

# ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MODELOS ESTATÍSTICOS NA ESTIMATIVA DOS VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DA TEMPERATURA DO AR, A PARTIR DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS, EM FORTALEZA, CE.

Cláudio Henrique Chaves OLIVEIRA<sup>1</sup>, Thales Vinícius de Araújo VIANA<sup>2</sup>, Valdemício Ferreira de SOUSA<sup>3</sup>, Eunice Maia de ANDRADE<sup>4</sup>, Sciena Sérvia de Araújo VIANA<sup>5</sup>

## INTRODUÇÃO

A maioria das metodologias de cálculos dos valores médios diários das variáveis meteorológicas foi desenvolvida no início do século passado, quando não havia sistemas automáticos de coleta de dados. Um outro fato: essas metodologias normalmente foram originárias do hemisfério Norte, sendo testadas, principalmente, em países de latitudes elevadas. Em consequência, foram adotadas no Brasil, na maioria das vezes com a simples correção do fuso horário.

É sabido que o cálculo dos valores médios diários das variáveis meteorológicas é de grande aplicação nos estudos que envolvem o binômio clima e agricultura (Genneville & Boock, 1983; Bastos et al., 2000; Viana, 2001). Em consequência, deve-se fazer uma análise apurada da eficácia das equações que são usualmente utilizadas na estimativa dos valores médios diários das variáveis meteorológicas.

Um outro fato: atualmente com os sistemas automáticos de coleta de dados pode-se obter um grande número de informações sobre as variações ao longo do dia das diversas variáveis meteorológicas. É óbvio, apesar das estações convencionais e automáticas nem sempre registrarem exatamente o mesmo valor para as diversas variáveis meteorológicas, que nas duas estações a variação ao longo do dia de uma variável meteorológica apresenta tendência semelhante.

Em consequência, o grande número de informações coletadas em um sistema automático pode ajudar a analisar os modelos atuais de cálculos dos valores médios diários, bem como permitir a proposição de modelos que estimem os valores diários com maior precisão.

Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho de modelos estatísticos na estimativa dos valores médios diários da temperatura do ar, através das informações coletadas em sistemas automáticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado a partir da coleta de dados de temperatura do ar, através de uma estação meteorológica automática, instalada em Fortaleza, CE (03° 44' S; 38° 33' W; 19,5 m). Na programação da estação, as leituras do sensor foram realizadas a cada 10 s e os valores médios armazenados a cada 30 minutos, durante 40 dias, no período de 16 de janeiro a 24 de fevereiro de 2002. Solicitou-se também a amostragem dos valores às 7, 9, 14, 15 e 21 h, máxima e mínima diárias.

O sensor de medição da temperatura do ar era um termohigrômetro, modelo HMP-45C. Os valores instantâneos, médios a cada 30 minutos, máximos e mínimos diários foram armazenados em um sistema de aquisição de dados, modelo CR10X. Os valores coletados, para cada dia, da variável temperatura do ar, foram colocados em planilhas do aplicativo Microsoft

Excel, totalizando 40 planilhas para análise, onde se calculou a temperatura média diária através de doze modelos estatísticos. Em seguida, reuniram-se, em uma outra planilha, as informações dos valores médios diários, dos 40 dias, calculados pelos dez modelos, comparando-os com a temperatura média diária calculada pela estação automática.

Os modelos estatísticos foram confeccionados a partir dos horários habituais de observação meteorológica no Brasil, na região do fuso -3, conforme descrição abaixo. Adotaram-se somente coeficientes inteiros para facilitar o manejo dos modelos, em caso de adoção de um destes em condições de campo.

