

## Resultados preliminares da utilização de dados do sensor MODIS para detecção de eventos frios na região Sul do Brasil

Marta Eichemberger Ummus<sup>1</sup>  
Nelson Jesus Ferreira<sup>1</sup>  
Denilson Ribeiro Viana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos –SP, Brasil  
{marta, denilson}@dsr.inpe.br; nelson@cptec.inpe.br

**Abstract.** Pronounced declines of temperature in Southern Brazil may lead to several phenomena that can drive to serious consequences for crops and farms, as for instance frosts. One of the most important parameters to understand these occurrences is Land Surface Temperature (LST), once it is the principal indicator of energy balance. Thus, LST data obtained through remote sensing is an important tool for analyses like that, once they can extend over areas not covered by conventional stations for collecting meteorological data. The aim of this study is to correlate LST data estimated by MOD11 product of MODIS sensor aboard Terra platform and data recorded by data collecting landing-stages of National Meteorology Institute (INMET). Besides it was evaluated the ability of remote sensing data, specifically MODIS sensor, to detect cold events. Therefore Root Mean Squared Error (RMSE) and Bias values were calculated so as to regard three perspectives: latitude, geomorphological subdivision and overpass time of sensor. Achieved results show that although there are significant differences between observed and estimated data, RMSE and Bias values are not so high, what shows the feasibility of the use of MODIS data to detect and analyze cold events.

**Palavras-chave:** MOD11 product, cold events, Land Surface Temperature, eventos frios, Plataforma de Coleta de Dados, Temperatura de Superfície Terrestre

### 1.Introdução

Os acentuados declínios de temperatura na região sul do Brasil podem acarretar consigo fenômenos adversos que por sua vez podem gerar graves conseqüências para a agricultura e pecuária, como por exemplo, as geadas. Um dos principais parâmetros para o entendimento destes fenômenos é a Temperatura de Superfície Terrestre (TST), uma vez que ela é o principal indicador do balanço de energia (Sobrino e Kharraz, 2003). Atualmente, os dados obtidos via sensoriamento remoto constituem uma importante fonte de obtenção da TST, uma vez que, dada suas relativamente altas resoluções espacial e temporal, são capazes de cobrir áreas nem sempre abrangidas por estações convencionais de coleta de dados meteorológicos.

Neste sentido, diversos trabalhos científicos têm analisado a estimativa da TST por meio do sensoriamento remoto termal. Dentre eles destacam-se os trabalhos de Dash et al. (2002); Sobrino, Li e Becker (1996); Ulivieri et al. (1994); Prata (1994); Kerr et al. (1992) e Becker e Li (1990). De maneira geral, a TST pode ser entendida como a radiância emergente dos objetos da superfície, porém, em sensoriamento remoto, pode-se defini-la como a “temperatura radiométrica da superfície” (Dash et al., 2002), considerando que ela corresponde ao conjunto total de radiação emitida por um determinado pixel direcionada a um sensor.

Frente a isso, para a validação dos dados obtidos via sensoriamento remoto de média resolução é necessário entendermos os processos genéticos de variação espacial e temporal dos elementos climáticos. Neste sentido, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) indicam que estas variações devem-se à ação dos aspectos dinâmicos do meio oceânico e atmosférico em conjunto com as características geográficas estáticas diversificadoras da paisagem, como a latitude, a altitude o relevo, a vegetação, a continentalidade e maritimidade e as atividades humanas. Como não se utilizou de uma imagem rica em detalhes, optou-se por analisar a correlação dos dados sob três perspectivas: à da latitude, uma vez que a distribuição geral da

temperatura sobre a superfície terrestre depende claramente das variações na intensidade e duração da insolação, a do horário de passagem do sensor, considerando que as condições atmosféricas entre os dois horários são bem distintas e em relação à compartimentação geomorfológica, uma vez que a altitude, as estruturas geológicas e a morfologia do relevo imprimem numa paisagem características únicas que podem subsidiar o tipo de cobertura e uso sobre ela.

