

**XII-121 - ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DAS TEMPERATURAS MÉDIAS
DIÁRIAS DA CIDADE DE CARIACICA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL, VIA
METODOLOGIA DE BOX E JENKINS****Wanderson de Paula Pinto⁽¹⁾**

Graduado em Matemática pela Faculdade da Região Serrana - FARESE. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutorando em Engenharia Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEA/UFES). Coordenador do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA/FARESE e professor do Curso de Engenharia Ambiental da FARESE.

Gemael Barbosa Lima

Engenheiro Ambiental pela FAESA - Faculdades Integradas Espírito-Santenses. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Pesquisador do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA/FARESE e professor do Curso de Engenharia Ambiental da FARESE.

Juliano Bras Zanetti

Licenciado em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Mestre em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pesquisador do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA/FARESE e professor do Curso de Engenharia Ambiental da FARESE.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Maria Angélica Vervloet do Santos, 1866 – Bairro Canaã – Santa Teresa - ES - CEP: 29650-000 - Brasil - Tel: (27) 3263-2010 - e-mail: wandersondp@gmail.com.

RESUMO

A análise de séries temporais tem como finalidade extrair periodicidades relevantes na série, descrever o comportamento da mesma e, principalmente realizar previsões. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo modelar, bem como realizar estudo de predição de uma série temporal de temperaturas médias diárias da cidade de Cariacica, ES, utilizando a metodologia proposta por Box e Jenkins (2008). Como metodologia utilizou-se o software R 2.15.1 (software livre) para o auxílio das análises estatísticas. Para a escolha do modelo que melhor se ajustou os dados estudados, utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC). Entre os modelos ajustados, o modelo ARIMA(1,1,2) foi considerado mais adequado para fazer previsões da temperatura média diária no município de Cariacica, ES.

PALAVRAS-CHAVE: Séries temporais, Predição, Modelos ARIMA.

INTRODUÇÃO

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 (BAYER e SOUZA, 2010).

Segundo Abdel-Aal & Al-Garni (1997), os modelos Box-Jenkins têm sido largamente utilizados para modelagem e previsão em aplicações médicas, ambientais, financeiras e de engenharia. Os próprios autores aplicaram essa metodologia para prever o consumo mensal de energia elétrica no leste da Arábia Saudita.

Quando aplicada a dados climatológicos, a análise de séries temporais atrai atenção especial, haja vista que, o clima contribui diretamente para o sucesso ou fracasso de empreendimentos, sobretudo em empreendimentos agrícolas. Para Medeiros et al. (2005), a temperatura influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas e dos animais, tornando essencial o desenvolvimento de estudos desses fenômenos para a tomada de decisão.

Segundo Varejão (2000) a temperatura média do ar à superfície reflete, de certa forma, a disponibilidade de energia às plantas e isto tem incentivado vários estudiosos a investigar sua relação com a rapidez com que se completa o ciclo vegetativo das culturas. A taxa de desenvolvimento de uma planta está diretamente

relacionada com a temperatura do ar, de tal forma que o período de tempo entre diferentes estágios variará de acordo com ela, tanto ao longo da safra, quanto entre safras.

Para Slini et al. (2001), a modelagem de séries temporais é apropriada à previsão da qualidade do ar. Esses autores aplicaram a metodologia de Box-Jenkins para prever a qualidade do ar na cidade de Atenas, na Grécia. Sousa et al. (2009) utilizaram os modelos de Box e Jenkins para a previsão das séries de precipitação e temperatura para a região central do Rio Grande do Sul. Os autores concluíram que essa técnica de modelagem foi capaz de preservar as características estatísticas da série de temperatura observada e, portanto, pode ser utilizada para a previsão da mesma.

Na literatura específica diversos são estudos em nível mundial utilizam os modelos de Box e Jenkins, sobretudo aplicados a dados climáticos, a saber: Gemtzi e Stefanopoulos (2011), Kanner (2009) No Brasil, destacam-se os trabalhos de Chechi & Bayer (2012); Cavalcanti et al. (2006); Ferraz et al. (1999); Pedro Júnior et al. (1991); Sediya e Melo Júnior, (1998). Adicionalmente, em nível de estado são poucos os trabalhos direcionados a investigações de parâmetros da qualidade do ar como a temperatura média diária utilizando modelos de séries temporais.

