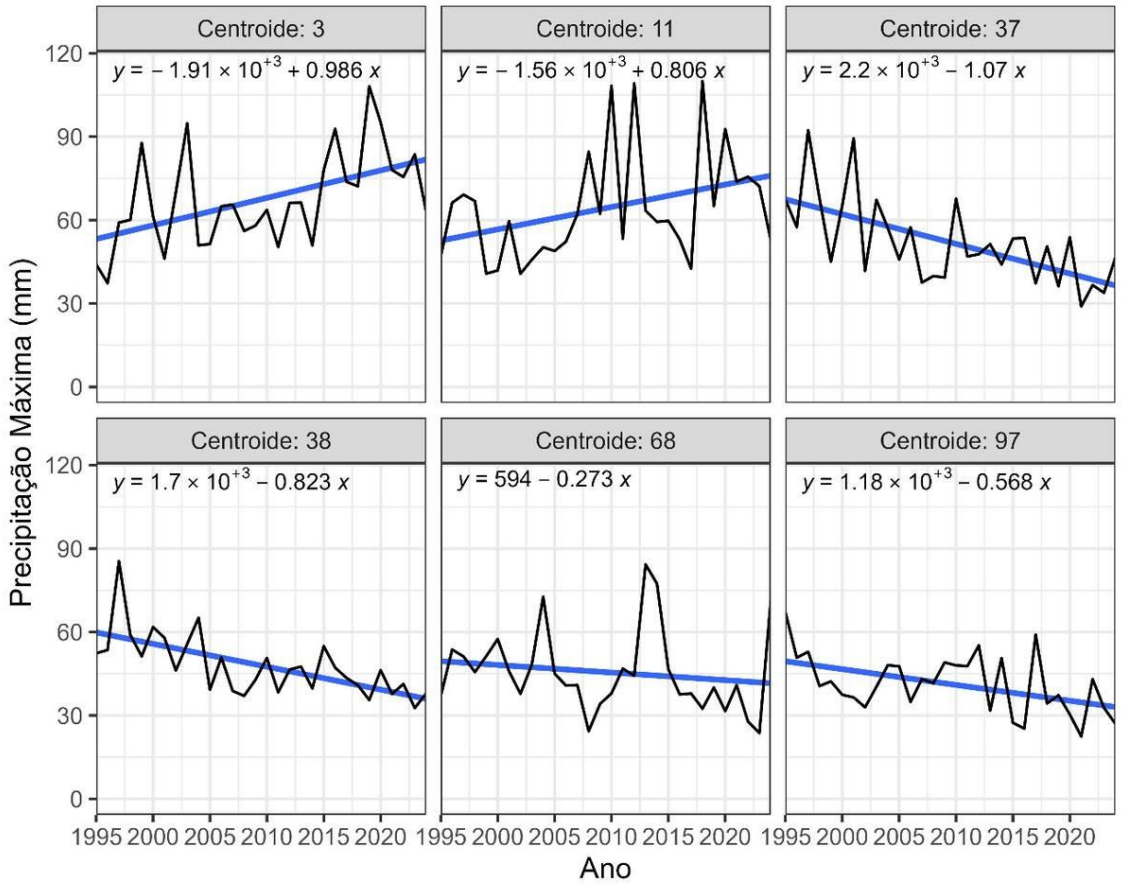


Fonte: Elaboração própria (2025).

Foram identificados seis centroides de grade com tendência significativa: três centroides localizados na mesorregião Sudoeste e três centroides na mesorregião Pantanais. Nota-se que nenhum centroide de grade das mesorregiões Centro-Norte e Leste apresentou tendência.

Para melhor visualização dos resultados do teste de Mann-Kendall modificado, foi elaborado um gráfico para cada uma das séries de dados dos seis centroides de grade que apresentaram tendência (Figura 6), incluindo suas respectivas equações de linha de tendência.

