



Modelagem preditiva da precipitação para análise das inundações e suas consequências no município de Natal - RN

Variability Analysis of precipitation and its consequences for the city of Natal-RN

Aline Pessoa Bezerra¹, Lucivânia Rangel de Araújo Medeiros¹, Ana Luíza Xavier Cunha¹, Madson Tavares Silva¹, Cicero Fellipe Diniz de Santana¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil

Contato: alinebezerra2890@gmail.com

Palavras-Chave

modelagem hidrológica
eventos extremos
série temporal

Key-word

water modeling
extreme events
time series

RESUMO

O desenvolvimento urbano leva o aumento de áreas impermeáveis, que gera uma barreira para retenção natural e infiltração de águas pluviais. O município de Natal-RN não se difere dessa realidade, apresentando vários pontos de alagamento em sua área urbana. Esse trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento da precipitação em Natal-RN a partir de análises estatísticas da série histórica (1988-2017) de eventos extremos na cidade e aplicar modelagem hidrológica de previsão, com auxílio da linguagem de programação R para entender os possíveis efeitos futuros que serão gerados. Os dados de precipitação mensal do município apresentaram o comportamento estacionário, sem tendência significativa e com patamares diferentes de homogeneidade. Enquanto a modelagem apresentou resultados concisos para os anos de 2018 até 2030. Pôde-se constatar que as chuvas da região em estudo não são constantes, nem mensalmente, nem anualmente, com ciclos de seca e de chuvas extremas. O estudo evidenciou a necessidade da análise da aplicação de novos elementos de drenagem urbana sustentável, como os telhados verdes, reservatórios de retenção, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, como forma de minimizar os eventos de enchentes nesses locais.

ABSTRACT

Urban development leads to an increase in impermeable surface areas that create a barrier to natural retention and infiltration of rainwater, the municipality of Natal-RN does not differ from this reality, with several flooding points in its urban area. This article has an objective to evaluate the behavior of precipitation in Natal-RN through a historical series of statistical analyses (1988-2017) of extreme events in the city and use forecast modeling, using RStudio, to understand the effects generated in the future. It was identified that monthly rainfall data for the city showed a stationary behavior, without significant trends and with different levels of homogeneity. The modeling, on the other hand, presented concise results for the years 2018 to 2030. It can be seen that the rainfall in the study region is not constant, neither in months nor in years, with drought and extreme rainfall cycles, in view of this, new drainage elements such as green roofs, detention ponds, permeable pavements, and infiltration trenches could be applied as a way to minimize flood events.

Informações do artigo

Recebido: 08 de outubro, 2022

Aceito: 23 de janeiro, 2023

Publicado: 30 de abril, 2023

Introdução

Os eventos de secas e inundações são cada vez mais frequentes no mundo e tornam os ambientes urbanos mais vulneráveis às suas consequências, reforçando assim, a importância da adaptação da gestão das águas para atender continuamente às necessidades das cidades.

Reconhecendo que é nas cidades que acontecem as principais mudanças sociais, políticas e tecnológicas e que será sobre elas que recairão as principais consequências das mudanças ambientais e climáticas de forma drástica. É interessante repensar a cidade e propor soluções para os problemas urbanos, que poderão ser agravados e potencializados pelas questões climáticas (OJIMA – MARANDOLA JÚNIOR, 2013).

Mais especificamente, quando se trata da água no meio urbano, é relevante destacar que a importância do acesso a água e esgotamento sanitário para o desenvolvimento humano, considerados serviços básicos de saneamento para que uma comunidade possua condições de desenvolvimento humano (MARZOCHELLA, 2018).

Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que pode ser destacado, tem como principal abordagem a água potável e o saneamento básico, no que diz respeito à sua qualidade, quantidade e principalmente à sua distribuição para a população mundial, o objetivo está incluído na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um plano de ação global desenvolvido pela ONU para garantir o bem-estar das pessoas, das cidades e do planeta até a próxima década (ISABEL; MOTA, 2017).

O 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2014) dedicou um capítulo inteiro às repercussões das mudanças climáticas nas aglomerações urbanas, fato que fez crescer os arranjos institucionais e as iniciativas locais em cidades de várias partes do mundo, com maior intensidade na Europa e nos Estados Unidos, aumentando também uma expressiva produção acadêmica na área. Destaca-se ainda a seção que trata dos Sistemas de Abastecimento de Água, Drenagem e Esgotos Urbanos.

Entre os impactos previstos, nas áreas urbanas, as alterações nos padrões de precipitação e escoamento, elevação do nível do mar, resultando em intrusão salina, restrições na disponibilidade e qualidade da água maiores incertezas no planejamento de longo prazo. As instituições responsáveis pela gestão da água no meio urbano, especialmente aquelas responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água e de drenagem, devem confrontar e analisar estes novos padrões climáticos que incorrem, muitas vezes, em incertezas, nas avaliações para se adaptar ao conjunto de restrições impostas (IPCC, 2014).

O Nordeste do Brasil (NEB) se caracteriza por amplas secas ou precipitações intensas, e quando eventos de precipitações acima da média ocorrem, elas contribuem para o abastecimento de açudes, reservatórios de hidrelétricas, sendo essencial para a sobrevivência em períodos de seca e são benéficas para algumas culturas de sequeiro.

Porém, quando esses eventos de precipitação têm intensidade e duração extrema, podem gerar grandes prejuízos como alagamentos, deslizamentos de terra, enxurradas e inundações, especialmente nas regiões costeiras do NEB (OLIVEIRA et al. 2013). Esses acontecimentos têm grandes implicações na sociedade (DEMIRDJIAN et al., 2018), principalmente na saúde e na agricultura, podendo causar prejuízos econômicos, baixa qualidade de vida e até mortes. Como exemplo, pode-se citar as chuvas extremas que aconteceram no semiárido do NEB em 2004, quando casas, barragens e açudes foram destruídos, várias comunidades ficaram isoladas, tiveram perda de produção e até mortes (MARENGO, 2007).

Pesquisas que abrangem a precipitação são primordiais para estudos hidrometeorológicos, sobretudo, aqueles que envolvem os valores extremos de precipitação (YANG et al., 2019). Ter o conhecimento da frequência com que esses eventos ocorrem, identificar seus padrões de variabilidade temporais e espaciais é fundamental para gerir os impactos, positivos e negativos, causados em diversos segmentos da sociedade. Devido a isso, é crucial ter acesso a dados confiáveis e com alta resolução espacial e temporal (MARENGO, 2007).

A precipitação no NEB apresenta alta variabilidade espacial e temporal, o que influencia na ocorrência de eventos extremos, tornando-o altamente suscetível às mudanças climáticas (IPCC, 2014). Nos últimos anos, estudos científicos, como os realizados por Oliveira et al. (2017), Da Silva et al. (2019) e Rodrigues (2019) têm ressaltado tendências positivas nos extremos de precipitação sobre o NEB.

Neste contexto, ações de adaptação e enfrentamento às mudanças climáticas vêm sendo colocadas em pauta nas diversas instituições que gerenciam serviços no meio urbano, especialmente quanto à disponibilidade hídrica para consumo humano e a drenagem das águas pluviais que configuram serviços classificados como essenciais nas áreas urbanas.

A constante urbanização das cidades leva a um aumento da área de superfícies impermeáveis que criam uma barreira para retenção natural e infiltração de águas pluviais (BURSZTA-ADAMIAK; MROWIEC, 2013; PENG; STOVIN, 2017). O aumento dessas áreas contribui para um escoamento mais rápido e maior vazão de pico (QIN; LI; FU, 2013). Situações nas quais o processo de urbanização encontra-se muito adensado, o pico de cheia nas bacias pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais (TUCCI, 2015). Os sistemas de drenagem urbana são geralmente projetados para drenar escoamento de áreas impermeáveis, como ruas pavimentadas, estacionamentos, calçadas e telhados durante os eventos de tempestade. No entanto, quando as águas pluviais excedem a capacidade de drenagem, resultam em inundações que afetam o tráfego, danos materiais, carreamento de poluentes aos rios, entre outros problemas (QIN; LI; FU, 2013; CANHOLI, 2014).