Frente ao exposto, configura-se como principal objetivo avaliar o potencial do sensor MODIS para a detecção dos declínios acentuados de temperatura na região sul do Brasil por meio da análise de sua correlação com valores reais das Plataformas de Coleta de Dados (PCD's).

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Plataformas de Coleta de Dados do INMET

O INMET opera uma rede de coleta de dados de temperatura de superfície por meio de estações automáticas distribuídas por todo o território nacional e disponibiliza gratuitamente seus dados no endereço eletrônico <http://www.inmet.gov.br/sonabra/sonabra.html>. A etapa inicial desta pesquisa consistiu em selecionar os eventos mais significativos referentes à ocorrência de temperaturas baixas na região sul do Brasil, entre os meses de março a agosto de 2008. Para tanto, foram obtidos os dados horários de temperatura do ar das PCD's do INMET no período citado. Analisando-se estes dados, foi efetuada uma primeira triagem, que consistiu em selecionar os dias mais frios, utilizando-se como principal parâmetro temperaturas abaixo de 6 graus Celsius (°C) em todos os horários. A localização geográfica da rede de estações utilizadas pode ser vista na Figura 1 e a identificação delas na Tabela 1.

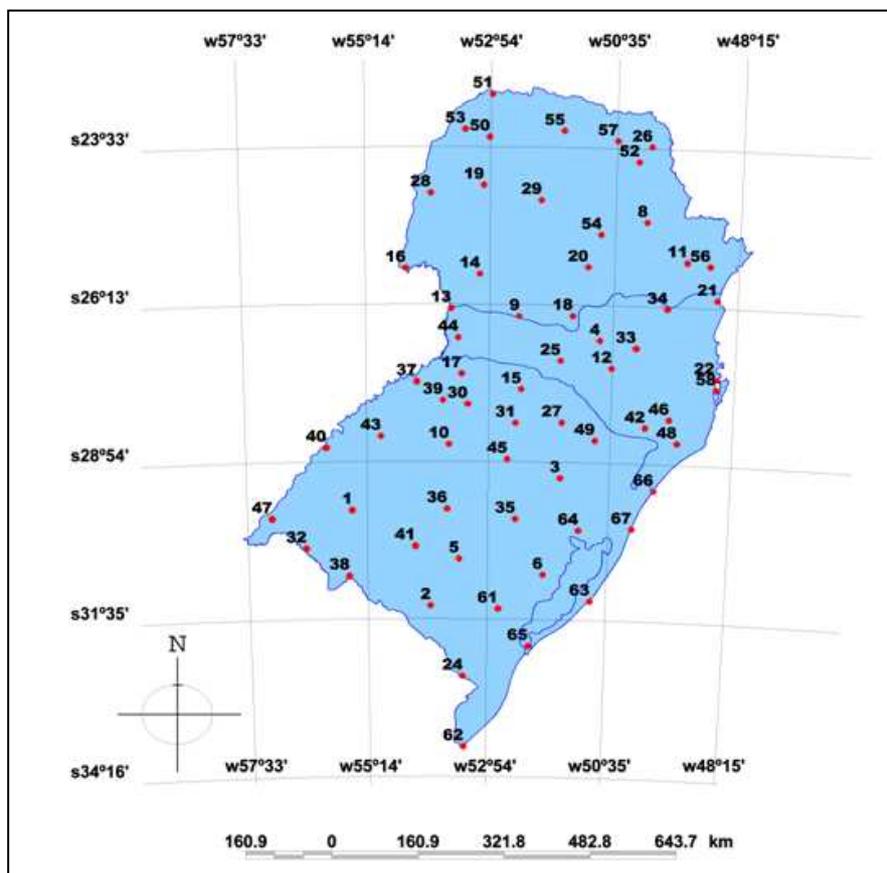


Figura 1. Localização da rede de PCD's

Tabela 1. Identificação da rede de PCD's

| ID | Estação                 | Estado | ID | Estação               | Estado |
|----|-------------------------|--------|----|-----------------------|--------|
| 1  | Alegrete                | RS     | 32 | Quaraí                | RS     |
| 2  | Bagé                    | RS     | 33 | Rio do Campo          | SC     |
| 3  | Bento Gonçalves         | RS     | 34 | Rio Negrinho          | SC     |
| 4  | Caçador                 | SC     | 35 | Rio Pardo             | RS     |
| 5  | Caçapava do Sul         | RS     | 36 | Santa Maria           | RS     |
| 6  | Camaquã                 | RS     | 37 | Santa rosa            | RS     |
| 7  | Canguçu                 | RS     | 38 | Santana do Livramento | RS     |
| 8  | Castro                  | PR     | 39 | Santo Augusto         | RS     |
| 9  | Clevelândia             | PR     | 40 | São Borja             | RS     |
| 10 | Cruz Alta               | RS     | 41 | São Gabriel           | RS     |
| 11 | Curitiba                | PR     | 43 | São Luiz Gonzaga      | RS     |
| 12 | Curitibanos             | SC     | 44 | São Miguel D'Oeste    | SC     |
| 13 | Dionísio Cerqueira      | SC     | 45 | Soledad               | RS     |
| 14 | Dois Vizinhos           | PR     | 46 | Urubici               | SC     |
| 15 | Erechim                 | RS     | 47 | Uruguaina             | RS     |
