

## ANÁLISE DO SENSOR HSB NA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO INTEGRADO DE VAPOR D'ÁGUA DURANTE O EXPERIMENTO RACCI/LBA

WAGNER FLAUBER ARAÚJO LIMA e LUIZ AUGUSTO TOLEDO MACHADO

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais / Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE)  
Rodovia Presidente Dutra km 39, 12630-000, Cachoeira Paulista / SP  
E-mail: wagner@cptec.inpe.br, machado@cptec.inpe.br

Recebido Março 2005 - Aceito Maio 2005

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise sobre a capacidade dos canais do sensor HSB em recuperar o conteúdo integrado de vapor d'água na atmosfera. Os estudos aqui apresentados foram realizados em duas etapas. Numa, utilizando simulações numéricas baseadas no modelo de transferência radiativa RTTOV-7. Na outra, a análise foi desenvolvida a partir dos dados do experimento "RaCCI/LBA" (Radiation, Cloud, and Climate Interactions/Large Scale Biosphere Atmospheric Experiment in Amazônia) realizado em Rondônia, no período de setembro e novembro de 2002. As análises para recuperação do vapor d'água atmosférico mostraram o grande potencial dos canais de  $183 \pm 1, 3$  e  $7$  GHz na estimativa do vapor d'água nos médios e altos níveis da troposfera para condições de céu claro. A estimativa do conteúdo integrado do vapor d'água na atmosfera com os canais do HSB é comprometida devido à falta de informações dos baixos níveis da troposfera, onde se encontra boa parte da concentração do vapor d'água. O canal ( $150$  GHz), que apresenta o pico máximo da sua função peso próxima à superfície é altamente influenciado pela emissividade da superfície.

**Palavras-chave:** HSB, Conteúdo Integrado de Vapor D'água, RTTOV, RACCI/LBA.

### ABSTRACT: FALTA TÍTULO EM INGLÊS

This work presents the capability of the HSB (Humidity Sensor Brazil) channel in retrieving Integrated Water Vapor Content. The data analyses of this study have been carried out in two stages: firstly using simulations of the HSB channel brightness temperatures from RTTOV radiative model, and secondly, using data from the "RACCI/LBA" experiment in Rondônia, during the period of September and October 2002. The results show the potential of the  $183 \pm 1, 3$  e  $7$  GHz channels in retrieving middle and upper tropospheric water vapor for clear sky situations. The estimation of integrated water vapor contents in the atmosphere using HSB channels was not possible due to the absence of troposphere low level information, where most of the water vapor is concentrated. The  $150$  GHz channel, which has the maximum peak of its weight function next to the surface, is strongly influenced by the surface emissivity.

**Falta keywords:**

### 1. INTRODUÇÃO

A nova geração de satélites ambientais de órbita-polar do programa "Earth Observing System" (EOS) tem a bordo do satélite AQUA um sensor de umidade fornecido pelo Brasil, o Humidity Sounder of Brazil (HSB). Esse sondador de umidade foi desenvolvido para obter informações do conteúdo de vapor d'água na atmosfera, precipitação, 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, permitem inferir sondagens de

perfis atmosféricos de temperatura e umidade sob condições de céu claro e nublado. O HSB contém quatro canais passivos na região de microondas, sensíveis apenas à polarização vertical e com resolução espacial de  $13,5$  km no nadir (Lambrigtsen e Calheiros, 2003). São quatro canais separados com frequências centradas na janela atmosférica em  $150$  GHz e na linha de absorção do vapor d'água em  $183,31$ GHz. O HSB é um sensor com as mesmas características do sondador AMSU-B, que se encontra a bordo dos satélites da série NOAA-KLM (National Oceanic and Atmospheric Administration), porém com um

canal a menos, o de 89 GHz. Ele foi projetado para apresentar menor susceptibilidade à interferência de radiofrequência que o AMSU-B (Rosenkranz, 2001). As frequências e características dos canais do sensor HSB estão presentes na tabela 1.

**Tabela 1** – Características técnicas dos canais do HSB

Canais do HSB			
Canal	Frequência central (GHz)	Amplitude da Banda (GHz)	Máximo da Função Peso (hPa)
1	150 ± 0.9	2 x 1	Próx. à 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 e Chen (2000) e Siqueira (1999).*

