

## Uma densa rede meteorológica GNSS para a observação de convecção profunda na Amazônia

David K. Adams<sup>1</sup>, Rui M. S. Fernandes<sup>4</sup>, E. Robert Kursinski<sup>3</sup>, J. M. Maia<sup>1</sup>,  
Luiz F. Sapucci<sup>5</sup>, Luiz A. Machado<sup>5</sup>, Ícaro Vitorello<sup>5</sup>, Kirk Holub<sup>2</sup>, Seth Gutman<sup>2</sup>,  
Naziano Filizola<sup>1</sup>, Richard A. Bennett<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Amazonas, Brasil

<sup>2</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration, EUA

<sup>3</sup>University of Arizona, EUA

<sup>4</sup>Universidade da Beira Interior, Portugal

<sup>5</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

<sup>6</sup>Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: dave.k.adams@gmail.com; luiz.sapucci@cptec.inpe.br

**ABSTRACT:** GNSS (Global Navigation Satellite System) observations are nowadays a well-established tool to measure the contents of water vapor in the atmosphere. A GNSS ground-based meteorological network can provide nearly continuous (~10 minutes). In what follows, we present preliminary results and define the specific goals for a dense GNSS meteorological network, presently in its embryonic stage, in the central Amazon Basin. We briefly overview the variables derived from GNSS meteorological techniques, describe the dense network and provide some initial results pertaining to identification of deep convective events. The paper concludes with a summary of the future goals for the network.

**Palavras-chave:** GNSS meteorologia, TPW, convecção profunda, Amazônia.

### 1 – INTRODUÇÃO

Estudos de convecção profunda de longo prazo e de alta resolução espacial/temporal são praticamente inexistentes nos trópicos equatoriais continentais. Importantes e intensivas campanhas de campo têm ajudado na compreensão dos aspectos da convecção profunda, tais como, o seu ciclo diurno, a morfologia dos complexos de mesoescala e linhas de instabilidade na Amazônia (ABLE, WETAMC, TRMM LBA) (veja Adams et al. 2009 para uma revisão). No entanto, estas campanhas são de curta duração (~ semanas). Atualmente observações por GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) são uma ferramenta bem estabelecida para medir o conteúdo de vapor d'água na atmosfera. Para se obter a melhor qualidade há a necessidade de que sensores meteorológicos sejam instalados nas proximidades das antenas GNSS. Em regiões com dados esparsos como a Amazônia, uma rede meteorológica GNSS pode fornecer informações quase contínuas (~ 10 minutos) sobre campos de vapor d'água em todas as condições meteorológicas; fornecendo uma ferramenta de baixo custo para estudos hidrometeorológicos/climatológicos em regiões tropicais com regimes de convecção profunda. Visando contribuir com o tema, pretende-se implementar uma rede terrestre de pequena escala (~ 5 a 10 km) de receptores GNSS e estações meteorológicas em torno de Manaus, Brasil. Esta rede (~ 20 receptores GNSS) de pequena escala (~ 70 x 70 km) centrada sobre Manaus está sendo desenvolvida com a finalidade de: 1) adquirir conhecimento dos fluxos de vapor d'água de pequena escala e atividade convectiva, por exemplo, o papel de "piscinas frias" na transição de convecção rasa para convecção profunda e organização na mesoescala; 2) Estimar ("fechar" com sondas/perfis) a componente atmosférica do ciclo hidrológico durante a precipitação de convecção profunda; 3) fornecer alta resolução espacial/temporal dos campos de vapor d'água para assimilar nos modelos numéricos. Um objetivo primordial dessa rede é melhorar a compreensão da física de organização da

convecção profunda numa região continental equatorial. Alguns resultados preliminares e uma discussão sobre os objetivos específicos almejados com a implantação de uma densa rede meteorológica GNSS são apresentados nesse trabalho. Atualmente tal rede encontra-se em seu estágio inicial com 3 receptores em funcionamento contínuo. O trabalho contempla também uma revisão das variáveis meteorológicas obtidas a partir de técnicas GNSS, bem como uma descrição da densa rede e alguns resultados preliminares relativos à identificação dos eventos convectivos. Este trabalho conclui com perspectivas futuras para a implantação da rede densa GNSS em Manaus.

