

## **MODELAGEM E TENDÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR DA CIDADE DE SALVADOR-BAHIA**

Alexandre B. Lopo<sup>1</sup>, Maria Helena C. Spyrides<sup>1</sup>, Paulo S. Lucio<sup>1</sup>, Javier Sigró<sup>2</sup> e Washington L. F. Correia Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas-UFRN.

<sup>2</sup>Universidade Rovira i Virgili (Tarragona, Espanha).

### **RESUMO**

O presente trabalho verifica a tendência e realiza a modelagem da Temperatura média do ar (T<sub>ma</sub>) da cidade de Salvador (BA), com dados de 1961 a 2012, visando a projeção de sua variabilidade para um período climatológico de 30 anos (2013-2042). O teste de Mann-Kendall indicou tendência positiva em T<sub>ma</sub> e o Modelo de Regressão Dinâmica ajustado estimou uma T<sub>ma</sub> de 25,8°C, acima da atual Normal climatológica de 25,3°C.

### **ABSTRACT**

This paper verifies the trend and performs the modeling of the mean air temperature (T<sub>ma</sub>) Salvador (BA) city, with data from 1961 to 2012 with a view to projecting its climatological variability for a period of 30 years (2013-2042). The trend test of Mann-Kendall indicated positive trend in T<sub>ma</sub> and Dynamic Regression Model estimated an T<sub>ma</sub> of 25.8°C above the climatological normal current of 25.3°C.

### **INTRODUÇÃO**

No atual contexto de aquecimento global, apontado pelo 4º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR4/ONU), torna-se relevante analisar e modelar a Temperatura média do ar (T<sub>ma</sub>) visando identificar os possíveis sinais ou evidências de tendências das mudanças climáticas nos grandes centros populacionais, neste caso abordamos a cidade de Salvador (Bahia). Métodos estatísticos para caracterizar estas alterações vem sendo implementados em clima, neste trabalho utilizamos o Modelo de Regressão Dinâmica (MRD) (PANKRATZ, 1991), que combina os valores históricos da

série temporal e variáveis regressoras, ambas com ou sem defasagens. O objetivo deste trabalho será modelar a Tma pelo modelo de regressão dinâmica para os próximos 30 anos (2013-2042) e verificar sua tendência.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de Tma e UR são do período de 1961 a 2012 do INMET, oriundas da cidade de Salvador-Bahia e disponibilizados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) em [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). O Teste Mann-Kendall foi aplicado nesses dados para analisar a tendência de variação na intensidade e quantidade de eventos.

A modelagem via MRD consiste de uma regressão envolvendo séries temporais que inclui valores atuais e passados da variável em estudo e variáveis regressoras, ambas com ou sem defasagens (*lag*) (PANKRATZ, 1991). Esse modelo (Equação 1) é conhecido como modelo de defasagens distribuídas autoregressivo, ADL ( $p_j, p$ ), onde, os  $p_j$  e  $p$  indicam a ordem de defasagem das variáveis ou variável, respectivamente, dependente e independente.

$$y_t = \alpha + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{q_j} \beta_{ji} x_{jt-i} + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que:  $y_t$ : variável dependente em  $t$ ;  $\alpha$ : constante;  $y_{t-i}$ : variável dependente em  $t-i$ ;  $x_{jt-i}$ :  $j$ -ésima variável independente em  $t-i$ , sendo  $i=\{1, \dots, p_j\}$  e  $j=\{1, \dots, p\}$ ;  $\beta_{ji}$ : coeficiente da  $j$ -ésima variável independente em  $t-i$ ;  $\phi_i$ : coeficiente da variável dependente em  $t-i$ ; e  $\varepsilon_t$ : erro aleatório.

Para estimar  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , utilizaram-se os dados diários de Tma e como variável explicativa a UR. Para testar a significância (5%) da equação de regressão, realizou-se o teste  $F$  e para os coeficientes o teste  $t$ -Student. (NETER *et al.*, 1996).