Vários trabalhos utilizam os canais de microondas na recuperação de perfis de vapor d'água na atmosfera. Sharer e Wilheit (1979) foram uns dos primeiros a investigar os canais de 183 GHz por meio de simulações com a equação de transferência radiativa para situações de céu claro. Os resultados obtidos por eles sugeriam que esses canais poderiam ser utilizados para reproduzir perfis de vapor d'água sobre o oceano. Wang et al. (1983) utilizaram as frequências próximas de 92 e 183,3 GHz para estudar o potencial destes canais na determinação dos perfis de vapor d'água sobre terra e oceano. Eles mostraram que a linha de absorção do vapor d'água em 183,3 GHz tem um grande potencial para perfilar a umidade na atmosfera. Wang e Chang (1990) incorporaram o efeito das nuvens no modelo descrito por Wang et al., (1983) e mostraram que os perfis recuperados de umidade relativa refletem características brutas dos perfis de radiossondas. Contudo, geralmente consegue-se produzir detalhes finos dos perfis observados nas alturas onde há a presença de nuvens. Neste âmbito, Wilheit (1990) desenvolveu um algoritmo para recuperação de perfil de vapor d'água para condições de céu encoberto usando a banda de absorção de vapor d'água em 183 GHz. Esse algoritmo foi testado por Blankenship et al. (2000) que o refinaram e o adaptaram para o sensor SSM/T-2 na mesma faixa de frequência visando o estudo da água precipitável. Recentemente Sohn et al. (2003) aplicou o algoritmo descrito em Wilheit (1990) para os sensores SSM/T-2 para estudar o vapor d'água na alta troposfera nos trópicos.

Nesse contexto, a meta desse trabalho é promover um entendimento geral a respeito dos efeitos do vapor d'água e emissividade da superfície nas Temperaturas de brilho (Tb's) dos canais de 150 GHz e 183 GHz, e explorar o uso dessas faixas de frequência, em particular o sensor HSB para estimar o conteúdo integrado de vapor da água (*Integrated Water Vapor*

– *IWV*) durante a campanha RaCCI/LBA, realizada em Rondônia no período de setembro e outubro de 2002, utilizando a melhor combinação entre os canais desse sensor. O modelo de transferência radiativa RTTOV, na sua sétima versão (Matricardi et al, 2001), foi empregado para realizar as simulações das temperaturas de brilho do sondador HSB em situação de céu claro.

A segunda seção deste trabalho descreve os dados utilizados, na parte 3 são apresentados as metodologias e resultados das análises do efeito da emissividade e *IWV* sobre as Tb's simuladas para o sensor HSB e estimativas do *IWV* e a comparação com dados coletados no experimento de campo RaCCI/LBA. Por último são apresentadas as conclusões obtidas no trabalho.

## 2. DADOS ENVOLVIDOS NOS EXPERIMENTOS

Neste trabalho foram utilizados dados de Tb's do sensor HSB de todos os canais, durante o período de 2 de setembro a 30 de outubro de 2002, nos horários de passagem sobre os sítios experimentais (0600 UTC e 1800 UTC). Esses dados estão disponíveis na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Cachoeira Paulista, SP, em formato HDF (Hierarchical Data Format-Earth Observing System). Esses dados foram cedidos pelo "Jet Propulsion Laboratory" (JPL), por ainda não existir um *software* para decodificar os arquivos recebidos na DSA, nesse período. Os perfis de temperatura e umidade das radiossondas foram coletados durante o experimento do RaCCI/LBA nos sítios de Guajará-Mirim (10,8°S ; 65,38°W), Ouro Preto d'Oeste (10,75°S ; 62,36°W), Rebio Jaru (10,18°S ; 62,9°W) e Porto Velho (8,72°S ; 63,90°W). Nesses sítios foram lançadas de quatro a seis radiossondas por dia. Em Guajará-Mirim foi realizada uma campanha específica, com a iniciativa da gerência científica do HSB/INPE, para validação do sensor HSB. Essa campanha teve como principal objetivo a obtenção de perfis atmosféricos de temperatura e umidade para serem comparados com os perfis recuperados pelo sensor HSB, no mesmo instante da passagem. Para tanto foram lançadas radiossondas adicionais minutos antes do horário de cada passagem do satélite no sítio de Guajará-Mirim. Lima (2004) realizou comparações entre as Tb's medidas dos canais do HSB com Tb's simuladas pelo RTTOV-7 com as radiossondas lançadas durante a campanha específica do HSB em Guajará-Mirim. Os coeficientes de correlação entre as temperaturas de brilho simuladas e medidas obtidos neste trabalho foram altos, com valores em torno de 0,993. Os valores de bias e rms ficaram em torno de (1,31 K) e (1,65 K), respectivamente. Esses resultados sugerem que o modelo RTTOV-7, para condições de céu claro, representa com boa qualidade as medidas realizadas pelo HSB.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Simulações das TB's dos canais do sensor HSB

Para estudar os efeitos do vapor d'água e da emissividade sobre as Tb's simuladas dos canais do sensor HSB foi idealizado um banco de perfis de umidade baseados no perfil padrão tropical de McClatchey (1971). Esse banco foi usado para gerar perfis de umidade, que quando calculado o conteúdo integrado de vapor d'água produzissem valores na faixa de 0 a 85 kg/m<sup>2</sup> com incremento de 5 kg/m<sup>2</sup>. Esses perfis de umidades foram gerados de acordo com a seguinte equação:

$$U(z) = U_p(z) * P_k \tag{1}$$

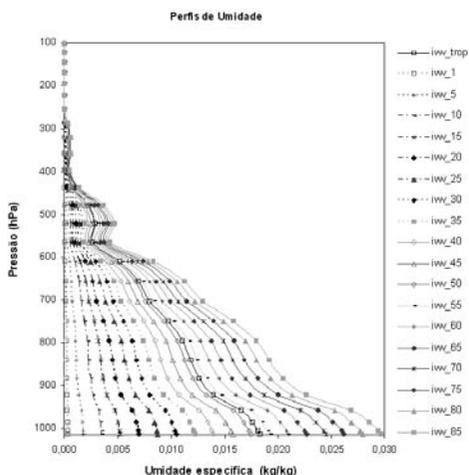
onde  $U(z)$  é o novo perfil de umidade gerado,  $U_p(z)$  é o perfil de umidade padrão tropical,  $z$  é a altura,  $P_k$  é o peso para cada perfil e  $k$  é o número de perfis criados. O peso  $P_k$  é determinado pela razão entre o valor de  $IWV_d$  desejado e o  $IWV$  do perfil padrão (52 kg/m<sup>2</sup>), ou seja:

$$P_k = \frac{IWV_d}{IWV} \tag{2}$$

Para o cálculo do  $IWV$  utilizou-se a equação (3) que integra a umidade absoluta do vapor d'água ( $\rho_w$ ) desde a superfície ( $h_0$ ) até a altitude em que exista presença do vapor d'água ( $h$ ) em uma coluna de ar de seção transversal unitária (Vianello & Alves, 1991), ou seja:

$$IWV = \int_{h_0}^h \rho_w dh \tag{3}$$

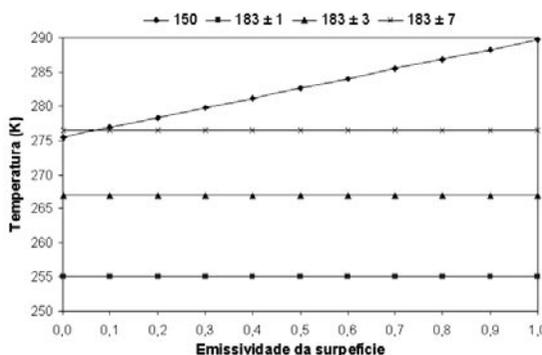
Estes perfis de umidade são apresentados na figura 1, juntamente com o perfil padrão tropical de umidade. A legenda à direita da figura indica os valores de  $IWV$  calculados para cada perfil de umidade.



**Figura 1** – Perfis teóricos de umidade específica obtidos a partir do perfil padrão tropical de umidade.

As simulações foram realizadas em duas etapas. Numa primeira etapa estudamos os efeitos da mudança da emissividade da superfície na radiação que chega no topo da atmosfera. Como não podemos inferir a emissividade da superfície nestas faixas de frequências uma vez que varia em função da umidade do solo, da temperatura e outros parâmetros. Na etapa seguinte discutimos o efeito da variação do conteúdo integrado do vapor d'água na atmosfera nas Tb's simuladas do sensor HSB.

Para estudar o efeito da emissividade da superfície na Tb nos canais de 150 GHz e 183 GHz foram utilizados como dados de entradas do modelo RTTOV-7 o perfil tropical padrão de temperatura e umidade para simulações com diferentes valores de emissividade da superfície, em situações de céu claro. Esses valores variaram de 0 a 1, com incremento de 0,1. A figura 2 apresenta a resposta das temperaturas de brilho (TB) simuladas para os canais do sensor HSB com a mudança da emissividade da superfície para atmosfera tropical padrão.



**Figura 2** – Gráfico das Tb's(K) simuladas para cada canal em função da emissividade da superfície para céu claro e uma atmosfera tropical padrão. As curvas de TB\_1 a TB\_4 correspondem aos canais 150, 183 ± 1, 183 ± 3 e 183 ± 7 GHz, respectivamente.