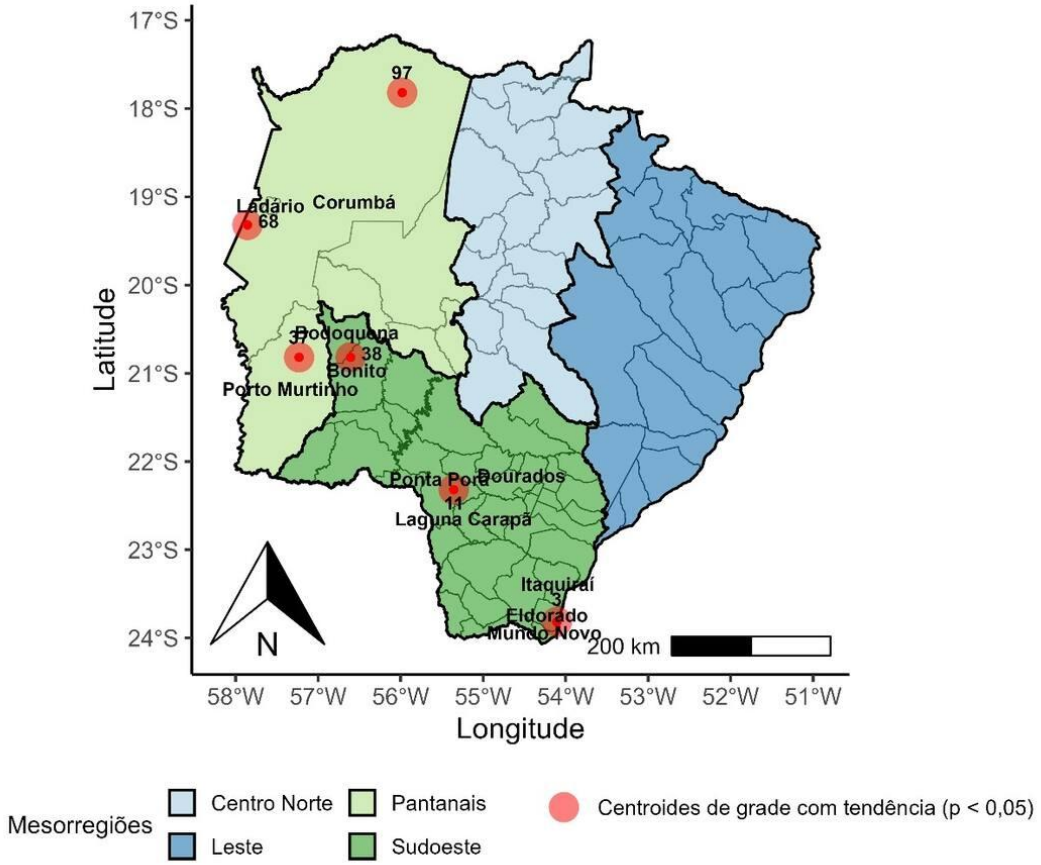
Figura 6 – Séries temporais de precipitação máxima diária anual dos seis centroides de grade que apresentaram tendência no teste de Mann-Kendall modificado, com suas respectivas linhas de tendência.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Além disso, a Figura (7) apresenta os municípios abrangidos por esses centroides. Observou-se que os centroides de grade 37, 38, 68 e 97 apresentaram tendência negativa, enquanto os centroides 3 e 11 apresentaram tendência positiva.

Figura 7 – Municípios do estado de Mato Grosso do Sul abrangidos pelos centroides de grade que apresentaram tendência em sua série de dados pelo teste de Mann-Kendall modificado.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os centroides 68 e 97 estão localizados no município de Corumbá, sendo que o 68 também abrange o município vizinho de Ladário. A área correspondente ao centroide 38 inclui os municípios de Bodoquena, Bonito e Porto Murtinho, enquanto o centroide 37 está restrito ao município de Porto Murtinho. O centroide 11, que apresentou tendência positiva, engloba os municípios de Ponta Porã, Dourados e Laguna Carapã. Por fim, o centroide 3, também com tendência positiva, abrange os municípios de Itaquiraí, Eldorado e Mundo Novo.

Um estudo similar, que avaliou a tendência de séries de dados de estações pluviométricas por meio da correlação de Spearman, identificou tendência temporal nos municípios limítrofes de Iguatemi e Tacuru, ambos englobados pelo centroide 3 (Oliveira *et al.*, 2021). O município de Iguatemi faz fronteira com Eldorado e Itaquiraí, ambos englobados

pelo centroide 3, sendo que Eldorado também foi o município da mesorregião Sudoeste mais afetado por inundações (CEPED UFSC, 2013).