É nesse contexto que, o presente trabalho teve como objetivo modelar e fazer estudo de predição de uma série temporal de temperaturas médias diárias da cidade de Cariacica, ES, utilizando a metodologia proposta por Box e Jenkins (2008).

Este artigo está dividido como se segue. A Seção 2 descreve os dados e as técnicas de modelagem utilizadas para o ajuste das observações. A Seção 3 apresenta as análises e os resultados obtidos. Finalmente, a Seção 4 apresenta as conclusões e alguns comentários finais sobre a análise dos dados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado na Região da Grande Vitória (RGV), constituída pelos municípios de Vitória, Vila Velha, Cariacica, Serra e Viana, Espírito Santo. A RGV possui uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAR) inaugurada em julho de 2000, de propriedade do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). A referida rede é distribuída em oito estações localizadas nos municípios que compõem a RGV. A RAMQAR monitora os seguintes parâmetros meteorológicos: Direção dos ventos (DV); Velocidade dos ventos (VV); Precipitação pluviométrica (PP); Umidade relativa do ar (UR); Temperatura (T); Pressão atmosférica (P) e Radiação solar (I).

Os valores das temperaturas médias foram obtidos junto ao IEMA. Todos os dados de temperatura foram fornecidos em médias horárias no decorrer de 24 horas. Dessa forma, foi preciso calcular a média aritmética diária. Foram consideradas 365 observações compreendidas entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2012, de médias diárias de temperatura na estação de Cariacica - ES. Toda a análise estatística foi realizada no *software* R 2.15.1 (*software* livre).

MODELO AUTOREGRESSIVO INTEGRADO MÉDIA MÓVEL - ARIMA (P,D,Q)

Uma série temporal $\{X_t\}$ é dita um processo $ARIMA(p, d, q)$ se,

$$\phi_p(B)(1-B)^d X_t = \theta_q(B)\varepsilon_t, \quad (1)$$

onde $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$ e $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_q B^q$ são respectivamente polinômios autoregressivos estacionário e médias móveis invertível. Portanto, $\{X_t\}$ é processo não estacionário que depois de diferenciado $\nabla^d X_t (d \geq 1 \text{ e } \nabla = 1 - B)$ se transforma em processo estacionário e invertível $ARMA(p, q)$.

Quando $d = 0$ o processo X_t é estacionário e θ_0 está relacionado com a média $\mu = E\{X_t\}$,

$$\theta_0 = \mu(1 - \phi_1 - \dots - \phi_p). \quad (2)$$

Se $\mu = 0$, pode omitir-se θ_0 ; quando $\mu \neq 0$, θ_0 é parâmetro que deve ser estimado.

Para $d = 0$, o modelo $ARIMA(p, d, q)$ pode ser escrito na forma,

$$\Phi(B)U_t = \Theta_q(B)\varepsilon_t \quad (3)$$

Onde $U_t = (1 - B)^d X_t$ é o processo estacionário $ARMA(p, q)$. Quando $d \geq 1$, o processo X_t não é um processo estacionário. Para mais detalhes consultar em Box e Jenkins (2008), Brockwell e Davis (2002), Priestley (1983) e Wei (2006).

MODELAGEM DA SÉRIE E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nessa seção é apresentada a série analisada e realizados as etapas de identificação do modelo, análise dos resíduos e adequação do modelo assim como o estudo de previsão. Uma análise visual nas figuras 1 e 2 permitem uma observação preliminar do comportamento da série em estudo.

