Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ANÁLISE E MODELAGEM DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO BIOMA PANTANAL

Analysis and modeling of extreme precipitation events in the Pantanal biome

Análisis y modelado de extremos de precipitación en el bioma Pantanal

Andreza dos Santos Silva Araújo
Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
andreza1512@gmail.com

Resumo: Este trabalho tem como objetivo modelar extremos de precipitação no bioma Pantanal, a partir de dados de precipitação diária das cidades de Cáceres-MT e Nhecolândia-MS, situadas no Pantanal Norte e no Pantanal Sul, respectivamente, e estimar os níveis e período de retorno. Para isso foi utilizada a Distribuição Generalizada de Pareto (GPD), com o limiar baseado no percentil 95. A modelagem foi feita em períodos sazonais para as duas localidades. Por meio dos resultados foi possível observar que os maiores eventos extremos de precipitação ocorreram no verão, período chuvoso da região. Observou-se também a ocorrência de precipitação com valores acima de 120 mm para os anos 1999, 2003, 2005, 2010 em Cáceres, e durante os anos de 2001, 2017, 2018 em Nhecolândia. A partir dos níveis e tempo de retorno é esperado no verão em Cáceres, que pelo menos uma vez a precipitação máxima diária em um período de 10 anos seja igual ou ultrapassem 113,63 mm. Enquanto em Nhecolândia espera-se que pelo menos uma vez a precipitação máxima diária seja maior ou igual a 102,72 mm.

Palavras-chave: Probabilidade. Períodos de retorno. Distribuição de Valores Extremos.

Abstract: This study focuses on modeling extreme precipitation events in the Pantanal biome using daily precipitation data from the cities of Cáceres in Mato Grosso, and Nhecolândia in Mato Grosso do Sul, situated in the Northern and Southern Pantanal, respectively. In this regard, the Generalized Pareto Distribution (GPD) was employed with a threshold based on the 95th percentile in order to estimate the levels and return periods of these climatic events. Modeling was conducted in seasonal periods for both locations. Results indicate that the most significant extreme precipitation events occurred during the summer, the region's rainy season. Precipitation values exceeding 120 mm were observed in 1999, 2003, 2005, and 2010 in Cáceres, as well as in 2001, 2017, and 2018 in Nhecolândia. Anticipating future events, it is expected that, during the summer in Cáceres, the maximum daily precipitation in a 10-year period will be equal to or exceed 113,63 mm at least once. Meanwhile, in Nhecolândia, it is projected that the maximum daily precipitation will be greater than or equal to 102,72 mm at least once.
Keywords: Probability. Return Periods. Extreme Value Distribution.

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo modelar extremos de precipitación en el bioma Pantanal, a partir de datos de precipitación diaria de las ciudades de Cáceres-MT y Nhecolândia-MS, localizadas en el Pantanal Norte y en el Pantanal Sur, respectivamente, y estimar los niveles y período de regreso. Para ello se utilizó la distribución Generalizada de Pareto (GPD), con el umbral basado en el percentil 95. El modelado se realizó en períodos estacionales para ambas localidades. Por medio de los resultados, fue posible observar que los mayores eventos extremos de precipitación ocurrieron en el verano, período lluvioso de la región. Se observó también la ocurrencia de precipitación con valores superiores a 120 mm para los años 1999, 2003, 2005 y 2010 en Cáceres, y durante los años 2001, 2017 y 2018 en Nhecolândia. A partir de los niveles y tiempo de regreso, se espera que, en el verano en Cáceres, al menos una vez la precipitación máxima diaria en un período de 10 años sea igual o superior a 113,63 mm. Por otro lado, en Nhecolândia se espera que al menos una vez la precipitación máxima diaria sea mayor o igual a 102,72 mm.
Palabras clave: Probabilidad. Períodos de Retorno. Distribución de Valores Extremos.

Submetido em: 27/05/2025
Aceito para publicação em: 19/08/2026
Publicado em: 10/11/2026

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é o elemento meteorológico que mais influencia as condições ambientais e o mais importante dentro do ciclo hidrológico (PEREIRA *et al*., 2013). Entretanto, existem fatores que podem provocam alterações no regime de precipitação, como os desmatamentos, a urbanização desenfreada e a emissão de gases poluentes para a atmosfera, considerados fatores antropogênicos, além da intensificação da atividade solar e de fenômenos naturais, como El Niño e La Niña (MARENGO, 2010).

Desse modo, nos últimos anos a frequência de eventos extremos tem aumentado, apresentando maior intensidade e duração, o que favorece a ocorrência de desastres naturais como inundações e secas severas (MARENGO *et al*., 2010; FU et al., 2013; SONG *et al*., 2015). Em relação aos recursos hídricos e às atividades socioeconômicas, em especial aquelas relacionadas ao setor agrícola, o estudo da precipitação torna-se essencial (MORAES *et al*., 2005). O bioma Pantanal possui grande relevância socioeconômica para o país, sendo a agropecuária uma de suas principais atividades econômica. Entretanto, essa prática contribui significativamente para o aumento do desmatamento e das queimadas na região (PEREIRA, *et al*., 2007 e MORAES *et al*., 2009).

