

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

DANIELA PINTO GOMES¹; DANIEL FONSECA DE CARVALHO²; DIONIZIO HONÓRIO DE OLIVEIRA NETO¹ E CARLOS ANTONIO BARRETO DOS SANTOS¹

¹ MSc, Doutorando no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, danielagomesagro@hotmail.com, dionizioneto@yahoo.com.br, agrobaretto@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia, UFRRJ, carvalho@ufrj.br, Bolsista de produtividade do CNPq

1 RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de gerar modelos de regressão múltipla, visando a estimativa das temperaturas mínimas, máximas e médias mensais e média anual, e posterior estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para o estado do Rio de Janeiro, tendo como variáveis independentes latitude, longitude e altitude. Foram utilizados dados de temperatura do ar de 37 estações meteorológicas do INMET, sendo 31 localizadas no estado do Rio de Janeiro, 4 em Minas Gerais, 1 em São Paulo e 1 no Espírito Santo. Os modelos foram selecionados com base no nível de significância dos seus coeficientes e nos coeficientes de regressão ajustados. Os resultados indicam que: altitude e latitude foram as variáveis que mais influenciaram na estimativa das temperaturas, estando a primeira presente em todos os modelos gerados; a análise de desempenho dos modelos demonstrou que os valores de temperatura do ar estimados não diferiram estatisticamente dos valores medidos; e que os valores de ET_o obtidos a partir de valores estimados de temperatura não diferiram estatisticamente daqueles estimados por valores medidos de temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: simulação da temperatura, Hargreaves, coordenadas geográficas

GOMES, D.P.; CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA NETO, D.H.; SANTOS, C.A.B.

ESTIMATE OF AIR TEMPERATURE AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL

2 ABSTRACT

The objective of the study was to generate multiple regression models to estimate minimum, maximum, mean monthly and mean annual air temperatures, followed by the estimate of reference evapotranspiration (ET_o) in Rio de Janeiro state. Latitude, longitude and altitude were the independent variables. Data of air temperature from 37 meteorological stations of the INMET network were used, being 31 stations located in Rio de Janeiro state, 4 stations in Minas Gerais state, 1 station in São Paulo state and 1 station in Espírito Santo state. The models were selected according to the significance level of their coefficients and to the adjusted coefficients of regression. Results showed that the altitude and latitude were the variables that most influenced the estimates of temperature, and the former was present in all generated models. The analysis of the model performance showed that no statistically

significant difference was found between estimated values of air temperature and measured values. Also, no difference was found between values of ETo obtained from estimated values of air temperature and estimated values from measured values of temperature.

Keywords: temperature simulation, Hargreaves, geographical coordinates

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura aparece como um dos principais setores responsáveis pelo crescimento econômico, e cada vez mais buscam-se inovações tecnológicas para torná-la mais viável seja do ponto de vista econômico, ambiental ou social. Diversos estudos têm mostrado que o bom desenvolvimento das culturas agrícolas não está associado apenas aos fatores solo e planta, mas principalmente, aos fatores climáticos (GADIOLI et al., 2000), que apresentam grande importância na determinação de épocas de plantio, crescimento vegetal (PEARSON et al., 1994), disponibilidade térmica (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008), evapotranspiração (ALLEN et al., 2011), etc.

A temperatura do ar é uma das variáveis que mais interferem no desenvolvimento das plantas (LUCAS et al., 2012) e tem sido utilizada como variável de entrada em modelos ambientais (CHARLES et al., 2008), principalmente na modelagem agrometeorológica, que busca quantificar o efeito do clima no crescimento e no desenvolvimento das plantas (ROLIM et al., 2011). Visando o uso desses modelos, que possibilitam estudar a melhor adaptação dos vegetais em diferentes regiões e épocas de cultivo (ANTONINI et al., 2009), é fundamental o uso de informações espaciais de variáveis climáticas, e buscando-se minimizar os efeitos da escassez de estações meteorológicas, análises de regressão múltiplas tem sido utilizadas visando a estimativa da temperatura do ar em função de diferentes variáveis fisiográficas. Segundo Stahl et al. (2006), dependendo da escala de interesse, além das coordenadas geográficas, a altitude do terreno é um importante fator na variação da temperatura.

