



Estimativa da temperatura máxima do ar utilizando o modelo digital de elevação para o município Piranhas-AL

Henderson Silva WANDERLEY¹; Ronabson Cardoso FERNANDES²; André Luiz de CARVALHO³

1. Prof. Dr. Henderson S. Wanderley. Departamento de Ciências Ambientais – DCA. Instituto de Floresta – IF - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.
2. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Univ. Fed. de Rio Grande do Norte (PPGCC/UFRN)
3. Programa de Pós-Graduação em Tec. Energéticas e Nucleares, Univ. Fed. De Pernambuco (DTEM/UFPE) e-mail: henderson.wanderley@ufv.br; ronabson@hotmail.com; del.andre2@hotmail.com

Recebido em **setembro/2013** – Aceito para publicação **fevereiro/2014**

Resumo - A temperatura do ar é um dos elementos meteorológica mais importante para se caracterizar o clima, embora esse dado ainda seja escasso ou inexistente para uma grande maioria das localidades brasileiras. Deste modo, o objetivo deste estudo foi estimar a temperatura máxima média mensal e anual do ar para o município de Piranhas no estado de Alagoas, utilizando-se o Modelo Digital de Elevação (MDE). Para realização deste estudo foram utilizados dados médios mensais de temperatura do ar máxima observada de sete estações meteorológicas, durante o período de 1990-2010. A temperatura máxima média mensal e anual para o município de Piranhas foi obtida com a utilização da análise de regressão linear múltipla, a qual teve como variável dependente a temperatura máxima média mensal do ar e variáveis independentes latitude, longitude e altitude das estações próximas ao município de Piranhas. A interpolação espacial da temperatura máxima mensal foi realizada pelo método de krigagem. Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios para a estimação da temperatura máxima do ar, com temperaturas que variaram de 25 °C para o mês de junho a 35,2 °C em novembro.

Palavras-chave: regressão linear múltipla. Krigagem. interpolação.

Abstract - The air temperature is one of the most important meteorological elements for characterizing the climate, although the data is still scarce or nonexistent for most Brazilian cities. Thus, the aim of this study was to estimate the monthly and annual average maximum temperature for the city of Piranhas in the state of Alagoas, using the Digital Elevation Model (DEM). Were used monthly data of maximum air temperature observed from seven meteorological stations during the period 1990-2010 for this study. The maximum monthly and annual average temperature for the city of Piranhas was obtained with the use of multiple linear regression, which has as dependent variable the average monthly maximum air temperature and independent variables latitude, longitude and height of the stations near the municipality Piranhas. The spatial interpolation of monthly maximum temperature was performed by kriging method. The results showed that the proposed method was satisfactory for the estimation of maximum temperature, with temperatures ranging from 25 ° C for the month of June to 35.2 ° C results in November.

Keywords: Air temperature. multiple linear regression. Krigging. interpolation.



Introdução

A temperatura do ar é um dos elementos meteorológica mais importante para se caracterizar o clima de uma região. A temperatura é resultante da disponibilidade de energia, proveniente do sol, que chega a superfície, a qual aquece o ar devido ao fluxo de calor sensível, fornecendo energia principalmente para os processos de evaporativos.

Nas regiões tropicais, essa variável é normalmente superior em relação às demais regiões do globo, devido a maior incidência de energia solar. Nos trópicos, também se destaca além do elevado índice térmico, o pluviométrico e o evaporativo. No entanto, para algumas regiões, como o Nordeste do Brasil, a precipitação apresenta uma distribuição irregular, fazendo com que a energia disponível, em algumas épocas do ano, seja utilizada para aquecer o ar, ressaltando a importância da temperatura máxima para essa região.

Deste modo, o conhecimento da distribuição da temperatura do ar é essencial à classificação climática e agroclimática de localizadas no Nordeste do Brasil. A identificação dessas regiões com temperatura basal ótima é fundamental para a agricultura, pois, essa energia disponível no ambiente é necessária para que o vegetal apresente crescimento e se desenvolva. Essa informação possibilita o planejamento do ciclo vegetativo, bem como, a melhor época e local para o plantio.