Após a análise da tendência, foram estimados os parâmetros de locação e escala pelo método da máxima verossimilhança, em cada centroide estudado, exceto naqueles que apresentaram efeito de tendência. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros de locação (α) e de escala (β) da distribuição de Gumbel, obtidas pelo método da máxima verossimilhança para cada centroide (ID).

Mesorregião	ID	α	β	Mesorregião	ID	α	β	Mesorregião	ID	α	β
Centro Norte	31	42,65	9,21	Leste	45	39,36	9,50	Pantanais	72	40,36	9,10
Centro Norte	32	45,04	12,32	Leste	53	43,58	11,75	Pantanais	79	38,99	11,35
Centro Norte	41	43,76	13,60	Leste	54	39,28	6,58	Pantanais	80	38,47	9,64
Centro Norte	42	44,72	11,09	Leste	55	37,11	6,90	Pantanais	81	40,66	7,46
Centro Norte	51	46,49	14,44	Leste	56	38,29	9,86	Pantanais	87	39,57	11,00
Centro Norte	52	47,97	13,40	Leste	64	39,65	11,55	Pantanais	88	38,69	10,27
Centro Norte	61	49,68	12,01	Leste	65	38,51	8,15	Pantanais	89	38,82	8,67
Centro Norte	62	44,93	12,79	Leste	66	35,58	6,87	Pantanais	90	39,98	7,37
Centro Norte	63	45,90	15,98	Leste	67	38,72	10,96	Pantanais	95	36,71	7,42
Centro Norte	73	41,82	14,04	Leste	75	38,08	11,90	Pantanais	96	38,24	8,42
Centro Norte	74	39,92	14,45	Leste	76	36,71	8,28	Pantanais	98	36,40	7,62
Centro Norte	82	39,02	7,80	Leste	77	35,87	8,53	Pantanais	101	38,30	9,16
Centro Norte	83	43,70	10,54	Leste	78	41,60	14,20	Sudoeste	1	60,02	11,82
Centro Norte	84	39,14	11,82	Leste	86	37,14	8,38	Sudoeste	2	56,27	9,33
Centro Norte	85	37,85	10,95	Leste	94	37,91	7,19	Sudoeste	4	60,91	12,40
Centro Norte	91	43,00	10,26	Pantanais	16	60,22	17,96	Sudoeste	5	53,45	10,80
Centro Norte	92	42,40	10,90	Pantanais	17	50,17	12,35	Sudoeste	6	58,21	12,01
Centro Norte	93	38,74	9,21	Pantanais	27	48,34	12,76	Sudoeste	7	59,79	13,84
Centro Norte	99	39,71	10,42	Pantanais	36	46,10	14,86	Sudoeste	8	55,55	12,13
Centro Norte	100	41,53	10,01	Pantanais	40	45,52	9,45	Sudoeste	9	51,68	9,92
Leste	10	51,68	12,64	Pantanais	46	43,76	13,01	Sudoeste	12	50,62	10,50
Leste	14	49,53	12,13	Pantanais	47	41,12	8,40	Sudoeste	13	48,61	11,88
Leste	15	49,03	12,60	Pantanais	48	41,79	9,30	Sudoeste	18	51,10	11,75
Leste	23	47,64	11,36	Pantanais	49	48,64	8,89	Sudoeste	19	48,06	10,75
Leste	24	46,95	11,46	Pantanais	50	49,59	12,82	Sudoeste	20	50,10	10,45
Leste	25	43,53	10,69	Pantanais	57	41,32	11,89	Sudoeste	21	45,91	8,89
Leste	26	55,03	16,27	Pantanais	58	37,23	7,75	Sudoeste	22	47,01	10,79
Leste	33	46,06	10,64	Pantanais	59	42,05	10,92	Sudoeste	28	48,40	11,17
Leste	34	42,14	9,74	Pantanais	60	43,58	10,76	Sudoeste	29	45,01	8,28
Leste	35	39,79	9,05	Pantanais	69	37,66	8,80	Sudoeste	30	44,99	8,69
Leste	43	41,91	11,31	Pantanais	70	37,63	9,94	Sudoeste	39	45,17	8,53
Leste	44	37,69	8,70	Pantanais	71	38,56	8,59				

Fonte: Elaboração própria (2025).