A temperatura é um parâmetro climático fundamental na estimativa da lâmina de irrigação, sendo utilizada em muitos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração (BARROS et al., 2009). A equação de Hargreaves (HARGREAVES & SAMANI, 1985) é um método de estimativa de ETo a partir da diferença das temperaturas máxima e mínima do ar, que se baseia nas condições de nebulosidade do local, e pode ser utilizado quando não se dispõe de dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento (CARVALHO & OLIVEIRA, 2012). Apesar de sua simplicidade e de ser mais recomendado para regiões que apresentam grande déficit de pressão de vapor, este método tem sido aplicado para estimativa de ETo em diferentes localidades (CARVALHO et al., 2006).

Modelos para estimativa de temperatura média mensal estão sendo gerados com aceitável grau de precisão em várias regiões do país. Podem ser citados os trabalhos de Lima & Ribeiro (1998), para o estado do Piauí, Oliveira Neto et al. (2002), para regiões do Mato Grosso do Sul, sul do Mato Grosso, sudoeste de Goiás, oeste de Minas Gerais, noroeste de São Paulo e norte do Paraná, Pezzopane et al. (2004), para o Espírito Santo, Medeiros et al. (2005), para a região nordeste do Brasil, Cargnelutti Filho et al. (2006), para o Rio Grande do Sul, e Antonini et al. (2009) para o estado de Goiás, dentre outros.

Constata-se, portanto, que apesar de já terem sido realizados em diversos estados e regiões brasileiras, poucos são os trabalhos que além de gerar os modelos de estimativa da temperatura, avaliam o efeito do seu uso na estimativa da ETo. Assim, realizou-se este estudo com objetivo de gerar equações de regressão múltipla para estimar a temperatura do ar

mínima, média e máxima mensal e anual e a evapotranspiração de referência mensal para o estado do Rio de Janeiro, utilizando coordenadas geográficas e altitude.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado para o estado do Rio de Janeiro, considerando dados de temperatura do ar provenientes de estações meteorológicas cadastradas no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Em função da quantidade e qualidade dos dados e visando a obtenção de um melhor ajuste espacial, foram selecionadas 31 estações no estado do Rio de Janeiro, 4 em Minas Gerais, 1 no Espírito Santo e 1 em São Paulo, sendo 26 estações com 18 anos de dados e 11 estações com 30 anos de dados. A Tabela 1 apresenta algumas informações das estações selecionadas.

Tabela 1. Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas utilizadas na estimativa da temperatura do ar no estado do Rio de Janeiro

Código	Estação	Latitude Sul (°)	Longitude Oeste (°)	Altitude (m)
Rio de Janeiro				
83054	Jacarepaguá	22,9833	43,3667	3,0
83599	Nova Iguaçu	22,7667	43,4500	20,0
83695	Itaperuna	21,2000	41,9000	124,0
83696	Sta. Maria Madalena	21,9500	42,1667	620,0
83697	São Fidelis	21,6500	41,7500	74,0
83698	Campos	21,7500	41,3333	25,0
83699	Barra do Itabapoana	21,3000	40,9833	3,0
83718	Cordeiro	22,3333	42,3833	485,0
83719	Cabo Frio	22,8833	42,3333	7,4
83738	Resende	22,4833	44,4452	440,0
83741	Ecol. Agrícola	22,7667	43,6833	33,0
83742	Vassouras	22,4166	43,6666	437,0
83743	Rio de Janeiro	22,8000	43,2500	9,0
83745	Nova Friburgo	22,2833	42,5333	857,0
83749	Macaé	22,3833	41,8000	32,0
83752	Barreirinha	22,4500	44,8333	757,0
83753	Volta Redonda	22,4833	44,0833	148,0
83757	Piraí	22,6333	43,8833	388,0
83758	Ilha Guaiúba	23,0000	44,0333	64,5
83759	São Pedro da Aldeia	22,8500	42,1667	6,0
83762	Rio d'Ouro	22,6166	43,4666	127,0
83763	Tingua	22,5833	43,3500	125,0
83764	Xerém	22,5583	43,3042	143,0
83788	Angra dos Reis	23,0000	44,3167	2,0
83789	Santa Cruz	22,9167	43,6667	63,0
83790	Bangu	22,8667	43,4667	43,0
83791	Penha	22,8833	43,2166	65,0
83792	Engenho de Dentro	22,9000	43,3000	37,0
83805	Sto. Antonio De Pádua	21,5422	42,1806	96,0

