



Aplicação da metodologia Box & Jenkins em dados de precipitação na região do sertão do estado de Pernambuco – Brasil

Application of the Box & Jenkins methodology in precipitation data in the sertão region of the state of Pernambuco – Brazil

Rosendo Chagas de Albuquerque¹, Ricardo Alves de Olinda¹, Ana Luiza Xavier Cunha², Rosângela Gomes Tavares², Valmir Cristiano Marques de Arruda², Moacyr Cunha Filho²

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, Brasil

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Contato: moacyr2006@gmail.com

Palavras-Chave

série temporal
modelo ARIMA
previsão
índice pluviométrico
tendência

RESUMO

As mudanças climáticas têm chamado a atenção de muitos pesquisadores nos últimos anos. Sendo o estudo do comportamento da precipitação pluvial de suma importância para o planejamento de várias atividades econômicas, podendo ser realizado por meio de modelos de séries temporais. Assim, objetivou-se com este estudo, identificar padrões de comportamentos, usando a metodologia de Box & Jenkins, aos totais mensais de precipitação das cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, descrevendo o comportamento da série por meio de seu modelo de decomposição, verificando a existência dos componentes de sazonalidade e de tendência para cada cidade estudada, e encontrar o modelo que melhor representa seu caráter preditivo. Os dados foram obtidos na estação meteorológica digital, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), registradas no período de 1970 a 2017. No primeiro momento verificaram-se os gráficos da série histórica, no qual permite uma ideia do comportamento da série, esse comprovado através de testes estatísticos na seleção dos modelos o qual é importante fixar os critérios de seleção adotados ao longo desta etapa e por último realizou-se a previsão da série. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que a precipitação teve um comportamento similar nas três cidades, em que os meses entre março e junho são chuvosos e entre julho e fevereiro são meses mais secos e os modelos ARMA (3,3), SARIMA (3,2)(1,1) e SARIMA (2,3)(1,1), são os que apresentaram melhores propriedades estatísticas para prever a precipitação pluviométrica nas cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina.

Key-word

temporary series
model ARIMA
forecast
rainfall index
trend

ABSTRACT

Climate change has caught the attention of many researchers in recent years. The study of the behavior of rainfall is extremely important for the planning of various economic activities, and can be performed through time series models. Thus, the objective of this study was to identify behavior patterns, using the Box & Jenkins methodology, to the monthly total precipitation of the cities of Arcoverde, Ouricuri and Petrolina, describing the behavior of the series through its decomposition model, verifying the existence of seasonality and trend components for each city studied, and to find the model that best represents its predictive character. Data were obtained from the digital weather station, Meteorological Database for Teaching and Research (BDMEP), recorded from 1970 to 2017. In the first moment, the graphs of the historical series were verified, in which it allows an idea of the behavior of the series, proven by statistical tests in the selection of the models, which is important to fix the selection criteria adopted during this stage and lastly the forecast of the series. Based on the results obtained, it was possible to conclude that precipitation had a similar behavior in the three cities, where the months between March and June are rainy and between July and February are drier months and the ARMA (3,3), SARIMA (3,2)(1,1) e SARIMA (2,3)(1,1), showed the best statistical properties to predict rainfall in the cities of Arcoverde, Ouricuri and Petrolina.

Informações do artigo

Recebido: 18 de agosto, 2019

Aceito: 15 de fevereiro, 2020

Publicado: 30 de abril, 2020

Introdução

Os recursos hídricos são um dos maiores bens da humanidade, pelo fato de fornecerem água para várias atividades, tais como, consumo humano, produção de alimentos, consumo dos animais, uso nas grandes indústrias, fonte de pesca, produção de energia elétrica, dentre outras. Assim, faz-se necessário realizar análises para um melhor planejamento destas atividades (TABARI & TALAEE, 2016).

A análise de séries temporais aplicada a dados climatológicos tem atraído um interesse especial nos últimos anos, pois o clima interfere diretamente em muitas atividades econômicas, determinando o sucesso ou fracasso de vários empreendimentos. As séries temporais possibilitam estudar a existência de mudanças ao longo do tempo, em uma determinada variável, sendo importante instrumento para, por meio do comportamento passado, ajustar um modelo matemático para tendências e previsões futuras (CARGNELUTTI FILHO et al., 2018).

