

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E ALTITUDE NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO ESTADO DE GOIÁS

Frank Freire Capuchinho¹; Mayara Paiva Siqueira²; Guilherme Henrique Terra Cruz¹; Lucas da Costa Santos³; Elton Fialho dos Reis⁴

RESUMO

A estimativa de dados meteorológicos é imprescindível quando não se dispõe de dados observacionais. No entanto, a confiabilidade no uso destes, está condicionada a existência de concordância entre os dados preditos e os observados. Particularmente para a variável temperatura do ar, sendo uma das mais importantes para o planejamento das atividades agrícolas. Diante disso, objetivou-se com este trabalho, estimar os valores máximos, mínimos e médios da temperatura do ar, na escala decendial, a partir de coordenadas geográficas e altitude para o estado de Goiás. Para tanto, foram consideradas séries históricas de dados (1987-2017) oriundas de 27 municípios goianos. Para as estimativas consideradas neste estudo utilizou-se técnicas de análise de regressão múltipla, onde foi verificada a significância dos modelos preditores. Os coeficientes de determinação ajustados resultantes do modelo encontrado variaram de 0,66 a 0,82 para Tmax, de 0,56 a 0,72 para Tmin e de 0,66 a 0,74 para Tmed. Com este resultado, as médias das temperaturas máximas e médias decendiais, podem ser estimadas satisfatoriamente nos municípios goianos por meio da altitude, latitude e longitude.

Palavras-chave: modelo matemático, temperatura do ar, regressão múltipla

GEOGRAPHICAL COORDINATES AND ALTITUDE IN AIR TEMPERATURE ESTIMATION IN THE STATE OF GOIÁS

ABSTRACT

The estimation of meteorological data is essential when observational data are not available. However, the reliability in its use, is conditioned by the existence of agreement between the predicted and observed data. Particularly for the variable air temperature, one of the most important for the planning of agricultural activities, this type of information has a strategic character. The objective of this work

¹ Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, BR-153 – Fazenda Barreiro do Meio, Anápolis – Goiás, e-mail: frankcf13@gmail.com; guilerghtech@gmail.com

² Eng. Agrícola, Mestre, Universidade Estadual de Goiás, BR-153 – Fazenda Barreiro do Meio, Anápolis – Goiás, e-mail: eng.paivamay@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, Pós-doutorando, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis – Goiás, e-mail: lucas.cs21@gmail.com

⁴ Pós-Doutor em Eng. Agrícola, Professor Titular do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis – Goiás, e-mail: fialhoreis@ueg.br

was to estimate the air temperature, maximum, minimum and mean values of air temperature, in the decendial scale, from geographic coordinates and altitude for the state of Goiás (Brazil). Historical data series (1987-2017) from 27 municipalities in the state of Goiás were considered. For the estimates considered in this study multiple regression analysis techniques were used, where the significance of the predictive models was verified. The adjusted coefficients of determination resulting from the model found ranged from 0.66 to 0.82 for Tmax, from 0.56 to 0.72 for Tmin and from 0.66 to 0.74 for Tmed. With this result, mean maximum and average decendial temperatures can be estimated satisfactorily in the municipalities of Goiás by means of altitude, latitude and longitude.

Key words: mathematical model, temperature, multiple regression

INTRODUÇÃO

Muitas das várias atividades econômicas desenvolvidas pela sociedade são influenciadas pelas condições climáticas em diversos graus. Especialmente nas atividades agrícolas o clima é tido como um condicionante, pois o desenvolvimento das culturas é compatibilizado com o tipo climático, que é variável no tempo e no espaço (ELY; DUBREUIL, 2017).

Dentre os elementos meteorológicos, a temperatura do ar é uma das mais importantes variáveis de estado, sendo frequentemente requerida em uma ampla gama de estudos ambientais, tais como a previsão do tempo, a estimativa da evapotranspiração, a predição de rendimento de culturas e investigações de mudanças climáticas (JANATIAN et al., 2016).

A exemplo de outros elementos climáticos, o acompanhamento da temperatura do ar é feito em estações meteorológicas convencionais ou automáticas, sempre por meio de medições diárias. No entanto, a baixa densidade da rede de estações meteorológicas no Brasil, particularmente em regiões distantes dos grandes centros urbanos, tem promovido uma escassez no registro de tais dados na maioria das séries climatológicas brasileira (BABA et al., 2014), o que impossibilita, nestes locais, a adequada utilização deste elemento no planejamento e tomada de decisão nas atividades que demandam estas medidas.

Para contornar as limitações decorrentes da falta destes registros, diferentes métodos têm sido estudados a fim de se obter maior exatidão nas estimativas de dados ausentes. Dentre eles, destacam-se aqueles baseados nos princípios da estatística clássica e geoestatística

(VIOLA et al., 2010; PERIN et al., 2015), inteligência artificial (VENTURA et al., 2013; DEPINÉ et al., 2014), lógica fuzzy (FERREIRA, 2012), sensoriamento remoto (ZHANG et al., 2015; YANG et al., 2017) e também a regressão múltipla. Particularmente para este último, o qual tem sido utilizado intensamente, em função de sua simplicidade, diversos trabalhos têm sido conduzidos em várias regiões brasileiras, a exemplo de Minas Gerais e Pará (FERREIRA et al., 2006), São Paulo (PANTANO; BARDIN, 2012), Rio Grande do Sul (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008) e estados da região nordeste (MEDEIROS et al., 2005).

