

**Fig.3:** Anomalia da função de corrente para um escoamento básico DJF de 1982/83 para forçantes térmicas centradas no equador em (a) 150°E, (b) 180°E, (c) 160°W e (d) 140°W para o nível de  $\sigma=0.24$ . O intervalo dos contornos é de  $5.10^5 \text{ m}^2\text{s}$ . Valores positivos são representados por linhas contínuas, e o círculo preto representa o centro das forçantes.

## Camadas de Inversão de Temperatura na Média Atmosfera sobre São José dos Campos por medidas com um Radar de Laser Rayleigh

Paulo Prado Batista  
Barclay R. Clemesha,  
Dale M. Simonich  
Marden H. Silva Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE CP 515 São José dos Campos, SP, Fax (012) 3256952  
E-mail inpedaa@eu.ansp.br

### Abstract

Recent measurements have shown that secondary inversion layers are common features in the middle latitude mesosphere. They occur mainly in the 55-90 km range and are more frequent during summer and winter. Since 1993, a Rayleigh lidar has been used to measure the density and temperature profiles from ~30 to ~75 km in São José dos Campos, SP (23° S, 45° W). The analysis of 106 nights of data, from 1993 to 1995, shows that the temperatures are systematically lower in the stratosphere and higher in the mesosphere, as compared with the CIRA-86 model. Daily measurements were carried out during the 1995 winter to study the variability of the profile. In 21 nights of measurements we observed 9 with temperature inversion between 55 and 70 km. The persistence of the inversion layers was not observed in two consecutive days, indicating a time scale of less than 24 hours for these structures.

### 1 Introdução

A importância dos radares de laser (lidars) que usam o espalhamento Rayleigh para medidas da densidade e temperatura tem sido reconhecida nos últimos anos devido à sua alta resolução temporal e em altura, servindo como um natural complemento aos dados obtidos por foguetes e satélites. O primeiro trabalho extensivo sobre a climatologia da região entre 37 e 87 km foi feito na França, com dados obtidos por um lidar em Haute Provence (44°N, 1°O) de 1978 a 1989 (Hauchecorne et al., 1991). Neste trabalho mostrou-se que estudo com alta resolução temporal e em altura em determinado local pode revelar diferenças e tendências antes não detectadas por meio de medidas esporádicas com foguetes e de baixa resolução em altura com satélites. Também, esta alta resolução em altura aliada à capacidade de se medir continuamente o perfil de temperatura durante toda a noite (ou mesmo durante o dia em alguns radares) tem provado ser útil ao estudo das chamadas "camadas de inversão" de temperatura na mesosfera. A existência de camadas secundárias com mínimo de temperatura em torno de 75 km de altura têm sido relatada desde as primeiras medidas do perfil de temperatura da mesosfera com foguetes, porém estudos sistemáticos destas inversões tiveram início apenas em 1976 (Schmidlin, 1976) analisando-se dados mais precisos obtidos com foguetes. Observou-se que em cerca de 30% dos perfis obtidos entre 1973 e 1975 em Wallops Island um mínimo secundário de temperatura aparecia em torno de 75 km de altura. Hauchecorne et al., 1987 com o estudo de mais de 500 temperaturas médias noturnas obtidas com um lidar fez um estudo estatístico das camadas de inversão e mostrou que estas ocorrem em todas as estações do ano, porém, são mais frequentes no inverno e verão e ocorrem em altitudes mais baixas no inverno que no verão. Hauchecorne et al., 1987, fizeram a primeira tentativa de explicação do fenômeno em termos da quebra de ondas de gravidade produzindo um pico local de temperatura. Outros estudos das camadas de inversão tem sido feitos, geralmente em estações

localizadas em médias latitudes (Whiteway et al., 1995 no Canadá, Meriwether et al., 1994, nos Estados Unidos), porém, nenhum estudo tem sido feito em baixas latitudes e no hemisfério sul.

Desde 1993 um radar de laser fazendo uso do espalhamento Rayleigh tem sido utilizado para medir o perfil de densidade entre 30 e 75 km de altura e de temperatura entre 30 e 65 km de altura em São José dos Campos, SP (23° S, 45° O). Os principais objetivos deste programa são o estudo da climatologia desta região nesta faixa de altura ao longo de vários anos e do estudo detalhado do perfil em épocas escolhidas. A análise dos dados obtidos em 1993 mostrou que as temperaturas são sistematicamente mais baixas na estratosfera e mais altas na mesosfera em comparação com o modelo CIRA-86 (Batista et al., 1995).