Em vista disso, a empregabilidade da metodologia convencional aplicada à drenagem urbana vem sendo amplamente discutida. Surgem, portanto, novos elementos de drenagem que se baseiam no controle do escoamento na própria fonte (BURSZTA-ADAMIAK;

MROWIEC, 2013). Dentre diversos dispositivos, as medidas compensatórias (LID's) incluem telhados verdes, reservatórios de retenção, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

Caracterizado por sua dependência em processos naturais de captação de água, que envolvem infiltração, atenuação, transporte, armazenamento e tratamento, estas técnicas são consideradas uma abordagem sustentável à gestão de águas pluviais (STOVIN; POE; BERRETTA, 2013).

A escolha das técnicas compensatórias dependerá de fatores sociais, urbanísticos, ambientais e econômicos, sendo ideal a adoção das técnicas em paralelo ao desenvolvimento do projeto urbanístico da área (ALVES, 2017). O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. O conhecimento sobre possíveis cenários climático-hidrológicos futuros e as suas incertezas pode ajudar a estimar demandas de água e também a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para períodos posteriores (MARENGO, 2008).

Na cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte, os efluentes dos esgotos são lançados *in natura* na rede de drenagem e chegam ao Rio Potengi, comprometendo a sua balneabilidade e de praias próximas à sua foz. O abastecimento hídrico da cidade, é realizado através de dois mananciais superficiais a jusante ou montante da cidade, as Lagoas de Extremoz e de Jiqui através de captação por motor-bomba. Contudo, cerca de 70% da água utilizada no perímetro urbano são de fontes subterrâneas, captadas por poços tubulares com 50 a 100 metros de profundidade, devido a cidade se encontrar sobre uma região sedimentar com disponibilidade de água através de aquífero Dunas/ Barreiras (NATAL, 2015).

Atualmente, Natal-RN convive com ameaça constante de colapso do abastecimento, agravados principalmente por falta de investimentos na ampliação do sistema de captação e tratamento, o aumento da exploração das águas subterrâneas, a redução da recarga e a contaminação do aquífero, em um cenário crítico de impermeabilização do solo, poluição e assoreamento dos corpos d'água (SILVA; TROLEIS; MOURA, 2017; PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL, 2015; START, 2015). Além disso, o sistema de abastecimento de água tem altos índices de perda, superior a 50%, somado aos efluentes das fossas residenciais que contaminam o aquífero subterrâneo, comprometendo ainda mais os recursos disponíveis (NATAL, 2009).

Outro fator que também afeta o sistema é a ocupação urbana não planejada, com destaque para as periferias, que apresentam um alto índice de crescimento com a migração das populações de baixa renda induzidas pelo menor preço dos terrenos, aumentando a ocupação de forma irregular de áreas de risco (NATAL, 2009; ALVES, 2021).

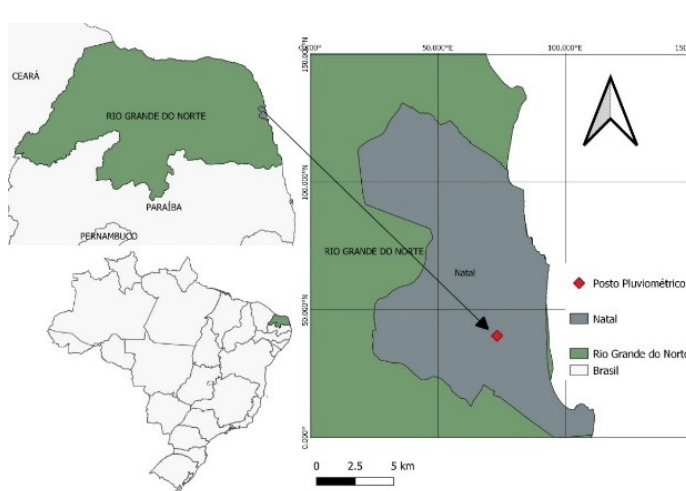
Diante do exposto, o objetivo do trabalho em questão é avaliar o comportamento da precipitação da cidade de Natal-RN a partir de dados mensais e anuais de precipitação, buscando assim analisar na série histórica dos anos de 1988 a 2017 a ocorrência de eventos extremos e posteriormente utilizar a modelagem de previsão a fim de entender os efeitos futuros para a área de estudo.

Material e Métodos

A cidade de Natal está localizada no NEB (Figura 1) com uma extensão de 167,264 km² e altitude média de 30 metros acima do nível do mar. Caracterizada pelo clima tropical chuvoso quente com verão seco segundo a classificação de Koppen, com médias anuais das temperaturas máxima de 30 °C, média de 27,1 °C e mínima de 21 °C.

A umidade relativa média anual é de 76% e o número de horas de insolação corresponde a 2.700 horas.ano⁻¹. A precipitação pluviométrica média na cidade é de 1.583,5 mm.ano⁻¹, com período chuvoso compreendendo os meses de fevereiro a setembro (RIO GRANDE DO NORTE, 2008).

Figura 1. Mapa de Localização de Natal-RN com relação ao Brasil, e identificação da estação pluviométrica do município.



Fonte: Autor (2022)

A cidade possui um relevo de natureza ondulado, devido formações de dunas, que alcançam altitudes de 80 metros, e um afloramento da formação barreiras com cobertura de dunas que se transformam em falésias, caracterizando grande parte da faixa litorânea da região. Desta forma, resultam em um sistema de drenagem natural falho, constituído por uma quantidade considerável de bacias de drenagem fechadas com fluxo radial convergente para depressões interiores, que em períodos chuvosos transformam-se em grandes lagos. Logo, grande parte das soluções adotadas nos últimos anos envolvem a construção de sistemas de drenagem isolados que se conectam a lagoas de retenção e infiltração, o que requer grandes áreas para acúmulo dos volumes escoados (NATAL, 2009).

Em 2009 foi publicado o Plano Diretor de Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais (PDDMA) da cidade de Natal, no qual foi ampliada a classificação das bacias de drenagem, que anteriormente englobavam apenas parte do município. De acordo com o PDDMA, a cidade de Natal encontra-se dividida em 20 bacias hidrográficas, sendo seis na Zona Norte de Natal e 14 nas Zonas Leste, Oeste e Sul. Estas que por sua vez subdividem-se, resultando em 86 sub-bacias de drenagem (NATAL, 2009). No Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) publicado em 2014, a partir de informações coletadas pela equipe técnica responsável,

foram levantados e cadastrados 120 pontos de alagamento na cidade de Natal (NATAL, 2014). Dentre eles, tem-se a Lagoa de infiltração e detenção do Mirassol, que dispõe de um posto pluviográfico de responsabilidade da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) nas imediações (aproximadamente 385 metros).

Coleta de Dados

Os dados utilizados neste estudo estão disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e são provenientes de 1 posto pluviométrico localizado no município (Figura 1), o código da estação selecionada foi o 82598, que possuem as seguintes coordenadas geográficas: latitude de -5,84, longitude de -35,21 e altitude de 47,68m. Foram utilizados dados mensais e anuais no horizonte temporal de 30 anos, compreendido entre 1988 a 2017. O critério de seleção do período estudado foi em função de dados contínuos e sem falhas.

Estatística Descritiva

A análise das estatísticas descritivas da amostra foi realizada para resumir informações sobre os dados estudados. Estas informações foram utilizadas para tornar os dados mais condensados, para tomada de decisão e formação de modelos. Calculou-se a média mensal de cada ano e com os valores encontrados foram determinados valores médios de precipitação mensal, desvio padrão, mediana, precipitação máxima e mínima absoluta. Com isso, foi elaborado o gráfico boxplot para melhor descrever a variância dos dados e observar a tendência da precipitação histórica no período de estudo.

Após a análise inicial dos dados e sua respectiva estatística, foram analisados os pontos de anomalia na série temporal para identificação de eventos extremos de precipitação na cidade e então comparados com informações de noticiários sobre inundações para validação da ocorrência dos eventos no período indicado.

Toda a análise estatística, aplicação dos modelos e avaliação de desempenho foi realizada com o auxílio da linguagem R através do software RStudio, utilizando dos pacotes *forecast*, *tseries*, *seasonal*, entre outros pacotes auxiliares.

Análise Estatística da Série Temporal

Normalidade

Inicialmente foi analisado o formato da distribuição dos dados e frequência das faixas de precipitação observadas na através de um gráfico histograma para a série temporal de precipitação. O primeiro método para verificação do formato da distribuição de uma variável contínua é a construção do histograma (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012).

Também foi realizado o gráfico Quantil-Quantil, ou Q-Q Plot, apenas como sendo uma outra forma para avaliar a normalidade de uma variável, através do cruzamento dos dados observados no eixo vertical e dos

dados esperados no eixo vertical. Se há uma boa aderência dos dados à distribuição Normal os pontos estão próximos à reta de referência apresentada no gráfico (RAZALI; WAH, 2012).