Apesar da existência de diversas metodologias para a estimativa da temperatura do ar, a premissa que deve ser observada, independentemente do método utilizado, é a de que, em geral, os padrões de temperatura na superfície são determinados pela combinação de certos fatores geográficos, que incluem latitude, longitude, altitude, dinâmica da circulação atmosférica, condições topográficas locais, o efeito da continentalidade e maritimidade e ainda, as correntes oceânicas (AGUADO; BURT, 2015). Desse modo, é possível inferir que, quanto maior for o número de variáveis utilizadas para a estimativa da temperatura do ar, mais fidedigno será o resultado. No entanto, a escassez de dados, comuns na maioria das localidades brasileiras, minimiza a possibilidade de identificação de modelos mais robustos para a estimação da temperatura.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa, estimar os valores máximos, mínimos e médios da temperatura do ar, para o estado de Goiás, na escala decendial, a partir de

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E ALTITUDE NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO ESTADO DE GOIÁS

coordenadas geográficas e altitude, utilizando para este fim, a técnica da regressão múltipla.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estado de Goiás está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre as latitudes 12° e 20° Sul e entre as longitudes 45°30' e 53°30' Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, na região existem quatro tipos climáticos, sendo eles: Aw (predomina em todo o estado), Am (região norte), Cwa (região sudoeste) e Cwb (região centro-leste). A região Centro-Oeste apresenta temperatura média anual de 23,4 °C, com

valores mínimos e máximos variando de 26,5 a 20,5 °C nas mesoregiões sudoeste e noroeste, respectivamente. Quanto à precipitação, o valor médio do acumulado anual para o território goiano é de 1500 mm, ocorrendo variações da ordem de $\pm 35\%$ em todo estado (CARDOSO et al., 2014).

Coleta dos dados de temperatura do ar

Os dados de temperatura máxima, mínima e média do ar (°C) utilizados no estudo foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2018) no intervalo diário, os quais foram coletados em 27 estações meteorológicas distribuídas em todas mesoregiões do território goiano, como pode ser observado na Figura 1.

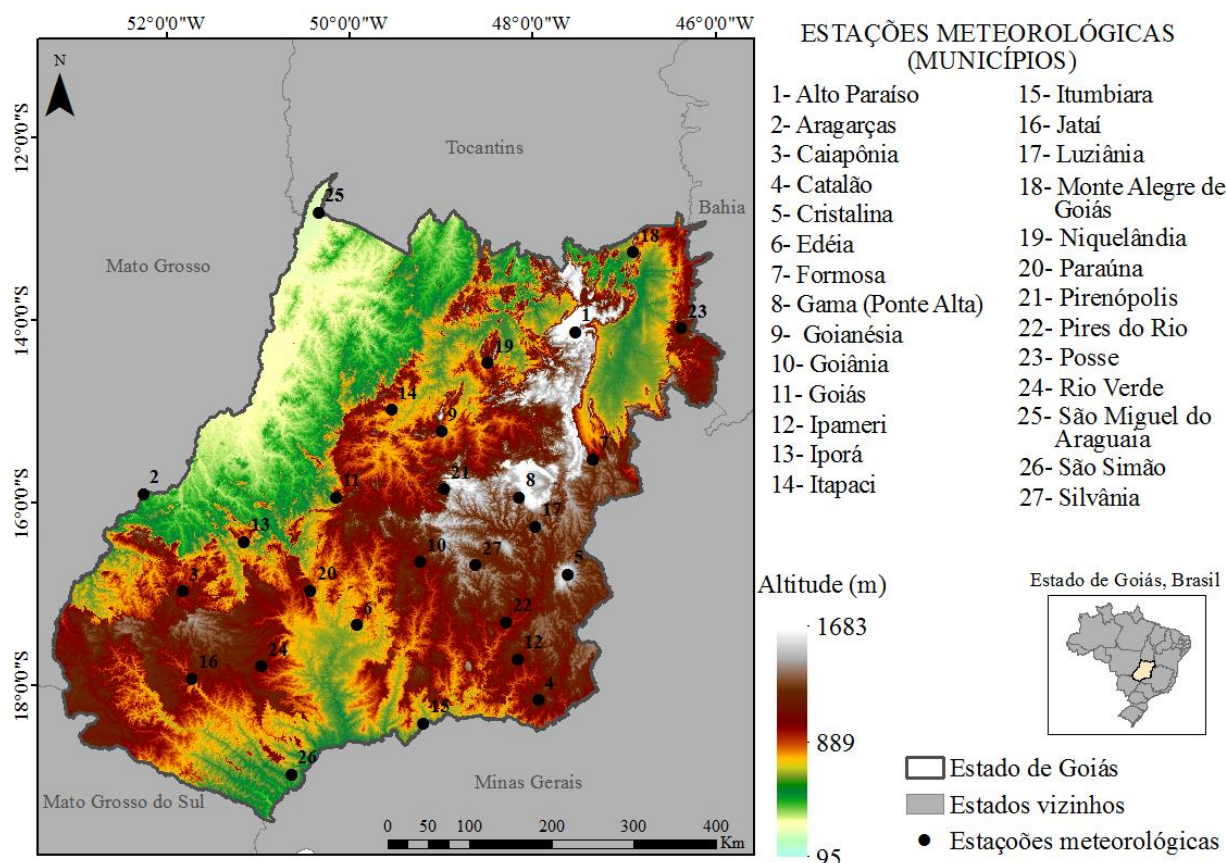


Figura 1. Distribuição espacial das 27 estações meteorológicas utilizadas na estimativa da temperatura do ar (°C) no estado de Goiás, Brasil

As séries históricas utilizadas abrangeram um período de observações compreendido entre os anos de 1987 e 2017, sendo as séries complementadas para um período mínimo de 30 anos de registros, a partir

da imputação de dados realizada pelo banco de dados desenvolvido por Xavier et al. (2015), o qual é formado pela interpolação de dados diários observados em estações meteorológicas convencionais e automáticas, disponibilizados

em espaçamento de grade com alta resolução espacial ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Antes da utilização dos dados estimados, os mesmos foram confrontados com dados observados em períodos coincidentes, onde observou-se coeficientes de correlação superiores a 70%.

$$T_n = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 \varphi + \beta_3 \lambda \quad (1)$$

Em que: T_n é a temperatura máxima, mínima e média do ar ($^\circ\text{C}$), média decendial ($n = 36$); h é a altitude em metros; φ é a latitude em graus; λ é a longitude em graus; e os coeficientes de β_0 a β_3 são as constantes da equação de regressão multivariada.

