

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS MÉDIAS ANUAIS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E TEMPERATURA DA CIDADE DE AREIA, PARAÍBA

ALÉCIO RODRIGUES PEREIRA¹, ADRIANA DE SOUZA COSTA¹, VERÔNICA GABRIELLA DE OLIVEIRA¹, PÉRICLES DE FARIAS BORGES² ANTONIO ISMAEL FILHO³

¹Mestrando (a) em meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. Campina Grande, Paraíba, Brasil. e-mail: aleciorp_@hotmail.com; adriana_scsouza@hotmail.com; oliver.gabzinha@hotmail.com

²Docente da Universidade Federal da Paraíba. Campus II. Centro de Ciências Agrárias. De areia Paraíba Brasil Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais. Setor de Matemática e Estatística. Laboratório de Matemática, e-mail: periclesufpb@gmail.com

³Discente de Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal da Paraíba. Campus II. Centro de Ciências Agrárias. Areia, Paraíba, Brasil, e-mail: antonio.ismael01@gmail.com

Recebido em setembro de 2014. Aceito em fevereiro de 2015. Publicado em abril de 2015.

RESUMO – Neste trabalho objetivou-se a análise de séries temporais para dados de precipitação pluvial e temperatura média do ar para uma série histórica de dados de 39 anos, que vai de 1974 a 2013 para o município de Areia-PB. Para os parâmetros climatológicos foram utilizados valores mensais em uma série de dados, totalizando 480 observações, para a cidade de Areia. O procedimento metodológico consistiu em decompor a série em duas componentes de tendência, sendo elas a sazonalidade e uma parte aleatória. O tratamento estatístico dos dados foi feito com o software R versão 2.13.0, utilizando-se as funções forecast, time series, urca e genecycle. Para comprovar a presença de tendência e estacionariedade nos dados realizou-se o teste Dickey-Fuller. Como medidas de erro de previsão e seleção de modelos foram utilizadas o MAPE, o AIC e o EQM. Os maiores índices pluviométricos foram constatados nos anos de 2004 e 2011, com uma média de 2.206 mm/ano, enquanto que o menor índice se deu no ano de 1993 com 779 mm/ano. A precipitação, como é esperado, apresentou comportamento de forma muito irregular, devido à sazonalidade. Observou-se uma tendência de queda da temperatura média do ar entre os anos de 1988 a 1989, em uma taxa de 1,68 °C de um ano para outro. É possível observar que o ano de 1990 apresentou a menor temperatura média do ar e que, entre os anos de 1974 e 1989, apresentou oscilações para uma diminuição da temperatura e posteriormente a isso um leve aumento, sendo mais intensificado, com as maiores médias de temperaturas apresentadas entre o período de 2012 e 2013. A metodologia Box e Jenkins foi empregada com intuito de obter estimativas da precipitação e temperatura média para os seis primeiros meses de 2013. Obteve-se um bom ajuste pelos modelos Sarima selecionados para as variáveis em estudo, os valores previstos ficaram dentro do intervalo de confiança de 95%, um resultado satisfatório levando-se em conta as incertezas de tempo e clima que são vistos geralmente e que podem alterar estes resultados esperados.

PALAVRAS-CHAVE: *Modelo; Meteorologia; Serie Temporal.*

ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF AVERAGE ANNUAL PRECIPITATION RAIN AND AREIA CITY TEMPERATURE, PARAÍBA

ABSTRACT – This work aimed to analyze time series data for rainfall and average air temperature for a time series data of 39 years, from 1974 to 2013 for the Municipality of Areia, Paraíba. For climatological parameters, monthly values were used in a series of data, totaling 480 observations for the city of Areia. The methodological procedure consisted of decomposing the series into two trending components: seasonality and randomness. The statistical treatment was done with R software version 2.13.0, using the functions forecast, time series, hooker, and genecycle. The Dickey-Fuller test was performed in order to prove the presence of the trend and the stationarity; MAPE, AIC, and NDE were used as measures of prediction error and model selection. The highest rainfall was recorded between the years 2004 and 2011 with an average of 2,206 mm/year while the lowest rate occurred in 1993 with 779 mm/year. As expected, rainfall showed an uneven pattern due to seasonality. There was a downward trend in average air temperature between the years 1988-1989, at a rate of 1.68°C from one year to another. It is readily visible that 1990 had the lowest average air temperature, also between the years 1974 and 1989 there was a decrease of fluctuations in temperature which then slightly increased, yet being more intensified with the highest average temperatures between 2012 and 2013. We used the Box and Jenkins methodology as means to obtain estimates of precipitation and average temperature for the first six months of 2013. The obtained results yields a good fit for the selected Sarima models for the study variables; the predicted values were within the confidence interval of 95%, a satisfactory result taking into account the uncertainties of weather and climate that are usually present and can change these expected results.

