

Radiação de onda longa descendente usando o produto MOD07

Juarez Dantas de Souza¹, José Fideles Filho²

^{1,2} Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/CCT), Campina Grande - PB, Brasil
¹juarezdantas@hotmail.com, ²jfidelesfilho@hotmail.com.

Abstract. The downward longwave radiation has been estimated by various authors using data from the atmospheric profile provided by the MOD07 product, derived from the MODIS sensor, aboard the Terra satellite. To use the MOD07 data it is interesting to fit the data near the surface according to the local altitude. The aim of this work is to obtain the downward longwave radiation with good accuracy using the MOD07 product. The air temperature and the dew point temperature, near surface, were adjusted according to the variation of pressure with the local altitude, assuming a standard atmosphere and the digital elevation model - DEM from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). The methodology was applied in areas covered by Caatinga in Northeastern Brazil. The results were compared with measurements at the surface, and were underestimated at the site where the surface pressure is 958 mb, presenting a root mean square error of 13.0 W.m⁻² with adjustment in the atmospheric profile and 14.8 W.m⁻² without adjustment in the atmospheric profile. Otherwise, the results were overestimated where the surface pressure is 980 mb presenting errors of 25.0 and 26.4 W.m⁻² with and without adjustment, respectively. On an area of 143 x 121 pixels with 1 km of resolution, the difference between the estimated values with and without adjustment of atmospheric profile varied between - 11.0 W.m⁻² and 33.0 W.m⁻², which justifies the need to adjust the atmospheric profile provided in MOD07 product.

Palavras-chave: adjustment, atmospheric profile, MODIS sensor, ajuste, perfil atmosférico, sensor MODIS.

1. Introdução

A radiação de onda longa descendente (ROLD) é uma importante componente do balanço de radiação. Ela pode ser estimada em função da temperatura do ar e da emissividade próximas a superfície, usando dados de satélite. Nesse sentido os produtos do sensor MODIS (*MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite Terra da missão *Earth Observing System* (EOS), lançado em dezembro de 1999 e mantido pela NASA, têm sido bastante utilizados (Tang and Li, 2008; Ryu et al., 2008; Bisht and Bras, 2010; Wang and Liang, 2009; Wang et al., 2012), dentre eles, o produto do perfil atmosférico (MOD07). Esse perfil apresenta dados de temperatura em vinte níveis de pressão: 1000, 950, 920, ..., 5 mb, com resolução de 5 km. Observa-se, que ao usar esses dados para obter a temperatura do ar próxima à superfície em determinado local, se faz necessário fazer uma extrapolação ou interpolação dos dados de temperatura disponibilizados no MOD07. Bisht and Bras (2010), obtém a temperatura do ar próxima a superfície, aqui denominada temperatura ambiente, com resolução de 1 km extrapolando a temperatura do nível adjacente a superfície (1000 mb, 950 mb) do MOD07, através de uma relação linear entre a temperatura e a pressão. Para tanto, utilizaram a equação hidrostática, o *lapse rate* de uma atmosfera padrão (6,5 K.km⁻¹) e o produto MOD03 como referencial de altitude. Neste trabalho, o *lapse rate* é deduzido do produto MOD07, utilizando uma atmosfera padrão e o modelo de elevação digital - MDE da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

O objetivo deste trabalho é obter dados confiáveis da radiação de onda longa descendente (ROLD) através de produtos MOD07, com acurácia entre 20 e 30 W.m⁻² utilizando produtos MODIS.

2. Metodologia

Foram utilizadas medições a superfície na região Nordeste do Brasil, nos pontos de prova ilustrados na Figura 1a, localizados em Quixeré no estado do Ceará – QUI, (5°04'35" S; 37°51'54" W), e São João do Cariri no estado da Paraíba – SJC, (07°22'57" S; 36°31'38" W). Em QUI foram realizadas medições durante um período de 12 meses, entre as quais, foram selecionados os dias: 253, 257, 286 e 293 de 2005 e, 11, 153, 201 e 217 de 2006. E em

SJC foram realizadas medições durante um período de 6 meses sendo selecionado os dias: 190, 204, 220, 305, 321 e 327 de 2012. Na Figura 1b ilustra-se uma imagem de 143 x 121 pixels com resolução de 1 km na região de QUI, na qual, a pressão a superfície varia entre 920 e 1010 mb. E na Figura 1c uma imagem de 222 x 193 pixels com resolução de 500 m na região de SJC, onde a pressão a superfície varia entre 920 e 970 mb. Os pontos de prova correspondem ao centro dos círculos nas Figuras 1b e 1c. Nesses pontos, a superfície em QUI é uma área irrigada com Bananeiras cercada por Caatinga e em SJC uma área de Caatinga.

