

## **Extração do vento utilizando imagens de satélite no CPTEC : Nova versão e avaliação com dados do WETAMC/LBA e dados operacionais da DSA/CPTEC**

Henri Laurent <sup>1,4</sup>, Nelson Arai<sup>2</sup>, Boris Fomin <sup>3</sup>, Luiz Augusto T. Machado <sup>1</sup> e Mariglaudio A. Gondim <sup>2</sup>

<sup>1</sup>CTA/IAE/ACA, São José dos Campos, SP

<sup>2</sup>CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP

<sup>3</sup>LCP/MSK, Moscow, Russia

<sup>4</sup>IRD, LTHE, Grenoble, France

### **Resumo**

Campos de ventos obtidos através do deslocamento de nuvens observados em imagens de satélites geostacionários são ferramentas importantes na produção de observações para assimilação em modelos de circulação geral da atmosfera. Este estudo apresenta mudanças no algoritmo e melhorias no método em operação no CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Duas melhorias principais foram implementadas: uma correção da altura de nuvens semi-transparentes, usando um novo modelo simplificado de transferência radiativa e um teste de consistência espacial. O desempenho do modelo radiativo foi avaliado usando cálculos linha por linha. O esquema como um todo foi comparado com o “estado da arte” representado pelos campos de vento obtidos por deslocamento de nuvens produzidos pela NOAA/NESDIS e validados através da comparação com dados de radiosonda obtidos na campanha WETAMC/LBA. Os resultados mostram que o produto da versão do CPTEC tem um desempenho semelhante aos produtos da NOAA/NESDIS para níveis troposféricos altos, ao passo que indicam a necessidade de maiores esforços na melhoria de ventos de nível médio e baixo. Essa nova versão do algoritmo vem sendo usada operacionalmente no CPTEC desde setembro de 2000 e algumas comparações com dados de radiosonda são apresentadas. Os resultados mostraram que em um esquema operacional os resultados foram piores que outros obtidos em campanha, devido a problemas encontrados com as imagens e com os dados de radiosondagem.

## **Abstract**

Cloud motion wind derived from geostationary satellite images is an important tool to produce valuable observations for assimilation in atmospheric general circulation models. This study describes algorithm changes and improvements to the method operating at the CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos). Two main improvements were developed: a height correction of the semi-transparency clouds, using a new radiative transfer simplified model, and a spatial consistency test. The performance of the radiative model was evaluated using full line-by-line calculations. The whole scheme was compared to the state of the art represented by the cloud motion winds produced by the NOAA/NESDIS and validated by comparisons with radiosonde data available from the WETAMC/LBA campaign. Results show that the new version of the CPTEC cloud motion wind product seems to perform as well as the NOAA/NESDIS product for the high troposphere levels, whereas there are some indications that more efforts are needed to improve the low and mid-levels. This new version is being used operationally at the CPTEC since September 2000 and some comparisons with radiosonde data are presented. The results show that in operational basis the performance were poorer than than obtained during the WETAMC/LBA campaign, because of problems encountered with the images and with the radiosonde data.

## **1. Introdução**

Os ventos deduzidos através da análise da trajetória das nuvens, observadas por imagens de satélites geoestacionários, são reconhecidos como uma importante fonte de informação para a previsão numérica do tempo. Os ventos extraídos através destes métodos são em maior número e mais importantes em regiões tropicais onde as observações convencionais são esparsas. Ressaltamos também a importância destas informações sobre os Oceanos e principalmente no Hemisfério Sul em vista da grande área coberta pelos mesmos.

Atualmente existem alguns centros meteorológicos que operam tais modelos, como a EUMETSAT (European Meteorology Satellite) na Europa, o NOAA/NESDIS (National Environmental Satellite and Information Data Services) nos EUA e o JMA (Japan Meteorological Agency) no Japão.

A assimilação de dados para alimentar o modelo de previsão do CPTEC é um ponto fundamental, principalmente para a nossa região com pobre cobertura de dados convencionais. A implantação de rotinas operacionais para extração de vento, perfis de temperatura e umidade, precipitação e outros parâmetros diagnósticos possibilitará uma representação mais realista das condições iniciais. O CPTEC necessita preparar as condições iniciais, mesclando o resultado do próprio modelo com os outros parâmetros, necessitando dos dados convencionais e dos parâmetros extraídos das imagens de satélite.

O satélite geostacionário GOES posicionado em 75°W observa a Terra com imagens nos canais visível, infravermelho e vapor d'água. A resolução espacial é de 4 km x 4 km no canal infravermelho (IR) e de 4 km x 8 km no canal vapor d'água (WV). A resolução temporal é de 30 minutos para todos os canais. O modelo utiliza atualmente as imagens IR e WV, contudo pensa-se em utilizar futuramente a imagem visível para a realização de uma classificação mais precisa de nuvens. Atualmente o modelo utiliza uma imagem IR em  $t_0-30$  minutos, uma imagem IR e uma imagem WV em  $t_0$  e uma imagem IR em  $t_0+30$  minutos. O modelo opera com as imagens gravadas pelo sistema de aquisição do CPTEC. Esse sistema calibra e transforma as imagens IR e WV em valores de radiância e posteriormente em temperatura de brilho, e geolocaliza a imagem permitindo obter as latitudes e longitudes de cada pixel.

