

ESTIMATIVA DE TEMPERATURAS ABSOLUTAS USANDO DADOS CLIMÁTICOS E ORBITAIS SOBRE O TERRITÓRIO BRASILEIRO¹

PABRÍCIO MARCOS OLIVEIRA LOPES^{2*}, MARCOS ADAMI³, ENIO BUENO PEREIRA³, GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA², MAURÍCIO ALVES MOREIRA³

RESUMO - Este trabalho objetivou determinar sobre o território brasileiro temperaturas extremas do ar: mínimas (Tn) e máximas (Tx) absolutas, utilizando-se técnicas de regressão múltipla, dados orbitais e climatológicos. Os dados de Tx e Tn foram observados entre 1961 a 1990 em 204 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e as informações de topografia obtidas do programa *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os modelos de regressão múltipla foram validados com valores observados de 30 postos meteorológicos em locais diferentes daqueles que não os geraram. As análises estatísticas foram realizadas utilizando técnicas de bootstrap. Os resultados mostraram que o modelo de regressão múltipla para Tn teve boa concordância com os dados observados ($R^2 = 0,86$) não apresentando tendências de superestimar ou subestimar Tn, enquanto para Tx os resultados não foram satisfatórios. Tn variou entre -12 a 25 °C e Tx entre 31 e 42 °C. Em uma primeira aproximação, os limites de Tn podem ser utilizados para qualificar dados coletados em estações meteorológicas. O mapa de Tn pode ser utilizado para subsidiar pesquisas em zoneamento agroclimático em regiões onde esses dados não são disponíveis.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Regressão múltipla. Topografia.

ESTIMATIVE OF ABSOLUTE TEMPERATURES USED DATA CLIMATES AND ORBITAL OVER THE BRAZILIAN TERRITORY

ABSTRACT - This work aimed to determine over the Brazilian territory extreme air temperatures: maximum (Tx) and minimum (Tn) absolute, using multiple regression techniques, orbital data and climatological. The data of Tx and Tn were observed between the years of 1961 and 1990 in 204 meteorological stations by the National Institute of Meteorology (INMET), and topography information was obtained from the program *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). The multiple regression models were validated with the observational data of 30 meteorological stations in different locations than those generated. The statistical analysis was performed using bootstrap techniques. The results showed that the multiple regression model for Tn presented good agreement with the observed data ($R^2 = 0.86$) showing no tendencies to overestimate or underestimate Tn. The Tn varied between -12 to 25 °C and the Tx between 31 and 42 °C. For the Tx the results were not as satisfactory. In a first approach, the limits of the Tn can be used for data quality control of the meteorological station. The map of Tn can be used to subsidize research in agroclimatic zoning in the region where these data are not available.

Keywords: Air temperature. Multiple regression. Topography.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 30/09/2010; aceito em 11/02/2011.

²Departamento de Agronomia da UFRPE, rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife - PE; pabricao@depa.ufrpe.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos - SP; adami@dsr.inpe.br

INTRODUÇÃO

As culturas agrícolas são suscetíveis aos efeitos dos regimes climáticos locais. A temperatura do ar é uma das variáveis meteorológicas que pode regular a entrada e a saída de vapor d'água e de dióxido de carbono dos estômatos de uma folha e, conseqüentemente, os processos de respiração, evapotranspiração e fotossíntese. A deficiência de um destes processos biofísicos pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas sob diferentes formas e nas diferentes fases do ciclo das lavouras (MOURA et al., 2010). Medidas de temperatura do ar de alta qualidade podem ser essenciais para estudos de consumo hídrico em ambientes montanhosos e campos agrícolas com fortes gradientes climáticos (LOPES; VALERIANO, 2009). Todavia, é necessário entender a variabilidade e a persistência das temperaturas extremas para reforçar os estudos de planejamento agrícola e análise de adaptação de culturas a determinadas regiões com características distintas (MEDEIROS et al., 2005). É importante ainda considerar as temperaturas extremas do ar nas pesquisas referentes à indicação de época de semeadura, irrigação, determinação de potencial de produtividade, crédito e seguro agrícola (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008).

