

# Estrutura Vertical da Temperatura



Dinâmica do Clima  
2006|2007

Ana Picado | 23380  
Carina Lopes | 28680

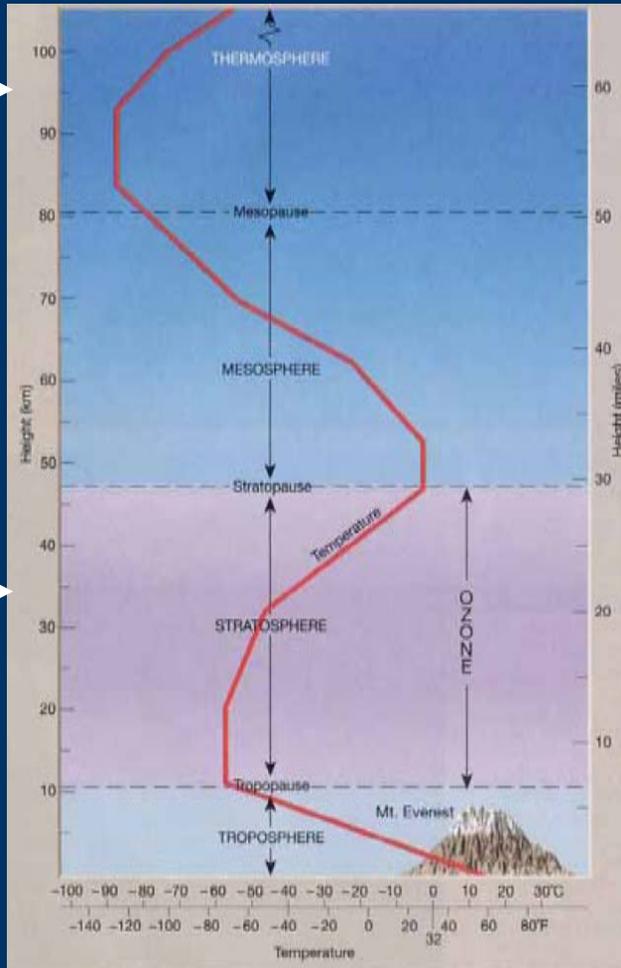
# Introdução:

## Temperatura:

### Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera.

Termosfera:  
temperatura aumenta em altitude até que atinge valores muito elevados

Estratosfera:  
temperatura é constante até cerca de 20 km de altitude e a partir desta aumenta gradualmente



Mesosfera:  
temperatura volta a diminuir com a altitude, até um mínimo de ~-90 °C

Troposfera:  
temperatura diminui em altitude

## Temperatura Potencial:

✘  $\theta$  é definida como a temperatura assumida pelo sistema quando comprimido ou expandido adiabaticamente para uma pressão de referência de 1000mb.

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{onde } p_0=1000\text{mb é a pressão no nível de referência e } \gamma \text{ é dado por: } \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$$

## Temperatura Potencial Equivalente:

✘  $\theta_e$  traduz a temperatura máxima que uma parcela de ar húmido pode assumir através de uma compressão adiabática e libertação de calor latente.

$$\theta_e = \theta \cdot \exp \left( \frac{L_v r_c}{C_p T} \right) \quad \text{Onde } L_v \text{ é o calor latente de vaporização, } r_c \text{ é a razão de mistura de saturação e } C_p \text{ é a capacidade calorífica a pressão constante.}$$

## Estabilidade:

A estabilidade da atmosfera pode-se caracterizar em termos da temperatura potencial:

$$\frac{d\theta}{dz} > 0$$

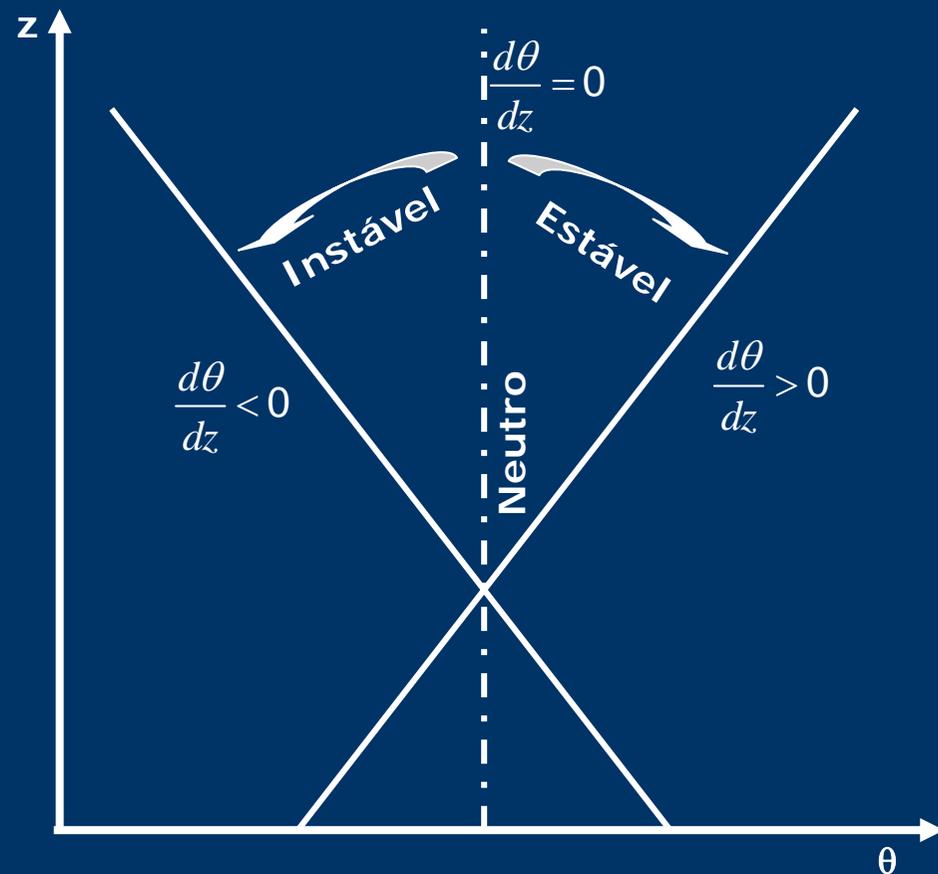
Estável

$$\frac{d\theta}{dz} = 0$$

Neutra

$$\frac{d\theta}{dz} < 0$$

Instável



## Estabilidade:

✘ Também se pode caracterizar a estabilidade da atmosfera em termos da Frequência de Brunt Vaisala. A Frequência de Brunt Vaisala é dada por:

$$N^2 = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

$N^2 > 0$                       Estável

$N^2 = 0$                       Neutra

$N^2 < 0$                       Instável

# Temperatura - Média Anual:

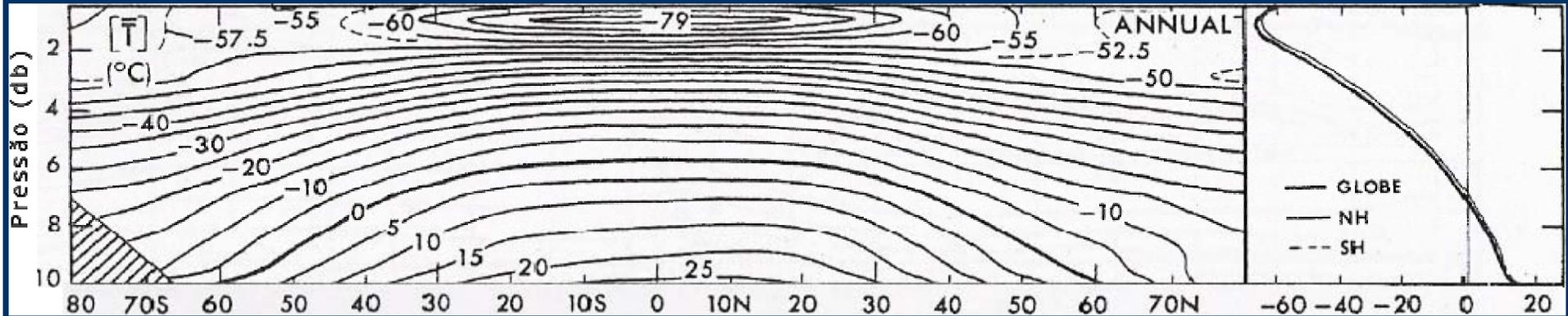


Figura 1: Peixoto & Ort

Médias zonais da temperatura em °C para média anual e representação dos perfis verticais hemisféricos e globais

✗ É visível o rápido decréscimo da temperatura com a altitude na troposfera e condições contrárias na baixa estratosfera.

