

Elias Silva de Medeiros

Universidade Federal da Grande Dourados –
UFGD. eliasmedeiros@ufgd.edu.br

Alessandra Querino da Silva

Universidade Federal da Grande Dourados –
UFGD. alessandrasilva@ufgd.edu.br

Luciano Antonio de Oliveira

Universidade Federal da Grande Dourados –
UFGD lucianoantonio@ufgd.edu.br

Carolina Cristina Bicalho

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –
UEMS. carolinabicalho@gmail.com

Kelly Pereira de Lima

Universidade Federal de Lavras – UFLA.
kelly_limaadm@hotmail.com

ESTUDO DAS CHUVAS MÁXIMAS DIÁRIAS NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS/BA POR MEIO DA METODOLOGIA DE SÉRIES TEMPORAIS

RESUMO

Desastres naturais estão cada vez mais presentes no cotidiano da sociedade. No Brasil os desastres naturais mais comuns são deslizamentos e inundações que são fenômenos diretamente relacionados com variáveis hidrológicas como a precipitação pluviométrica. O estudo e monitoramento estatístico do regime meteorológico de uma determinada região, em especial, aos dados de precipitação máxima diária, podem oferecer informações importantes no sentido de nortear políticas públicas de prevenção de catástrofes, bem como diminuir a vulnerabilidade humana da população local. O principal objetivo desse trabalho foi analisar uma série histórica relativa a máximas diárias de precipitação do município de Barreiras/BA no período de janeiro de 1970 a maio de 2019 por meio da análise de séries temporais. Resultados de testes aplicados indicaram a presença de sazonalidade e também que não existe tendência na série. Diante disso, a classe de modelos SARIMA foi considerada a mais indicada para modelagem e os modelos ajustados apresentaram boas previsões permitindo a identificação de padrões na série.

Palavras-chave: Inundações. Bahia. Desastres Naturais. SARIMA.

STUDY OF THE MAXIMUM DAILY RAINS IN THE CITY OF BARREIRAS/BA THROUGH TIME SERIES METHODOLOGY

ABSTRACT

Natural disasters are increasingly present in everyday society. In Brazil the most common natural disasters are landslides and floods which are phenomena directly related to hydrological variables such as rainfall. The study and statistical monitoring of the meteorological regime of a given region, in particular, daily maximum rainfall data can provide important information to guide public disaster prevention policies, as well as reduce the human vulnerability of the local population. The main objective of this paper was to analyze a historical series related to the maximum daily rainfall of the city of Barreiras/BA from January 1970 to May 2019 through time series analysis. Results of applied tests indicated the presence of seasonality and also that there is no trend in the series. Given this, the SARIMA model class was considered the most suitable for modeling and the adjusted models presented good predictions allowing the identification of patterns in the series.

Keywords: Floods. Bahia. Natural disasters. SARIMA.

1. INTRODUÇÃO

Os altos índices de precipitação em um único dia provocam, na maioria dos casos, enchentes e alagamentos em zonas rurais e urbanas, fazendo com que a população fique sujeita a diversos transtornos, desde ruas e casas inundadas até a proliferação de doenças. Comportamentos destes extremos de precipitação também podem impactar significativamente na produção agrícola prejudicando a colheita de determinado produto (ANDRADE; PINHEIRO; NETO, 2015).

No Brasil, extremos meteorológicos figuram como o principal fator para os desastres naturais. As inundações são o tipo mais frequente de desastre natural, seguida pelos escorregamentos de massa. A Região Nordeste do Brasil, em particular, tem mostrado alta variabilidade interanual e intrasazonal de precipitação e chuvas diárias intensas tem causado transtornos e perdas socioeconômicas em várias de suas cidades (ALVES et al., 2006, ALVES et al. 2017)

No estado da Bahia, entre os anos de 1992 e 2012, foram contabilizados 468 registros oficiais de enxurradas ocasionadas pelas chuvas intensas e concentradas. Estas ocorrências afetaram mais de 2,8 milhões de pessoas com 61 mil desalojados e 25 mortes. Os anos de 1997 e 2010 foram os que apresentaram as maiores frequências de desastres por enxurradas, sendo os meses de fevereiro, março e abril os responsáveis pelas maiores quantidades de registros. O município de Barreiras-BA, foco do presente estudo, também registrou ocorrência de enxurrada em 1992 (CEPED, 2013).