As temperaturas extremas do ar, a máxima das máximas (Tx) e a mínima das mínimas (Tn) diárias, representam às máximas e as mínimas absolutas observadas num determinado período de tempo (VAREJÃO-SILVA, 2006). Segundo Ackerman e Knox (2003) a menor mínima diária registrada na Terra foi de -89 °C em Vostok, Antártica, em 21/06/1983 e a maior máxima diária de +58 °C em El Azizia, Líbia, em 13/09/1922. No Brasil, a cada 30 anos são publicadas as normais climatológicas de Tn e Tx diárias e mensais pelo INMET. Contudo, os dados disponíveis são normalmente limitados aos postos meteorológicos e, conseqüentemente, pontos discretos no espaço. Neste sentido, torna-se necessário o uso de técnicas de interpolação espacial para estimar Tx e Tn para locais não amostrados (LOPES; VALERIANO, 2009).

A temperatura do ar pode ser facilmente modelada em função das coordenadas geográficas, pois sua variabilidade é baixa (CAVALCANTI et al., 2006). A idéia de usar modelos de regressão múltipla utilizando variáveis geográficas para mapear valores de Tn e Tx não é nova no Brasil (FERREIRA et al., 1971; VALERIANO; PICINI, 2000; ASTOLPHO et al., 2005; BARDIN et al., 2010). Esta metodologia é bastante prática e tem apresentado um grau aceitável de acurácia (MEDEIROS et al., 2005). Entretanto, essas equações têm a capacidade de prever apenas as médias mensais de temperatura do ar e não expressam a variação desse elemento climático ao longo do tempo (CAVALCANTI et al., 2006).

Para melhorar a produção de mapa de temperatura do ar, modelos empíricos têm sido desenvolvidos, associando coordenadas geográficas as anomalias de temperatura da superfície do mar

(CAVALCANTI et al., 2006); as técnicas de redes (MOREIRA; CECÍLIO, 2008) ou a de geoprocessamento utilizado dados orbitais (NINYEROLA et al., 2000; LADO et al., 2007). Neste último caso, é necessário utilizar um modelo de elevação digital do terreno e um banco de dados de temperatura pertencente a uma rede de estações meteorológicas existentes (PEZZOPANE et al., 2004).

Objetivou-se, com este trabalho, estabelecer modelos de estimativas da temperatura do ar diárias (máxima e mínima absoluta) em função das coordenadas geográficas e das distâncias dos oceanos Pacífico e Atlântico, para o Brasil. Além disso, produzir mapas temáticos diários de Tn e Tx absolutas, por meio dos modelos obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O território brasileiro e a distribuição dos postos meteorológicos sobre o mapa de elevação com 90 m de resolução espacial são mostrados na Figura 1. O número de postos meteorológicos por região foi assim distribuído: 74 (Nordeste), 25 (Norte), 26 (Sul), 55 (Sudeste) e 24 (Centro-oeste). O litoral do país possui o maior número de postos meteorológicos (47).

Devido à sua grande extensão e localização, cada região brasileira sofre a influência de vários sistemas e fenômenos atmosféricos diferenciados. Citam-se como exemplo, a zona de convergência intertropical, ondas de leste, frentes frias, brisas e vórtices ciclônicos de ar superior, além dos fenômenos de grande escala como o El Niño (ROUCOU et al., 1996) e o dipolo do oceano atlântico que atuam no Norte e Nordeste do Brasil. O deslocamento de massas de ar, frentes frias, estabelecimento da La Niña afetam o tempo e clima das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste brasileiro (PEREIRA et al., 2002). Os dados gerados nos postos meteorológicos associados às informações de satélites auxiliam na previsão do tempo e do clima do territorial brasileiro.

As regiões brasileiras de menores altitudes (0 a 200 m) encontram-se localizadas no litoral e Amazônia, aumentando ligeiramente (200 a 3000 m) na direção das serras gaúchas, catarinenses, paranaenses, paulistas e mineiras localizadas no Sul e Sudeste do Brasil.

Os dados de altitudes do terreno foram obtidos através do programa *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* (RABUS et al., 2003).

As Tn e Tx diárias foram observadas em termômetros convencionais instalados no interior de abrigos meteorológicos a altura de 1,5 m em relação ao solo, publicadas nas normais climatológicas de 1961 a 1990, em 204 postos meteorológicos pertencentes ao INMET. A maioria desses postos tem mais de 30 anos de observações da máxima das máximas e da mínima das mínimas diárias do ar. Vale ressaltar que os dados de Tn e Tx utilizados foram observados em dias, meses e anos diferentes no período de 1961 a 1990. Citam-se como exemplo

a cidade de Mossoró - RN onde se observou a maior máxima do ar de 38,3 °C em 07/02/1982 e a menor mínima de 16,2 °C em 24/04/1976 entre 1961 a 1990. Neste mesmo período de tempo, foi registrada em Recife - PE a maior máxima do ar de 35,1 °C em 23/03/1988 e menor mínima de 14,0 °C em 16/11/1990 (DNMET, 1992).