Neste trabalho apresenta-se o resultado do estudo de um total de 106 noites de dados entre março e dezembro de 1993 a 1995. Dentre estes, foram realizadas campanhas com medidas diárias durante o inverno de 1995, com o propósito de se estudar a variabilidade diária do perfil.

## 2 Instrumentação e Método de Análise

Os parâmetros básicos e a geometria do radar de Laser do INPE são os mesmos descritos anteriormente (Batista et al., 1995). A principal diferença do radar em relação ao que foi utilizado anteriormente foi a instalação de um laser de alta potência (CANDELA Model LFDL-20), com 2-3 J de energia por pulso e taxa máxima de repetição de 10 pulsos por segundo. A Tabela 1 mostra os principais parâmetros para o transmissor e receptor. Para a maioria dos dados os perfis de espalhamento Rayleigh foram obtidos com o laser centrado em 589 nm e o sinal armazenado em 640 canais com resolução vertical de 0.25 km. Em geral os dados úteis iniciam-se em 10 km de altura, porém a presença de aerossóis faz com que o sinal puramente Rayleigh só comece em torno de 35 km. No topo as medidas são limitadas tanto pela razão sinal-ruído quanto pela presença do espalhamento ressonante pelo sódio a partir de 75 km.

Tabela 1. Especificação do Radar de Laser

Transmissor		Receptor	
Energia por pulso	2-3 J	Área	0.39 m <sup>2</sup>
Duração do pulso	2 μs	Largura de Banda	700 pm
Taxa de Repetição	10 s <sup>-1</sup>	Abertura do feixe	0.4 mR
Largura de Banda	0.1 nm	Intervalo de altura	0.25 km
Abertura do Feixe	0.15 mR	Eficiência	2.4 %
Comprimento de onda	589 nm		

Em geral, é preciso acumular um grande número de pulsos do laser para se obter precisão razoável nas medidas, mas para outros propósitos o sinal obtido de 500 a 2000 disparos é acumulado e gravado no computador.

A transformação das contagens em densidade relativa é feita da maneira padrão pelo uso da equação do Radar de Laser (Kent et al., 1967). De posse da densidade normalizada em uma altura de referência obtém-se as temperaturas pelo uso das equações hidrostática e da lei dos gases perfeitos (Hauchecorne e Chanin, 1980).

## 3 Dados Obtidos

Na Figura 1 são mostrados dois perfis característicos. Na figura 1 a) o perfil obtido para 27/11/93 com 62000 disparos entre 19:13 a 21:14 mostra um comportamento bastante regular da mesosfera bastante similar ao modelo MSIS-90 (Hedin, 1991). Na Figura 1 b) para 15/06/95 com 47000 disparos obtidos entre 18:13 a 20:42 a estrutura da atmosfera é completamente diferente mostrando uma camada de inversão na mesosfera em cerca de 64 km de altura. Estas camadas de inversão já detectadas desde as primeiras medidas esporádicas com foguetes (Craig, 1965) voltaram a despertar interesse científico com as novas medidas com Lidar (e.g. Hauchecorne et al, 1987). Com dados mais sistemáticos com lidar foi possível estabelecer que as camadas eram mais prováveis durante o inverno e verão e a altura em que ocorriam tinha também variação anual, sendo mais baixa no inverno e mais alta no verão. Por medidas de radiância pelo satélite SME (Clansy et al., 1995) estas características foram reconhecidas como um aspecto climatológico da mesosfera. Infelizmente nosso lidar está restrito a medidas até cerca de 77 km. Assim nós podemos detectar apenas as inversões que ocorrem no inverno em baixas alturas.