Código	Estação	Latitude Sul (°)	Longitude Oeste (°)	Altitude (m)
83806	Teresópolis (Pq. Nac.)	22,4333	42,9833	980,0
83807	Carmo	21,9333	41,3333	341,0
Minas Gerais				
83027	Cataguases	21,2300	42,4100	168,6
83037	Caparaó	20,3100	41,5200	844,18
83686	Juiz de Fora	21,4600	43,2100	941,2
83690	São Lourenço	22,0600	45,0100	901,3
Espírito Santo				
83646	Cachoeiro de Itapemirim	20,5100	41,0600	78,6
São Paulo				
83712	Bananal	22,4200	44,1900	560,0

Na tentativa de encontrar regiões com características homogêneas de temperatura do ar dentro do estado, foi realizada inicialmente uma análise estatística multivariada de agrupamento (WARD, 1963), baseada na mínima e máxima variância intra e extraclasses, respectivamente, com o quadrado das distâncias euclidianas.

Foram realizadas análises de regressão múltipla a fim de se obter modelos matemáticos, tendo como variáveis independentes latitude, longitude e altitude das estações (Tabela 1) e como variáveis dependentes as temperaturas médias mensais mínima, máxima e média, além da média anual. A Equação 1 apresenta o modelo quadrático geral utilizado:

$$T_i = \lambda_0 + \lambda_1 ALT + \lambda_2 LAT + \lambda_3 LONG + \lambda_4 ALT^2 + \lambda_5 LAT^2 + \lambda_6 LONG^2 + \lambda_7 ALT LAT + \lambda_8 ALT LONG + \lambda_9 LAT LONG \quad (1)$$

Em que:

T_i = temperaturas mensais (médias, máximas e mínimas) ($i = 1, 2, \dots, 12$) e anual ($i = 13$) estimadas;

ALT = altitude da estação em metros;

LONG = longitude da estação em graus decimais (valores negativos);

LAT = latitude da estação em graus decimais (valores negativos); e

A_i = coeficientes da equação de regressão.

Os dados mensais medidos e estimados de temperaturas mínima, máxima e média do ar foram organizados em planilha eletrônica do Excel®, sendo os mesmos utilizados para a estimativa da ETo pelo método proposto por Hargreaves & Samani (1985), segundo a equação:

$$ETo_i = 1,0023 Ra(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5}(T_{\text{méd}} - 7,8) \quad (2)$$

Em que:

ETo_i = evapotranspiração de referência mensal ($i = 1, 2, \dots, 12$), em mm;

$T_{\text{máx}}$ = temperatura do ar máxima mensal (°C);

$T_{\text{mín}}$ = temperatura do ar mínima mensal (°C);

$T_{\text{méd}}$ = temperatura do ar média mensal (°C); e

Ra = radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), calculada pela equação apresentada por Allen et al. (1998), em função da latitude local e da época do ano.

Com os valores de ETo obtidos a partir de dados de temperatura estimados mensalmente foram ajustadas equações de regressão, visando a obtenção de modelos para a estimativa de ETo. Utilizando o programa estatístico SAEG versão 9.1 (SAEG-UFV, 2007) foram obtidas as equações de regressão múltipla que foram realizadas de forma semelhante à estimativa da temperatura, para todos os meses do ano. As temperaturas do ar mínima, máxima e média, além das coordenadas geográficas e a altitude, foram consideradas para este modelo como sendo variáveis independentes, enquanto a ETo foi a variável dependente. Os modelos foram também selecionados em função do menor número de variáveis independentes, considerando ainda o nível de significância dos coeficientes e o coeficiente de regressão ajustado. A Equação 3 apresenta o modelo geral utilizado:

$$EToi = \lambda_0 + \lambda_1 T_{\text{mín}} + \lambda_2 T_{\text{máx}} + \lambda_3 T_{\text{méd}} + \lambda_4 \text{ALT} + \lambda_5 \text{LAT} + \lambda_6 \text{LONG} \quad (3)$$

As análises de regressão múltipla foram realizadas para todos os meses e também para o ano, sendo os coeficientes (A_i) obtidos pelo método dos mínimos quadrados. Foram realizados testes “t” de Student para avaliar a significância dos coeficientes das equações de regressão (A_i). Para cada variável estudada, foram selecionados os modelos com o menor número de variáveis independentes, considerando ainda o nível de significância dos coeficientes e o coeficiente de regressão ajustado.