A aplicação do MRD pressupõe a verificação de pressupostos associados aos erros ( $\varepsilon_t$ ): os erros são variáveis aleatórias de média zero e variância constante ( $\sigma^2$ ) -hipótese de homocedasticidade; as variáveis aleatórias  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  são independentes e seguem uma distribuição normal:  $\varepsilon_1 \sim N(0, \sigma^2)$ . O teste Breusch-Pagan (BREUSCH & PAGAN, 1979) foi utilizado para identificar se os erros eram homocedásticos ou heterocedásticos e o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para verificar a normalidade. Além dos erros, testa-se nas variáveis explicativas  $x_1, x_2, \dots, x_k$  a hipótese de ausência de multicolinearidade através do

Fator de Inflação da Variância (VIF). Não aplicado nesse estudo devido a utilização de apenas uma variável explicativa.

A estimativa dos parâmetros ou coeficientes de regressão da equação ocorreu utilizando o método de Mínimos Quadrados Ordinários e os resultados foram obtidos através dos procedimentos realizados por meio do software R, pacote dynlm (ZEILEIS, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Iniciou-se a modelagem por meio da Função Correlação Cruzada (CCF), utilizada para mensurar as defasagens temporais entre a variável resposta e a variável explicativa, cujo resultado mostrou defasagens de maior correlação para 6 e 12 meses ( $lag_6$  e  $lag_{12}$ ) em referência a própria variável resposta. A UR não apresentou defasagem com correlação significativa. A Tabela 1 apresenta os parâmetros do modelo final.

Tabela 1 - Estimação dos coeficientes/defasagens e *valor-p* do modelo.

Variáveis	Coefficiente/defasagens	Erro	valor-p
intercepto <sub>t</sub>	15,75	1,51	<0,001
(ur) <sub>t</sub>	-0,04	0,01	<0,001
(tma) <sub>t</sub>	-0,21 ( $lag_6$ )	0,03	<0,001
(tma) <sub>t</sub>	0,72 ( $lag_{12}$ )	0,03	<0,001

A equação de estimação dos parâmetros do modelo é expressa:

$$Tma = 15,75 - 0,04 ur - 0,21tma_{(lag6)} + 0,72tma_{(lag12)} + e_t \quad (1)$$

Pelo teste *F*, a equação de regressão apresentou significância estatística (valor-p <0,05) e os coeficientes de forma similar (valor-p na tabela refere-se ao teste *t-Student*). A normalidade dos erros foi confirmada pelo teste KS (valor-p=0,48). Já pelo teste Breusch-Pagan foi constatado o valor-p de 0,19, sendo  $p > 0,05$  confirmando a hipótese de homocedasticidade dos resíduos.

Com o modelo (Equação 1), realizou-se a predição (interpolação) dos dados e aferiu-se a qualidade e validade via análise de correlação e cálculo do erro quadrático médio (MSE) entre observações e dados interpolados. Os resultados apontaram um coeficiente de correlação de 0,88 e MSE = 0,43.

A previsão estimada (extrapolação) da Tma para o período de 30 anos (2013-2042) indicou que a média climatológica será de  $25,6 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , e para o ano 2042 esta média aponta o valor

de  $25,8 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ , ambas acima da Normal climatológica atual de  $25,3^{\circ}\text{C}$  definida pelo INMET para o período de 1961-1990.

O teste Mann-Kendall foi significativo (valor- $p < 0,05$ ) e confirmou a tendência positiva ou de elevação ( $Z = 0,385$ ) da T<sub>ma</sub> no período de 1961-2012.

## CONCLUSÕES

O modelo constituído estimou um elevação para a T<sub>ma</sub> na cidade de Salvador nos próximos 30 anos (2013-2042). A perspectiva para trabalhos futuros será inserir outras variáveis explicativas para aperfeiçoamento do modelo.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq- Brasil. O co-autor Washington. L. F. Correia Filho agradece a CAPES pela bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS

- BREUSCH, T.; PAGAN, A. **A Simple Test of Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation**. *Econometrica*, 47, p. 1287-1294, 1979.
- NETER, J.; KUTNER, M. N.; NACHTSSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Boston: WCB/McGraw-Hill, 4ª Ed., p. 791, 1996.
- PANKRATZ, A. **Forecasting with dynamic regression models**. John Wiley and Sons, New York, 1991.
- ZEILEIS, A. 2012. **dynlm: Dynamic Linear Regression**. R package version 0.3, 2012. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=dynlm>>. Acesso em: 10 maio. 2013.