Embora essas informações sejam essenciais, para algumas regiões elas ainda são escassas ou inexistentes, principalmente as referentes à temperatura do ar, seja ela máxima ou mínima. Deste modo, surge a necessidade de se estimar essas informações para regiões que não apresenta estações de medição dessa variável. As correlações estatísticas entre a temperatura do ar e as variáveis que descrevem sua variabilidade são fundamentais, para que por meio destes, se estabeleça um método para estimar a temperatura.

Para essa finalidade, pode-se levar em consideração a construção de um modelo de elevação digital, em função das características do terreno, para estimar dados de temperatura. Geralmente para essa abordagem se utilizam informações georreferenciadas, como o relevo e informações sobre o terreno, como tipo, cobertura e característica do solo, altitude do terreno, latitude e longitude.

Assim, surgiu a expressão Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual é refere à abordagem que concite em utilizar as características do terreno, para se deduzir os demais atributos de uma bacia hidrográfica, processo esse, muito empregado em estudos hidrológicos. Este procedimento vem se apresentando com um método eficaz no processo de interpolação de temperatura, o qual produz mapas de temperatura da superfície com uma alta precisão, como demonstrado por Daniel (2010, p.995).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi estimar a temperatura máxima média e anual do ar para o município de Piranhas no estado de Alagoas, utilizando-se o Modelo Digital de Elevação (MDE).

Material e Métodos

O município de Piranhas (09°37'25''S, 37°45'24''W, 88 m) localiza-se no oeste do Estado de Alagoas, na microrregião denominada de Sertão do São Francisco. De acordo com a classificação climática de Köppen clima dessa região classifica-se como tropical quente e



seco, com a quadra chuvosa durante os meses de maio a julho, tendo altura pluvial anual em torno de 500 mm anuais.

Para estimar os dados de temperatura máxima, foram utilizados dados médios mensais de temperatura do ar máxima provenientes de sete estações meteorológicas disponibilizadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) entre os anos de 1990 a 2010. As estações estão localizadas na microrregião denominada de Sertão do São Francisco. A identificação das estações utilizadas neste estudo está inserida na Tabela 1. A distribuição espacial dessas estações como a do município de Piranhas é demonstrada na Figura 1.

Tabela 1: Identificação geográfica das estações utilizadas no estudo.

Municípios	Latitude (°)S	Longitude (°)W	Altitude (m)
Água Branca	9°15'	37°56'	570
Delmiro Gouveia	9°38'	37°99'	256
Mata Grande	9°07'	37°44'	635
Olho d'Água do Casado	9°32'	37°17'	286
Olho d'Água das Flores	9°30'	37°15'	284
Pão de Açúcar	9°44'	37°26'	19
Santana do Ipanema	9°22'	37°14'	250

