

Analise do sensor HSB na estimativa do conteúdo integrado de vapor d'água: Um Estudo aplicado ao  
RACCI/LBA.

Wagner Flauber Araújo Lima<sup>1a</sup>

Luiz Augusto Toledo Machado<sup>1b</sup>

**ABSTRACT**

This paper exploit the capability of the HSB (Humidity Sensor for Brazil) in the retrieval of the Integrated Water Vapor Content. This study uses the RTTOV-7 to simulate the radiance measured from the HSB. The Analyses was applied for the RACCI-LBA experiment, for a set of independents radiosondes released 4 times per day, during the months of September and October 2002. This set of radiosonde was assimilated at the RTTOV model to simulated the HSB radiances. The results show the potential use of each channel for the retrieval of the upper tropospheric water vapor for clear sky or for low level cloud cover. A combination of the 4 channels, deduced from a linear model shows that IWV can be retrieved with a certain error.

**RESUMO**

Este artigo explora a capacidade dos canais do HSB na recuperação do conteúdo integrado do vapor d'água. Este estudo utiliza o modelo de transferência radiativa, RTTOV-7, para simular medidas de radiância dos canais do sensor HSB. As análises foram aplicadas no experimento RACCI-LBA, para um conjunto radiossondas, no período de setembro e outubro de 2002. Esse conjunto de radiossonda foi assimilado no modelo RTTOV para simular as radiâncias do HSB. Os resultados mostram o potencial do uso de cada canal para estimar o vapor d'água nos altos níveis da troposfera para condição de céu claro ou para cobertura de nuvens em baixos níveis. Uma combinação de 4 canais, deduzida de uma modelo de regressão linear mostra que o IWV pode ser estimado com uma erros dentro do esperado.

---

<sup>1</sup> Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos SP, Brasil: <sup>a</sup> [wagner@cptec.inpe.br](mailto:wagner@cptec.inpe.br); <sup>b</sup> [machado@cptec.inpe.br](mailto:machado@cptec.inpe.br);

## 1 - INTRODUÇÃO

O satélite Aqua, lançado em 2002, tem a bordo o primeiro sensor brasileiro de umidade, HSB (Humidity Sensor Brazil). Esse instrumento foi desenvolvido para obter informações do conteúdo de vapor d'água na atmosfera, e quando usado em conjunto com os instrumentos AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) e AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), também a bordo do Aqua, permite inferir sondagens de perfis atmosféricos de temperatura e umidade, sob condições de céu claro e nublado (King and Greenstone, 1999). O HSB consiste em quatro canais passivos na região de microondas, sensíveis apenas para a polarização vertical e com resolução de 13.5 km no nadir. São quatro canais separados com frequências centradas em 150, 183,31 GHz. O canal de 150 GHz é um canal da janela contaminada por vapor d'água. Enquanto os outros três canais agrupados em torno de 183,31 GHz encontram-se na linha de absorção do vapor d'água. As frequências e características dos canais do sensor HSB são dados na tabela 1.

Infelizmente, o HSB teve uma falha no circuito eletrônico que controla a movimentação do motor, e no início de 2003 o instrumento HSB teve que ser desativado para não prejudicar os outros sensores a bordo do satélite. Diante desse fato, o nosso estudo passou a focar o potencial das bandas de 150 e 183 GHz para estimativa do conteúdo integrado de vapor na atmosfera. Logo, esses estudos realizados poderão ser úteis se aplicados a outros sensores na mesma faixa de frequência tais como: o SSM/T-2 (Special Sensor Microwave/Temperature-2) e o AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B).

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS CANAIS DO HSB

Canais do HSB			
Número do Canal	Frequência central (GHz)	Amplitude da Banda (GHz)	Máximo da Função Peso (hPa)
1	150 ± 0.9	2 x 1	Superfície
2	183,31 ± 1	2 x 0,5	400
3	183,31 ± 3	2 x 1	600
4	183,31 ± 7	2 x 2	750

Adaptada de Staelin and Chen (2000).