KEY WORDS: *Model; Meteorology; Temporal series.*

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA MEDIA DE LLUVIA PRECIPITACIÓN ANUAL Y AREIA CIUDAD DE TEMPERATURA, PARAÍBA

RESUMEN – Este trabajo dirigido al análisis de series de tiempo de datos de precipitación y temperatura del aire, realizados en una serie de 39 registros para el municipio de Areia, Paraíba, que van desde 1974 hasta 2013. Para los parámetros climatológicos se utilizaron los valores mensuales de una serie de datos, con un total de 480 observaciones para la ciudad de Areia. El procedimiento metodológico consistió en la descomposición de la serie en dos componentes de tendencia: estacionalidad y una parte aleatoria. El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el software R, versión 2.13.0, utilizando las funciones de previsión, series de tiempo, Hooker y genecycle. Para demostrar la presencia de tendencia y los datos estacionarios celebradas en la prueba de Dickey-Fuller, se utilizaron la MAPE, la AIC y la ECM como medidas de error de predicción y selección de modelos. Las mayores precipitaciones se registraron entre 2004 y 2011, con un promedio de 2.206 mm/año, mientras que la tasa más baja se registró en 1993 con 779 mm/año. Las precipitaciones, como se esperaba, mostraron un patrón muy desigual debido a la estacionalidad. Hubo una tendencia a la baja en la temperatura media del aire entre los años 1988 y 1989, con una tasa de 1,68°C de un año a otro. se distingue que el año 1990 mostró la temperatura media del aire más baja, y que entre 1974 y 1989, se registraron oscilaciones a una disminución de la temperatura, que posteriormente presentaron un ligero aumento, intensificándose y mostrando las más altas temperaturas medias entre 2012 y 2013. Se empleó la metodología de Box y Jenkins con el objetivo de obtener estimaciones de la precipitación y la temperatura media durante los primeros seis meses de 2013. Esto da un buen ajuste para los modelos Sarima seleccionados para las variables del estudio, Los valores predichos estaban dentro del intervalo de confianza del 95%, un resultado satisfactorio teniendo en cuenta la incertidumbre en las condiciones meteorológicas y climáticas, que se observa con frecuencia y puede cambiar los resultados esperados.

PALABRAS CLAVE: *Modelo; Meteorología; Serie temporal.*

INTRODUÇÃO

Entender os fenômenos meteorológicos é o objeto que vem acompanhando o homem desde eras remotas, onde ele era nômade, ignorante e indefeso (Moura, 1986). Portanto o estudo da meteorologia surgiu com a necessidade da humanidade de se proteger das condições adversas do ambiente. Hoje entender estes fenômenos é de peculiar importância para diversas atividades, tal como a agricultura, uma vez que com o crescimento populacional das últimas décadas faz-se necessário que aja um aumento na produção de alimentos, entretanto a água doce é um recurso natural finito, cuja qualidade vem piorando devido ao aumento da população e a ausência de políticas públicas voltadas para a sua preservação (Merten e Minella, 2002). Em virtude disso, nas últimas décadas, questões ambientais têm sido discutidas, pesquisadas e submetidas aos mais diversos sistemas legais em todo o mundo com o objetivo principal de resgatar a qualidade de vida no planeta (Irias et al., 2004).

O clima, devido a sua imprevisibilidade, é o fator de produção agrícola de mais difícil controle e de maior impacto quando se deseja a obtenção de máximas produtividades de uma determinada cultura (Ayoade, 2006). Consequentemente as adversidades climáticas são o principal fator de risco e de insucesso na exploração agrícola, ocasionando assim, redução do rendimento da lavoura ou restrição à implantação de espécies de importância econômica em determinadas regiões. Parâmetros climatológicos exercem influência sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo a preparação da terra, semeadura, crescimento dos cultivos, colheita, armazenamento, transporte e comercialização (Ayoade, 2006). Em meio aos parâmetros meteorológicos que exercem influência cotidiana, nas mais variadas atividades humanas, destaca-se a precipitação pluvial (chuvas) e a temperatura do ar.

A temperatura representa a intensidade do fluxo de calor que passa de um corpo ou massa de ar de maior temperatura para outro de menor temperatura (Ayoade, 2006). Sendo dessa forma uma grandeza comparativa, uma vez que sempre há uma relação da mesma entre dois ou mais corpos, e de estado, devido as suas variações ocorrerem de acordo com alterações tanto no tempo como no espaço. Possui papel fundamental no ciclo hídrico, onde, as altas temperaturas contribuem com que a água contida na superfície terrestre evapore e as baixas temperaturas permitem que o vapor de água se condense e retorne sobre a forma de chuva.

A precipitação pluvial é toda água que cai da atmosfera sobre a superfície terrestre no estado líquido ou sólido (Silva et al., 2005). É um retorno da água que é evaporada da superfície terrestre, completando o ciclo hídrico. A precipitação é resultante de alguns processos físicos e da umidade do ar, onde, o conhecimento dessa umidade indica a quantidade de precipitação que poderá ocorrer em um determinado local se as demais condições atmosféricas forem favoráveis (Vianello e Alves, 2012). Em estudos envolvendo radiação, faz-se necessário conhecer a quantidade de água precipitável, a qual representa a quantidade de vapor d'água contida numa coluna vertical da atmosfera (Vianello e Alves, 2012). Dos fenômenos meteorológicos de importância econômica para a sociedade a precipitação é sem dúvidas um dos mais importantes, uma vez que a abundância ou regime de chuvas muitas vezes limita a presença e o cultivo de determinadas espécies vegetais a uma área restrita e, além disso, grandes empresas e todas as pessoas de modo geral dependem da água para sobreviver.