A significância dos coeficientes dos modelos da regressão multivariada foi verificada a partir do teste t, onde buscamos identificar, pela técnica stepwise, a

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - X_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)^2} \quad (3)$$

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (4)$$

Em que: \hat{Y}_i é o valor da temperatura do ar estimada pelos modelos matemáticos, X_i é o valor da temperatura do ar observada nas estações meteorológicas, e \bar{X} é a média da temperatura do ar observada. Para esta validação foram utilizados dados de temperatura do ar de três estações meteorológicas (Santa Helena de Goiás, Mineiros e Brasília, com dados para o período de 2008, 2009 e 2017-2018, respectivamente) que não integraram o grupo de construção do modelo original (Equação 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os coeficientes lineares e angulares das equações de regressão múltipla (β_0 , β_1 , β_2 e β_3), bem

Análises estatísticas

As análises de regressão múltipla foram efetuadas com os dados de temperatura máxima, mínima e média do ar na escala decendial, considerando o valor médio desse intervalo de tempo, obedecendo ao seguinte modelo geral (Equação 1):

configuração da equação que melhor explica a estimativa da temperatura do ar para a região de estudo. Adicionalmente, testou-se a adequabilidade dos modelos preditores por meio da correlação de Pearson (r), da raiz do erro quadrático médio (Equação 2), do índice de concordância de Willmott (Equação 3) refinado (WILLMOTT et al., 2012), e do índice de eficiência (Equação 4) de Nash-Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

como os coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) dos modelos.

Este último explica a confiabilidade dos modelos matemáticos obtidos para a predição das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar, na escala decendial, no território goiano, a partir de dados de 27 localidades do estado de Goiás. Os coeficientes angulares obtidos para altitude, evidenciaram que, em média, a T_{max} , T_{med} e T_{min} reduz em aproximadamente $0,3^\circ\text{C}$ com o acréscimo de 100 metros na altitude. Já o acréscimo de 1° na latitude, reduz, em média, cerca de $0,14$; $0,21$ e $0,28^\circ\text{C}$ a T_{max} , a T_{med} e a T_{min} , respectivamente.

Por outro lado, os coeficientes angulares indicam o contrário para a longitude, pois o acréscimo em 1° para essa variável, aumenta a T_{max} em aproximadamente $0,3^\circ\text{C}$, a T_{med} em $0,16^\circ\text{C}$ e a T_{min} em $0,01^\circ\text{C}$.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E ALTITUDE NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO ESTADO DE GOIÁS

A redução na temperatura do ar com a elevação da altitude, depende do teor de umidade na massa de ar e, normalmente, os valores de decréscimo variam de -0,98 a -0,4 °C/100m, para condições de ar seco e saturado, respectivamente (PEREIRA et al., 2002). Esse decréscimo na temperatura é atribuído a redução da pressão na massa de ar em ascensão, a qual atua permitindo a expansão de seu volume e, conseqüentemente, reduzindo a temperatura (FRITZSONS; MANTOVANI, 2009). Ainda com relação a variável altitude e sua influência sobre a temperatura do ar (Tmax, Tmed e Tmin), verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) entre estas em todos os decêndios do ano, evidenciando que a altitude possibilita explicar no espaço e no tempo a variação da temperatura do ar.

Quanto a latitude, notou-se efeito significativo sobre a Tmax em 47% dos decêndios, em 58% dos decêndios para a Tmed e em 42% dos decêndios para a Tmin em todo território goiano, estando estes decêndios localizados nos meses centrais do ano, particularmente nas estações do outono e inverno. Resultado semelhante foi encontrado por Pezzopane et al. (2004), que apontaram o fato da falta de significância da latitude nos meses de verão ser em função da baixa variabilidade espacial da radiação solar

extraterrestre nesta época do ano. Linacre e Geerts (2002) verificaram que a temperatura do ar em função da latitude apresenta um decréscimo aproximadamente quadrático, notadamente quando se exclui as latitudes acima de 70°. Esta relação combina dois efeitos provenientes do ângulo de incidência dos raios solares: a obliquidade dos mesmos e o conseqüentemente aumento do caminho percorrido por estes através da atmosfera. Ainda segundo estes autores, estes efeitos são minimizados em regiões localizadas próximas a linha do equador. Em relação a longitude, esta variável foi a que apresentou menor frequência de casos significativos na estimativa da temperatura do ar, sendo estes observados em 72% dos decêndios da Tmax e no 3º decêndio de novembro da Tmin.

Este comportamento era esperado, uma vez que o estado de Goiás sofre influência da continentalidade, a qual é caracterizada por condicionar as regiões com menor umidade do ar e maior amplitude térmica, estes, ocorrem, em função da maior intensidade na troca de calor do ambiente.

Adicionalmente, além dos fatores geográficos, outros podem influenciar os processos de troca de calor, como ventos, maciços montanhosos, topografia e cobertura vegetal (SILVA; JARDIM, 2017).