A fim de verificar o grau de ajustamento entre os valores de temperatura medidos e os estimados pelos modelos, bem como os valores de evapotranspiração estimados, foram geradas equações de regressão linear simples ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) e calculados o erro-padrão da estimativa (SEE), o índice de concordância de Wilmott (d) e o índice de desempenho (c), que é resultante da multiplicação entre o índice de concordância (d) e o coeficiente de correlação de Pearson (r) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997; ZANETTI et al., 2008). O índice de desempenho (c) é um valor adimensional variando entre 0 e 1, sendo que o valor 1 representa o completo ajustamento enquanto o valor 0 indica o oposto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise de agrupamento foi possível observar uma tendência de formação de dois grupos (ou clusters) distintos, com características homogêneas de temperatura no estado. No entanto, para um deles, as localidades, aparentemente semelhantes, estavam distantes entre si e pertenciam a distintas sub-regiões dentro do estado, motivo pelo qual os modelos foram gerados considerando todas as estações apresentadas na Tabela 1. Este resultado corrobora com o encontrado por Medeiros et al. (2005), que ao tentarem separar a região nordeste do Brasil em sub-regiões com características homogêneas, verificaram que apesar da formação de quatro grupos distintos, um deles apresentou estações muito dispersas dentro da região, impossibilitando a divisão em sub-regiões homogêneas.

Os coeficientes das equações de regressão ajustadas para a estimativa das temperaturas do ar médias, máximas e mínimas mensais, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes das equações de regressão para estimativa dos valores mensais e anual de temperaturas média, máxima e mínima do ar, com seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2), para o estado do Rio de Janeiro.

Mês	R^2	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A. Temperatura Média						
Jan	0,81	26,5975	-0,00527500*	ns	ns	ns
Fev	0,83	26,9591	-0,00548183*	ns	ns	ns
Mar	0,87	26,4115	-0,00569252*	ns	ns	ns
Abr	0,87	24,5856	-0,00595863*	ns	ns	ns
Mai	0,88	22,5471	-0,00626482*	ns	ns	ns
Jun	0,86	21,2817	-0,00641327*	ns	ns	ns
Jul	0,88	21,0177	-0,00939487*	ns	ns	0,000003244**
Ago	0,87	21,7612	-0,00586549*	ns	ns	ns
Set	0,79	22,6755	-0,00537156*	ns	ns	ns
Out	0,82	30,4637	-0,00486093*	0,315306**	ns	ns
Nov	0,81	28,4863	-0,00481125**	0,184183**	ns	ns
Dez	0,79	25,5804	-0,00504286*	ns	ns	ns
Ano	0,89	23,9067	-0,00558916*	ns	ns	ns
B. Temperatura Máxima						
Jan	0,59	31,4368	ns	ns	ns	-0,0000053221*
Fev	0,60	31,9998	ns	ns	ns	-0,0000053488*
Mar	0,65	45,3354	ns	0,627498**	ns	-0,0000056727*
Abr	0,71	45,7643	ns	0,742747*	ns	-0,0000056653*
Mai	0,70	43,4442	ns	0,719189*	ns	-0,0000055289*
Jun	0,66	39,8670	ns	0,609143**	ns	-0,0000052858*
Jul	0,65	39,1912	ns	0,594384**	ns	-0,0000052268*
Ago	0,60	31,7230	ns	1,240820*	-0,540127**	-0,0000057508*
Set	0,57	38,5515	0,00662467**	0,539709**	ns	-0,0000126751*
Out	0,51	31,9120	ns	1,469520*	-0,672905**	-0,0000052810*
Nov	0,57	31,4716	ns	1,318730*	-0,631408**	-0,0000055372*
Dez	0,60	26,8952	ns	0,701557**	-0,446506**	-0,0000060548*
Ano	0,62	40,7515	ns	0,534905**	ns	-0,0000052398*
C. Temperatura Mínima						
Jan	0,82	22,1889	-0,00574974*	ns	ns	ns
Fev	0,83	22,5246	-0,00629381*	ns	ns	ns
Mar	0,81	21,9675	-0,00626286*	ns	ns	ns
Abr	0,80	20,6829	-0,00647892*	ns	ns	ns
Mai	0,77	18,5872	-0,01256800*	ns	ns	0,0000060311**
Jun	0,79	17,2275	-0,01404410*	ns	ns	0,0000071803*
Jul	0,80	16,6698	-0,01447770*	ns	ns	0,0000075334*
Ago	0,83	17,3624	-0,01327320*	ns	ns	0,0000064793*
Set	0,89	18,3958	-0,00987451*	ns	ns	0,0000036775**
Out	0,84	19,5707	-0,00855060*	ns	ns	0,0000033588**
Nov	0,79	20,3354	-0,00563854*	ns	ns	ns
Dez	0,83	21,4429	-0,00582084*	ns	ns	ns
Ano	0,82	19,5673	-0,00654239*	ns	ns	ns

* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ** significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os modelos gerados para estimar a temperatura média do ar apresentaram bons coeficientes de determinação ajustados (CAI et al., 2007), variando de 0,79 a 0,89. O período de março a agosto apresentou os maiores coeficientes de determinação ajustados coincidindo

com o período seco no estado do Rio de Janeiro, comportamento semelhante ao observado para a temperatura máxima. Observa-se que a componente linear da altitude (coeficiente A_1) foi significativo a 1% de probabilidade em todos os meses do ano, com exceção dos meses de novembro e julho (coeficiente A_4). A variável latitude só se mostrou significativa, ao nível de 5% de probabilidade, para os meses de outubro e novembro. Pezzopane et al. (2004), analisando modelos para estimar temperatura do ar média para o estado do Espírito Santo, relacionou a falta de significância da variável latitude nos meses de verão, com a menor variação proporcional da radiação solar no topo da atmosfera nesta época do ano.

As equações de regressão geradas para estimar as temperaturas do ar máximas mensais apresentaram coeficientes de determinação entre 0,51 e 0,71, menores que os apresentados para estimar temperatura do ar média e mínima. Resultados semelhantes para temperatura máxima foram também encontrados por Medeiros et al. (2005) para a Região Nordeste. A ocorrência de baixos valores de R^2 está relacionada à maior variabilidade dos dados de temperatura máxima do ar no estado. Da mesma forma que observado por Pezzopane et al. (2004) para o estado do Espírito Santo, novamente os coeficientes relacionados à altitude (A_4) e à latitude (A_2) influenciaram no modelo. Oliveira Neto et al. (2002) também observaram a influência altamente significativa da variável altitude (coeficiente A_4) na estimativa da temperatura máxima mensal e anual, encontrando coeficientes não significativos apenas para a temperatura média do ar nos meses de maio e setembro. A variável longitude (coeficiente A_3) apresentou-se significativa nos meses de agosto e de outubro a novembro, ao nível de 5% de probabilidade, sendo esta presente apenas nos modelos gerados para a estimativa das temperaturas máximas mensais. Marin et al. (2003) apresentaram equações de ajuste linear para estimativa da temperatura do ar na Região Nordeste, obtendo coeficientes de determinação variando de 0,49 a 0,78. Entretanto os coeficientes aumentaram quando se desconsiderou a longitude das estações (BRASIL, 1998).

Os modelos gerados para estimativa da temperatura mínima do ar apresentaram coeficientes R^2 variando de 0,77 e 0,89, sendo a variável altitude a única que se apresentou significativa a 1% de probabilidade em todos os meses do ano na componente linear. O coeficiente da componente quadrática foi significativo nos meses de maio a outubro. Medeiros et al. (2005) encontraram resultados semelhantes para a região Nordeste, sendo a altitude a variável que mais influenciou os modelos obtidos na estimativa da temperatura mínima do ar ao longo do ano. Portanto, a temperatura mínima do ar no estado apresentou-se pouco dependente das coordenadas geográficas.

Também foi possível constatar que as interações altitude-longitude, altitude-latitude e latitude-longitude não foram significativas em nenhuma situação. Medeiros et al. (2005) encontraram resultados semelhantes ao relacionarem a altitude com a longitude para cada mês do ano. Outros resultados interessantes foram os encontrados para o estado do Piauí (LIMA & RIBEIRO, 1998). Os autores obtiveram coeficientes de regressão ajustados altamente significativos, mesmo para os meses onde o erro padrão apresentou valores maiores que 1,0, como no caso das temperaturas mínimas e médias no período de agosto a outubro. Os coeficientes de determinação ajustados (R^2) variaram de 0,43 a 0,81 para a temperatura média mensal, de 0,29 a 0,77 para a máxima e de 0,50 a 0,84 para a mínima.

