



Observações da temperatura rotacional via emissão de aeroluminescência da molécula OH(8-3) na região Antártica

Delano Gobbi, Hisao Takahashi, Primavera B. de Souza INPE, Brazil;
e Ricardo A. Buriti UFCG, Paraíba, Brazil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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.

Resumo

Um espectrofotômetro desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e projetado especialmente para a observação de emissões de aeroluminescência na estação Antártica de Comandante Ferraz (62.08° S; 58.40° W), tem sido utilizado para estudos de temperatura de longo termo da mesosfera superior. O equipamento, denominado FotAntar-1, foi instalado em Fevereiro de 2001 e encontra-se em operação rotineira desde então. As emissões detectadas referem-se ao espectro rotacional da molécula de hidroxila, OH(8-3), na faixa de comprimento de onda do infravermelho próximo, e originadas em camadas de altitudes centradas em 87 km. O presente trabalho discute as características da variabilidade sazonal exibida pelas medidas das temperaturas, através de uma coleção de médias noturnas envolvendo mais de 200 noites. Também, serão discutidos os resultados da análise espectral para séries temporais individuais com o objetivo de identificar alguns modos de ondas atmosféricas dominantes em altas latitudes da antártica.

Introdução

A região da atmosfera compreendida entre a mesosfera superior e a termosfera inferior (MLT) é de interesse do ponto de vista da pesquisa em mudanças climáticas globais, tendo em vista que é uma região muito suscetível às variações na química e dinâmica da baixa atmosfera.

Tendências de longo termo nas medidas de temperatura têm sido reportadas na literatura, indicando um resfriamento na região MLT, nas últimas quatro décadas, da ordem de 0,7 K/ano (e.g. Golitsyn *et al.*, 1996; Bittner *et al.*, 2000). Entretanto, estudos correlatos (e.g. Gadsten, 1990; Lübken, 2000) não revelaram a mesma evidência da magnitude dos gradientes relatados.

Mais recentemente, Burns *et al.* (2002), utilizando dados de temperatura rotacional da emissão OH(6-2), coletados no intervalo de 7 anos na estação antártica de Davis (69°S, 78°E), mostraram uma clara variação sazonal e uma insignificante tendência de longo termo (removendo o efeito do ciclo solar), não sustentando o resfriamento da mesosfera superior na amplitude determinada por Golitsyn, *et al.* (1996).

Neste trabalho, apresentaremos um painel das características principais da variabilidade da temperatura rotacional da alta atmosfera observada na estação antártica brasileira, nestes últimos anos, incluindo uma comparação com as medidas de temperatura realizadas na estação australiana de Davis (Burns *et al.*, 2002), cuja latitude difere de 7° S. Também alguns resultados de análises espectrais de dados individuais serão discutidos, com o objetivo de caracterizar os modos dominantes das ondas atmosféricas nessa região.

Método

Um espectrofotômetro de filtro óptico de interferência inclinável foi especialmente projetado pelo laboratório de Luminescência Atmosférica (LUME) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, para monitorar de modo ininterrupto a aeroluminescência da emissão de OH(8-3), na faixa espectral entre 731 e 741 nm. A resolução espectral é menor do que 1 nm e a sensibilidade do detector, tipo PMT, acima de 10% (eficiência quântica). O tempo de varredura espectral é $\approx 0,5$ minutos.

As temperaturas são obtidas através da razão entre as convoluções dos fatores instrumentais e das intensidades relativas associadas às linhas rotacionais $P_1(2)$ e $P_1(4)$, conforme descrito por Takahashi e Batista (1981). A temperatura rotacional calculada depende do conjunto das probabilidades de transição. Nesta análise foram utilizados os coeficientes de Einstein publicados por Langhoff *et al.* (1986).

O espectro é coletado sob condições de céu escuro, na direção zenital de observação, sendo o processo de aquisição dos dados automatizado e decidido pelo trânsito solar e lunar (Souza *et al.*, 2001). O critério de seleção dos dados, tendo em vista à rejeição de medidas devido à intensa cobertura de nuvens, é estabelecido através da análise das incertezas estatísticas sobre as taxas de mudanças na razão das intensidades das linhas rotacionais e, também, na análise da radiância espectral de fundo da emissão.