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros (β_0 , β_1 , β_2 e β_3) da regressão linear múltipla e do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), para as temperaturas máxima, média e mínima do ar (Tmax, Tmed e Tmin), na escala decendial, em função da altitude (m), latitude (°S) e longitude (°O) no Estado de Goiás, compreendido no período de 1987 a 2017. Dados obtidos em INMET (2018).

Mês	Dec	Tmax					Tmed					Tmin				
		β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{aj} (%)	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{aj} (%)	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{aj} (%)
Janeiro	1	23,123	-0,003*	-0,095 ^{NS}	-0,137 ^{NS}	67,06	19,041	-0,003*	-0,044 ^{NS}	-0,138 ^{NS}	68,62	15,426	-0,003*	0,003 ^{NS}	-0,129 ^{NS}	68,05
	2	21,275	-0,003*	-0,126 ^{NS}	-0,169 ^{NS}	70,04	17,800	-0,003*	-0,072 ^{NS}	-0,157 ^{NS}	71,82	14,082	-0,002*	0,004 ^{NS}	-0,156 ^{NS}	68,10
	3	25,990	-0,003*	-0,096 ^{NS}	-0,087 ^{NS}	66,28	21,325	-0,003*	-0,054 ^{NS}	-0,094 ^{NS}	68,69	15,244	-0,003*	-0,006 ^{NS}	-0,131 ^{NS}	68,35
Fevereiro	1	23,099	-0,003*	-0,121 ^{NS}	-0,142 ^{NS}	69,73	19,782	-0,003*	-0,039 ^{NS}	-0,131 ^{NS}	67,03	16,301	-0,002*	0,028 ^{NS}	-0,118 ^{NS}	64,91
	2	20,868	-0,003*	-0,165*	-0,170 ^{NS}	72,75	17,617	-0,003*	-0,070 ^{NS}	-0,161 ^{NS}	70,10	15,104	-0,002*	0,019 ^{NS}	-0,137 ^{NS}	65,35
	3	24,863	-0,003*	-0,093 ^{NS}	-0,121 ^{NS}	66,88	20,549	-0,003*	-0,028 ^{NS}	-0,121 ^{NS}	66,11	16,336	-0,003*	0,036 ^{NS}	-0,119 ^{NS}	62,57
Março	1	20,634	-0,003*	-0,070 ^{NS}	-0,209*	71,31	18,666	-0,003*	0,010 ^{NS}	-0,168 ^{NS}	68,57	16,644	-0,002*	0,087 ^{NS}	-0,129 ^{NS}	61,38
	2	19,095	-0,003*	-0,044 ^{NS}	-0,245*	73,35	18,720	-0,003*	0,012 ^{NS}	-0,168 ^{NS}	69,60	18,170	-0,003*	0,081 ^{NS}	-0,098 ^{NS}	63,81
	3	19,733	-0,003*	-0,039 ^{NS}	-0,237*	72,76	18,809	-0,003*	0,033 ^{NS}	-0,173 ^{NS}	70,47	18,066	-0,003*	0,101 ^{NS}	-0,104 ^{NS}	66,19
Abril	1	18,236	-0,003*	0,041 ^{NS}	-0,300*	73,16	19,137	-0,003*	0,115*	-0,195 ^{NS}	68,71	19,649	-0,003*	0,195 ^{NS}	-0,099 ^{NS}	62,74
	2	18,268	-0,003*	0,111 ^{NS}	-0,319*	74,32	19,689	-0,003*	0,191*	-0,203 ^{NS}	70,35	20,868	-0,003*	0,284 ^{NS}	-0,095 ^{NS}	64,98
	3	19,719	-0,003*	0,185 ^{NS}	-0,317*	74,06	21,654	-0,003*	0,297*	-0,192 ^{NS}	71,24	24,057	-0,003*	0,400 ^{NS}	-0,055 ^{NS}	66,40
Maio	1	21,515	-0,003*	0,333*	-0,318*	74,69	25,750	-0,003*	0,453*	-0,144 ^{NS}	72,76	30,172	-0,003*	0,565 ^{NS}	0,036 ^{NS}	71,73
	2	21,308	-0,003*	0,419*	-0,345*	77,21	25,013	-0,003*	0,483*	-0,162 ^{NS}	74,42	29,010	-0,003*	0,544*	0,028 ^{NS}	71,09
	3	24,280	-0,003*	0,506*	-0,309*	77,29	27,149	-0,003*	0,537*	-0,127 ^{NS}	73,91	30,869	-0,003*	0,580*	0,067 ^{NS}	69,40
Junho	1	21,836	-0,003*	0,500*	-0,353*	78,14	28,183	-0,003*	0,538*	-0,098 ^{NS}	74,30	34,930	-0,003*	0,566*	0,167 ^{NS}	69,41
	2	17,645	-0,003*	0,445*	-0,422*	79,07	25,448	-0,003*	0,489*	-0,132 ^{NS}	73,70	33,275	-0,003*	0,536*	0,157 ^{NS}	64,05
	3	16,249	-0,003*	0,449*	-0,451*	79,76	24,635	-0,003*	0,479*	-0,144 ^{NS}	73,23	33,032	-0,003*	0,514*	0,161 ^{NS}	61,21
Julho	1	14,435	-0,003*	0,386*	-0,473*	80,53	23,939	-0,003*	0,417*	-0,140 ^{NS}	71,01	33,139	-0,003*	0,438*	0,190 ^{NS}	55,62
	2	15,472	-0,003*	0,448*	-0,475*	80,03	25,315	-0,003*	0,504*	-0,141 ^{NS}	72,50	35,853	-0,003*	0,550*	0,209 ^{NS}	64,60
	3	14,638	-0,003*	0,434*	-0,495*	80,85	25,193	-0,003*	0,485*	-0,144 ^{NS}	73,72	35,599	-0,003*	0,539*	0,204 ^{NS}	61,94
Agosto	1	11,927	-0,004*	0,351*	-0,547*	81,11	22,667	-0,003*	0,402*	-0,187 ^{NS}	71,76	33,633	-0,003*	0,454*	0,177 ^{NS}	55,80
	2	10,430	-0,004*	0,379*	-0,597*	82,09	22,861	-0,003*	0,446*	-0,210 ^{NS}	72,34	34,865	-0,003*	0,515*	0,168 ^{NS}	60,04
	3	13,690	-0,004*	0,387*	-0,548*	81,19	22,654	-0,003*	0,442*	-0,230 ^{NS}	73,27	32,096	-0,003*	0,511*	0,092 ^{NS}	60,45
Setembro	1	18,812	-0,004*	0,377*	-0,447*	79,50	23,927	-0,003*	0,425*	-0,212 ^{NS}	73,52	29,362	-0,003*	0,475*	0,031 ^{NS}	62,89
	2	22,005	-0,003*	0,348*	-0,380*	77,67	26,910	-0,003*	0,372*	-0,147 ^{NS}	71,90	32,063	-0,003*	0,393*	0,092 ^{NS}	63,19
	3	23,256	-0,003*	0,329*	-0,338*	76,81	26,553	-0,003*	0,373*	-0,152 ^{NS}	73,13	29,435	-0,003*	0,430*	0,023 ^{NS}	68,22
Outubro	1	20,921	-0,003*	0,223*	-0,350*	76,90	24,168	-0,003*	0,267*	-0,169 ^{NS}	70,02	27,001	-0,003*	0,321*	0,001 ^{NS}	63,26
	2	22,275	-0,003*	0,067 ^{NS}	-0,272*	74,13	24,323	-0,003*	0,141*	-0,128 ^{NS}	65,77	25,058	-0,003*	0,229 ^{NS}	-0,015 ^{NS}	61,03
	3	22,966	-0,003*	0,009 ^{NS}	-0,221 ^{NS}	71,09	22,835	-0,003*	0,096*	-0,132 ^{NS}	65,15	22,608	-0,003*	0,189 ^{NS}	-0,048 ^{NS}	58,57
Novembro	1	21,265	-0,004*	-0,032 ^{NS}	-0,228 ^{NS}	73,24	20,910	-0,003*	0,044 ^{NS}	-0,148 ^{NS}	70,63	20,804	-0,003*	0,131 ^{NS}	-0,066 ^{NS}	66,86
	2	18,939	-0,003*	-0,076 ^{NS}	-0,252*	73,79	20,085	-0,003*	0,024 ^{NS}	-0,153 ^{NS}	69,48	20,265	-0,003*	0,129 ^{NS}	-0,074 ^{NS}	65,39
	3	16,540	-0,003*	-0,162 ^{NS}	-0,263*	78,34	16,438	-0,003*	-0,041 ^{NS}	-0,201 ^{NS}	73,98	17,981	-0,003*	0,070 ^{NS}	-0,103*	66,47
Dezembro	1	21,643	-0,003*	-0,133 ^{NS}	-0,165 ^{NS}	70,92	19,765	-0,003*	-0,048 ^{NS}	-0,131 ^{NS}	70,45	17,445	-0,003*	0,042 ^{NS}	-0,106 ^{NS}	67,92
	2	21,479	-0,003*	-0,130 ^{NS}	-0,161 ^{NS}	71,42	19,036	-0,003*	-0,054 ^{NS}	-0,138 ^{NS}	72,57	16,069	-0,003*	0,020 ^{NS}	-0,126 ^{NS}	70,68
	3	18,692	-0,003*	-0,138 ^{NS}	-0,219*	74,34	17,289	-0,003*	-0,060 ^{NS}	-0,173 ^{NS}	72,98	15,446	-0,003*	0,018 ^{NS}	-0,134 ^{NS}	68,92