Muitas pesquisas têm focado os canais de microondas para recuperação de perfis de vapor d'água na atmosfera. Schaerer and Wilheit (1979) foram uns dos primeiros a investigarem os canais de 183 GHz usando simulações com a equação de transferência radiativa para situações de céu claro. Os resultados deles sugeriam que esses canais podiam produzir perfis de vapor d'água sobre o oceano. . Outros autores (Rosenkranz et al., 1982; Wang et al., 1983; Kakar and Lambigtsen, 1984; Blankenship et al., 2000; Sonh et al., 2003) mais adiante examinaram procedimentos de recuperação do perfil de vapor d'água utilizando métodos físicos e estatísticos. Rosenkranz et al. (1982), simulou o conteúdo integrado de vapor d'água e perfis de umidade relativa, usando a inversão da equação de transferência radiativa, nas frequências de 60 e 183 GHz, sobre a terra e oceano. Wang et al. (1983), utilizou um método de “Kalman-Bucy filter” para obter perfis de vapor d'água usando dados em 183 GHz, medidos pelo avião WRB-57 da NASA. Kakar and Lambigtsen (1984), analisou uma técnica estatística para estimativa do perfil de vapor d'água usando os canais do sensor AMSU (A e B). Recentemente Blankenship et al. (2000) e Sonh et al. (2003) utilizaram o sensor SSM/T-2, abordo dos satélites F-11, F-12 e F-14 da DMSP (Defense Meteorological Space Program), para estima o vapor d'água nos altos níveis da troposfera, através da inversão da equação de transferência radiativa, utilizando um método de relaxação física.

Neste artigo nós aplicamos uma técnica de correlação estatística para recuperar o conteúdo integrado do vapor d'água (IWV) sobre condições de céu claro, utilizando os canais do sensor HSB. O algoritmo foi desenvolvido para o ângulo de visada do satélite sobre o nadir. Para validar o algoritmo descrito aqui, foram utilizados os dados da campanha RACCI/LBA realizado em Rondônia, no período de 2002.

## 2 - ALGORITMO DE RECUPERAÇÃO DO IWV

O método empregado neste trabalho baseia-se na hipótese que o conteúdo integrado de vapor d'água  $IWV$  pode ser obtido através de uma combinação linear dos canais do HSB. Logo, o  $IWV(n)$  na camada  $n$  pode ser expresso como:

$$IWV(n) = a(n) + \sum_{i=1}^N b_i(n)T_b(\nu_i) \quad (1)$$

Onde  $N$  é o numero de canais e as combinações entre eles utilizados,  $a(n)$  e  $b_i(n)$  são coeficientes de regressão e  $T_b(\nu_i)$  é a temperatura de brilho medida na frequência  $\nu_i$ . Os coeficientes de correlação foram obtidos de uma base de dados de perfis de temperatura e vapor d'água e as correspondentes

temperatura de brilho simuladas para cada canal. O melhor subconjunto de  $N$  canais foi selecionado para cada camada pelo método de regressão de “*Stepwise*” (Referencia). O  $b_i(n)$  para o canal não selecionado é igual a zero.

Os coeficientes de correlação foram obtidos de trezentos e cinquenta radiossondas, lançada em 4 sítios experimentais durante o experimento RACCI/LBA, no estado da Rondônia, maiores informações sobre o experimento podem ser encontradas em Silvas Dias et. al (2002 – esse paper e’ do WETAMC e nao do RACCI). Para cada radiossonda foi calculado o *IWV* para quatro camadas dentro do intervalo deste a superfície até o nível de 200 mbar. As camadas de pressão foram escolhidas de maneira que cada uma represente o máximo da função peso para os canais do HSB. Para o calculo do *IWV* utilizou-se a equação (2) que integra a umidade absoluta do vapor d’água ( $\rho_w$ ) desde a base da camada ( $h_0$ ), até a altitude do topo da camada ( $h$ ) (Vianello & Alves, 1991), ou seja:

$$IWV = \int_{h_0}^h \rho_w dh \quad (2)$$

Os valores de *IWV* máximo e mínimo para as camadas escolhidas e os valores para toda a camada atmosférica são mostrados na tabela 2.