A utilização de métodos probabilísticos é imprescindível para a geração de informações que possam subsidiar políticas de ação pública, no sentido de reduzir a vulnerabilidade humana na ocorrência de catástrofes naturais. Por se tratar de um processo aleatório, tais eventos não permitem uma previsão determinística com grande antecedência (HARTMANN; MOALA; MENDONÇA, 2011).

Diversas teorias estatísticas têm sido desenvolvidas para modelagem de dados extremos de precipitação, como o estudo de novas distribuições de probabilidades e a teoria de valores extremos (LAZOGLOU et al., 2019). Entretanto, alguns trabalhos têm modelado os valores extremos de variáveis climáticas por meio da metodologia de séries temporais (LISKA et al., 2013; YOZGATLIGIL; TÜRKEŞ, 2018). A grande vantagem desta metodologia consiste em investigar padrões e ajustes às tendências e sazonalidades em uma série histórica.

Com base nesses pressupostos, o presente trabalho tem por objetivo modelar os dados de precipitação máxima diária do município de Barreiras, localizado no estado da Bahia, por meio da metodologia de séries temporais, que levará em consideração os comportamentos de tendência e a sazonalidade, os quais são comuns em variável climáticas, em especial os dados de chuvas.

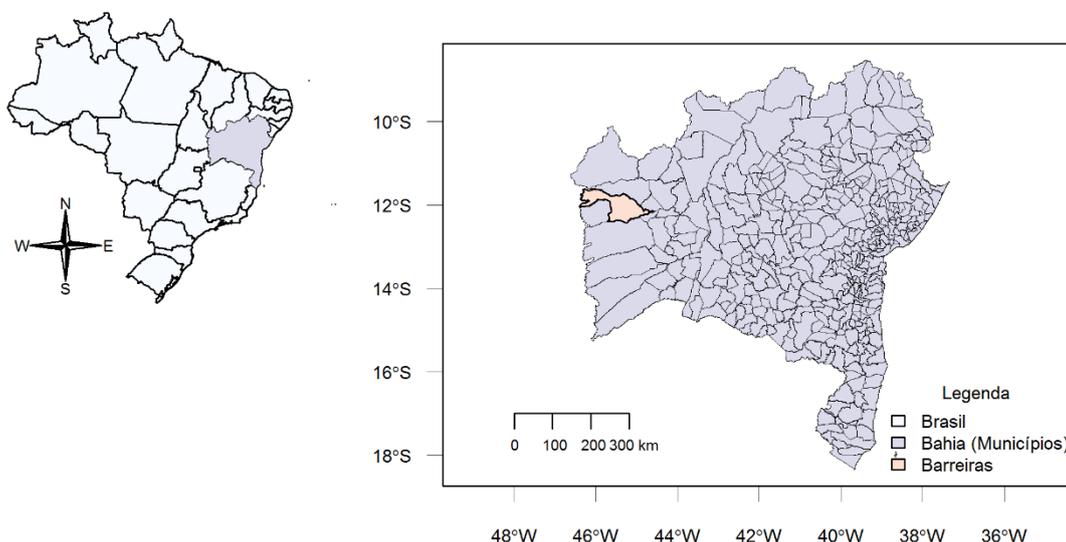
2. MATERIAL E MÉTODOS

O conjunto de dados utilizado neste estudo refere-se ao município de Barreiras, localizada no estado da Bahia. A variável

analisada foi a precipitação diária, medida em milímetros (mm), amostrada pela estação automática de Barreira, que fica situada a $-12,15^\circ$ de latitude, $-45,00^\circ$ de longitude e 439,29 metros

de altitude (Figura 1). Esta série histórica foi obtida no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio do endereço eletrônico: <http://www.inmet.gov.br>.

Figura 1 – Mapa da localização geográfica da estação meteorológica de Barreiras, localizada no estado da Bahia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados utilizados compreendem ao período de janeiro de 1970 a maio de 2019, totalizando um período de 49 anos e 5 meses. Sendo este período superior a 30 anos, o qual é considerado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2011) adequado para que se tenha uma maior confiabilidade na especificação do clima de uma região.