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo e que apresentam dependência serial, isto é, dependência em instantes de tempo comumente iguais (Moretin and Toloi, 2006). Essas observações apresentam dependência serial, sendo um dos objetivos do estudo de séries temporais analisarem e modelar essa dependência (MARIA et al., 2008). Dessa forma um

conjunto de dados coletados em um determinado intervalo de tempo permite determinar se eles apresentam algum padrão não-aleatório, isto é, se alguns fenômenos ocorrem com uma determinada periodicidade de tempo e, dessa forma, ser usados para previsões futuras. A habilidade de antecipar como o clima irá mudar de um ano para o outro, possibilita melhor gerenciamento da agricultura, recursos hídricos e atividade pesqueira, além da possibilidade de contribuição relevante nos campos dos transportes, abastecimento, turismo e lazer (Maria et al., 2008). Assim, examinando o comportamento das variações ocorridas no passado em dados de interesse, é possível antecipar as mudanças que poderão ocorrer no futuro, e obter os próprios valores futuros dos dados. A escolha de uma cultura para uma região pode ser auxiliada pelas informações produzidas pela climatologia, onde, com um conjunto de dados coletados e devidamente analisados pode ser feita uma caracterização climática de um determinado local ou região. Na análise de série temporal, caso seja constatada a ausência de padrões não aleatórios, conclui-se assim que determinado sistema ou processo está fora de controle.

O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise de série temporal da precipitação pluvial e temperatura do ar em trinta e nove anos na cidade de Areia-PB.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Areia está localizado na microrregião Areia e na mesorregião Agreste do estado da Paraíba. Sua Área é 269 km², representando 0.4774% do estado. A sede do município está situada em local elevado, uma altitude aproximada de 618 metros, distante 92,9713 Km da capital João Pessoa e está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (CPRM, 2005). O Planalto da Borborema é uma região montanhosa localizada no interior do Nordeste, medindo aproximadamente 250 km de norte a sul, abrangendo, além da Paraíba, os estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco e Alagoas. O clima da região é do tipo quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, temperatura média mínima de 18 °C, máxima de 28 °C e precipitações pluviométricas anuais entre 800 e 1600 mm, distribuídas no período de três a seis meses. (Jesus, 2005).

Os parâmetros climatológicos avaliados foram a precipitação pluvial e temperatura média, onde foi utilizado valores mensais em uma série de dados que vai de janeiro de 1974 a dezembro de 2013, totalizando trinta e nove anos de monitoramento e 480 observações, para a cidade de Areia. O procedimento metodológico consistiu em decompor a série em duas componentes de tendência, sendo elas a sazonalidade e uma parte aleatória. O tratamento estatístico dos dados foi feito com o software R-versão 2.13.0, utilizando-se as funções *forecast*, *time series*, *urca* e *genecycle*. Para comprovar a presença de tendência e estacionariedade nos dados realizou-se o teste *dickey-fuller*. Como medidas de erro de previsão e seleção de modelos foram utilizadas o MAPE, o AIC e o EQM.

Segundo Morretin e Toloi (1987) a construção dos modelos Box-Jenkins é baseada em um ciclo iterativo, no qual a escolha do modelo é feita com base nos próprios dados. Segundo Box and Jenkins (1976) são três as etapas para construção do modelo, sendo elas a identificação, estimativa e verificação. Caso o modelo não seja adequado, o ciclo é repetido, voltando-se à fase de identificação. Um procedimento muito utilizado é identificar não só um único modelo, mas alguns modelos que serão então estimados e verificados. Quando se obtém um modelo satisfatório passa-se para a última etapa da

metodologia de Box-Jenkins, que constitui o objetivo principal de realizar previsões.

Na previsão da série temporal foram utilizados o modelo auto-regressivo de ordem p (AR) e a média móvel de ordem q (MA), que podem ser integrados, gerando os modelos ARIMA (p,d,q), ou seja, composto de AR(p) e MA(q) com d diferenciações. Essas diferenciações são referentes à estacionariedade, ou seja, podem ser aplicadas diferenciações na série até que esta estabilize no tempo. Em geral d assume os valores de 0, 1 a 2,0, sendo que para $d = 0$ significa que nenhuma diferenciação foi aplicada.

Modelos auto-regressivos (AR)

O modelo auto-regressivo pode ser escrito por:

$$\Phi(B)\tilde{Z}_t = a_t$$

Onde: $\Phi(B)$ é o operador auto-regressivo dado por: $\Phi(B) = 1 - \phi_1 B -$

$$\phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

B é o operador de translação dado por:

$$BZ_t = Z_{t-1} \rightarrow B^m Z_t = Z_{t-m}$$

A Função de Auto-Correlação para um modelo AR(p) é expressa pela fórmula:

$$\rho_j = \phi_1 \rho_{j-1} + \phi_2 \rho_{j-2} + \dots + \phi_p \rho_{j-p}$$

Modelos de Médias Móveis (MA)

O modelo MA(q) pode ser escrito por:

$$\tilde{Z} = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t = \Theta(B) a_t$$

Sendo que: $\Theta(B)$ é o operador de médias móveis dado por:

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

A Função de Auto-Correlação para um modelo MA(q) é:

$$\rho_j = \begin{cases} \frac{-\theta_j + \theta_1 \theta_{j+1} + \theta_2 \theta_{j+2} + \dots + \theta_q \theta_{q-j}}{1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2}, & j=1, \dots, q \\ 0, & j > q \end{cases}$$

A fac para um MA(q) é finita de extensão q .