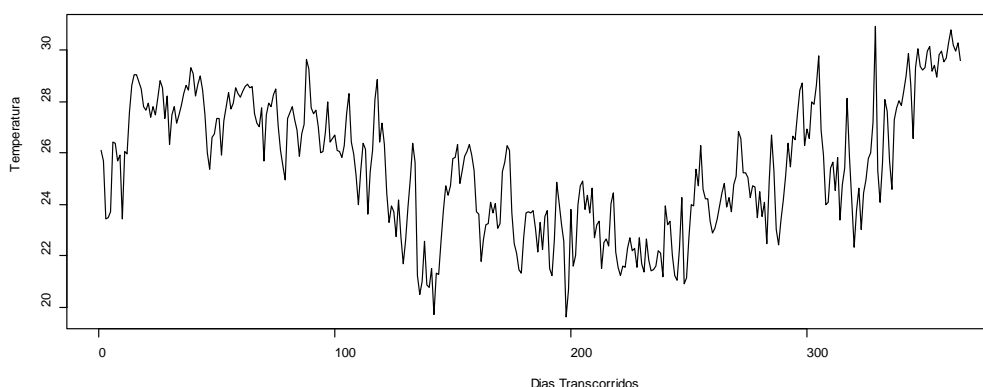


Figura 1: Série temporal de temperatura

Para fazer a identificação dos modelos é essencial estudar o comportamento da função de autocorrelação (FAC) e da função de autocorrelação parcial (FACP). A figura 2 mostra a FAC e FACP da série de temperatura. Observa-se que a FAC apresenta um decaimento lento indicando uma parte MA. Percebe-se também que a série em estudo não apresenta sazonalidade.

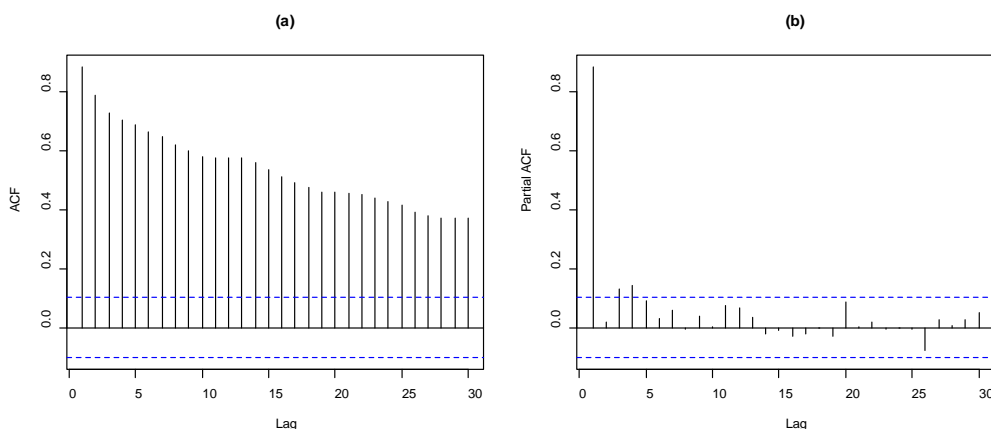


Figura 2: Função de autocorrelação (a) e função de autocorrelação parcial (b) da série temporal de temperatura

O uso do teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF) fornece uma estatística adequada para definir se a série apresenta raiz unitária, sendo caracterizada, portanto como uma série não estacionária. O teste ADF realizado obteve uma estatística de -1.8512, com um p-valor = 0.6398, desta forma, pode-se concluir que a série em estudo não é caracterizada como um processo estacionário na média ao nível de 5%.

A etapa de identificação consiste em detectar o processo gerador da série, ou uma aproximação do processo através das informações contidas nas características da série, ou seja, determinar os valores de p , d e q dos modelos ARIMA (equações 1, 2 e 3) e as estimativas dos parâmetros desses modelos. O critério de informação de Akaike (AIC) foi utilizado para escolher o melhor modelo. A tabela seguinte contém os resultados dos cálculos do AIC dos modelos ARIMA(p,d,q) ajustados a série.

Tabela 1: Valores do AIC dos modelos ajustados a série.

MODELOS ARIMA(p,q)					
Parâmetros	(1,1,0)	(2,1,3)	(0,1,2)	(1,1,1)	(1,1,2)
AIC	1160.00	1128.01	1135.02	1126.81	1124.87

Na tabela 2 é mostrado o modelo ARIMA(1,1,2) que melhor ajustou os dados em estudo, os seus respectivos parâmetros e o erro padrão.

Tabela 2: Estatísticas do modelo escolhido

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
ARMA(1,1,2)	ϕ_1	0.5046	0.1113
	θ_1	-0.6984	0.1139
	θ_2	-0.1500	0.0721

Em um bom modelo de previsão, os resíduos do modelo ajustado devem ser ruído branco e apresentar distribuição normal (MORRETI e TOLOI, 2006). Para verificar se os resíduos são correlacionados aplicou-se o teste de Ljung-Box (tabela 3). Foram traçados o histograma e o QQ-plot, e calculados os testes de Shapiro-Wilk e Jarque Bera (tabela 3) para verificar se os resíduos do modelo escolhido apresentavam distribuição normal. A figura 3 mostra a análise residual para o modelo ajustado e o correlograma residual do modelo. Assim, com base nos resultados da tabela 3 e na figura 3 pode-se verificar que os resíduos não apresentam normalidade e são não correlacionados. No entanto a análise residual valida o modelo para fazer previsões.