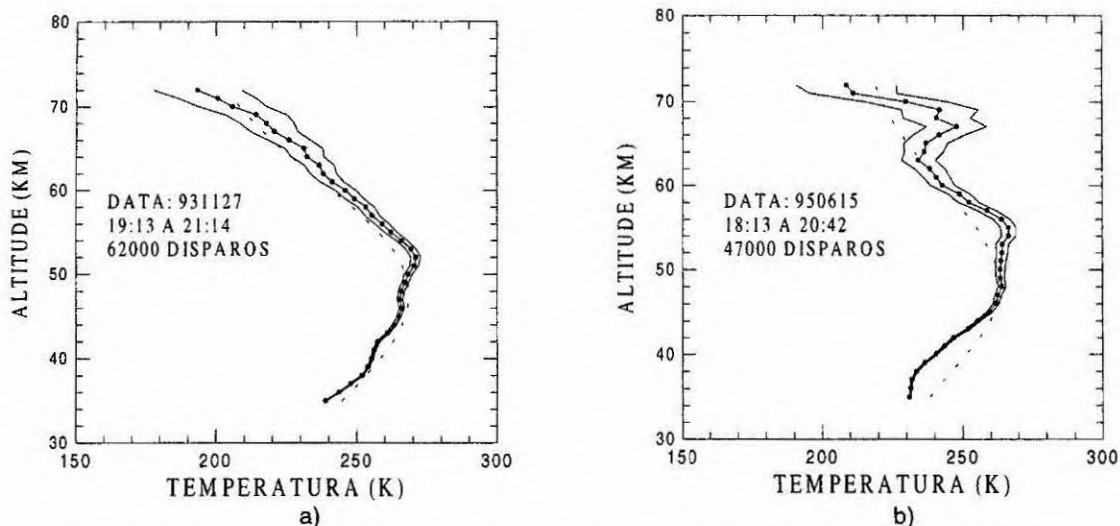


Fig. 1 - Perfis de temperatura atmosférica para os dias 27.11.93 a) e 15.06.95 b). As linhas tracejadas referem-se ao modelo MSISE-90 . Horários de obtenção e número de disparos para cada perfil são indicados nas figuras.

#### 4 Climatologia do Período 1993-1995

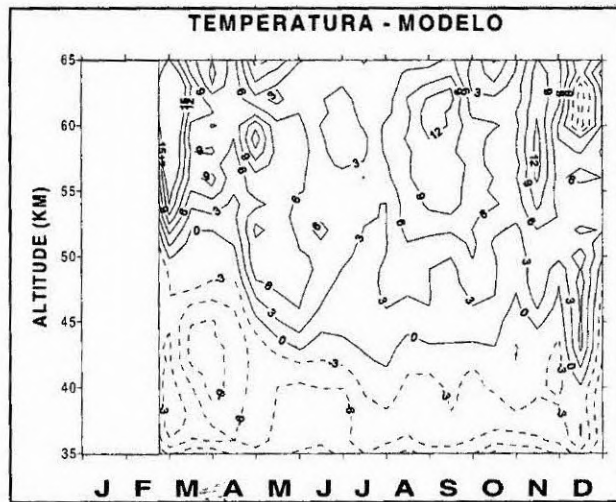
Curvas de contorno para as temperaturas observadas, incluindo todas as 112 medidas tomadas entre fevereiro e dezembro para os três anos são mostrados na Figura 2(a). Os contornos são a cada 5 K e os dados faltantes são indicados por áreas brancas. Na Figura 2(b) contornos similares são mostrados para o modelo MSISE-90 e na Figura 2(c) as diferenças entre os dados e os modelos. Como pode ser notado, diferenças substanciais e consistentes existem entre os dados observados e o modelo. Na estratosfera sobre São José dos Campos as temperaturas são consistentemente mais baixas que o modelo por uma quantidade que pode ser maior que 5 K. Na estratopausa a temperatura excede o modelo por cerca de 5K e esta diferença se torna maior, excedendo 10 K nos altos níveis da mesosfera.

#### 5 Análise do período 05.06.95 a 06.07.95

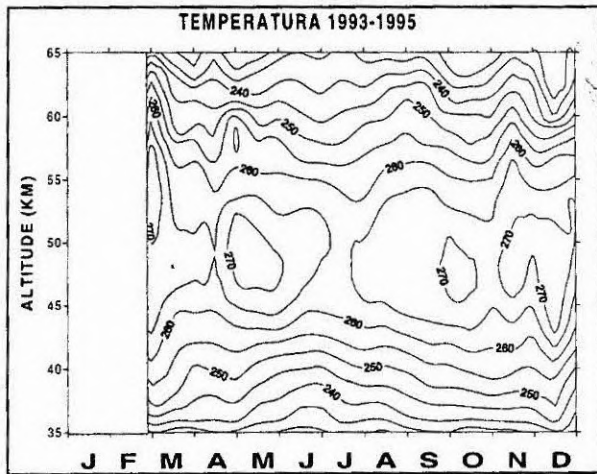
Na Fig. 3 são apresentadas seqüências de perfis obtidos entre 5.06.95 e 6.07.95. Os perfis foram todos obtidos entre horários aproximados (das 18:30 às 21:30) e com aproximadamente o mesmo número de disparos. Procurou-se obter dados diários, mas a seqüência é interrompida geralmente por causa de mau tempo. Observa-se que as camadas de inversão ocorrem com grande frequência em junho e geralmente em altitudes baixas a ponto de serem detectadas pelo nosso radar. Porém observa-se que praticamente uma inversão não prevalece em dois dias consecutivos numa mesma altura.