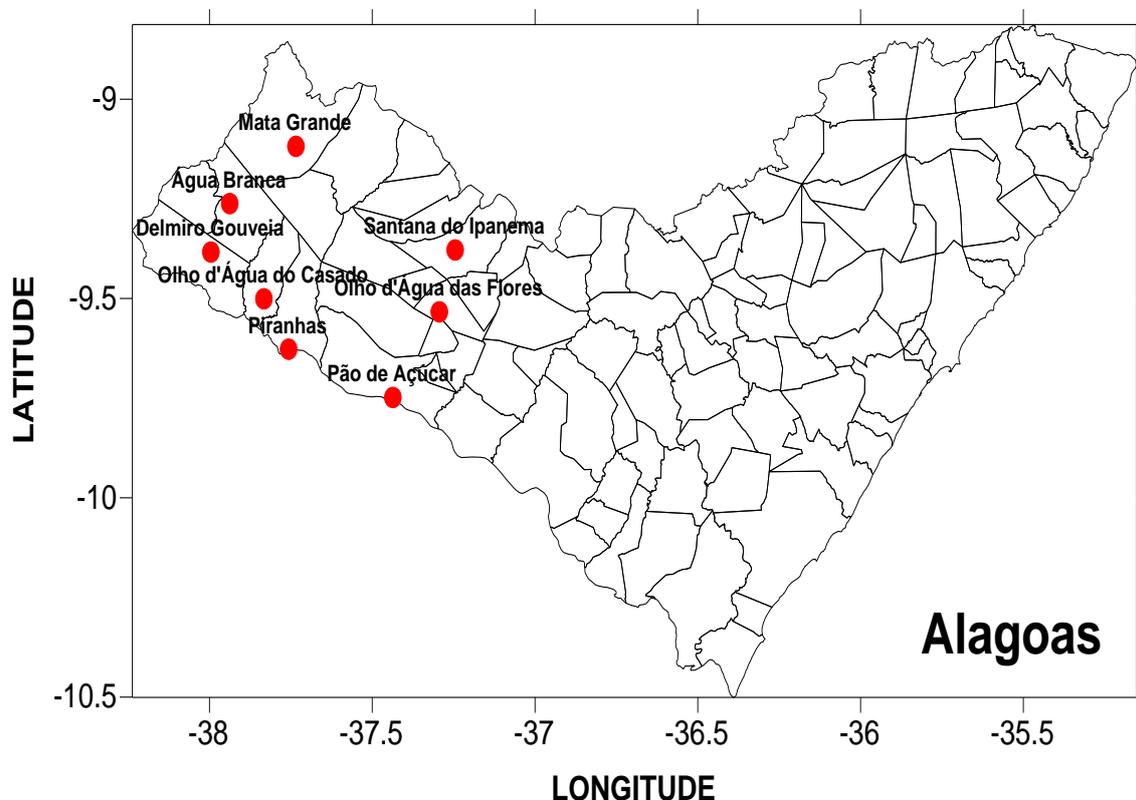


Figura 1: Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas no estado de Alagoas.



Os dados de temperatura do ar máxima foram organizados em médias mensais e posteriormente em média anual, as quais foram submetidos à análise de regressão linear múltipla, utilizada para estimar a temperatura média máxima anual e mensal para o município de Piranhas-AL, a qual teve como variável dependente a temperatura média máxima mensal do ar e variáveis independentes a latitude, longitude e altitude, Eq. (1).

$$T_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Lat} + \beta_2 \text{Long} + \beta_3 \text{Alt} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que:

T_i - temperatura média mensal do ar, (°C)

Lat - latitude (graus e décimos)

Long - longitude, (graus e décimos)

Alt - altitude, (m)

ε_i - erro aleatório, suposto independente e com distribuição normal da média e variância constante

β_0 , β_1 , β_2 e β_3 - coeficientes da regressão.

O mapa com a distribuição da altitude foi gerado por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizado pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 90 metros, com precisão vertical e horizontal de 16 e 20 metros, respectivamente. Essas informações são disponibilizadas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

A elaboração dos mapas de relevo foi realizada pelo software Surfer 8.0. Por meio deste software, empregou-se o método interpolativo de krigagem, considerando uma matriz com 1000 linhas por 1000 colunas. O método geoestatístico da krigagem, leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido. A função estatística utilizada neste procedimento geoestatístico foi a semivariograma.

O semivariograma expressa a dependência espacial por meio da medida da variância dos valores amostrais, separados por uma distância h , Eq. (2), sendo esta função a ferramenta básica para o procedimento de interpolação através do método de krigagem (SILVA, 2011; VIEIRA, 2000).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2 \quad (2)$$

Sendo:

$\gamma(h)$ - semivariância estimada para uma distância h , considerando-se $N(h)$, os números de pares amostrais da temperatura (z), separados por uma distância h , x_i e $x_i + h$ pontos dessas amostragens na distância (h) e valores de temperatura medidos nesses locais, $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$.