| 16 | Foz do Iguaçu           | PR     | 48 | Urussanga             | SC     |
| 17 | Frederico Westphalem    | RS     | 49 | Vacaria               | RS     |
| 18 | General Carneiro        | PR     | 50 | Cidade Gaúcha         | PR     |
| 19 | Goioré                  | PR     | 51 | Diamante do Norte     | PR     |
| 20 | Inácio Martins          | PR     | 52 | Ibaiti                | PR     |
| 21 | Itapoa                  | SC     | 53 | Icairama              | PR     |
| 22 | Ituporanga              | SC     | 55 | Maringá               | PR     |
| 23 | Ivaí                    | PR     | 56 | Morretes              | PR     |
| 24 | Jaguarão                | RS     | 57 | Nova Fátima           | PR     |
| 25 | Joaçaba                 | SC     | 58 | Florianópolis         | SC     |
| 26 | Joaquim Távora          | PR     | 62 | Chuí                  | RS     |
| 27 | Lagoa Vermelha          | RS     | 63 | Mostardas             | RS     |
| 28 | Marechal Cândido Rondon | PR     | 64 | Porto Alegre          | RS     |
| 29 | Nova Tebas              | PR     | 65 | Rio Grande            | RS     |
| 30 | Palmeira das Missões    | RS     | 66 | Torres                | RS     |
| 31 | Passo Fundo             | RS     | 67 | Tramandaí             | RS     |

## 2.2 Dados MODIS

Após a seleção dos eventos mais frios, foram obtidas então as imagens correspondentes ao produto MOD11, com horário de passagem às 01:30 e 10:30 (horário de passagem sobre a linha do Equador) e resolução espacial de 1 km. As imagens MODIS podem ser adquiridas gratuitamente no endereço eletrônico <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> e são disponibilizadas segundo um sistema de referenciamento realizado em relação a uma grade determinada pelos planos horizontal e vertical, também denominado "Tile". Dessa forma, foram obtidas as cenas correspondentes aos "tiles" que recobrem a área de estudo (Figura 2). Optou-se por utilizar o produto MOD11L3, por ele fornecer os parâmetros principais (TST e emissividade) para detecção de eventos frios e também por estar num nível de processamento adequado para as análises que seriam feitas. Como os arquivos estão em formato *hdf*, torna-se necessária sua conversão para um formato mais amigável para os softwares mais comuns de geoprocessamento. Desse modo, a alteração do formato e da projeção destes arquivos foi realizada por meio do software *MODIS Reprojection Tool (MRTtools)* disponível em <http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/>. Como o software escolhido possuía uma limitação, foi necessário realizar a conversão da resolução radiométrica dos dados MODIS de 16 bits para 8 bits, por meio do software *Convgeotiff* (Arai, 2003).