#### 6 Conclusão

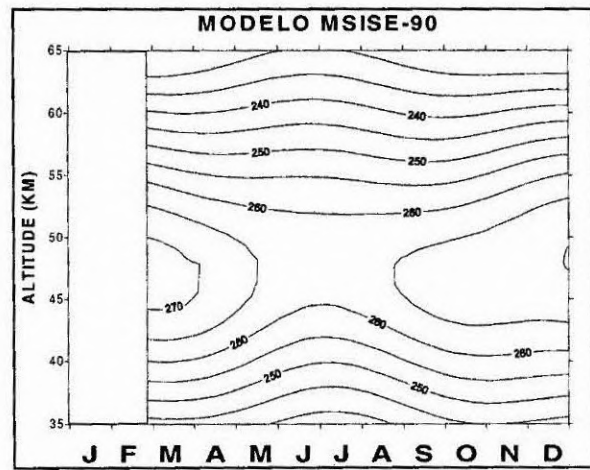
Medidas das densidades e temperaturas na alta estratosfera e mesosfera em São José dos Campos em um período de três anos mostra consistente diferença em relação ao modelo MSISE-90 mostrando uma estratosfera mais fria e uma mesosfera mais quente. Camadas de inversão de temperatura estão presentes com frequência e ocorrem em altitudes baixas ( ~60-65 km) no inverno, não apresentando repetitividade em 24 horas. As medidas continuam a ser feitas com o propósito de construir uma climatologia melhorada da temperatura em São José dos Campos e para estudos de variações a longo prazo. Também o fenômeno das inversões e sua correlação com outros eventos abaixo e acima serão explorados.



c)

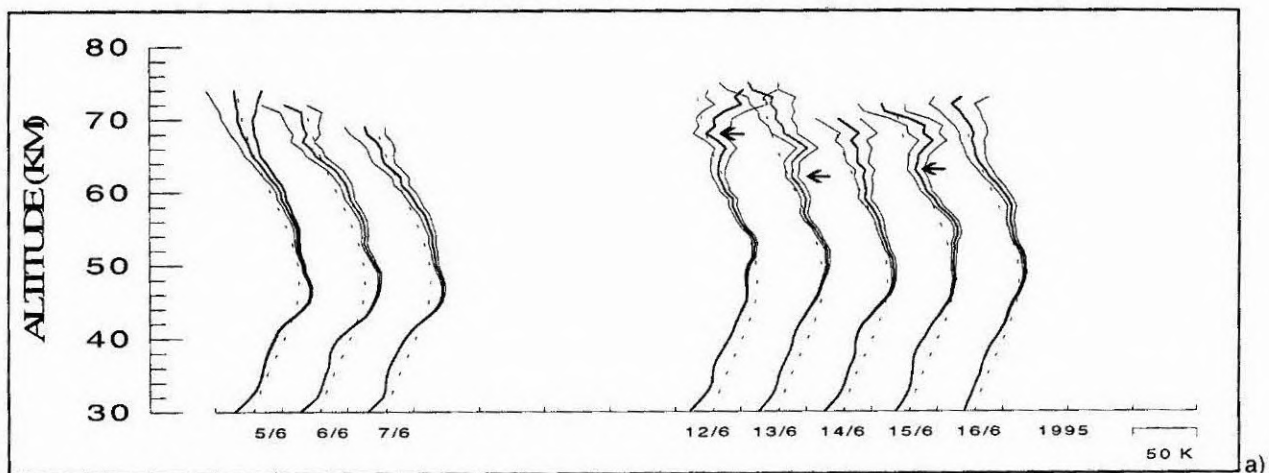


a)



b)

Fig. 2 - Curvas de nível para as temperaturas em K: a) Medida pelo Radar entre 1993 e 1995, b) dada pelo Modelo MSISE-90 e c) a diferença entre os dados e o modelo.



