Ventos Mesosféricos no Sul do Brasil

Thiago B. Pretto, Elisa B. Jensen, Paulo P. Batista, Barclay R. Clemesha, Nelson J. Schuch, INPE, Brasil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The Radar System of Meteoric Trails - "All-Sky Interferometric Meteor Radar - SKiYMET", makes it possible the study of Mesosphere in the South of Brazil, in the geographical center of Rio Grande do Sul. Of all the existent techniques to study the winds in the middle atmosphere, only the ones that use radars and, meteoric radars specially, allows the continuous study in long periods, making possible the evaluation of the diurnal and seasonal variations on winds. The radar technique is based on the determination of average speed of the neutral winds, through the radial speed of the meteoric trails. When penetrating in the atmosphere in high speed, the cosmic particles suffer ablation and produce long ionized columns, which are moved by neutral winds. The movement of these particles produces a Doppler displacement in the sign reflected by the meteoric trail. From this displacement, the radial speed of the meteor can be determined, and together with other information, the position, the speed and direction of the wind also can be determined.

Introdução

Diariamente a atmosfera superior da Terra, entre 70 e 110 km de altura, é atingida por milhões de partículas de poeira do meio interplanetário, os meteoróides. Ao entrarem na atmosfera terrestre essas partículas sofrem um processo de evaporação ou fragmentação, produzindo luz e ionização, este fenômeno é chamado de meteoro. Uma grande fonte de partículas são os cometas que, ao sofrerem ablação devido à radiação solar, deixam partículas suspensas no meio interplanetário que são capturadas durante o movimento de órbita da Terra.

A atmosfera terrestre está sob a ação constante da radiação solar direta. Esta radiação, associada a diferença de densidades entre as diversas alturas e aos movimentos de rotação e translação da Terra produz efeitos como a ionização do ar, ou a luminescência. Diversas técnicas têm sido empregadas para a observação do movimento das camadas de ar. Estas técnicas se utilizam dos fenômenos que ocorrem na atmosfera provocados pelos elementos dinâmicos, como o vento e as ondas de gravidade, por exemplo.

Particularmente, a partir da mesosfera, há a presença da ionosfera, cujas camadas ionizadas, podem refletir sinais de radar, além disso, entre 70 e 110 km de altura há a presença de partículas, os meteoróides, que se desintegram no atrito com o ar e produzem longos traços ionizados que podem ser também captados por radares meteóricos.

Ao penetrar na atmosfera em alta velocidade, entre 11 e 72 km/s, as partículas cósmicas sofrem ablação e produzem longas colunas ionizadas, denominadas de traços ionizados, que são transladados pelos ventos neutros e podem ser detectados por técnicas visuais ou de radiofreqüência. A distribuição dos meteoros se apresenta de forma desigual, com altura mínima em torno de 70 km e máxima em torno de 110 km, com concentração maior entre 90 e 100 km, o que implica em uma melhor precisão nesta faixa. No intervalo entre 80 e 100 km os efeitos do campo magnético sobre a dinâmica das partículas pode ser desprezado e, desta forma, os traços meteóricos se movimentam devido à ação dos ventos neutros. A translação dos elétrons produz um deslocamento Doppler no sinal refletido pelo traço meteórico. A partir deste deslocamento pode-se determinar a velocidade radial da trilha meteórica e, em conjunto com outras informações, a posição, a velocidade e a direção do vento que o transportou.

Método

Os radares têm sido usados com bastante sucesso no estudo dos movimentos atmosféricos em uma faixa ampla de altitudes, desde a superfície da Terra até as alturas termosféricas. A Figura 1 mostra o funcionamento de um radar.

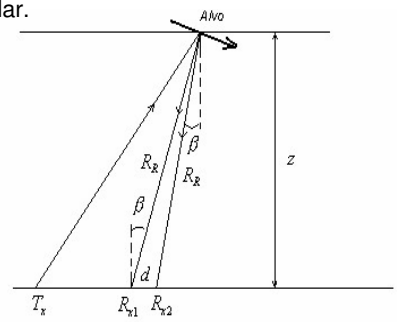


Figura 1 – Geometria de reflexão, o alvo está a uma altura z em relação ao solo, distância radial R_r e ângulo zenital β, em relação às antenas receptoras. Fonte: Adaptado de Tokumoto (2002, p. 81).