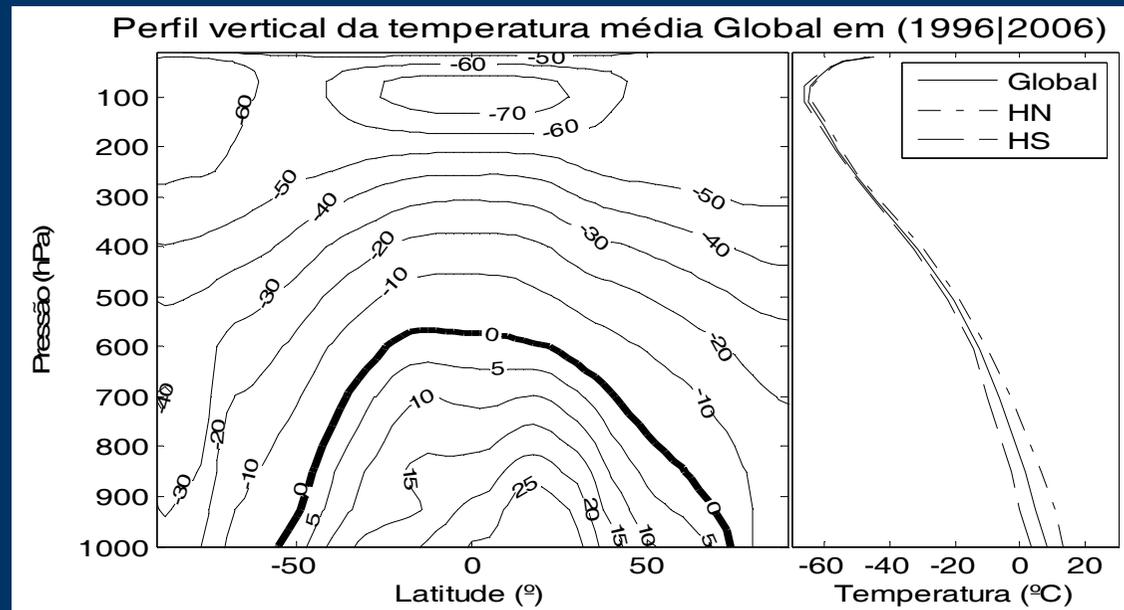


Figura 2: Média de 1996|2006

# Temperatura - Média Anual:

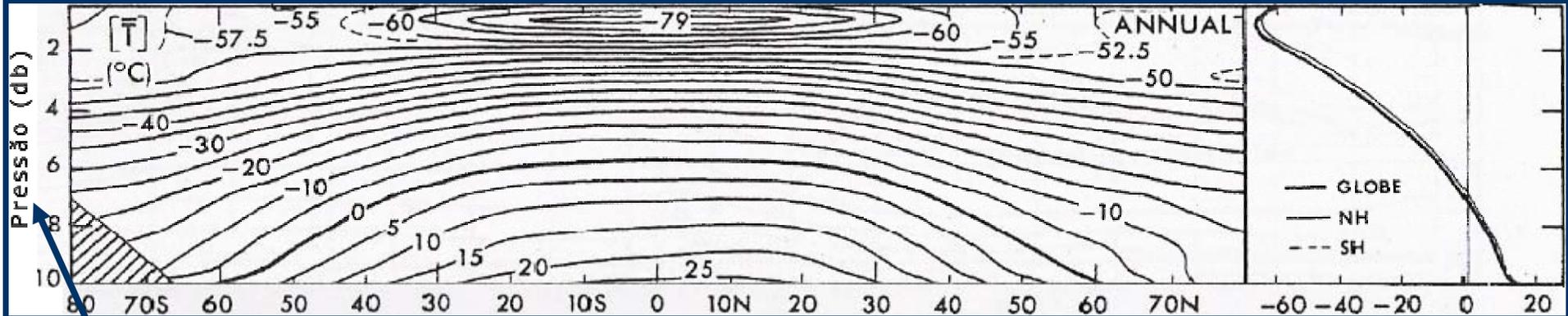


Figura 1: Peixoto & Oort

✘ Na troposfera média (~500mb) as isotérmicas são mais uniformes



✘ Influência dos continentes e dos oceanos no perfil da temperatura diminui em altitude

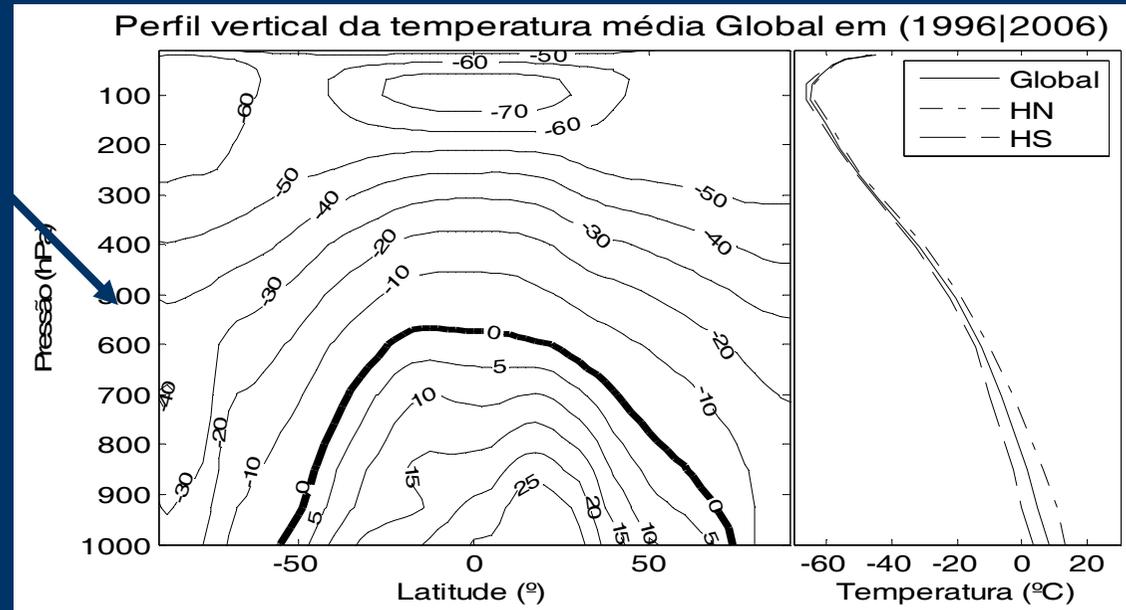


Figura 2: Média de 1996|2006

Temperatura - Média Anual:

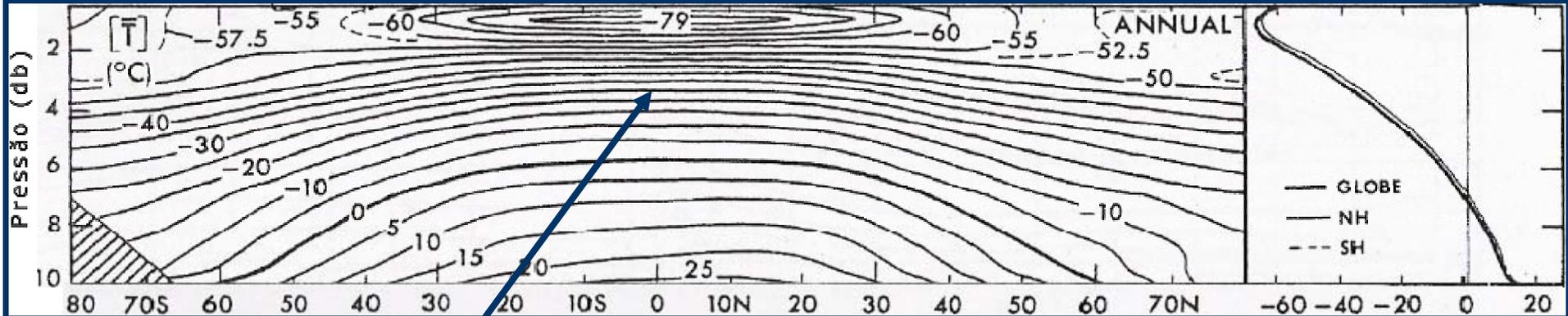


Figura 1: Peixoto & Ort

✘ Na estratosfera, acima da tropopausa (~200mb), os gradientes horizontais de temperatura estão invertidos, as baixas temperaturas são observadas sobre o equador.