## **2. Cálculo dos vetores**

O cálculo dos vetores é inteiramente automático. Um vetor é obtido através do deslocamento de um alvo (nuvem) entre duas imagens. Para este cálculo o modelo estima os vetores através da distância euclidiana entre uma área alvo de 32x32 pixels ( $\cong 150$  km x 150 km) na imagem ( $t$ ) e todas as áreas de 32x32 pixels que existem em uma janela de 96x96 pixels na imagem ( $t+\Delta t$ ). As formulações e detalhes do método são apresentados por Laurent e Machado (1994).

### **2.1 Controle de qualidade**

Para análise da qualidade dos ventos calculados, vários testes são aplicados. Obtido o melhor deslocamento, calcula-se a correlação correspondente visando analisar a qualidade na identificação do alvo. Se a correlação é inferior a 0.7, despreza-se o vetor. Outra condição de rejeição é para velocidades menores que  $3 \text{ ms}^{-1}$ , porque nesse caso o alvo pode ser a superfície ou uma nuvem estacionário orográfica.

O teste de qualidade mais importante é o teste de consistência temporal. Para a aplicação deste teste utilizamos a imagem em  $t_0 - 30$  minutos. O teste calcula o vetor vento entre  $t_0$  e  $t_0 - 30$  minutos, o resultado do vetor calculado não pode ser muito diferente que aquele calculado entre  $t_0$  e  $t_0 + 30$  minutos. Se houver uma diferença significativa o vetor é rejeitado, pois considera-se que a correlação foi baseada em formações de nuvens aleatórias e não em um deslocamento real de um determinado conjunto de nuvens. Para tanto, utilizamos como valor máximo aplicado ao módulo do vetor diferença entre  $V_1$  (vetor entre  $t_0$  e  $t_0 + 30$  minutos) e  $V_2$  (vetor entre  $t_0$  e  $t_0 - 30$  minutos) a seguinte relação :

$$|V_1 - V_2| < 5 + 0.2 |V_1| \quad (\text{ms}^{-1})$$

Um novo teste foi implementado nesse trabalho, para verificar a consistência espacial dos vetores. Ele é aplicado após o cálculo dos vetores pois é necessário a distribuição espacial do campo de vento. Para cada vetor  $V_1$  calcula-se as diferenças vetoriais com todos os vetores vizinhos, num raio de 4 graus e em uma camada de  $\pm 100$  hPa. Seja  $\Delta V$  o menor vetor diferença, o vetor  $V_1$  será desprezado se não se verifica a seguinte relação :

$$|\Delta V| < 1.5 (0.2 |V_1| + 1) \quad (\text{ms}^{-1})$$

O efeito desse teste de consistência espacial é avaliado nesse trabalho.

## 2.2 Definição da altura do vetor vento

Considera-se que o nível de pressão de um dado vetor é igual ao nível de pressão onde a temperatura da atmosfera é igual à temperatura de brilho infravermelha da nuvem, usando para isso o perfil de temperatura e pressão previsto pelo modelo do CPTEC para a posição geográfica do vetor. No entanto, como a emissividade das nuvens é frequentemente inferior a 1, aplica-se uma correção para nuvens semitransparentes. Para usar essa correção conhecida como “semi-transparency correction” (Bowen and Saunders, 1984, Schmetz et al., 1993) precisa-se das radiâncias da nuvem e do céu aberto (“background”) para os canais infravermelho (IR) e vapor d’água (WV). Desta forma, calcula-se a média entre os 20% dos pixels mais frios e os 10% mais quentes na janela de cálculo, para as imagens IR e WV. Em paralelo um modelo radiativo calcula as radiâncias IR e WV para nuvens opacas (emissividade igual a 1) em várias alturas, utilizando como dados de entrada os perfis verticais de temperatura e umidade do modelo do CPTEC. O modelo radiativo foi desenvolvido por Fomin (1995) e adaptado para o modelo de cálculo de vento do CPTEC a partir dos canais IR e WV do satélite GOES.

### 3. Modelo radiativo

Primeiramente, foi utilizado um modelo line-by-line (LBL) para simulação das radiâncias em cada canal (IR e WV), para vários perfis da atmosfera, supondo nuvens opacas em diferentes níveis. As funções de transmitância de cada canal foram ajustadas para os canais IR e WV do satélite GOES-8. Para calcular os coeficientes de absorção, usamos o algoritmo LBL de Fomin (1995), a base de dados espectrais do HITRAN-96 (Rothman et al., 1998) e o modelo de *continuum* de vapor d'água CKD2.2 (Clough et al., 1989). Este modelo foi utilizado com uma resolução espectral de  $1/2048 \text{ cm}^{-1}$ , suficiente para resolver cada linha espectral. As formulações e detalhes usados para a integração no número de onda e no espaço são apresentadas por Feigelson et al. (1991). Os cálculos realizados pelo modelo LBL incluíram absorção por H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO. Os resultados (não apresentados) mostram, como esperado, que a absorção pelo vapor d'água é o fator primordial nesse caso.