A antena transmissora emite um pulso eletromagnético cuja potência e freqüência são definidas de acordo com o tipo de radar. Estes pulsos são refletidos na forma de ecos pelo elemento espalhador (alvo), que no caso da atmosfera podem ser as camadas ionosféricas ou traços de meteoros. As antenas receptoras detectam estes ecos, e por funções de correlação de fases determinam a

direção do alvo. A posição do pico desta função indica a defasagem do sinal entre as antenas. O tempo de atraso entre o sinal emitido e o sinal recebido define a distância radial.

A determinação da distância de um alvo é uma função importante do radar e é efetuada pela medida do tempo de atraso do sinal refletido pelo alvo em relação ao sinal transmitido, e é calculada pela relação a seguir:

$$R_R = \frac{c.T_R}{2} \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo e T_R é o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção do sinal. Determinada a distância R_R pode-se determinar a altura do meteoro a partir do ângulo zenital β.

$$z = R_R \cos\beta \quad (2)$$

Os radares meteóricos determinam ventos na mesosfera através da medida do deslocamento Doppler do sinal refletido por vários traços meteóricos, que persistem o tempo suficiente para fazer as medidas de vento (t ≥ 0,1s). A expressão do deslocamento Doppler em freqüência dos ecos meteóricos é dada por:

$$f_d = -\frac{2f_R}{c} V_R \quad (3)$$

Onde f_d é a freqüência Doppler, e f_R é a freqüência do radar e V_R é a velocidade radial de afastamento ou de aproximação do eco em relação ao radar.

A freqüência Doppler também pode ser escrita em função da taxa de mudança de fase devido ao deslocamento do traço com o vento, e é dada por:

$$f_d = \frac{1}{2\pi}\frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

Combinando as equações (3) e (4) pode-se escrever a velocidade radial do traço em função da taxa de variação da fase, como:

$$V_R = -\frac{\lambda_r}{4\pi}\frac{d\varphi}{dt} \text{ onde, } f_R = \frac{c}{\lambda_R} \quad (5)$$

Os sinais que chegam às antenas receptoras, separadas entre si por uma distância d possuem um pequeno atraso de tempo dados por $dsen\beta / c$, onde c é a velocidade da luz no espaço livre. Este atraso é apresentado como uma diferença de fase entre as antenas:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_r} dsen\beta \quad (6)$$

Onde λ_r é o comprimento de onda do radar. Na ausência de ruídos as diferenças de fase são determinadas pela correlação cruzada complexa de dois sinais de voltagem. Como pode ser visto na equação (6) a direção do eco pode ser determinada por $\Delta\varphi$, e pela análise da taxa de variação das fases dos sinais no tempo (deslocamento Doppler) pode-se determinar a velocidade radial do traço meteórico (Thayaparam, 1995).

Os trabalhos pioneiros na utilização de medidas de parâmetros meteóricos para o cálculo de ventos neutros foram realizados por Manning et al. (1950).

Assume-se a existência de ventos neutros em toda a atmosfera superior com a mesma direção e velocidade. É estabelecido, então, um sistema de coordenadas polares esféricas com o eixo z na direção vertical. A velocidade vetor do vento é dada por $\vec{V}$, com componentes vertical V_z, leste-oeste (zonal) V_x e norte-sul (meridional) V_y. O ângulo azimutal do eco é definido por ζ e seu ângulo zenital por β.

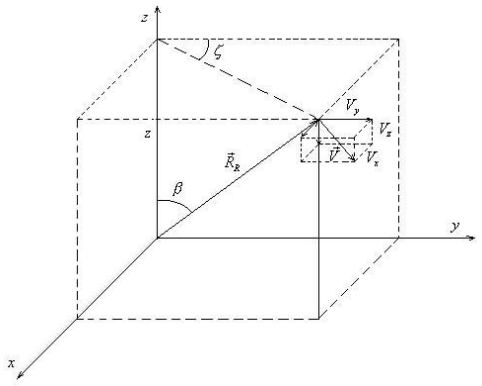


Figura 2 – Coordenadas da coluna de ionização do meteoro.

Pode-se relacionar a velocidade radial do meteoro, V_R, com a velocidade do vento, $\vec{V}$, através da expressão:

$$V_R = \frac{\vec{R}_R}{R_R} \cdot \vec{V} \quad (7)$$

Onde,

$$\vec{R}_R = R_R(\hat{x}\cos\zeta + \hat{y}sen\zeta)sen\beta + \hat{z}R_R\cos\beta \quad (8)$$

e,

$$\vec{V} = \hat{x}V_x + \hat{y}V_y + \hat{z}V_z \quad (9)$$

Pode-se escrever a equação (7) desta forma:

$$V_R = (V_x\cos\zeta + V_y sen\zeta)sen\beta + V_z\cos\beta \quad (10)$$

Dividindo-se ambos os membros por $sen\beta$, obtém-se:

$$\frac{V_R}{sen\beta} = V_x\cos\zeta + V_y sen\zeta + V_z\cot\beta \quad (11)$$

A determinação dos valores das componentes V_x, V_y e V_z é feita pela regressão múltipla de $\frac{V_R}{sen\beta}$ em relação a $\cos\zeta$, $sen\zeta$ e $\cot\beta$. Se desprezar a velocidade vertical, uma forma equivalente a esta, que pode ser utilizada para se determinar o vento horizontal nas direções x e y, é efetuada plotando-se $\frac{V_R}{sen\beta}$ versus ζ, o que é mostrado na figura 3.

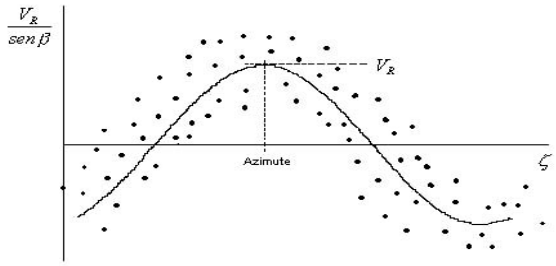


Figura 3 – Distribuição azimutal dos ecos meteóricos.

Ajusta-se uma senóide entre os pontos, o pico da curva fornece a amplitude e a direção do vento quando aplicada na equação (11).

Resultados

O radar faz a correlação das informações coletadas pelos dez canais (dois canais por antena) do receptor e calcula a velocidade radial, os ângulos zenitais e azimutais, o alcance do alvo, a altura e os atrasos entre os sinais transmitido e recebido. Estes cálculos são registrados em tabelas e gravados em arquivos de dados brutos e de ventos. Os arquivos brutos podem ser processados de forma a fornecer os valores das componentes de vento.

Para exemplificar este procedimento, aplicando a regressão múltipla definida anteriormente, foram realizadas análises para alturas de 91 e 94 km, em um período de 10 dias no início de Fevereiro de 2005.

Nas figura 4 e 5 são mostrados os ventos meridionais e zonais para os 3 radares instalados no Brasil (Santa Maria – RS, Cachoeira Paulista – SP e São João do Cariri – PB).

Na figura 6 é mostrado a variação semi-diurna dos ventos para as 3 localizações, no mesmo período.

A fase da maré parece ser mais cedo em baixas latitudes do que em altas latitudes, porém há uma pequena diferença em suas amplitudes.