As maiores estimativas do parâmetro de locação (acima de 56 mm), que podem indicar médias mais elevadas de precipitação máxima, foram registradas nos centroides de grade 1, 2, 4, 6, 7 e 16, todos situados no sul do estado. Os centroides 1, 2, 4, 6 e 7 estão localizados no sul da mesorregião Sudoeste, enquanto o centroide de grade 16 situa-se no sul da mesorregião Pantanais.

Por outro lado, as menores estimativas de locação foram observadas nos centroides 66, 76, 77, 95 e 98, todos com valores inferiores a 37 mm. Esses locais estão distribuídos entre o leste da mesorregião Leste e o norte da mesorregião Pantanais.

As maiores variabilidades da precipitação máxima podem ser identificadas pelos valores mais altos do parâmetro de escala. Os centroides de grade 16, 26 e 63 apresentaram estimativas de escala superiores a 15 mm, sendo que os dois primeiros estão no sul da mesorregião Pantanais e o último, no centro da mesorregião Centro-Norte. Em contrapartida, os centroides 54, 55, 66, 81, 90, 94 e 95 apresentaram baixas estimativas de escala, inferiores a 7,5 mm. Entre eles, dois localizam-se no norte da mesorregião Pantanais e os demais, na mesorregião Leste (Tabela 2). A identificação 16 se destaca por apresentar, simultaneamente, alta estimativa de locação e alta estimativa de escala. Em contraste, os centroides 66 e 95 registraram tanto as menores estimativas de locação quanto de escala.

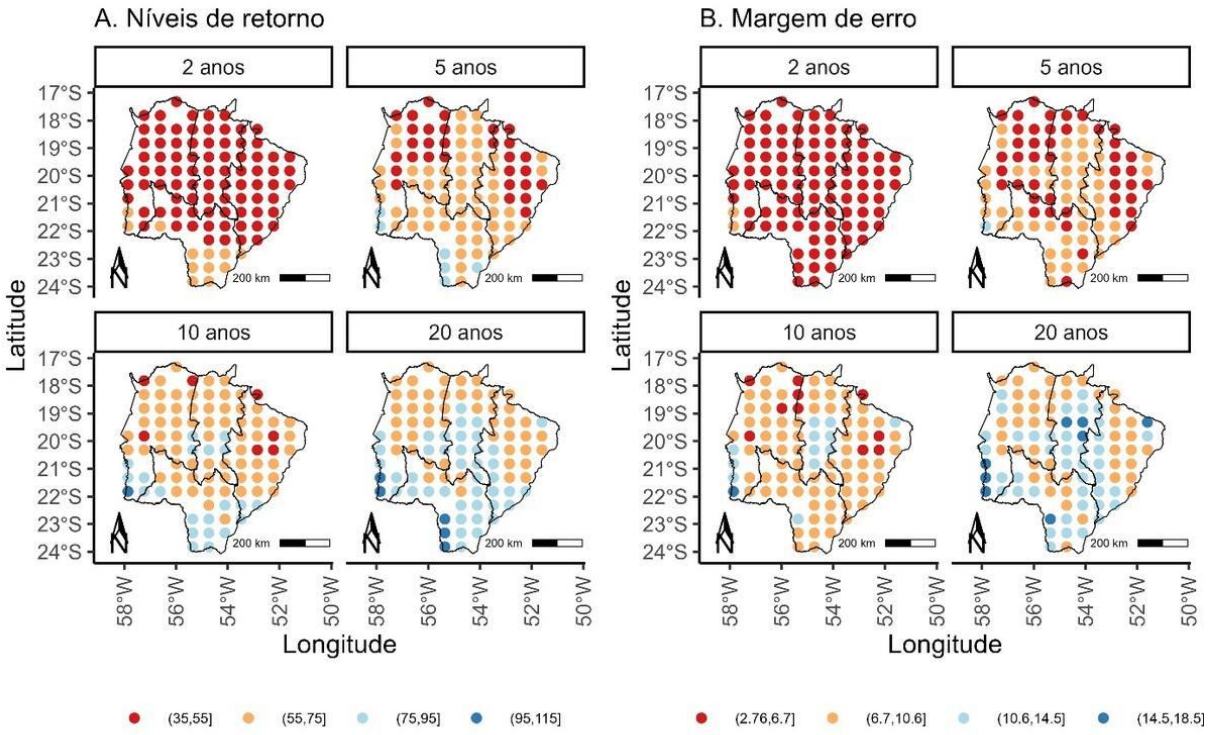
Um estudo semelhante, conduzido em 238 estações pluviométricas localizadas no estado da Paraíba, analisou 27 anos de dados de precipitação máxima diária, e encontrou estimativas dos parâmetros de locação entre 3,9 e 68,0 mm, e de escala entre 10 e 30 mm (Souza *et al.*, 2022b). Cabe ressaltar, no entanto, que existem diferenças climáticas entre os estados da Paraíba e de Mato Grosso do Sul, o que limita comparações diretas.