No modelo operacional divide-se a atmosfera em N camadas onde os coeficientes de absorção espectral são constantes e a altura tem uma dependência linear com a função de Planck dentro da camada (veja por exemplo, Ridgway et al., 1991). Para o canal IR as equações radiativas são resolvidas usando o modelo do *continuum* de vapor d'água de Roberts et al. (1976). Para o canal WV, operando na banda de forte absorção de vapor d'água, a parametrização foi desenvolvida baseada na metodologia chamada K-distribution (Liou, 1992) adaptada para a absorção do vapor d'água (Chou and Lee, 1996). Nessa metodologia o espectro de absorção  $K_v$ , nesta parte contínua, pode ser substituído por uma série de M coeficientes de absorção  $K_i(P,T)$  dependendo da pressão e da temperatura, ponderados por pesos  $f_i$ . Segundo Chou and Lee (1996) os coeficientes  $K_i^*$  (e os pesos  $f_i$ ) foram derivados para o padrão  $P_{ref}=300 \text{ hPa}$  and  $T_{ref}=240 \text{ K}$  diretamente dos dados do LBL (Liou, 1992). A dependência com a pressão e a temperatura pode ser aproximada por :

$$K_i(P,T) = R(P,T) K_i^*$$

Onde  $R(P,T) = (P/P_{ref})^\gamma \exp(0.00135(T-T_{ref}))$ .

Mas mudamos o valor  $\gamma=0.8$  sugerido por Chou and Lee (1996) para  $\gamma=0.4$ , pois apresentavam melhores resultados para nosso tipo de dados. Acharos também que sete coeficientes e pesos ( $M=7$ ) foram suficientes para uma boa aproximação. Os valores desses coeficientes são apresentados na Tabela 1.

O modelo operacional (modelo simplificado) foi validado com o LBL (exacto). A Tabela 2 mostra os resultados para um perfil padrão de atmosfera tropical. O modelo operacional é muito próximo do modelo LBL usando só a absorção H<sub>2</sub>O (erro  $\leq 0.1 \text{ K}$  no IR, erro  $\leq 0.2 \text{ K}$  no WV).

Comparando com o LBL usando a absorção de sete gases, o erro do modelo operacional é inferior a 0.5 K nos dois canais.

#### **4. Avaliação da metodologia**

Nessa parte são analisados os vetores vento produzidos pela nova versão do algoritmo, visando uma avaliação :

- do impacto da correção de semi-transparência das nuvens ;
- do impacto do teste de consistência espacial ;
- da qualidade geral do produto final.

A avaliação foi realizada com dados de radiossondagem, no período da campanha WETAMC (Amazon Mesoscale Campaign – Wet season) do experimento LBA (Large scale Biosphere Atmosphere experiment), onde foram conduzidas medidas intensivas (4 radiossondagens a cada 3 hora) entre 15 de janeiro e 25 de fevereiro de 1999 em uma área da Amazônia (Silva Dias, 2001, Silva Dias et al., 2001). Os resultados são apresentados para o período de 15/01/2000 à 3/02/2000. Além das radiossondagens, fizemos uma comparação com os vetores vento produzidos pela NOAA/NESDIS a partir das mesmas imagens GOES. Esse produto está sendo desenvolvido há vários anos, utilizando algoritmos muito sofisticados (Menzel et al., 1983, Nieman et al., 1997). Considerado como um dos dois melhores produtos de vento por satélite (veja por exemplo Eumetsat, 1998) ele pode servir de referência nessa área.

Os vetores ventos foram produzidos para esta versão teste com uma frequência média de 3 horas no período do estudo utilizando-se a metodologia descrita acima, só que os perfis de temperatura e umidade usados foram os dados da reanálise NCEP (Kalnay et al., 1996) em lugar dos dados do modelo do CPTEC. Isso permite minimizar o possível efeito do modelo meteorológico usado, pois a reanálise é mais precisa que qualquer análise ou previsão operacional. Os dados de reanálise do NCEP são disponíveis sobre um grade de 2.5 graus de latitude e longitude, cada 6 horas, para 14 níveis : 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 e 50 hPa. Infelizmente os valores de umidade na alta troposfera não são bem representados, em consequência não se tem dados de umidade para os níveis de pressão menores que 300 hPa. Para esses níveis os valores da umidade foram interpolados da seguinte forma : uma interpolação linear da umidade relativa entre o valor em 300 hPa e 0% em 50 hPa. Essa aproximação é razoável com relação as observações de radiossondagem do LBA.

Os vetores ventos gerados a partir do CPTEC foram comparados com uma referência (radiosondas ou vetores NOAA/NESDIS) considerando-se um raio de 150 km e um intervalo máximo de tempo de 1,5 hora. Foram calculados o módulo do vetor médio da diferença entre o vetor CPTEC e o vetor da referência, o erro quadrático médio (RMS) do vetor médio da diferença, o erro médio (BIAS) da velocidade (CPTEC menos referência), o RMS da diferença de velocidade, a velocidade média da referência, e a amostragem.

A Tabela 3 mostra os resultados da comparação entre os vetores CPTEC e NOAA/NESDIS. Além dos parâmetros estatísticos descritos acima foram calculados o BIAS da pressão e o RMS da diferença de pressão. O RMS do vetor médio da diferença é menor que  $6.5 \text{ ms}^{-1}$ , o que é um excelente resultado pois é da ordem do RMS devido à diferença de posição espacial e temporal entre os vetores (esse assunto é detalhado por Schmetz et al., 1983). O BIAS também é pequeno, e negativo como previsto, pois a velocidade dos vetores NOAA/NESDIS é artificialmente aumentada para compensar uma tendência bem conhecida dos ventos obtidos por satélites de subestimar os ventos fortes. Para a estimativa dos níveis de pressão dos vetores, o RMS e o BIAS da pressão mostram um resultado muito satisfatório para os níveis altos ( $P < 400 \text{ hPa}$ ), contudo para os níveis médios e baixos observa-se um alto valor de BIAS e RMS. Note que a altura dos vetores NOAA/NESDIS é ajustada usando um modelo de previsão e/ou dados de observação disponíveis. Certamente uma melhor classificação das nuvens é necessária para melhorar a estimação do vento por satélite.