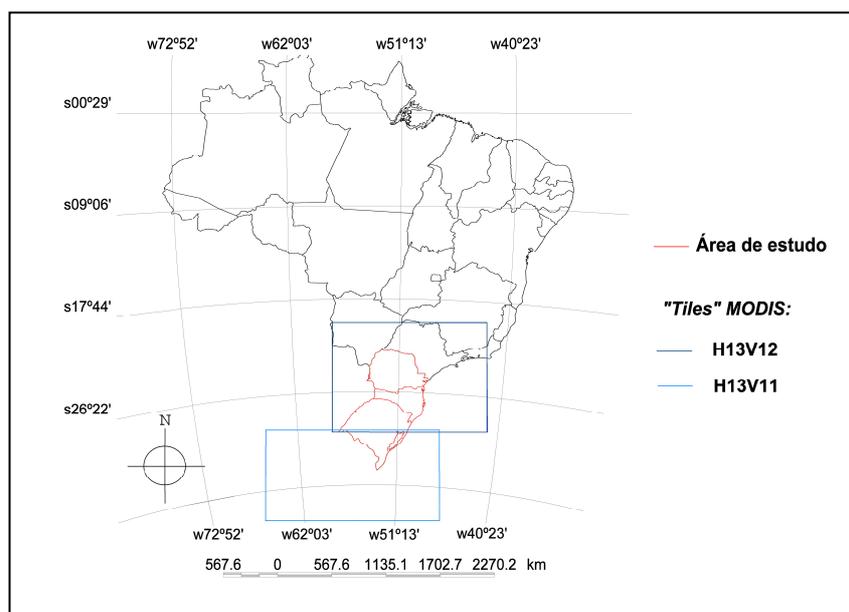


Figura 2. Localização e nomenclatura dos “tiles” das cenas do MODIS utilizadas.

A fim de se obter um maior número de amostras, utilizou-se dados de todas as estações meteorológicas nas datas selecionadas e nos respectivos horários de passagem do sensor. Como possuíamos a localização geográfica das estações, foram extraídos os valores de temperatura correspondentes ao *pixel* da imagem para cada PCD utilizando-se do software SPRING 4.3.3.

### 2.3. Compartimentação Geomorfológica

Para a confecção do mapa geomorfológico (Figura 3), foi necessário realizar uma compilação de três diferentes fontes, a fim de se padronizar a geomorfologia da região Sul do Brasil como um todo. As fontes utilizadas foram: RADAM (1986), IBGE (2006) e Ross (2006). Na Tabela 2 podemos ver as descrições de cada compartimento geomorfológico, Foram consideradas 10 amostras de PCD's para cada compartimento, escolhidas aleatoriamente.