Modelos Mistos (ARMA)

O modelo Arma foi utilizando para combinar o processo auto-regressivo com o processo de média móvel. O modelo ARMA(p,q) pode ser escrito por:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Sendo que ε_t é o ruído branco e normal de acordo com a média (0), Variância (σ^2_ε) e auto-covariância ($\gamma_k = 0$ para $k \neq 0$). O melhor modelo deve ser parcimonioso, ou seja, $\min \{p,q\}$. O que indica que se deve tentar utilizar o menor conjunto de parâmetros possível para seu ajustamento à série de dados observados.

Modelos ARIMA

O modelo ARIMA foi utilizado para estabelecer uma relação entre o valor presente da série temporal e seus valores passados, de modo que a previsão foi feita com base nos dados de anos passados. A modelagem ARIMA exige que a série temporal de

dados a ser modelada tenha estacionariedade ou possa ser transformada em forma estacionária, entretanto a maioria das séries temporais do mundo real não apresenta estacionariedade em primeira ordem, ou seja, elas apresentam alguma tendência, sua média aumenta ou diminui em algum grau com o passar do tempo. Em virtude disso foi incorporado aos modelos ARMA um termo chamado de "integrado", para gerar os modelos ARIMA. Utilizando o modelo de Box e Jenkins (1970) o procedimento padrão na previsão ARIMA foi realizado pelos seguintes passos:

1. Realizou-se a diferenciação da série original para torná-la estacionária. Na maioria dos casos, a série pode ser não estacionária quanto ao nível ou quanto à inclinação. Quando a série for não estacionária, quanto ao nível, para torná-la estacionária diferencia-se uma vez e, quando for não estacionária quanto à inclinação, diferencia-se duas vezes (Souza e Camargo, 2004.);
2. Identificou-se os valores p e q através da análise das funções de auto-correlação (ACF) e de auto-correlação parcial (PACF) estimadas e a estimação dos parâmetros (ϕ_i , $i = 1, \dots, p$ e θ_i , $i = 1, \dots, q$). A análise destas funções permite a tomada de decisão acerca do número p de parâmetros auto-regressivos e do número q de parâmetros de médias móveis que devem ser escolhidos de maneira a se obter uma estrutura parcimoniosa, ou seja, uma estrutura que tenha o menor número de parâmetros dentre todas as estruturas que se ajustem aos dados da série;
3. Realizou-se as previsões, obtenção dos novos valores da série, e os intervalos de confiança para a mesmas. Como uma série temporal tem os dados coletados sequencialmente ao longo do tempo, espere-se que ela apresente correlação seriada no tempo. Os modelos de Box-Jenkins, genericamente conhecidos por ARIMA, são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada ou auto-correlação entre os valores da série temporal, e com base nesse comportamento realizar previsões futuras. Se essa estrutura de correlação for bem modelada, fornecerá boas previsões.

Modelo SARIMA (p, d, q) x (P, D, Q)

Algumas séries temporais apresentam componente sazonal importante, onde é necessário modelar este componente também para se obter um modelo mais fidedigno. Dessa forma foi utilizado o modelos ARIMA sazonal, conhecidos como SARIMA (p, d, q) x (P, D, Q)_s. Sendo s o período correspondente à sazonalidade.

Os modelos ARIMA exploram a auto-correlação entre os valores da série em instantes sucessivos, mas quando os dados são observados em períodos inferiores a um ano, a série também pode apresentar auto-correlação para uma estação de sazonalidade s . Os modelos que contemplam as séries que apresentam auto-correlação sazonal são conhecidos como SARIMA. Os modelos SARIMA contêm uma parte não sazonal, com parâmetros (p, d, q), e uma sazonal, com parâmetros (P, D, Q).

É utilizado para analisar séries temporais que apresentam comportamento recursivo no tempo, por exemplo, a cada s períodos de tempo. Assim, se um comportamento se repete a cada ano, ou seja, com sazonalidade anual, então $s = 12$ meses. São denominados por SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)_s, onde as letras maiúsculas denotam a parte sazonal do modelo e são análogas a p,d,q , sendo que s funciona como descrito acima. Trata-se, portanto de um modelo multiplicativo geral considerando conjuntamente as partes sazonais e não sazonal.

Correlograma

O correlograma foi realizado na identificação do tipo de modelo ARIMA que fornece a melhor representação da série observada. Um correlograma, em que os valores de r_k decaem para zero de forma relativamente lenta, indica não estacionariedade e a

série precisa ser diferenciada. Para séries estacionárias, o correlograma é comparado com as auto-correlações teóricas de vários processos ARMA para auxiliar na identificação daquele mais apropriado. A função de auto-correlação mostra a ordem do modelo MA(q) que será ajustado, enquanto que a função de auto-correlação parcial indica a ordem de um modelo AR(p).

Após identificar a ordem e estimar eficientemente os parâmetros de um modelo é necessário verificar sua adequação antes de utilizá-lo, por exemplo, para fazer previsões. Para os modelos vistos nesse estudo o valor ajustado é a previsão, de modo que o resíduo bem ajustado esteja distribuído aleatoriamente em torno de zero com uma variância aproximadamente constante e que ainda não tenha sido correlacionada

RESULTADO E DISCUSSÃO

As figuras 1 e 2 apresentam os gráficos das séries temporais da precipitação e temperatura média, respectivamente, da cidade de Areia-PB, com base numa série de dados de 39 anos, de janeiro de 1974 até dezembro de 2013.

Os maiores índices pluviométricos foram constatados nos anos de 2004 e 2011, com uma média de 2.206 mm/ano, enquanto que o menor índice se deu no ano de 1993 com 779 mm/ano. A precipitação, como é esperado, apresentou comportamento de forma muito irregular, devido à sazonalidade.

