

ANÁLISE HARMÔNICA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS MÉDIAS MENSASIS EM BENTO GONÇALVES, RIO GRANDE DO SUL

JOÃO BAPTISTA DA SILVA¹, MILENA MACHADO JOÃO² E VENICE MEAZZA CAMARGO³

¹Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Prof. Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática, UFPEL/ Pelotas-RS. E-mail: jbs39@terra.com.br

²Engenheira Civil e Bacharel em Física, M.Sc., Profa.de nível básico, técnico e tecnológico, Departamento de Física ,CEFET/ Pelotas-RS.

³Graduanda em Meteorologia e Geografia, Faculdade de Meteorologia e Curso de Geografia, UFPEL/Pelotas-RS.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

RESUMO: O estudo do comportamento das temperaturas mínimas médias mensais foi realizado para a localidade de Bento Gonçalves, RS, no período de 1918 a 2007 (90 anos). O objetivo do trabalho foi estabelecer um modelo que interpretasse a variabilidade da variável acima referida e que este conhecimento fosse da maior utilidade para muitas aplicações, principalmente, na área agrícola. Os primeiros 85 anos foram usados para a modelagem dos dados pela análise harmônica e os restantes 5 anos foram reservados para a previsão. Durante o preparo dos dados para a análise, os mesmos foram ajustados à meses de 30 dias, e foram verificadas as propriedades de homogeneidade de variâncias, de normalidade e de estacionariedade. A análise harmônica dos dados indicou um modelo com 98,9% de representatividade, constituído pelas duas primeiras ondas senoidais (anual e semestral). Inicialmente, ele representou o comportamento de um ano médio válido para estimar as médias para o próximo conjunto de 5 anos com uma representatividade de 94,1%. Para verificar a capacidade do modelo prever os valores individuais dessa variável, em cada um dos 5 anos de 2003 à 2007, foi incluído no modelo a contribuição da tendência ao longo dos anos, calculada anteriormente à modelagem e eliminada na busca da estacionariedade dos dados. Conclui-se, que o modelo representa de forma eficiente a variabilidade das temperaturas mínimas médias mensais em Bento Gonçalves e pode ser considerado como um adequado previsor de novos conjuntos de valores.

PALAVRAS-CHAVE: temperaturas mínimas, regressão periódica, teste t.

HARMONIC ANALYSIS OF THE MONTHLY AVERAGE MINIMUM TEMPERATURES IN BENTO GONÇALVES, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL.

ABSTRACT: A study of the behavior of the monthly average minimum temperature for the locality of Bento Gonçalves, RS, based on data of the ninety years period of 1918 to 2007, was made. The purpose was to establish a model that expressed the variability of that weather characteristic whose knowledge could be useful for many applications, mainly in agriculture. The first 85 years were used to generate the model by harmonic analysis and the remaining 5 years were reserved for the forecast. Preliminarily, the data were adjusted to months of 30 days, and the properties of variance homogeneity, normality and stationarity were verified. The harmonic analysis indicated a model with 98,9% of representation, constituted by the two first sine waves (annual and semi-annual). Initially,

it represented the behavior of an average year valid to estimate the averages of the next set of 5 years with a representation of 94,1%. The ability of the model to forecast the individual values of the variable under study was verified by including the contribution of the tendency along the years, computed previously of the modeling and eliminated in the search of the stationarity. It was concluded that the model represented efficiently the variability of the monthly average minimum temperature in Bento Gonçalves and can be considered as an adequate forecaster of new set of values.

KEYWORDS: minimum temperatures, periodic regression, t test.

