INPE ePrint: sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.02.19.38 v2 2010-08-04

Inferência de Perfis Atmosféricos e Concentração de Gases Minoritários: Produto, Pesquisa e Desenvolvimento no CPTEC/INPE

Jurandir Ventura Rodrigues [1], Ramon Campos Braga [1], Simone Sievert da Costa [1], Luiz Henrique Gonçalves [1], Weber Andrade Gonçalves [1], Rodrigo Augusto Ferreira de Souza [2], Glauber Lopes Mariano [1]

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 01 – 12630000 - Cachoeira Paulista - SP, Brasil
{jurandir.rodrigues, ramon.braga, simone.sievert, luiz.goncalves, weber.goncalves, glauber.mariano}@cptec.inpe.br

[2] Universidade do Estado do Amazonas - UEA
Manaus - AM, Brasil
rafsouza@uea.edu.br

ABSTRACT: Knowledge of temperature and humidity field distribution is essential for a wide variety of applications, such as meteorological weather forecast, data assimilation and nowcasting. In other to provide temperature and humidity fields, retrieval schemes base on the radiances observed by satellite have been developed and freely distributed to the meteorological centers. This work aims to show the availability of the thermodynamics profiles and gases data generated from different satellites radiances sensors (AIRS, GOES10, MODIS and HIRS). Additionally, it aims to present some preliminary results on the evaluation of clear sky sounding retrievals operationally processed at CPTEC/INPE.

Palavra-chave: Sondagens, Gases Atmosféricos, Perfis termodinâmicos

1 - INTRODUÇÃO:

Atualmente, os satélites meteorológicos têm contribuído significativamente na detecção, observação e assimilação de parâmetros atmosféricos. A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) pertence ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e gera vários produtos a partir de informações de satélites. Neste trabalho serão destacados os produtos de sondagens, os quais englobam perfis verticais de temperatura, umidade e concentração de gases atmosféricos. O objetivo é apresentar os produtos operacionais, a disponibilidade de dados e área de cobertura dos satélites. No decorrer desse trabalho serão mencionados alguns resultados do Grupo de Sondagens do CPTEC/INPE, que trouxeram números importantes na avaliação dos produtos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A Tabela 1 mostra resumidamente as especificações dos satélites, sensores e Modelo de Inversão utilizados na DSA para inferência dos perfis termodinâmicos. As antenas para recepção de dados dos satélites AQUA e TERRA estão localizadas em Cuiabá-MS, e aquelas dos satélites NOAA18 e GOES situam-se em Cachoeira Paulista-SP, na DSA. As seções 2.1 – 2.5 apresentam breve descrição de cada produto operacional.

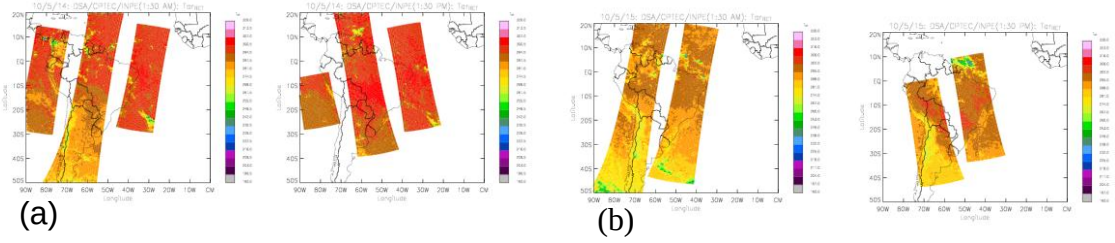
Tabela 1 – Sensores dos satélites e esquema operacional utilizados na inferência de perfis verticais no CPTEC/INPE.