O efeito da correção de semi-transparência das nuvens na estimativa da altura do vetor vento pode ser obtida comparando os valores da Tabela 4 com os da Tabela 3. A correção reduziu o erro na estimativa do nível dos ventos em altos e médios níveis (níveis na qual nuvens semi-transparentes podem ser identificadas). As estatísticas na comparação do vento com os vetores NOAA/NESDIS não mudaram no total, pois são os mesmos vetores. Só existem pequenas diferenças devido a mudança de uma parte dos vetores médios para níveis altos. O número de ventos em altos níveis aumenta por volta de 14 %. Com aplicação dessa correção, o BIAS da pressão mudou de 28 hPa para -2 para os níveis mais altos, e diminuiu de 59 hPa para 24 hPa para os níveis médios. No entanto essa correção não afeta os vetores baixos ( $P > 700 \text{ hPa}$ ).

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos quando o teste de consistência espacial não é aplicado. O efeito da aplicação desse teste é de remover cerca de 12% dos vetores, levando uma redução do RMS de  $7.1 \text{ ms}^{-1}$  para  $5.9 \text{ ms}^{-1}$  no total. Nota-se que a velocidade de referência não diminuiu (ao contrário ela aumentou ligeiramente), isso quer dizer que o efeito do teste de consistência espacial

não foi de desprezar os vetores de alta velocidade mas sim desprezar os vetores inconsistentes espacialmente.

Os vetores extraídos das imagens de satélite foram comparados com o vento medido pelas radiosondas no nível correspondente (máxima diferença de 15 hPa). A Figura 1 apresenta a evolução temporal das componentes zonal e meridional do vento medidas por uma estação de radiosondagem e dos ventos calculados pelo CPTEC e pela NOAA/NESDIS. Observamos uma grande coerência entre as diferentes formas de obter o vetor vento.

Uma avaliação dos vetores vento com os dados de radiosondas é apresentada nas Tabelas 6 e 7. O período do experimento foi dominado por nuvens altas, resultando em um número reduzido de medidas por satélite nos níveis médios e baixos. Portanto os resultados não são significativos para esses níveis. Para o nível alto ( $P < 400$  hPa) os vetores CPTEC tem um RMS de  $6.5 \text{ ms}^{-1}$  e um BIAS de  $-2.5 \text{ ms}^{-1}$  para uma velocidade média de  $11.3 \text{ ms}^{-1}$ . Os vetores NOAA/NESDIS tem um RMS de  $6.3 \text{ ms}^{-1}$  e um BIAS de  $-0.8 \text{ ms}^{-1}$  para uma velocidade média de  $10.4 \text{ ms}^{-1}$ . Esses resultados mostram uma performance igual para os dois métodos. Nos níveis mais baixos não podemos concluir, mas os poucos dados (3 em níveis baixos e 13 em níveis médios) sugerem que os vetores do CPTEC não são tão bons, e que estes devem ser melhorados.

## **5. Avaliação do produto operacional da Divisão de Sistemas e Satélites Ambientais – DSA/CPTEC.**

Estimativas de campos vetoriais do vento baseados no deslocamento de nuvens utilizando imagens de satélites geostacionários começaram a ser disponibilizados operacionalmente 8 vezes ao dia em setembro de 2000 pela DSA/CPTEC. Um exemplo de campos de vento em três níveis obtidos no esquema operacional do CPTEC para o dia 30 de dezembro de 2000 é apresentado na Figura 2. Nota-se um grande número de vetores com uma boa consistência espacial. Um exemplo de estimativa incorreta na pode ser visto na região (10 N-35 W) onde três vetores representativos do vento na alta ou média troposfera foram estimados como vento de baixos níveis.

Ao longo do tempo, várias implementações foram feitas no algoritmo original visando resultados mais consistentes e confiáveis, podendo-se citar entre outros a correção de nuvens semitransparentes e o teste de consistência espacial. Conforme pode ser observado no capítulo anterior, os resultados da comparação dos dados obtidos através da metodologia com os dados observados nas radiosondagens durante a realização do experimento WETAMC/LBA se mostraram



bastante satisfatórios. Tratam-se de resultados obtidos em condições extremamente favoráveis, tendo em vista que os dados do satélite GOES utilizados foram obtidos diretamente da NOAA/NESDIS, o que garante uma certa “qualidade” dos dados (mesmo assim com problemas em cerca de 8% das imagens). Os dados de radiosonda por sua vez foram obtidos durante um experimento específico, utilizando um único sistema de sondagem, o que propicia maior consistência e qualidade nas observações. Em um experimento deste tipo as colocações entre os dados de satélites e radiosondas podem ser muito melhor definidas que em um esquema operacional, onde tanto a localização das radiosondas quanto os horários das mesmas podem não coincidir umas com as outras.

A título de exemplo de comparação entre campos vetoriais do vento obtidos operacionalmente na DSA/CPTEC e dados de radiosonda apresentam-se comparações para o mês de dezembro de 2000 na Tabela 8.