Porém os métodos gráficos citados têm a desvantagem de serem subjetivos, pois dependem de interpretação visual. Para um resultado mais objetivo, optou-se por aplicar o teste não-paramétrico de aderência à distribuição Normal, de Shapiro-Wilk calculado através da Equação 1.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n \alpha_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que o $x_{(i)}$, é o valor amostral ordenado e o α_i , é a constante gerada da média, variância e covariância da estatística de ordem de uma amostra aleatória de tamanho n de uma distribuição normal.

Para o teste de Shapiro-Wilk foi adotado um nível de significância (α) de 0,05, em que se o valor-p do teste for menor que α , rejeita-se a hipótese de normalidade.

Estacionariedade

Diniz et al. (1998) afirma que uma série temporal é estacionária se os dados aleatórios oscilam em torno de um valor constante. Um processo estacionário tem a propriedade de que a média, variância e estrutura de autocorrelação não mudam no decorrer do tempo.

Para a confirmação do comportamento estacionário da série de precipitação para o município de natal é, foram utilizados dois testes estatísticos: o primeiro foi o de KPSS (KWIAKOWSKI et al., 1992), teste estacionário baseado em regressão linear (equação 2) e o segundo teste aplicado foi o de Dickey-Fuller (DICKEY E FULLER, 1979), função dependente do tempo da série (Equação 3), onde é verificado a hipótese nula da série não ser estacionária, quando apresentado p-valor $> 0,05$, caso não seja aceita essa hipótese, a alternativa então a série é considerada estacionária.

Os resultados obtidos pelo KPSS, dentro do nível de confiança de 95%, devem retornar o p-valor maior que 0,05, o que indica que a série é estacionária, ou seja, não há indícios de que os dados sejam autocorrelacionados, um valor que deve ser encontrado nos resíduos, sugerindo que não haja dados explanatórios faltantes na série temporal.

$$KPSS = \left(\frac{1}{N^2} \sum_{t=1}^N S_t^2 \right) / \lambda^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\Delta Y_t = \alpha + (\theta - 1)Y_{t-1} + \gamma T + u_t \quad (\text{Eq. 3})$$

Após a aplicação dos modelos, foi feita a checagem de resíduos para cada um deles, a diferença entre o valor observado e o valor ajustado ao verificar o comportamento da série, os diagramas das funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF).

Homogeneidade

Há uma variedade de métodos estatísticos para a detecção de um ponto de mudança em uma série temporal (VEZZOLI et al., 2012; SHARKEY; KILLICK, 2014). Neste estudo, será utilizado o teste não paramétrico proposto por Pettitt (1979) para detectar a ocorrência da mudança abrupta, com um nível de significância adotado de 5%.

O teste de Pettitt utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney $U_{t,T}$, o qual verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_n , são da mesma população ou não. A estatística de teste conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda amostra. A hipótese nula (H_0) do teste de Pettitt admite ausência de um ponto de mudança na série (ULIANA et al., 2015), contra a alternativa (H_1) de existir um ponto de mudança. A estatística não paramétrica é definida como nas Equações 4 e 5.

$$K_T = \frac{\max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|}{1} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que,

$$\text{sgn}(x) = \{1 \text{ se } x > 0 \ 0 \text{ se } x = 0 \ -1 \text{ se } x < 0$$

Logo, a estatística $U_{t,T}$ é calculada para valores de $1 \leq t \leq T$, e a estatística KT do teste é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Essa estatística localiza o ponto em que houve uma mudança brusca na média de uma série temporal (PENNEREIRO; FERREIRA, 2012), onde sua significância é obtida através da Equação 6.

$$P \cong 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde P é o nível de significância; KT é o valor crítico; T é o número de anos da série histórica. Quando P é menor do que o nível de significância específica neste estudo (0,05), a hipótese nula é rejeitada.

Tendência

O teste de Mann-Kendall consiste em um teste estatístico não-paramétrico aplicado na identificação de tendências significativas de longo prazo, é comumente utilizado em análises de séries hidrometeorológicas, demonstrando bastante robustez quanto aos desvios de normalidade e não-estacionariedade dos valores de uma série (YUE et al., 2002; SANCHES et al., 2013; AHMAD et al., 2015).

Para um conjunto de dados, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, com $n > 4$, em que n é o número de pontos de dados para a comprovação da hipótese nula H_0 (onde não há tendência positiva nem negativa na série) ou de hipótese alternativa H_1 (onde há tendência positiva ou negativa na série). As equações matemáticas para o cálculo das estatísticas do teste de Mann-Kendall S (equação 7), $V(S)$ (Equação 8) e padronização a estatística do teste Z (Equação 9)

apresentadas a seguir. Através da consideração da hipótese nula (H_0), temos o somatório de x_j e x_k que são as séries de observações temporais em ordem cronológica, n é o comprimento da série temporal:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde,

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Partindo da premissa de que a hipótese H_0 seja verdadeira, é possível mostrar que S é normalmente distribuída usando a variância de S :

$$V(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde n é número de observações, g é o número de grupos vinculados (um grupo amarrado é um conjunto de dados de amostra com o mesmo valor) e t_p é o número de observações iguais no grupo p . Logo a estatística Z do teste de Mann-Kendall foi então calculada:

$$Z(MK) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde o valor positivo de Z indica uma tendência ascendente, enquanto um Z negativo indica uma tendência descendente. O nível de significância α adotado é de $\alpha = 0,05 = 5\%$ (para valores menores que 1,96, aceita-se a hipótese nula) para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante.

Modelos de previsão

Atualmente, existem muitos modelos de previsão de séries temporais desenvolvidos e aplicados à previsão de eventos hidrológicos de curto e longo prazo. Esses modelos tentam prever o comportamento futuro de uma variável analisando o comportamento apresentado em sua série histórica. (LUCIO et al, 2010). Entre os modelos de previsão existentes, nesse trabalho foi aplicado o modelo Auto Regressivo Integrado a Médias Móveis (ARIMA).

Auto Regressivo Integrado a Médias Móveis (ARIMA)

O modelo ARIMA foi desenvolvido Box e Jenkins (1976), tendo como base a correlação linear entre os dados de uma determinada variável ao longo do tempo, tendo assim uma função auto correlativa (AR), associada a integração (I) e média móvel (MA) da série, sendo esses parâmetros não sazonais representados respectivamente por (p , d e q), e verificando a probabilidade de ocorrência de eventos, e simulando o comportamento futuro para a variável estudada (WU et al, 2021). Esse modelo pode ser aplicado em séries estacionária ou não-estacionária, porém em caso de série não-estacionária, é preciso

transformar em estacionarizadas através da sua integração (WANG et al, 2014).

Porém, dependendo da variável estudada, a série temporal apresenta comportamento de sazonalidade, por isso Box et al. (2015) modificou o modelo inicial, passando assim a considerar parâmetros de sazonalidade para a série temporal representados por (P, D e Q), esses parâmetros são estimados e então o ARIMA é calculado através da equação 10, onde B é o operador translação; ϕ é o coeficiente auto regressivo não sazonal; Φ é o coeficiente auto regressivo sazonal; θ é o coeficiente média móvel não sazonal; Θ é o coeficiente média móvel sazonal.

$$\phi(B) * \Phi(B^S) * (1 - B^S)^D * (1 - B)^d * Y_t = \theta(B) * \Theta(B^S) * a_t \quad (\text{Eq. 10})$$

Esse método apresenta um bom desempenho para séries hidrológicas, e é amplamente utilizado e estudado, sendo modificado diversas vezes, como por exemplo os modelos SARIMA, ARIMA-GRACH, entre outros, no intuito de melhor as correlações temporais para que a simulação se aproxima cada vez mais de resultados reais.

Testes de desempenho

Nenhum modelo é perfeito, todos apresentam erros por lidar com variáveis hidrológicas não constantes e que sofre influência de várias outras dentro da dinâmica da atmosfera (LUCIO et al, 2010). Para diminuição desses erros, antes da aplicação dos métodos de previsão, foram selecionados dados de treino para calibrar o comportamento da série modelada ocultando uma parcela dos dados obtidos, para verificar se o modelo tem um bom desempenho e segue o comportamento real da série hidrológica, sendo estes os dados de teste. No caso em estudo para a série de 30 anos, 7 anos (janeiro de 2011 a dezembro de 2017) foram ocultados para serem usados de teste, com o desempenho verificado na comparação dos dados de teste com o previsto, validando o modelo.