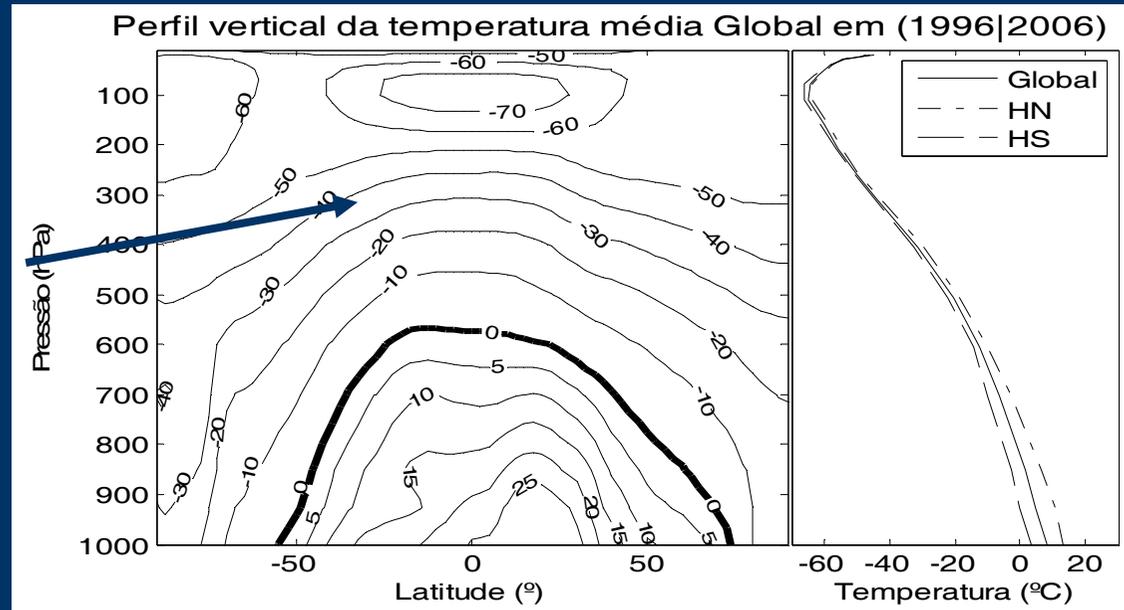


Figura 2: Média de 1996|2006

Temperatura - Média Anual:

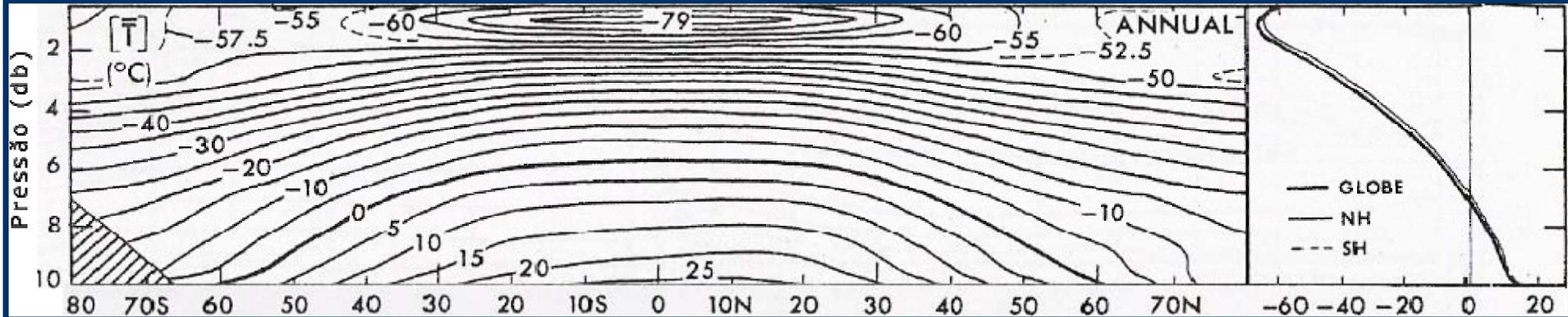


Figura 1: Peixoto & Oort

✘ Os gradientes verticais de temperatura são mais fortes na alta troposfera tropical, devido à subsidência das nuvens *cumulonimbus* (nuvens de mau tempo) na ITCZ e da evaporação e de arrefecimento radiativo no topo destas nuvens.