Para as séries históricas sem tendência, o teste de Kolmogorov–Smirnov apresentou valores-p superiores a 5% em todos os casos, indicando a adequação da distribuição Gumbel aos dados de precipitação máxima anual. No Brasil, a distribuição Gumbel tem sido amplamente aplicada a dados pluviométricos em diferentes contextos. Um estudo que determinou a equação de Intensidade–Duração–Frequência (IDF) para dados de chuva máxima diária anual no município de Itapeva, São Paulo, utilizou a distribuição Gumbel (Capazzoli *et al.,* 2025). Em outra pesquisa, sobre as chuvas máximas diárias mensais em João

Pessoa, Paraíba, verificou-se que a distribuição Gumbel apresentou melhor ajuste em comparação à GEV em nove dos doze meses do ano (Souza *et al.*, 2022a). Além disso, a distribuição Gumbel, ajustada pelo método da máxima verossimilhança, também se mostrou adequada para modelar dados de chuva máxima diária no município de Dourados, Mato Grosso do Sul (Medeiros *et al.,* 2024).

A Figura (8) apresenta os níveis de retorno estimados (painel A) e as respectivas margens de erro (painel B), obtidas por meio de intervalos de confiança de 95% para os centroides de grade de Mato Grosso do Sul, considerando as séries históricas de chuva sem tendência.

Figura 8 – Mapas dos níveis de retorno (A) e das respectivas margens de erro (B) da precipitação máxima diária anual (mm) para os centroides de grade do estado de Mato Grosso do Sul, considerando as séries históricas sem tendência. Cada painel apresenta os resultados para diferentes tempos de retorno (2, 5, 10 e 20 anos).



Fonte: Elaboração própria (2025).

A maior precipitação máxima estimada para um tempo de retorno de 2 anos foi observada na mesorregião Pantanais (Figura 8A), com valor de 66,80 mm (centroide 16) e

margem de erro de 7,6 mm, a 95% de confiança. Isso significa que há uma probabilidade anual de 50% de ocorrência de uma precipitação diária que supere 66,80 mm. A mesma interpretação pode ser aplicada aos demais tempos de retorno: para 5 anos, existe uma probabilidade anual de 20% de ocorrência de uma precipitação que supere o valor estimado; para 10 anos, essa probabilidade é de 10%; e, para 20 anos, corresponde a 5% ao ano.

As margens de erro associadas aos níveis de retorno (Figura 8B) também apresentaram forte contraste espacial entre as mesorregiões. A região Centro-Norte apresentou amplas margens de incerteza, principalmente para os períodos de retorno mais longos, refletindo maior variabilidade interanual dos eventos extremos e maior sensibilidade do ajuste da distribuição Gumbel a valores muito altos. Nos Pantanais, as margens de erro foram moderadas, embora aumentem significativamente nos horizontes de 20 anos, sugerindo maior dificuldade em extrapolar a distribuição de extremos em áreas onde a variabilidade hidrometeorológica é elevada. Na mesorregião Leste, a incerteza foi relativamente baixa e homogênea, indicando menor amplitude da incerteza das estimativas.

A Tabela 3 apresenta os valores estimados de precipitação máxima diária para diferentes tempos de retorno (2, 5, 10 e 20 anos), obtidos a partir do ajuste do modelo Gumbel estacionário às séries de máximos anuais associadas aos centroides de grade do estado de Mato Grosso do Sul, considerando apenas aqueles em que não foi detectada tendência temporal. Para cada tempo de retorno, foram estimados os níveis de retorno individualmente em cada centroide, totalizando 95 valores por período. Em seguida, esses valores foram agregados por mesorregião, sendo reportados os menores e maiores níveis de retorno observados dentro de cada mesorregião, com o objetivo de representar a amplitude espacial dos extremos de precipitação estimados em cada região.