A pressão a superfície (P_s) foi estimada a partir da expressão:

$$P_s = 1013,25(1 - 0,025h)^{5,3}, \quad (1)$$

onde h (km) é a altura fornecida pelo modelo de elevação digital da SRTM, disponível no site: <<http://srtm.csi.cgiar.org/>>, acessado em 18/11/2013. A Equação 1 é semelhante à estabelecida para uma atmosfera padrão (IRIBARNE, 1985). Os coeficientes 0,025 e 5,3 foram obtidos de acordo com variações do perfil atmosférico do produto MOD07.

A temperatura ambiente, $T_{a(amb)}$, foi estimada mediante uma linearização do perfil atmosférico MOD07, de onde resultou na seguinte Equação:

$$T_{a(amb)} = T_{a(MOD07)} + \frac{dT}{dP}(P_s - P_{MOD07}) \quad (2)$$

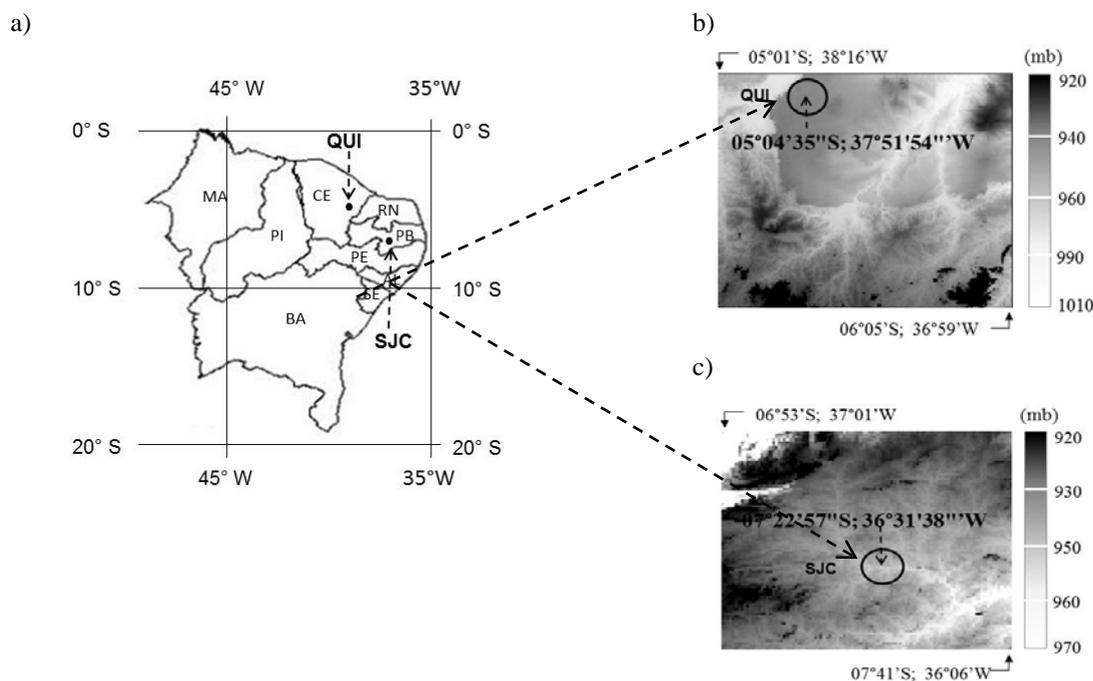


Figura 1. Locais de prova utilizados para realização de medições. Quixeré – CE (QUI), e São João do Cariri - PB (SJC).

Em que: $T_{a(MOD07)}$ e P_{MOD07} (mb) são a temperatura e a pressão, respectivamente, referente ao nível adjacente a superfície, do perfil atmosférico MOD07; dT/dP corresponde à taxa de variação da temperatura com a pressão, observada entre os níveis de 850 e 1000 mb do perfil atmosférico MOD07, e P_s é a pressão à superfície estimada pela Equação 1. A Equação 2

também se aplica para estimar a temperatura do ponto de orvalho próxima a superfície, $T_{d(amb)}$.