Tabela 3: Testes estatísticos de normalidade* e correlação dos resíduos dos modelos ajustados**

Teste	Modelo ARIMA(1,1,2) p-valor
Shapiro-Wilk*	0.0017
Jarque-Bera*	< 0.0001
Box-Ljung**	0.9732

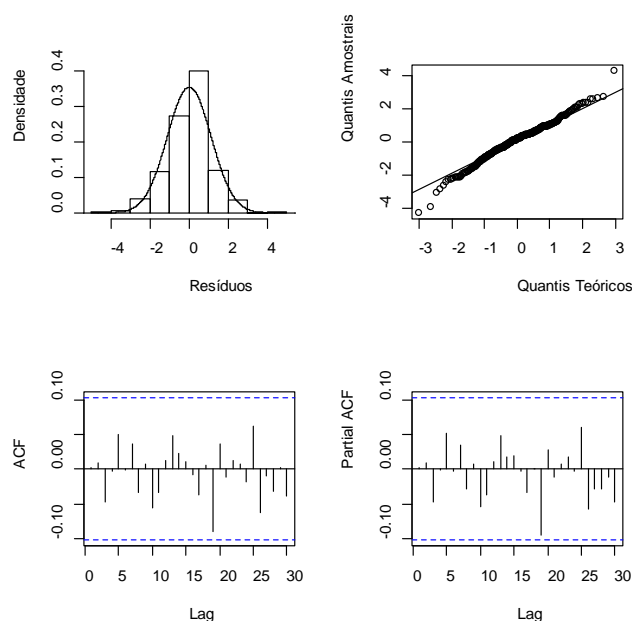


Figura 3: Histograma, QQ-Plot, ACF e PACF dos resíduos do modelo

Em seguida é apresentada a análise comparativa da qualidade do modelo ajustado. A figura 4 mostra uma análise visual dos dados ajustados pelo modelo e a série. Essa análise evidencia um bom desempenho do modelo, uma vez que esse mostra representar bem a série de dados de temperatura. No intuito de quantificar os erros no ajuste a próxima seção apresenta algumas medidas de erros de predição são apresentadas na tabela seguinte.

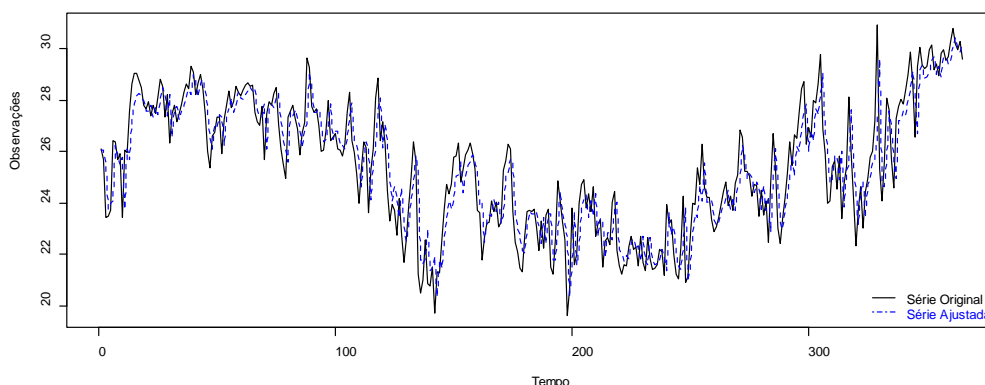


Figura 4: Valores observados e preditos pelo modelo

ANÁLISE DE PREVISÃO

Nesta seção, é apresentado o estudo das previsões passo à frente, para avaliar o desempenho do modelo ajustado. O modelo escolhido para fazer a previsão foi ARIMA(1,1,2). Na tabela seguinte são apresentados os resultados dos erros de previsão.