INTRODUÇÃO: Vem sendo divulgado há algum tempo que a temperatura do planeta Terra está aumentando, conseqüência, segundo a maioria, do efeito estufa principalmente. Sabe-se que os efeitos da mudança global sobre determinadas regiões incluem modificações no ano agrícola, perda de diversidade genética, alterações na precipitação pluvial, além de outros. O Estado do Rio Grande do Sul, por suas características geográficas e climatológicas em função não só da latitude e da longitude, mas também pela entrada dos sistemas meteorológicos, como frentes e massas de ar, carece de estudos mais apropriados sobre determinadas variáveis meteorológicas, que são importantes não só para a produção agrícola, mas também para a qualidade da vida humana. A temperatura mínima média mensal é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para a compreensão dos fenômenos atmosféricos e que evidencia maiores relações com as trocas que estão acontecendo com o clima em nível global. O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento das temperaturas mínimas médias mensais em Bento Gonçalves, RS e estabelecer um modelo que represente a variabilidade dessa variável, usando a técnica de análise harmônica.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram usadas, no trabalho, as médias mensais das temperaturas mínimas da estação meteorológica da cidade de Bento Gonçalves (latitude: 29°15'S, longitude: 51°31'W, altitude: 619m), no período de 1918 à 2007 (90 anos), obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, INMet (8° Distrito de Meteorologia–Porto Alegre). As médias mensais das temperaturas mínimas, inicialmente, foram ajustadas à um mês de 30 dias, por exigência da análise harmônica. Verificou-se, a seguir, as propriedades de homogeneidade de variâncias pelo teste de Cochran (Dixon e Massey Jr, 1969) e de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (Shapiro,1990). Caso estas características não ocorressem nos dados, buscar-se-ia uma transformação adequada. Como a maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais supõe que estas sejam estacionárias (séries sem tendência), será necessário, ajustar os dados, se estes não formam uma série estacionária. O procedimento mais usual é estimar a tendência linear dos dados, por análise de regressão e eliminar esta tendência desde os dados originais. Feito isso, obtém-se uma estimativa da série livre de tendência, ou seja, de uma série estacionária. A equação utilizada para realizar a análise harmônica dos dados de temperaturas mínima média mensal foi obtida de Baptista da Silva (1977):

$$y_t = a_0 + a_1 \text{sen}(wt + A_1) + a_2 \text{sen}(2wt + A_2) + \dots + a_k \text{sen}(kwt + A_k) \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

a_0 = valor médio

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ = amplitudes das harmônicas

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$ = ângulos-fase das harmônicas

k = k-ésima ordem da harmônica

$w = 360/T = 2\pi/T =$ frequência angular

$t =$ tempo ($t = 0, 1, 2, \dots, T-1$)

$T =$ subdivisões do período fundamental, $T = 12$ meses.

Outra forma de apresentar a equação acima é como uma soma finita de senos e cossenos:

$$y_t = p_0 + \sum_{k=1}^n [p_k \cos(kwt) + q_k \sin(kwt)] \quad \text{Eq. 2}$$

Tem-se:

$$a_0 = p_0, a_k = \sqrt{p_k^2 + q_k^2}, A_k = \arctan(p_k/q_k) \quad \text{Eq. 3}$$

estimados os valores de $p_0, p_k,$ e $q_k,$ pode-se voltar a equação de $y_t.$ A fração de variação total explicada por cada harmônica é:

$$\text{Var}_k = a_k^2 / 2\sigma^2, \sigma^2 = \text{variância da série} \quad \text{Eq. 4}$$

Se todas as harmônicas forem computadas e então adicionadas a média, o resultado é exatamente o dado original do evento analisado. De modo geral, não se necessita estimar todas as harmônicas, visto que as primeiras já explicam a maior proporção da variação total dos dados. A seleção das ondas utilizadas na composição dos modelos baseou-se na magnitude da amplitude da onda, e no fato do modelo ser representativo, $r^2 \geq 90\%$, sem excessiva complexidade. Finalmente, o modelo para previsão da série das temperaturas mínimas médias mensais foi testado, quanto ao desempenho, por meio do teste $t,$ deduzido dos indicadores estatísticos RMSE (root mean square error) e MBE (mean bias error). A estatística t sugerida por Togrul e Togrul (2002) é assim definida:

$$t = \sqrt{(n-1)MBE^2 / (RMSE^2 - MBE^2)} \quad \text{Eq. 5}$$

onde:

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad \text{e} \quad MBE = 1/n \sum_{i=1}^n d_i \quad \text{Eq. 6}$$

sendo $n =$ número de dados e $d_i = x_e - x_o$

Os valores estimados pelo modelo serão significativos, ou seja, o modelo ajusta-se aos dados, quando o valor de t calculado for menor que o valor de t tabelado, para $(n-1)$ graus de liberdade, no nível de significância escolhido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Inicialmente os dados foram ajustados para um mês de 30 dias, como exigência da análise harmônica. A verificação da homogeneidade de variâncias, pelo teste de Cochran, levou-nos ao valor de $C = 0,114,$ não significativo ao nível de confiança de 5%, visto que o valor de C tabelado é, $C_{0,05;12;89} = 0,125.$ Conclui-se que as variâncias podem ser aceitas como homogêneas. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk (1990), com a extensão de Shapiro e Francia, apresentou resultado significativo a 5% apenas para o mês de setembro com $W = 0,969,$ comparado ao valor tabelado $W_{0,05} = 0,975.$ Para os demais meses o resultado do teste mostrou-se não significativo, o que nos levou a considerar que os dados seguem aproximadamente à distribuição normal. Quanto à estacionariedade a análise de regressão mostrou uma tendência linear positiva altamente significativa. A equação de regressão estimada foi:

$$\hat{Y}_i = 11,14001 + 0,002135x$$

Após eliminada a tendência dos dados a regressão linear apresentou-se como não significativa a 5%. Logo, estes dados resultantes da eliminação da tendência são estacionários e podem ser submetidos à análise harmônica. A análise harmônica dos dados indicou a onda anual como mais importante, em vista da magnitude de sua amplitude, com uma representatividade de 96%. Entretanto, o modelo foi constituído pelas duas primeiras

ondas, anual e semestral, tendo em vista a recomendação de alguns autores de, que em meteorologia é muito raro modelos de uma única onda.

Assim, têm-se, para um ano médio:

$$\hat{Y}_i = 11,161 + 4,467 \cos(0,5236t) + 0,633 \sin(0,5236t) + 0,020 \cos(1,0472t) + 0,787 \sin(1,0472t), \quad \text{com } r^2 = 0,99.$$

Na figura 1, encontra-se o modelo, os dados observados (média de 85 anos) e a previsão (média de 5 anos). Pode-se observar que os ajustes dos dados ao modelo são muito bons, com coeficientes de determinação de 99% e 94%, respectivamente. Na continuação do trabalho, comparou-se o modelo com os valores de cada um dos 5 anos do período reservado para previsão (2003 à 2007). Para tal, foi incluída ao modelo a contribuição da tendência ao longo dos anos, calculada anteriormente à modelagem e eliminada na busca da estacionariedade dos dados (figura 2). O teste do modelo para previsão das temperaturas mínimas médias mensais em Bento Gonçalves, foi feito por meio do teste t, cuja fórmula é deduzida em função dos indicadores estatísticos RMSE e MBE (Togrul e Togrul, 2002). O valor de t calculado foi de 1,22 não significativos a 5% ($t_{0,05;59} = 2,00$). Portanto, como valor de t é não significativo, se aceita o desempenho do modelo como adequado na previsão de novos conjuntos de observações.