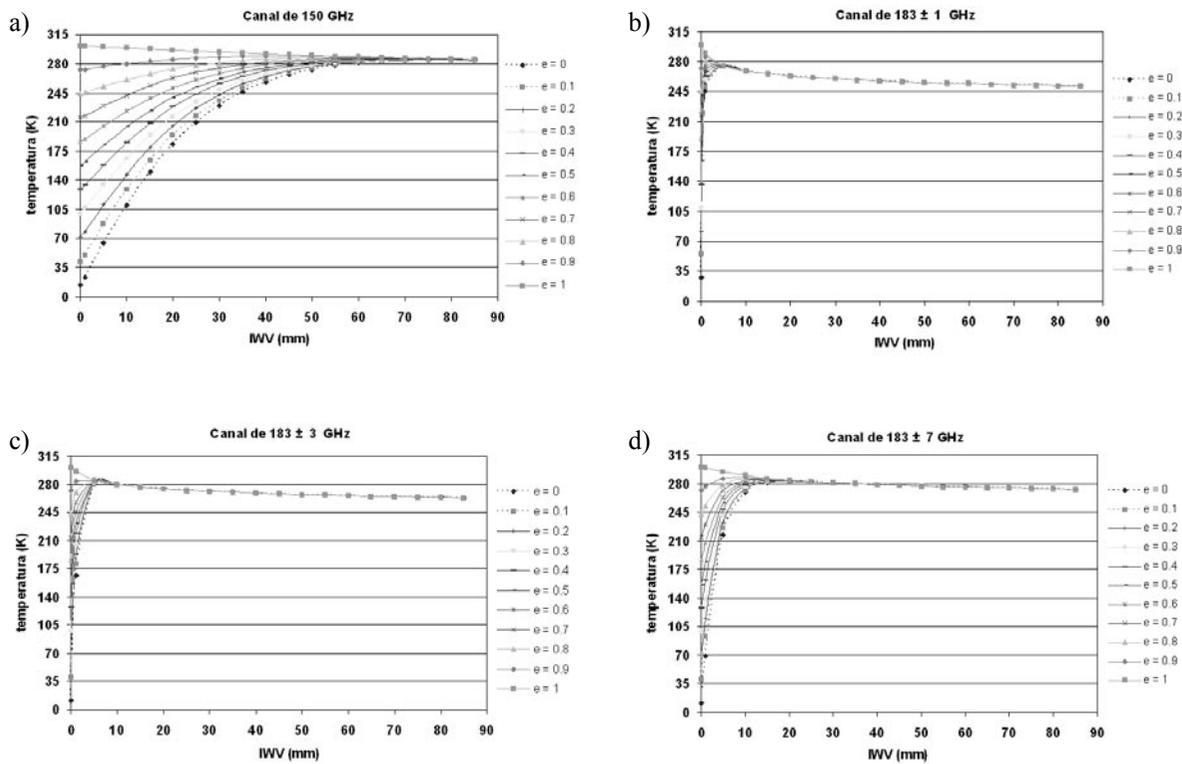
A figura 2 mostra que para diferentes valores de emissividade da superfície o canal de 150 GHz é significativamente afetado pela emissividade da superfície. A variação da Tb em função da emissividade pode chegar a 15 K entre os extremos de emissividade. Por outro lado, os canais localizados na linha de absorção do vapor d'água (183 GHz) praticamente não sofrem nenhuma variação nas Tb's. Isto ocorre devido a alta taxa de concentração de vapor d'água em uma atmosfera tropical padrão e devido a função peso apresentar seus máximos em altos níveis. Esses resultados são consistentes com os obtidos por Muller et al. (1994) que realizaram simulações utilizando diversos canais de microondas semelhantes àqueles usados nesse trabalho. Logo, para situações de céu claro a utilização do canal de 150 GHz mesmo para alta concentração de vapor d'água deve proceder de um estudo preliminar da emissividade da superfície, isto porque a função peso desse canal tem o máximo próximo à superfície. Os resultados acima mostram que os canais de

183 GHz para esse conteúdo de vapor d'água não são sensível à emissividade da superfície. A seguir é apresentada uma análise para definir a partir de qual valor de  $IWV$  esses canais se tornam sensíveis à emissividade da superfície.

Para os estudos do efeito do  $IWV$  foi utilizada a mesma faixa e incremento da emissividade e o mesmo perfil de temperatura, porém com diferentes perfis de umidade derivados do perfil padrão tropical. A figura 3 apresenta os resultados obtidos para as simulações com diferentes perfis de conteúdo de vapor d'água. Cada curva representa a variação da  $T_b$  simulada em função do  $IWV$  para diferentes valores de emissividade da superfície ( $\epsilon$ ). Para o canal de 150 GHz observa-se que o efeito da emissividade na  $T_b$  se reduz à medida que o conteúdo integrado de vapor d'água da atmosfera aumenta (figura 3a). Isso ocorre porque o canal de 150 GHz é um canal na janela atmosférica, podendo ser contaminado pelo vapor d'água. Para os canais na linha de absorção do vapor d'água (183 GHz), a mudança da emissividade praticamente não influencia as  $T_b$ 's no topo da atmosfera. Nesses canais as variações de  $T_b$  ocorrem apenas em situações extremas (figura 3 (b), (c) e (d)). Ou seja, apenas em situações onde  $IWV$  não ultrapassa valores superiores  $10 \text{ kg/m}^2$ .

Esse valor pode ser considerado baixo quando comparado aos valores encontrados na região tropical.

A característica dos canais de 183 GHz em não responderem às variações da emissividade da superfície é devida à alta sensibilidade desses canais ao vapor d'água atmosférico. Por outro lado, esses canais mostraram-se bastante sensíveis à variação do conteúdo integrado do vapor d'água na atmosfera como podemos observar na figura 4, que ilustra a variação da temperatura de brilho dos canais do sensor HSB para diferentes valores de  $IWV$ , considerando a emissividade de uma superfície continental 0,9, assim como utilizadas por outros autores (Muller et al. 1994; Rosenkranz 2001). No entanto, o canal de 150 GHz só é influenciado com valores de  $IWV$  superiores a  $45 \text{ mm}$ , a partir daí o vapor d'água tende a eliminar o sinal emitido pela superfície. Esses resultados mostram que os canais na banda de absorção do vapor d'água podem ser utilizados praticamente em todo o Brasil sem restrição da emissividade da superfície. Para o uso do canal de 150 GHz na região do Brasil é muito importante o uso do valor da emissividade o mais próximo do real principalmente para as regiões com baixos valores de  $IWV$ .