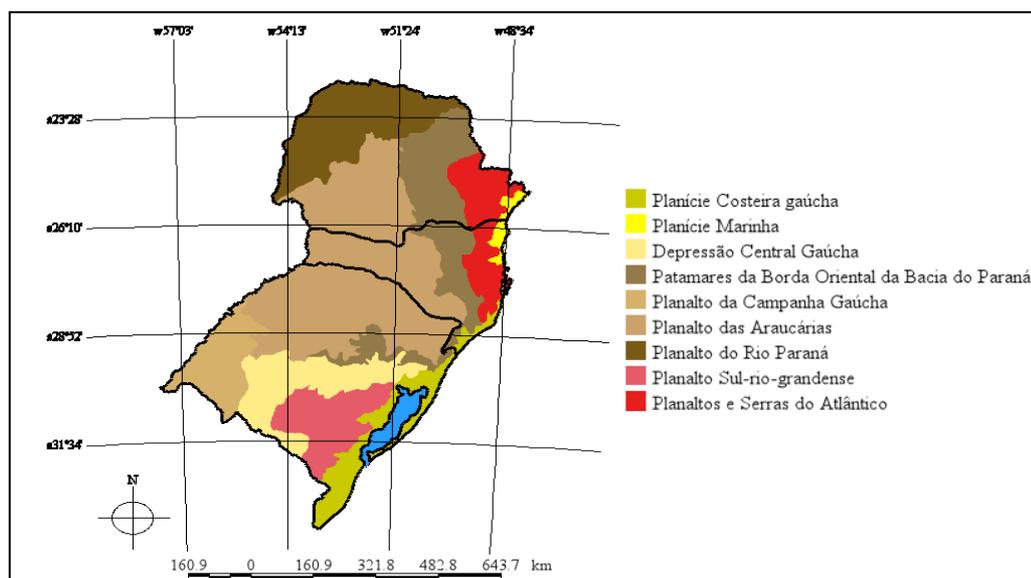


Figura 3. Mapa Geomorfológico

Tabela 2. Descrição dos compartimentos geomorfológicos

|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Planaltos e Serras do Atlântico</b>                | Relevos residuais sustentados por litologias diversas, quase sempre metamórficas, associadas as intrusivas. Apresenta serras, morros alongados, escarpas estruturais/falhas, superfícies de morros de topos convexos e depressões tectônicas cenozóicas, com altitudes variando entre 600 e 1200.         |
| <b>Planalto sul-riograndense</b>                      | Morros de topos convexos com altitudes médias variando entre 200 e 400 metros sobre rochas metamórficas e ígneas.                                                                                                                                                                                         |
| <b>Patamares da Borda Oriental da Bacia do Paraná</b> | Patamares estruturais e escarpas sobre basaltos no Rio Grande do Sul e colinas amplas de topos convexos sobre rochas sedimentares e eruptivas da bacia Sedimentar do Paraná no restante da área. Possui altitudes médias variando entre 500 e 700 metros.                                                 |
| <b>Planalto da Campanha Gaúcha</b>                    | Colinas amplas de topos convexos (coxilhas) associadas a Planície Fluvial do Rio Ibicuí com altitudes variando entre 40 e 400 metros, principalmente sobre rochas eruptivas da bacia Sedimentar do Paraná                                                                                                 |
| <b>Depressão Central Gaúcha</b>                       | Colinas de topos convexos (coxilhas) associadas à Planície Fluvial do Rio Jacuí com altitudes médias variando entre 80 e 150 metros sobre rochas predominantemente sedimentares da bacia Sedimentar do Paraná                                                                                             |
| <b>Planalto das Araucárias</b>                        | Colinas amplas a médias nas partes centrais de topos convexos com superfícies estruturais e escarpas em sua borda. Possui altitudes que variam entre 500 e 1400 metros, estando as maiores localizadas nas bordas. Predominam no embasamento geológico as rochas eruptivas da Bacia Sedimentar do Paraná. |
| <b>Planalto do Rio Paraná</b>                         | Colinas amplas com topos convexos com altitudes médias variando entre 300 e 700 metros sobre as rochas sedimentares e eruptivas da Bacia Sedimentar do Paraná                                                                                                                                             |
| <b>Planície Costeira Gaúcha</b>                       | Relevos planos com altitudes variando entre 0 e 10 metros sobre sedimentos cenozóicos inconsolidados, principalmente areias. Apresenta dunas e grandes lagunas (Lagoa dos Patos, lagoa Mirim)                                                                                                             |
| <b>Planície Marinha</b>                               | Relevos planos com altitudes variando entre 0 e 10 metros sobre sedimentos cenozóicos inconsolidados, principalmente areias. Localiza-se de forma restrita entre a linha de costa e as escarpas de falha da Serra do Mar no Paraná e em Santa Catarina                                                    |