Portanto, a análise do padrão das chuvas nesse bioma é importante para a produção de gado de corte, pois a quantidade e a distribuição da precipitação ao longo do ano condicionam a maior ou menor disponibilidade de pastagens para o gado (SORIANO *et al.,* 2015). Além disso, essa análise contribui o planejamento do uso da terra, a conservação da biodiversidade e a prevenção de impactos associados aos eventos extremos de precipitação. As climáticas estão alterando os padrões de temperatura e precipitação e contribuindo para o aumento da variabilidade dos eventos extremos de precipitação, ocasionando inundações e secas mais intensas e frequentes (DUFEK e AMBRIZZI, 2008).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo modelar os extremos de precipitação no bioma Pantanal, utilizando dados de precipitação diária das cidades de Cáceres-MT e Nhecolândia-MS, localizadas no Pantanal Norte e no Pantanal Sul, respectivamente, bem como estimar os níveis e os períodos de retorno associados aos eventos extremos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada são as cidades de Cáceres-MT (16°04' 14''S e 57° 40' 44''W), Nhecolândia (19° 24' 16" S, 57° 02' 85" W), distrito da cidade de Corumbá-MS. Localizadas no Pantanal norte e no Pantanal sul, respectivamente. Cáceres e Nhecolândia constituem duas sub-regiões do Complexo Pantanal, localizado na região central do Brasil. Ambas apresentam clima tropical do tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por um período seco durante o inverno, de junho a setembro, e um período chuvoso no verão, de dezembro a março. A temperatura média anual é de aproximadamente 25°C, enquanto a umidade relativa do ar apresenta média em torno de 82% (MARCUZZO *et al*., 2010).

O Pantanal estende-se pelos países da Bolívia, Paraguai e Brasil. No território brasileiro, o bioma está distribuído nos Estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65% do total). Apresenta paisagens diversificadas e caracteriza-se pela ocorrência de inundações anuais, com períodos úmidos e secos bem definidos (SANTOS *et al.,* 2012; SILVA; ABDON, 1998; BRASIL, 1997).

2.2 Dados

Foram utilizados, neste trabalho, dados de precipitação diária obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de séries históricas disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Foram selecionadas duas estações meteorológicas, sendo uma representativa do Pantanal Norte e outra do Pantanal sul. A primeira corresponde à estação de Nhumirim, localizada em Nhecolândia, distrito de Corumbá, Mato Grosso do Sul, com dados referentes ao período de janeiro de 1993 a dezembro de 2018. A segunda corresponde à estação de Cáceres, no Mato Grosso, com dados referentes ao período de janeiro de 1988 a dezembro de 2013.

As séries apresentavam falhas e foram submetidas ao algoritmo de interpolação Stineman, bem como a testes para verificar se a imputação alteraria as características das séries originais. No repositório CRAN, do programa estatístico RStudio encontra-se

disponível o pacote imputeTS (MORITZ; BARTZ-BEIELSTEIN, 2017). Esse pacote apresenta três métodos de interpolações: Interpolação linear, interpolação spline e interpolação Stineman. No presente trabalho, utilizou-se a interpolação Stineman, método que não gera excessos de picos na série e apresenta baixa tendência à criação de oscilações falsas. A aplicação desse método é através da função na_interpolation.

Após a imputação, os dados foram agrupados em períodos sazonais. Em seguida, foram utilizados os valores dos excedentes determinados a partir de um limiar adotado, de acordo com a metodologia POT (Peaks Over Threshold) e esses valores foram modelados pela Distribuição Generalizada de Pareto (GPD).

2.3 Teoria de valores extremos

A Teoria de Valores Extremos (TEV) analisa o afastamento de pontos extremos em relação à média e tem sido importante nos estudos de eventos que apresentam essa característica (BEIJO e AVELAR, 2010). Essa teoria foi estudada inicialmente por Fisher e Tippett, em 1928, que descreveram três tipos de distribuições: Gumbel, Fréchet e Weibul (OLIVEIRA *et al*., 2010). A TEV permite estimar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos e quantificar de forma estocástica, o comportamento desses eventos (ALMEIDA, 2019).

Na Teoria de Valores Extremos, os eventos extremos incluem estatísticas associadas a excessos acima ou abaixo de limiares altos ou baixos, nos quais o extremo pode ser máximo ou mínimo (OLIVEIRA *et al*., 2020). Dentro da TEV, Destacam-se duas distribuições: a Distribuição de Valores Extremos (GEV) e Distribuição Generalizada de Pareto (GPD).

A GEV utiliza a abordagem de Máximos em Blocos (Block Máxima), na qual as observações são divididas em blocos mensais, anuais, entre outros períodos, sendo extraído de cada bloco valores máximos ou mínimos (SILVA *et al*., 2020). Essa abordagem é a mais conhecida para essa distribuição, entretanto, apresenta como desvantagem a possibilidade de exclusão de valores extremos de um bloco, mesmo que esse valor seja muito mais extremo do que o observado em outro bloco (SILVA *et al*., 2018). Já a GPD utiliza a abordagem POT (*Picks Over Threshold*), cujo ajuste se baseia nos valores que excedem um determinado limiar (SANTOS, 2007).