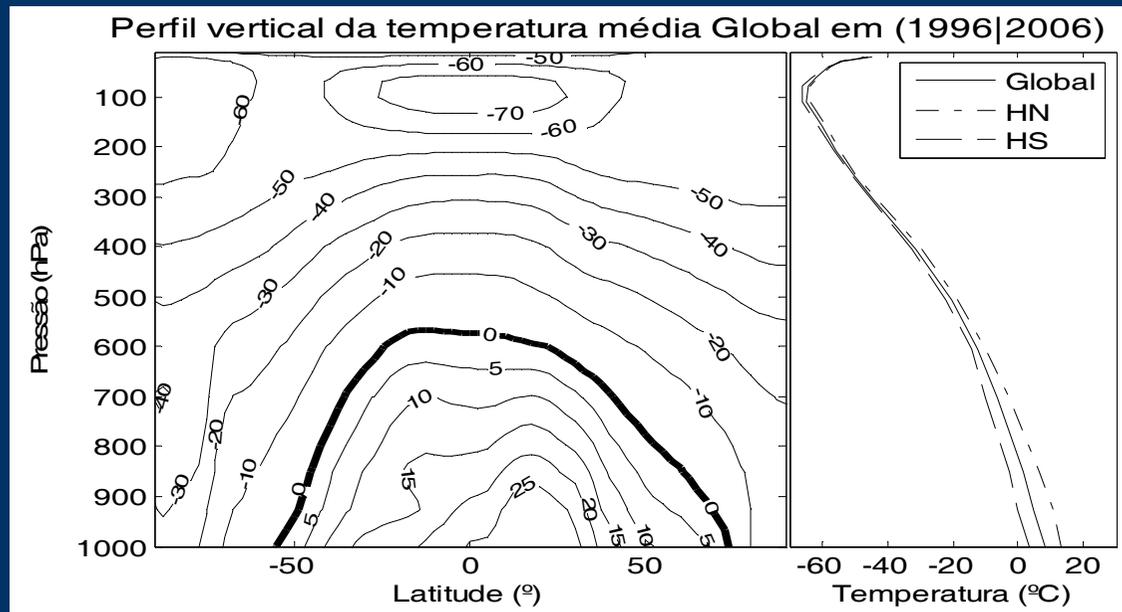


Figura 2: Média de 1996|2006

## Temperatura - Média Anual:

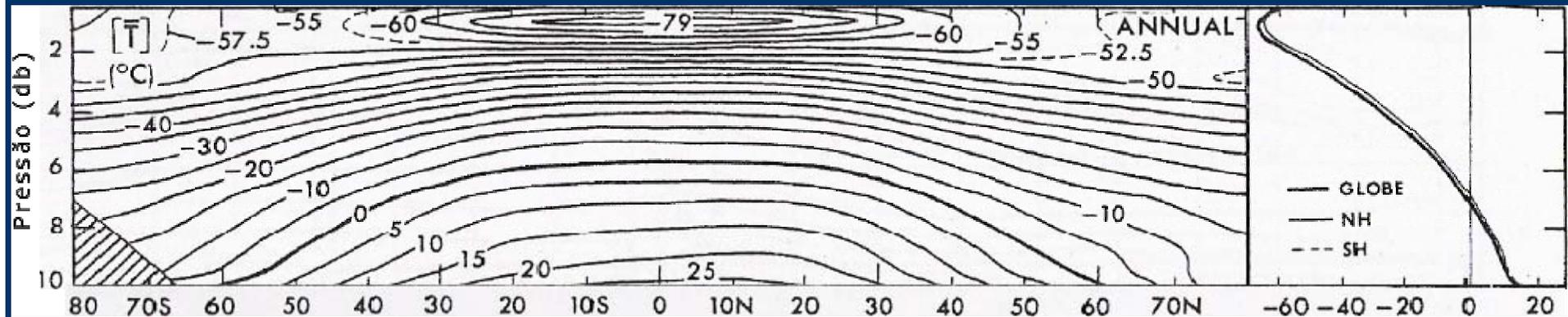


Figura 1: Peixoto & Oort

- ✘ Perto do equador a diferença de temperatura entre o solo e a tropopausa é da ordem de 105K (Peixoto & Oort).
- ✘ Na baixa estratosfera a temperatura aumenta levemente com a altitude nas latitudes médias e torna-se quase constante nas regiões polares.

## Temperatura - Média Anual:

Dinâmica do Clima  
2006|2007

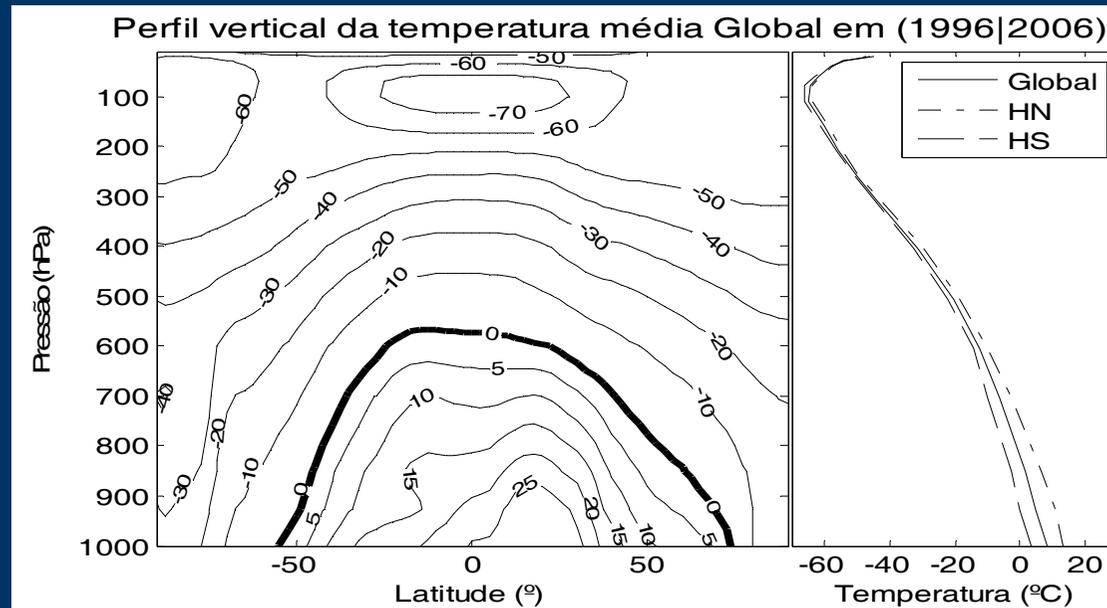


Figura 2: Média de 1996|2006

✘ Para a média de 1996|2006 a diferença de temperatura entre o solo e a tropopausa no equador é ligeiramente menor, da ordem de 95K.

✘ Continua a verificar-se o ligeiro aumento da temperatura na baixa estratosfera nas latitudes médias.

## Temperatura - Média Anual:

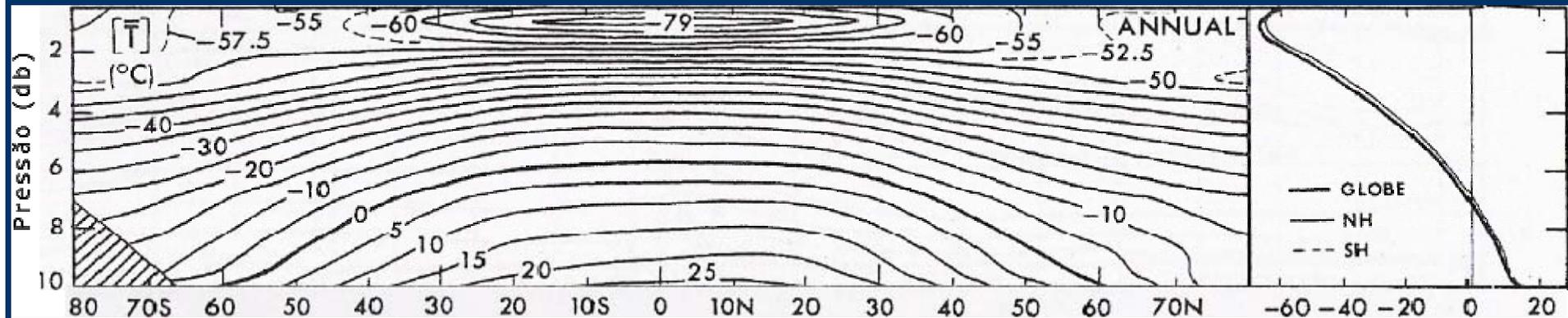


Figura 1: Peixoto & Oort

- ✘ No H.N. há mais continentes por isso a inércia térmica do H.N. é inferior à do H.S..
- ✘ Assim, a temperatura à superfície no H.N. é maior do que a do H.S. quando sujeitos à mesma radiação solar.