## 2.4 Correlação dos dados

Com o intuito de garantir a coerência entre os dados obtidos via satélite e os dados reais registrados pelas PCD's, foram utilizados os valores de dois horários de temperatura de superfície terrestre, correspondentes aos horários de passagem do sensor (01:30 e 10:30). Posteriormente, foram construídos dois conjuntos de dados: o primeiro relativo aos valores de TST estimados pelo sensor MODIS e o segundo com os valores de TST observados pelas PCD's. Como critérios estatísticos na validação, a fim de se avaliar o grau de ajuste entre os valores observados e estimados, foram quantificados os erros, por meio das medidas do Viés (*bias*) e do RMSE (*Root Mean Squared Error*). O Viés indica o desvio médio dos valores estimados pelo sensor em relação aos valores observados pelas PCD's e o RMSE mede a variação dos valores estimados em relação aos valores observados. O cálculo do RMSE e do Viés podem ser feitos de acordo com as Equações 2.1 e 2.2 respectivamente.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^c (\Delta\phi_{r,i,j} - \Delta\phi_{p,i,j})^2}{n}} \quad (2.1)$$

$$Viés = \frac{r_i - p_i}{n} \quad (2.2)$$

onde: “*l*” corresponde ao número de linhas, “*c*” o número de colunas, “*p*” é o valor de temperatura observado pelas PCD's, “*r*” é o valor de temperatura estimado pelo sensor e “*n*”

número de amostras. De acordo com Mather (1999), quanto menor o valor do RMSE, melhor o ajuste do modelo. Dessa forma, uma vez constatado um RMSE baixo, o modelo estará validado. Caso os valores de RMSE sejam muito grandes, será necessário remover os *outliers*, ou seja, os pontos que ficarem muito distantes da curva. Uma baixa exatidão resultará de erros sistemáticos que contribuirão para desvios ou tendências nos resultados. É importante ressaltar que todas as correlações foram realizadas utilizando-se o mesmo número de amostras.

Os métodos utilizados na presente pesquisa podem ser observados no fluxograma contido na Figura 4.

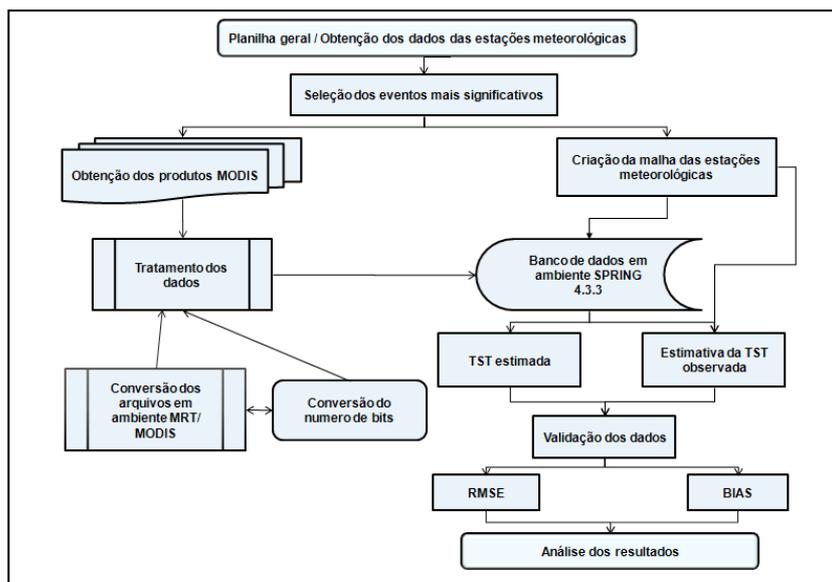


Figura 4. Fluxograma das atividades desenvolvidas

### 3.Resultados obtidos

Foram selecionadas as datas que apresentaram um maior número PCD's com temperaturas baixas, sendo as seguintes: 30 e 31/05/2008 e 11, 16, 17, 18 e 23/06/2008. Entretanto, considerando que o produto MOD11 fornece a TST somente para regiões onde não há constatação de presença de nuvens, nem todos os dados puderam ser analisados. No total foram analisadas 225 amostras para os sete dias caracterizados como eventos frios. Este número de amostras foi atingido devido a coincidência de pontos estimados pelo sensor e observados pelas PCD's nos mesmos dias, no mesmo horário e nas mesmas PCD's. Na Figura 5 podemos analisar os gráficos referentes à correlação entre os diferentes horários.