## 2 – DESCRIÇÃO DA DENSA REDE METEOROLOGICA GNSS:

### a) GNSS Meteorologia

Por mais de uma década, GNSS meteorologia tem fornecido medições precisas de vapor d'água atmosférico com alta frequência (~10 minutos) em todas as condições meteorológicas, e de uma forma relativamente barata. A série de aplicações de dados de GNSS meteorológicos tem sido abrangente: para assimilação de dados nos modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) (Gutman e Benjamin 2001) em estudos de casos meteorológicos, em analisar transporte de vapor d'água (Kursinski et al. 2008), e até mesmo da estabilidade atmosférica (De Haan 2006).

A principal variável calculada é a água precipitável (*Precipitable Water Vapor - PWV*), conforme a seguinte equação:

$$1) PWV = \frac{1}{g\rho_w} \int_{p_t}^{p_s} q \frac{dp}{g}$$

a qual é obtida de atrasos nos sinais de rádio do satélite para o receptor terrestre (ver Bevis et al., 1992). Sua precisão em relação a outras técnicas de medida é da ordem 1 a 2 milímetros (Sapucci et al., 2007).

Mais especificamente, *PWV* se relaciona à equação de conservação de água por unidade de área da seguinte forma:

$$2) \frac{\partial PWV}{\partial t} + \partial/\partial t \int_{p_t}^{p_s} q_c \frac{dp}{g} + \nabla \cdot \int_{p_t}^{p_s} q \mathbf{V} \frac{dp}{g} = E - P$$

onde as variáveis têm o significado meteorológico usual, com o subscrito *s* para a superfície e *t* para o topo da atmosfera; e *V* o vetor horizontal do vento. Antes da precipitação (desprezando a evaporação local, *E*, e os fluxos horizontais de água condensada, *q<sub>c</sub>*), a taxa de mudança no tempo de *PWV* é determinada pela coluna de convergência de vapor d'água e formação de nuvens. Em princípio, com medidas dos perfis verticais de vapor d'água e água líquida (sondas, radiômetros), tanto o segundo como o terceiro termo da equação 2 podem ser estimados como um resíduo antes do início da precipitação, através da integração sobre uma determinada área.

No entanto, o valor integrado, *PWV*, não é a única medida obtida com GNSS. O caminho inclinado do sinal GNSS na direção da órbita do satélite também oferece uma estrutura vertical do vapor d'água (Braun et al, 2001). Além disso, a técnica tomográfica foi recentemente comprovada com sucesso na análise da evolução temporal do campo de vapor em 3D abaixo da mesoescala; por exemplo, o transporte de vapor d'água do continente para o oceano e o desenvolvimento de atividade de tempestades severas (ver, por exemplo, Champollion, 2009).

### b) A densa rede da Amazônia em proposição

É de suma importância o desenvolvimento de uma rede de medições meteorológicas nos trópicos equatoriais, onde os dados são insuficientes. A logística na Amazônia é extremamente complexa e muitas das vezes dificulta os objetivos científicos. E se tratar de fenômeno de multiescala, um outro grau de complexidade é adicionado. A densa rede será composta de pelo menos 20 receptores GNSS, com estações meteorológicas de superfície. A distância média entre os receptores está prevista para ficar entre 5 e 10 km, cobrindo uma área de aproximadamente  $70 \times 70 \text{ km}^2$  (Figura 1). Manaus é bastante favorável ao estudo na medida em que dispõe de duas radiossondagens diárias, radares Doppler com banda S e dados do satélite GOES 12 (próximo ao nadir, resolução de 15 minutos).