a)

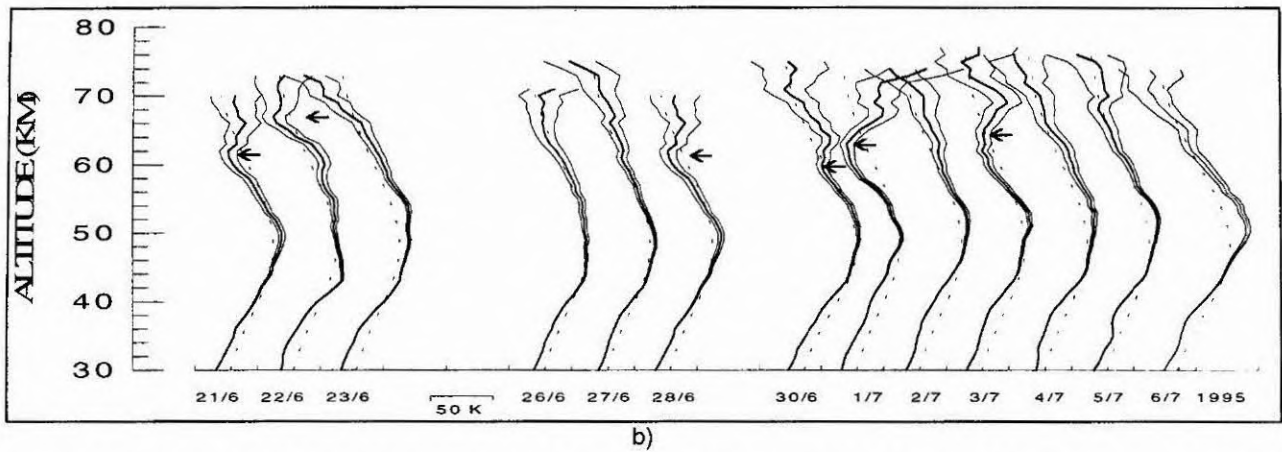


Fig. 3 - Sequências de perfis obtidos entre 5.06.95 e 16.06.95, a) e entre 21.06.95 e 6.07.95, b). As setas indicam a existência de inversões de temperatura.

## Referências

- Batista, P. P., B. R. Clemesha, and D. M. Simonich, Observations of atmospheric density and temperature between 35 and 70 km by Rayleigh lidar at São José dos Campos, Sp, *Braz. J. of Geophys.*, 13,15-23, 1995.
- Clansy, R. T., D. W. Rusch, and M. T. Callan, Temperature minima in the average thermal structure of the middle mesosphere (70-80 km) from analysis of 40- to 92-km SME global temperature profiles., *J. Geophys. Res.*, 99, 19001-19020, 1994.
- Craig, R. A. *The Upper atmosphere Meteorology and Physics.*, Academic Press, New York and London, p. 92-100, 1965
- Hauchecorne, A. and M. L. Chanin, Density and Temperature Profiles Obtained by Lidar Between 35 and 75 Km, *Geophys. Res. Lett.*, 7, 565-568, 1980.
- Hauchecorne, A., M. L. Chanin, and R. Wilson, Mesospheric Temperature inversion and Gravity wave breaking, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 933-936, 1987.
- Hauchecorne, A., M. L. Chanin, and P. Keckhut, Climatology and trends of the middle atmospheric temperature (33-78 km) as seen by Rayleigh lidar over the south of France, *J. Geophys. Res.*, 96 (D8), 15,297-15,309, 1991.
- Hedin, A. E., Extension of the MSIS thermospheric model into the middle and lower atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 96, 1159-1172, 1991.
- Kent, G. S., Clemesha, B. R., and R. W. H. Wright, High altitude atmospheric scattering of light from laser beam, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 29, 169-181, 1967.
- Meriwether, J. W., P.D. Dao, R. T. McNutt, and W. Klemetti, Rayleigh lidar observations of mesosphere temperature structure, *J. Geophys. Res.*, 99, 16973-16987, 1994.
- Schmidlin, F. J., Temperature inversions near 75 km, *Geophys. Res. Lett.*, 3, 173-176, 1976.
- Witeway, J. A., a. I. Carswell, and W. E. Ward, Mesospheric temperature inversions with over-lying nearly adiabatic lapse rate: An indication of a well-mixed turbulent layer, *J. Geophys. Res.*, 22, 1201-1294, 1995.