Dec: decêndio; *: Significativo pelo teste F ao nível de 5% de significância; ^{NS}: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de significância.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E ALTITUDE NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO ESTADO DE GOIÁS

Na análise generalizada dos modelos de regressão obtidos, a qual integra todos os fatores avaliados em conjunto, observou-se que os resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos registrados por Bardin et al. (2010), que estimaram a T_{max} e T_{min} do ar para a região do Circuito das Frutas-SP, e obtiveram que a altitude foi significativa em todos os meses do ano para a T_{min} , enquanto que, para a T_{max} , essa variável se mostrou não significativa nos meses de maio, junho e julho, com coeficientes de determinação dos modelos variando de 0,92 a 0,98 para T_{max} e de 0,85 a 0,97 para a T_{min} .

Da mesma maneira, ao estimarem a temperatura do ar para o estado do Espírito Santo, Pezzopane et al. (2004) verificaram que a latitude não foi significativa nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, para as T_{max} e T_{med} , enquanto que, para a T_{min} , com exceção de dezembro, a latitude foi significativa em todos os meses do ano. Estes mesmos autores obtiveram coeficientes de determinação para a T_{min} variando de 0,86 a 0,94; para a T_{med} de 0,89 a 0,92 e, para a T_{max} , de 0,94 a 0,98. Cargnelutti Filho et al. (2008) estimando as T_{max} e T_{med} decendiais do ar para o estado do Rio Grande de Sul, verificaram que nos meses de junho e julho, a longitude não foi significativa para estimar a T_{max} e T_{med} do ar, com R^2 variando de 0,71 a 0,89 para a T_{max} e de 0,76 a 0,93 para a T_{med} .