A análise obtida com a utilização do semivariograma foi auto ajustada pelo método linear, Eq. (3). Sendo, considerando o efeito pepita (c_0), a variância estrutural (c_1) e o alcance (a).

$$\gamma(h) = c_0 + \frac{c_1}{a} \quad (3)$$

O ajustamento da equação de regressão foi feito com base no coeficiente de determinação (R^2), que indica a proporção da variação total na variável dependente y que é explicada pela variação da variável independente x , calculado pela Eq. 4.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - y_c)^2}{\sum(y_c - \bar{y})^2} \quad (4)$$

em que,

y_i - valores observados

y_c - valores estimados pela a reta

\bar{y} - valores médios.

A medida r^2 reflete até que ponto os valores de y estão relacionados com os de x . Os valores para (r^2) variam de 0 a 1. Se $r^2 = 0$, então $\beta_i = 0$ e o valor médio de y é a melhor projeção para qualquer valor de x , se (r^2) é próximo de 1, significa que a variação explicada responde por uma grande percentagem da variação total. Posteriormente, foi feita a interpolação espacial para a altitude e temperatura por meio do método de krigagem.

Resultados e discussão

Os valores estimados para a temperatura máxima, por meio da regressão linear, são apresentados na Tabela 2. Para os meses de novembro a março, a temperatura estimada apresentou-se próxima aos 35 °C, sendo a máxima obtida para o mês de novembro, em virtude o sol culminar no zênite no fim do mês de outubro, e do atraso existente para o aquecimento do ar em função da resposta do aquecimento da superfície. As menores temperaturas foram estimadas para os meses junho, julho e agosto, sempre inferiores aos 30 °C, meses esses que correspondem ao inverno para o hemisfério sul.

Tabela 2: Temperatura máxima média mensal e anual do ar estimada (Tmax) e os respectivos coeficientes das equações de regressão linear e de determinação para a cidade de Piranhas - AL

Meses	Tmax °C	Coeficientes				
		β_0	β_1	β_2	β_3	r^2
Jan	35,000	18,388	2,306	-1,029	-0,005	0,920
Fev	35,100	13,133	2,202	-1,145	-0,005	0,920
Mar	35,100	3,600	1,880	-1,314	-0,006	0,950



Abr	33,400	9,493	1,959	-1,135	-0,007	0,950
Mai	30,500	11,315	1,433	-0,876	-0,007	0,910
Jun	25,000	4,892	1,312	-0,982	-0,008	0,930
Jul	28,600	4,105	0,986	-0,902	-0,008	0,930
Ago	29,400	-1,607	1,429	-1,187	-0,008	0,940
Set	31,500	-5,165	2,254	-1,546	-0,007	0,900
Out	33,800	-5,000	2,489	-1,663	-0,006	0,930
Nov	35,200	3,680	2,786	-1,547	-0,006	0,930
Dez	34,900	13,910	2,051	-1,081	-0,005	0,890
Anual	32,290	3,871	1,751	-1,211	-0,006	0,930

Os resultados obtidos por meio da regressão linear para a temperatura máxima em Piranhas apresentados na Tabela 2 mostraram que a variação da temperatura máxima do ar está relacionada com a latitude, longitude e altitude, o qual apresentou estimativas satisfatórias para a temperatura do ar máximas, coerentes com os apresentados por Gherardi (2008, p. 138). Estes resultados demonstram que a metodologia adotada neste estudo pode ser aplicada para outras localidades que não apresentam dados de temperatura do ar máxima a qual pode ser estimada por meio das coordenadas geográficas.