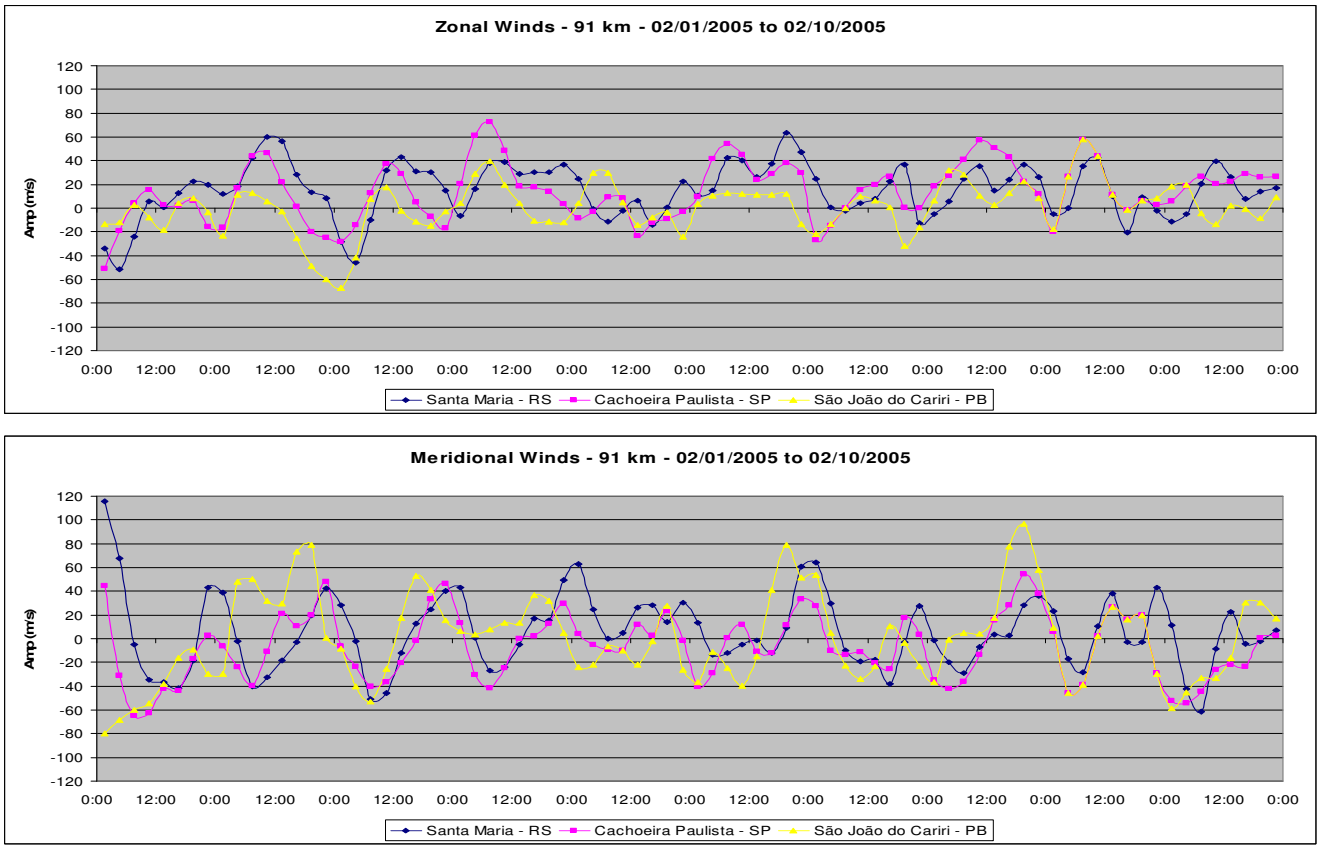
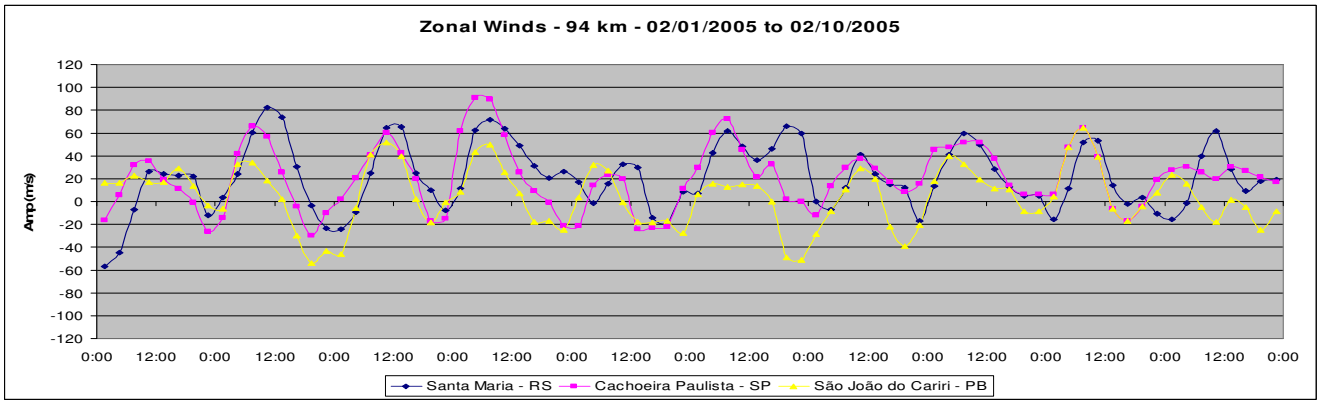


Figura 4 – Vento Zonal e Meridional para 91 km de altura nos sítios de Santa Maria – RS, Cachoeira Paulista – SP e São João do Cariri – PB.