Validação dos modelos

A Tabela 2 apresenta o resultado da validação dos modelos obtidos a partir do índice estatístico REQM (Raiz do Erro Quadrático Médio), aplicado aos municípios de Santa Helena de Goiás, Mineiros e Brasília, para estimativa das temperaturas máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) e média (T_{med}) do ar, na escala decendial. O período de observação para estas estações compreendeu os anos de 2008, 2009 e 2017-2018, respectivamente. O REQM mede a diferença entre os valores estimados pelos modelos matemáticos e os valores observados pelas estações meteorológicas.

Observou-se que os maiores valores de REQM foram obtidos em Brasília e para as três temperaturas do ar ($T_{max} = 6,60$ °C, $T_{min} = 3,69$ °C e $T_{med} = 1,88$ °C).

Uma possível explicação aos elevados valores de REQM obtidos para Brasília, é atribuída ao fato de que este local está situado a 1172 metros de altitude, sendo que das 27 estações meteorológicas utilizadas na obtenção dos modelos, apenas 3 estações se situam em altitude superior a 1000 metros; de modo que, os modelos podem não ter captado estes extremos altimétricos e, por isso, tendem a estimar melhor a temperatura do ar em locais com altitudes inferiores a 1000 metros.

Quanto ao município de Mineiros, verificou-se valores intermédios de REQM entre as três cidades avaliadas, com valor de T_{med} e T_{max} iguais a 1,32 e 1,45 °C, respectivamente. Por fim, foram observados os menores valores de REQM em Santa Helena de Goiás, onde foi registrada temperatura do ar média e máxima igual a 1,26 e 1,3 °C, respectivamente.

Em geral, os modelos da T_{max} e da T_{min} apresentaram os maiores erros de estimativa, sugerindo que os extremos da temperatura do ar são mais difíceis de predizer quando comparados a valores médio, particularmente em regiões onde o efeito da continentalidade é mais pronunciado, como é o caso da região abrangida pelo estado de Goiás.

Resultados semelhantes aos observados neste estudo foram obtidos por Yang et al. (2017) que estimaram a temperatura do ar anual no Nordeste da China, cujo resultado do erro REQM foi de 4,63 °C para a temperatura máxima; de 3,99 °C para a temperatura mínima e de 3,60 °C para a temperatura média do ar. Nessa mesma linha, os modelos obtidos por Cristóbal et al. (2008) para estimar a temperatura do ar diária, mensal e anual para o Nordeste da Península Ibérica e para a Catalunha, apresentaram REQM variando entre 0,65 e 1,69 °C para a temperatura média, entre 1,06 e 2,64 °C para a temperatura mínima e entre 0,86 e 2,36 °C para a temperatura máxima do ar.

Tabela 2. Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), aplicados aos valores estimados e observados de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) do ar, para os municípios de Santa Helena de Goiás, Mineiros de Goiás e Brasília, com período de observação compreendido entre os anos de 2008, 2009 e 2017-2018, respectivamente.

Município	Tmax		Tmin		Tmed	
	REQM (°C)	NSE	REQM (°C)	NSE	REQM (°C)	NSE
Mineiros	1,45	0,24	2,11	0,61	1,32	0,55
Santa Helena	1,30	0,40	1,84	0,72	1,26	0,61
Brasília	6,60	-12,64	3,69	-3,74	1,88	-0,16

De maneira a complementar a análise realizada com o REQM, procedeu-se com a aplicação de outros dois indicadores estatísticos, o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o índice de concordância de Willmott (d , WILLMOTT et al. (2012)). A Tabela 3 apresenta os resultados destes indicadores estatísticos (r e d) aplicados aos valores estimados e observados das temperaturas máxima, mínima e média do ar, na escala decendial, para os municípios de Santa Helena de Goiás, Mineiros e Brasília.

Os maiores valores de coeficiente de correlação de Pearson (r) foram obtidos para a Tmax em todos os decêndios, os quais variaram de 0,92 a 0,99. Por outro lado, os valores mais baixos de r foram verificados na comparação entre os dados de Tmin, com 42% dos decêndios registrando correlações inferiores a 0,5 ($r < 0,5$). Quanto a comparação entre os dados de Tmed, observou-se correlação média entre os dados observados e estimados igual a 0,78, com cerca de 70% dos dados apresentado correlação classificada como forte (DANCEY; REIDY, 2006).

Quanto ao índice de concordância (d), os modelos de estimativa da Tmed apresentaram

em 47% dos decêndios (17 decêndios) as maiores concordâncias ($d \geq 0,7$). Por outro lado, a maioria dos modelos matemáticos de estimativa da Tmin apresentaram as menores concordâncias, cujo maior valor observado foi de 0,65 (1º decêndio de junho). Já os índices de concordância obtidos para os modelos de estimativa da Tmax, variaram de 0,54 a 0,73 ao longo dos decêndios do ano.

Os resultados obtidos eram esperados, visto que a temperatura do ar é influenciada por outros fatores, além daqueles utilizados neste estudo, tais como: fotoperíodo, nível de urbanização e emissividade da região, velocidade do vento, dentre outros, o que reduz sensivelmente a capacidade preditiva do modelo de regressão.

A Tabela 2 também apresenta os resultados para o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), em relação aos valores estimados e observados de temperatura máxima, mínima e média do ar, para os municípios de Santa Helena de Goiás, Mineiros de Goiás e Brasília. Este indicador de eficiência pode variar de $-\infty$ a 1, em que o valor do índice NSE igual a 1 significa uma eficiência perfeita dos modelos estimativos.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS E ALTITUDE NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO AR NO
ESTADO DE GOIÁS

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de concordância (d), aplicados aos valores estimados (est) e observados (obs) de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) do ar, na escala decendial, para os municípios de Santa Helena de Goiás, Mineiros de Goiás e Brasília, com período de observação compreendido entre os anos de 2008, 2009 e 2017-2018, respectivamente.