Os valores apresentados para o coeficiente de determinante (r^2) oscilaram de 0,89% para o mês de dezembro e 0,95% para março e abril (Tabela 2), sendo estes o melhor ajuste obtido. Para os demais meses e para o ajuste anual, o coeficiente de determinação (r^2) variou entre os valores já apresentados. Quando comparado com os coeficientes obtidos por Hörsch (2003, p. 269), para estimar a temperatura máxima, os valores encontrados neste estudo apresentou coeficientes superiores para todos os meses.

O coeficiente β_1 apresentou seus máximos valores no mês de novembro 2,786, e o menor em julho com 0,986. Esse resultado é devido o posicionamento do sol no hemisfério sul, o qual ocorre de setembro a março. Vale ressaltar que durante o período de setembro a fevereiro, o coeficiente foi superior a dois, para esses meses.

Os resultados mostraram que para os meses de primavera-verão, os coeficientes foram maiores devido a maior intensidade da radiação solar que chega a superfície. Para os meses de outono-inverno, no hemisfério sul, os coeficientes apresentaram os menores valores, decorrente ao déficit de energia, por o sol se encontra sobre o hemisfério norte.

Os valores calculados para os coeficientes β_2 e β_3 apresentaram valores negativos. O coeficiente β_2 oscilou de -0,876 a -1,663 respectivamente para os meses de maio e outubro, já o coeficiente β_3 , de -0,005 a -0,008, sendo os maiores valores obtidos nos meses de inverno. Os coeficientes negativos estão correlacionados com a diminuição da temperatura do ar com o aumento da altitude.

Na Figura 2 pode-se observa o relevo do município de Piranhas, apresenta acentuado contraste em sua elevação, com altitude inferior a 12 metros, as margens do rio São Francisco, a altitude superior a 500 metros, resultada em grande influência na temperatura do ar. Na região central e ao norte, destaca-se a Serra do Retiro, Serra da Panela e a Serra do Criolo, havendo o predomínio dos níveis entre 150 a 300 metros. As altitudes máximas, com elevações em torno de 545 metros, são observadas na serra da Formosinha e no morro do Boqueirão.

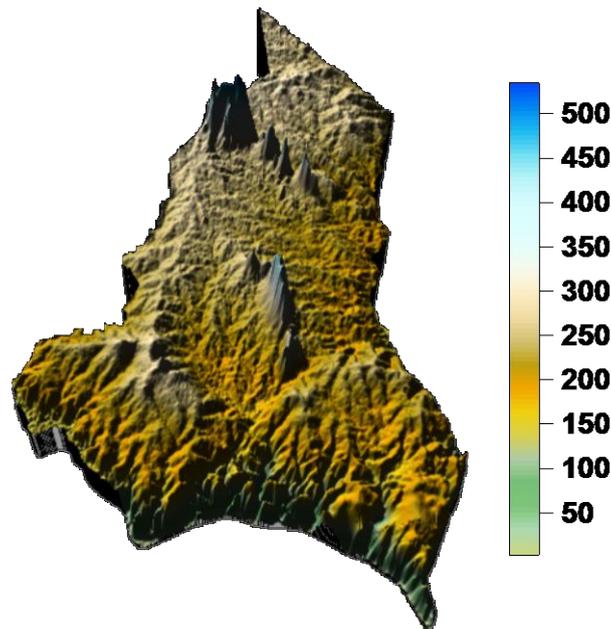


Figura 2: Relevo do município de Piranhas

A interpolação da temperatura máxima obtida pelo método interpolativo de krigagem demonstrou resultado análogo ao obtido por meio da regressão linear, com o mesmo padrão sazonal da variação da temperatura. Na Figura 3, observa-se a estimativa espacial das temperaturas máximas para o primeiro semestre para o município em estudo.

A variabilidade espacial e temporal da temperatura máxima obtida está coerente com a sazonalidade existente no hemisfério sul, com temperatura máxima para os meses de verão. Para a localidade em estudo essa temperatura apresentou valores superiores a 34 °C. A temperatura apresenta uma redução nos meses do outono, de maio e junho a temperatura foi inferior a 28 °C.