**Figura 3** – Gráfico de  $T_B$  (K) em função do conteúdo de vapor d'água para **a)** canal de 150; **b)** canal de  $183 \pm 1$ ; **c)** canal de  $183 \pm 3$  e **d)** canal de  $183 \pm 7$  GHz. As curvas de  $T_b$  são para diferentes emissividades da superfície ( $\epsilon$ ).

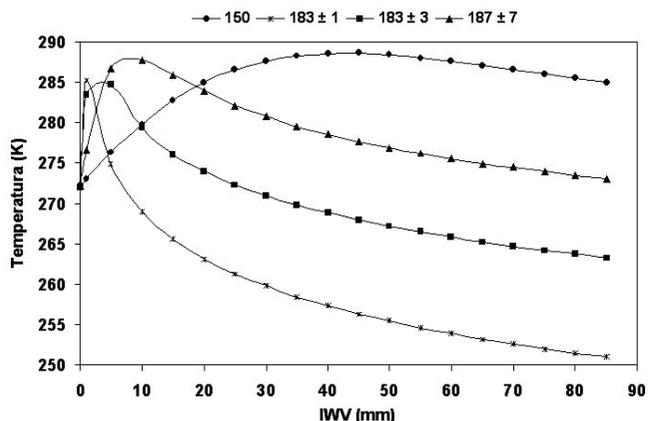


Figura 4 – Gráfico das  $T_b$ 's (K) simuladas em função do  $IWV$  com um valor de emissividade de  $\epsilon = 0,9$ .

### 3.2. Estimativa de $IWV$ a partir das $TB$ 's dos canais do sensor HSB

Esta seção do trabalho explora o potencial das bandas de 150 e 183 GHz para estimativa do  $IWV$  na atmosfera, durante o experimento do RaCCI/LBA. O método empregado neste trabalho baseia-se na correlação estatística aplicado por Kakar e Lambrigtsen (1984), onde considera a hipótese de que o  $IWV$ , em uma camada da atmosfera, pode ser obtido através de uma combinação linear dos canais do HSB. Logo, o  $IWV(n)$  na camada  $n$  pode ser expresso como:

$$IWV(n) = a(n) + \sum_{i=1}^N b_i(n)T_b(v_i) \quad (4)$$

onde  $N$  é o número de canais,  $a(n)$  e  $b_i(n)$  são coeficientes de regressão das combinações dos canais utilizados, e  $T_b(v_i)$  é a temperatura de brilho medida na frequência  $v_i$ . As camadas foram escolhidas de maneira que cada uma represente o máximo da função peso para os canais do HSB, as funções peso são descritas na figura 5.

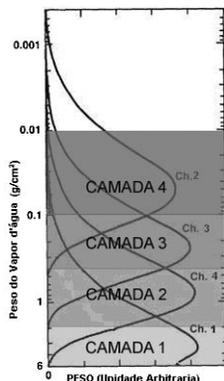


Figura 5 – Representação das camadas sobre as regiões de máximo das funções peso para cada canal do sensor HSB.

Como podemos observar na Figura 5 as funções peso dos canais na faixa de absorção do vapor d'água (183 GHz) se localizam nos altos níveis da troposfera, e portanto, há uma ausência de informações em baixos níveis. Essa falta de informações na baixa atmosfera, onde se encontra a maior concentração do vapor d'água, pode acarretar erros na estimativa do conteúdo total integrado do vapor d'água. Apesar do canal de 150 GHz apresentar o máximo da função peso próximo à superfície e por isso conter uma informação da baixa troposfera, este canal é fortemente influenciado pela emissão da superfície que depende da emissividade e da temperatura da superfície, como foi visto nos resultados das simulações. Para amenizar essa deficiência foram realizadas diferenças entre o canal 4 com os canais 3 e 2 e combinações entre os canais de maneira a obter a melhor relação para descrever a umidade nos baixos níveis. Essa diferença poderá proporcionar informações mais precisas da umidade em um dado nível, uma vez que se observa certa superposição da função peso destes canais. Também foi criada uma nova variável (equação 5) que corresponde à diferença entre o canal de 150 GHz e uma temperatura ponderada de todos os canais na faixa de 183 GHz. 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 principalmente na média e alta troposfera e o canal de 150 GHz a contribuição da superfície.

$$T_{com} = T_{b1} - \left[ \frac{\left( \sum_{i=2}^4 d_i T_{b_i} \right)}{d_{total}} \right] \quad (5)$$

onde  $T_{b1}$  é a temperatura de brilho do canal de 150 GHz;  $T_{b_i}$  são os canais de  $183 \pm 1$ ,  $\pm 3$  e  $\pm 7$ , respectivamente;  $d_i$  são os coeficientes da regressão linear estimada para os canais  $T_{b_i}$  e  $d_{total}$  é a soma de todos os coeficientes.