TABELA 2 – VALORES MÁXIMO E MÍNIMO DE *IWV* PARA CADA CAMADA E O VALOR *IWV* TOTAL

Camadas	Máximo	Mínimo	Média
Sfc-800	31,68	16,37	24,43
800-600	19,28	4,05	14,33
600-400	9,76	0,35	5,22
400-200	2,03	0,01	0,73
<i>IWV</i> <sub>total</sub>	60,23	27,79	44,71

As temperatura de brilho  $Tb(\nu_i)$  para cada canal do sensor HSB foi calculada para o ângulo de visada do satélite no nadir para cada uma das 350 radiossondas, assumindo uma superfícies continental de emissividade  $\epsilon = 0,9$ . O modelo de transferência radiativo utilizado para as simulações foi o RTTOV-7 (Matricardi et al.,2001). O RTTOV permite uma simulação rápida da radiância para radiômetros na faixa do infra e microondas, usando uma forma aproximada da equação de transferência radiativa a qual negligencia o espalhamento. O modelo utiliza perfis atmosféricos de temperatura e umidade e concentrações de gases e propriedades da superfície e nuvens.

Devido a disposição das funções pesos dos canais de absorção do vapor d'água (183 GHz) se localizarem nos altos níveis da troposfera existe uma ausência de informações dos baixos níveis da troposfera. Portanto, a falta de informações na baixa atmosfera, onde se encontra maior concentração do vapor d'água, pode acarretar em erros na estimativa do conteúdo integrado do vapor d'água. Apesar do canal de 150 GHz apresentar o máximo da função peso próximo a superfície e portanto conter uma informação da baixa troposfera, este canal é fortemente influenciado pela emissão da superfície, dependendo fortemente da emissividade e da temperatura da superfície. Para suprir a ausência dessa informação foram realizadas combinações entre os canais de maneira a obter a melhor relação para os baixos níveis. Foi criada uma nova variável,  $T_{com}$ , que corresponde a diferença entre o canal de 150 GHz e uma temperatura ponderada de todos os canais na faixa de 180GHz, equação (3). Fisicamente essa diferença busca introduzir uma informação da umidade da baixa troposfera, uma vez que a combinação dos canais em torno de 183 GHz descreve a umidade na média e alta troposfera e o canal de 150 GHz a contribuição da superfície, logo, a diferença entre ambos fornece uma informação da umidade na baixa troposfera.

$$T_{com} = Tb1 - \left[ \frac{\left( \sum_{i=2}^4 d_i Tb_i \right)}{d_{total}} \right] \quad (3)$$

onde  $Tb1$  é temperatura de brilho do canal de 150 GHz,  $Tb_i$  são os canais de  $183,31 \pm 1$ ,  $\pm 3$  e  $\pm 7$ , para os valores de  $i = 2, 3$  e  $4$ , respectivamente.  $d_i$  são os coeficientes de correlação linear estimada para os canais  $Tb_i$ , e  $d_{total}$  é a soma de todos os coeficientes.

Para selecionar os subconjuntos dos canais mais significativos para cada camada foi utilizado o procedimento de regressão linear múltipla de "Stepwise". Os canais selecionados para cada camada são mostrados na tabela 3. Foram também utilizadas as diferenças entre o canal 4 com o canal 3 e 2, essa informação poderá trazer informações mais precisas da umidade em um dado nível, uma vez que observa-se certa superposição da função peso destes canais. Na ultima coluna encontra-se os coeficientes de correlação múltiplos para cada camada.

**TABELA 3** – MELHORES SUBCONJUNTOS DOS CANAIS E COMBINAÇÕES ENTRE ELES PARA ESTIMAR O IWV PARA REGIÃO TROPICAL. OS CANAIS SELECIONADOS POR MELHOR CORRELAÇÃO SÃO DENODADOS POR ASTERISCO.

Camada	TB_1	TB_2	TB_3	TB_4	T_com	TB4-TB3	TB4-TB2	r
SFC_800	*				*		*	0,46
800_600	*				*	*		0,86
600_400			*	*				0,95
400_200		*	*					0,90

Aqui a correlacao eh com relacao a qual canal?????

### 3 - RESULTADOS

Esse método de recuperação do conteúdo integrado do vapor d'água foi testado em uma experiência de simulação numérica, aplicando ao código de transferência radiativa, RTTOV-7 aos dados de radiossonda da campanha RACCI/LBA. Esse conjunto de dados é independente daqueles utilizados para a obtenção dos coeficientes de correlação, totalizando um conjunto de 160 radiossondas. Os resultados estatísticos são descritos na tabela 4. A segunda coluna e terceira da tabela dar a média e o desvio padrão, respectivamente, do IWV para cada camada para os dados das 160 radiossondas utilizadas na comparação. A temperatura de brilho dos canais do HSB foram simulada para cada radiossonda levando em conta as mesmas situações que foram assumidas para determinação dos coeficientes de correlação, são elas: emissividade ( $\epsilon = 0,9$ ), situação de céu claro e ângulo de visada sobre o nadir. Utilizando as temperaturas de brilho simuladas e os coeficientes de regressão  $a(n)$  e  $b_i(n)$ , nos realizamos a estimativa de IWV em toda coluna da atmosfera através do somatório de cada camada, obtida pela equação (1).