O conhecimento do comportamento das precipitações pode fornecer subsídio para determinar períodos críticos predominantes na região, tendo-se condições de fornecer informações que visem a reduzir as consequências causadas pelas flutuações de chuvas e secas (BOTELHO & MORAIS, 1999).

Dada a importância de previsões confiáveis da precipitação para diversos empreendimentos, vários estudos são conduzidos no intuito de se obter modelos que conduzam a estimativas cada vez mais precisas em diversas regiões do Brasil (PINTO et al., 2015).

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo de qualquer fenômeno aleatório. A análise de séries temporais consiste em encontrar relações de dependência existentes temporalmente nos dados buscando-se identificar o mecanismo gerador da série, com o objetivo de extrair periodicidades relevantes nas observações, descrever seu comportamento e fazer previsões (SILVA, 2018).

A modelagem em séries temporais vem sendo muito empregada em estudos para determinação das correlações entre as séries temporais de diversos elementos climáticos seguindo a metodologia Box & Jenkins, com o intuito de ajustar um modelo que melhor represente os dados, sendo possível fazer previsões com estimativas próximas da realidade (PEREIRA et al., 2015).

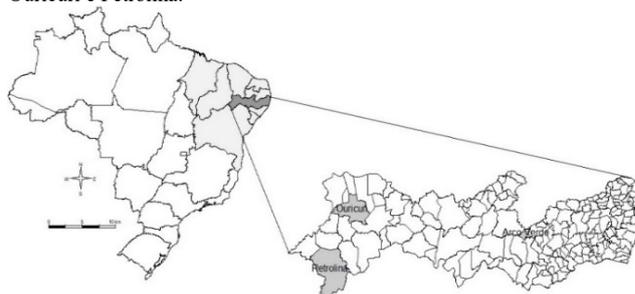
Nesta pesquisa os dados são referentes a precipitação mensal de chuva no Sertão do Estado de Pernambuco, representado pelas cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, sendo umas das cidades mais populosas do Sertão Pernambucano. A vegetação do sertão de Pernambuco é composta pela Caatinga, com árvores de médio porte, arbustos e estepe, também apresenta o menor índice pluviométrico em relação as outras regiões do Estado. Assim sendo, este trabalho consiste em ajustar modelos de séries temporais (ARMA e SARMA) aos totais mensais de precipitação dos municípios de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina localizados na região do sertão do Estado de Pernambuco - Brasil, no período de 1970 a 2017, com intenção de encontrar o modelo que melhor representa seu caráter preditivo.

Testes estatísticos executados nesta etapa envolvem verificações das condições de estacionariedade e tendência na série. Bem como, fazer previsões de valores futuros da série, estas podem ser a curto prazo (precipitação diária, semanal) ou a longo prazo (precipitação mensal, anual).

Material e Métodos

O estudo foi realizado para as cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, localizadas no Estado de Pernambuco (Figura 1).

Figura 1. Localização das áreas de estudo nos municípios de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina.



Fonte: Autor (2019)

A presente análise teve o intuito de aplicar a metodologia de Box & Jenkins fundamentada em quatro passos, identificação, Estimção, Verificação do modelo e Previsão, no qual foram analisados dados de chuva de 3 estações pluviométricas.

A base de dados é composta da série temporal do total de precipitação mensal referentes ao período 1970 a 2017. Os dados foram obtidos na estação meteorológica digital, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). O banco de dados abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET com milhões de informações, referentes às medições diárias, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial, o qual trabalha com subsistema de coleta de dados, através de sensores que medem as variáveis ambientais; subsistema de controle e armazenamento local em data-logger; subsistema de energia; subsistema de comunicações; subsistema de banco de dados; e subsistema de disseminação de dados aos usuários (INMET, 2019).