2.4 Distribuição generalizada de Pareto (GPD)

Em 1975, Pickands elaborou a Distribuição Generalizada de Pareto (GPD), que descreve os excessos acima de um limiar elevado a partir da abordagem POT. A GPD possui sua função de distribuição definida por:

$$F_M\ (\gamma) = 1 - (1 - \xi \frac{\gamma}{\sigma})^{\frac{1}{\xi}}\ , para\ \xi \neq 0 \quad (1)$$

$$F_M\ (\gamma) = 1 - exp(-\frac{\gamma}{\sigma})\ , para\ \xi = 0 \quad (2)$$

Essa distribuição possui dois parâmetros, escala (σ) e forma (ξ). O valor do parâmetro forma determina qual a classe da distribuição, se ξ = 0, a distribuição é exponencial, se ξ > 0 é distribuição de Pareto, se ξ < 0 a distribuição é Beta (SANTOS, 2007). O parâmetro de forma determina o comportamento qualitativo da distribuição. Quando a distribuição for Beta, significa dizer que os excessos possuem um limiar superior. Se a distribuição é de Pareto, a distribuição não possui limiar superior. Por fim, se a distribuição for exponencial, deve ser interpretado novamente levando em conta o limiar $\xi \rightarrow 0$.

2.5 *Picks Over Threshold (POT)*

Nessa abordagem, são analisadas as observações que excedem um limiar elevado. A escolha desse limiar não deve ser muito elevada, para evitar a obtenção de poucos excessos e alta variância, nem muito baixa para evitar erros na modelagem (COLES, 2001). Neste estudo, o limiar foi definido a partir da análise do comportamento dos quantis da distribuição GPD da precipitação, por meio dos gráficos QQ-plot. Os gráficos de quantil-quantil (QQ-plot) permitem comparar os quantis da distribuição teórica com os quantis da distribuição ajustada. Foram testados os percentis 90, 95, e 99 das séries, sendo obtida a melhor qualidade do ajuste da GPD utilizando-se o percentil 95 como limiar.

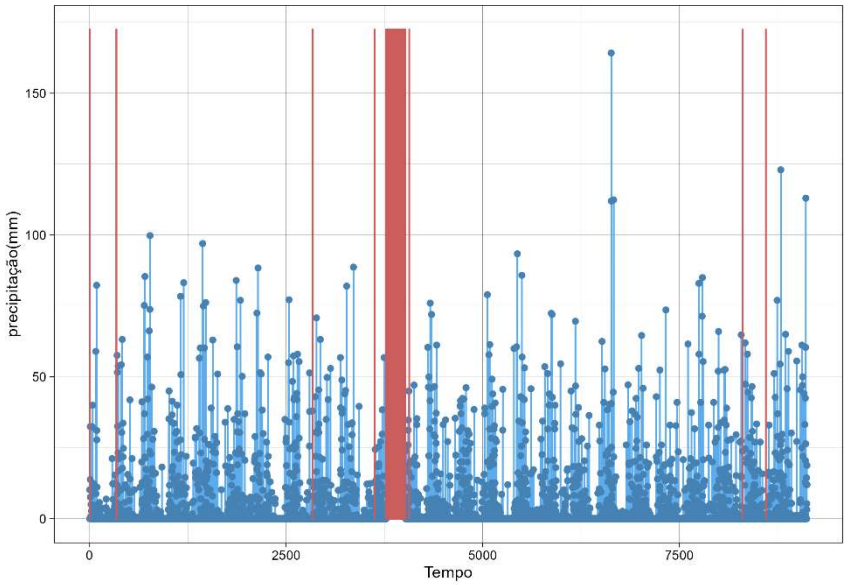
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Interpolação dos dados faltantes

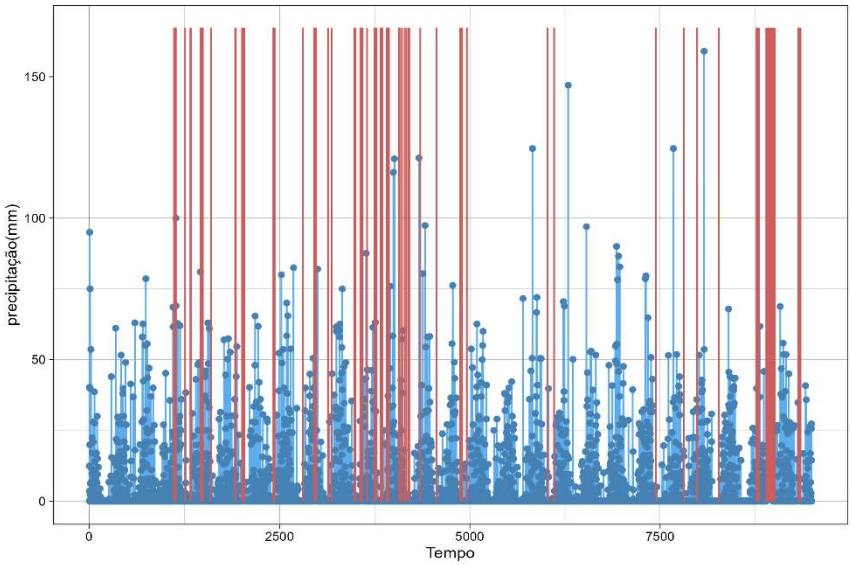
A partir da Figura 1, observa-se a distribuição dos valores ausentes nas séries de Cáceres (1988-2013) e Nhecolândia (1993-2018). A série de Nhecolândia apresenta 3,92% de dados faltantes,enquanto a série de Cáceres possui 3,74%.