Depois foi aplicado na modelagem da série completa verificando também seu desempenho. Para essa

análise então três métricas foram utilizadas: Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE).

O ME é calculado conforme a equação 11, onde é realizado o somatório do valor do dado original subtraído do dado obtido. Nessa métrica pode ocorrer anulação dos dados, se os valores forem iguais, porém é possível obter valores altos de erro, por isso deve ser utilizado em conjunto com outros métodos para confirmação e comparação de resultados (SANTANA et al, 2021). Já o MAE, equação 12, analisa a diferença absoluta do dado original e do previsto, e o RMSE, equação 13, seria a raiz do somatório do valor do dado original subtraído do dado obtido ao quadrado. Em todos esses métodos, o melhor resultado é o menor valor encontrado e mais próximo de zero, indicando a menor discrepância possível.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{|y_i|} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (\text{Eq. 13})$$

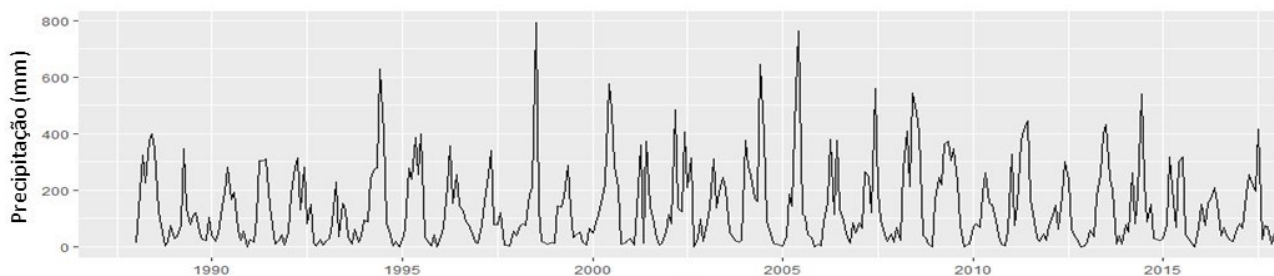
Resultados e Discussões

Série histórica

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição da precipitação no município de Natal ao longo dos meses. Conforme a metodologia supracitada, os resultados obtidos da aplicação de estatística descritiva estão, conforme demonstrado na Tabela 2, com a precipitação média mensal do município de Natal durante o período estudado.

Os valores médios que representam o período com maior intensidade de precipitação estão entre os meses de junho e julho, com 341,4mm e 253,5mm, e com menor intensidade estão os meses de outubro e novembro, com 23,153mm e 25,02 mm, representando o mês mais seco da região.

Figura 2 - Gráfico de comportamento da chuva - espaço temporal, do município de Natal no período de 1988 a 2017.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 2. Estatística descritiva da variável precipitação do município de Natal, com dados de 1988 a 2017.

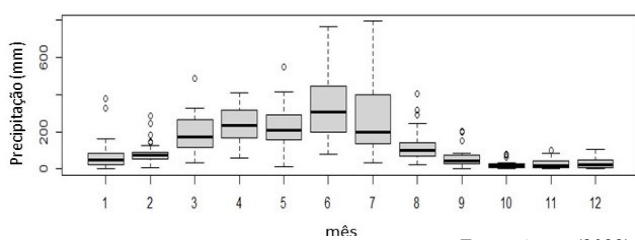
Período	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Média (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão	1º Quartil	3º Quartil
Janeiro	2,00	376,30	75,63	50,90	89,79	25,23	83,22
Fevereiro	6,80	284,20	85,45	75,05	67,02	54,02	87,15
Março	35,1	483,8	187,6	173,2	102,27	119,6	259,6
Abril	60,7	409,3	234,2	233,4	104,99	167,9	312,6
Mai	14,4	548,3	228,9	210,1	120,34	156,1	286,9
Junho	77,2	762,3	341,4	303,4	184,81	200,5	435,4
Julho	31,1	791,8	253,5	197,1	172,04	136,2	398,2
Agosto	24,30	401,30	125,30	100,10	91,31	70,17	136,12
Setembro	1,00	205,10	56,14	44,15	52,93	29,62	71,33
Outubro	1,000	76,900	23,153	19,300	17,46	8,325	28,750
Novembro	0,70	98,20	25,02	17,55	25,00	8,90	40,48
Dezembro	0,100	104,050	28,892	20,650	25,42	7,475	49,150

Fonte: Autor (2022)

É possível verificar na Figura 3 o padrão da variabilidade média histórica mensal da precipitação durante o período de 1988 a 2017 para o município de Natal. As médias mensais foram estimadas para quantificar os períodos de maior ocorrência de chuva e seca para a área em estudo. Os maiores índices de precipitação estão presentes nos meses de abril a julho, de 253,5mm ao máximo de 341,4mm, esses valores podem ser explicados porque esses meses estão inseridos no quadrimestre chuvoso, no qual é de abril a junho tendo como principal influência a circulação dos ventos provenientes do oceano Atlântico da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aumentando a umidade na região e aumentando ocorrência da precipitação (IDEMA, 2010; AMORIM et al. 2020).

Os menores índices estão entre os meses de outubro a dezembro, tendo baixa ocorrência de chuvas superiores a 30 mm, representando um período seco, segundo Lima et al. (2019), afirmam que tal fato pode ser explicado por se tratar dos meses com os menores acumulados de precipitação no Estado.

Figura 3 - Variabilidade média mensal dos valores de Precipitação para o município de Natal no período de 1988 a 2017.



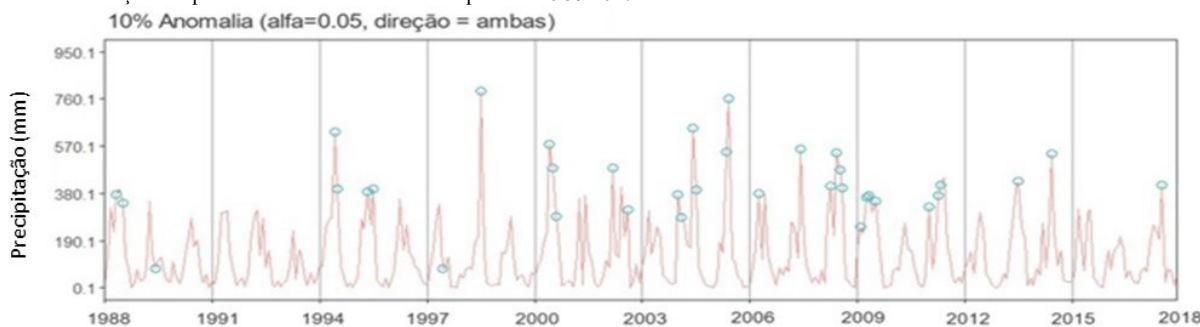
Fonte: Autor (2022)

Eventos Extremos de Precipitação

Utilizando o comando *AnomalyDetectionVec*, que detecta anomalias em séries temporais sazonais, foi possível identificar um total de 36 pontos de anomalia, considerando o comportamento normal da precipitação comparando com o mesmo mês avaliado ao longo dos anos. Na Figura 4, puderam ser observados pontos de anomalia de eventos de precipitação intensa, sendo esses 34 do total, e também eventos de escassez de chuva fora dos padrões apresentados nos outros anos da série estudada, sendo esses representados por 2 pontos. As primeiras anomalias foram detectadas no ano de 1988. A partir do ano de 1994 pôde ser observado um número mais significativo de pontos de anormalidade. Devido ao regime climático da área estudada, a série apresentou chuvas concentradas entre os meses de abril e junho, meses esses que apresentaram as maiores quantidades de pontos de anormalidade, 29 pontos no total, porém maior parte dos pontos se concentram entre os anos de 1998-2009, com 22 pontos dentre os 36 encontrados.

Para o mês de abril foram registrados pontos nos anos de 2006, 2008, 2009 e 2011 com chuvas na faixa de 370-410 mm. Já o mês de maio apresentou pontos nos anos de 1988, 1995, 2005, 2009, 2011, entre esses anos a maior chuva registrada foi de 548 mm, acima 185 mm da média para o mês. O mês de junho foi o único mês com chuvas registradas em ambos os extremos, nos anos de 1994, 2000, 2004, 2005, 2007, 2008, 2014 foram encontrados pontos de chuvas intensa, com valores entre 540-762mm. Também foram encontrados 2 pontos com registros de chuvas muito abaixo da média nos anos de 1989 e 1997, de cerca de 77mm. Junho foi o mês com maiores índices de chuva e maior número de pontos de eventos extremos para a região, com chuvas médias de 345mm.