A ROLD foi estimada conforme Ryu et al. (2008) onde:

$$ROLD = \epsilon_a \sigma (T_{a(amb)})^4 \quad (3)$$

Em que $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$ é a constante de Stefan-Boltzmann, ϵ_a é a emissividade do ar estimada conforme a expressão:

$$\epsilon_a = 1 - (1 + \xi) \exp(-\sqrt{1,2 + 3\xi}), \text{ com } \xi = \frac{46,5e_a}{T_{a(amb)}} \quad (4)$$

Em que e_a (hPa) é a pressão do vapor saturado relativo a temperatura do ponto de orvalho (T_d), dada por:

$$e_a = 6,11 \exp \left[\frac{19,59(T_{d(amb)} - 273,3)}{T_{d(amb)}} \right] \quad (5)$$

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2, mostram-se resultados para o ponto de prova em QUI. Na Figura 2a, o erro médio quadrático (EMQ) na diferença entre a temperatura do ar medida, $T_{a(med)}$, e a estimada, $T_{a(amb)}$, é superestimado em 2,0 K e na diferença: $T_{a(med)} - T_{a(MOD07)}$ em 2,4 K. Na Figura 2b, mostram-se resultados da ROLD, onde o EMQ estimado com a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$ são 25,0 e 26,4 W.m^{-2} , respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Wang and Liang (2009) e Wang et al. (2012) que encontraram erros entre 20 e 30 W.m^{-2} . Todavia, vale salientar que no ponto de prova a pressão observada a superfície é de 980 mb, a estimada com a Equação 1 é 995 mb e a fornecida pelo MOD07, $P_{s(MOD07)}$, é superior a 1000 mb. Nesse caso a $T_{a(MOD07)}$ corresponde ao nível de 1000 mb, e como a diferença entre a P_s e a $P_{s(MOD07)}$ é pequena, também é pequena a diferença entre a $T_{a(MOD07)}$ e a $T_{a(amb)}$ estimada pela Equação 2. Em consequência, na mesma proporção, observam-se as diferenças na radiação de onda longa descendente ROLD.

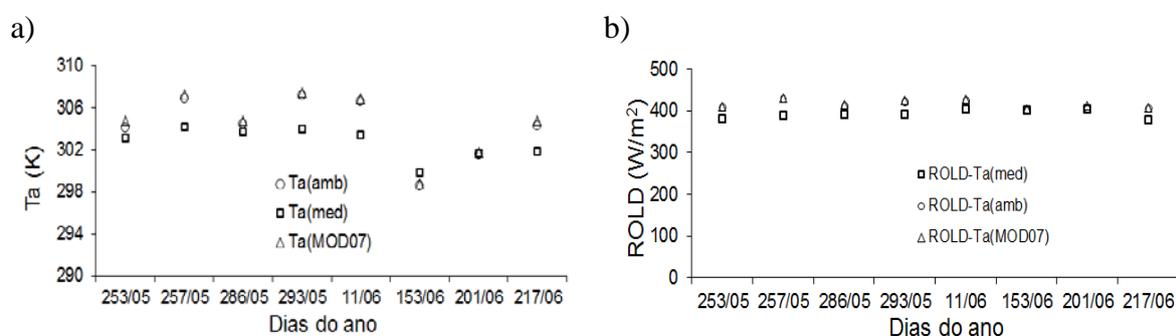


Figura 2. Comparação com medições à superfície em QUI. a) Dados da temperatura do ar e b) Radiação de onda longa descendente.

Na Figura 3a, ilustram-se a média da diferença: $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$, referente aos dias de medições em QUI. No local de prova, e em toda área de mesmo nível de pressão, a diferença