As etapas da modelagem de Tn e Tx observadas no período de 30 anos são mostradas na Figura 2.

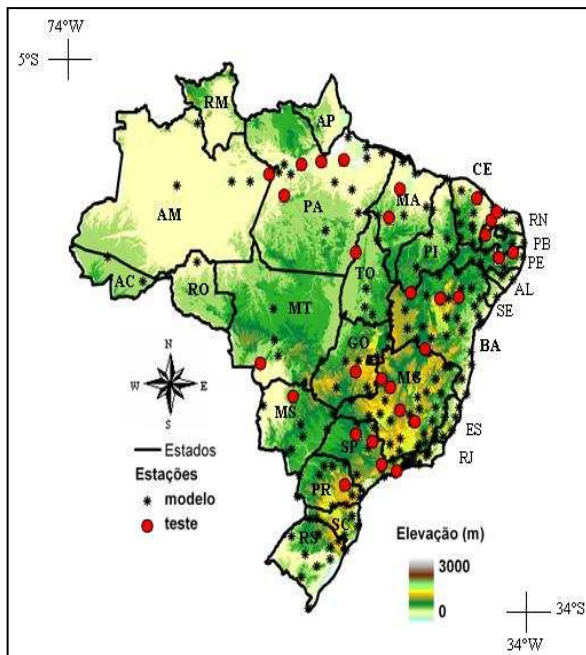


Figura 1. Distribuição dos postos meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia no território brasileiro. Postos meteorológicos utilizados nos modelos de regressão de temperatura do ar (mínimas e máximas); ■ Postos meteorológicos escolhido aleatoriamente para testar os modelos de regressão de temperatura do ar (mínimas e máximas).

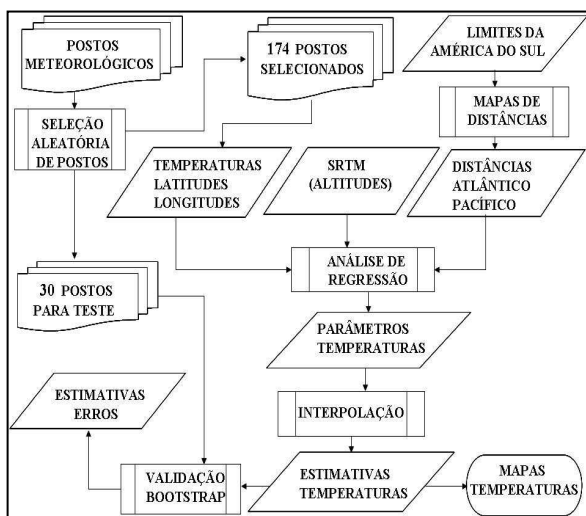


Figura 2. Fluxograma do processamento da temperatura do ar (mínimas e máximas) obtida das normais climatológicas diárias absolutas de 1961 a 1990 para todo o Brasil.

Inicialmente, os dados de Tx e Tn dos 204 postos meteorológicos foram qualificados de acordo com o seguinte critério: $Tn \geq Tx$. Nenhum caso foi verificado. Em seguida, 30 postos meteorológicos foram sorteados aleatoriamente para validação dos mapas de Tx e Tn. Estes postos não participaram da análise de regressão múltipla para elaboração dos modelos de Tn e Tx. Os 174 postos meteorológicos restantes foram utilizados na espacialização das Tx e Tn.

As Tx e Tn, juntamente com suas posições geográficas, foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados, tendo a altitude (h), longitude (λ),

latitude (ϕ), distância do atlântico (d_{ATL}) e distância do pacífico (d_{PAC}) como variáveis independentes e a Tx e Tn como variáveis dependentes, sendo os dados ajustados de modo a se obter equações de regressão múltiplas do tipo:

$$y = a + bh + c\phi + d\lambda + fd_{ATL} + gd_{PAC} \quad (1)$$

em que:

y - temperatura mínima ou máxima absoluta, °C;

a, b, c, d, e, f e g - coeficientes da equação de regressão múltipla.

Dada a dimensão do Brasil, os valores de altitudes obtidos do SRTM foram reamostrados de 90 m para 1.000 m de resolução espacial no programa computacional conhecido como SPRING - Sistema de Processamento de Imagens Georeferenciadas (CÂMARA et al., 1996).