A estação meteorológica coleta dados de minuto a minuto, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar) representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília (OLIVEIRA, 2017) O estado de Pernambuco localizado no centro-leste da região Nordeste e tem como limites os estados da Paraíba (N), do Ceará (NO), de Alagoas (SE), da Bahia (S) e do Piauí (O), além de ser banhado pelo oceano atlântico.

Ocupa uma área de 98.149,119 km². No primeiro momento verificou-se os gráficos da série histórica das cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, trata-se de um procedimento simples e esclarecedor para a caracterização da série identificando possível estacionariedade, sazonalidade, tendência e valores atípicos. Na sequência da análise, testes estatísticos foram aplicados aos dados com finalidade de comprovar as observações do primeiro momento, prosseguindo logo após conhecer as características da série. Deste modo, inicia-se a seleção dos modelos que melhor representa os dados nesta etapa sendo de fundamental importância fixar os critérios de seleção adotado na pesquisa.

Para identificação das ordens de integração utilizou-se a análise dos correlogramas, que são gráficos das funções de autocorrelação (FAC) e da autocorrelação parcial (FACP) amostrais. Se eles decaem muito lentamente para zero há, então a indicação de que a série seja não estacionária. Mas este processo de identificação visual pode tornar-se muito difícil e trabalhoso; neste contexto são utilizados os critérios de informação ou critério de seleção de modelos.

Os critérios de seleção utilizados foram o AIC (Akaike Information Criterion) proposto por Akaike (1974), o BIC (Bayesian Information Criterion) desenvolvido por Akaike (1978), o EQM (Erro Quadrado Médio) trabalhado por Schmittlein, Kim e Morrison (1990). Com base nesses critérios de seleção foi possível estimar os dados nos vários modelos concorrentes, selecionando-se o com menor valor do EQM.

O modelo autorregressivo integrado de média móvels sazonais SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)_s, possui duas partes distintas: a primeira parte não-sazonal com parâmetros (p,d,q), e a segunda parte sazonal com parâmetros (P,D,Q)_s, temos que p e P são os parâmetros autorregressivos das partes não-sazonal e sazonal respectivamente; d e D são o número de diferenças para as partes não-sazonal e sazonal; q e Q são os parâmetros médias móveis não-sazonal e sazonal; e S o período sazonal.

Para análise de diagnóstico do modelo, utilizou-se o teste de Ljung-Box (LJUNG, 1978), no qual é possível avaliar a existência de correlação dos erros por meio da autocorrelação residual. Neste teste estatístico a hipótese nula é de que os resíduos são ruídos brancos. Portanto, ao se aceitar a hipótese nula, ou seja, quando o p-valor decorrente do teste estatístico for maior do que o nível de significância α , se aceita que o modelo está adequadamente ajustado.

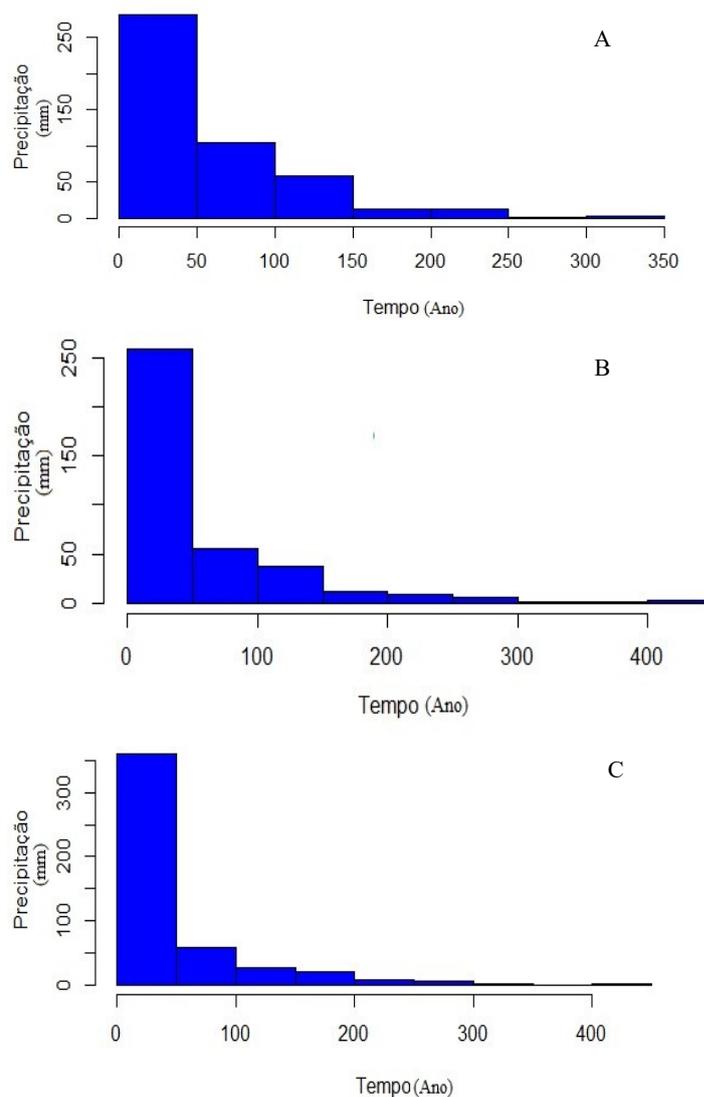
Logo após a seleção dos modelos devidamente selecionados e verificados, a última etapa a ser realizada é a previsão da série. Para os dados de precipitação, foi utilizada a extensão SARIMA, da classe dos modelos ARIMA. Esse procedimento segue a abordagem detalhada dos estudos de BOX & JENKINS, 1994.