PORQUÊ?

# Temperatura - Média Anual:

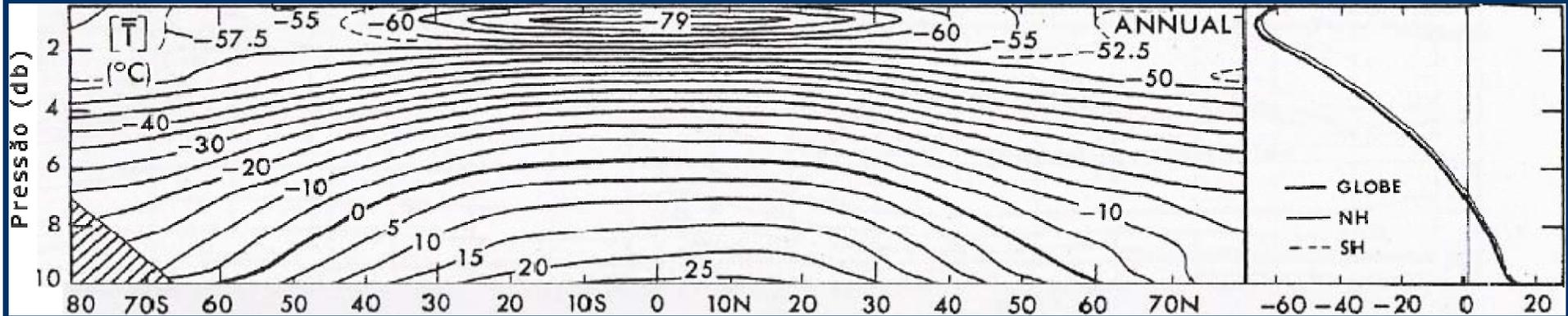


Figura 1: Peixoto & Oort

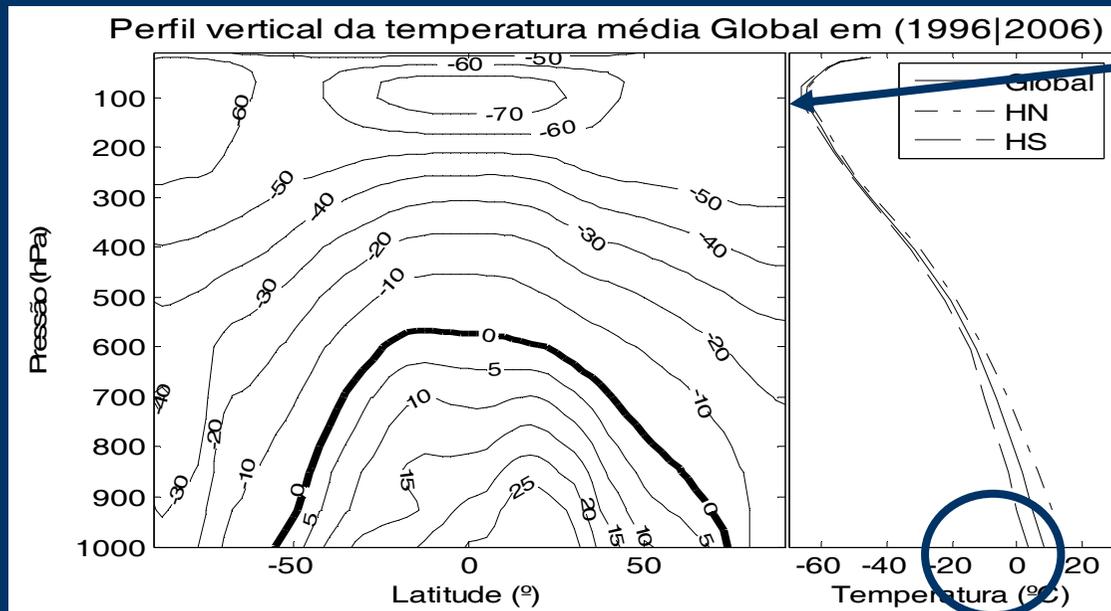


Figura 2: Média de 1996|2006

- ✘ A temperatura mínima para os dois casos é cerca de  $-60^{\circ}\text{C}$  para os perfis Global, HN e HS.
- ✘ Para a média de 1996|2006 a temperatura à superfície é superior no HN do que no HS.