Tabela 3 – Estimativas da precipitação máxima (mm) para tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos, por mesorregião de Mato Grosso do Sul, considerando os centroides sem tendência.

Mesorregião	Precipitação Máxima	Tempo de retorno			
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos
Centro Norte	Máxima	54,1	69,9	81,9	93,4
	Mínima	41,9	50,7	56,6	62,2
Leste	Máxima	56,3	70,6	80,1	89,2

Mesorregião	Precipitação Máxima	Tempo de retorno			
		2 anos	5 anos	10 anos	20 anos
	Mínima	38,1	45,9	51,1	56,0
Pantanais	Máxima	66,8	87,2	100,6	113,6
	Mínima	39,2	47,8	53,4	58,8
Sudoeste	Máxima	65,5	80,6	90,9	100,9
	Mínima	48,0	57,4	63,6	69,6

Fonte: Elaboração própria (2025).

Em todos os tempos de retorno analisados, a mesorregião Pantanais registrou os maiores valores máximos da estimativa da precipitação. A mesorregião Sudoeste também se destacou, apresentando a segunda maior estimativa de precipitação máxima e a maior estimativa de precipitação mínima, entre todas as mesorregiões. As mesorregiões Centro-Norte e o Leste exibiram novamente resultados bastante similares entre si, tanto nas estimativas máximas quanto nas mínimas.

Esses resultados se assemelham aos encontrados por Medeiros et al. (2024), que estimaram os níveis de retorno das chuvas máximas diárias em Dourados/MS, município localizado na mesorregião Sudoeste. Segundo Medeiros *et al.* (2024), para um período de retorno de 5 anos, a estimativa da precipitação máxima foi de 68 mm; para 10 anos, foi de 83,6 mm; e, para 20 anos, de 98,5 mm. Para toda a mesorregião Sudoeste, as estimativas encontradas foram de 80,8 mm para 5 anos, 91,4 mm para 10 anos e 101,6 mm para 20 anos.

A análise dos modelos Gumbel não estacionários indicou comportamentos distintos entre as mesorregiões Sudoeste e Pantanais (Tabela 4). No Sudoeste, os centroides 3, 11 e 38 apresentaram valores iniciais de locação relativamente elevados (α_0 entre 52,6 e 77,6 mm), acompanhados de tendências positivas nos centroides 3 e 11 (α_1 = 0,00173 e 0,00155, respectivamente), sugerindo um leve crescimento dos extremos ao longo do tempo, enquanto o centroide 38 exibiu tendência negativa (α_1 = −0,01708), indicando redução gradual da intensidade anual das precipitações extremas. Já na mesorregião Pantanais, os centroides 37, 68 e 97 mostraram locações iniciais moderadas (α_0 entre 38,5 e 54,8 mm), com tendências negativas (α_1 variando de −0,00114 a −0,00474), refletindo um comportamento de declínio

nas máximas anuais. Em todos os pontos analisados, os valores-p do teste KS (0,80–0,99) indicam aderência do modelo ajustado ao nível de 5% de significância.

Tabela 4 – Parâmetros estimados do modelo Gumbel não estacionário para os centroides que apresentaram tendência significativa nas séries de precipitação máxima anual. A coluna Locação (α_0) representa o nível médio inicial dos extremos; Locação (tendência) (α_1) indica a variação anual da locação; Escala (β) expressa a variabilidade dos eventos extremos; e Valor p do teste de aderência de Kolmogorov–Smirnov.