é próxima a -1 K. No entanto, nas demais áreas a diferença aumenta, com uma frequência muito alta em 2, 3 e 4 K, conforme a Figura 3b. Em consequência aumenta também a diferença entre a ROLD estimada com a $T_{a(amb)}$ e a estimada com a $T_{a(MOD07)}$, ilustrada nas Figuras 4a e 4b. Nos resultados ilustrados nas Figuras 3 e 4, observam-se: 1º) a diferença $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$ tende a +5 K na região onde $P_{MOD07} = 950$ mb e a P_s varia entre 970 e 1000 mb, em consequência a diferença na ROLD tende a +33 $W.m^{-2}$; 2º) a diferença $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$ tende a 0,0 K na região onde $P_{MOD07} = 1000$ mb e a P_s varia entre 1000 e 1010 mb, com a diferença na ROLD tendendo a 0 e, 3º) a diferença $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$ tende a -1,8 K na região onde $P_{MOD07} = 1000$ mb e a P_s varia entre 970 e 1000 mb, com a diferença na ROLD tendendo a -11,0 $W.m^{-2}$. Portanto, em cada pixel, quanto maior a diferença entre a pressão a superfície e a pressão do primeiro nível do perfil atmosférico MOD07, maior a diferença entre a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$, comprometendo a precisão no cálculo da ROLD estimada com a $T_{a(MOD07)}$.

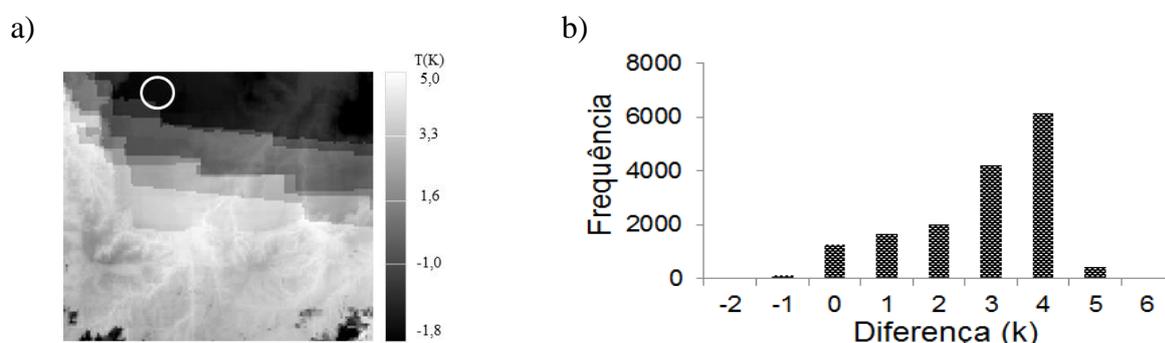


Figura 3. Temperatura média durante os dias de medição em QUI. a) Diferença entre a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$, b) Histograma da diferença entre a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$.

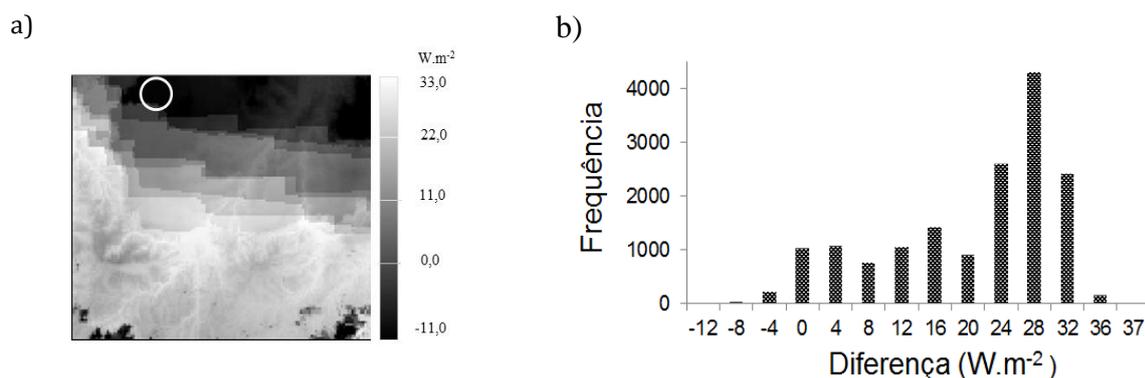


Figura 4. ROLD, média da diferença durante os dias de medição em QUI. a) Diferença entre a ROLD estimada com a $T_{a(amb)}$ e estimada com a $T_{a(MOD07)}$, b) Histograma da diferença.