Com o intuito de modelar os extremos da precipitação, foi considerada a precipitação máxima diária mensal que consistiu no maior volume de precipitação pluviométrica diária dentro de um dado mês. Por exemplo, em janeiro de 1970 havia 31 registros do volume de precipitação, um para cada dia, sendo que para modelagem foi coletado o valor máximo dessas observações. Esse processo foi repetido para todos os meses do período estudado.

Entretanto, aproximadamente 20% de todo o período da série apresentava dados faltantes. Assim, para imputação destes valores, a

série temporal foi subdividida em períodos sazonais e depois realizada a imputação, separadamente, para cada uma destas subamostras por meio do método de interpolação linear (MORITZ, 2018).

Após realizada a imputação, para verificar se a série temporal apresentava tendência foi realizado o teste de Cox Stuart (SPRENT; SMEETON, 2007). Para analisar a existência de sazonalidade aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 2013), considerando cada mês um grupo.

Para a modelagem da série temporal da precipitação máxima utilizou-se da metodologia Box e Jenkins (MORETTIN; TOLOI, 2006) ajustando um modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel Sazonal (SARIMA). A classe de modelos SARIMA contém duas partes: uma não sazonal (p, d, q) e uma outra parte sazonal

(P, D, Q) . O modelo geral, considerando a sazonalidade S , pode ser escrito da forma:

$$\begin{aligned} \phi(B)\Phi(B^S)(1 - B^S)^D(1 - B)^d Z_t \\ = \theta(B)\Theta(B^S)a_t, \end{aligned}$$

em que $\phi(B) = 1 - (\sum_{i=1}^p \phi_i B^i)$, $\Phi(B^S) = 1 - (\sum_{j=1}^p \Phi_j B^{j.S})$, $\theta(B) = 1 - (\sum_{k=1}^q \theta_k B^k)$ e $\Theta(B^S) = 1 - (\sum_{w=1}^q \Theta_w B^{w.S})$. A classe de modelos SARIMA são extremamente úteis, uma vez que são capazes de modelar padrões como tendência e sazonalidade.

Para verificar o pressuposto de que os resíduos do modelo ajustado não são autocorrelacionados aplicou o teste de Ljung-Box, cuja hipótese nula é a de que estes resíduos não são autocorrelacionados (HAJRIA; KHARDANI; RAÏSSI, 2018). A seleção do modelo mais adequado para ajuste à série histórica dos dados em estudo foi conduzida por meio das estatísticas AIC (Critério de Informação de Akaike), BIC (Critério de Informação

Bayesiano), MAE (Erro Médio Absoluto) e da RMSE (Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio), sendo que os menores valores destas estatísticas são preferíveis. Para fins de previsão, a série utilizada para uma análise exploratória e para ajuste do modelo foi referente ao período de janeiro de 1970 a dezembro de 2017. Os valores observados de janeiro de 2018 a maio de 2019 foram utilizados para verificar a eficiência do modelo, comparando os valores reais com os valores previstos pelo ajuste por meio do percentual do viés (PBIAS) (WAGENA et al., 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma análise exploratória da precipitação máxima com os valores ausentes já imputados, foram calculadas algumas medidas de posição e dispersão (Tabela 1), bem como esboçado os Box Plots para cada mês (Figura 2).

Tabela 1 – Medidas descritivas da precipitação máxima diária no município de Barreiras, Bahia, em relação aos meses do ano, no período de 1970 a 2017

Meses	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Janeiro	5,0	153,2	50,2	48,9	27,7
Fevereiro	5,2	119,6	41,9	32,7	24,7
Março	8,2	98,9	44,5	42,9	22,1
Abril	0,3	91,2	29,5	24,1	21,6
Mai	0,0	44,0	10,5	5,7	12,6
Junho	0,0	37,5	2,0	0,0	6,3
Julho	0,0	14,6	1,1	0,0	2,7
Agosto	0,0	14,4	1,5	0,0	3,3
Setembro	0,0	55,5	7,7	6,0	9,7
Outubro	0,0	119,7	36,0	27,9	28,2
Novembro	23,2	132,8	52,6	48,2	21,6
Dezembro	15,5	102,3	52,8	52,1	20,9

Fonte: Elaborado pelos autores.