Os cálculos e ajustes necessários para a realização deste trabalho foram realizados no software livre R (2019). Entre outros pacotes foram utilizados os pacotes forecast e stats, que são módulos de R com funções específicas para a análise de séries temporais.

Resultados e Discussão

Os resultados das séries históricas dos municípios de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, podem ser observados na Figura 2, na qual é possível se ter uma ideia quanto à estacionariedade e tendência das séries; assim como observaram Paz et al. (2016) nos municípios de Recife-PE e Itambé-PE no período de 1963 a 2014.

Figura 2. Série de precipitações mensais (mm), dos municípios de Arcoverde (A), Ouricuri (B) e Petrolina (C), período de 1970 a 2017.



Fonte: Autor (2019)

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de tendência das séries temporais das precipitações para as localidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina utilizando-se o teste de Mann-Kendall com nível de significância adotado de 5%, bem como os resultados de estacionariedade das séries temporais obtidos pelo teste de Dickey-Fuller. Verificando o teste da raiz unitária de Dickey-Fuller, que verifica a hipótese da série temporal de precipitação ser não estacionária, caso o p-valor do teste seja ($> 0,05$) a série é considerada estacionária, observa-se que a hipótese foi rejeitada para todas as localidades.

Sendo assim, admite-se que todas as séries temporais são estacionárias, possuem média e variância constantes ao longo do tempo. No Nordeste brasileiro observa-se uma grande variedade climática, podendo-se verificar desde o clima semiárido no interior da Região, com precipitação média total anual inferior a 500 mm/ano, até o clima tropical, observado principalmente na costa leste da Região, com precipitação acumulada anual superior a 1500 mm (SANTOS et., 2013b).

Tabela 1. Análises de tendência das séries temporais das precipitações para as localidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina.

Cidade ou Município	Dickey-Fuller	P-valor	Mann-Kendall	P-valor
Arcoverde	-7,225	0,010	0,067	0,022
Ouricuri	-10,180	0,010	-0,003	0,931
Petrolina	-8,491	0,010	0,002	0,938

Dando sequência as análises, segue-se com o ajuste dos modelos aos dados para os três municípios, os quais pode-se observar nas Tabelas 2, 3 e 4. Podendo concluir que os modelos ARMA (3,3) e SARMA (3,2)(1,1) e SARMA (2,3)(1,1), foram os que melhor se ajustaram aos dados de precipitação, sendo assim, foram utilizados na última etapa da metodologia aplicada no presente estudo, a previsão.