Características técnicas	**Sensor de inferência de sondagens e algoritmos de processamento**					
Satélite Sensor	AQUA AIRS	NOAA18 HIRS	AQUA AIRS	GOES10&12 GOES-Sounder	AQUA MODIS	TERRA MODIS
Órbita/Hora da Passagem: UTC	Polar/ 5 e 17	Polar/ 3, 5,16, e 18	Polar/5 e 17	Geo. /(1hora /setor) AMS = 4 setores	Polar/5 e 17	Polar/2, 14 e 15
Local. Antena de recepção	Cuiabá - MS	Cach.Pta - SP	Cuiabá - MS	Cach.Pta - SP	Cuiabá - MS	Cuiabá-MS
Modelo de Inversão	NASA	IAPP	IMAPP v5.2.1	Ma et al., 1999 Algorítimo	IMAPP-MODIS (MYD07)	IMAPP-MODIS (MOD07)
Condição inicial (N. de canais espectrais usados)	NCEP/gblav (20)	Regressão (20)	Regressão (27)	CPTEC Global Model T213L42 (18)	Regressão (12)	Regressão (12)
Res. Esp. (km) N. níveis verticais	50 100	100 42	50 28/100	10 40	5 20	5 20
Período dos dados do produto	08/2005 Atual	10/2006 Atual	04/2007 Atual	07/2007-02/2009 07/2010 - Atual	09/2007 Atual	09/2007 Atual
Produto	Perfis e Gases	Perfis	Perfis	Perfis	Perfis	Perfis

2.1 – MODELO AQUA-AIRS-NASA

Foi desenvolvido por Susskind et al (2003). Este modelo permite inferir diversas variáveis atmosféricas (Temperatura da Superficie; Nebulosidade; Água líquida; Pressão do topo de nuvem; Temperatura do ar; Água Preciptável; Altura da Tropopausa), incluindo gases atmosféricos de efeito estufa (CO, CO2, O3, CH4). Utiliza basicamente 3 dados no processamento: arquivos de radiâncias nivel 1B da NASA *(National Aeronautics and Space Administration)* do sensor AIRS *(Advanced Infrared Sounder) e* AMSU *(Advanced Microwave Sounding Unit*) e a condição inicial proveniente das análises do NCEP *(National Centers for Environmental Prediction)* denominado GBLAV *(Global Operational Aviation Analyses and fore-casts)*. São utilizados o método físico-estatístico e o algoritmo denominado RTA *(Rapid Transmittance Algorithm)*.

A Figura 1 apresenta um exemplo da cobertura espacial do satélite AQUA para representar as variáveis atmosféricas mencionadas na seção 2.1.



(a) (b)

Figura 1. Exemplo do produto Temperatura do Ar referente as passagens do dia 14/05/2010 as 05 e 17 UTC (a) e 15/05/2010 as 05 e 17 UTC (b)

2.2 - MODELO AQUA-AIRS-IMAPP

Para processamento é utilizado o Modelo de Inversão IMAPP - *International MODIS/AIRS Processing Package*, desenvolvido pela *NASA-Jet Propulsion Laboratory* e Universidade de Wisconsin, usando os arquivos de dados brutos recebidos pela antena de Cuiabá. Gera as seguintes variáveis: Água Precipitável; Altura da Tropopausa; Nebulosidade; Pressão do Topo da Nuvem; Temperatura da Superfície e Temperatura do Ar.