Concorrem para os resultados obtidos na Tabela 8, entre outros, problemas com frequência na obtenção de imagens, tendo em vista que a NOAA/NESDIS não transmite imagens para o setor sul durante sua operação no modo “rapid scan” no hemisfério norte, o que inviabiliza a metodologia que se utiliza de seqüência de três imagens consecutivas.

Tomando como exemplo o mesmo mês de dezembro de 2000, observa-se que de um total de 717 imagens possíveis, foram efetivamente geradas 366 imagens, perfazendo um total de 51% de imagens utilizáveis. Esta perda deve ser creditada conjuntamente a problemas de recepção das imagens transmitidas pela NOAA/NESDIS (observar que mesmo nas imagens de arquivo da NOAA/NESDIS durante o experimento WETAMC/LBA o percentual de imagens com problemas foi de cerca de 8%); e problemas de perda de imagens no próprio sistema de recepção da DSA/CPTEC.

Deve ser ressaltado também que algumas estações de radiosondagem apresentaram sistematicamente dados com grandes diferenças em relação aos dos algoritmo, valores que em uma análise mais detalhada mostraram-se improváveis no que se refere à estrutura vertical da sondagem.

Outro fato observado foi a ocorrência de grupos de vetores com sentido oposto ao fluxo do vento em um mesmo nível. Uma análise mais acurada de algumas situações particulares mostraram um cisalhamento muito forte do vento em uma camada fina da atmosfera, indicando que embora esses vetores fossem colocados em um mesmo nível, na realidade estavam em níveis diferentes mas próximos entre si. Este tipo de problema tende a desaparecer com uma melhor estimativa na altura das nuvens.

Observou-se também que a correção de semi-transparência ocasionalmente não funciona, principalmente quando confunde nuvens altas finas com nuvens baixas. Este problema pode ser minimizado com uma melhor definição de limiares, que serão estabelecidos através de uma análise específica para este tipo de caso.

A maioria dos problemas relacionados anteriormente serão minimizados com um esquema de classificação de nuvens mais preciso.

## **6. Conclusão**

Uma nova versão do método de extração de vento por satélite do CPTEC foi testada. Dois principais melhoramentos foram desenvolvidos : uma correção da altura das nuvens semi-transparentes, utilizando um modelo radiativo original ; e um filtro de consistência espacial. O modelo radiativo foi avaliado usando um modelo line-by-line. Os vetores do modelo do CPTEC produzidos com a nova versão foram comparados com os vetores produzidos pela NOAA/NESDIS, uma fonte reconhecidamente precisa, para analisar o funcionamento da metodologia e o efeito das modificações. Como previsto, a correção de semitransparência permite melhorar a determinação da altura dos vetores vento em altos níveis. O filtro de consistência espacial tem um forte impacto, melhorando as estatísticas para todos os níveis. Os vetores do modelo do CPTEC tornam-se tão bons quanto os vetores NOAA/NESDIS para o nível alto. Esse resultado é encorajador pois os vetores da NOAA/NESDIS já foram ajustados usando um modelo de previsão. Para os níveis médios e baixos os resultados indicam que os vetores do modelo do CPTEC não são tão bons, embora a população estatística não seja significativa para se tirar conclusões. Com relação a comparação com as radiosondas do WETAMC/LBA os resultados mostram que o RMS para ambos modelos apresentam resultados bastante satisfatórios para os níveis altos.

A performance do modelo do CPTEC para o esquema operacional é limitada por alguns problemas básicos como falhas na transmissão de imagens, problemas no sistema de recepção do CPTEC, e ruídos nas imagens transmitidas pela NOAA/NESDIS, conforme descrito no item 5 do presente estudo. Além disso verificou-se na comparação com dados de sondagens que algumas estações apresentaram problemas na consistência dos dados. Como o período de comparação foi bastante curto (1 mês) espera-se que com a análise de um período mais longo, uma melhoria no controle de qualidade das imagens e uma depuração nos dados de radiosonda possa se melhorar o desempenho do esquema operacional.

Sugerimos que a próxima fase de melhorias possa ser na implantação de uma classificação das nuvens, visando melhorar a qualidade dos ventos em baixos níveis.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem J. M. Daniels (NOAA/NESDIS) por ter cedido o conjunto de ventos por satélite de alta resolução produzidos durante o período do experimento WETAMC/LBA.

À AEB – Agência Espacial Brasileira o suporte das atividades do pesquisador Nelson Arai.

Esse trabalho faz parte de uma cooperação entre o IRD (Institut de Recherche pour le Développement, France) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) suporte número 910153/98-1. Esse trabalho foi também parcialmente financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) suporte número 99/06045-7.

### **Referencias**

- Bowen, R. L. and R. Saunders, 1984: The semitransparency correction as applied operationally to Meteosat infrared data: a remote sensing problem. *Eur. Space Agency J.*, **8**, 125-131.
- Clough, S. A., F. X. Kneizys, and R. W. Davies, 1989: Line shape and the water vapor continuum. *Atmos. Res.*, **23**, 229-241.
- Chou, M. D., and K. T. Lee, 1996: Parameterization for the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. *J. Climate*, **53**, 1203-1208.
- Eumetsat, 1998. Proc. of the fourth International Winds Workshop, Saanenmoser, Switzerland, 20-23 October 1998. Eumetsat Publ. EUM P 24, 322 pp.
- Feigelson, E. M., B. A. Fomin, I. A. Gorchakova, E. V. Rozanov, Yu.,M. Timofeyev, A. N. Trotsenko, M. D. Schwarzkopf, 1991: Calculation of longwave radiation fluxes in atmospheres. *J. Geophys. Res.*, **96**, 8985-9001.
- Fomin, B. A., 1995: Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases. *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer*, **53**, 663-669.
- Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.