Observa-se também que a variação da temperatura máxima em função do relevo da região, em janeiro, apresentou uma amplitude térmica de 2,4 °C (diferença da $T_{max_{máxima}} - T_{max_{mínima}}$), em comparação das regiões de mínima e a máxima altitude. As maiores amplitudes térmicas da temperatura máxima foram observadas principalmente para os meses de inverno, sendo para junho foi próxima aos 4 °C (Figura 3).

A espacialização de temperatura demonstrou que as isoterms das temperaturas máximas encontram-se em volta das serranas existentes na região de análise. No período de janeiro a março, observou um decréscimo na temperatura, fazendo com que as isoterms se tornam mais zonal no mês de março. O mês de março, nesta região, é caracterizado com o mês de transição do período seco do chuvoso.

Com o início das chuvas, ocorre também a preparação da terra para o plantio agrícola. No entanto, a temperatura máxima observada na região, mostrasse acima da temperatura ótima máxima de algumas culturas, a qual pode causar estresse térmico. Outro fator de destaque para essa região é a alta taxa na evapotranspiração, podendo chegar a 1400 mm/ano.

Os resultados apresentados por Santos (2010, p. 494) para o Estado de Alagoas, o qual inclui as localidades aqui estudada, indica que a temperatura máxima do ar



apresentou tendências crescentes estatisticamente significativas a níveis de 1 e 5% de probabilidade no período de 1961 a 2007. Esse aumento na temperatura estatisticamente significativo ainda pode ser agravado devido ao aquecimento global, com um aumento de 2 a 4 °C na temperatura para o Nordeste do Brasil, como previsto pro Silva (2004, p. 581).