Resultados e Discussão

Na Figura 1, as temperaturas médias noturnas durante o ano de 2001 são plotadas em conjunto o resultados do modelo de temperatura MSISE-90 (Hedin, 1991), na altitude de 87 km. A significativa variabilidade diária nas temperaturas podem estar associadas às atividades de ondas atmosféricas (ondas de gravidade, marés e planetárias) na alta atmosfera. A temperatura média do modelo MSISE-90 é de 194 K, enquanto que a temperatura rotacional média para a coleção de noites é

de 210 K. Nota-se que o valor absoluto da temperatura rotacional é dependente da escolha das probabilidades de transição.

Os dados de temperatura rotacional também mostram uma evidente variação sazonal, com tendência de valores mínimos no verão e máximos no inverno, embora apresentem uma variabilidade bastante significativa no inverno. Infelizmente a base de dados coletadas ainda não é expressiva para a realização de estudos analíticos de tendências de longo termo.

As medidas de temperatura rotacional da molécula de OH(6-2) realizadas por Burns *et al.* (2002) é o conjunto de dados mais extenso, ora disponível na região Antártica. A Figura 2(a) mostra os dados de temperatura rotacional obtidos na estação de Davis no intervalo de 7 anos; a Figura 2(b) evidencia uma comparação qualitativa entre os dois conjuntos de dados, em particular ao longo do ano de 2001-2002.

Algumas séries temporais de noites extensas e sem contaminação espectral foram selecionadas para investigar a atividade ondulatória da mesosfera superior. Em particular, a identificação de modos de onda dominantes, que modulam as emissões de aeroluminescência, onde o pico de emissão ocorre (em torno de 87 km), é importante do ponto de vista da caracterização dos processos dinâmicos da alta atmosfera na região Antártica.

O método de análise espectral utilizado foi o método do periodograma de Lomb-Scargle (Lomb, 1976; Scargle, 1982). Tal método não exige uma grade regular, sendo assim bastante conveniente para a análise de dados de aeroluminescência, que, em geral, apresentam uma série de lacunas observacionais.

Para exemplificar, mostra-se na Figura 3(a, c) as séries temporais (tempo local, em horas) da taxa de emissão relativa e da temperatura relativa para a noite de 13 de agosto de 2001. O comprimento de ambas as séries é de 10,5 horas. Os espectros de potência, em (ciclos/h)⁻¹, são exibidos na Figura 3(b, d), para ambas as séries. As oscilações dominantes presentes nos espectros de potência são: 7,1 horas e 2,8 horas. As amplitudes, em valores absolutos de temperatura, relacionados aos modos são, respectivamente: 12 ± 3 K e $2 \pm 0,4$ K. O trabalho de Oznovich *et al.* (1995) sugeriu que as ondas de larga amplitude observadas entre 7-8 horas na região polar poderiam ser oscilações naturais que respondem à forçantes orográficas ou convectivos, modeladas teoricamente como ondas de gravidade-inerciais.

Sumário

Os primeiros anos de medidas de temperatura rotacional via emissão de OH(8-3) da mesosfera superior realizadas em Comandante Ferraz (62.08° S; 58.40° W), entre os anos de 2001-2002, exibem uma alta variabilidade diária e uma certa variação sazonal, com relativa preponderância de máximos no inverno e mínimos no verão. A comparação qualitativa com os dados de Burns *et al.* (2002) revela um comportamento anual semelhante.

A análise espectral de noites selecionadas mostram um pico entre 6-7 horas, que sugere uma modulação da emissão de OH por processos dinâmicos ondulatórios na mesosfera superior (ondas de gravidade inerciais).

A expectativa da continuidade das medidas da temperatura rotacional, via aeroluminescência de espécies da alta atmosfera, através de instrumentos ópticos de maior confiabilidade, principalmente do ponto de vista de calibração de longo prazo, torna possível investigar as variações de longo termo da temperatura mesosférica, e suas implicações no prognóstico de mudanças climáticas globais.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do programa Pro-Antar/ CNPq, N. 680037/00-4, FotAntar.