Os limites da linha de costa da América do Sul foram processados no SPRING. A linha da costa foi dividida em duas, uma referente à distância do oceano atlântico e a outra a distância do oceano pacífico. A partir destas linhas, foram criados dois mapas de distância: um referente à distância do atlântico (d_{ATL}) e outro à do pacífico (d_{PAC}), com resolução espacial de 1.000 m.

As temperaturas Tx e Tn foram espacializadas na forma de mapas temáticos, aplicando-se as equações de regressão estimadas em função da altitude, latitude, longitude, distância do atlântico, distância do pacífico em relação ao território brasileiro, com auxílio do sistema de informação geográfica, SPRING. Em seguida, foram elaborados modelos de regressão linear simples para Tx e Tn para validar os modelos dado por:

$$y = a + bx \quad (2)$$

em que:

y - temperatura máxima ou mínima absoluta estimada, °C;

x - temperatura máxima ou mínima absoluta observada;

a e b - intercepto e inclinação da reta respectivamente.

Os valores de **a** e **b** foram estimados por meio da técnica de *bootstrap* (EFRON, 1982) utilizando 10.000 repetições. Também foram testadas as hipóteses que **a** fosse igual a 0 (zero), e que **b** fosse igual a 1 (um). Dessa forma, tem-se que as estimativas não apresentaram deslocamentos constantes e nem tendências. Por outro lado, foi empregado o t-teste para avaliar a significância estatística dos coeficientes de correções aos níveis de probabilidade de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Equação 3 representa o modelo de regressão múltipla encontrado para estimativa dos valores diários de Tn absoluta em função da distância do oceano atlântico, da altitude, da latitude e da longitude, para todo o território nacional. Observa-se nessa equação que a distância do pacífico (d_{PAC}) não foi considerada, devido à relação que a mesma possui com a latitude, evitando assim problemas de multicolinearidade. Os coeficientes da regressão múltipla foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados.

A Figura 3 apresenta a equação de ajuste entre os

$$T_n = -16,52 + 1,35 \times 10^{-6} d_{ATL} + 1,30 \times 10^{-5} h - 8,26 \times 10^{-6} \phi + 1,84 \times 10^{-6} \lambda \quad 3$$

dados estimados e observados de Tn. Pode-se observar que há probabilidade da equação passar pela origem, o que garante que não ocorre deslocamento da medida, e a inclinação da reta ser igual a 1 (um).

Isto indica que não há tendência de superestimar ou subestimar a Tn. O coeficiente de determinação variou entre 0,74 a 0,96. A regressão múltipla para Tn foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o t-teste. Estes resultados estão de acordo com Astolpho et al. (2005) que encontraram equações finais geradas pela regressão múltipla de Tn médias mensais e anual com R² entre 0,87 e 0,90 para o estado de São Paulo. No Nordeste brasileiro, Medeiros et al. (2005) obtiveram valores de R² entre 0,64 (novembro) a 0,84 (abril); Cavalcanti et al. (2006) encontraram valores de R² entre 0,46 a 0,88 para a Tn média mensal; Moreira e Cecílio (2008) aplicaram redes neurais para estimar Tn mensal obtendo R² entre 0,79 (novembro) e 0,87 (fevereiro).

Verificou-se que o erro médio quadrático (RMS) da Tn absoluta estimada foi de 2,46 °C. Lopes e Valeriano (2009) encontraram erros de 3 °C na estimativa de Tn diárias no Vale do Paraíba do Sul e na Serra da Mantiqueira, SP. Estes autores atribuem esse erro na Tn as oscilações na taxa de decréscimo de temperatura com a altura e ao tipo de cobertura do terreno. Conforme Linacre e Geerts (2002), a taxa de decréscimo de temperatura do ar em regiões montanhosas é afetada pela transferência de calor por condução da superfície do solo para o ar e pelo relevo que influencia na distribuição da circulação local.