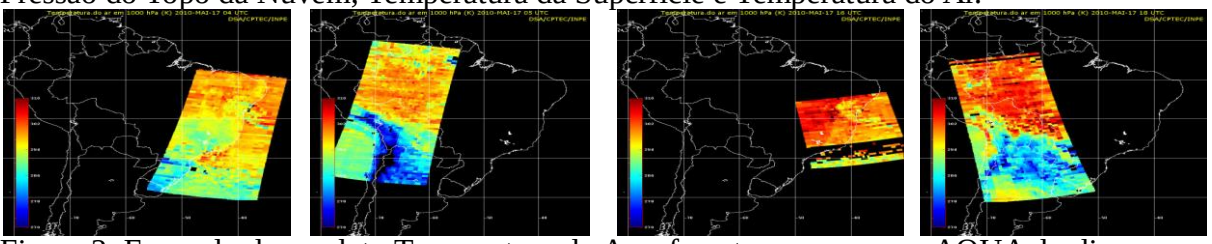
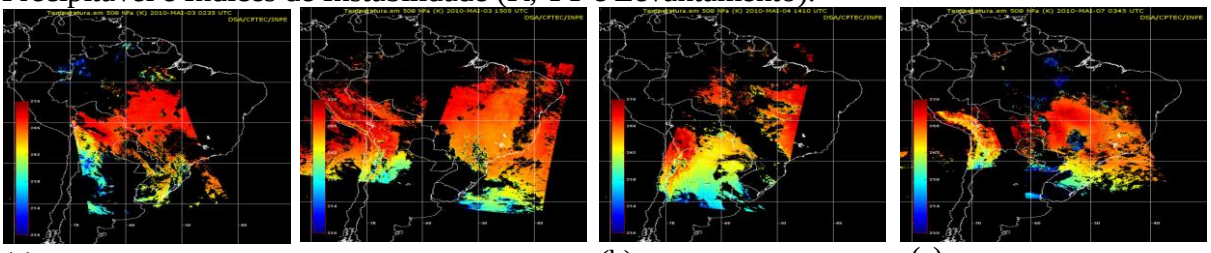


Figura 2. Exemplo do produto Temperatura do Ar referente as passagens AQUA do dia 17/05/2010 as 04, 05, 16 e 18 UTC, respectivamente.

2.3– MODELO PRODUTOS MODIS – AQUA e TERRA

O sensor MODIS *(Moderate- resolution Imaging Spectoradiometer)*, a bordo dos satélites AQUA e TERRA, não é essencialmente um sondador, mas possui canais com resolução espectral necessária para gerar sondagens. Para processamento é utilizado o Modelo de Inversão IMAPP - *International **MODIS**/AIRS Processing Package*, desenvolvido pela NASA-*Jet Propulsion Laboratory* e Universidade de Wisconsin. São utilizados arquivos de radiâncias e geolocalização como dados de entrada, gerando as variáveis atmosféricas: Temperatura de Superfície; Temperatura do Ar; Temperatura de Orvalho; Ozônio Total; Água Precipitável e Índices de Instabilidade (K, TT e Levantamento).

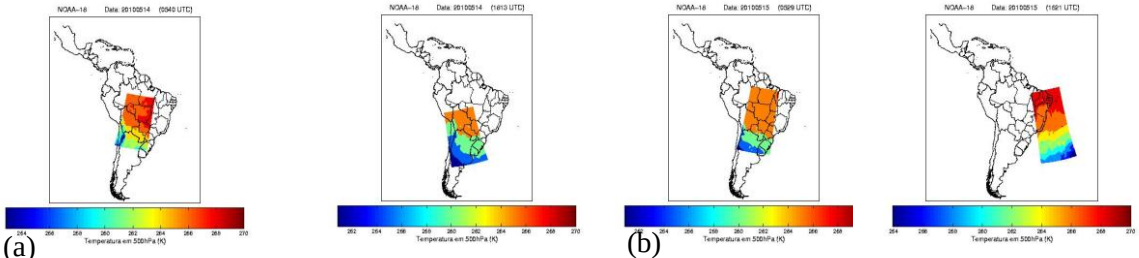


(a) (b) (c)

Figura 3. Exemplo do produto Temperatura do Ar referente as passagens do satélite TERRA, dia 03/05/2010 as 02 e 15 UTC (a), 04/05/2010 as 14 UTC (b) e 07/05/2010 as 03 UTC (c)

2.4 - MODELO NOAA-18

Utiliza o Modelo de Inversão IAPP (*International ATOVS Processing Package)*, que recupera os parâmetros atmosféricos em 4 etapas: detecção e remoção de nuvens, ajuste de viés, recuperação de regressão estatística e física não-linear. Utiliza dados de entrada: HIRS (nível L1D), dados de modelo de previsão, observações de superfície e dados de topografia. Gera as seguintes variáveis atmosféricas: Temperatura do Ar; Umidade; Total de Ozônio; Água Precipitável e Temperatura da Superfície.