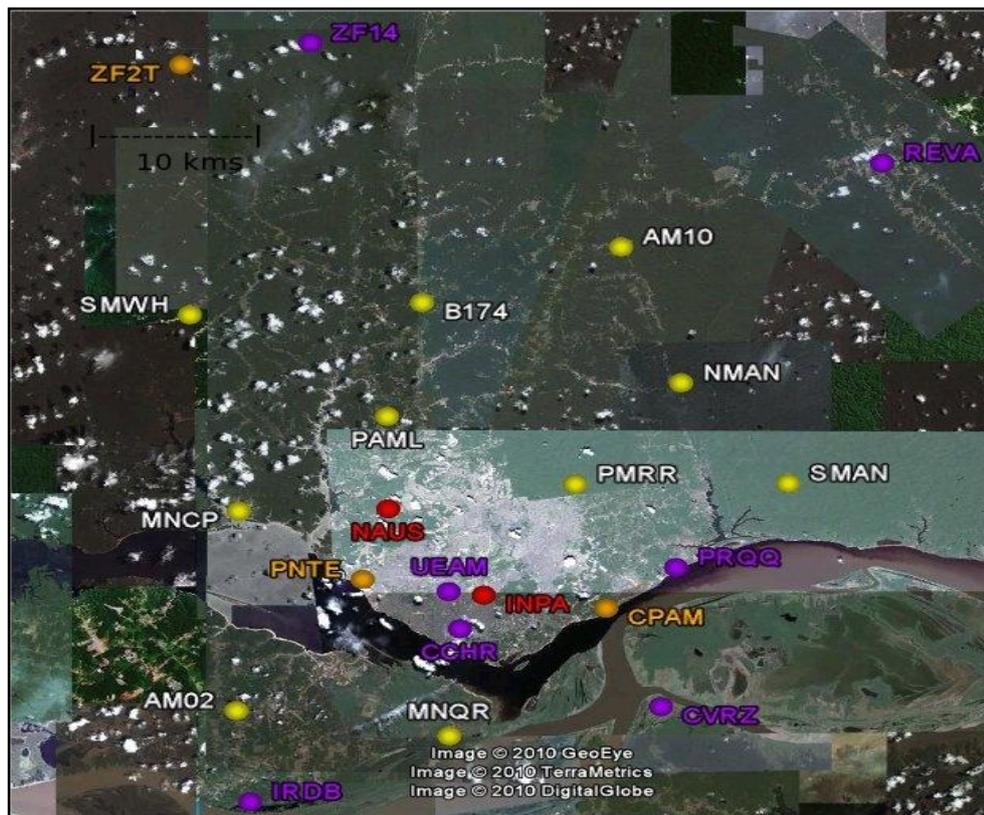


Figura 1- Mapa de Manaus, Amazonas, e suas periferias,  $70 \text{ por } 70 \text{ km}^2$ , aproximadamente. Os símbolos na cor vermelha representam estações GNSS permanentes, na cor laranja representam as estações testadas. Roxos representam as próximas estações a serem testadas e amarelos representam prováveis locais para futuros testes.

### 3- RESULTADOS PRELIMINARIES

#### a) Convecção profunda e sinais de PWV

Uma meta principal da rede densa é elucidar o papel que desempenha a variabilidade do vapor d'água na organização de convecção profunda. Para começar, 15 eventos de convecção profunda foram identificados para a estação seca e estação de transição (julho-dezembro 2008). Para determinar se o evento representa convecção profunda, ao invés de precipitação estratiforme ou congestus, foram empregados alguns critérios: mínima temperatura no topo da nuvem (*Cloud Top Temperature* - CTT),  $\partial(\text{CTT})/\partial t$ , a presença de um *downdraft* convectivo, e precipitação observada. A Figura 2 mostra um sinal de PWV para uma tarde típica com evento de precipitação convectiva profunda, observada pelo receptor GNSS (INPA). A rápida diminuição na temperatura do topo da nuvem (CTT) para menos de 230 K (dados estimados pelo Meteosat 9) é indicativo de um rápido desenvolvimento vertical

dos cumulonimbus. Registrada precipitação, juntamente com a queda acentuada de temperatura (aproximadamente  $7^{\circ}\text{C}$ ) e rápido aumento na velocidade do vento, se identifica claramente a passagem de um fluxo de ar frio associado a um *downdraft* de escala convectiva. A importância desses *downdrafts* de escala convectiva na organização de convecção profunda, especificamente sob fraca forçante de larga escala, tem sido sugerida em estudos de modelagem da convecção tropical (Khairoutdinov e Randall 2006).