ID	Mesorregião	Locação	Locação (tendência)	Escala	Valor p
3	Sudoeste	56,21691	0,00173	14,18863	0,99750
11	Sudoeste	52,58859	0,00155	13,96942	0,92605
37	Pantanais	54,81799	-0,00474	11,41292	0,99242
38	Sudoeste	77,61159	-0,01708	7,82754	0,96777
68	Pantanais	47,50928	-0,00423	11,03132	0,85722
97	Pantanais	38,51498	-0,00114	9,33206	0,80065

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a precipitação máxima diária anual foi modelada em 101 centroides de grade no estado de Mato Grosso do Sul, no período de janeiro de 1995 a dezembro de 2024. Os resultados indicaram que as maiores médias de precipitação máxima ocorrem no sul do estado, na mesorregião Sudoeste e no extremo sul da mesorregião Pantanais. A análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall modificado identificou seis centroides com tendência significativa, sendo quatro com tendência negativa (centroides 37, 38, 68 e 97) e dois com tendência positiva (centroides 3 e 11).

Os parâmetros da distribuição de Gumbel, estimados pelo método da máxima verossimilhança, foram comparados com estudo semelhante em outra região do Brasil, evidenciando a recorrência dessa abordagem na modelagem da precipitação máxima.

As estimativas dos níveis de retorno para períodos de 2, 5, 10 e 20 anos destacaram novamente as mesorregiões Sudoeste e Pantanais como aquelas com os maiores valores de precipitação. Os resultados encontrados são relevantes e podem contribuir para futuros estudos climáticos, para a formulação de políticas de segurança hídrica e para o planejamento urbano.

Embora os dados do projeto POWER da NASA apresentem reconhecida vantagem por sua continuidade temporal e ausência de falhas, sua resolução espacial relativamente ampla (0,5° × 0,625°) pode suavizar eventos convectivos intensos, o que constitui uma limitação importante quando se analisa precipitação extrema diária. No entanto, no contexto específico de Mato Grosso do Sul, o uso de séries pluviométricas de referência da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) também apresenta fragilidades significativas, incluindo a baixa densidade de estações no estado, a distribuição espacial irregular e a presença de extensos períodos com falhas ou descontinuidades nos registros. Esses fatores dificultam a construção de um banco de dados observacional consistente para validação direta e reduzem a confiabilidade de metodologias de correção de viés, especialmente nos percentis mais elevados. Assim, reconhece-se que as estimativas apresentadas neste estudo estão sujeitas às limitações inerentes às bases de dados disponíveis, reforçando a necessidade de cautela na interpretação dos resultados e de futuros esforços para ampliar e qualificar as redes observacionais no estado.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C. *et al.* Comparison and validation of trmm satellite precipitation estimates and data observed in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 27, p. 566–589, 2021. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68569. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14285. Acesso em: maio. 2025.

ABREU, M. C. *et al.* Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 33, n. 4, p. 601–613, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786334004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/QxtMzCdDRJC56PKybbtTGKt/?lang=pt. Acesso em: 4 fev. 2025.

ALMEIDA, D. P. **Comportamento das precipitações no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, no período de 1983 a 2015**. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Pinto. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2018. Disponível em: https://ppggeografiacptl.ufms.br/files/2021/04/COMPORTAMENTO-DAS-PRECIPITA%C3%87%C3%95ES-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-TR%C3%8AS-LAGOAS-MATO-GROSSO-DO-SUL-NO-PER%C3%8DODO-DE-1983-A-2015-DANILO-PINHO-DE-ALMEIDA.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

ARAÚJO, L. E. *et al.* Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000200005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/FSVpjkvPkkKcXhYKmgzz3kC/?lang=pt. Acesso em: 6 fev. 2025.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. 1. ed. Pelotas: Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161 p.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2015. p. 177-241.

BRONAUGH, D.; SCHOENEBERG, A. ***zyp: Zhang + Yue-Pilon Trends Package***. 2023. DOI: https://doi.org/10.32614/CRAN.package.zyp.

CAPAZZOLI, C. R.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias): estação pluviométrica Itapeva, 02348031 (ANA) e E5-045 (DAEE), município Itapeva, SP**. Serviço Geológico do Brasil, 2025.

CEPED. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991–2012**. Volume Mato Grosso do Sul. 2. ed. Florianópolis: Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisa sobre Desastres, 2013. Disponível em: https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/. Acesso em: 10 jun. 2025.

COSTA, A. S. *et al.* Algoritmo de machine learning para mapeamento das chuvas extremas em uma Região do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 34, n. 20, p. 288–305, 2024. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.17378. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17378. Acesso em: 4 fev. 2025.