Figura 1- Distribuição de valores ausentes das séries: a) Nhecolândia e b) Cáceres.

a)



b)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Ao comparar as médias e as variâncias dos dados originais e imputados (Tabela 1), constatou-se que, estatisticamente, não diferem entre si, indicando que o processo de imputação não alterou as características originais das séries.

Tabela 1- Valores das médias e desvio Padrão dos dados originais e imputados.

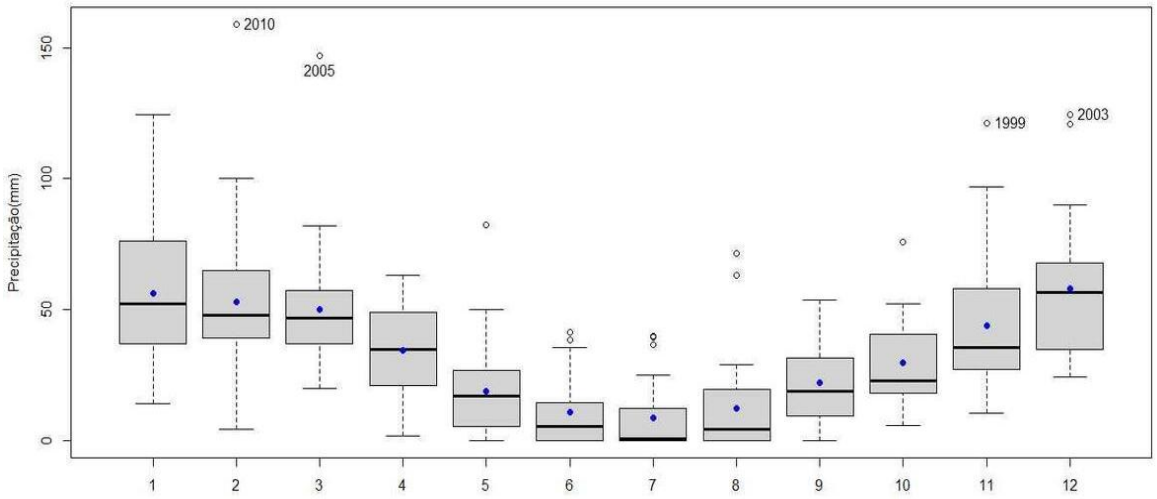
	Cáceres		Nhecolândia	
	Média	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
Dados Originais	3,6	10,4	3,0	9,9
Dados Imputados	3,5	10,3	2,9	9,7

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.2 Máximas precipitações registradas

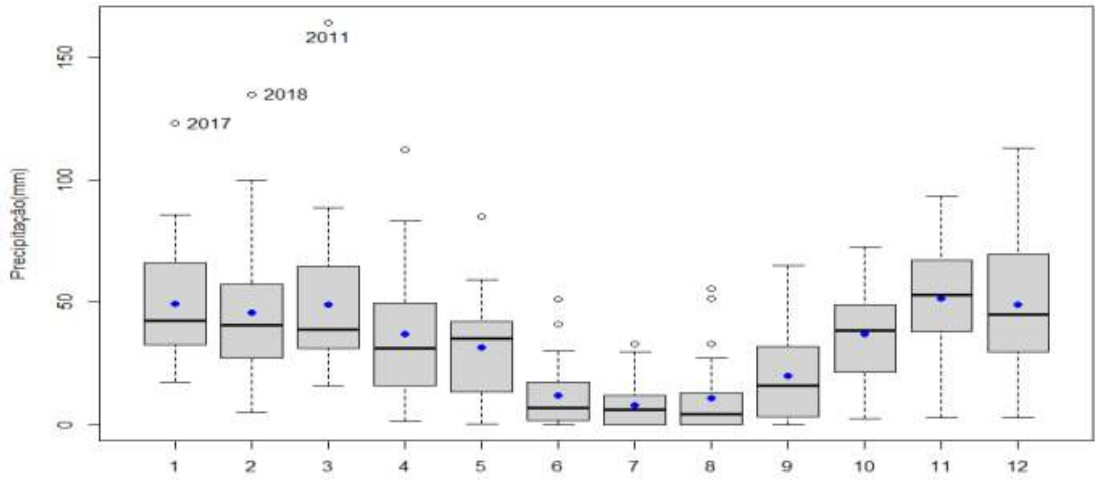
As Figuras 2 e 3, apresentam as variações das máximas precipitações diárias na cidade de Cáceres-MT e no distrito de Nhecolândia-MS, respectivamente. Em Cáceres, foram observados eventos de precipitação extremas nos anos de 1999, 2003,2005 e 2010. Em Nhecolândia, as precipitações extremas ocorreram nos anos de 2011,2017 e 2018. Em ambas as localidades, meses de dezembro, janeiro e fevereiro correspondem ao período chuvoso, sendo o verão a estação em que ocorrem os maiores volumes de precipitação. Nesse período também é observada a maior variabilidade da precipitação, sendo esta mais elevada em Cáceres-MT. Em Cáceres, as precipitações máximas diária variam de 3 mm a 130 mm, enquanto, em Nhecolândia, variam de 3 mm a 110mm.