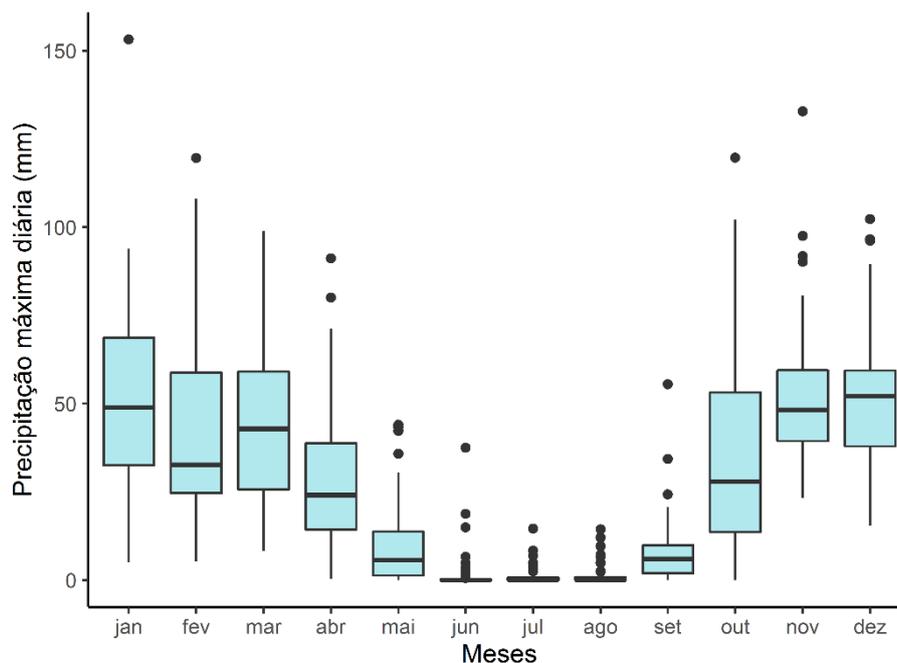
A precipitação máxima diária no município de Barreiras apresentou uma média mensal de 27,53 mm com um desvio padrão de 27,88, sendo que os meses de novembro a março, apresentaram uma média superior a 40 mm, sugerindo que a área em estudo apresentou ao longo do período de 1970 a 2017 registros de

inundações. Borges e Lacerda (2015) ao estudarem a precipitação média na região em estudo, no período de 1977 a 2007, verificaram que os meses de novembro a março fazem parte do período chuvoso no município de Barreiras. Adicionalmente, esse período é responsável por 80% da precipitação anual, sendo que os meses

de novembro e dezembro apresentam uma probabilidade superior a 80% de ocorrer chuvas acima de 100 mm e para os meses de janeiro a

março essa probabilidade é de 60% (NETO; BEZERRA; MOSCON, 2013).

Figura 2 – Box plots da precipitação máxima diária para cada mês com base no período de 1970 a 2017 no município de Barreiras, Bahia