Figura 4. Identificação dos pontos de anomalia na série temporal de 1988-2017.



Fonte: Autor (2022)

O mês de julho apresentou pontos nos anos de 1988, 1994, 1995, 1998, 2000, 2003, 2008, 2009, 2013 e 2017, com chuvas registradas entre 394-791,8mm, mês que apresentou média de 240mm. A maior chuva registrada foi em julho de 1998, chegando a um acumulado de 791,8mm, acima dos 218 mm esperados para esse período. De acordo com notícia registrada na época pela Folha de São Paulo (1998), tal chuva provocou enchentes tão fortes que foi necessário decretar estado de calamidade pública, cerca de 3000 pessoas ficaram desabrigadas, também houve deslizamentos de terra, cerca de 70 casas foram atingidas e 6 pessoas vieram a óbito.

Os anos de 2008 e 2009 foram anos com precipitação bastante elevada, nesses anos houve recorrência contínua de precipitação elevada, nos meses de abril a agosto, concentrando 7 pontos de anomalia. De acordo com noticiário da época divulgado no Tribuna do Norte (2009), as chuvas registradas obtiveram índices 68% mais elevados do que o esperado para a época e as enchentes consequentes deixaram 48 famílias desabrigadas, com destruição de estradas, plantações e áreas de fruticultura, causando um prejuízo estimado de 75 milhões de reais em danos para a cidade.

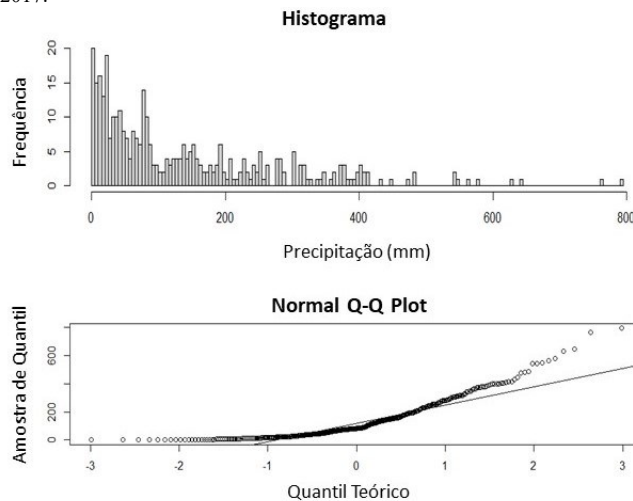
Outro ano que apresentou grandes danos devido a enchentes foi em 2014, em que foi registrado um pico de 540,4mm de chuva em junho. De acordo com o portal G1 (2014), foi registrado uma chuva de 285mm que durou 48 horas, iniciando no dia 13, e a cidade decretou estado de calamidade pública devido às consequências desse evento, desde enchentes nas zonas sul e oeste da cidade, a deslizamentos na zona leste (sendo necessário evacuar algumas áreas de risco) e a destruição de estradas.

Entre os meses do período de concentração de chuvas, foram registrados pontos extremos em janeiro de 2004 e 2011, com chuvas de 376,3 e 326,1 mm respectivamente, mês que apresenta uma média de 68 mm. No mês de fevereiro teve pontos em 2004 e 2009, com valores na faixa de 250 mm. No mês de março foi registrado um ponto em 2002, com chuvas de 483,8 mm, acima da média de 185mm para o mês e o último mês que apresentou pontos foi agosto, nos anos de 2000, 2002 e 2008, com chuvas entre 289-401,3mm, acima da média de 126mm. Os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro não apresentaram nenhum ponto de anomalia.

Vulnerabilidade da Precipitação

A Figura 5 apresenta os gráficos de histograma e distribuição de quartis da série pluviométrica de natal, com utilização de 360 amostras. O histograma observado apresentou assimetria na distribuição, não correspondendo ao padrão Normal, mas semelhante às Gama e Log-normal. Tal semelhança é constatada pela não linearidade das distribuições de quartis. Verificou-se que os pontos não se aproximam bem da linha de tendência linear, típica da distribuição Normal.

Figura 5. Gráficos de histograma e de Q-Q Plots, referentes aos valores brutos de Precipitação para o município de Natal no período de 1988 a 2017.



Fonte: Autor (2022)

Após a análise dos gráficos foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Considerando um nível de significância de 5%, foi obtido um p-valor $< 2,2e^{-16}$, esse valor resulta na rejeição da hipótese de normalidade, sendo reforçado com o valor tabelado de Shapiro W, que para a quantidade de amostras foi de $w=0,8374$, sendo menor que o valor obtido rejeitou-se a hipótese de normalidade ao nível de significância.

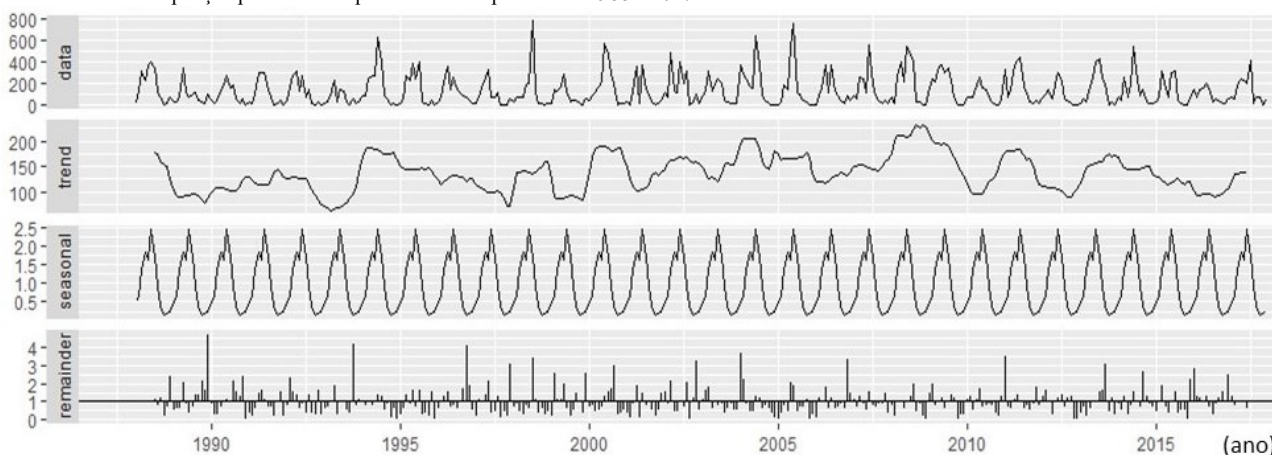
Tal resultado indicou que a distribuição da precipitação para a cidade em estudo é diferente da Normal, comumente observada no NEB. Corroborando com Santos et al., 2015 e Rocha et al., 2020, em que observaram a ocorrência de eventos extremos, ou seja, apesar de terem apresentado anos com precipitações anuais muito baixas, houveram também a ocorrência de precipitações anuais acima da média anual total calculada pelo método da distribuição de frequência. As chuvas na região do estudo não são constantes, nem nos meses, nem nos anos, existindo ciclos de seca.

A série temporal foi decomposta em 4 partes: os dados brutos, tendência, sazonalidade e resíduo, como pode ser observado na Figura 6. A série apresentou uma leve tendência de alta, com picos entre alguns anos, existindo quebras estruturais que podem ser explicadas pelas oscilações das médias, com tendência de retorno à média observada nos anos de 2000 a 2010. A série apresenta sazonalidade com o ciclo de retorno a 0 mm, corroborado pelos ensaios realizados anteriormente.

Os resultados encontrados nos testes KPSS e Dickey-Fuller (Tabela 3) foram conclusivos quanto à estacionariedade, significando que existe uma forte eficiência dos modelos de previsão.

Os valores encontrados para o teste Dickey-Fuller, demonstraram que a série é estacionária dando o p-valor inferior ao nível de significância (0,05), sendo rejeitada a hipótese nula e aceitando a hipótese alternativa, de que a série é estacionária. Com o teste de KPSS, em que obteve o p-valor maior que o nível de significância (0,05) não rejeitando a hipótese nula é da série ser estacionária, reforçando assim o resultado do teste de Dickey-Fuller.