O mapa temático das Tn absoluta diária para todo o Brasil é apresentado na Figura 4. Nota-se na figura que o intervalo da Tn absoluta oscilou entre -12 e 25 °C. Observa-se que o mapa não apresenta grandes descontinuidades espaciais na variação da Tn, pelo fato da consideração de uma única equação se estender a todas as regiões, fato evidenciado por Medeiros et al. (2005). Constatou-se, ainda que, as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores altitudes e suas proximidades a linha do equador proporcionam elevações nas Tn absolutas diárias. À medida que nos afastamos da linha do equador em direção ao sul, as altitudes aumentam, diminuindo bruscamente a Tn absoluta. Isto está de acordo com Pezzopane et al. (2004) que verificaram no estado do Espírito Santo a influência do uso de características do relevo na espacialização da temperatura do ar (R² = 0,89 a 0,92). Este fato também é verificado na direção leste-oeste, pois o efeito das brisas marítima e terrestre minimiza as Tn absolutas diárias próximas do litoral brasileiro (ACKERMAN; KNOX, 2003). Cavalcanti et al. (2006) observaram que a temperatura do ar (média, mínima e máxima mensais) de todo o litoral leste do Nordeste brasileiro (40° - 33° W) é fortemente influenciada pelas anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do oceano Atlântico Tropical.

As temperaturas mais frias do Brasil são observadas nas serras gaúchas, catarinenses, paranaenses, paulistas e mineiras, a temperatura chega a atingir -12 °C (Figura 4). No Pólo Turístico do Circuito das Frutas, SP, Bardin et al. (2010) observaram que nos meses de inverno, a altitude teve menor influência na Tn mensal, também observado por Pezzopane et al. (2004), Lopes e Valeriano (2009). Bardin et al. (2010) também observaram que o fator altitude é o de maior influência na estimativa da temperatura do ar, pois para a variação de 100 m na altitude a temperatura mínima varia entre 0,6 e 0,8 °C. Para Pereira et al. (2002), variações na Tn estão associados às passagens de massas de ar frias sobre as regiões Sul e Sudeste. Lopes e Valeriano (2009) acrescentam que o resfriamento da superfície terrestre acentua-se devido à estação de inverno que proporciona dias de céu claro sobre o vale e formação de nuvens orográficas sobre a Serra da Mantiqueira. Estes autores também constataram que as encostas da Serra da Mantiqueira voltadas para o norte esfriam no inverno (Tn = 4 a 11°C) mais do que as voltadas para o sul no verão (Tn = 15 a 20°C). Este fato é devido ao lado voltado para sul encontra-se o vale do Rio Paraíba do Sul que apresenta campos agrícolas e pastos. Larcher (1986) destacou que Tn de até -10 °C no Sul e Sudeste do Brasil provocam episódios de geadas. Estudos realizados por Camargo et al. (1993) estabeleceram valores de Tn absolutas inferiores a 2 °C e 1 °C como limites para a ocorrência de geada. Astolpho et al. (2005) afirmam que quanto menor a temperatura do ar abaixo desses limites, mais graves e extensos serão os danos às plantas.

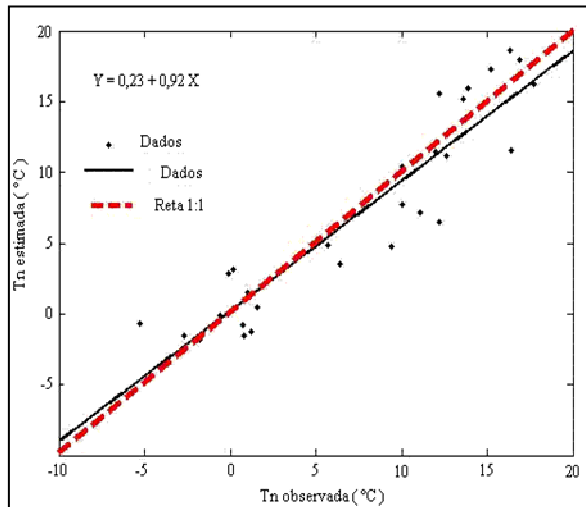


Figura 3. Dispersão entre os dados diários observados e os estimados de temperatura mínima absoluta do ar (T_n).

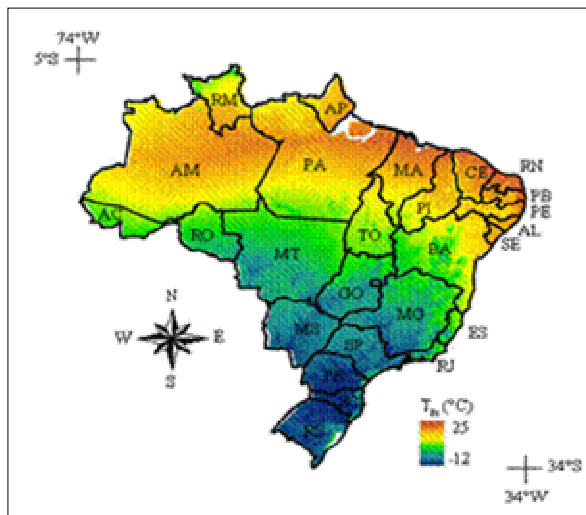


Figura 4. Mapeamento da temperatura mínima absoluta diária do ar (T_n) usando o modelo de regressão múltipla, técnica de interpolação e dados orbitais para o território brasileiro.