Dentre os modelos utilizados estavam os adotados pelo Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (equação 01), pela FAO (equação 02, modelo dos extremos) e pela rede de estações meteorológicas do IAC, em São Paulo (equação 03). Segue descrição dos modelos:

$$T_{\text{méd}}(01) = \frac{T_{9h} + 2 \times T_{21h} + T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{5} \quad (01)$$

$$T_{\text{méd}}(02) = \frac{T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{2} \quad (02)$$

$$T_{\text{méd}}(03) = \frac{T_{7h} + T_{14h} + 2 \times T_{21h}}{4} \quad (03)$$

$$T_{\text{méd}}(04) = \frac{T_{9h} + T_{15h} + T_{21h}}{3} \quad (04)$$

$$T_{\text{méd}}(05) = \frac{T_{9h} + T_{15h} + 2 \times T_{21h} + T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{6} \quad (05)$$

$$T_{\text{méd}}(06) = \frac{T_{7h} + T_{14h} + 2 \times T_{21h} + T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{6} \quad (06)$$

$$T_{\text{méd}}(07) = \frac{T_{9h} + T_{15h} + 2 \times T_{21h}}{4} \quad (07)$$

$$T_{\text{méd}}(08) = \frac{T_{9h} + T_{15h} + T_{21h} + T_{\text{Mín}}}{4} \quad (08)$$

$$T_{\text{méd}}(09) = \frac{T_{9h} + T_{21h} + T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{4} \quad (09)$$

$$T_{\text{méd}}(10) = \frac{T_{7h} + T_{14h} + T_{21h} + T_{\text{Máx}} + T_{\text{Mín}}}{5} \quad (10)$$

$$T_{\text{méd}}(11) = \frac{T_{9h} + T_{14h} + 2 \times T_{21h} + T_{\text{Mín}}}{5} \quad (11)$$

$$T_{\text{méd}}(12) = \frac{T_{9h} + T_{14h} + T_{21h} + T_{\text{Máx}} + 2 \times T_{\text{Mín}}}{6} \quad (12)$$

em que:  $T_{xh}$  é a temperatura do ar medida às  $xh$  na estação automática, em °C;  $T_{\text{Máx}}$  é a temperatura máxima diária do ar medida na estação automática, em °C;  $T_{\text{Mín}}$  é a temperatura mínima diária do ar medida na estação automática, em °C.

<sup>1</sup> M.Sc. pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFC, Bolsista da FUNCAP;

<sup>2</sup> Professor, Doutor, UFC, e-mail [thales@ufc.br](mailto:thales@ufc.br);

<sup>3</sup> Pesquisador Doutor da Embrapa Meio-Norte;

<sup>4</sup> Professora, Phd, UFC;

<sup>5</sup> Aluna do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFC, Bolsista da FUNCAP.

Os valores médios diários da temperatura do ar estimados, pelos doze modelos, foram comparados estatisticamente com os medidos pela estação automática através do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), do índice de concordância de Willmott (id; Willmott, 1981) e o produto desses, denominado de índice “c”, por Camargo & Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar na Tabela 1, as equações de regressão geradas entre os valores médios diários de temperatura do ar medidos pela estação automatizada e os estimados por cada modelo analisado, com os respectivos valores do coeficiente de determinação, do índice de Willmott e do produto desses. De uma maneira geral, quando se analisa somente as equações de regressão, que tiveram forçadas a sua passagem pelo zero, os modelos estimaram muito proximamente a temperatura média diária do ar. As equações de regressões geradas, que indicaram superestimativa, mostraram uma amplitude de variação dos estimados em relação aos medidos de no máximo 2,77% (modelo 4) e no mínimo de 0,08% (modelo 1, INMET). Dentre as regressões que mostraram subestimativas, a obtida a partir do modelo estatístico 03, Figura 3, foi a que apresentou menor amplitude de variação: 0,2%. Este modelo é o adotado pela rede de estações meteorológicas coordenadas pelo Instituto Agronômico de Campinas, o IAC, no estado de São Paulo, para o cálculo da temperatura média diária.

Tabela 1. Equações de regressão, geradas pelas correlações entre os valores médios diários de temperatura do ar medidos pela estação automatizada e os estimados, e valores do coeficiente de determinação, do índice de Willmott e do produto destes, para cada um dos doze modelos analisados.