Figura 6. Série temporal decomposta, gráficos dos dados mensais (data), tendência (trend), sazonalidade (seasonal) e resíduo (remainder), referentes aos valores de Precipitação para o município de Natal no período de 1988 a 2017.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 3. Teste de Estacionariedade: Dickey-Fuller e KPSS.

	Dickey-Fuller (Raiz Unitária)	KPSS
Valor do Teste Estatístico	-10,755	0,048
Valor Crítico	-3,422	0,145
p-valor	<0,0001	0,625

Fonte: Autor (2022)

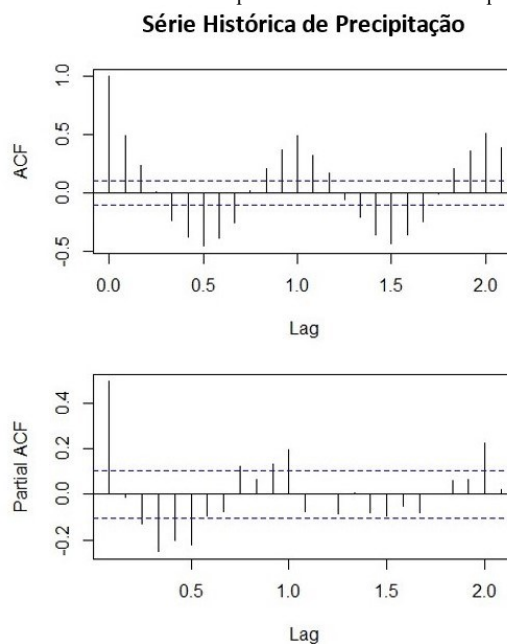
Porém essa quebra mostra um aumento bem pequeno na tendência da série temporal, ponto que pode ser confirmado no teste de Mann-Kendall (Tabela 4) com p-valor = 0,490, sendo então uma tendência insignificante, nem ascendente nem descendente, podendo então ser considerada uma serie lateralizada.

Para os gráficos ACF e PACF da série histórica da Precipitação (Figura 7), optou-se por manter os aspectos naturais dos dados, com o intuito de reproduzir previsões com aspectos e distribuições semelhantes à série histórica.

Foi possível notar que o ACF possui valores elevados nos primeiros lags, com uma queda rápida nos demais lags, porém retornando periodicamente aos valores mais altos, com forte sazonalidade. Essa condição pode ser confirmada pelo PACF, com autocorrelação presente no lag de ordem 1, com queda vertiginosa para os lags seguintes, com oscilação periódica ao longo dos lags de forma dissipada. Os dados apresentaram sazonalidade e os dados mais próximos de uma média que pode ser explicado pelo clima do município de Natal, que é um clima tropical.

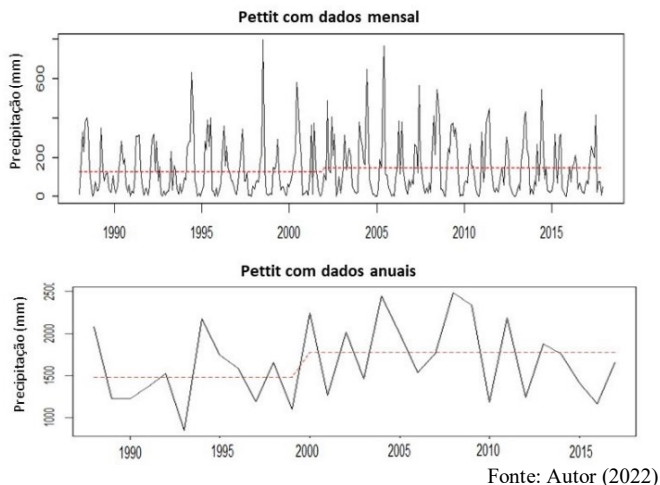
O teste de Pettit na série mensal foi realizado para identificar em que ano ocorreu a ruptura (ponto de mudança) nos dados de precipitação da série histórica, marcando a presença de dois períodos hidrológicos distintos, com p-valor=0,594, rejeitando assim a hipótese nula de ausência de ponto de mudança, ocorrendo no ano de 2001 no mês de dezembro (Figura 8).

Figura 7. Gráficos da ACF e PACF para a série histórica da Precipitação.



Fonte: Autor (2022)

Figura 8. Mudança dos níveis de Precipitação dos dados normais do município de Natal.



Fonte: Autor (2022)

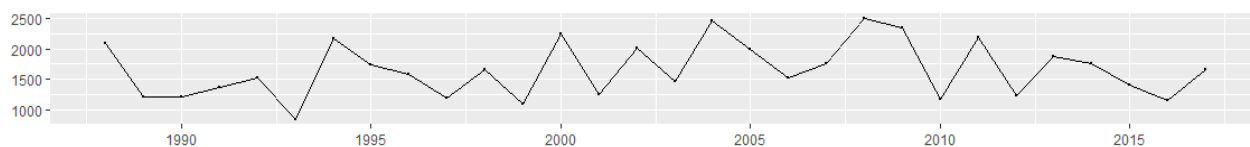
Tabela 4. Teste de Tendência Mann-Kendall da série de precipitação do município de Natal.

Tendência Mann-Kendall						
	z	n	p-valor	S	varS	tau
Dados	0.689	360	0.490	1575,0	5205467,67	0,024

Fonte: Autor (2022)

Fatores antrópicos, como o desmatamento e o uso indevido dos ecossistemas, podem modificar o clima de uma região contribuindo para as mudanças no sistema global, mesmo não identificando tendências de longo prazo na precipitação pluvial anual, as alterações curto período pode ser relativa a flutuação natural da precipitação pluvial as condições atmosféricas do momento. Por exemplo, quando a ocorrência de El Niño ou La Niña, não necessariamente associada a uma

Figura 9. Dados acumulados anuais de precipitação em Natal 1998 a 2017



Fonte: Autor (2022).

Tabela 5. Estatística descritiva dos dados anuais acumulados da série estudada

Mín. (mm)	Máx. (mm)	Mediana (mm)	Média	Desvio Padrão
858,20	2483,20	1684,95	1712,81	441,52

Fonte: Autor (2022)

Analisando a figura 10, no gráfico do ACF foi possível observar a correlação entre os dados de precipitação e tempo, já no gráfico PACF foi observada a relação do dado de precipitação com o seu dado anterior. No gráfico do ACF (Figura 10) ocorreu uma alternância entre queda e elevação de valores, com um lag máximo de 4, porém ainda dentro do intervalo de confiança, indicando um padrão sazonal não representativo. Já o gráfico PACF (Figura 10) apresentou um comportamento bastante semelhante, porém com os valores de lag inferiores, onde o lag máximo atingiu 4, porém novamente, dentro do intervalo de confiança, apresentando assim uma correlação

mudança definitiva nos padrões pluviométricos (GUEDES; PRIEBE; MANKE, 2019).

Modelagem de Previsão

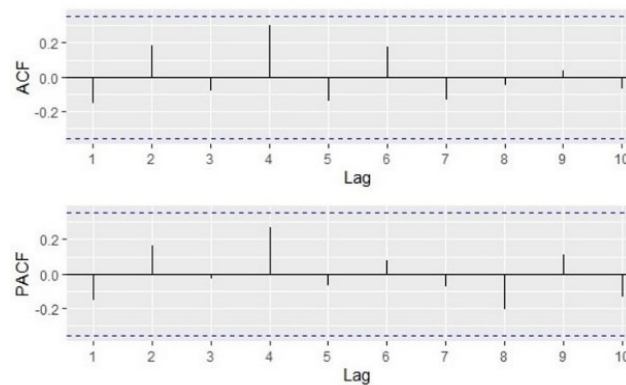
Para modelagem da previsão de precipitação futura em Natal foi utilizando os dados médios anuais calculados a partir dos dados mensais obtidos diretamente no INMET com auxílio do software *Microsoft Office Excel*, de maneira a tentar reproduzir a tendência de alteração no volume de precipitação local e a probabilidade de ocorrência de eventos extremos. A descrição dos dados pode ser vista na Tabela 5.

Realizando os testes de estacionariedade para esse novo conjunto de dados anuais acumulados (Figura 9), foi encontrado para Dickey-Fuller um p-valor=0,01 e para KPSS um p-valor= 0,23, indicando uma série estacionaria também para os dados anuais.

