



## Temperatura da região meteórica sobre São João do Cariri (7,4°S)

Lourivaldo Mota Lima, DF/UEPB, Brazil

Edvaldo de Oliveira Alves, DF/UEPB, Brazil

Karine dos Santos DF/UEPB, Brazil

Paulo Prado Batista INPE, Brazil

Barclay Robert Clemesha, INPE, Brazil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

When meteoroids enter in the Earth's atmosphere, they form ionized meteor trails, which have been used for terrestrial atmospheric dynamic studies by radar techniques for more than 80 years. After its formation, the trail is dissipated mainly by ambipolar diffusion causing an exponential decrease in the echo amplitude. The signal decay constant is inversely proportional to the ambipolar diffusion coefficient, which depends on the atmospheric environment temperature and density. Recently, the decay time of the meteor echoes has been used to estimate the mesopause temperatures in northern middle and high latitudes. In this work, the decay time data, obtained by meteor radar from August-2004 to December-2006 at São João do Cariri (7,4°S, 36,5°W), were used for estimating the equatorial mesopause temperature. The results obtained during the observation period suggest that the mesopause temperature presents a semi-annual behavior, with maximum temperatures in the autumn and austral spring months, and minimum during austral summer and winter months.

### Introdução

Medidas locais de temperatura, da região da alta mesosfera e baixa termosfera, obtidas através de experimentos utilizando foguetes fornecem boa resolução em altura, porém os perfis são limitados ao número de lançamentos.

Dentre as técnicas usadas para a determinação da temperatura da região compreendida entre 80 e 100 km de altitude, destacam-se os métodos que usam o radar de laser (LIDAR), os espectros de emissão da luminescência atmosférica decorrentes das espécies Hidroxila (OH) e Oxigênio molecular (O<sub>2</sub>).

Há mais de 80 anos que as técnicas de radar são usadas em observações de meteoros. As primeiras observações foram usadas predominantemente para propósitos astronômicos no estudo das chuvas de meteoros e para estimar a velocidade de entrada dos meteoróides. Entretanto, o uso das técnicas de radar evoluiu para a investigação da dinâmica da região

entre 80 e 100 km de altitude, através de medições da velocidade de deriva da trilha ionizada. A partir de meados da década de 90, os traços meteóricos foram utilizados no estudo das flutuações e na determinação da temperatura média da mesosfera (Tsutsumi et al., 1994; Jones, 1995; Hocking, 1999). A técnica utiliza o tempo de decaimento do sinal de ondas de rádio em frequências típicas que é refletido pela trilha ionizada que é formada quando da rápida passagem de um meteoróide na atmosfera.

O mecanismo de reflexão depende da densidade de elétrons livres na trilha meteórica e do seu raio em relação ao comprimento de onda do radar. Após a sua formação, inicia-se a dissipação da trilha por vários processos, dentre os quais a difusão ambipolar é o fator dominante nos estágios iniciais do crescimento da trilha e, portanto, determina a intensidade do eco para as trilhas subdensas nas altitudes próximas a mesopausa (McKinley, 1961; Chilson et al., 1996).

A amplitude da energia da onda de rádio espalhada por uma trilha meteórica subdensa, decresce exponencialmente com o tempo devido ao processo de difusão ambipolar de acordo com a expressão:

$$A(t) = A_0 \exp(-16\pi^2 D_a t / l^2) \quad (1)$$

em que  $l$  é o comprimento de onda do sinal emitido pelo radar,  $D_a$  é o coeficiente de difusão ambipolar, e  $t$  é o tempo.  $A(t)$  é a amplitude da onda de rádio recebida no instante  $t$  e  $A_0$  é o valor em  $t=0$ . Considerando o tempo necessário para que a amplitude do sinal meteórico decaia pela metade,  $t$ , é possível estimar o parâmetro  $D_a$ , através da expressão:

$$D_a = l^2 \ln(2) / 16\pi^2 t \quad (2)$$

Neste trabalho, os dados de tempo de decaimento do sinal meteórico serão usados para estimativa da temperatura da mesopausa equatorial a partir dos métodos propostos por Hocking et al. (1997) e Hocking (1999).

### Método

Para estimar a temperatura da mesopausa equatorial, foram utilizados dados do tempo de decaimento do sinal meteórico,  $t$ , obtidos durante o período entre agosto de 2004 e dezembro de 2006, através de um radar instalado em São João do Cariri-PB (7,4°S, 36,5°O).