Para a obtenção dos coeficientes de regressão da equação 4, foram utilizadas trezentas e cinquenta radiossondas lançadas nos sítios experimentais de Guajará-Mirim, Ouro Preto, Porto Velho e Rebio Jaru para todos os horários, com exceção das radiossondas lançadas nos horários de 0600 GMT e 1800 GMT, que serão utilizadas na validação do  $IWV$ , e as correspondentes temperaturas de brilho simuladas para cada canal. Para cada radiossonda foi calculado o  $IWV$  total e também para quatro diferentes camadas. As temperaturas de brilho  $T_b(v_i)$  para cada canal do sensor HSB foram simuladas pelo RTTOV-7 para o ângulo de visada do satélite no nadir e considerando uma superfície continental com emissividade  $\epsilon = 0,9$ .

Para selecionar os subconjuntos dos canais mais significativos para cada camada foi utilizado o procedimento de regressão linear múltipla pelo método de "Stepwise" (Neter e Wasserman, 1974). As equações de regressão para cada camada e os canais selecionados são mostrados na Tabela (2). Na

primeira coluna da tabela encontram-se as camadas para as quais foram calculadas as equações e na última coluna os coeficientes de correlação múltiplos ( $r$ ) para cada camada.

Observa-se na Tabela 2 que as melhores correlações múltiplas foram encontradas para camadas de 600\_400 hPa e 400\_200 hPa de pressão, camadas as quais correspondem aos picos máximos das funções peso dos canais de 183 GHz.

Esse método de recuperação do conteúdo integrado do vapor d'água foi testado em um conjunto de dados de temperaturas de brilho medidas pelos canais do HSB sobre os sítios experimentais e dados das radiossondas correspondentes ao mesmo horário da passagem sobre o sítio. Todos os dados foram obtidos para situações com no mínimo 70% de céu claro. Esse conjunto de informações é independente daqueles utilizados para a obtenção dos coeficientes de correlação, totalizando um conjunto de nove radiossondas. Os resultados estatísticos são descritos na Tabela (3), que em sua segunda coluna descreve o valor médio do *IWV* das radiossondas selecionadas. Com base nas temperaturas de brilho medidas pelo satélite e as equações de regressão para cada camada, realizou-se a estimativa de *IWV* em toda coluna da atmosfera.

A terceira coluna da tabela 3 mostra os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre o *IWV* estimado e obtido pela radiossonda para cada camada. Observa-se que o *IWV* da camada da superfície até o nível de 800 hPa é o que apresenta a menor correlação com os canais do HSB. Como mencionado anteriormente,

apesar do canal de 150 GHz ter o máximo da função peso na superfície, ele é fortemente influenciado pela emissão da superfície. Ao contrário, para as camadas nos altos níveis, os canais do HSB mostraram-se bastante significativos na estimativa do *IWV* nesses níveis, principalmente quando se leva em consideração o integrado dos altos níveis (600-200hpa). Os erros de rms do *IWV* estimado em relação às médias das camadas das radiossondas oscilaram entre 16% e 46%. Uma provável causa que influenciou os erros nos níveis altos pode ser atribuída ao efeito das nuvens. Esses erros possivelmente seriam menores se fossem consideradas apenas situações de 100% de céu claro. Por exemplo, se fosse aumentada a condição de céu claro para no mínimo 80%, o valor rms da camada 600\_400 cairia para metade do seu valor. A estimativa do *IWV* para as camadas atmosféricas obtidas nesse trabalho apresentou rms semelhante àqueles obtidos por Blankenship et al. (2000) e Sohn et al. (2003) que utilizaram métodos físicos para a estimativa do conteúdo integrado do vapor d'água na atmosfera.

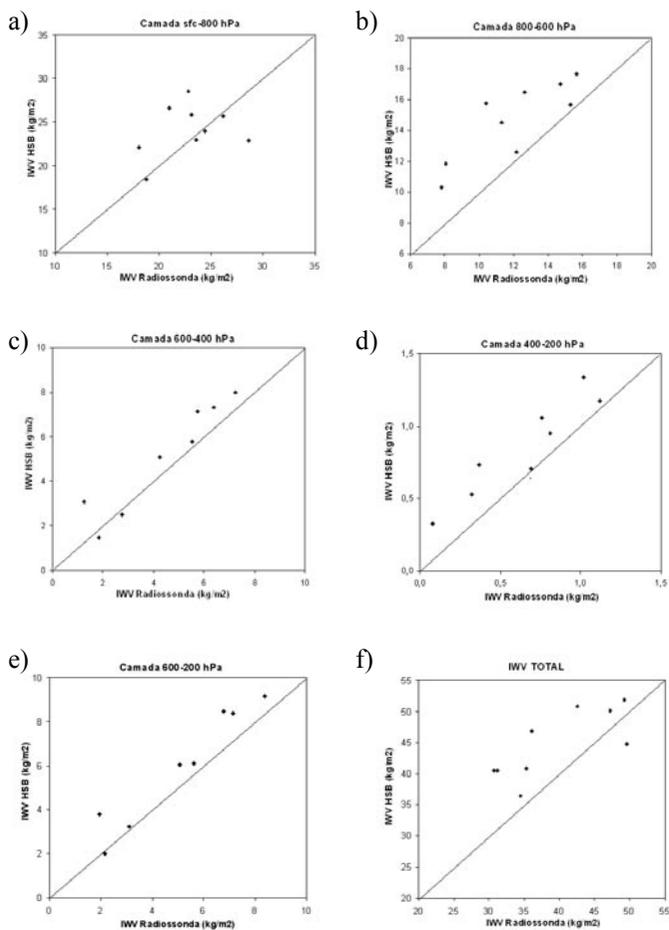
A Figura 6 apresenta os gráficos de dispersão do *IWV* estimado pelo HSB e medido pelas radiossondas para todas as camadas analisadas. Nota-se uma maior dispersão para os níveis mais baixos e uma menor dispersão para os níveis mais altos. Isso mostra que os canais do HSB são adaptados para obter a umidade em determinadas camadas atmosféricas. Contudo, para estimar o *IWV* total, o erro aumenta consideravelmente em função da falta de informações dos baixos níveis.