Tais composições tomam como base o critério de análise dos índices penalizadores, Critério de Informação Akaike (AIC), Critério de Informação Bayesiana (BIC) e Erro Quadrático Médio (EQM). O EQM foi adotado como o critério de seleção nos modelos selecionados, sendo assim, procuram os menores valores de tal índice para escolha do modelo.

Outra característica dos modelos ARMA(p,q) é a presença do intercepto ($\hat{\beta}_D$), que representa o deslocamento da origem do eixo Y, tanto para efeitos de tendência positiva quanto negativa, os valores do intercepto de cada município em estudo são os seguintes; Arcoverde (163, 349), Ouricuri (116, 918) e Petrolina (109, 652). Observa-se, que, o município de Arcoverde (Tabela 2), apresentou um ARMA (3,3) com menor valor do critério de seleção EQM = 110,921. No município de Ouricuri (Tabela 3) apresentou um SARMA (3,2)(1,1) com menor valor do critério de seleção EQM = 85,4899. Para o município de Petrolina (Tabela 4), apresentou um SARMA (2,3)(1,1) com menor valor do critério de seleção EQM = 87,2683.

Tabela 2. Seleção dos modelos auto-regressivos e de médias móveis ajustados para o município de Arcoverde, seguido dos respectivos critérios de avaliação.

Modelo	σ^2	EQM	AIC	BIC
ARMA(1,1)	12445	111,558	6374,72	6391,74
ARMA(1,2)	12455	111,602	6377,00	6398,26
ARMA(3,1)	12453	111,594	6378,92	6404,43
ARMA(2,2)	12437	111,520	6378,25	6403,76
ARMA(3,3)	12304	110,921	6376,83	6410,84

Observando os gráficos FAC's e FACP's, podem-se concluir quais as séries são estacionárias, uma vez que seus valores tendem a zero com a FAC e a FACP sugerindo modelo da classe ARMA com seus respectivos parâmetros. No município de Arcoverde o modelo ARMA (3,3) foi o selecionado, em seguida o modelo SARMA (3,2)(1,1) e SARMA (2,3)(1,1) selecionados para as localidades de Ouricuri e Petrolina respectivamente.

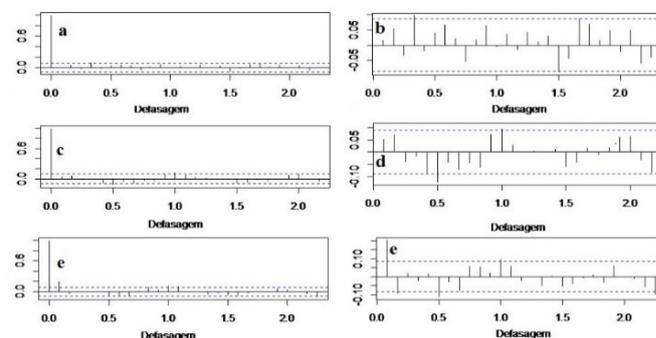
Tabela 3. Seleção dos modelos auto-regressivos e de médias móveis ajustados para o município de Ouricuri, seguido dos respectivos critérios de avaliação.

Modelo	σ^2	EQM	AIC	BIC
ARMA (1,1)	7749	88,0234	5845,61	5862,432
ARMA (1,2)	7710	87,8046	5843,13	5866,152
ARMA (2,1)	7711	87,8122	5845,21	5860,237
ARMA (2,2)(1,1)	7334	85,6385	5830,44	5864,08
SARMA (3,2)(1,1)	7309	85,4899	5829,40	5867,245

Tabela 4. Seleção dos modelos auto-regressivos e de médias móveis ajustados para o município de Petrolina, seguido dos respectivos critérios de avaliação.

Modelo	σ^2	EQM	AIC	BIC
ARMA (1,1)	7943	89,1213	6567,00	6584,278
ARMA (1,2)	7947	89,1436	6569,27	6590,864
ARMA (2,1)	7908	88,9257	6566,62	6588,217
SARMA (1,1)(1,1)	7681	87,6389	6556,41	6582,323
SARMA (2,3)(1,1)	7681	87,2683	5829,40	6596,522

Figura 3. Funções de autocorrelação (FAC)(a,c,e) e funções de autocorrelações parciais (FACP)(b,d,f), nos dados, para os municípios de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, respectivamente.