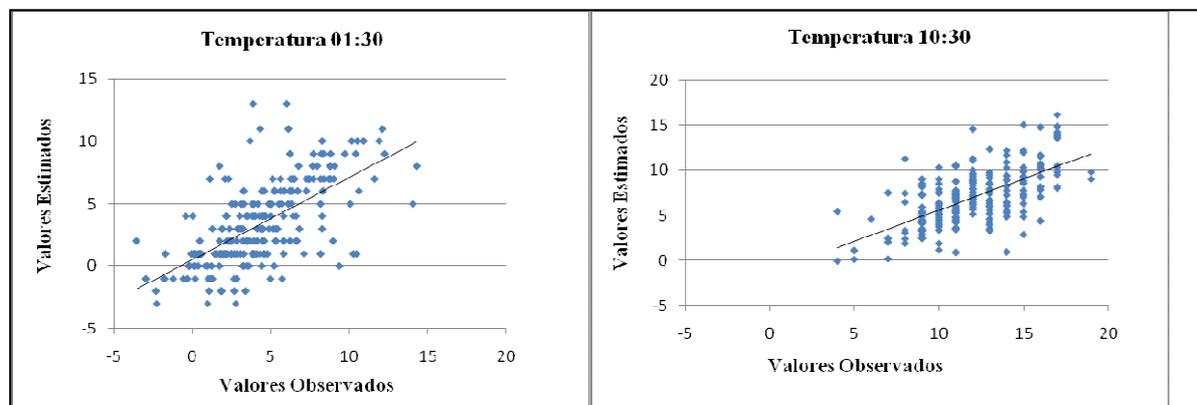


Figura 5. Gráficos de dispersão da correlação entre os dados estimados pelo sensor e observados pelas PCD's.

Na Tabela 3 podemos observar os valores referentes aos diferentes horários, como a média dos valores de RMSE e Viés. Os resultados demonstraram que os menores valores de RMSE e Viés foram os do horário de passagem do sensor à 01:30.

Tabela 3. Valores obtidos nos diferentes horários de passagem do sensor

| <b>Horário</b>         | <b>01:30</b> | <b>10:30</b> |
|------------------------|--------------|--------------|
| Temperatura MODIS (°C) | 4,31         | 12,2         |
| Temp. PCD              | 3,37         | 7,15         |
| Desvio padrão MODIS    | 0,24         | 3,15         |
| Desvio Padrão PCD      | 2,82         | 2,85         |
| RMSE                   | 0,14         | 0,34         |
| Viés                   | -0,004       | 0,02         |

Os resultados do cálculo do RMSE e Viés para cada horário podem ser visualizados na Tabela 4. A classe que apresentou um menor valor de RMSE para o horário da 01:30 foi a do Planalto da Campanha Gaúcha, enquanto que para o horário das 10:30, os valores de RMSE e Viés em geral se apresentaram mais altos, porém a classe que apresentou um menor valor foi a do Planalto Sul-rio-grandense. Essas duas classes apresentam feições de relevo mais homogêneas e médias altitudes, o que pode contribuir para uma estimativa mais confiável. De maneira geral, todos os compartimentos geomorfológicos de feições homogêneas e localizados em médias altitudes apresentaram valores mais baixos de RMSE, excetuando-se a Planície Costeira Gaúcha, que apesar de estar numa baixa altitude, apresentou valores altos de RMSE. Uma das possíveis explicações para isso é que por ser uma região de lagos, próxima do mar e considerando que a resolução espacial do MODIS é de 1 Km, a presença de parte dos corpos d'água no pixel pode interferir na resposta espectral de maneira a superestimar ou subestimar os valores de TST observados pela PCD.