Figura 2- Máximas precipitações diárias em Cáceres (1988-2013).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

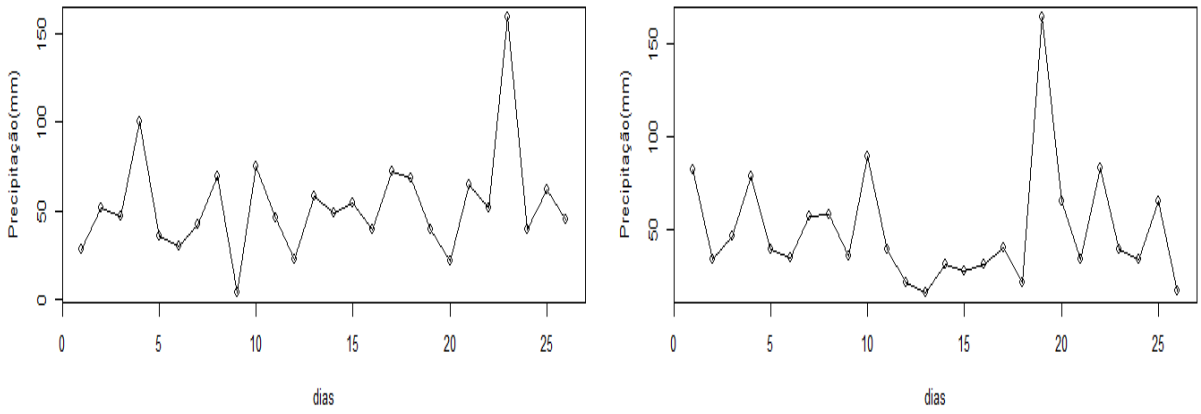
Figura 3- Máximas precipitações diárias em Nhecolândia (1993-2018).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em Cáceres, durante o período analisado, a máxima precipitação ocorreu no dia 23 de fevereiro de 2010 (Figura 4 (a)), quando foram registrados 159 mm. Nesse dia, segundo o Portal Matogrosso, a prefeitura decretou situação de emergência na cidade devido à ocorrência de vários pontos de alagamentos, deixando pessoas desabrigadas. Em decorrência das fortes chuvas, o nível do Rio Paraguai subiu, ocasionando inundações e enchentes. No distrito de Nhecolândia, a máxima precipitação foi de 164,2 mm, registrada no dia 19 de março de 2011(Figura 4 (b)).

Figura 4- Comportamento da Precipitação: a) fevereiro (2010) em Cáceres e b) março (2011) em Nhecolândia.