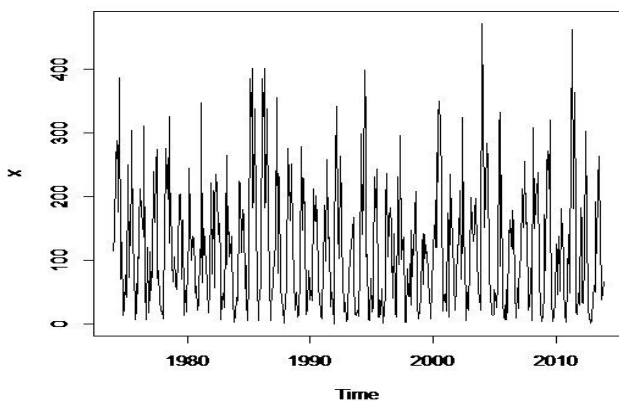


Figura 1. Série original dos dados de precipitação.

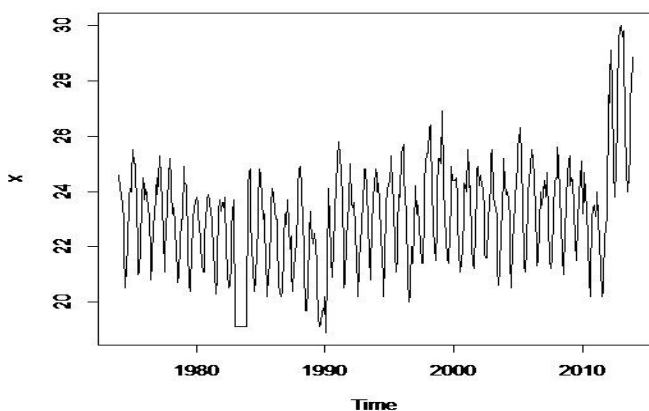


Figura 2. Série original dos dados da temperatura média.

Observou-se uma tendência de queda da temperatura média do ar entre os anos de 1988 a 1989, em uma taxa de 1,68 °C de um ano para outro. É possível observar que o ano de 1990 apresentou a menor temperatura média do ar e que, entre os anos de 1974 e 1989,

apresentou oscilações para uma diminuição da temperatura e posteriormente a isso um leve aumento, sendo mais intensificado, com as maiores médias de temperaturas apresentadas entre o período de 2012 e 2013.

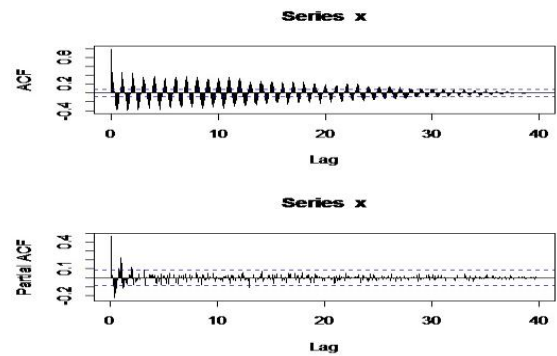


Figura 3. ACF e PACF da precipitação.

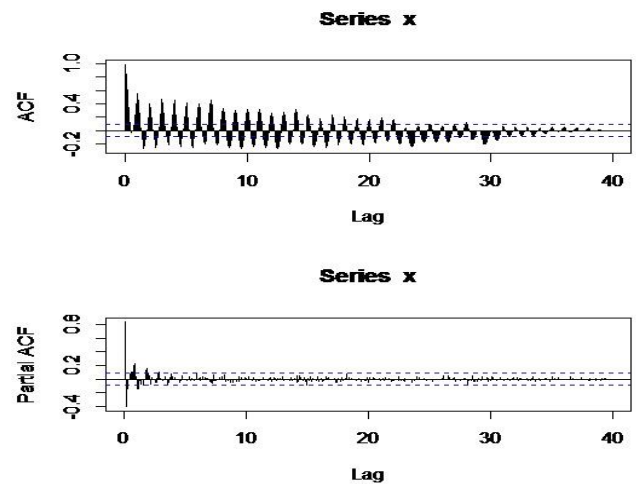


Figura 4. ACF e PACF da temperatura média.

As figuras 3 e 4 referem-se as funções de auto-correlação e auto-correlação parcial da precipitação e da temperatura média das séries. Essas figuras indicam que as séries possuem certa dependência, que pode ser notada principalmente no gráfico da função de auto-correlação pelo seu decaimento lento e também a presença de sazonalidade. Essas características também apontam para a não estacionariedade da série. A partir do gráfico da função de auto-correlação amostral (FAC), verifica-se que a série pode não ser estacionária, optando-se por um teste específico para avaliar a estacionariedade. Para isso foi aplicado o teste de Dickey-Fuller em ambas as séries e os resultados encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 1. Teste de Dickey-Fuller aplicado na série de precipitação após diferenciação.

Coefficientes	1%	5%	10%
z.lag.1	-1.435	0.073	-19.591
tt	0.002	0.031	0.050
Tau3	-3.980	-3.420	-3.130

O Tau3 é a estatística referente ao coeficiente z.lag.1, e estes são os dados que possui maior tendência estatística significativa. Nas tabelas 3 e 4, temos que os valores da estatística para z.lag.1 em níveis de significância de 1 e 5% são respectivamente -1,435 e 0,073 para a série de precipitação pluvial e -0,672 e 0,052 para temperatura média. Como os valores de z.lag.1 > Tau3, logo concluímos que é possível rejeitar a hipótese nula, portanto a série é não-estacionária.