(a) (b)

Figura 4. Exemplo do produto Temperatura do Ar referente as passagens do satélite NOAA18, dia 14/05/2010 as 05 e 18 UTC (a) e 15/05/2010 as 05 e 17 UTC (b)

2.5 - MODELO GOES-10/12

Destaca-se em relação aos demais por gerar perfis (Temperatura e Razão de Mistura) a cada 4 horas por setor- América do Sul tem 4 setores. O modelo de inversão foi desenvolvido por CIMSS (*Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies*), e é baseado em um algoritmo físico não-linear. A inferência inicia-se com uma condição inicial de perfil de temperatura e vapor de água provenientes do modelo de previsão do CPTEC. GOES12, implementado em junho/2010 trará novas expectativas para o Grupo de Sondagens, principalmente na área de assimilação nos modelos de previsão de tempo do CPTEC.

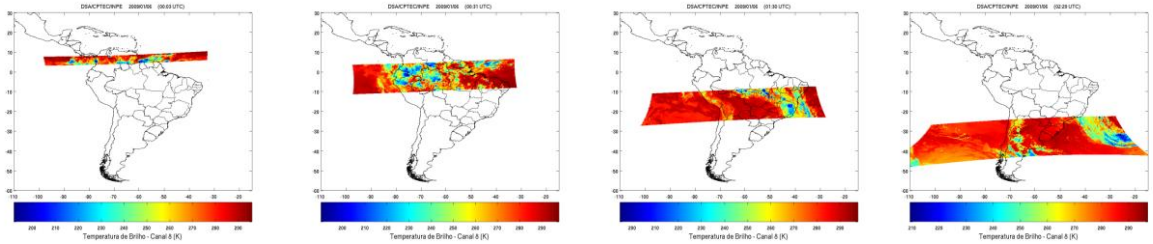


Figura 5. Exemplo do produto Temperatura de Brilho referente as passagens do satélite GOES10, dia 06/01/2009 as 00, 00:31, 01:30 e 02:29 UTC, respectivamente.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção 3.1 apresenta breve descrição do desempenho dos produtos de sondagens

3.1 Dados gerados no Grupo de Sondagens

Utilizando dados de radiossondas da Campanha Minibarca sobre a região Amazônica, Costa et al., (2009) mostram que os produtos gerados pelos diversos pacotes da DSA empregados para inferir perfis termodinâmicos sobre a América do Sul apresentam em geral um bom acordo com os dados de radiossondas. Naquele estudo, destacou-se o pacote computacional IMAPP-AIRS, o qual apresentou o melhor desempenho na maioria dos níveis de pressão. Este sistema de inferência permite observar com precisão estruturas bem definidas, como inversões de temperatura. O trabalho de Gonçalves et al. (2009), mostram que os totais de água precipitável gerados a partir de perfis termodinâmicos do GOES apresentam viés por volta de 2 mm e correlação de 0.81 com dados de radiossondas. O esquema de inferência do GOES apresenta boa qualidade para sondagens de temperatura. Embora os erros em umidade sejam consideravelmente pequenos para GOES10, a correlação entre radiossonda e perfil é baixa (R<0,5), entre 700 e 1000 mbar. De acordo com Gonçalves et al., 2009, a atualização da matriz de covariância do GOES10 para a região sobre a Amazônia é essencial para melhoria na qualidade dos perfis. Braga et al. (2010) avaliaram a qualidade dos dados de água precipitável inferidos via os sensores AIRS e MODIS que estão abordo dos satélites AQUA e TERRA, respectivamente. As comparações mostram que os valores do AIRS e MODIS possuem REMQ *(Raiz do Erro Médio Quadrático)* inferiores a 15 mm sobre o Brasil. Com respeito ao viés e a valores de correlação, o MODIS apresentou valores maiores do que o AIRS. A correlação do MODIS é de 0.85 versus a do AIRS de 0.67. Estes estudos mostram que os campos de água precipitável e os perfis termodinâmicos inferidos via satélite apresentam uma boa qualidade sobre o Brasil, de modo que podem ser usados na avaliação do estado termodinâmico da atmosfera. Adicionalmente, a qualidade dos dados meteorológicos obtidos por sensores orbitais permitem utilizá-los juntamente com os dados observados e ampliar o monitoramento da atmosfera em regiões remotas, onde existem limitações de dados observacionais.