- Laurent, H. e Machado, L. A., 1994. Extração de vento através de imagens de satélite meteorológicos. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belo Horizonte (MG), 18 a 25 de outubro de 1994, vol. 1, 410-413.
- Liou K. N., 1992: Radiation and cloud processes in the atmosphere. Theory, observation and modeling, *New York. Oxford., Oxford university press*. pp.486.
- Menzel W. P., W. L. Smith and T. R. Stewart, 1983. Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 377-384.
- Nieman S. J., W. P. Menzel, C. M. Hayden, D. Gray, S. T. Wanzong, C. S. Velden and J. Daniels, 1997. Fully automated cloud-drift winds in NESDIS operations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1121-1133.
- Ridgway, W. L., Harshvardhan, A. Arking, 1991: Computation of atmospheric cooling rates by exact and approximate methods, *J. Geophys. Res.*, **96**, 8969-8984.
- Roberts, R. E., E. A. Selby, L. M. Biberman, 1976: Infrared continuum absorption by atmospheric water vapor in the 8-12  $\mu\text{m}$  window. *Appl. Opt.*, **15**, 1976.
- Rothman, L. S., et al., 1998: The HITRAN molecular database and HAWKS, 1996 edition, *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer*, **60**, 665-710.
- Schmetz, J., Holmlund, K., Hoffman, J., Strauss, B., Mason, B., Gaertner, V., Koch, A. and Van De Berg, L., 1993. Operational Cloud-Motion Winds from Meteosat Infrared Images. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 1206-1225.
- Silva Dias M.A.F., 2001. Experimento de grande escala da interação biosfera atmosfera na Amazônia: resultados preliminares. *Boletim Soc. Bras. Meteo.*, **25**, 7-14.
- Silva Dias M.A.F., S. Rutledge, P. Kabat, P. Silva Dias, C. Nobre, G. Fisch, H. Dolman, E. Zipser, M. Garstang, A. Manzi, J. Fuentes H. Rocha, J. Marengo, A. Plana-Fattori, L. Sá, R. Alavalá, M. Andreae, P. Artaxo, 2001: Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region. *J. Geophys. Res.*, in press.

i	1	2	3	4	5	6	7
$K_i^*$	10.36151	43.63581	183.7652	773.8973	3259.144	13725.36	57802.14
$F_i$	0.185782	0.2438068	0.1364989	0.07072695	0.03578541	0.01713742	0.005009667

**Tabela 1.** K- coeficientes  $K_i^*$  e pesos  $f_m$  usados para o cômputo da radiância com a metodologia da K-distribution no canal WV do satélite GOES-8

Topo da nuvem (km)	T(K)	Canal IR			Canal WV		
		LBL H <sub>2</sub> O	LBL 7-gases	OPER H <sub>2</sub> O	LBL H <sub>2</sub> O	LBL 7-gases	OPER H <sub>2</sub> O
1.0	293.7	292.2	291.9	292.3	243.5	243.5	243.7
2.0	287.7	287.2	286.9	287.2	243.5	243.5	243.7
3.0	283.7	283.5	283.2	283.4	243.5	243.5	243.7
4.0	277.0	276.9	276.8	276.9	243.5	243.5	243.7
5.0	270.3	270.3	270.2	270.3	243.5	243.4	243.6
6.0	263.6	263.6	263.6	263.6	243.2	243.1	243.3
7.0	257.0	257.1	257.0	257.0	242.3	242.3	242.4
8.0	250.3	250.4	250.3	250.3	240.5	240.4	240.6
9.0	243.6	243.7	243.6	243.6	237.5	237.4	237.6
10.0	237.0	237.1	237.1	237.0	233.4	233.4	233.6
11.0	230.1	230.1	230.1	230.1	228.2	228.2	228.4
12.0	223.6	223.6	223.7	223.6	222.8	222.8	222.9
13.0	217.0	217.0	217.1	217.0	217.0	217.0	217.0
14.0	210.3	210.3	210.4	210.3	211.1	211.1	210.9
15.0	203.7	203.7	203.8	203.7	205.2	205.3	204.9

**Tabela 2.** Temperatura de brilho (K) para atmosfera tropical com nuvens opacas usando os métodos LBL ou operacional (OPER). O LBL foi rodado usando apenas absorção por H<sub>2</sub>O ou absorção por H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>+O<sub>3</sub>+O<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O+CO (7-gas). O OPER usa só absorção por H<sub>2</sub>O

	CPTEC vs NOAA/NESDIS			
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.5	1.4	1.5	1.7
RMS do Vetor Médio da Diferença	6.3	6.1	6.3	6.4
BIAS da Velocidade	-0.4	-0.2	-0.3	-0.5
RMS da Diferença de Velocidade	3.6	3.2	3.6	3.8
Velocidade Média da Referência	10.2	9.9	10.2	10.5
BIAS da Pressão	13	33	24	-2
RMS da Pressão	150	190	195	95
Amostragem	64593	15175	18498	30920

**Tabela 3.** Diferenças estatísticas do vento ( $ms^{-1}$ ) e da pressão (hPa) entre os vetores CPTEC e os vetores NOAA/NESDIS. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro médio quadrático.