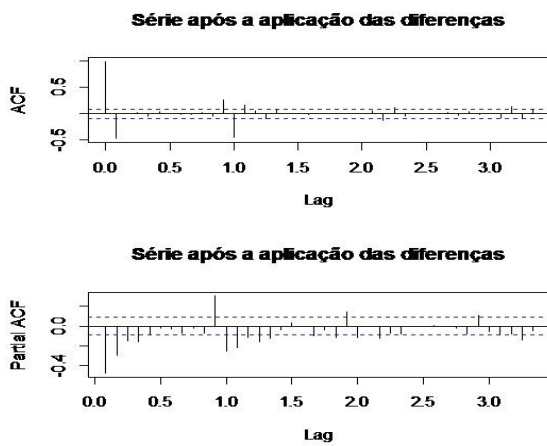


Figura 5. ACF e PACF da série de precipitação após diferenciação.

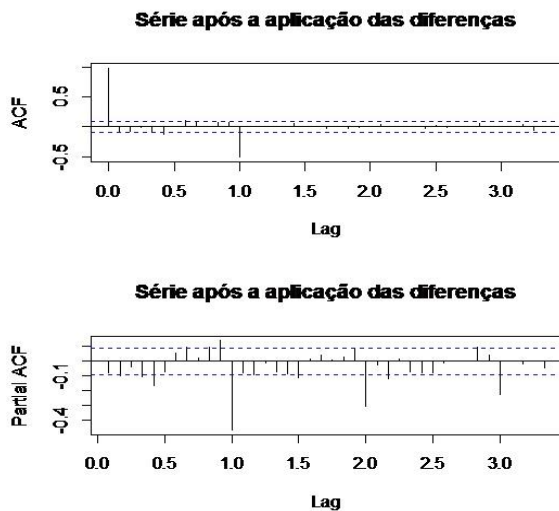


Figura 6. ACF e PACF da série da temperatura média após diferenciação.

A estacionariedade da série foi obtida após a diferenciação, pois os dados variam em torno de um valor médio e a variância aparentemente constante.

Tabela 2. Teste de Dickey-Fuller aplicado na série de temperatura média após diferenciação.

Coefficientes	1%	5%	10%
z.lag.1	-0.672	0.052	-12.826
tt	0.000	0.000	0.404
Tau3	-3.980	-3.420	-3.130

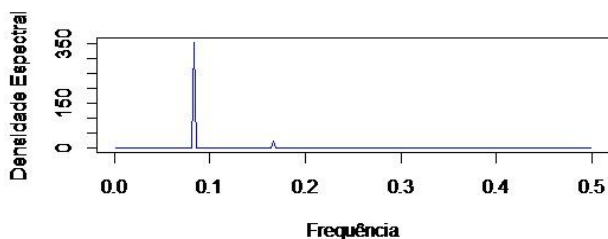


Figura 7. Análise espectral da série em estudo

A presença da sazonalidade nos dados foi verificada através da análise espectral e pelo teste G de Fisher. O período de sazonalidade da série é 12, ou seja, a cada 12 meses o comportamento da série tende a ser semelhante. O efeito sazonal pode ser confirmado

pelo teste G de Fisher; os valores das estatísticas, $G = 0.935$ e $Z = 0.035$, mostram que $G > Z$, portanto, a série de precipitação apresenta sazonalidade.

Para a série da temperatura média, temos os seguintes valores: $G = 0.932$ e $Z = 0.0348$, como G é maior que Z , conclui-se através do teste que esta série também apresenta uma componente sazonal com periodicidade 12 meses, como foi verificada através do periodograma.

O modelo Sarima foi trabalhado através do software R com o intuito de obter uma melhor relação entre seus componentes sazonais e não sazonais auto-regressivos e de médias móveis. Para verificação de estacionariedade, foi utilizado o teste de Dickey-Fuller análise das funções de auto-correlação e auto-correlação parcial, foi definido através do critério do AIC como melhor modelo o SARIMA (1,0,1)x(1,1,1)₁₂, para a série de precipitação e o SARIMA(2,0,2)x(2,1,2)₁₂, para a série de temperaturas médias, isso posto um modelo na parte não sazonal com um fator auto-regressivo e uma média móvel, dois fatores auto-regressivos e duas médias móveis para os modelos, respectivamente. Na parte sazonal, com um auto-regressivo, uma diferença e uma média móvel para a precipitação e dois fatores auto-regressivos, uma diferença e duas médias móveis para a temperatura média.

Após a análise feita com os correlogramas, a identificação dos modelos a serem estimados utilizará um critério de seleção de modelos. A escolha dos modelos se baseia na minimização do valor do AIC, para a determinação das ordens p e q do modelo. Esse critério foi utilizado por ser um critério consistente, desse modo, quanto maior as observações, mais ele seleciona um modelo que se aproxima do verdadeiro mecanismo gerador de dados, e por ele ser parcimonioso, isto é, por tipicamente escolher modelos com poucos parâmetros.

Tabela 3. Estimativas do modelo escolhido para a precipitação.