**Tabela 2** – Equações de regressão e coeficientes de correlação múltiplos para cada camada atmosférica na região do experimento RACCI/LBA

Camada	Equação de Regressão	r
SFC_800	$-58,81 + 0,266*TB1 + 0,645*T_{com} + 0,109*(TB4-TB2)$	0,46
800_600	$142,59 - 0,452*TB1 + 0,772*T_{com} - 0,318*(TB4-TB3)$	0,86
600_400	$169,51 + 0,245*TB3 - 0,834*TB4$	0,95
400_200	$21,50 - 0,051*TB2 - 0,030*TB3$	0,90

**Tabela 3** – Parâmetros estatísticos calculados para comparação entre o *IWV* estimado por satélite e o obtido por radiossonda

Camadas (hPa)	Radiossonda		Estatísticas	
	Média (kg/m <sup>2</sup> )	r	BIAS (kg/m <sup>2</sup> )	RMS (kg/m <sup>2</sup> )
SFC_800	22,95	-0,63	1,17	3,69
800_600	12,00	-0,69	2,66	3,07
600_400	4,04	-0,90	1,13	1,84
400_200	0,59	-0,88	0,19	0,22
600_200	5,90	-0,93	0,88	1,91
<i>IWV</i> <sub>total</sub>	39,59	-0,56	5,14	7,00



**Figura 6** – Gráfico de Dispersão do I WV estimado pelo sensor HSB e medido pelas radiossondas para as camadas: **a)** sfc-800hPa; **b)** 800-600hPa; **c)** 600-400hPa; **d)** 400-200hPa; **e)** 600-200hPa; e o **f)** I WV total, para os nove dias com cobertura de céu acima de 70%.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho analisa-se o uso dos canais de microondas na janela atmosférica (150 GHz) e na banda de absorção do vapor d’água (183 GHz) presentes no sensor HSB para a estimativa do *I WV* na atmosfera. Em uma primeira etapa foi estudado o comportamento das temperaturas de brilho dos canais do HSB através de simulações para situações de céu claro com os modelos de transferência radiativa RTTOV. A segunda parte consta de um estudo prático sobre o comportamento dos canais do HSB na região tropical durante o experimento de campo RaCCI/LBA no período de setembro a outubro de 2002. Com base nos resultados obtidos teórica e empiricamente concluiu-se que os canais do HSB respondem satisfatoriamente à variabilidade do vapor principalmente na média e alta troposfera.

Para as simulações em condições de céu claro os resultados demonstram que as temperaturas de brilho dos

canais de  $183 \pm 1, \pm 3$  e  $\pm 7$  GHz praticamente não sofrem influência do efeito da emissividade da superfície. Segundo esses resultados a estimativa do *I WV* na atmosfera permite relacionar diretamente a temperatura de brilho com a quantidade de vapor d’água (para um determinado perfil vertical de temperatura) nas situações de céu claro. Por outro lado, o canal de 150 GHz é bastante sensível à emissividade da superfície, logo, sua utilização quando se desconhece o valor da emissividade da superfície é limitada às situações de alto conteúdo de vapor d’água na atmosfera. Em geral, a tentativa da estimativa do vapor d’água utilizando o sensor HSB será melhor para as regiões da média e alta troposfera uma vez que os máximos das funções peso dos canais de 183 GHz estão localizados nesses níveis.

O vapor d’água é um composto muito importante no balanço de energia e sistemas climáticos globais por causa de sua capacidade de submeter-se a mudanças de fase e exercer fortes influências termais no aquecimento diabático (Sohn et al., 2003). Além disso, o vapor d’água é considerado um elemento chave na variação climática porque ele corresponde ao principal agente causador do efeito estufa. A variabilidade do vapor d’água na alta atmosfera exerce uma grande influência na variação do fluxo de onda longa. Como as observações convencionais por radiossonda oferecem somente cobertura espacial bastante limitada, particularmente sobre América do Sul (Sapucci et al., 2004), então é de grande importância um método de estimativa do vapor d’água na atmosfera que melhore substancialmente as limitações impostas pelas radiossondagens. Esse método é apresentado neste trabalho.