Mês	Decêndio	r			d		
		Tmax est X Tmax obs	Tmin est X Tmin obs	Tmed est X Tmed obs	Tmax	Tmin	Tmed
Janeiro	1	0,99	0,44	0,95	0,59	0,19	0,78
	2	0,95	0,85	0,97	0,64	0,09	0,82
	3	0,93	0,80	0,97	0,57	0,21	0,71
Fevereiro	1	0,93	0,03	0,95	0,58	0,22	0,67
	2	0,98	0,99	0,97	0,63	0,17	0,87
	3	0,92	0,14	0,90	0,59	0,22	0,76
Março	1	0,94	0,25	0,85	0,60	0,22	0,76
	2	0,96	0,97	0,83	0,62	0,14	0,73
	3	0,98	0,88	0,96	0,62	0,08	0,72
Abril	1	0,99	0,79	0,99	0,60	0,33	0,70
	2	0,99	0,12	0,99	0,60	0,28	0,67
	3	0,94	0,89	0,74	0,57	0,34	0,61
Maio	1	0,93	0,95	0,30	0,57	0,42	0,40
	2	0,99	0,97	0,59	0,60	0,42	0,51
	3	0,98	0,81	0,11	0,59	0,44	0,29
Junho	1	0,98	0,99	0,76	0,54	0,65	0,55
	2	0,97	0,36	0,97	0,60	0,42	0,61
	3	0,99	0,04	0,85	0,60	0,43	0,61
Julho	1	0,99	0,01	0,82	0,60	0,33	0,55
	2	0,99	0,19	0,28	0,61	0,33	0,44
	3	0,99	0,06	0,79	0,58	0,02	0,58
Agosto	1	0,99	0,51	0,79	0,68	0,50	0,86
	2	0,97	0,05	0,68	0,71	0,39	0,52
	3	0,96	0,31	0,87	0,63	0,07	0,07
Setembro	1	0,99	0,96	0,66	0,57	0,29	0,60
	2	0,99	0,42	0,92	0,59	0,36	0,68
	3	0,99	0,97	0,22	0,59	0,11	0,46
Outubro	1	1,00	0,60	0,01	0,62	0,40	0,35
	2	0,99	0,88	0,83	0,73	0,36	0,01
	3	0,99	0,86	0,99	0,63	0,30	0,88
Novembro	1	0,99	0,39	0,99	0,62	0,16	0,76
	2	0,94	0,92	0,81	0,63	0,18	0,80
	3	0,99	0,53	0,97	0,65	0,00	0,80
Dezembro	1	0,99	0,73	0,99	0,63	0,00	0,77
	2	0,97	0,71	0,98	0,63	0,00	0,78
	3	0,98	0,04	0,94	0,68	0,33	0,88

De acordo com os índices de NSE, as equações de estimativas para a Tmin foram as que melhor se ajustaram aos dados observados,

seguidos da Tmed, tanto para Mineiros (0,61), quanto para Santa Helena de Goiás (0,72). Entretanto, as calibrações do modelo para

estimativa da Tmax, apresentaram valores reduzidos de NSE em ambos os municípios, com valores de NSE para Tmax iguais a 0,24 para Mineiros e 0,40 para Santa Helena de Goiás.

Notou-se baixa disponibilidade de trabalhos na literatura internacional em que o índice NSE foi aplicado em estudos sobre estimativa da temperatura do ar. Sua principal aplicação tem sido reportada a pesquisas da área de hidrologia. Neste contexto, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Rabi et al. (2015), que obtiveram modelos lineares para estimativa da temperatura média do Rio Drava, na Croácia, a partir de dados da temperatura do ar, no qual os índices NSE obtidos para Botovo, Donji Miholjac e Osijek (cidades ribeirinhas do Rio Drava) foram iguais a 0,83; 0,84 e 0,77, respectivamente, sendo que as temperaturas médias diárias do Rio Drava, nestes três locais variam de -5 a 25 °C. Quanto a temperatura do ar, especificamente, este índice foi empregado nos estudos de Senay e Verdin (2015), ao avaliarem a eficiência de modelos matemáticos para estimativa da temperatura do ar, nos Estados Unidos da América, no qual obtiveram um NSE para Tmax variando de 0,928 a 0,944 e, para Tmin, variando de 0,906 a 0,909; com temperatura do ar oscilando de 0 a 40 °C.

Apesar dos resultados dos modelos propostos neste estudo terem obtido uma baixa eficiência para a estimativa da Tmax e uma melhor eficiência na estimativa da Tmin, os erros no índice REQM para a Tmin foram maiores e menores para a Tmax. Notou-se que os maiores valores de NSE na estimativa da temperatura do ar, estiveram relacionados à maior variabilidade dos dados observados, de modo que, quanto maior a amplitude dos dados (variabilidade em relação à média amostral), maior o índice NSE. Neste sentido, o oposto também foi observado, pois os municípios que não têm acentuada variação da temperatura do ar ao longo do ano, obtiveram como resultados um baixo NSE.

Dessa forma, deve-se ter em mente que a aplicabilidade do índice NSE depende do fenômeno estudado, seja ele físico, químico ou biológico. Particularmente para a estimativa da temperatura do ar nos locais investigados neste

estudo, os quais apresentam elevada amplitude térmica (que está associada aos efeitos da continentalidade sobre a região), observou-se que o índice NSE é bastante rígido na avaliação dos modelos propostos.