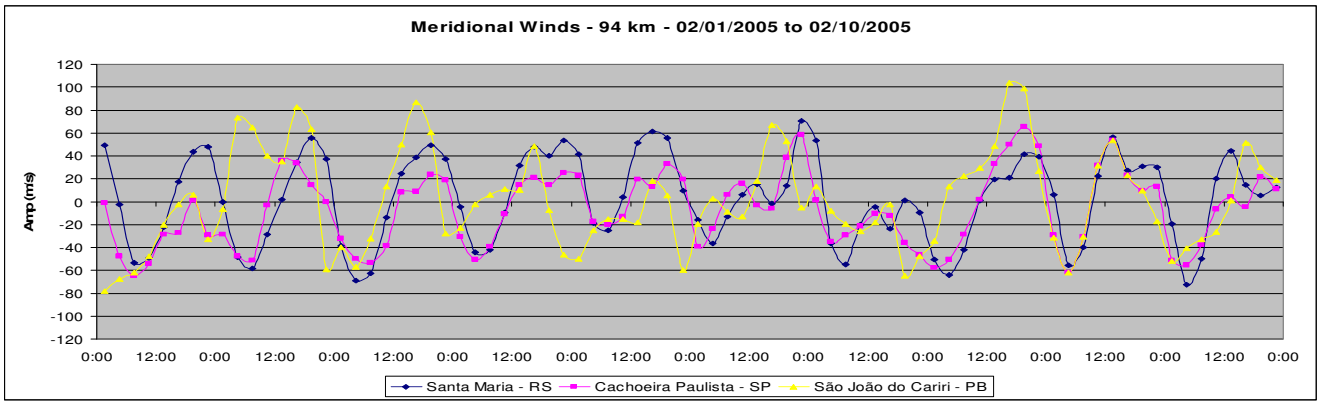


Figura 5 – Vento Zonal e Meridional para 94 km de altura nos sítios de Santa Maria – RS, Cachoeira Paulista – SP e São João do Cariri – PB.

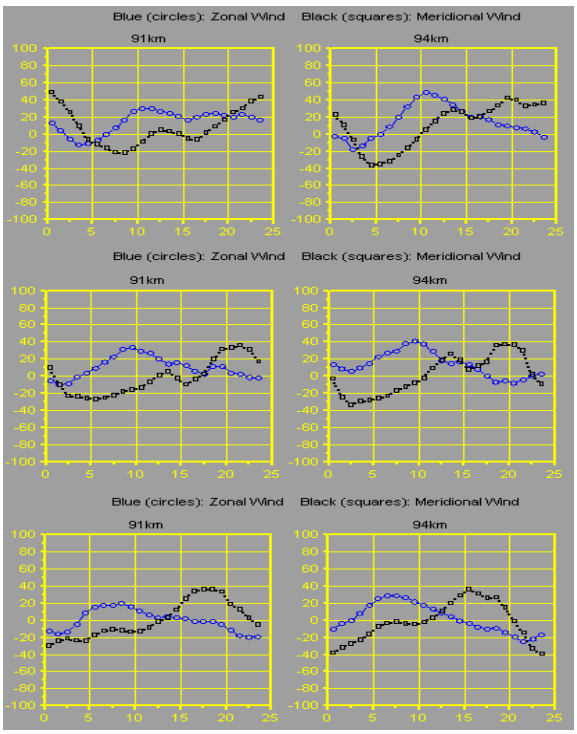


Figura 6 – Variação Semi-Diurna para os sítios de Santa Maria – RS (a), Cachoeira Paulista – SP (b) e São João do Cariri – PB (c).

Conclusões

Com a aquisição deste equipamento para o sul do Brasil, os ventos da região da mesopausa, estão sendo medidos continuamente em três locais na América do Sul: São João do Cariri (7.5°S, 36.5°W), Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°W) e Santa Maria (29.7°S, 53.7°W). Os dados destes radares deverão ajudar na compreensão dos processos das marés atmosféricas e de ondas planetárias no Hemisfério Sul.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PIBIC-CNPq, pelo suporte financeiro e a parceria entre INPE – UFSM, através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. Agradecem também ao Dr. Ricardo Buriti da Universidade Federal de Campina Grande, coordenador do radar de São João do Cariri.

Referências Bibliográficas

Clemesha, B. R., Batista, P. P., Takahashi, H., Gobbi, D., de Medeiros, A. F., Simonich, D. M. Upper Atmosphere Research at the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais of Brazil. Geofísica Internacional. Vol. 43, Num. 1, pp11-16, 2004.

Corrêa, J. A. S. Estudo de meteoros e investigações de seus efeitos na Ionosfera com dados do Radar SKiYMET e GPS. São José dos Campos: INPE, 2003. (INPE-9843-TDI/866).

Manning, L.A., Villard, O.G., Petersons, A.M. Meteoric echo study of upper atmosphere winds. Proceedings of the I.R.E, v. 38, p. 877-883, 1950.

McKinley, D. W. R. Meteor science and engineering. Nova York: McGraw-Hill, 1961.

Thayaparan, T. Large and medium-scale dynamics in the mesosphere and lower thermosphere measured by MF and meteor VHF radars. Ontario, Canada. Ph.D Thesis - University of Western Ontario, 1995

Tokumoto, A. S. Ventos na Região de 80-100 Km de altura sobre Cachoeira Paulista (22,7º W) medidos por Radar Meteórico. São José dos Campos: INPE, 2002. (INPE-9126-TDI/815)**.**