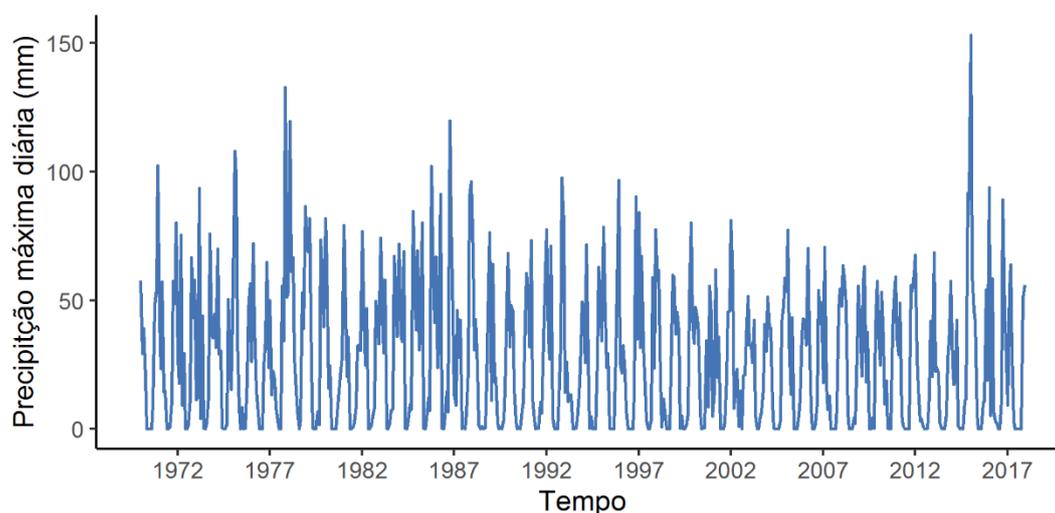


Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 3 está representada a série temporal da precipitação máxima diária mensal no período em estudo. Com base nessa figura,

nota-se que existe uma sazonalidade e que não há tendência linear crescente ou decrescente ao longo do tempo.

Figura 3 – Série temporal da precipitação máxima diária mensal para o período de 1970 a 2017 no município de Barreiras, Bahia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O teste de Cox Stuart forneceu um valor p de 0,022, indicando, ao nível de 1% de significância, que não existe tendência na série histórica. Em relação a sazonalidade o teste de Kruskal-Wallis apresentou um valor p inferior a 1% de significância, sugerindo que há fortes evidência da presença de sazonalidade. Com base nestes resultados, tem-se que a classe de modelos

SARIMA é a mais indicada para modelagem da precipitação máxima mensal.

Considerando as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, foram sugeridos os ajustes de alguns modelos e posteriormente calculadas as estatísticas AIC, BIC, RMSE e MAE de cada modelo e também verificado o pressuposto de que os resíduos não são autocorrelacionados (Tabela 2).

Tabela 3 – Ajuste de diferentes modelos SARIMA com as respectivas estatísticas AIC, BIC, RMSE, MAE e valor p do teste de Ljung-Box (L-B)

SARIMA	AIC	BIC	RMSE	MAE	L-B
(1,0,0)(1,1,0) ₁₂	5085,8	5098,8	21,6	13,7	0,8
(1,0,0)(1,1,1) ₁₂	4954,3	4971,8	18,8	12,6	0,9
(0,0,0)(1,1,1) ₁₂	4953,3	4966,3	18,8	12,7	0,3
(0,0,0)(0,1,1) ₁₂	4965,3	4974,0	19,1	12,9	0,3

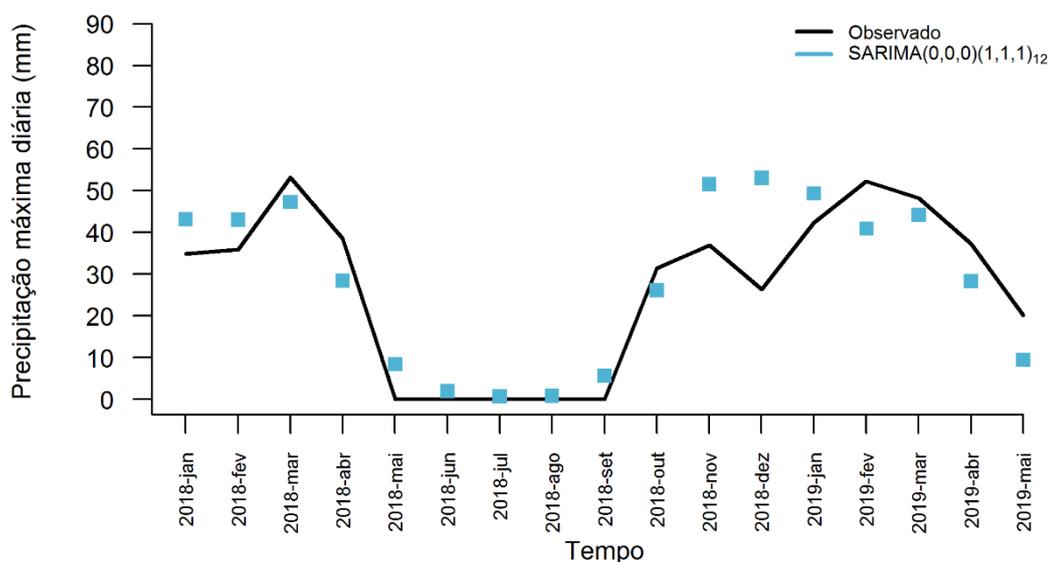
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 2 nota-se por meio das estatísticas AIC, BIC e PBIAS que o modelo SARIMA(0,0,0)(1,1,1)₁₂ é o mais indicado, entre os modelos ajustados aos dados da série de precipitação máxima. Entretanto, as estatísticas de acurácia, PBIAS e MAE, indicaram que o modelo SARIMA (1,0,0)(1,1,1)₁₂, apresentou melhores resultados. De acordo com o valor do teste de Ljung-Box, verificou-se que, em todos