Referências

- Bittner, M. Offermann, D., Graef, H. H. Mesopause temperature variability above a mid-latitude station in Europe. *Journal of Geophysical Res.*, 105 (D2), 2045-2058, 2000.
- Burns, G.B., French, W.J.R., Greet, P.A., Phillips, F.A., Williams, P.F.B., Finlayson, K., Klich, G. Seasonal variations and inter-year trends in 7 years of hydroxyl airglow rotational temperatures at Davis station (60°S, 78°E), Antarctica *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 64, 1167-1174, 2002.
- Gadsten, M. A secular change in noctilucent cloud occurrence. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 52, 247-251, 1990.
- Golitsyn, G. S., Semenov, A. I., Shefov, N. N., Fishkova, L. M., Lysenko, E. V., Perov, S. P. Long-term trends in the middle and upper atmosphere. *Geophysical Res. Letters*, 23, 1741-1744, 1996.
- Hedin, A. E. Extension of the MSIS thermosphere model into the middle and lower atmosphere. *Journal of Geophysical Res.*, 96 (A2), 1159-1172, 1991.
- Langhoff, S. R., Werner, H. -J., Rosmus, R. Theoretical transition probabilities for the OH Meinel system. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 118, 507-529, 1986.
- Lomb, N. R. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and Space Science*, 39, 447-462, 1976.
- Lübken, F. -J. Nearly zero temperature trend in the polar summer mesosphere, *Geophysical Res. Letters*, 27, 3603-3606, 2000.
- Oznovich, I., McEwen, D. J., Sivjee, G. G. Temperature and airglow brightness oscillations in the polar mesosphere and lower thermosphere, *Planetary Space Science*, 43, 1121, 1995.
- Scargle, J. D. Studies in astronomical time series analysis. II Statistical aspects of serial analysis of

unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263, 835-853, 1982.

Souza, P. B.; Gobbi, D.; Wrasse, C. M.; Takahashi, H. Automatização de sistemas para aquisição de dados fotométricos em aeroluminescência. In: *7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, Salvador, 2001.

Takahashi, H. e Batista P. P. Simultaneous measurements of OH(9,4), (8,3), (7,2), (6,2) and (5,10) Bands in the Airglow. *Journal of Geophysical Res.*, 86, 5632-5642, 1981.

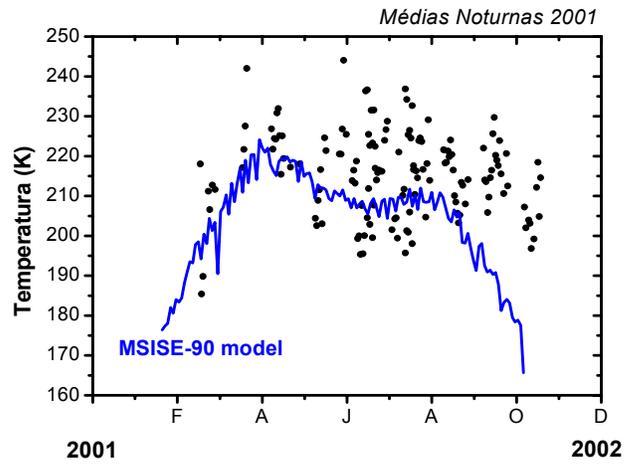


Figura 1. Médias noturnas da temperatura rotacional OH(8-3) no intervalo de 2001. O modelo MSIS-90 também é mostrado como referência de temperatura, calculado para a região de emissão.