Para observar a tendencia desses dados, o teste de Pettit com p-valor=0,4076, indicando um ponto de mudança, como vemos na Figura 8, pelos dados foi inicialmente identificado um padrão de épocas com precipitação elevada, e outras com baixa, porém não voltando para uma média, já que é possível verificar um aumento da linha na média a partir do ano de 2001, com alguns períodos de pico nos anos que ocorreram precipitação mais elevada, porém o comportamento não apresenta um padrão sazonal, e o teste de Mann-Kendall teve p-valor=0,4754, aceitando assim então a hipótese nula em que a serie não apresenta tendência que pode ser considerada significativa, mesmo que apresente um ponto de mudança.

fracamente entre os dados e não apresentando valores significativos de médias móveis.

Figura 10. Gráfico ACF e PACF da série histórica Anual.



Fonte: Autor (2022)

Os modelos de previsão apresentam um melhor desempenho em dados estacionários, como foi visto nas análises anteriores, não é o caso da região de estudo. Os dados devem apresentar uma boa correlação entre eles. Aplicando o ARIMA e o ajuste da série da série temporal, a comparação dos modelos em busca da configuração de parâmetros pode ser vista na Tabela 6, com resultados de maior adequação ao comportamento real da série temporal.

Tabela 6. Modelos ARIMA testados na série de treino (1988-2007).

Modelo	Parâmetro	AIC	BIC	p-valor	Desvio-Padrão
ARIMA (1,0,0)	Ar1= -0,2398	303,08	306,06	0,2726	0,218
ARIMA (1,1,0)	Ar1= -0,6977	292,75	294,63	0,0002	0,159
ARIMA (1,1,1)	Ar1= -0,3863 Ma1= -0,7551	291,12	293,95	0,1171 0,0002	0,245 0,180
ARIMA (1,2,0)	Ar1= -0,8038	291,69	293,47	0,0000	0,122
ARIMA (1,2,1)	Ar1= -0,2802 Ma1= -1,000	284,50	287,17	0,0004 0,0000	0,165 0,165

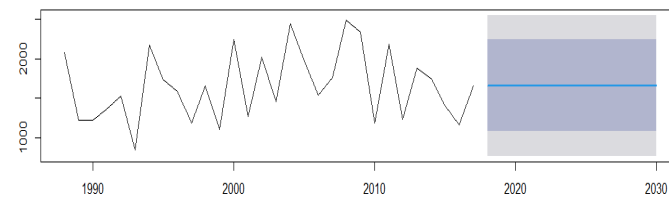
Fonte: Autor (2022)

Entre os modelos avaliados, o modelo ARIMA(1,2,1) foi o que apresentou os melhores resultados, apresentando os menores valores para Akaike's Information Criterion (AIC) e Schwarz Bayesian Information Criterion (BIC), com p-valor menor que 0,05 que torna os resultados significativos, e um erro padrão baixo. Quando comparado com o período de validação, de 2008 a 2017, os valores apresentaram uma média de 27% de erro percentual absoluto.

Após a validação, o modelo foi aplicado na série completa, sendo realizada uma previsão total de 13 anos, período de 2018 a 2030, o gráfico indicado na figura 11, indica uma tendência nula de aumento de volume anual de chuvas.

Conforme observado nos dados anuais da série, os valores de previsão ficaram dentro do limite de confiança da série prevista, onde o valor médio de previsão foi de 1658,65 mm, um valor bastante aproximado da média da série original, foi obtido os resultados do intervalo de confiança para eventos de precipitação e seca respectivamente em 2237,96 mm e 1079,35 mm (80% nível de confiança) e 2544,63 mm e 772,68 mm (95% nível de confiança).

Figura 11. Modelagem ARIMA (1,2,1) para o período de previsão de 2018-2030.

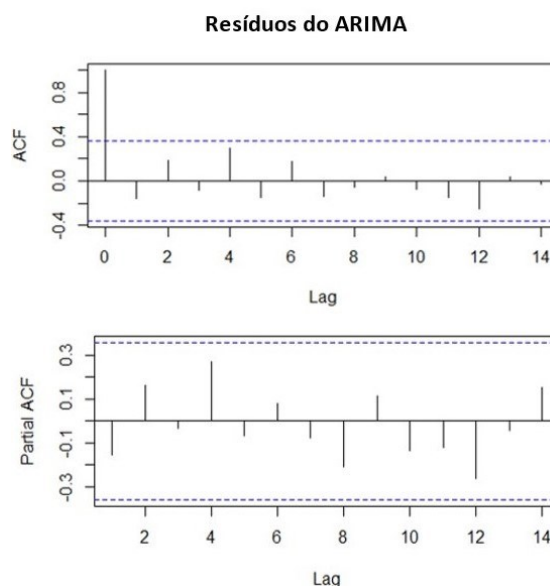


Fonte: Autor (2022)

Avaliando o modelo, foi possível obter um p-valor inferior a 0,05, para ambos os parâmetros, indicando que são estatisticamente significantes para o modelo. Considerando o desempenho da modelagem apresentaram um percentual satisfatório de erros, onde o valor do MAPE foi de 24,23%, o valor obtido do ME baixa, de 0,16, o que pode indicar que o modelo é eficiente. Os resultados dos parâmetros do modelo e teste de desempenho pode ser observado na Tabela 7.

Observando os gráficos ACF e PACF dos resíduos da previsão (Figura 12) os valores de lag se encontram dentro do intervalo de confiança, com exceção do lag 1 do ACF, que mostra uma relação positiva, os outros valores mantendo uma oscilação lenta entre os lags, comportamento semelhante com os dados históricos, o p-valor dos resíduos foi de 0,44, valor superior a 0,05, concluindo que os resíduos são independentes ou possui uma correlação fraca.

Figura 12. Gráfico ACF e PACF dos resíduos da previsão



Fonte: Autor (2022)

Tabela 7 - Parâmetros e métricas de desempenho da previsão.

Parâmetro	AIC	BIC	p-valor	Erro Padrão	ME (mm)	RMSE	MAPE (%)
Ar1= -0,641			0,00007		0,14		
Ma1= -0,99	440,25	444,25	0,00000	0,09	0,168	436,70	24,23

Fonte: Autor (2022)

Conclusão

Através do *AnomalyDetectionVec* identificou-se um total de 36 pontos de anomalia, já para eventos de precipitação intensa 34 pontos do total. A série temporal de precipitação do município de Natal, apresentou os maiores índices de chuva nos meses de abril a julho, de 253,5 ao máximo de 341,4 mm.

Foi realizada uma análise dos gráficos de precipitação e observado que os valores não seguem uma normalidade. Após aplicação do teste de Shapiro-Wilk foi confirmado que os dados não seguem um padrão de normalidade. Uma série de precipitação dificilmente será um dado normal no Nordeste do Brasil, as chuvas na região do estudo não são constantes, nem nos meses, nem nos anos, existindo ciclos de seca.

Os resultados encontrados nos testes de estacionariedade realizados, foram conclusivos quanto a estacionariedade, significando que existe uma forte eficiência dos modelos de previsão. O teste de homogeneidade de Pettitt resultou em uma ruptura (ponto de mudança) nos dados de precipitação da série histórica, tendo a presença de dois períodos hidrológicos distintos. No teste de tendência de Mann Kendall, os resultados confirmaram a lateralidade da tendência para os dados, não possuindo uma tendência ascendente nem descendente. As reduções e aumentos que se observaram em curto período se referem, possivelmente, à flutuação natural da precipitação pluvial. As oscilações na precipitação podem estar relacionadas a uma causa natural, não necessariamente são associadas a uma mudança definitiva nos padrões pluviométricos.

O modelo de previsão aplicado um valor do MAPE em 24%, indicando uma acuracidade adequada para ser utilizada na tomada de decisão. A previsão não mostrou uma tendência significativa de aumento ou queda da precipitação anual na cidade de Natal, que de acordo com a análise dos extremos, as chuvas estão concentradas principalmente nos meses de maio, junho e julho.

A análise de previsão adequada pode ser utilizada como um instrumento de auxílio criação e utilização de medidas de planejamento em áreas urbanas. Como se trata, nesse caso, de uma previsão anual, o intuito foi observar a tendência da chuva a longo prazo. Para o caso estudado, uma avaliação interanual de longo prazo, como a realizada no estudo para os anos de 2018 a 2030, pode ser utilizada como auxílio para o planejamento da estrutura urbana na cidade para identificação das fragilidades (vulnerabilidades) da local quanto aos eventos extremos e consequentemente base para elaboração de planos de contingência.

Referências

AHMAD, I.; TANG, D.; WANG, WANG, T.; WANG, M.; WAGAN, B. Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, v. 2015, p. 15, 2015.