Fonte: Autor (2019)

Para análise de diagnóstico do modelo, utilizou-se o teste de Ljung-Box, apresentados nas Figuras 4B, 4D e 4F para as localidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, respectivamente.

O teste Ljung-Box verifica a falha do ajuste de um modelo de série temporal.

O teste é aplicado aos resíduos de uma série temporal após o ajustamento de um modelo aos dados. O teste examina as autocorrelações dos resíduos. Se as autocorrelações forem muito pequenas, conclui-se que o modelo não exibe falha significativa de ajuste.

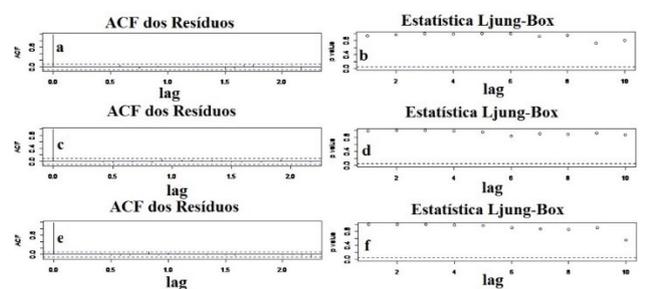
Analisando-se os resultados apresentados na Figura 4 percebe-se que os resíduos padronizados se encontram entre os valores -3 e 3. Em relação ao correlograma dos resíduos do modelo, pode-se observar que esses resíduos não apresentam auto correlação significativamente diferente de zero em nenhuma defasagem, indicando um bom ajuste do modelo e que esses resultados conseguiram captar a auto correlação serial.

Já em relação aos p-valores do teste de Ljung-Box apresentados graficamente para m diferentes defasagens, todos os valores estão próximos de 5%, indicando que não se rejeita a hipótese nula de que as m primeiras auto correlações dos erros são iguais a zero.

Desta maneira, conclui-se que o modelo descreve adequadamente os dados, validando o seu uso para traçar previsões.

As Figuras 4A, 4C e 4E, apresentam a Função de auto correlação residual dos modelos ajustados aos dados de Precipitação das localidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, respectivamente. Estes resultados evidenciam o comportamento de um ruído branco, pois os coeficientes de auto correlação ficaram dentro dos limites de confiabilidade.

Figura 4. Teste Ljung-Box com ajuste no modelo de série temporal para os municípios de Arcoverde (A,B), Ouricuri (C,D) e Petrolina (E,F).



Fonte: Autor (2019)

A previsão é uma primeira e óbvia aplicação da análise de séries temporais. De fato, essa análise propicia a previsão dos valores futuros da série.

Contudo, a incerteza sobre estimativas futuras é tanto maior quanto mais se distancia do presente, e intercorrências inesperadas são mais ou menos frequentes nas atividades humanas, o que implica risco adicional de erro não previsto.

Analisando-se a Figura 5 é possível afirmar que a média da precipitação acumulada mensal (mm) para o próximo ano, apresenta-se em torno da média dos dados da série em questão, nos três municípios em estudo.