CPTEC (sem correção de semi-tranparência) vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
BIAS da Pressão	40	35	59	28
RMS da Pressão	169	194	210	102
Amostragem	64593	15231	22289	27073

**Tabela 4 .** Como a Tab.3, mas os vetores CPTEC foram calculados sem a correção de semitransparência das nuvens. Só as estatísticas para a pressão são apresentadas.

CPTEC (sem teste de consistência espacial) vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.7	1.4	1.6	1.8
RMS do Vetor Médio da Diferença	7.4	7.2	7.6	7.4
BIAS da Velocidade	-0.4	-0.2	-0.3	-0.5
RMS da Diferença de Velocidade	4.4	4.1	4.6	4.5
Velocidade Média da Referência	10.1	9.8	10.0	10.3
BIAS da Pressão	24	57	41	-4
RMS da Pressão	169	218	207	101
Amostragem	73392	17014	22072	34306

**Tabela 5.** Como a Tab.3, mas os vetores CPTEC foram calculados sem aplicação do teste de consistência espacial .

CPTEC vs Radiosondas				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	2.7	23.4	0.9	3.5
RMS do Vetor Médio da Diferença	7.5	24.8	7.8	6.5
BIAS da Velocidade	-1.7	-15.1	-2.9	-2.5
RMS da Diferença de Velocidade	5.3	15.8	4.8	4.9
Velocidade Média da Referência	10.6	8.3	4.4	11.3
Amostragem	147	3	13	131

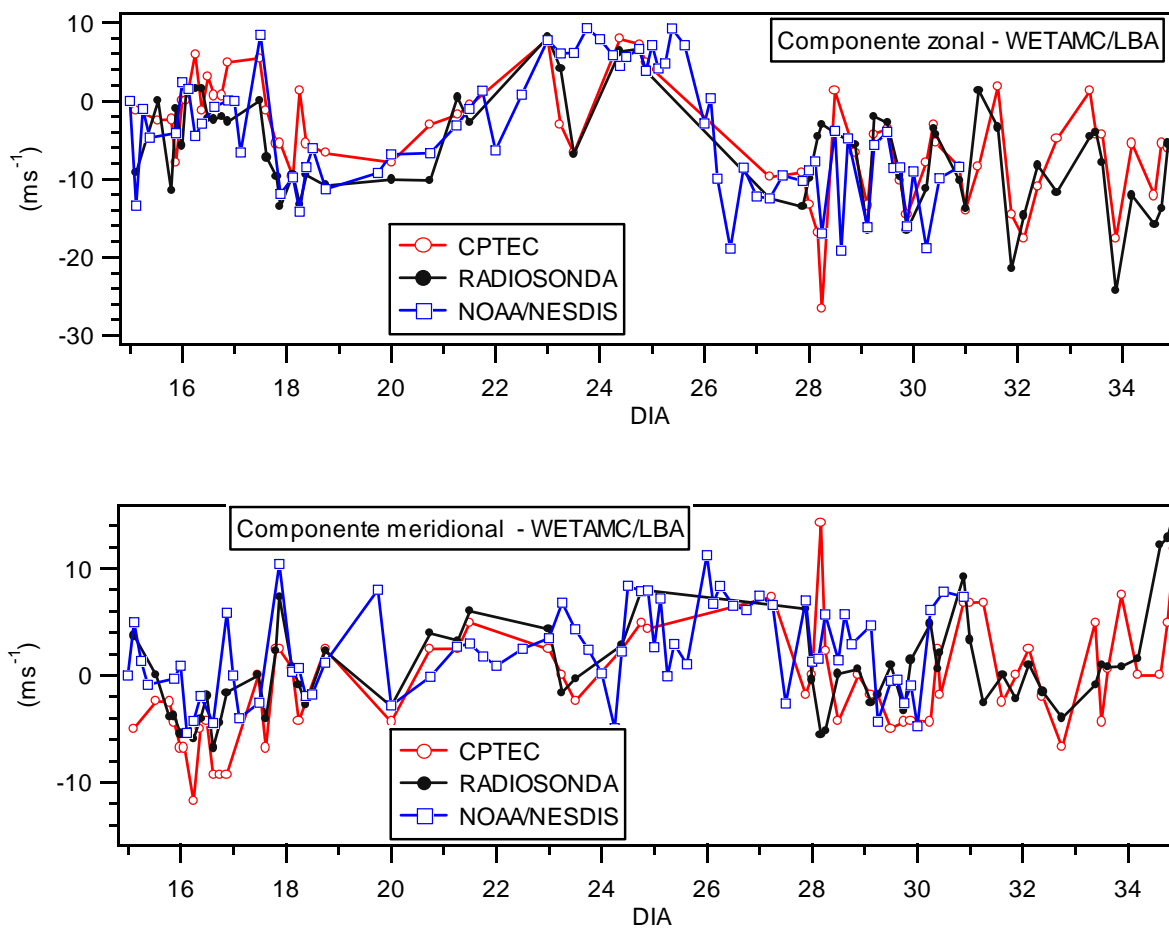
**Tabela 6.** Diferenças estatísticas do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ) entre os vetores CPTEC e as radiosondas. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro médio quadrático.