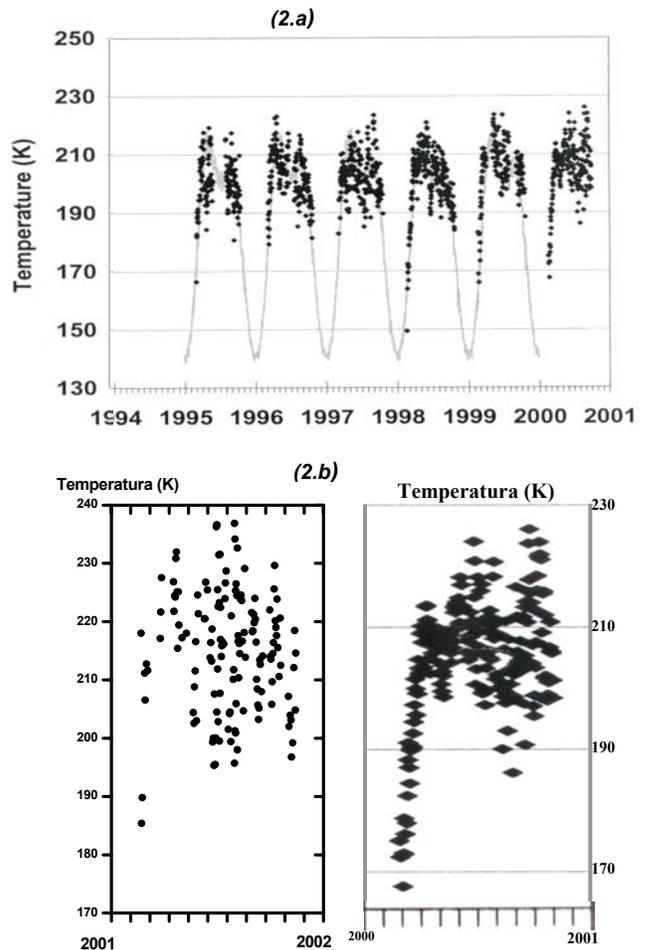


Figura 2. (a) Médias noturnas da temperatura rotacional OH(6-2) no intervalo de 1995-2001 na estação australiana de Davis, Antártica. (b) Comparação, para o ano de 2001-2002, entre os dados da estação Davis (painel direito) e os dados deste trabalho (painel esquerdo).

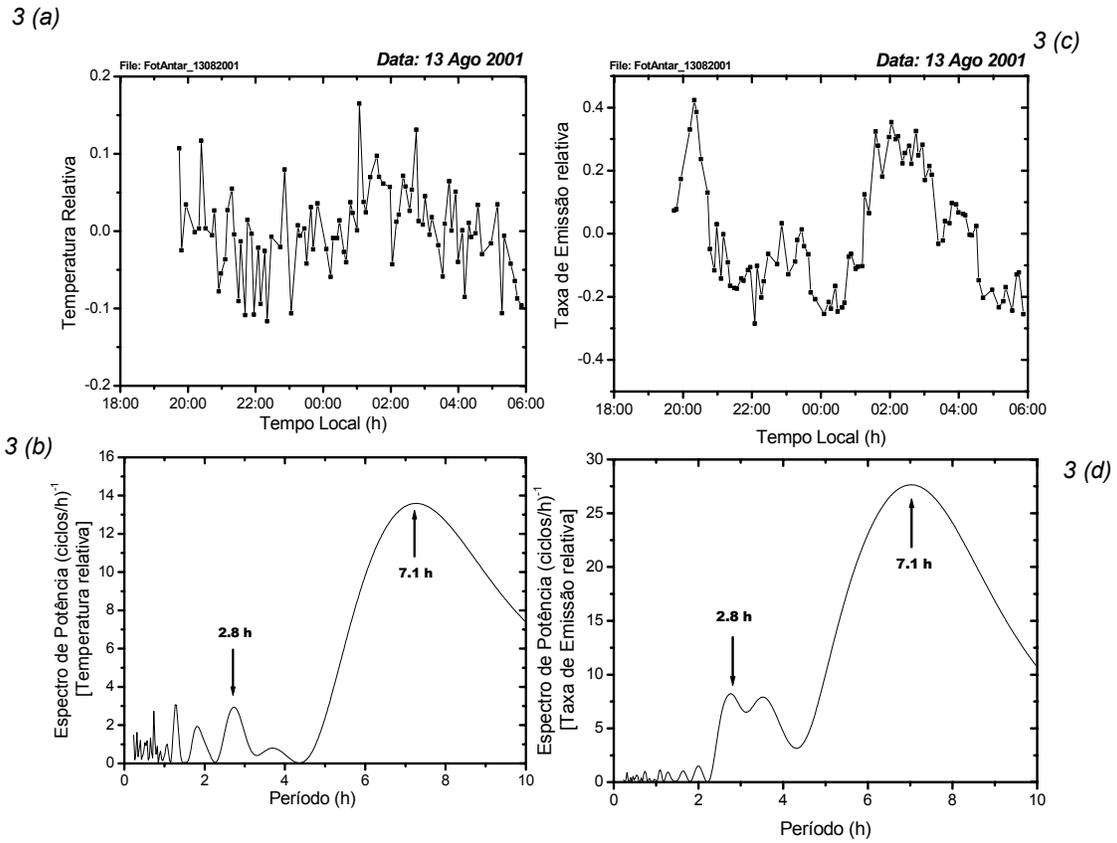


Fig. 3 (a, b, c, d). Espectro de potência, via Lomb-Scargle, da taxa de emissão relativa e temperatura relativa para a noite de 13 de Agosto de 2001.