ALVES, H. P. F. Socio-environmental vulnerability in the São Paulo Macrometropolis' three main metropolitan regions: a socio-environmental indicators analysis indicators analysis. *Ambiente & Sociedade*, v. 24, 2021.

ALVES, P. B. R. **Simulação de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem propostas em duas microbacias urbanas**. Dissertação (Mestrado). Programa de pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017.

AMORIM, A. C. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S.; RODRIGUES, D. T.; BRITO NETO, F. A. D. Regionalização e análise da tendência da precipitação do Rio Grande do Norte associados a padrões de TSM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, 269-280, 2020.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**, Revised Edn., Hoden-Day, San Francisco. 1976.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. John Wiley & Sons, 2015.

BURSZTA-ADAMIAK, E.; MROWIEC, M. Modelling of green roofs hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Science & Technology*, v. 68, p. 36-42, 2013.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos. 2 ed., 2014.

DA SILVA, B. K. N., AMORIM, A. C. B., SILVA, C. M. S., LUCIO, P. L. AND BARBOSA, L.M. Rainfall-related natural disasters in the Northeast of Brazil as a response to ocean-atmosphere interaction. *Theoretical and Applied Climatology*, p. 1-9, 2019.

DEMIRDJIAN, L., ZHOU, Y. AND HUFFMAN, G.J. Statistical modeling of extreme precipitation with TRMM data. *Journal of applied meteorology and climatology*, v.57, n.1, p. 15-30, 2018.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, v. 74, p. 427-431, 1979.

DINIZ, H. A. L.; CARVALHO, A.; ANDRADE, M. **Previsão de séries temporais utilizando redes neurais artificiais e modelos de Box e Jenkins**. Proceedings of the V Brazilian Symposium on Neural Networks, Belo Horizonte: p. 173-178, dez. 1998.

FOLHA DE SÃO PAULO. Enchentes em Natal deixam seis mortos. São Paulo, 1998. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff31079838.htm>. Acesso em: 28 de jun. 2022.

G1. Após mais de 50 horas, chuvas dão trégua em Natal. Natal, 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/m/rio-grande-do-norte/noticia/2014/06/apos-mais-de-50-horas-chuvas-dao-tregua-em-natal.html>. Acesso em: 31 jun. 2022.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. S.; MANKE, E. B. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 2, p. 283-291, 2019.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente, 2010. **Anuário estatístico 2010**. Governo do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. Disponível: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso: 31 ago. 2021.

IPCC. Summary for policy makers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32, 2014.

ISABEL, R. S.; MOTA, D. J. M. **Agenda 2030 e desenvolvimento humano: uma análise da política migratória brasileira**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017.

KWIATKOWSKI, D; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root. *Journal of Econometrics*, v. 54, p. 159-178, 1992.

LIMA, S. L.; SILVA, M. T.; SOUSA, W. G.; SIQUEIRA, M. S.; ANDRADE, A. S.; MELO, M. M. M. S. Space and temporal episode standards dry in the State of Rio Grande do Norte. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 9, p. 330-342, 2019.

LÚCIO, P. S.; SILVA, F. D. D. S.; FORTES, L. T. G.; SANTOS, L. A. R. D.; FERREIRA, D. B.; SALVADOR, M. D. A.; DIAS, P. L. D. S. Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.70-87. 2010.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, 2008.

- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2a edição, 2007.
- MARZOCHELLA, L. A. **Entre o real e o imaginário: A percepção de risco de desastre socioambiental na perspectiva da criança**. Dissertação (Mestrado). Programa de pós graduação em Psicologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.
- NATAL - PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Natal/RN**. Start Pesquisa e Consultoria Técnica Ltda. Natal, 2015.
- NATAL, Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da cidade do Natal** - Manual de drenagem. 2009, 256 p., Natal: 2009.
- NATAL, Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Natal/RN** – Produto 02- Diagnóstico da situação do Saneamento. 2014, 319 p., Natal: 2014.
- OJIMA, R.; MARANDOLA Jr. E.(org). **Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social**. São Paulo: Editora Blucher, 2013, 272p.
- OLIVEIRA, P.T., E SILVA, C.S., AND LIMA, K.C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and applied climatology**, v. 130, n.2, p. 77-90, 2017.
- OLIVEIRA, P.T., LIMA, K.C. AND E SILVA, C.M.S. Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. **Advances in Geosciences**, v. 35, p. 73-78, 2013.
- PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L. Testes estatísticos e questões ambientais no ensino de engenharia: uma aplicação em climatologia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 31, p. 25-44, 2012.
- PENG, Z.; STOVIN, V. Independent Validation of the SWMM Green Roof Module. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 22, n.9, 2017.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Natal/RN**: Subproduto 2.3 - situação dos serviços de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário. Secretaria Municipal de Habitação, Regularização Fundiária e Projetos Estruturantes – SEHARPE. Start Pesquisa e Consultoria Técnica Ltda. Natal, 2015.
- QIN, H.; LI, Z.; FU, G. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 577-585, 2013.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-wilk, kolmogorovsmirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of Statistical Modeling & Analytics**, v. 2, p. 21-33, 2012.
- RIO GRANDE DO NORTE, Governo do Estado. **Perfil do seu município**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH; Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA. v. 10, p. 1-26, Natal: 2008.
- ROCHA, R. L.; SILVA, F. D. S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L.; PINTO D. D. C.; HERDIES, D. L.; JÚNIOR CABRAL, J. B.; PITA-DÍAZ, O. Mudança de Longo Prazo e Regionalização da Evapotranspiração de Referência no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, p. 891-902, 2020.
- RODRIGUES, D. T. **Análise de eventos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil** / Daniele Torres Rodrigues. - 2019. 123f.: il.
- SANTANA, C. F. D.; BEZERRA, A. P.; DA COSTA BRITO, V.; CURI, W. F.; DA SILVA SANTOS, V. Análise De Desempenho De Modelos Preditivos Para Determinação Do Comportamento Padrão De Séries Pluviométricas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n.4, 2021.
- SANTOS, W. O.; SOBRINHO, J. E.; JÚNIOR SILVA, M. J.; OLIVEIRA, J. C. Precipitação Pluviométrica no Município de Pau dos Ferros de 1964 a 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2015.
- SHARKEY, P.; KILLICK, R. **Nonparametric Methods for Online Changepoint Detection**. Lancaster Univ, Lancaster, UK. 2014.
- START. **Pesquisa E Consultoria técnica Ltda. Plano Municipal De Saneamento Básico Do Município de Natal/RN**, produto 02 - Diagnóstico Da Situação Do Saneamento subproduto 2.3-Situação dos Serviços De Abastecimento De Água Potável e De Esgotamento Sanitário Natal/RN março/2015.
- STOVIN, V.; POE, S.; BERRETTA C. A modelling study of long term green roof retention performance. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 206-215, 2013.
- TRIBUNA DO NORTE. Média de chuva no RN foi 68% maior do que o normal. Natal, 2009. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/media-de-chuva-no-rn-foi-68-maior-do-que-o-normal/125277>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidadede variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Rev. HCPA & Fac. Med. Univ. Fed. Rio Gd. do Sul** ; 32(2): 227-237, 2012.
- TUCCI, C. E. M. (Organizador). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. 4 ed., v. 4, 943 p, 2015.
- ULIANA, E. M.; DEMETRIUS, D. S.; ULIANA, E. M; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 82-88, 2015.
- UN WATER, **Water Governance: Resumo Executivo**. Adaptação às Mudanças Climáticas: o papel essencial da água, 2008. Disponível em <http://www.unwater.org>, Acesso em: 03 jul. 2022.
- WANG, H. R.; WANG, C.; LIN, X.; KANG, J. An improved ARIMA model for precipitation simulations. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 21, n. 6, p. 1159-1168. 2014.
- WU, X.; ZHOU, J.; YU, H.; LIU, D.; XIE, K.; CHEN, Y.; XING, F. The Development of a Hybrid Wavelet-ARIMA-LSTM Model for Precipitation Amounts and Drought Analysis. **Atmosphere**, v. 12, n.1, p. 74, 2021.
- YANG, Y.J., WANG, H., CHEN, F., ZHENG, X., FU, Y. AND ZHOU, S. TRMM-Based Optical and Microphysical Features of Precipitating Clouds in Summer Over the Yangtze–Huaihe River Valley, China. **Pure and Applied Geophysics**, v. 176, n.1, p.357-370, 20.