SARIMA (2,0,2)x(2,1,2) ₁₂	COEFICIENTES	AIC	BIC
Auto Regressivo 1 (Φ_1)	-0.0131		
Auto Regressivo 1 (Φ_2)	0.8470		
Média Móvel 1 (θ_1)	0.8763		
Média Móvel 1 (θ_2)	-0.1176	1023.23	1060.57
Auto Reg. Sazonal 1 (Φ_1)	-1.0660		
Auto Reg. Sazonal 1 (Φ_2)	-0.1256		
Média M. Sazonal 1 (Θ_1)	0.0586		
Média M. Sazonal 1 (Θ_2)	-0.9414		

A tabela 3 mostra as estimativas do modelo SARIMA (1,0,1) (1,1,1)₁₂, que foi escolhido pelos métodos citados anteriormente na série de precipitação, para que sejam feitas as previsões.

Nas Figuras 6 e 7 encontram-se as estimativas dos modelos SARIMA (1,0,1)x(1,1,1)₁₂ e SARIMA (2,0,2)x(2,1,2)₁₂, que obtiveram os melhores resultados, apresentando o menor erro de acordo com os indicadores selecionados para as séries em estudo, e posteriormente sejam feitas as previsões. Foram selecionados os modelos por apresentarem os melhores ajustamentos segundo o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiana (BIC) e, quando comparados aos valores reais da precipitação e a temperatura média, apresentaram ainda uma maior capacidade preditiva que os demais modelos estimados.

A tabela 4 mostra as estimativas do modelo SARIMA (1,0,1) (1,1,1)₁₂, que foi escolhido pelos métodos citados anteriormente na série de temperatura média, para que sejam feitas as previsões.

Tabela 4. Estimativas do modelo escolhido para a temperatura média.

SARIMA (1,0,1) (1,1,1) _[12]	COEFICIENTES	AIC	BIC
Auto Regressivo 1 (Φ_1)	0.7050		
Média Móvel 1 (θ_1)	-0.5305	5354.52	5375.27
Auto Reg. Sazonal 1 (Φ_1)	0.0867		
Média Mów. Sazonal 1 (θ_1)	-0.9287		

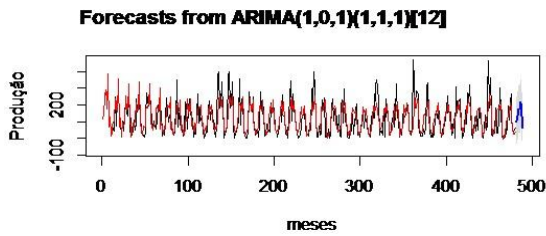


Figura 8. Previsão através do modelo Sarima para a precipitação mensal da Cidade de Areia.

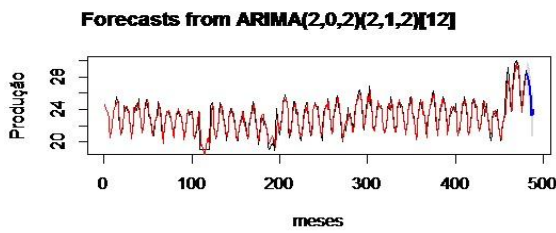


Figura 9. Previsão com o modelo Sarima ajustado para a série de temperatura média da cidade de Areia.

Tabela 5. Valores reais e valores preditos de precipitação do modelo SARIMA (1,0,1)x(1,1,1)_[12], baseados no primeiros 6 meses de 2013.

Período	Valor original	Valor predito	Ljung-Box (Valor-p)	MAPE	EQM
Jan/2013	192.1	95.30			
Fev/2013	110.0	105.2			
Mar/2013	221.2	134.9	0.08366	121.992	10133.96
Abr/2013	263.7	173.7			
Mai/2013	124.0	174.5			
Jun/2013	59.90	219.3			

As Figuras 10 e 11 ilustram o ajuste do modelo SARIMA (1, 0, 1) x (1, 1, 1)_[12]e SARIMA (2, 0, 2) x (2, 1, 2)_[12]aos dados históricos da série de precipitação e temperatura média da cidade de Areia-PB, respectivamente. Verifica-se que o modelo conseguiu captar a dinâmica temporal, pois os valores estimados obtiveram um bom ajuste aos dados reais.

Tabela 6. Valores reais e valores preditos de temperatura média do modelo SARIMA (1,0,1)x(1,1,1)_[12], baseados no primeiros 6 meses de 2013.

Período	Limite Inferior	Valor predito	Limite Superior	Ljung-Box (Valor-p)	MAPE	EQM
Jan/2013	27.054	28.389	29.724			
Fev/2013	26.399	28.162	29.925			
Mar/2013	25.644	27.651	29.658	0.7735	4.917	2.499
Abr/2013	24.714	26.940	29.166			
Mai/2013	23.469	25.835	28.200			
Jun/2013	21.759	24.258	26.755			

Este foi o modelo mais parcimonioso, segundo o critério AIC e teve um bom ajuste aos dados segundo os indicadores EQM e

MAPE, pois foram os menores comparados com os outros modelos. Nota-se que o modelo estima resíduos que são ruído branco, visto que o valor p para o teste Ljung-Box foi superior a 0,05. Um dos métodos de escolha do melhor mecanismo de previsão é a comparação dos valores previstos com os valores observados da série, o que caracteriza a acurácia ou a capacidade preditiva do mecanismo utilizado. Os três métodos mais populares de medição da acurácia utilizam os resíduos em seus cálculos (Kvanlietal 1996). Esses métodos são o desvio absoluto médio (MAD), o erro quadrático médio (EQM) e o erro percentual absoluto médio (MAPE). Observa-se que os seis valores reais de precipitação e temperatura média para o ano de 2013 na cidade de Areia-PB situam-se dentro dos intervalos de confiança de 95% fornecidos pelo modelo ajustado.