O modelo de regressão múltipla para a estimativa diária da T_x absoluta é representado pela Equação 4.

$$T_x = 49,27 + 1,77 \times 10^{-5} \times d_{ALT} - 2,93 \times 10^{-3} \times h + 4,76 \times 10^{-6} \phi + 5,23 \times 10^{-7} \lambda$$

4

A Figura 5 apresenta a equação de ajuste entre os dados estimados e os observados de T_x absoluta diária. Observa-se que não há probabilidade da equação linear passar pela origem e nem a inclinação da reta ser igual a 1 (um), o que indica haver tendência de superestimar ou subestimar a T_x absoluta do ar. O coeficiente de correlação médio da T_x absoluta foi de 0,50 ($R^2 = 0,25$). Isso indica que a distância do oceano atlântico, latitude e longitude, explicam somente 25% dos dados observados. Medeiros et al.

(2005) salientam que baixos valores de R^2 obtidos a partir de registros realizados nos postos meteorológicos brasileiros se devem, provavelmente, à grande variabilidade dos dados de temperatura do ar, nos meses em que estes ocorreram. Valeriano e Picini (2000) afirmam que a latitude não foi significativa para a estimativa da temperatura do ar em São Paulo nos meses de verão. Lado et al. (2007) utilizaram na distribuição espacial da T_x média, apenas as variáveis independentes latitude e altitude, encontrando boa correlação e valores de R^2 entre 0,92 e 0,95, pois, em todos os casos, a longitude apresentou-se não significativa. Conforme Bardin et al. (2010), a influência não significativa ao nível de 5% da variação da latitude e longitude local na estimativa da temperatura do ar pode ser explicada pelo tamanho da área de estudo e sugerem a conveniência de se recalcularem as equações de estimativa da temperatura do ar utilizando-se apenas a altitude. Estes mesmos autores observaram que os valores de R^2 foram menores, sobretudo para a temperatura mínima (meses de inverno), porém todas as regressões foram significativas a nível de 5% de probabilidade. Segundo Ninyerola et al. (2000) a integração de coordenadas geográficas a dados de radiação solar, fator de cobertura de nuvens, continentalidade e modelo de elevação digital tem melhorado as estimativas de T_x mensal em Catalonia, Espanha, obtendo R^2

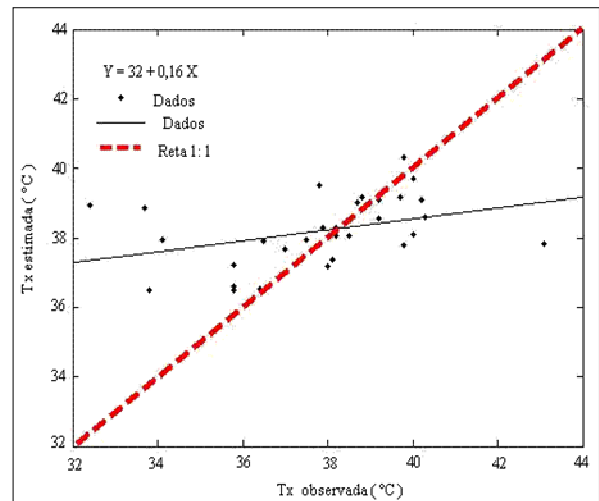


Figura 5. Dispersão entre os dados diários observados e estimados de temperatura máxima absoluta do ar (T_x).

Os erros nas estimativas da T_x baseadas somente em fatores geográficos indicam que mais fatores e elementos climáticos interferem na estimativa de T_x absoluta diária. As variações em T_x com a elevação do local estão associadas ao aspecto (exposição da encosta de uma montanha aos raios solares), inclinação do terreno, cobertura e tipo de vegetação, condutividade térmica do solo, umidade do ar e do solo, cobertura de nuvem e flutuações diárias de radiação solar (TAYLOR, 1976; ACKERMAN; KNOX, 2003). Linacre (1982) tem analisado os resultados de 16 publicações científicas interna-

cionais sobre os efeitos da altitude na amplitude térmica diária do ar. O autor constatou que a amplitude térmica aumenta entre 0 a 200 m e diminui entre 750 a 3.400 m. Pesquisas realizadas por Lopes e Valeriano (2009) na Serra da Mantiqueira-SP mostraram que a adição de cobertura de nuvens reduziu brusca-mente os valores estimados de Tx diária sobre campos e matas. Estudos realizados por Linacre e Geerts (2002) mostraram que a temperatura do ar decresce ao quadrado com a latitude devido à combinação de dois fatores do ângulo zenital solar: a obliquidade dos raios solares e o aumento do caminho óptico da atmosfera.