Na Figura 5, mostram-se resultados para o ponto de prova em SJC. Na Figura 5a, o EMQ na diferença $T_{a(med)} - T_{a(amb)}$ é 2,5 K e na diferença $T_{a(med)} - T_{a(MOD07)}$ é 2,7 K. Na Figura 5b, mostram-se resultados da ROLD, onde o EMQ estimado com a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$ são 13,3 e 14,8 $W.m^{-2}$, respectivamente. Observa-se que os resultados obtidos em SJC são mais precisos que os obtidos em QUI. Em SJC a pressão observada a superfície é de 958 mb, a

pressão estimada com a Equação 1 é 954 mb e a $P_{S(MOD07)}$ é superior a 955 mb. Nesse caso a $T_{a(MOD07)}$ corresponde ao nível de 950 mb, e como a diferença entre a P_s e a $P_{S(MOD07)}$ é menor que 5 mb, resulta um diferença menor que 0,3 K entre a $T_{a(MOD07)}$ e a $T_{a(amb)}$. Proporcional a essas diferenças, são as diferenças entre a ROLD estimada com essas temperaturas.

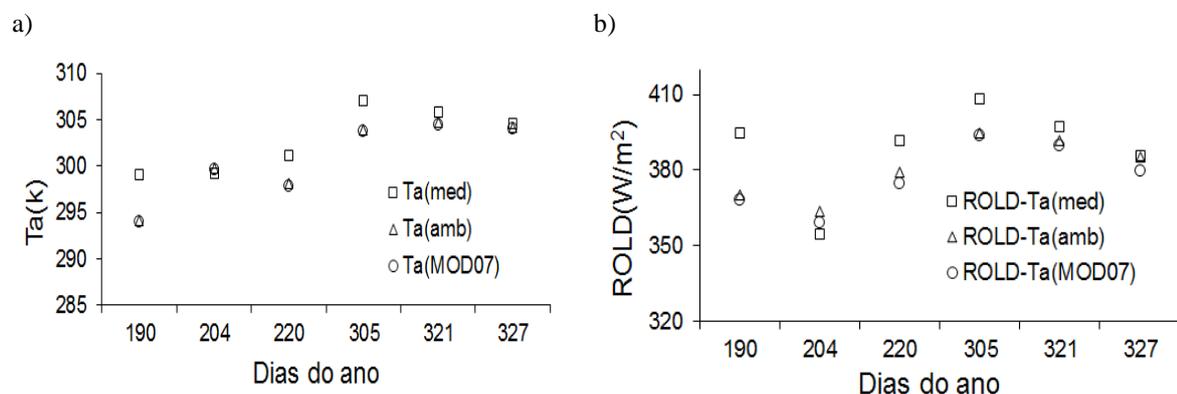


Figura 5. Comparação com medições à superfície em SJC. a) Dados da temperatura do ar e b) Radiação de onda longa descendente.

Na Figura 6a ilustram-se a média da diferença, $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$, referente aos dias de medições em SJC. E na Figura 6b a frequência das diferenças registradas na Figura 6a. Observa-se que em 95% dos pixels, a diferença $T_{a(amb)} - T_{a(MOD07)}$ oscila entre -1 e +1 K. Consequentemente a diferença relativa a ROLD varia entre -7 e 5 $W.m^{-2}$, conforme ilustra-se

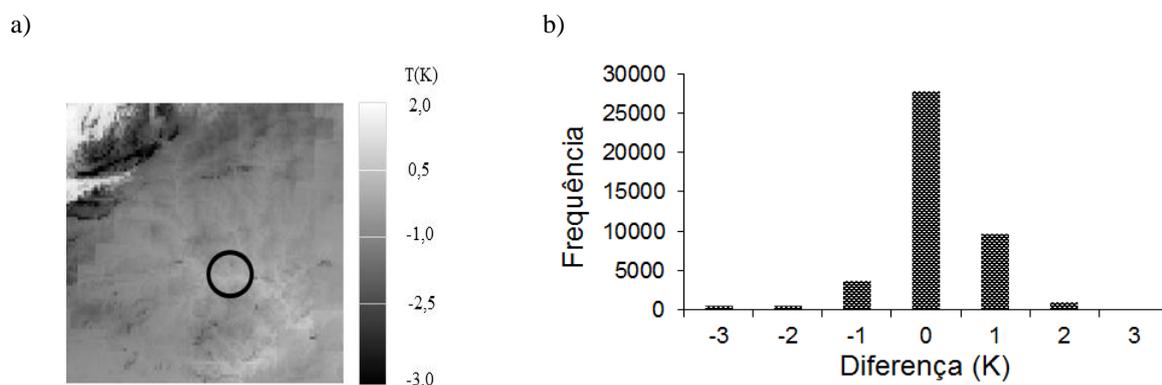


Figura 6. Temperatura média durante os dias de medição em SJC. a) Diferença entre a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$, b) Histograma da diferença entre a $T_{a(amb)}$ e a $T_{a(MOD07)}$.