Tabela 4: Avaliação dos erros de previsões do modelo

Medidas de erro	Modelo ARIMA(1,1,2)	
	h=0	h=1
Erro Quadrático Médio (MSE)	1.2541	1.4157
Erro Absoluto Médio (MAE)	0.8615	1.1330

De acordo com as medidas de qualidades de previsão, para os horizontes $h = 0$ e $h = 1$, apresentadas na tabela 4, pode-se afirmar que o modelo apresentou um bom desempenho para o estudo de predição e previsão da série de médias diárias de temperatura analisada neste trabalho.

CONCLUSÕES

A partir dos objetivos dessa pesquisa, pode-se concluir que os modelos de séries temporais testados neste trabalho mostraram-se adequados para a modelagem e estudo de previsão de dados climatológicos, apresentando resultados acurados. Entre os modelos ajustados, o modelo ARIMA (1,1,2) foi considerado mais adequado para fazer predição e previsões da temperatura média diária no município de Cariacica, ES. Tais previsões são importantes por permitirem medidas preventivas para diminuição dos impactos causados, não só ao meio ambiente, mas na economia dessa cidade.

Para estudos futuros, sugere-se a utilização do modelo SARIMAX para os dados de qualidade do ar/dados climatológicos, com intuito de investigar os impactos gerados nos diferentes setores da economia, sobretudo na saúde da população. E a partir disso sugerir medidas mitigadoras ou preventivas para minimizar os impactos gerados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) pelo fornecimento dos dados e à Faculdade da Região Serrana (FARESE) pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDEL-AAL, R. E.; AL-GARNI, Z. Forecasting monthly electric energy consumption in eastern Saudi Arabia using univariate time-series analysis. *Energy*, v. 22, n. 11, p. 1059-1069, nov. 1997.
2. Bayer, F. M.; Souza, A. M. Wavelets e modelos tradicionais de previsão: Um estudo comparativo. *Revista Brasileira de Biometria*. v.28, p.40-61, 2010.
3. BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C., 2008. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Holden-Day.
4. Brockwell, P. e Davis, R., 2002. *Introduction to Time Series and Forecasting*, second edn, Springer Verlag.
5. CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. de P. R. da; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.140-147, 2006.
6. CHECHI L.; BAYER F. M. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.1321-1329, 2012.
7. FERRAZ, M. I. F.; SÁFADI, T.; LAGE, G. Uso de modelos de séries temporais na previsão de séries de precipitação pluviométricas mensais no município de Lavras, MG. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.2, p.259-267, 1999.
8. Gemtzi, A., Stefanopoulos, K. (2011). Evaluation of the effects of climate and man intervention on ground waters and their dependent ecosystems using timeseries analysis. *Journal of Hydrology*, 403, 130–140.
9. Karner, O. (2009). Arima representation for daily solar irradiance and surface air temperature time series. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71, 841–847.
10. Medeiros, S. S.; Cecílio, R. A.; Melo Júnior, J. C. F.; Silva Júnior, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.247-255, 2005.
11. MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. C.. *Análise de séries temporais*. 2. ed. São Paulo: Egarth Blucher, 2006.
12. PEDRO JUNIOR, M. J.; MELLO, M. H. A.; ORTOLANI, A. A. ALFONSI, R. R.; SENTELHAS, P. C. Estimativa das temperaturas médias mensais, das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 11p. *Boletim Técnico*, n.142. 1991.
13. PRIESTLEY, M.B., 1983. *Spectral Analysis in Time Series*. Academic Press.
14. SEDIYAMA, G. C. & MELO Jr., J. C. F. Modelos para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas, e anual no Estado de Minas Gerais. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.6, n.1, p.57-61, 1998.
15. SLINI, L.; KARATZAS, K.; MOUSSIOPOULOS, N. Statistical analysis of environmental data as the basis of forecasting: an air quality application. *The Science of the Total Environment*, v. 288, p.227-237, 2001.
16. SOUZA, A. M.; GEORGE, R.; FERRAZ, S. E. T. Previsão de precipitação e temperatura em Santa Maria por meio de um modelo estatístico. *Ciência e Natura*, v. 31, n. 1, p. 49-64, 2009.
17. VAREJÃO, M. A. S. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, 532p. 2000.
18. WEI, W. *Time Series Analysis: univariate and multivariate methods*. Pearson. Boston. 2006. 2 ed.