O radar meteorológico de São João do Cariri, denominado de SKiYMET Meteor Radar System, é um sistema comercial que opera na frequência de 35.24 MHz. O sistema é constituído de uma antena transmissora do tipo Yagi de três elementos, com cinco antenas receptoras dispostas no solo formando uma cruz assimétrica. As distâncias entre os dois pares de antenas das extremidades e a antena central medem  $2.0 \lambda$  e  $2,5 \lambda$ , respectivamente. Este arranjo interferométrico possibilita a cobertura do céu acima de  $\pm 40^\circ$  do horizonte (*all-sky system*), permitindo também determinar a localização angular do objeto detectado a partir das informações das fases em cada uma das antenas receptoras. O tempo de decaimento do sinal refletido,  $t$ , é determinado pelo ajuste de uma exponencial decrescente a partir do pico do sinal.

Hocking (1999) propôs um método para determinar a temperatura a partir das medidas de radar meteorológico, o qual usa o fato de  $\log_{10}(1/t)$  ser dependente de  $\log_{10}(P)$ , e que  $P$  varia com a altitude de acordo com a escala de altura, a qual depende da temperatura, para demonstrar que a inclinação ( $S_m$ ) do gráfico da altitude ( $Z$ ) em função de  $\log_{10}(1/t)$  está relacionada com a temperatura média na altitude de maior ocorrência de meteoros. A estimativa da temperatura a partir do tempo de decaimento do sinal é feita através da seguinte expressão:

$$T = S_m [2dT/dZ + Mg/k] \log_{10}(e) \quad (3)$$

onde  $M$  é massa molecular média do ar e  $g$  é a aceleração da gravidade na região de 90 km de altitude.

Este modelo não necessita da informação da pressão para estimar a temperatura na altitude de maior ocorrência de meteoros (~90 km), porém, requer uma aproximação para o gradiente médio da temperatura na mesopausa ( $dT/dZ$ ). Hocking et al. (2004) usam uma aproximação para o gradiente médio de temperatura na altitude de máxima ocorrência de meteoros, a qual é baseada em dados experimentais e de modelos. Para região equatorial o gradiente médio de temperatura pode assumir valores entre  $-2,0$  e  $-1,0$  K/km ao longo do ano. As variações sazonais da temperatura da mesopausa são mais pronunciadas em latitudes altas do que em médias e baixas latitudes. Para este trabalho foram usadas médias mensais do gradiente de temperatura estimados a partir do modelo MISIS-90, para a latitude de  $7^\circ$  S, cujos valores variam entre  $-1,35$  e  $-1,15$  K/km.

## Resultados

As temperaturas médias diárias estimadas a partir da Eq. (3), para o período entre agosto de 2004 e dezembro de 2007, são apresentadas na Fig 1. Os valores estimados correspondem à camada atmosférica centrada na altitude de maior ocorrência de meteoros, ou seja, em 90 km. Na figura também está representado o ajuste obtido através de análise

harmônica, considerando que o sinal é composto de uma média e as componentes harmônicas semi-anual, anual e bienal.

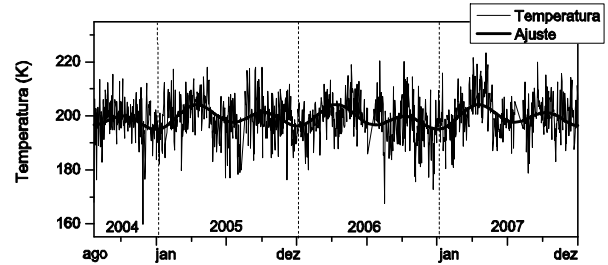


Figura 1 - Valores de temperatura média diária estimada a partir do tempo de decaimento do sinal meteorológico sobre São João do Cariri-PB e o ajuste obtido através de análise harmônica. Os valores são representativos da altitude de maior ocorrência de meteoros (90 km).

Ao longo dos 3 anos e 5 meses, a média das temperaturas diárias assumiu valor de  $199,40^\circ\text{K}$ , com desvio padrão de  $7,90^\circ\text{K}$ . Valores máximos foram registrados durante os meses de outono e primavera, enquanto que valores mínimos foram registrados durante os meses de verão e inverno. As variações verificadas durante o período observado, sugerem que a temperatura da camada atmosférica centrada em 90 km apresenta um comportamento em que a componente semi-anual predomina, com temperaturas máximas durante os meses de março/abril e setembro/outubro, e temperaturas mínimas durante os meses de dezembro/janeiro e junho/julho. Observa-se ainda que as temperaturas máximas dos meses de outono são ligeiramente maiores do que as dos meses de primavera. As amplitudes das componentes, anual e semi-anual, obtidas através da análise harmônica, assumiram valores de  $1,97 \pm 0,31^\circ\text{K}$  e de  $2,93 \pm 0,31^\circ\text{K}$ , respectivamente. Os valores absolutos de temperatura obtidos através do método que utiliza a Eq. (3) são sensíveis à inclinação,  $S_m$ , bem como ao gradiente de temperatura e, portanto, devem ser interpretados com cautela.