# Temperatura - Média Anual:

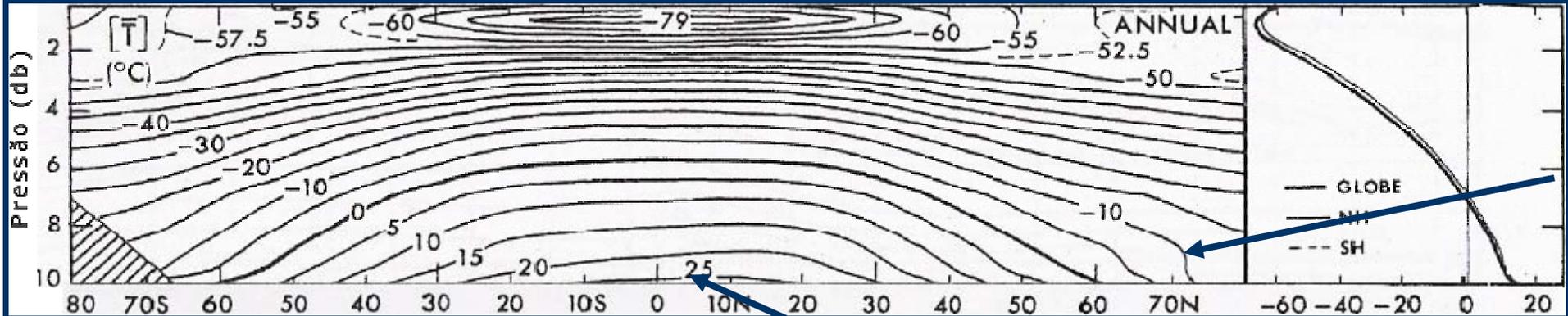


Figura 1: Peixoto & Oort

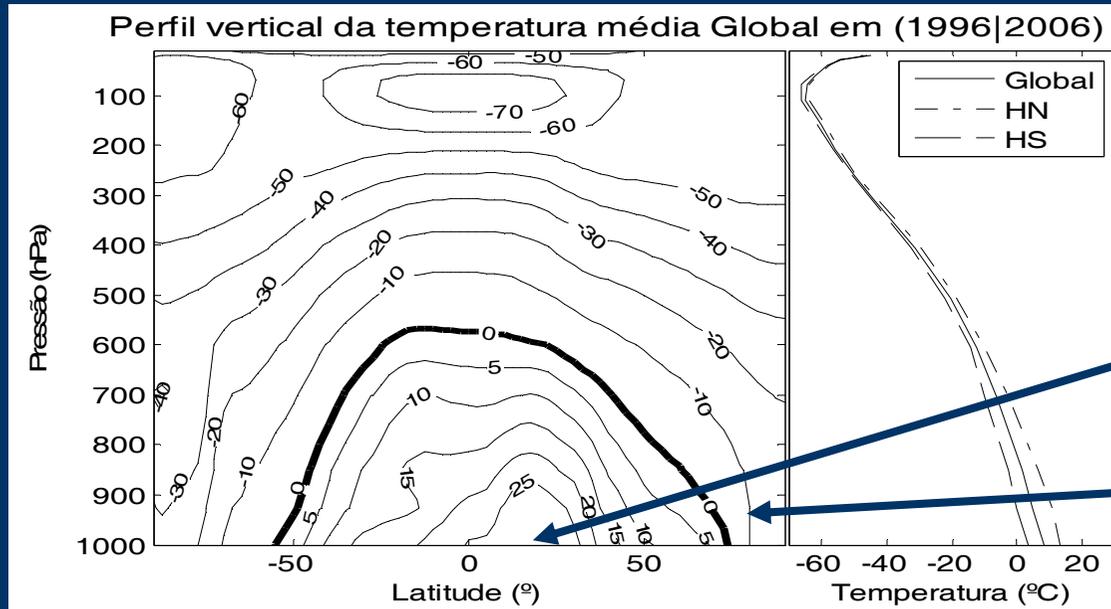


Figura 2: Média de 1996|2006

✘ A isotérmica dos 25°C deslocou-se para Norte, evidenciando a presença do Equador Meteorológico.

✘ Nota-se que nas latitudes altas as isotérmicas são verticais na baixa troposfera.



# Temperatura - Média Sazonal DJF:

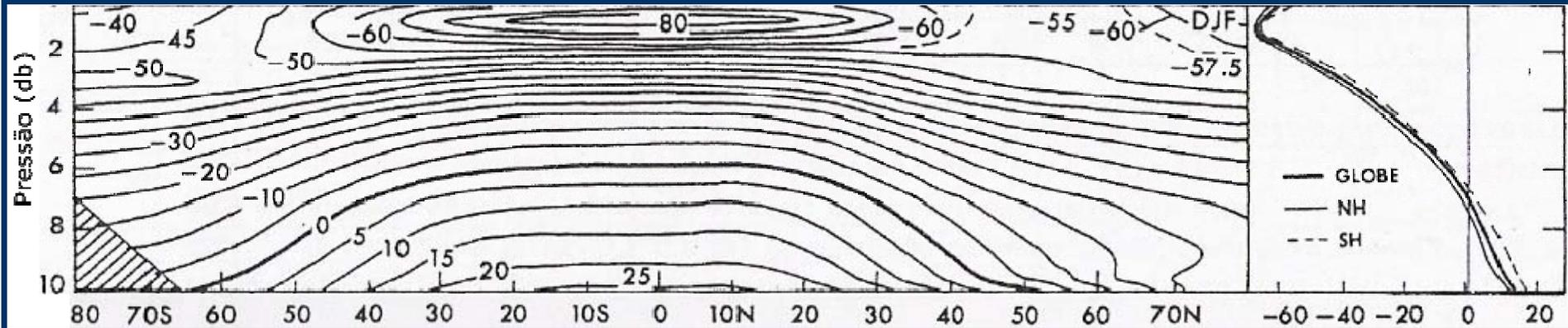


Figura 3: Peixoto & Oort

✘ Acima dos 50mb observa-se a presença do jacto polar – temperaturas da ordem dos -70°C. Na figura 3 não se observa este jacto porque o limite da pressão é 50mb.