3.2 Atividades de Pesquisa e Operacional

O Grupo de Sondagens desenvolve validação mensal do Produto MODIS-Terra a

partir de dados de superfície, com objetivo de estender para os outros produtos de satélite AQUA, NOAA e GOES. A cada mês apresenta-se a validação utilizando dados de radiossondas processados pelo CPTEC, nos horários de 00 e 12 UTC.

Está sendo desenvolvido um processo de geração de gráficos Skew-T para plotagem dos pontos abrangentes pela cobertura do satélite, inicialmente para o produto do satélite NOAA18 e futuramente para os outros produtos de sondagens da DSA. Essa opção contribuirá para as análises de perfil de Temperatura, Temperatura em Ponto de Orvalho e índices de instabilidade. Outro foco importante será a interação desses dados em modelos de previsão numérica de tempo do CPTEC.

4 – CONCLUSÕES

Os esforços do grupo de sondagens também têm colaborado no aprimoramento de algoritmos de inferência de sondagens através de interação com os Centros Educacional, Tecnológico e Científico internacional como Universidade de Wisconsin, *NASA*, NOAA *(*National Oceanic and Atmospheric Administration) e *CIMSS*. Estas colaborações têm agregado experiências importantes para os trabalhos do Grupo de Sondagens.

A partir de junho/2010 foi implementado o produto de Sondagens utilizando o satélite GOES12, em substituição ao GOES10 (encerrado em fevereiro/2009), trazendo várias expectativas para o Grupo de Sondagens. Cada satélite e sensor com as particularidades de resolução espacial, temporal, radiométrica e cobertura de área, sendo polar ou geoestacionário, busca suprir as necessidades de melhoria da confiabilidade dos produtos de sondagens e gases atmosféricos obtidos via satélite, confrontando com dados de superfície, obtendo maior benefício na Assimilação de Dados e Previsão Numérica do Tempo.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gonçalves, W. A.; Costa, S.M.S; Rodrigues, J.V.; Souza, R.A.F.;Angelis, C. F: Validação dos totais de água precipitável gerados a partir de perfis termodinâmicos recuperados pelo satélite GOES-10 sobre a região tropical da América do Sul. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.

Costa, S.M.S; Rodrigues, J.V.; Gonçalves, W. A.; Souza, R.A.F.: Performance of sounding retrievals from AIRS, GOES10, MODIS and HIRS Radiances during Mini-Barca campaign – June 2008. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.

Susskind, J., C.D. Barnet, and J.M. Blaisdell, "Retrieval of Atmospheric and Surface Parameters from AIRS/AMSU/HSB Data in the Presence of Clouds," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, No. 2, 2003.

Li, J., W. Wolf, W. P. Menzel, W. Zhang, H.-L. Huang, and T. H. Achtor: Global soundings of the atmosphere from ATOVS measurements: The algorithm and validation. J. Appl. Meteor., 39, 1248–1268, 2000.

Rudorff, Bernardo F.T., Shimabukuro, Yosio E., Ceballos, Juan C., “O Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil”, Vol. 1, No.1-21, 68-69,317-328, 2007

Pagina de Sondagens, Disponível em:
<http://satelite.cptec.inpe.br/sondagens/>. Acesso em: 28 de maio de 2010

Universidade de Wisconsin em:
<http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/>. Acesso em: 28 de maio de 2010