os modelos sugeridos, os resíduos não possuem autocorrelação. Pelo princípio da parcimônia, o modelo SARIMA(0,0,0)(1,1,1)₁₂ será o escolhido para previsão, uma vez que apresenta uma menor quantidade de parâmetros.

Sendo assim, na Figura 4 é apresentada a comparação entre os valores reais e previstos da precipitação, no período de janeiro de 2018 a maio de 2019, para o modelo selecionado.

Figura 4 – Valores observados e previstos pelos modelos SARIMA da precipitação máxima diária mensal no município de Barreiras, Bahia, no período de janeiro de 2018 a maio de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Como é possível perceber (Figura 3), não se observam diferenças expressivas dos valores previstos pelo modelo em relação aos observados, resultando uma estatística PBIAS de 5,40% e, de forma geral, o modelo oferece previsões adequadas para a série estudada. A seguir, é apresentado o modelo ajustado acompanhado das estimativas, as quais foram estatisticamente diferentes de zero ao nível de 1% de significância:

$$[1 - (0,1811 \cdot B^{12})(1 - B^{12})^1]Z_t = [1 - (-0,9605B^{12})]a_t.$$

Por meio do modelo ajustado, tem-se que o maior registro estimado da precipitação pluviométrica (70,39 mm) foi para o mês de janeiro no ano de 2016. De acordo com o Reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP), realizados entre 01/01/2016 e 31/12/2016 no estado da Bahia, o município de Barreiras, no dia 27 de janeiro de 2016, apresentou uma tempestade local, sendo então declarado pelo SE estado de emergência nesta região (S2iD, 2015).

Vários estudos têm analisado dados de precipitação máxima diária. Borges e Thebaldi

(2016), por exemplo, aplicaram diferentes distribuições de probabilidades, concluindo que a distribuição Gumbel foi a mais adequada para modelar os dados de precipitação máxima diária anual no município de Formiga, localizado no estado de Minas Gerais. Franco et al. (2018), por sua vez, compararam diferentes métodos de estimação na distribuição Log Normal com três parâmetros, com o objetivo de identificar qual o método mais indicado para modelar os dados de precipitação diária máxima anual em sete estações pluviométricas, todas localizadas na bacia hidrográfica do Rio Verde. Lopes et al. (2018) ajustaram as distribuições Gumbel e Log Pearson II para determinar níveis de retorno da precipitação máxima diária anual no município de Francisco Beltrão, Paraná, para isto utilizaram uma série histórica de 44 anos (1974 a 2017).

A principal crítica em relação aos trabalhos supracitados seria o fato de não levarem em consideração a dependência temporal entre as observações. Para contornar esta questão, são levantados os máximos do ano, não discriminando os meses. Com isso, o método não permite identificar os meses que são mais

susceptíveis a desastres naturais, relacionados a altos índices de chuvas em uma determinada região. Este tipo de modelagem é empregado, uma vez que o objetivo principal consiste em ajustar distribuições de probabilidade que, em geral, utilizam do método de máxima verossimilhança para estimação dos parâmetros, seguida da determinação de níveis de retorno que variam de dois até 100 anos.

Na abordagem aqui proposta analisou-se uma série histórica da precipitação máxima diária, sendo verificada a existência de dependência temporal. A grande vantagem desta metodologia é considerar em sua estrutura uma dependência temporal entre as observações. Entretanto, as previsões oriundas destes modelos são para período curtos, em geral, doze meses.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classe de modelos SARIMA mostrou-se uma alternativa adequada para modelagem da precipitação máxima diária, possibilitando identificar padrões na série histórica e obter previsões acuradas da variável em estudo.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Maria Brabo et al. Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, 227-233, 2017.