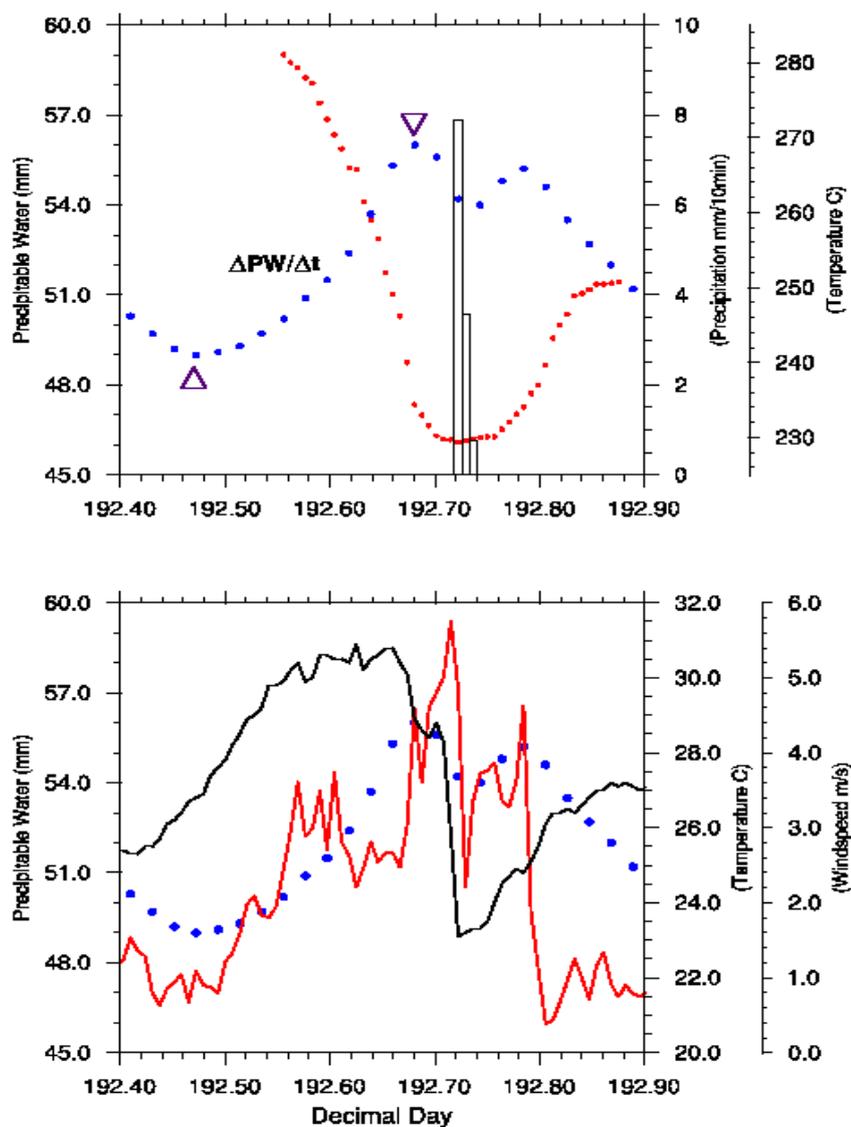


Figura 2 – Um evento de convecção profunda típico identificado no sinal de *PWV* GNSS e variáveis meteorológicas observadas na estação do INPA. O gráfico superior mostra *PWV* (azul) versus a média da temperatura no topo da nuvem (vermelho) e a taxa de precipitação.  $\Delta PW/\Delta t$  representa a declividade média, durante a qual uma forte convergência está ocorrendo. O gráfico inferior mostra a velocidade do vento (vermelho), temperatura do ar (preto) e *PWV* (azul) para eventos de convecção profunda.