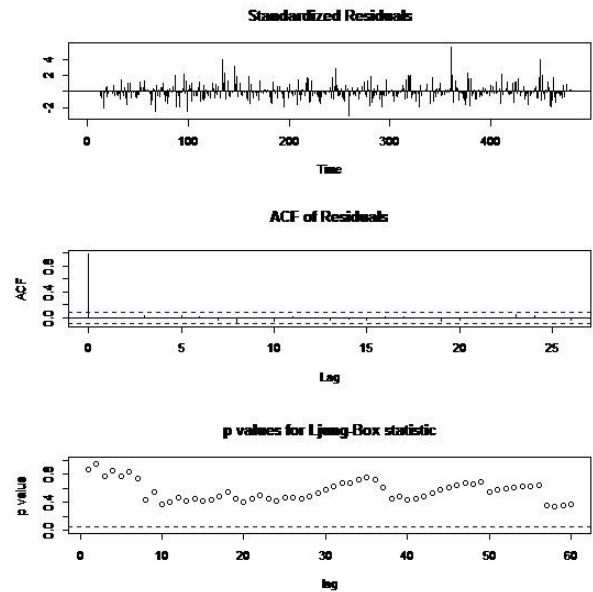


Figura 10. Análise de Resíduos da série de precipitação ajustada ao modelo Sarima (1,0,1)x(1,1,1)_[12]

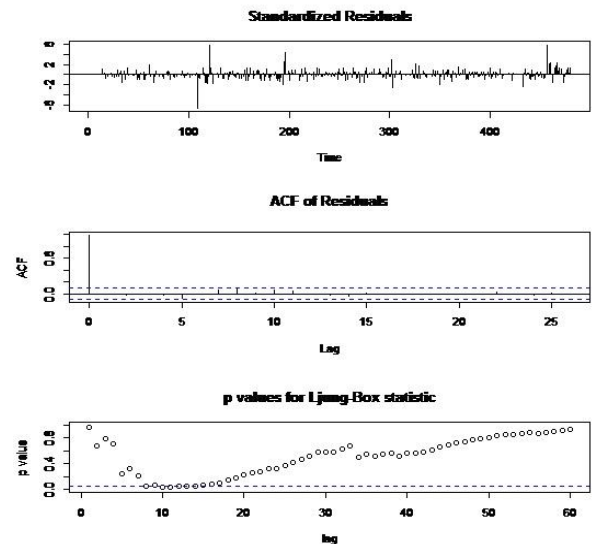


Figura 11. Análise dos Resíduos da temperatura média ajustada ao modelo Sarima(2,0,2)x(2,1,2)_[12]

O gráfico apresenta o quão bem o modelo se ajusta aos dados. Nota-se por meio da figura que os resíduos apresentam uma distribuição aleatória sem apresentar tendência. Portanto, os resíduos são ruído branco, verificado através do teste de Ljung-Box e na análise gráfica que os resíduos se distribuem de forma homogênea.

CONCLUSÃO

Verificou-se que a série temporal apresenta tendência de crescimento e uma componente sazonal com periodicidade de 12 meses. Obteve-se um bom ajuste pelos modelos Sarima selecionados para as variáveis em estudo, sendo que os valores previstos ficaram dentro do intervalo de confiança, o que é um resultado satisfatório, levando-se em conta as incertezas de tempo e clima que são vistos geralmente e que podem alterar os resultados esperados.

Os modelos de Box-Jenkins se mostraram bastantes satisfatórios e eficazes para a determinação das correlações entre as séries de precipitação pluvial e temperaturas médias, já que uma estrutura bem definida foi identificada após as séries terem recebido o tratamento apropriado, ou seja, a aplicação de técnicas capazes de retirar as estruturas de tendências. Sendo elas a sazonalidade e auto-correlação da série.

REFERÊNCIAS

- Ayoade JO. 2006. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Box GEP & Jenkins GM. 1970. **Time Series Analysis: forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Areia, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM. 11 p.+ anexos.
- Irias LJM, Gebler L, Palhares JCP, Rosa MF, Rodrigues GS. 2004. Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária - aplicação do sistema Ambitec. **Agricultura em São Paulo**. São Paulo, 51(1):23-39.
- Jesus CAC. 2005. **Diagnóstico da agricultura agroecológica na Mesorregião do Agreste Paraibano**. Areia, Universidade Federal da Paraíba. 85p. (Tese de Mestrado).
- Silva MI, Guimarães EC, Tavares, M. 2008. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12(5):480-485.
- Merten GH & Minella JP. 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre, v.3, n.4.
- Morettin PA & Tolozi C. M. 2006. **Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Atual.
- Moura AD. 1986. Evolução da meteorologia: da Babilônia a nossos dias. **Revista Brasileira de Tecnologia**, 17(1):5-14.
- Silva JB, Baszalupp MP, Paz SR. 2005. Comportamento das precipitações pluviométricas mensais em Pelotas, Rio Grande do Sul. **Revista de agrometeorologia**. 13(1):155-159.
- Souza RC & Camargo ME. 2004. **Análise e Previsão de Séries Temporais: Os modelos ARIMA**, Ijuí: SEDIGRAF.
- Vianello RL & Alves AR. 2012. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 460 p.