NOAA/NESDIS vs Radiosondas				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.3	0.82	1.2	1.3
RMS do Vetor Médio da Diferença	6.2	4.9	4.0	6.3
BIAS da Velocidade	-0.7	0.7	3.3	-0.8
RMS da Diferença de Velocidade	3.6	2.0	3.4	3.7
Velocidade Média da Referência	10.0	4.7	3.1	10.4
Amostragem	158	3	6	149

**Tabela 7.** Como a Tab. 6, mas para os vetores NOAA/NESDIS.

DSA/CPTEC vs Radiosondas				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	3.3	3.5	2.4	3.9
RMS do Vetor Médio da Diferença	9.5	10.3	8.6	9.5
BIAS da Velocidade	-0.6	0.5	1.6	-2.1
RMS da Diferença de Velocidade	6.1	4.9	5.3	6.8
Velocidade Média da Referência	9.2	7.8	6.5	11.1
Amostragem	178	44	41	93

**Tabela 8.** Diferenças estatísticas do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) entre vetores operacionais da DSA/CPTEC e radiosondas. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro médio quadrático.



**Figura 1.** Componentes zonal e meridional do vento observado na estação de radiosondagem Abracos (10.77 S – 62.34 W) e do vento obtido por satélite no CPTEC e na NOAA/NESDIS durante a campanha AMC/LBA. As curvas apresentam os componentes dos vetores calculados pelo CPTEC, pela NOAA/NESDIS, e os componentes do vento medida pela radiosondagem no nível de pressão correspondente.



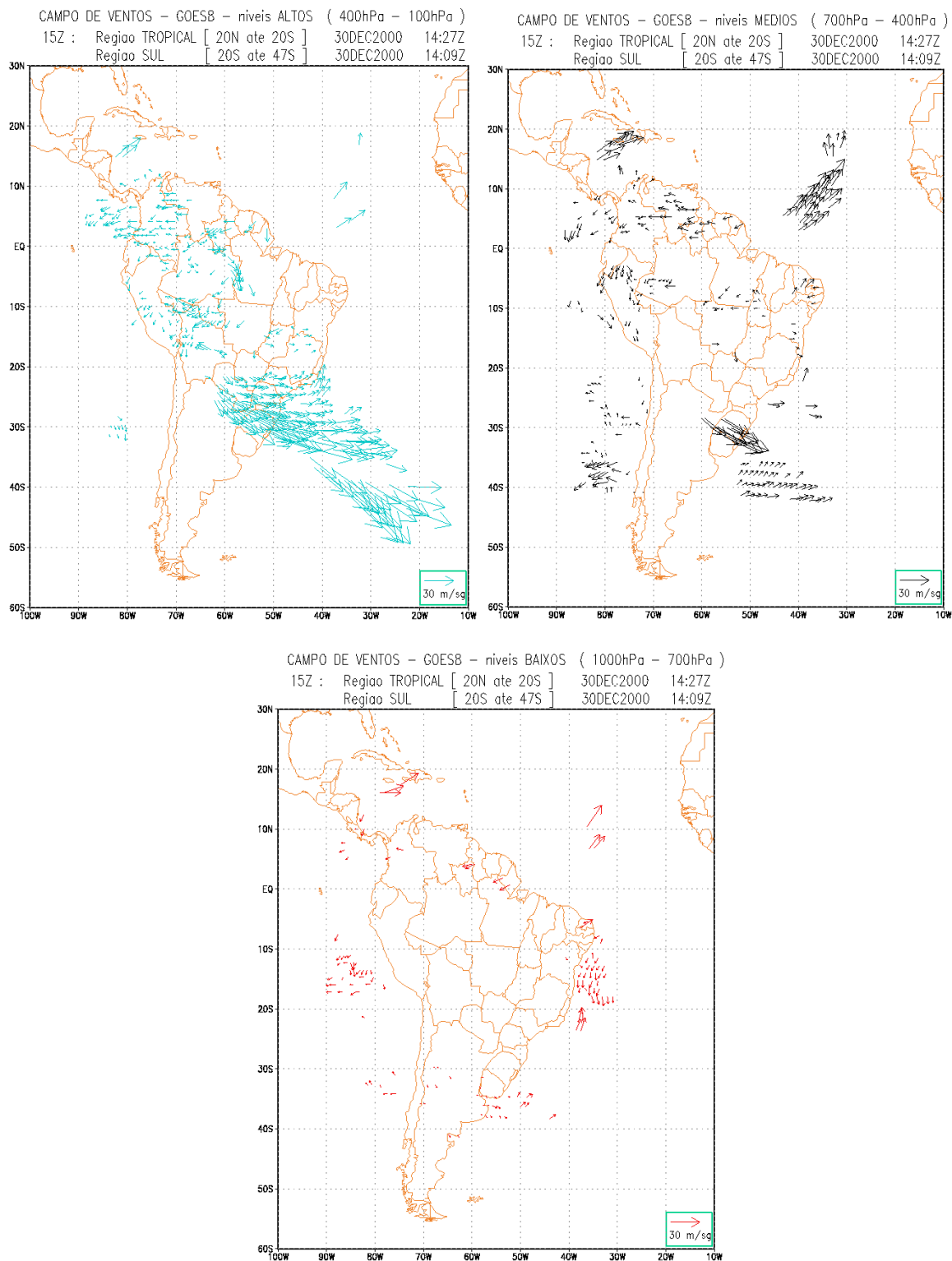


Figura 2. Campos de ventos derivados das imagens GOES-IR pelo esquema operacional da DSA/CPTEC para o dia 30 de dezembro de 2000 as 1400 GMT. Os resultados são apresentados em 3 camadas: niveis altos, niveis medios e niveis baixos.