Na Tabela 3 é apresentado o resultado da análise de desempenho dos modelos com base na comparação dos valores de temperatura estimados com os medidos nas estações. Utilizando a classificação proposta por Camargo & Sentelhas (1997), é possível observar que, de um modo geral, o desempenho dos modelos foi satisfatório, apresentando os melhores índices para os modelos de estimativa das temperaturas mínimas e médias.

Tabela 3. Coeficientes das equações de regressão (β_0 e β_1) e indicadores estatísticos do ajuste entre os valores de temperatura do ar medidos e estimados pelos modelos.

Mês	β_0	β_1	SEE	r	d	c	Desempenho
A. Temperatura Média							
Jan	0,0000298	0,9999995	0,83	0,90	0,95	0,85	Muito bom
Fev	0,0000296	0,9999992	0,79	0,91	0,95	0,87	Ótimo
Mar	0,0000206	1,0000004	0,70	0,93	0,97	0,90	Ótimo
Abr	0,0000127	1,0000003	0,73	0,94	0,97	0,90	Ótimo
Mai	0,0000025	0,9999993	0,73	0,94	0,97	0,91	Ótimo
Jun	0,0000507	1,0000003	0,84	0,93	0,96	0,89	Ótimo
Jul	0,0000102	0,9999999	0,77	0,94	0,97	0,91	Ótimo
Ago	0,0000522	1,0000007	0,72	0,94	0,97	0,90	Ótimo
Set	0,0000455	1,0000002	0,88	0,89	0,94	0,84	Muito bom
Out	0,0000151	0,9999992	0,69	0,91	0,95	0,87	Ótimo
Nov	0,0000022	1,0000004	0,71	0,91	0,95	0,86	Ótimo
Dez	0,0000254	1,0000001	0,82	0,89	0,94	0,84	Muito bom
Ano	0,0000174	1,0000000	0,63	0,94	0,97	0,92	Ótimo
B. Temperatura Máxima							
Jan	0,0000554	0,9999995	1,27	0,78	0,87	0,67	Bom
Fev	0,0000322	0,9999997	1,27	0,78	0,87	0,68	Bom
Mar	0,0000243	0,9999998	1,12	0,82	0,90	0,74	Bom
Abr	0,0000417	1,0000005	0,99	0,85	0,92	0,78	Muito bom
Mai	0,0000304	1,0000000	0,98	0,85	0,91	0,78	Muito bom
Jun	0,0000021	0,9999993	1,04	0,82	0,90	0,74	Bom
Jul	0,0000360	1,0000002	1,05	0,82	0,89	0,73	Bom
Ago	0,0001139	0,9999997	1,13	0,80	0,88	0,70	Bom
Set	0,0001084	1,0000051	1,33	0,78	0,87	0,68	Bom
Out	0,0000129	1,0000007	1,22	0,74	0,84	0,63	Mediano
Nov	0,0000277	1,0000002	1,15	0,78	0,87	0,67	Bom
Dez	0,0000399	1,0000008	1,24	0,79	0,88	0,70	Bom
Ano	0,0000649	0,9999992	1,11	0,8	0,88	0,71	Bom
C. Temperatura Mínima							
Jan	0,0000094	1,0000003	0,87	0,91	0,95	0,86	Ótimo
Fev	0,0000426	0,9999997	0,91	0,91	0,95	0,87	Ótimo
Mar	0,0000267	1,0000006	0,96	0,90	0,95	0,86	Ótimo
Abr	0,8498497	1,0218271	1,02	0,90	0,94	0,85	Muito bom
Mai	0,0000375	0,9999970	1,28	0,88	0,93	0,82	Muito bom
Jun	0,0000995	0,9999955	1,28	0,90	0,94	0,84	Muito bom
Jul	0,0000267	1,0000060	1,28	0,90	0,94	0,85	Muito bom
Ago	0,0000703	1,0000045	1,09	0,92	0,95	0,88	Ótimo
Set	0,0000158	0,9999994	0,73	0,95	0,97	0,92	Ótimo
Out	0,0000053	1,0000000	0,78	0,92	0,96	0,88	Ótimo
Nov	0,0000237	0,9999996	0,94	0,89	0,94	0,84	Muito bom
Dez	0,0000399	0,9999995	0,83	0,92	0,96	0,87	Ótimo
Ano	0,0000551	0,9999995	0,98	0,91	0,95	0,86	Ótimo

SEE: erro padrão de estimativa; r: coeficiente de correlação; d: índice de concordância de Wilmott; c: índice de desempenho.