nas Figuras 7a e 7b. É interessante observar que a $P_{S(MOD07)}$ na região de SJC, sobre a área ilustrada na Figura 6a, varia entre 952 e 970 mb, por conseguinte a P_{MOD07} corresponde ao nível de 950 mb. Por outro lado a P_s estimada pela Equação 1 varia entre 916 e 976 mb. Consequentemente nos pixels onde a P_{MOD07} é maior que a P_s a $T_{a(amb)}$ é menor que a $T_{a(MOD07)}$. Portanto, os valores negativos apresentados nas Figuras 7a e 7b são originados pela superestimação do perfil atmosférico nas camadas próximas a superfície.

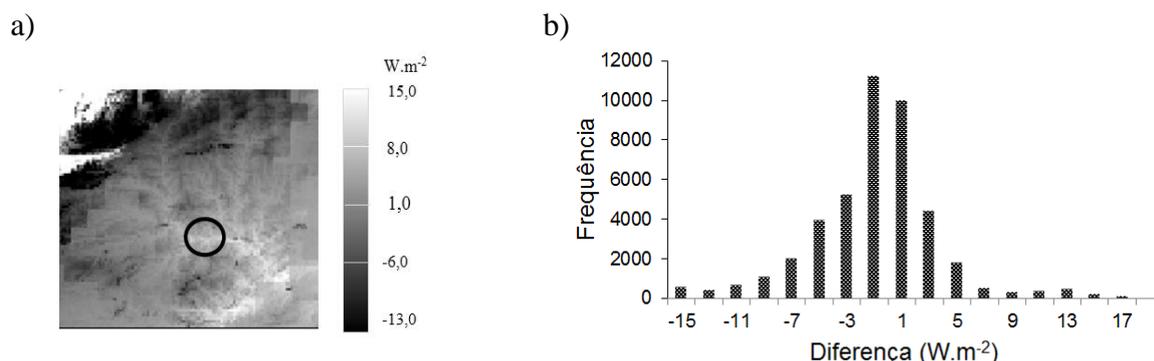


Figura 7. ROLD, média da diferença durante os dias de medição em SJ. a) Diferença entre a ROLD estimada em função da $T_{a(amb)}$ e da $T_{a(MOD07)}$, b) Histograma da diferença.

4. Conclusões

A radiação de onda longa descendente pode ser estimada, com boa precisão, utilizando apenas dados do perfil atmosférico próximo à superfície.

Os resultados apresentados neste trabalho, mostram que a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura do ar no nível mais próximo da superfície do produto MOD07 pode resultar num erro de aproximadamente 33 W.m^2 , no cálculo da radiação de onda longa descendente. Portanto, em áreas menores que 5 km^2 , a utilização dos dados de temperatura fornecidos pelo produto MOD07 precisam ser ajustados ao nível da pressão local.

Para conclusões mais acuradas, é necessária a utilização de mais dados e mais observações em superfícies com uma variação maior de altitude, além do mais, um estudo mais apurado também deve levar em conta algumas incertezas referentes ao georreferenciamento exato da imagem MOD07.

Referências Bibliográficas

- Bisht, G. and Bras, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing Environment**, 114(7), 1522 -1534, 2010.
- Iribarne, J. V. **Atmospheric thermodynamics**. 2.ed. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. 259p.
- Ryu, Y.; Kang, S.; Moon, S-ki and Kim, J. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. **Agr Forest Meteorology**, 148, 1538 - 1552, 2008.
- Tang, B. & Li, Z. L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud free data. **Remote Sensing Environment**, 112, 3482-3492, 2008.
- Wang, T.; Yan, G.; and Chen, L. Consistent retrieval methods to estimate land surface shortwave and longwave radiative flux components under clear-sky conditions. **Remote Sensing Environment**, 124, 61-71, 2012.
- Wang, W. and Liang, S. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing Environment**, 113, 745-754, 2009.