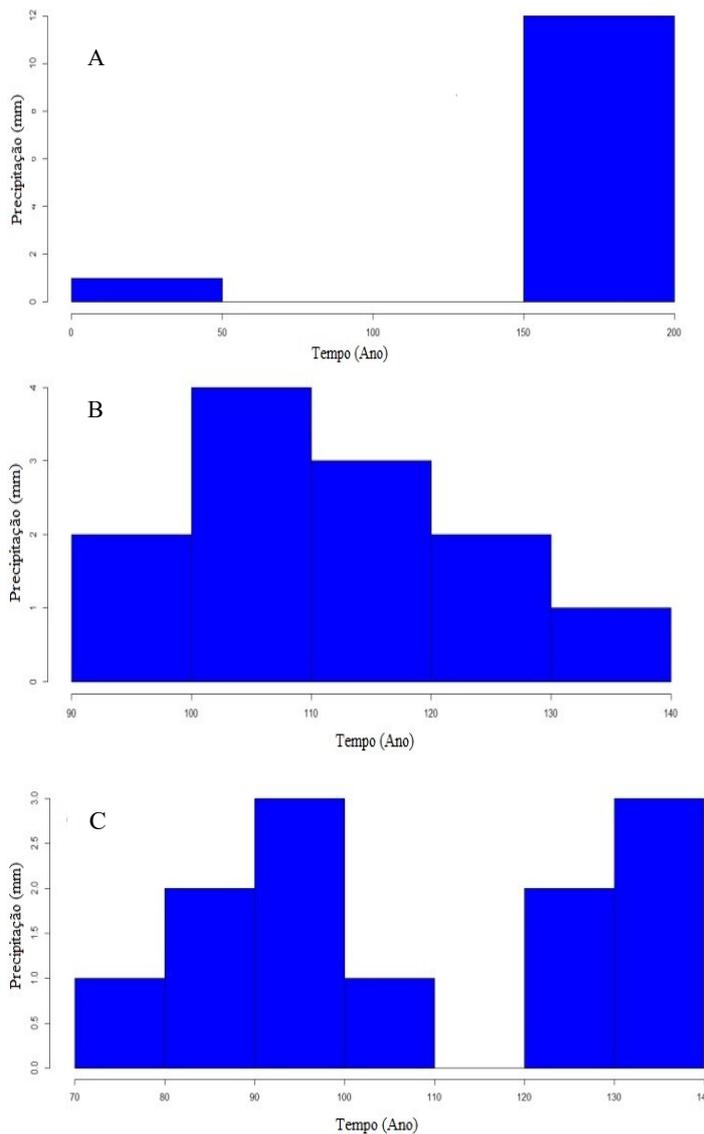
Este fato era esperado, uma vez que as três séries em estudo são estacionárias.

Segundo Silva et al. (2011) as irregularidades no regime pluviométrico são provocadas pelas mudanças da frequência e/ou intensidade dos eventos de precipitação.

O melhor entendimento do comportamento da precipitação pluvial, com vistas ao seu aproveitamento máximo nas atividades agrícolas, pode ser obtido com o estudo do número de dias de chuva.

Pereira et al. (2015) afirmam que a metodologia Box e Jenkins, mostra-se eficiente para determinar as correlações entre as séries temporais de diversos elementos climáticos, mesmo com as imprevisibilidades do tempo e do clima com o tratamento correto dos dados a análise se mostra eficiente.

Figura 5. Previsão de Precipitação acumulada mensal (mm), para as cidades de Arcoverde (A), Ouricuri (B) e Petrolina (C).



Fonte: Autor (2019)

Outro fator que também contribui para a variabilidade da precipitação é a influência dos oceanos Pacífico Tropical Sul e Atlântico. Anos secos ou chuvosos normalmente estão associados à variabilidade da temperatura da Superfície do Mar Pacífico Tropical Sul e Atlântico Tropical Norte, as quais influenciam na variabilidade pluviométrica dessa região.

No estudo de Paz et al. (2016), analisaram a precipitação dos municípios de Recife-PE e Itambé-PE no

período de 1963 a 2014, e identificaram que entre os anos de 1993 e 2003, as cidades apresentaram menor precipitação anuais quando comparadas à média climatológica dos municípios, fato esse já esperado, tendo a região de Pernambuco passado por uma seca neste período, de fato o modelo selecionado no estudo obteve estimativas próximas da média. Silva et al. (2010), analisando a precipitação do estado de Pernambuco, identificaram uma alta variação da precipitação anual, devidos aos eventos relacionados a seca e chuva ocorridos no estado, os modelos selecionados neste estudo identificaram valores máximos na precipitação nos anos de 1978, 1985 e 2000, e valores mínimos nos anos de 1992, 1998 e 1999.

O presente estudo vai de encontro com as observações de Pereira et al. (2015), que em seu estudo sobre séries temporais para dados de precipitação pluvial do município de Areia-PB, entre os anos de 1974 a 2013, identificaram que as séries analisadas possuem certa dependência, que pode ser notada principalmente no gráfico da função de autocorrelação pelo seu decaimento lento e também pela presença de sazonalidade.