Em concordância com os resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que os menores índices de desempenho foram observados para os modelos de estimativa da temperatura máxima, principalmente para o mês de outubro, que apresentou desempenho mediano. Este modelo foi aquele que apresentou R^2 ajustado de 0,51, conforme discutido anteriormente. Apesar disso, os resultados da análise de desempenho apresentados não descartam o uso desses modelos para estimativa da temperatura máxima do ar no estado.

Ainda com relação aos resultados apresentados na Tabela 3, foi possível verificar que os parâmetros β_0 e β_1 das equações ajustadas não diferiram estatisticamente de 0 e 1, respectivamente, permitindo inferir que os valores de temperatura do ar estimados pelos modelos gerados não diferiram estatisticamente dos valores medidos. Além disso, analisando o índice de concordância sugerido por Willmott et al. (1985), é possível verificar que todos os valores encontrados estão acima de 0,83, indicando que os modelos gerados neste trabalho fornecem estimativas confiáveis de temperatura do ar, dentro dos limites das coordenadas geográficas.

Corroborando com os trabalhos relacionados com a estimativa da temperatura do ar máxima, média e mínima utilizando coordenadas geográficas e altitude, observa-se que a altitude pode, na maioria dos casos, ser utilizada para estimar a temperatura do ar de um determinado local onde equações de regressão tenham sido geradas (MEDEIROS et al., 2005; ANTONINI et al., 2009).

Os coeficientes das equações de regressão ajustadas para a estimativa de ET_o , os coeficientes de determinação ajustados (R^2) e a análise de desempenho dos modelos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes das equações de regressão (A_i) para estimativa dos valores mensais de ET_o , com seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2), para o estado do Rio de Janeiro.

Mês	R^2	A_0	A_1	A_2	A_3
Jan	0,99	-0,716	-0,287	0,2867	0,1285
Fev	0,99	-0,363	0,0782	0,3182	0,3031
Mar	0,99	-0,289	0,0659	0,2873	-0,272
Abr	0,97	-0,151	0,0556	0,2321	-0,221
Mai	0,93	-0,095	0,0493	0,1786	-0,169
Jun	0,90	-0,062	0,0447	0,1446	-0,133
Jul	0,88	0,0131	0,0428	0,1381	-0,124
Ago	0,94	-0,113	0,0575	0,1795	-0,167
Set	0,95	-0,186	0,097	0,2732	-0,293
Out	0,98	-0,154	0,0782	0,2928	-0,287
Nov	0,99	-0,156	0,077	0,3183	-0,306
Dez	0,99	-0,224	0,0722	0,3347	-0,315

Os modelos gerados para estimar a ET_o apresentaram coeficientes de determinação ajustados variando entre 0,88 e 0,99. O período de outubro a fevereiro apresentou os maiores coeficientes de determinação ajustados, coincidindo com o período em que ocorrem os maiores valores de temperatura no estado do Rio de Janeiro. Observa-se que as três componentes lineares temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima foram significativas a 1% de probabilidade em todos os meses do ano.

Visando quantificar o grau de ajustamento, a Tabela 5 apresenta o resultado da análise de desempenho dos modelos com base na comparação dos valores de ETo, obtidos a partir dos dados de temperatura medidos com os obtidos utilizando-se os dados de temperatura estimados.

Tabela 5. Coeficientes das equações de regressão (β_0 e β_1) e indicadores estatísticos do ajuste entre os valores de ETo obtidos a partir dos valores de temperatura do ar medidos e estimados pelos modelos de regressão.

Mês	β_0	β_1	SEE	r	d	c
Jan	0,0223	0,9958	0,0336	0,9979	0,999	0,9969
Fev	0,0243	0,9900	0,033	0,995	0,9975	0,9925
Mar	0,0382	0,9874	0,0322	0,9937	0,9968	0,9905
Abr	0,068	0,9713	0,0395	0,9855	0,9927	0,9783
Mai	0,1133	0,9405	0,0468	0,9698	0,9844	0,9547
Jun	0,1446	0,9128	0,0475	0,9554	0,9767	0,9331
Jul	0,1843	0,8927	0,0531	0,9448	0,9708	0,9172
Ago	0,1184	0,9434	0,048	0,9713	0,9852	0,9569
Set	0,1055	0,9573	0,0717	0,9784	0,989	0,9676
Out	0,0468	0,9837	0,0378	0,9918	0,9877	0,9959
Nov	0,0357	0,9889	0,038	0,9944	0,9917	0,9972
Dez	0,0295	0,9914	0,0345	0,9957	0,9978	0,9935