**TABELA 4** – COMPARAÇÃO ESTADÍSTICAS DO IWV ESTIMADO COM O DAS RADIOSSONDAS

Camadas	Radiossonda		Estatísticas		
	MEDIA (kg/m <sup>2</sup> )	DES_P (kg/m <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>	BIAS	RMS(%)
SFC_800	24,56	2,63	-0,03	0,59	11,11
800_600	14,74	1,90	0,50	0,17	9,16
600_400	5,43	1,93	0,89	0,04	11,61
400_200	0,76	0,42	0,83	0,001	23,01
IWV <sub>total</sub>	45,49	5,20	0,60	0,80	7,45

A quarta coluna da tabela 4 mostra os coeficiente de determinação entre o IWV estimado e calculado pela radiossonda para cada camada. Observa-se que o IWV da camada da superfície até o nível de 800 hPA é o que menos se correlaciona com os canais do HSB, isto ocorre porque os canais de em torno da banda de absorção do vapor d'água (183,31) tem o máximo da função peso nos altos níveis

da troposfera. Apesar do canal de 150 GHz ter o máximo da função peso na superfície, ele é fortemente influenciado pela emissão da superfície. Já para as camadas nos altos níveis os canais do HSB mostraram-se bastante significantivos na estimativa do IWV nos altos níveis. As estimativas de IWV para as camadas de pressões pré-estabelecidas geraram erros de rms em torno de 10 %, apenas uma camada gerou um erro de 23 %. A estimativa do IWV de toda a coluna atmosférica apresentou um erro de rms de 7,45%, valor inferior aos obtidos por Blankenship et al. (2000) e Sonh et al. (2003), que utilizaram métodos físicos para a estimativa do conteúdo integrado do vapor d'água na atmosfera.

A Figura 1 e 2 apresentam alguns exemplos da relação entre a temperatura de brilho e o conteúdo integrado de vapor d'água na atmosfera. Os canais escolhidos para descrever a camada atmosférica entre 600 ate 400 hPA foram os canais de  $183,31 \pm 3$  e  $\pm 7$ . Esses canais possuem os máximos da função peso próximo a essa camada. A figura 1 mostra a temperatura de brilho do canal de  $183,31 \pm 7$  em função do IWV estimado na camada, nota-se a importância deste canal na descrição da umidade nesta camada na qual apresenta um alto coeficiente de correlação ( $r^2 = 0,8462$ ). Por outro lado, a figura 2 mostra a relação entre o IWV total simulado utilizando todos canais e o calculado diretamente pela radiossonda. Nota-se uma baixa correlação ( $r^2 = 0,5942$ ). Isso mostra que os canais do HSB são adaptados para obter a umidade em determinadas camadas atmosféricas, contudo para estimar o IWV total, em função da falta de informações dos baixos níveis, pode-se esperar um erro significativo..

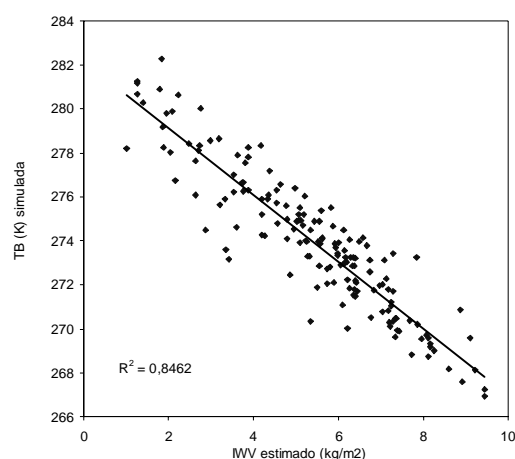


Figura 1 – Variação da temperatura de brilho do canal  $183,31 \pm 7$  versus o IWV da camada de 600 a 400 mbar.