Modelo Estatístico	Equação regressão	$r^2$	id	c
1 (INMET)	$y = 1,0008x$	0,8312	0,9478	0,7878
2 (FAO)	$y = 1,0150x$	0,7960	0,8904	0,7088
3 (IAC)	$y = 0,9980x$	0,8329	0,9492	0,7906
4	$y = 1,0277x$	0,8468	0,8212	0,6954
5	$y = 1,0150x$	0,8791	0,9144	0,8038
6	$y = 1,0036x$	0,8754	0,9617	0,8419
7	$y = 1,0150x$	0,8225	0,8964	0,7373
8	$y = 0,9940x$	0,8713	0,9507	0,8284
9	$y = 1,0068x$	0,8746	0,9512	0,8319
10	$y = 1,0089x$	<b>0,9115</b>	0,9557	<b>0,8711</b>
11	$y = 0,9927x$	0,8455	0,9395	0,7943
12	$y = 1,0027x$	0,8995	<b>0,9675</b>	0,8703

Entretanto, uma análise mais detalhada através dos demais índices mostra diferenças mais significativas entre as diferentes estimativas. Como exemplo: pode-se observar na tabela 1, que o modelo estatístico que apresentou a maior linearidade em suas estimativas foi o de número 10, com coeficiente de determinação igual a 0,9115, e a menor foi o de número 2, adotado pela FAO, com  $r^2 = 0,7960$ .

Analisando-se os valores do coeficiente de Willmott, pode-se observar que o modelo mais preciso em suas estimativas foi o de número 12, com id = 0,9675, enquanto que o menos preciso foi o de número 4, com id de 0,8212. Os modelos adotados pelo INMET, pela FAO e pelo IAC obtiveram, respectivamente, os seguintes desempenhos quanto as suas precisões nos valores estimados: 7º, 11º e 6º, sendo que novamente o modelo

adotado pela FAO apresentou o menor desempenho entre os três.

Quando se observa o produto entre o coeficiente de determinação e o índice de Willmott (c), na Tabela 1, percebe-se que o valor mais próximo de 1,0 foi o obtido pelo modelo estatístico 10 (0,8711). O modelo estatístico com o menor desempenho frente ao produto dos dois índices foi o de número 4. O modelo 2 (FAO) obteve o segundo menor desempenho, o que mostra as baixas linearidades e precisões das estimativas de temperatura médias diárias obtidas através da ponderação simples das temperaturas máxima e mínima diárias. Os modelos adotados pelo INMET e pelo IAC obtiveram, respectivamente, o 9º e o 8º desempenho, também mostrando que as qualidades das suas estimativas foram inferiores as da maioria dos modelos testados, sob as condições analisadas.

Em síntese, considerando-se os números agregados do produto dos dois índices o modelo que apresentou as estimativas mais precisas e lineares foi o modelo de número 10. Este modelo é passível de adoção pelo IAC no estado de São Paulo, pois requer valores máximos e mínimos de temperatura do ar e valores observados às 7, 14 e 21 h, com ponderação simples. Dentre os modelos possíveis de serem adotados a partir dos horários de observações meteorológicas do INMET, o que apresentou estimativas mais lineares e precisas de acordo com o índice “c” foi o de número 9. Este modelo sugere uma ponderação simples dos valores máximos, mínimos e os observados às 9 e 21 h. Esta metodologia difere da adotada pelo INMET por não adotar peso 2 no valor da temperatura das 21 h.

## CONCLUSÕES

Os modelos adotados pelo INMET, pela FAO (valores extremos) e pela rede de estações meteorológicas do IAC, no estado de São Paulo, apresentaram apenas desempenho mediano, quanto às estimativas da temperatura média diária do ar, em Fortaleza, CE.

O melhor modelo estatístico para estimar a temperatura média diária constituiu-se de ponderação simples dos valores máximo e mínimo, diários, e dos observados às 7, 14, e 21 h.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, E.A.; NUNES, B.H.; ANDRADE JÚNIOR, A.S de. Dados agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI (1990 – 1999). Teresina: EMBRAPA Meio-Norte. 2000. 27p (Parnaíba, Pi). (EMBRAPA – Embrapa Meio – Norte. Documentos, 46).
- CAMARGO, A.P de.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, / Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia. v. 5, n.1, p. 89 – 97. 1887.
- GENNEVILLE, M.S.: BOOCK, A. Modelo estocástico para simulação da precipitação pluviométrica diária de uma região. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.18, n.9, p.959-966, 1983.
- VIANA, T.V.A. Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e um lisímetro de pesagem em ambiente protegido. Piracicaba, 2001. 138p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. Physical Geography, v.2, p. 184 – 194, 1981.