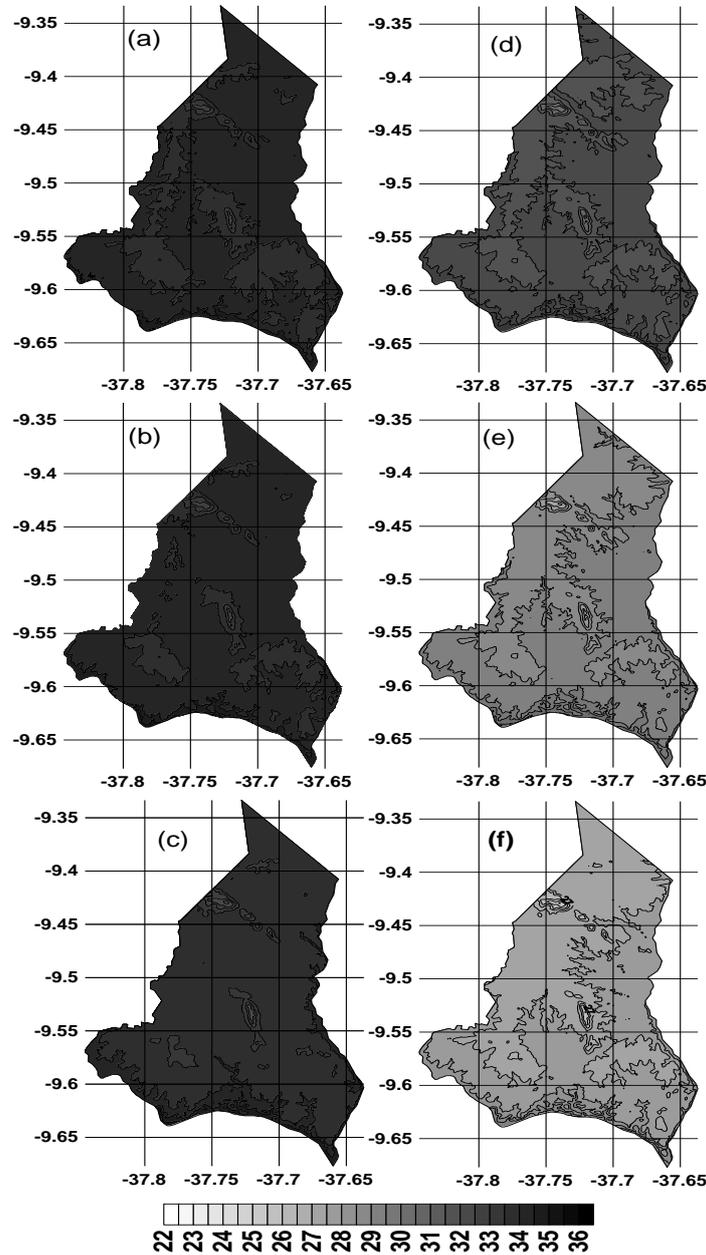


Figura 3: Estimativa das temperaturas máximas (°C) para os meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio e (f) junho para Piranhas –AL.

Como mostra a Figura 4, a temperatura máxima tende a decrescer de novembro a julho. Pela a interpolação realizada pelo método de krigagem, o mês de julho foi o mês que apresentou as menores temperaturas máximas, apresentando valor médio mensal de 27,8 °C.



Neste mês também foi observado a maior amplitude térmica entre as maiores temperaturas máximas e as menores temperaturas máximas mínimas, que apresentou amplitude de 4,4 °C.