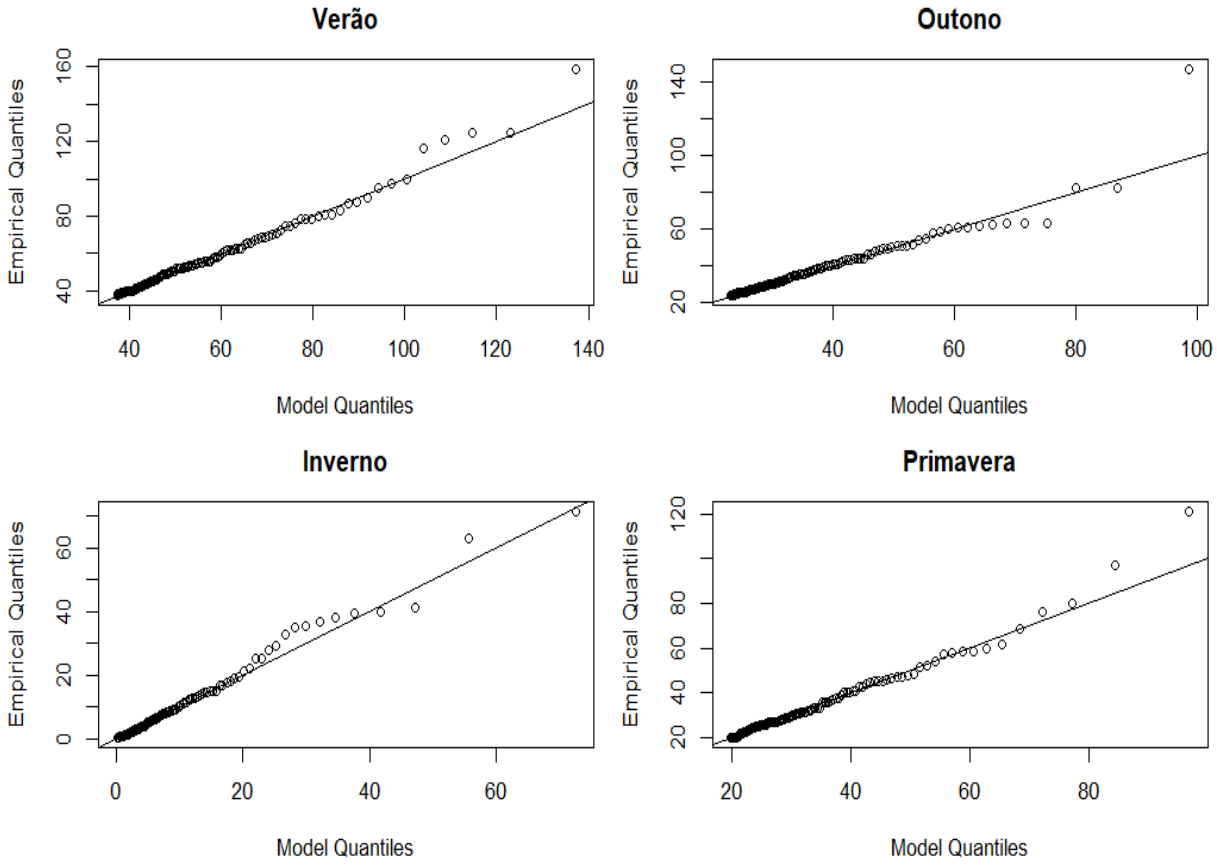


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

3.3 Distribuição Generalizada de Pareto (GPD)

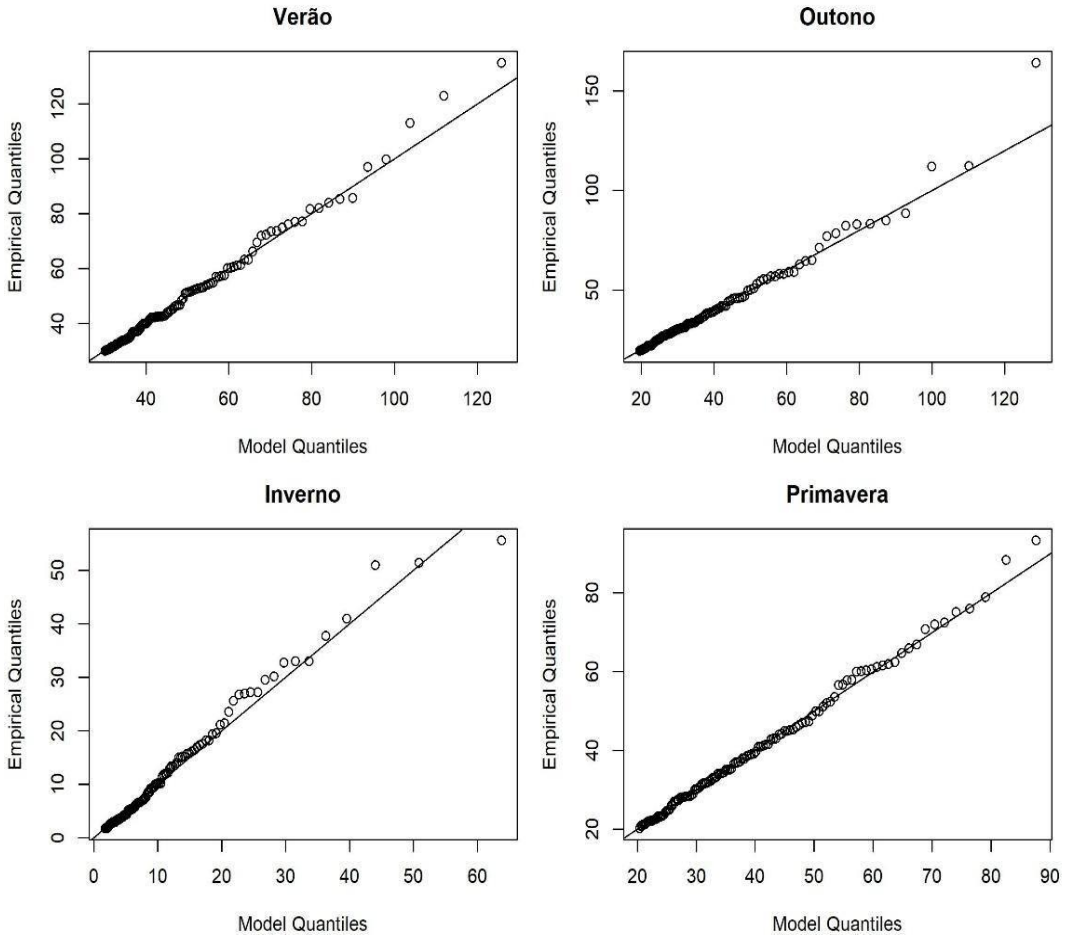
A partir dos gráficos QQ-plot (Figuras 5 e 6), observa-se que o modelo GPD apresentou um bom ajuste à distribuição dos dados, uma vez que os pontos seguiram aproximadamente uma linearidade. Dessa forma, a escolha do percentil 95 como limiar mostrou-se satisfatória.