O mapa temático das Tx absolutas diárias é mostrado na Figura 6. A Tx absoluta diária variou entre 31 a 42 °C. Observa-se que o mapa apresenta grande descontinuidade espacial na Região Centro-Oeste Brasileiro, mostrando que a equação não apresenta valor semelhante em torno do limite entre regiões, fato evidenciado por Valeriano e Picini (2000) na espacialização de temperaturas do ar, para duas regiões distintas do estado de São Paulo. Notou-se, ainda, que as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores altitudes e suas proximidades a linha do equador proporcionam elevações nas Tx absolutas diárias. À medida que nos afastamos da linha do equador em direção ao sul, as altitudes aumentam, mas não se verifica uma diminuição da Tx absoluta. A latitude não afetou a variação da Tx absoluta, fato este observado nos meses de verão (dezembro e janeiro) por Valeriano e Picini (2000) e Pezzopane et al. (2004) em São Paulo, com exceção da área central do estado da Bahia que apresentou Tx baixa, fato observado também por Medeiros et al. (2005). Hijmans et al. (2005) afirmam que a qualidade de um mapa depende da variabilidade climática da região de interesse, qualidade e densidade das observações.

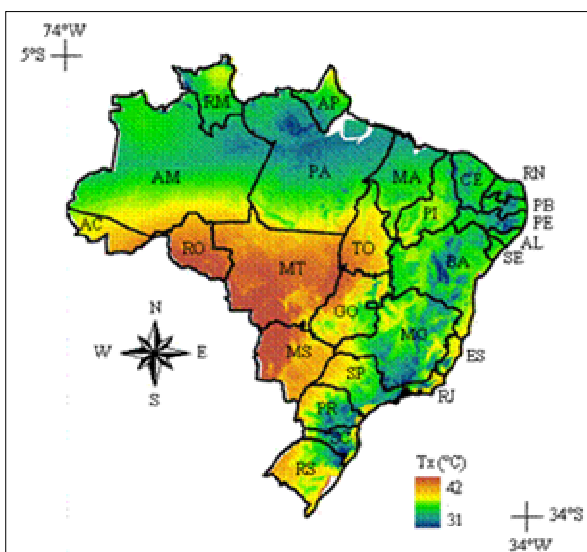


Figura 6. Mapeamento da temperatura máxima absoluta diária do ar (Tx) usando o modelo de regressão múltipla e dados orbitais para o território brasileiro.

Os efeitos da variabilidade da altitude na direção leste-oeste minimizam as Tx absolutas diárias próximas do litoral brasileiro. Mas, isso não é verificado nitidamente em algumas regiões da costa litorânea. Para Zheng e Basher (1996), as equações de regressões multivariadas envolvem meramente interpolações estatísticas entre valores observados e ignoram os processos físicos que envolvem as brisas marítimas e terrestres. De acordo com Linacre (1982), a extensão da brisa marítima afeta a amplitude térmica para locais situados até 200 km da costa litorânea e elevados próximo dos 200 m de altitude. A brisa marítima produz forte estabilidade térmica sobre o continente, pois ela é mais fria e úmida durante o dia. O ar frio em contato com a superfície terrestre diminui a magnitude das máximas absolutas, enquanto que a umidade reduz o resfriamento radiativo noturno, aumentando às mínimas absolutas.

A variabilidade na Tx e Tn absolutas em altitude superior a 700 m pode estar relacionada aos fortes ventos experimentados pelas encostas das montanhas, especialmente a barlavento que reduz a amplitude térmica. Além disso, a cobertura de nuvens também influencia na estimativa de Tx e Tn absolutas. Os ventos fortes retiram calor da superfície do solo diminuindo as máximas absolutas e elevando as mínimas pelo processo de condução e impedindo a formação de inversão térmica à noite. As nuvens reduzem o resfriamento noturno e aquecimento diurno da superfície, reduzindo a amplitude térmica (Oke, 1982). Em adição, a formação de ventos locais devido a diferenças termais entre vale e montanha e as flutuações diárias da radiação solar incidente em condições de céu claro ou de céu nublado afetam a espacialização da temperatura do ar, principalmente das máximas Tx (Taylor, 1976, Oke, 1987). Cavalcanti et al. (2006) observaram que na Bahia, as temperatura do ar (mínima, máxima e média) apresentaram menores correlações, cujo resultado sugere que a advecção de calor sensível no sistema oceano-terra (isto é, o aquecimento ou esfriamento no continente) é afetado pela distância entre as áreas inter-relacionadas e pela circulação local de ventos.