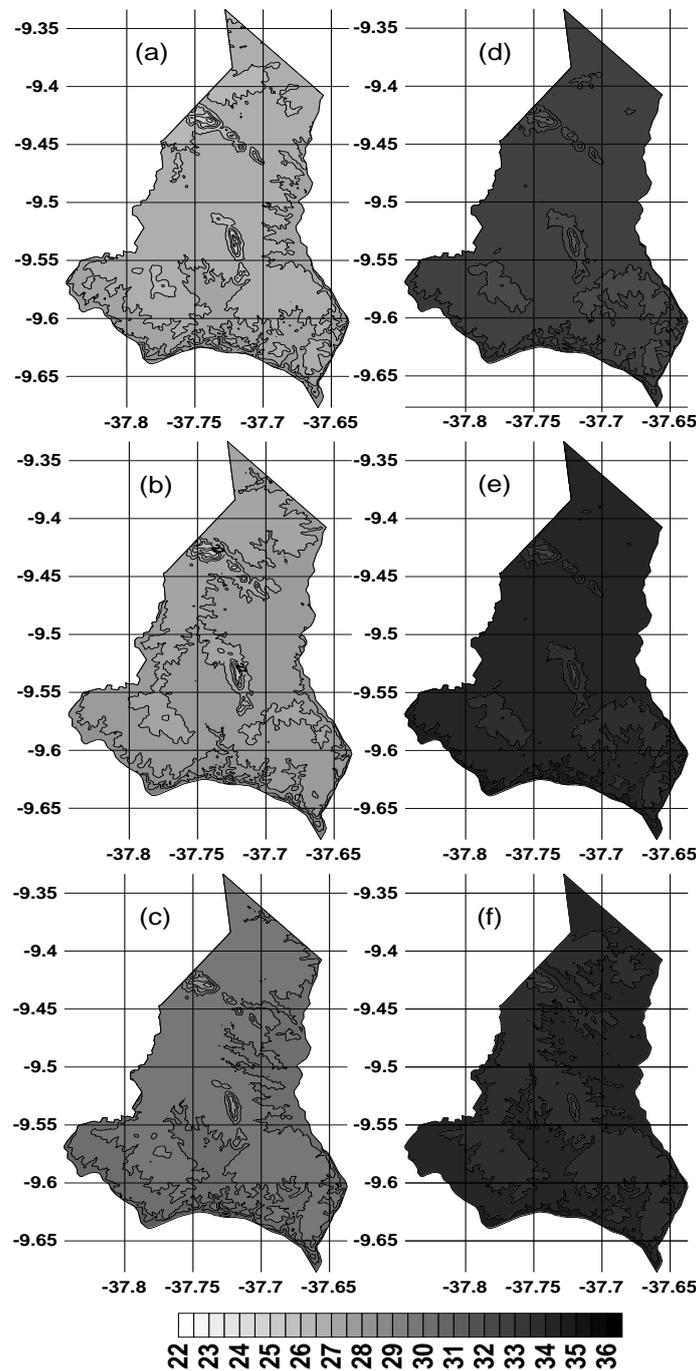


Figura 4: Estimativa das temperaturas máximas (°C) para os meses de (a) julho, (b) agosto, (c) setembro, (d) outubro, (e) novembro e (f) dezembro, para Piranhas-AL.



A temperatura aumenta gradativamente até o mês de novembro, quando são observadas as maiores máximas, com valores superiores a 35 °C. A taxa de crescimento da temperatura máxima entre o mês de menor máxima (junho) com o de maior (novembro) foi superior a 1,5 °C/mês.

Os maiores gradientes de temperatura foram observados entre os meses de setembro a fevereiro, e os menores de março a agosto, com uma variação entre a adiabática seca de -0,98 °C/100m, e para a úmida de média 0,60 °C/100m. O maior gradiente térmico foi observado no mês de setembro com uma redução de -0,9 °C/100m, com o menor em janeiro de -0,6 °C/100m. O gradiente vertical de temperatura do ar situou-se de 0,53 °C/100m em janeiro a 0,88 °C/100m em Agosto.

Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia proposta neste estudo, com a utilização das coordenadas geográficas para se estimar dados de temperatura máxima do ar, apresentou resultado satisfatório, possibilitando sua aplicabilidade para localidades que não apresenta dados de temperatura máxima do ar.

Para o município de Piranhas a temperatura estimada apresentou-se coerente com a variação sazonal da temperatura nas regiões tropicais para o hemisfério sul. Para este município, as maiores temperaturas máximas do ar foram estimadas para os meses compreendidos de novembro a março, com temperatura do ar máxima em torno dos 35 °C. Esse resultado foi obtido por ambos os métodos utilizados para se estimar a temperatura. Destes meses, o de novembro foi o que demonstrou o maior valor para a temperatura máxima, chegando a 35,2 °C.

Os menores valores estimados para a temperatura máxima do ar foram para os meses de junho, julho e agosto. Para esses meses a temperatura do ar máxima estimada foi inferior aos 30 °C. O mês de junho foi o que apresentou a menor temperatura máxima do ar estimada pela a regressão linear, com temperatura de 25 °C. Pelo método de krigagem, julho foi o que apresentou a menor temperatura máxima do ar, com valor médio de 26,2 °C.

Referências

GHERARDI, B.; NETO, D. D.; SENTELHAS, P. C. Caracterização espacial e temporal da temperatura média do ar, em escala diária e mensal, no Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n. 2, p.133-141, agosto, 2008.

DANIEL, J.; LENNART, N.; THIERRY, B.; ARVE, E. Plants as bioindicator for temperature interpolation purposes: Analyzing spatial correlation between botany based index of thermophily and integrated temperature characteristics. *Ecological Indicators*. v 10, p. 990–998, 2010.

HÖRSCH, B. Modelling the spatial distribution of montane and subalpine forests in the central Alps using digital elevation models. **Ecological Modelling**. v.168, p. 267–282, 2003.



IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acessado em: 29/05/2013
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=270710>>

SANTOS, D. N.; Silva, V. P. R.; Sousa, F. A. S.; Silva, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.5, p.492–500, 2010.

SILVA, V. de P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.58, n.4, p.575-596, 2004.

SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J.R. M.; GARCIA, G.O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santos. **Revista Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.417-427, 2011.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **In:** Novais, R.F.; Alvares, V.V.H.; Schaeffer, C.E.G.R, editors. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. P.1-54.