Figura 5- QQ-plot do modelo GPD das estações para a cidade de Cáceres.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 6- QQ-plot do modelo GPD das estações para a cidade de Nhecolândia.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir da avaliação do parâmetro de escala (σ) para a distribuição GPD (Tabela 2), observa-se que os valores de precipitação variam, no inverno, entre 7,61 mm em Cáceres–MT e 10,5 mm em Nhecolândia-MS. No verão, variam entre 21,7 em Cáceres e 20,0 em Nhecolândia. Em relação ao parâmetro de forma (ξ), verifica-se, que em Nhecolândia a primavera apresenta ajuste pela distribuição de Pareto, enquanto o outono e o inverno apresentam ajuste pela distribuição Beta, e o verão apresenta ajuste pela distribuição exponencial. Em Cáceres-MT, o verão apresenta ajuste pela distribuição Pareto, enquanto às demais estações apresentam ajuste pela distribuição Beta.

Tabela 2- Parâmetros da distribuição GPD.

Estação	Cáceres		Nhecolândia	
	σ	ξ	σ	ξ
Verão	21,7	-0,01	20,0	0
Outono	14,2	0,04	18,8	0,07
Primavera	14,0	0,05	26,9	-0,30
Inverno	7,61	0,26	10,5	0,05

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

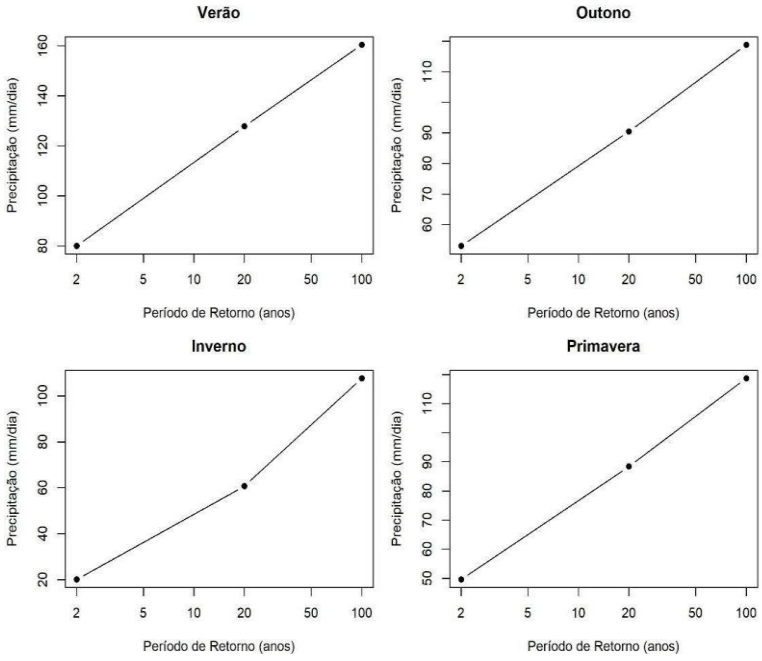
Portanto, de acordo com o parâmetro forma (ξ), em Cáceres observa-se uma tendência de aumento do período de retorno, enquanto os níveis de retorno apresentam atenuação, tornando-se aproximadamente constante no verão. Em Nhecolândia, essa tendência de aumento do período de retorno ocorre na primavera. Nas demais estações do ano, os períodos de retorno apresentam tendência de diminuição em ambas as localidades.

3.4 Períodos de retornos

A seguir, são apresentados os períodos de retorno para Cáceres-MT e Nhecolândia-MS (Figuras 7 e 8), respectivamente. Durante o verão, verificou-se que, em Cáceres, poderá registrar pelo menos um evento extremo de precipitação diária, a cada dois anos, com acumulados iguais ou superiores a 79,9 mm, enquanto, em Nhecolândia, esse valor poderá atingir 70,4 mm na mesma estação. Os maiores valores de precipitação associados aos períodos de retornos analisados foram observados durante o verão e o outono em ambas as localidades. No inverno, período seco, a média acumulada de precipitação é de 61,4 mm para Cáceres e de 55,9 mm para Nhecolândia. Entretanto, poderá ocorrer, pelo menos uma vez a cada vinte anos, um evento extremo de precipitação diária igual ou superior a 60,7 mm em Cáceres e em Nhecolândia 54,4 mm. Esses resultados evidenciam que, mesmo durante a estação seca, podem ocorrer eventos de precipitação intensa, concentrando em um único dia, volumes significativos de chuva. A maior variabilidade pluviométrica e a maior ocorrência de eventos extremos de precipitação identificadas neste estudo concentram-se