Takahashi et al. (1995) analisaram dados de temperatura rotacional da OH, determinadas a partir de observações de emissão da luminescência atmosférica da camada centrada em 87 km de altitude, obtidas em Fortaleza-CE, e verificaram o comportamento predominantemente semi-anual da temperatura, o qual é típico da região da mesopausa equatorial. Os valores da temperatura rotacional da OH variaram entre máximos em torno de  $220^\circ\text{K}$  durante os meses de outono/primavera e mínimos de  $200^\circ\text{K}$  nos meses de verão/inverno, com média de  $211^\circ\text{K}$ . As amplitudes das componentes, anual e semi-anual, assumiram valores de  $1,7^\circ\text{K}$  e  $8,5^\circ\text{K}$  respectivamente. É importante notar que as temperaturas obtidas a partir das medidas de luminescência representam temperaturas noturnas

enquanto que as obtidas através dos dados de radar meteorológico representam médias diárias.

### Conclusões

Os resultados obtidos para os 3 anos e 5 meses de observações, sugerem que a temperatura da camada atmosférica centrada em 90 km em São João do Cariri apresenta um comportamento semi-anual, com temperaturas máximas durante os meses de outono e primavera, e mínimas durante os meses de verão e inverno, o qual está em acordo com os resultados encontrados com uso da temperatura rotacional da OH para a região equatorial obtidos por Takahashi et al. (1995). Contudo, as temperaturas estimadas a partir do tempo de decaimento do sinal meteorológico assumiram valores menores do que aquelas obtidas da emissão da luminescência noturna da OH.

Em termos de valores absolutos, as estimativas da temperatura obtidas através do método aqui descrito devem ser interpretadas com cautela, uma vez que os valores são bastante sensíveis ao ajuste da inclinação bem como ao gradiente de temperatura. Além disso, supõe-se que o tempo de decaimento do eco meteorológico é governado principalmente por difusão ambipolar, entretanto, outros processos podem afetar a taxa de decaimento do sinal, o que deve introduzir erros nas estimativas da temperatura (Ballinger et al., 2008). Portanto, novos estudos devem ser conduzidos para melhor quantificar os valores absolutos da temperatura obtidos através da técnica de radar meteorológico.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, ao Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba – OLAP. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

### Referências

BALLINGER AP, CHILSON PB, PALMER RD & MITCHELL NJ. 2008. On the validity of the ambipolar diffusion assumption in the polar mesopause region. *Annales Geophysicae*, v. 26, n. 11, p. 3439-3443.

CHILSON PB, CZECHOWSKY P & SCHMIDT G. 1996. A comparison of ambipolar diffusion coefficients in meteor trains using VHF radar and UV lidar. *Geophysical Research Letters*, v. 23, n. 20, p. 2745-2748,

HOCKING WK, SINGER W, BREMER J, MITCHELL NJ; BATISTA P, CLEMESHA B & DONNER M. Meteor radar temperatures at multiple sites derived with SKiYMET radars and compared to OH, rocket and lidar measurements, *Journal of Atmospheric and*

*Solar Terrestrial Physics*, v. 66, n. 6-7, p. 585– 593, 2004.

HOCKING WK, SINGER W, BREMER J, MITCHELL NJ, BATISTA P, CLEMESHA B & DONNER M. Meteor radar temperatures at multiple sites derived with SKiYMET radars and compared to OH, rocket and lidar measurements, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 66, n. 6-9, p. 585-593, 2004.

HOCKING WK. Temperatures using radar-meteor decay times. *Geophysical Research Letters*, v. 26, n. 21, p. 3297-3300, 1999.

HOCKING WK, THAYAPARAN T & JONES J. Meteor decay times and their use in determining a diagnostic mesospheric temperature-pressure parameter: methodology and one year of data. *Geophysical Research Letters*, v. 24, n. 23, 2977-2980, 1997

JONES, W. The decay of radar echoes from meteors with particular reference to their use in the determination of temperature fluctuations near the mesopause. *Annales Geophysicae*, v. 13, n. 10, p. 1104-1106, 1995.

McKINLEY DWR. Meteor science and engineering. New York: McGraw-Hill, 1961. v. 309p.

TAKAHASHI H, CLEMESHA BR & BATISTA PP. Predominant semi-annual oscillation of the upper mesospheric airglow intensities and temperatures in the equatorial region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v. 57, n. 4, p. 407-414, 1995.

TSUTSUMI M, TSUDA T, NAKAMURA T & FUKAO S. Temperature fluctuations near the mesopause inferred from meteor observations with the middle and upper atmosphere radar. *Radio Science*, v. 29, n. 03, p. 599-610, 1994.