Na Figura 2, o sinal no *PWV* reflete claramente a convergência de vapor d'água sobre a estação GNSS. Baseado no sinal de *PWV* para 15 eventos convectivos analisados, os períodos de convergência são de, aproximadamente, 5 horas para convecção profunda típica do ciclo diurno. O período de convergência (ver Figura 2) foi calculado entre o aumento inicial e a diminuição em *PWV*, mas somente quando associada com a rápida diminuição na CTT. Uma análise superficial de eventos na estação chuvosa mostra tempos de convergência

mais curtos (2 a 3 horas). Uma possível explicação para essa dependência sazonal é a de que altos valores de PWV já estão presentes, e a atmosfera necessita só de uma pequena convergência para alcançar eventos de convecção profunda. É difícil fazer qualquer afirmação definitiva sobre convergência de vapor d'água, a formação de piscinas frias e a organização convectiva à mesoescala com uma estação GNSS meteorológica só. No entanto, a implementação da densa rede de 20 receptores GNSS oferece a avaliação da estrutura vertical e a evolução temporal dos campos de vapor d'água através da análise tomográfica (e.x., a transição de convecção rasa à profunda). O radar local e dados de GOES 12 e estações meteorológicas na superfície complementam a análise tomográfica identificando a formação de piscinas frias e a intensificação/organização de convecção profunda.

#### **4) A REDE Densa: METAS E CAMPANHAS FUTURAS**

As metas da rede densa são multifinalitárias: 1) calcular estatísticas de longo prazo sobre a interação vapor d'água/convecção profunda, a transição de convecção rasa a profunda, e a organização à mesoescala; 2) contribuir com os trabalhos da campanha GPM-CHUVA (<http://gpmchuva.cptec.inpe.br/>) fornecendo dados sobre os campos de vapor d'água e fechando o ciclo hidrológico atmosférico durante eventos convectivos e; 3) fornecer dados para assimilação em modelos NWP e de alta resolução.

#### **5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADAMS, D.K.; SOUZA E.P.; COSTA A.A. Convecção úmida na Amazônia: implicações para modelagem numérica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, p. 168-178, 2009.

BRAUN, J.; ROCKEN, C.; WARE, R. Validation of line-of-sight water vapor measurements with GPS. *Radio Science*, v. 36, p. 459-472, 2001.

BEVIS, M.; BUSINGER, S.; HERRING, T.A.; ROCKEN, C.; ANTHES, R.A.; WARE, R.H. 1992. GPS meteorology: Sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *Journal Geophysical Research*, v. 97, no. D14, p. 15787-15801, 1992.

CHAMPOLLION, C.; FLAMANT, C.; BOCK, O.; MASSON, F.; TURNER, D.D. WECKWERTH, T. Mesoscale GPS tomography applied to the 12 June 2002 convective initiation event of IHOP\_2002 Q. *J. R. M. S.*, v. 135, p. 645-662, 2009.

GUTMAN, S.; BENJAMIN, S. The role of ground-based GPS meteorological observations in numerical weather prediction. *GPS Solutions*. v. 4, p. 16-24, 2001.

KHAIROUTDINOV, M.; RANDALL, D. High-resolution simulation of shallow-to-deep convection transition over land. *Journal of the Atmospheric Sciences*. v. 63, p.3421-3436, 2006.

KURSINSKI, E.R, R. A. BENNETT, D. GOCHIS, S. I. GUTMAN, K. L. HOLUB, R. MASTELER, C. M. SOSA, I. M. SOSA, AND T. VAN HOVE, Water vapor and surface observations in northwestern Mexico during the 2004 NAME enhanced observing period. *Geophys. Res. Lett.*, v.35 2008, L03815, doi:10.1029/2007GL031404

SAPUCCI, L.F.; MACHADO, L.A.; MÔNICO, J.F.G.; PLANA-FATTORI, A. Intercomparison of integrated water vapor estimates from multisensors in the Amazonian region. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 24, p. 1880-1894, 2007.