Conclusão

A metodologia de Box & Jenkins aplicada a esse estudo, fundamentada em quatro passos, identificação, estimação, verificação e previsão, se mostrou eficiente em descrever o comportamento e fazer previsões da precipitação pluviométrica das cidades citadas. Observou-se que a precipitação tem um comportamento similar nas três cidades, nos meses entre março e junho são meses chuvosos e entre julho e fevereiro são meses mais secos.

Quanto aos modelos selecionados é possível concluir que os modelos, ARMA (3,3), SARIMA (3,2)(1,1) e SARIMA(2,3)(1,1), são os modelos que melhor representam os dados de precipitação das cidades de Arcoverde, Ouricuri e Petrolina, respectivamente. Os modelos selecionados e verificados através principalmente do teste de Ljung-Box se mostraram satisfatórios para análise e previsão dos dados de precipitação, contornando o problema de tendência e sazonalidade, como também ajudando na leitura a respeito da precipitação mensal dos próximos meses.

Agradecimentos

À UFRPE pelo acolhimento, à Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro, à CAPES pela infraestrutura do PPGBEA.

Referências

AKAIKE, H. A Bayesian method for the minimum AIC procedure. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, v.30, n.1 p.9-14, 1978.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification IEEE transactions on automatic control, *Ieee*, v.19, n. 6, p. 716-723, 1974.

BOTELHO, V.A.V.A.; MORAIS, A.R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos no município de Lavras, Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v.23, n.3, p.697-706, 1999.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., REINSEL, G. C., (1994) *Time Series Analysis Forecasting and Control*, Prentice Hall, New Jersey, 3rd edition.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; RADIN, B. Modelo harmônico para a estimativa da temperatura do ar média mensal em diferentes locais do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 40, n. 9, p. 111-116, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA.NOTA TECNICA NÚMERO 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET: **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**, p. 11, 2019.

LJUNG, G. M.; BOX, G.E.P. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, London, v.65, p. 2297-303, 1998.

OLIVEIRA, J. S. **Desenvolvimento e treinamento de redes neurais artificiais para processamento de dados de radiação solar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

PAZ, Y. M. et al. Temporal variability of rainfall and environmental vulnerability of the northern part of the zona da mata and metropolitan region of Pernambuco. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 6, n. 1, p. 22-35, 2016.

PEREIRA, A. R.; COSTA, A. S.; OLIVEIRA, V. G.; BORGES, P. F.; ISMAEL FILHO, A. Análise do comportamento das médias anuais da precipitação pluvial e temperatura da cidade de Areia, Paraíba. *GAIA SCIENTIA*, v. 9, n. 1, p. 67-73, 2015.

PINTO W. P.; LIMA G. B.; ZANETTI J. B. Estudo de predição e previsão de temperaturas medias diária da cidade de Cariacica, Espírito Santo, Brasil, utilizando a metodologia de series temporais. *GEINTEC*, v. 5, n. 1, p.1881-1895, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM, R: **A language and environment for statistical computing**. Viena: R Fondation for Statistical Computing©, 2019.

SANTOS, P. V.; SANTOS, R. S.; COUTINHO, M. D. L. Detecção de Mudanças Climáticas Através de Índices Pluviométricos Diários no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 4, p. 713-731, 2013b.

SCHMITTEIN, D. C.; KIM, J.; MORRISON, D. G. Combining forecasts; Operational adjustments to theoretically optimal rules. *Management Science*, INFORMS, v. 36, n. 9, p. 1044-1056, 1990.

SILVA, G.M.; TEIXEIRA-GANDRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; KLUMB, G.B.; VEBER, P.M. Tendências de séries de precipitação total mensal para localidades do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*. v.1, n.2, p.13- 22, 2018.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; PEDRO V. DE AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, F. I. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.2, p.131- 138, 2011.

SILVA, R. Marques da et al. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio tapacurá, Pernambuco. *Sociedade e Natureza*, Universidade Federal de Uberlândia, v. 22, n. 2, 2010.

TABARI, H.; TALAEE, H. P. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, v.115, p. 16-23, 20