FIELD, C. B. *et al.* Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Cambridge University Press**, 2012. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/. Acesso em: 6 fev. 2025.

GILLELAND, E.; KATZ, R. W. **extRemes 2.0: an extreme value analysis package in R.** Journal of Statistical Software, v. 72, n. 8, p. 1-39, 2016. DOI: https://doi.org/10.18637/jss.v072.i08. Disponível em: https://www.jstatsoft.org/article/view/v072i08. Acesso em: 6 maio 2025.

GIMENO, L. *et al.* Extreme precipitation events. **WIREs Water**, vol. 9, n° 6, p. e1611, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/wat2.1611. Disponível em: https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1611. Acesso em: 5 fev. 2025.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: Iowa State University Press, 1977. 378 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017**. Rio de Janeiro:

IBGE, 2017. 82 p. ISBN 978-85-240-4418-2. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf. Acesso em: 06 nov. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: população e domicílios – primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: 6 nov. 2026.

MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* 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**, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 6 fev. 2025

MATO GROSSO DO SUL. Decreto "E" n. 35, de 3 de dezembro de 2015. *Declara Situação de Emergência nas áreas dos Municípios de Tacuru, Naviraí, Itaquiraí, Aral Moreira, Coronel Sapucaia, Amambai, Iguatemi, Sete Quedas, Paranhos, Caarapó, Juti, Novo Horizonte do Sul, Japorã e Eldorado, afetadas por desastre, classificado e codificado como chuvas intensas - 1.3.2.1.4, conforme IN/MI 01/2012.* **Diário Oficial Estado do Mato Grosso do Sul**: Campo Grande, MS, n. 9.059, p. 3, 4 dez. 2015. Disponível em: https://www.spdo.ms.gov.br/diariodoe/Index/Download/DO9059_04_12_2015. Acesso em: 8 fev. 2025.

MEDEIROS, E. S. *et al.* Estimação de nível de retorno da precipitação máxima diária no município de Jataí, Goiás. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.41, e36, p. 01-08, 2019. DOI: https://doi.org/10.5902/2179460X35639. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/35639/pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

MEDEIROS, E. S. *et al.* Modelagem das chuvas máximas diárias em Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 35, n. 20, p. 65–79, 2024. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.17810. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17810. Acesso em: 20 maio 2025.

MUSAKKIR, N. A. *et al.* Stochastic Model of the Annual Maximum Rainfall Series Using Probability Distributions. **Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 19, n. 5, p. 827–839, 2023. DOI: https://doi.org/10.11113/mjfas.v19n5.2945. Disponível em: https://mjfas.utm.my/index.php/mjfas/article/view/2945. Acesso em: 6 fev. 2025.

OLIVEIRA, C. C. *et al.* EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E O RISCO DE FALHA ASSOCIADO EM PROJETOS HIDRÁULICOS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, BRASIL. **MIX Sustentável**, *[S. l.]*, v. 7, n. 2, p. 147–160, 2021. DOI: https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.147-160. Disponível em: https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4379. Acesso em: 5 fev. 2025.

PEREIRA, R.; GONCALVES, C. **geobr: Download Official Spatial Data Sets of Brazil**. R package version 1.9.1, 2024. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=geobr. Acesso em: 15 fev. 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 18 out. 2024.

SOUZA, L. S. *et al*. Modeling the maximum daily rainfall in the municipality of João Pessoa-PB, Brazil, using the Extreme Value Theory. **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 30, n. 18, p. 488–503, 2022a. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14886.

SOUZA, L. S. et al. Modelagem Espacial de Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Meteorologia, v.37, n.3, p. 373-383, 2022b. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863730059. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/Cy4scrZYHhsSd5cBGRkQ5RF/?lang=pt. Acesso em: 3 jun. 2025.

SPARKS, A. H. nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R. **Journal of Open Source Software**, v. 3, n. 30, p. 1035, 2018. DOI: https://doi.org/10.21105/joss.01035. Disponível em: https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01035. Acesso em: 6 nov. 2024.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. **Springer-Verlag New York**. ISBN 978-3-319-24277-4, 2016. Disponível em: https://ggplot2.tidyverse.org. Acesso em: 25 fev. 2025.

YUE, S.; WANG, C. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. **Water Resources Management**, v. 18, p. 201–218, 2004. DOI: https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60.