CONCLUSÕES

A equação ajustada para a temperatura mínima absoluta do ar (Tn) mostra boa concordância com os dados observados não apresentando tendências de superestimar ou subestimar as mínimas absolutas do ar. Ela pode ser utilizada para a estimativa da Tn para todos os estados brasileiros. Para as máximas absolutas do ar, os resultados não são satisfatórios;

Em uma primeira aproximação, o mapa de Tn pode ser usado para estabelecer os limites de qualificação de dados de temperatura do ar medidos em estações meteorológicas em qualquer estado bra-

sileiro, haja vista que não existe mapa desta variável utilizada para esse objetivo;

O mapa de T_n pode ser utilizado para subsidiar pesquisas agrometeorológicas em regiões onde esses dados não são disponíveis. O mapa temático da temperatura máxima absoluta do ar (T_x) não deve ser utilizado, pois outras variáveis ou fatores climáticos estão interferindo na estimativa da T_x .

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, S. A.; KNOX, J. A. **Meteorology: understanding the atmosphere**. Toronto: Brooks/Cole, 2003. 486 p.
- ASTOLPHO, F. et al. Regionalização de riscos de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais para o estado de São Paulo com base em modelos probabilísticos e digitais de elevação. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p.139-148, 2005.
- BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MORAES, J. F. L. de. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 618-624, 2010.
- CÂMARA G. et al. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CAMARGO, M. B. P. et al. Probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 161-168, 1993.
- 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**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2448-2456, 2008.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. de P. R.; de SOUZA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normas climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretária Nacional de Irrigação, 1992. 84 p.
- EFRON, B. **The jackknife, the bootstrap and other resampling plans**. Philadelphia: Society for industrial and applied mathematics, 1982. 92 p.
- FERREIRA, M. et al. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Centro Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 21-52, 1971.
- HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, **International Journal of Climatologically**, v. 25, n. 9, p. 1965-1978, 2005.
- LADO, L. R. et al. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agrícola**, São Paulo, v. 64, n. 5, p. 460-467, 2007.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1986. 319 p.
- LINACRE, E. The effect of altitude on the daily range of temperature. **Journal of Climatology**, v. 2, n. 4, p. 375-382, 1982.
- LINACRE, E.; GEERTS, B. Estimating the annual mean screen temperature empirically, **Theoretical and Applied Climatology**, v. 71, n. 2, p. 43-61, 2002.
- LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M. Regimes de temperatura do ar em região montanhosa. **Revista Geográfica Acadêmica**, Manaus, v. 3, n. 2, p. 54-67, 2009.
- MEDEIROS, S. S. et al. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.
- MOURA, G. B. A. et al. Estimativas das condições hídricas em Ipojuca, região canavieira de Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 71-76, 2010.
- MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A. Estimativa das temperaturas do ar utilizando redes neurais artificiais, para a Região Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 181-188, 2008.
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J. M. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques, **International Journal Of Climatology**, v. 20, n. 1, p. 1823-1841, 2000.
- OKE, T.R. **Boundary layer climates**, London and New York: Methuen, 1987. 435 p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Espacialização da temperatura do ar no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 151-158, 2004.

RABUS, B. M.; EINEDER, A. R.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, **Photogrammetry Remote Sensing**, v. 57, n. 1, p. 241-262. 2003.

ROUCOU, P. et al. Vertical motion, changes to Northeast Brazil rainfall variability: A GCM simulation. **International Journal of Climatology**, v. 16, n. 1, p. 879-891, 1996.

TAYLOR, J. A. Upland climates. In: CHANDLER, T. J.; GREGORY, S. (Ed.). **The climate of the British Isles**. London: Longman, 1976. 264 p.

VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão Digital 2. 2006, 449 p.

ZHENG, X. G.; BASHER, R. E. Spatial modeling of New Zealand temperature normals. **International Journal Climatological**, v. 16, n. 2, p. 207-219, 1996.