Tabela 4. Valores do RMSE e Viés para os compartimentos geomorfológicos

| <b>Horário</b>                      | <b>01:30</b> |             | <b>10:30</b> |             |
|-------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|                                     | <b>RMSE</b>  | <b>VIÉS</b> | <b>RMSE</b>  | <b>VIÉS</b> |
| Compartimento geomorfológico        |              |             |              |             |
| Depressão Central Gaúcha            | 0,55         | -0,12       | 1,30         | 0,38        |
| Patamares da borda sul oriental     | 0,59         | -0,12       | 1,82         | 0,57        |
| Planalto da campanha gaúcha         | 0,47         | -0,03       | 2,23         | 0,70        |
| Planalto das Araucárias             | 0,83         | -0,19       | 1,93         | 0,61        |
| Planalto do rio Paraná              | 0,56         | -0,08       | 1,97         | 0,62        |
| Planalto sul-rio-grandense          | 0,57         | -0,15       | 1,04         | 0,33        |
| Planaltos e serras do Atlântico Sul | 0,89         | -0,04       | 2,14         | 0,67        |
| Planície Costeira Gaúcha            | 0,93         | 0,22        | 0,98         | 0,30        |

Na Tabela 5 podemos analisar os valores de RMSE e Viés obtidos em três faixas de latitude. Os resultados mostram que nas latitudes mais altas os valores de RMSE e Viés se apresentaram menores. Nessa análise, podemos ver que os resultados corroboram com os resultados obtidos na compartimentação geomorfológica, uma vez que a faixa latitudinal que apresentou melhores resultados coincide com os compartimentos geomorfológicos que apresentaram um menor valor de RMSE.

Tabela 5. Valores de RMSE e Viés para diferentes latitudes.

| Latitude (°)  | Média da temperatura (°C) | Desvio padrão | RMSE | Viés |
|---------------|---------------------------|---------------|------|------|
| 22.39 – 26.21 | 7.3                       | 2.56          | 1.43 | 1.43 |
| 26.21 – 28.9  | 3.35                      | 2.27          | 1.32 | 0.02 |
| 28.9 – 33.81  | 6.58                      | 1.54          | 0.97 | 0.01 |

#### 4. Conclusões

O presente artigo apresenta resultados iniciais e descreve a metodologia empregada para aquisição de TST por meio de dados de sensoriamento remoto. De maneira geral, percebemos que a princípio, podemos considerar dois fatores muito importantes em relação à correlação entre os valores observados e estimados, que é o relevo e o horário de passagem do sensor. Os valores de RMSE e Viés apresentaram-se em média entre 0,47 e 2,5, viabilizando, portanto a utilização dos dados MODIS para a detecção de eventos frios principalmente em regiões de relevo mais homogêneo e com menor amplitude térmica, evidenciado pelo fato dos valores de RMSE mais baixos terem sido obtidos em latitudes maiores. Entretanto, as análises devem prosseguir no sentido de avaliar quais são os fatores mais influentes na estimativa da TST por meio do sensoriamento remoto.

#### Referências Bibliográficas

- Arai, E. Software **ConvGeoTiff**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- Becker, F.; Li, Z.L. Toward a local split-window method over land surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11; n. 3; p. 369-393, 1990.
- Dash, P.; Goettsche, F. M.; Olesen, F. S.; Fisher, H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice; current trends. **International Journal of Remote Sensing**, vol 23, n. 13, p. 2563-2594. 2002
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro.
- Kerr, Y.H., J.P.; Lagouard, J.; Imbernon, I. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split-window. **Remote Sensing of Environment**, v.. 41; p. 197-209. 1992
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed Images: an introduction**. 2. ed. London: John Wiley & Sons, 292 p., 1999.
- Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2007. 206 p.
- Prata, J.A. Land Surface Temperature determination from satellites. **Advances in space research**, v. 14; n. 3; p. 15-26. March 1994.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. Ministério das Minas e Energias - Projeto RadamBrasil. Vol. 33 – Folha SH22 Porto Alegre e parte das folhas SH21 Uruguaiana e SI22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986.
- Ross, J. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 2006. 208 p.
- Sobrino, J. A. Kharraz, J. el. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n. 24, p. 5161-5182. December 2003.
- Sobrino, J.A.; Li, Z.-L.; Stoll, M.P.; Becker, F. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 2089-2114. 1996
- Uliveri, C.; Castronuovo, M.M.; Francioni, R.; Cardilho, A. A Split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. **Advances in Space Research**. v. 14; n. 3; p. 59-66. March 1994.