O estudo de caso voltado para a estimativa do *I WV* utilizando uma regressão linear empírica obtida a partir dos dados de temperatura de brilho dos canais do HSB e os dados de radiossondagem da campanha RaCCI/LBA comprovou os resultados obtidos pelas simulações numéricas para as condições de céu claro. As melhores correlações encontradas foram para as camadas superiores da atmosfera, com coeficientes de correlação apresentando valores em torno de 0,9, enquanto que para as camadas mais baixas, esses valores ficaram em torno de 0,65. Esses resultados mostram que os canais do sensor HSB são bastante promissores para estimar o *I WV* na alta e média troposfera embora se mostrem imprecisas para estimar o *I WV* nos baixos níveis.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa de mestrado do primeiro autor, Wagner Flauber Araújo Lima.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANKENSHIP, C.B.; AL-KHALAF, A.; WILHEIT, T. T. Retrieval of Water Vapor Profiles Using SSM/T-2 and SSM/I Data. **J. Atmos. Sci.**, v. 57, p. 939-955, 2000.
- KAKAR, R. K.; LAMBRIGTSEN, B. H. A statistical correlation method for the retrieval of atmospheric moisture profiles by microwave radiometry. **J. Climate Appl. Meteor.**, v. 23, p. 1110-1114, 1984.
- LAMBRIGTSEN, B. H.; CALHEIROS, R. V. The Humidity Sounder for Brazil – An international partnership. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, v. 41, pp. 352-361, 2003.
- LIMA, W. F. A. **Um estudo sobre o uso do sensor HSB na estimativa da água precipitável e da precipitação**. 2004. 135f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, No prelo.
- MATRICARDI, M.; CHEVALLIER, F.; TJEMKES, S. An improved general fast radiative transfer model for the assimilation of radiance observations. **ECMWF Research Dept. Tech. Memo**. 345 (available from the librarian at ECMWF), 2001.
- McCLATCHEY, R. A.; FENN, R. W.; SELBY, J. E. A.; VOLZ, E. E.; GARING, J. S. Optical properties of the atmosphere (revised), Environ. Res. Pap. 354, Air Force Cambridge Res. Lab., Bedford, Mass. 1971.
- MULLER, B.M.; FUELBERG, H.E.; XIANG, X. Simulations of effects of water vapor, cloud liquid water, and ice on AMSU moisture channel brightness temperatures. **J. Applied Meteor.**, v. 33, p. 1133-1154, 1994.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.: **Applied Linear Statistical Models**. Richard D. Irwin, Inc., Illinois, 1974.
- ROSENKRANZ, P.W. Retrieval of temperature and moisture profiles from AMSU-A and AMSU-B measurements. **IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing**, v. 39, p. 2429-2435, 2001.
- SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T.; DA SILVEIRA, R. B.; FISCH, G.; MONICO, J. F. G. Analysis of Relative Humidity Sensors at WMO Radiosonde Intercomparison Experiment in Brazil. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**. Submitted: Apr., 2004, accepted Dec., 2004. No prelo.
- SHARER, G.; WILHEIT, T. T. A passive microwave technique for profiling of atmospheric water vapor. **Radio Science**, v. 14, n. 3, p. 371-375, 1979.
- SIQUEIRA, J. R. **Cálculo de transmitância atmosférica para avaliação de funções peso de sensores orbitais em microondas**. 199. 99f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, No prelo.
- SOHN, B.J.; CHUNG, E.S.; SCHMETZ, J.; SMITH, E.A. Estimating Upper-Tropospheric Water Vapor from SSM/T-2 Satellite Measurements. **J. of Appl. Meteor.**, v. 42, p. 488-504, 2003.
- STAE LIN, D.H.; CHEN, F.W. Precipitation Observations Near 54 and 183 GHz using the NOAA-15 Satellite. **IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing**, v. 38, p. 2322-2331, 2000.
- VIANELLO, R.L. E ALVES, A. R.: **Meteorologia Básica e Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária. p. 429, 1991.
- WANG, J. R.; KING, J. L.; WILHEIT, T. T.; Szejwach, G. Profiling Atmospheric Water by Microwave Radiometry. **J. of Climate and Applied Meteor.**, v. 22, p. 779-788, 1983.
- WANG, J. R. AND CHANG, L. A.: Retrieval of water vapor profiles from microwave radiometric measurement near 90 and 183 GHz. **J. Appl. Meteor.**, v. 29, p. 1005-1013, 1990.
- WILHEIT, T.T.: An algorithm for retrieving water vapor profiles in clear and cloudy atmospheres from 183 GHz radiometric measurements: Simulations Studies. **J. Appl. Meteor.**, v. 29, p. 508-515, 1990.