A qualidade do ajuste pode ser confirmada pelos altos valores do índice de desempenho (c). Os parâmetros β_0 e β_1 da mesma forma que para a estimativa das temperaturas média, máximas e mínimas não diferiram estaticamente de 0 e 1, respectivamente, fazendo com que se possa afirmar que os valores de ETo obtidos a partir de dados de temperatura medidos não diferiram estaticamente dos valores de ETo obtidos por meio de valores de temperaturas médias, máximas e mínimas estimados. Para o índice de concordância (d), é possível verificar que todos os valores encontrados estão acima de 0,97 indicando que os modelos gerados neste trabalho fornecem estimativas confiáveis de ETo, dentro dos limites das coordenadas geográficas e altitude.

6 CONCLUSÃO

A altitude proporcionou as melhores estimativas das temperaturas do ar média e mínima, independente da época do ano, enquanto a latitude foi a coordenada geográfica que melhor se ajustou a temperatura máxima, retratando a influência da posição geográfica.

Os modelos de evapotranspiração de referência obtidos podem ser utilizados para a estimativa da ETo por Hargreaves a partir de valores estimados de temperatura do ar.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, 301 p. 1998.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**, v.98, p.921–929, 2011.

ANTONINI, J.C.A.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, L.F.C.; SANO, E.E. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p.331-338, 2009.

BARROS, V.R.; CARVALHO, D.F.; SOUZA, A.P.; SILVA, L.D.B. Evapotranspiração de referência na região de Seropédica - RJ, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: SPI / EMBRAPA, 84p. 1998.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.145, p.22–35, 2007.

CAMARGO, A.P. & SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A.P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decenal do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decenais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2448-2456, 2008.

CARVALHO, D.F. & OLIVEIRA, L.F.C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. 1. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, v.1, 240p. 2012.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J.R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, p.108-116, 2006.

CHARLES, S.; SUBTIL, F.; KIELBASSA, J.; PONT, D. An individual-based model to describe a bullhead population dynamics including temperature variations. **Ecological Modelling**, v.215, p.377-392, 2008.

GADIOLI, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; BASANTA, M.V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting. (Paper 85-2517). 1985.

LIMA, M.G. & RIBEIRO, V.Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.221-227, 1998.

LUCAS, D.D.P.; STRECK, N.A.; BORTOLUZZI, M.P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I.C. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.2, p.288-292, 2012.

MARIN, F.R.; PANDORFI, H.; FERREIRA, A.S. Estimativa das temperaturas máximas, mínimas e médias mensais para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13. Santa Maria. Anais..., Santa Maria: SBA 2003. CD-ROM. 2003.

MEDEIROS, S. de S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, JÚLIO C.F. de; SILVA JUNIOR, J.L.C. da. 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, n.2, p. 247-255, 2005.

OLIVEIRA, M.A.A. & CARVALHO, D.F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.132-135, 1998.

OLIVEIRA NETO, S.N. de; REIS, G.G. dos; REIS, M. das G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J. M.N. da. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1, p. 8-17, 2002.

PEARSON, S.; HADLEY, P.; WHELDON, A.E. A model of the effects of temperature on the growth and development of cauliflower (*Brassica oleracea* L. botrytis). **Scientia Horticulturae**, v.59, p.91-106, 1994.

PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, E.A.; ELEUTÉRIO, M.M.; REIS, E.F. dos; SANTOS, A.R. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.151-158, 2004.

ROLIM, G.S.; NOVO, M.C.S.S.; PANTANO, A.P.; TRANI, P.E. Modelagem agrometeorológica para estimação do desenvolvimento e da produção de jiló. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.832-837, 2011.

STAHL, K.; MOORE, R.D.; FLOYER, J.A.; ASPLIN, M.G.; McKENDRY, I.G. Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex

topography and highly variable station density. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 139, p.224-236, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Sistema de análise estatística e genética – SAEG versão 9.1 Demonstração**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Central de Processamento de Dados, 2007.

WARD JR., J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, n.301, p.236-244, 1963.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

ZANETTI, S.S.; SOUZA, E.F.; CARVALHO, D.F.; BERNARDO, S. Estimação da evapotranspiração de referência no Estado do Rio de Janeiro usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.174-180, 2008.