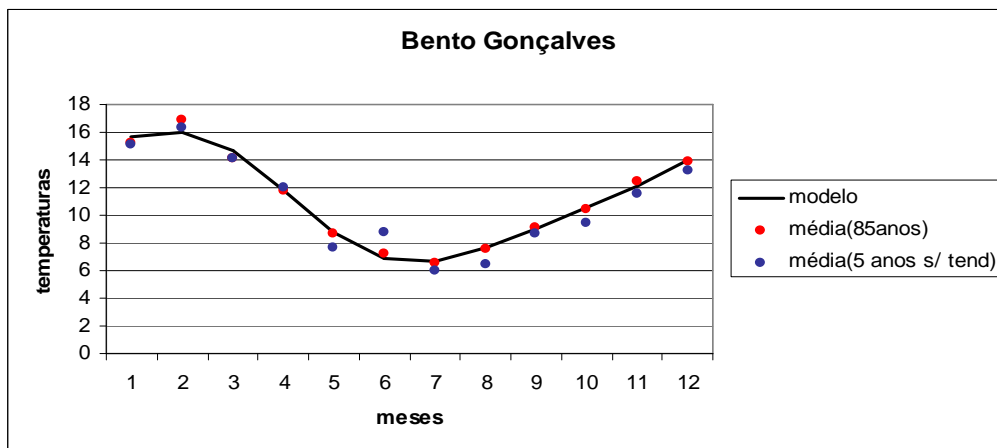


Figura 1. Modelo, médias mensais observadas e previsão para temperatura mínima em Bento Gonçalves, RS.

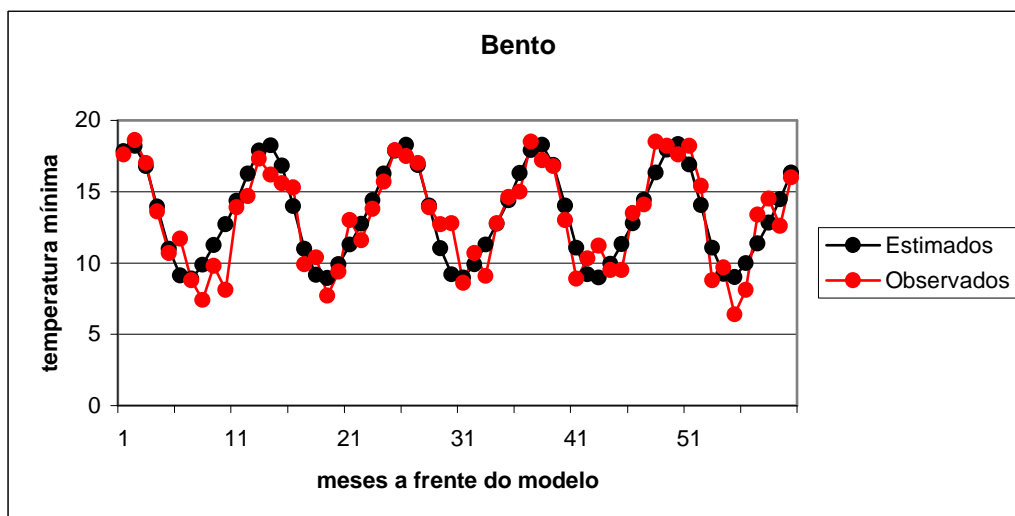


Figura 2. Modelo e previsão para temperatura mínima média mensal de 2003 a 2007, com tendência em Bento Gonçalves, RS.

CONCLUSÃO: As temperaturas mínimas médias mensais em Bento Gonçalves, RS, apresentam uma tendência linear positiva estatisticamente significativa, ao longo dos 90 anos de observação. O modelo proposto pela análise harmônica das temperaturas mínimas médias mensais, composto pelas ondas anual e semestral ($r^2 = 0,99$) foi considerado como adequado para representar a variação entre os dados e também, como um previsor confiável de novos conjuntos de dados, para Bento Gonçalves, RS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BAPTISTA DA SILVA, J. Análise harmônica das precipitações pluviométricas pentadais (Pelotas-RS, 1900/51). 1977. 216f. Tese de Livre Docência, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DIXON, W. J.; MASSEY Jr; F.J. Introduction to statistical analysis. Tokio; McGraw- Hill Kogakusha ltda, 1969. 639p.

SHAPIRO, S. S. How to test normality and other distributional assumptions. V.3, ASQC Quality Press, 92p, 1990

TOGRUL, I.T. ; TOGRUL, H. Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. Renewable Energy, Turkey, v.25, p.55-67, 2002.