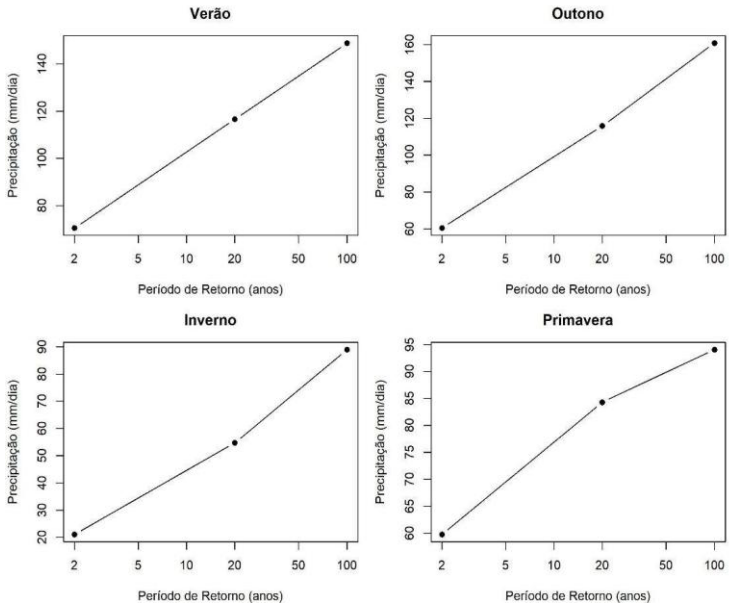
no período que coincide com a estação chuvosa e com o período de cheias do Pantanal, entre fevereiro e maio.

Figura 7- Período de retorno de eventos de precipitação extrema por período sazonal em Cáceres/MT.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 8- Período de retorno de eventos de precipitação extrema por período sazonal em Nhecolândia.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que as regiões analisadas apresentam elevada variabilidade na precipitação mensal. A Distribuição Generalizada de Pareto (GPD), considerando o limiar definido pelo percentil 95 e a análise do QQ-plot, mostrou-se adequada para a modelagem dos excessos de precipitação, indicando ajuste satisfatório do modelo aos dados analisados.

A partir dos níveis e tempo de retornos, verificou-se que, para um período de retorno de dez anos, são estimadas precipitações máximas diárias iguais ou superiores a 113,6 mm no verão e 78,8 mm no outono, em Cáceres. Para Nhecolândia, os valores estimados são de 102,7 mm no verão e 98,1 mm no outono. Esses resultados indicam a possibilidade de ocorrência de eventos de precipitação diária elevada magnitude nessas localidades, mesmo em diferentes estações do ano.

A caracterização desses eventos extremos pode contribuir para o planejamento e a organização de atividades que dependem das condições pluviométricas, tanto no meio urbano quanto no setor agropecuário. Além disso, o conhecimento da magnitude e da frequência dos eventos extremos pode auxiliar na elaboração de estratégias de prevenção e mitigação de impactos associados às chuvas intensas, incluindo o aumento do nível de rios, cheias e inundações no Pantanal.

REFERÊNCIAS

ANDREEV, Vladimir O. et al. An application of EVT, GPD and POT methods in the Russian stock market (RTS index). **GPD and POT Methods in the Russian Stock Market (RTS Index),** 2009. Disponível em: https://ssrn.com/abstract=1507678. Acesso em: 24 de nov. de 2021.

BEIJO, Luiz Alberto; AVELAR, Fabricio Goecking. DISTRIBUIÇÃO GENERALIZADA DE VALORES EXTREMOS NO ESTUDO DE DADOS CLIMÁTICOS UMA BREVE REVISÃO E APLICAÇÃO (pp. 10-16). **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v. 1, n. 1, 2011.

BRYANT, Leo et al. Climate change and family planning: least-developed countries define the agenda. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 87, p. 852-857, 2009.

CAVALCANTI, I.F.A. et al. **Tempo e clima do Brasil.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p.235-241, 2009.

CHIARANDA, Roberto et al. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 117-122, 2012.

COLES, Stuart et al. An introduction to statistical modeling of extreme values. **London: Springer**, p. 78-83, 2001.

DE PAULA, Willian Cosme da Silveira; SANTANA, Maxsuel Ferreira; GONZÁLEZ, Alfredo Zenén Domíguez. Impactos dos eventos extremos de precipitação em Cáceres-MT, no período 1995–2010. **Revista Equador**, v. 7, n. 1, p. 259-274, 2018.

DUFEK, A., AMBRIZZI, T**. Precipitação variabilidade no Estado de São Paulo, Brasil.** Theor Appl Climatol. 93, 167-178 (2008). Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00704-007-0348-7. Acesso em: 05 de dez. de 2021.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha et al. Chuvas no Pantanal brasileiro: análise histórica e tendência futura. **Proc. 3º Simp. Geotecnologias no Pantanal**, p. 170-180, 2010.

MARCUZZO, F.F. N.; OLIVEIRA, N. de L. Impacto do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do Estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v.6, n.13, set./dez. de 2012. pp.193-206

MARENGO, José A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil.** Disponível em: http://www. fbds. org. br/fbds/IMG/pdf/doc-504. pdf. Acesso em: 24 de nov. de 2021.

MARENGO, Jose A**.** Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MORITZ, Steffen; BARTZ-BEIELSTEIN, Thomas. Impute TS: time series missing value imputation in R. R J., v. 9, n. 1, p. 207, 2017.

PEREIRA, Gabriel et al. Impactos climáticos das áreas alagadas no Bioma Pantanal. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, v. 3, p. 190-199, 2010.

SILVA, Bruce Kelly da Nobrega et al. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 871-879, 2020.

SOTELO, LUIS GIMENO. **Univariate and Bivariate Extremes in Meteorology: an application to the Great Plains Low-Level Jet System.** 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado)- Estatística e Investigação Operacional, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2021.