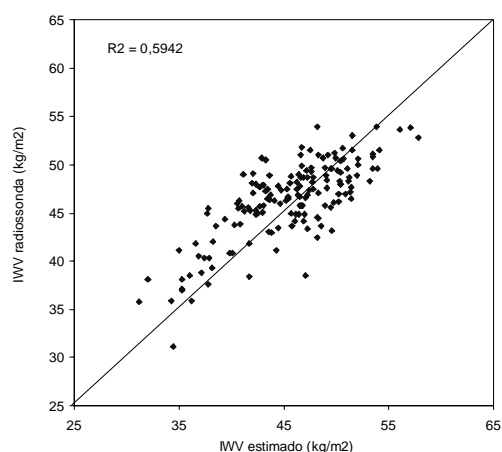


Figura 2 – Comparação do IWV total estimado pelos canais do HSB e o calculado pelas radiossondas.

#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta um algoritmo que foi desenvolvido para o experimento RACCI/LBA realizado no estado de Rondônia, no período de set-out de 2002, as tabelas 3 e 4 indicam que o IWV pode ser estimado desde a superfície até 200 mbar utilizando os canais do sensor HSB com erros de rms em torno de 7,45 %. Uma das causas desse erro é associada a baixa correlação dos canais do sensor HSB com os baixos níveis na troposfera, onde se observa a maior concentração de vapor d'água nos dados de radiossondas utilizados para nosso estudo. Os canais do sensor HSB mostram-se bastantes promissores para estimar o IWV nos altos níveis da troposfera, principalmente com os canais de absorção do vapor d'água (183,31). O uso de uma simples regressão linear múltipla com os canais do HSB permite a elaboração de equações para estimativa do IWV, não necessitando de metodologias mais complexas que utilizam métodos físicos através do uso da equação de transferência radiativa.

Finalmente, é preciso lembrar que esse estudo foi realizado apenas para uma região onde a variabilidade do conteúdo do vapor d'água é bastante pequena, porém com valores de IWV bastante elevados. Assim, ficando restrito o uso dos coeficientes de correlação estimado para as regiões que possuam características dentro dos limites mostrados na tabela 2.

#### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blankenship, C.B., Al Khalaf and T. T. Wilheit; 2000: **"Retrieval of Water Vapor Profiles Using SSM/T-2 and SSM/I Data"** J. Atmos. Sci. 57, 939-955.

Byung-Ju Sohn, Eui-Seok Chung, Johannes Schmetz, and Eric A. Smith, 2003: **Estimating Upper-Tropospheric Water Vapor from SSM/T-2 Satellite Measurements.** *Journal of Applied Meteorology*, pages 488–504.

Matricardi M., Chevallier F., and Tjemkes S.: **An improved general fast radiative transfer model for the assimilation of radiance observations.** **Technical Report 345**, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Reading, United Kingdom, 2001.

Kakar, R. K. and B. H. L. a, 1984: **A statistical correlation method for the retrieval of atmospheric moisture profiles by microwave radiometry.** J. Climate Appl. Meteor., 23, 1110-1114.



King, M. D. and Greenstone R. EOS Reference Handbook: **A guide to NASA's Earth Science Enterprise and the Earth Observing System**, 1999.

Rosenkranz, P.W., M.J. Komichak, and D.H. Staelin, "**A method for estimation of atmospheric water vapor profiles by microwave radiometry**," Journal of Applied Meteorology, 21(9), pp. 1364-1370, 1982.

Schaerer, G., and T. T. Wilheit, 1979: **A passive microwave technique for profiling of atmospheric water vapor**. Radio Science, 14, 371-375.

Silva Dias, M. A., Rutledge, S., Kabat, P., Silva Dias, P., Nobre, C., Fisch, G., Dolman, H., Zipser, E., Garstang, M., Manzi, A., Fuentes, J., Rocha, H., Marengo, J., Plana-Fattori, A., Sá, L. D. A., Alvalá, R., Andreae, M., Artaxo, P., Gielow, R., Gatti, L. V., **Clouds And Rain Processes In A Biosphere Atmosphere Interaction Context In The Amazon Region**. Journal Of Geophysical Research, V. 107, N. D20, 6 September 2002.

Staelin, D.H. and F.W. Chen.: **Precipitation Observations Near 54 and 183 GHz using the NOAA-15 Satellite**. IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing, Vol. 38, pp. 2322-2331, Sept. 2000.

Wang, J. R., et al, 1983: **Profiling atmospheric water vapor by microwave radiometry**. J. Cli. and App. Met., 22, 779-788.