Desse modo, a partir dos resultados obtidos, recomenda-se cautela quanto a sua aplicação generalizada, com o intuito de evitar conclusões equivocadas na avaliação da eficiência de modelos preditivos.

CONCLUSÕES

As médias das temperaturas máxima e média do ar, na escala decendial, podem ser estimadas satisfatoriamente nos municípios goianos por meio de dados de altitude, latitude e longitude.

A estimativa da temperatura mínima do ar no estado de Goiás, a partir dos modelos obtidos neste estudo, devem ser calculadas com cautela, especialmente durante os meses de inverno, assim como os modelos do terceiro e segundo decêndio de agosto e outubro, respectivamente, para a temperatura média do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUADO, E.; BURT, J. E. **Understanding weather and climate**. 7. ed. New York: Pearson, 2015. 608 p.
- BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. DA. Agrometeorological data correction using statistical methods. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 515–526, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611>.
- BARDIN, L.; JÚNIOR, M. J. P.; MORAES, J. F. L. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. n. 6, p. 618-624, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600008>.

- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Climatic classification of Köppen-Geiger for the state of Goiás and the Federal District. **Acta Geografia**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014. <http://dx.doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016>.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2448-2456, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000005>.
- CRISTÓBAL, J.; NINYEROLA, M.; PONS, X. Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. 13106, p. 1-13, 2008. <https://doi.org/10.1029/2007JD009318>.
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p.
- DEPINÉ, H.; MARIA, N.; PINHEIRO, A.; PEDROLLO, O. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 51-63, 2014. DOI:10.21168/rbrh.v19n1.p51-63.
- ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o Estado do Parana - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 553-569, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48643>
- FERREIRA, C. C. M. Aplicação da lógica nebulosa (Fuzzy Cluster) na definição de unidades climáticas: estudo de caso na bacia do Rio Paraibuna-MG/RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, n. 10, p. 1980-55, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v10i1.30589>
- FERREIRA, W. P. M.; VALLADARES, G. S.; HOTT, M. C. Estimativa da temperatura média mensal do ar para os Estados de Minas Gerais e do Pará, utilizando-se modelos digitais de elevação. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 4, p. 293-303, 2006.
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. **Estudo da relação entre altitude e temperatura do ar no Estado do Paraná** In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9, 2009., SÃO LOURENÇO - MG. Anais...2009
- JANATIAN, N.; SADEGHI, M.; SANAEINEJAD, S. H.; BAKHSHIAN, E.; FARID, A.; HASHEMINIA, S. M.; GHAZANFARI, S. A statistical framework for estimating air temperature using MODIS land surface temperature data. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1181-1194, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4766>.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). **Dados meteorológicos de estações convencionais do estado de Goiás**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 05 fev. 2018.
- LINACRE, E.; GEERTS, B. Estimating the annual mean screen temperature empirically. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 71, n. 1-2, p. 43-61, 2002. <https://doi.org/10.1007/s704-002-8207-4>.
- MEDEIROS, S. DE S.; CECÍLIO, R. A.; JÚNIOR, J. C. F. DE M.; SILVA JÚNIOR, 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. <http://dx.doi.org/10.1590/1415-43662005000200016>

- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- PANTANO, A. P.; BARDIN, L. Modelo de estimativa de temperaturas máximas e mínimas mensais para a Região do Médio Paranapanema, SP. **Engenharia na Agricultura**, v. 20, n. 3, p. 250-257, 2012. <https://doi.org/10.13083/reveng.v20i3.345>.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.
- PERIN, E. B.; VIANNA, L. F.; RICCE, W. DA S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. **Geografia**, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.
- PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, E. A.; ELEUTÉRIO, M. M. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 151-158, 2004.
- RABI, A.; HADZIMA-NYARKO, M.; ŠPERAC, M. Modelling river temperature from air temperature: case of the River Drava (Croatia). **Hydrological Sciences Journal**, v. 60, n. 9, p. 1490-1507, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.914215>.
- SENAY, G. B.; VERDIN, J. P. Evaluation of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Air Temperature Data Products. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, p. 2463-2480, 2015. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0230.1>.
- SILVA, M. R.; JARDIM, C. H. Influência da topografia e uso da terra na variação dos elementos climáticos em Belo Horizonte, Ibirité, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro – MG: O Segmento temporal Entre 11 a 23/09/2016. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 3, p. 48-57, 2017. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132753>.
- VENTURA, T. M.; OLIVEIRA, A. G. DE; MARQUES, H. O.; OLIVEIRA, R. S.; MARTINS, C. A.; FIGUEIREDO, J. M. DE; BONFANTE, A. G. Uma abordagem computacional para preenchimento de falhas em dados micro meteorológicos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 27, p. 61-70, 2013.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900009>.
- WILLMOTT, C. J.; ROBESON, S. M.; MATSUURA, K. A refined index of model performance. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 13, p. 2088-2094, 2012. <https://doi.org/10.1002/joc.2419>.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, 2015. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.
- YANG, Y. Z.; CAI, W. H.; YANG, J. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate near-surface air temperature in Northeast China. **Remote Sensing**, v. 9, n. 410, p. 1-19, 2017. <https://doi.org/10.3390/rs9050410>.
- ZHANG, R.; RONG, Y.; TIAN, J.; SU, H.; LI, Z. L.; LIU, S. A remote sensing method for estimating surface air temperature and surface vapor pressure on a regional scale. **Remote Sensing**, v. 7, n. 5, p. 6005-6025, 2015. <https://doi.org/10.3390/rs70506005>.