ALVES, José Maria Brabo et al. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 01, p. 1-21, 2006.

ANDRADE, Kelen, Martins; PINHEIRO, Henri Rossi; NETO, Giovanni Dolif. Evento extremo de chuva no Rio de Janeiro: análise sinótica, previsão numérica e comparação com eventos

anteriores. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 1, p. 175 – 180, 2015.

BORGES, Elane Fiúza; LACERDA, Camila Souza dos Anjos. ESTUDO DOS EFEITOS DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NA VEGETAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-BA. **Sitientibus**, n. 53, p. 1-8, 2015.

BORGES, Giovana Mara Rodrigues; THEBALDI, Michael Silveira. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 4, p. 891-902, 2016.

CEPED, UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FRANCO, Camila et al. Aplicabilidade e ajuste da distribuição log-normal a 3 parâmetros em estudo de precipitação máxima anual na bacia do Rio Verde. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, p.1-9, 2018.

HAJRIA, Raja Ben; KHARDANI, Salah; RAÏSSI, Hamdi. A power comparison between autocorrelation based tests. **Statistics & Probability Letters**, v. 143, p. 1-6, 2018.

HARTMANN, Marcelo; MOALA, Fernando Antonio; MENDONÇA, Marco Aurélio. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 561-568, 2011.

HOLLANDER, Myles; WOLFE, Douglas A.; CHICKEN, Eric. **Nonparametric statistical methods**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

LAZOGLOU, Georgia et al. A review of statistical methods to analyze extreme precipitation and temperature events in the Mediterranean region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 136, n. 1-2, p. 99-117, 2019.

LISKA, Gilberto Rodrigues et al. Estimativas de velocidade máxima de vento em Piracicaba-SP via Séries Temporais e Teoria de Valores Extremos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 2, p. 295-309, 2013.

LOPES, Allan Remor et al. Utilização de diferentes distribuições de probabilidade para precipitações máximas no município de Francisco Beltrão/PR. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, v. 12, n. 7, p. 3090 – 3095, 2018.

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Clélia Maria de Castro. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 538 p.

MORITZ, Steffen. **Impute TS**: Time series missing value imputation. R package version 2.6. 2018, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=imputeTS>.

NETO, Joaquim Pedro Soares; BEZERRA, André Ricardo Gomes; MOSCON, Éder Stolben. Probabilidade e análise decadal da precipitação pluvial da cidade de Barreiras-Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física, Recife**, v. 6, n. 3, p. 470-477, 2013.

OMM, Organização Meteorológica Mundial. **Hidrologia: Medição de informações hidrológicas**, OMM - N°168. 6. ed. Genebra: OMM, 2011.

S2iD. **Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2iD**. Ministério da Integração – MI. 2015. Disponível em: <http://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em 03/10/2019.

SPRENT, Peter; SMEETON, Nigel C. **Applied Nonparametric Statistical Methods**. 4th ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2007. 530 p.

WAGENA, Moges Berbero et al. Impact of climate change and climate anomalies on hydrologic and biogeochemical processes in an agricultural catchment of the Chesapeake Bay watershed, USA. **Science of the Total Environment**, v. 637, p. 1443-1454, 2018.

YOZGATLIGIL, Ceylan; TÜRKEŞ, Murat. Extreme value analysis and forecasting of maximum precipitation amounts in the western Black Sea subregion of Turkey. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 15, p. 5447-5458, 2018.

Paraíba (UEPB). Professor Adjunto da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia (FACET) da UFGD.

Alessandra Querino da Silva

Doutora e Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras. Bacharel em Estatística e Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP). Professora Associada da FACET/UFGD.

Luciano Antonio de Oliveira

Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária pela UFLA. Licenciado em Matemática pela UFGD. Professor Assistente da FACET da UFGD.

Carolina Cristina Bicalho

Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras. Licenciada em Matemática pela UFLA. Professora na UEMS.

Kelly Pereira de Lima

Doutoranda em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras. Bacharel em Estatística pela UFC.

Elias Silva de Medeiros

Doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras. Bacharel em Estatística Universidade Estadual da