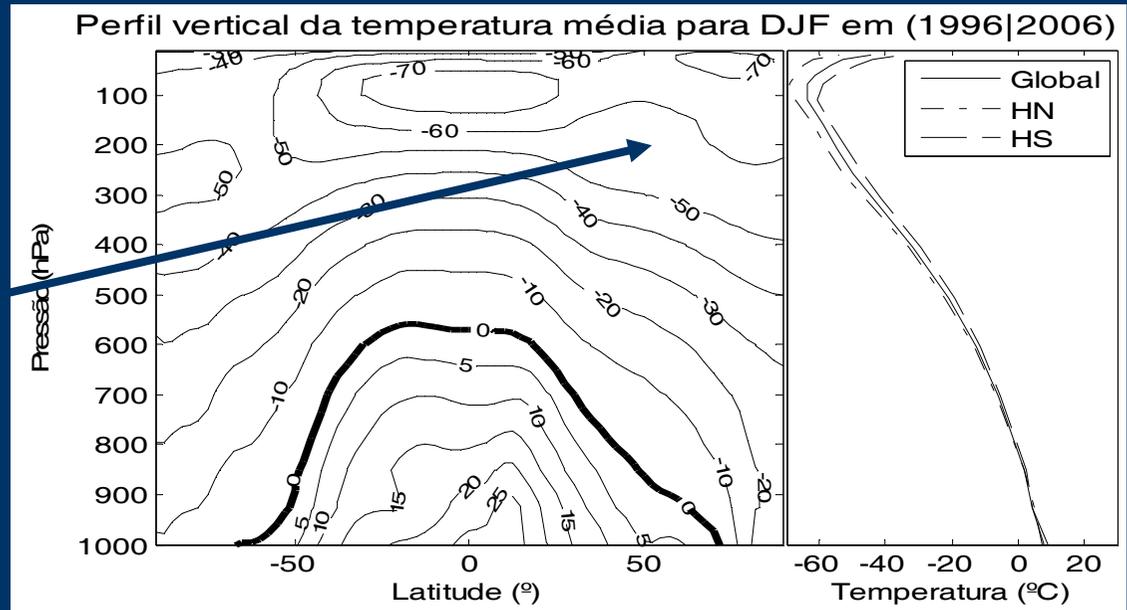


Figura 4: Média de 1996|2006

# Temperatura - Média Sazonal DJF:

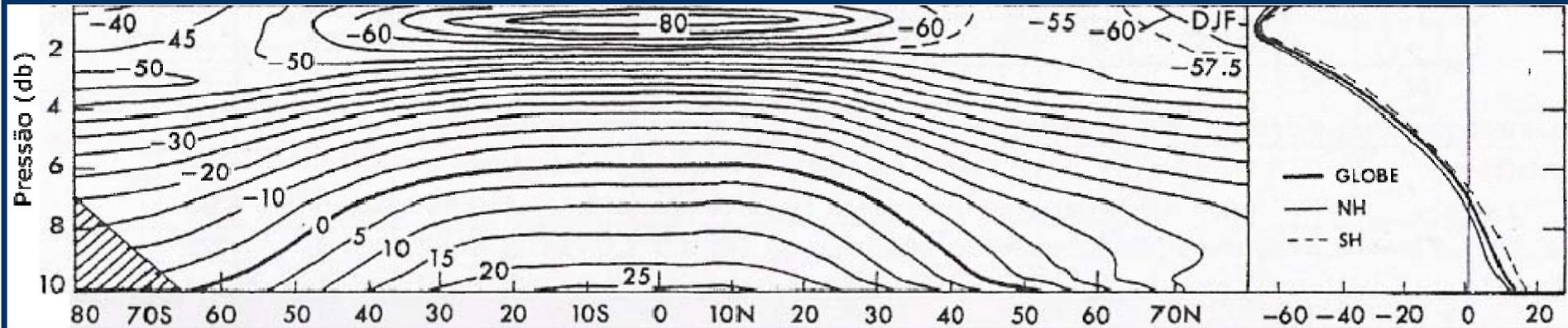


Figura 3: Peixoto & Oort

✘ As isotérmicas referentes à média 1996|2006 estão deslocadas (em relação ao período anterior) para Norte na baixa troposfera das latitudes baixas.

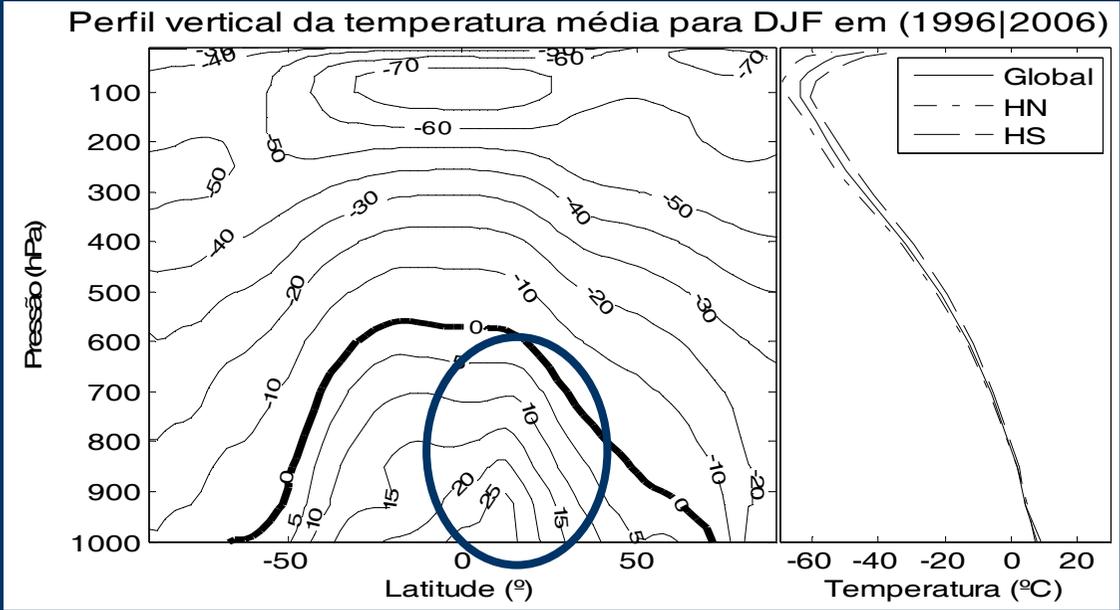


Figura 4: Média de 1996|2006

# Temperatura - Média Sazonal DJF:

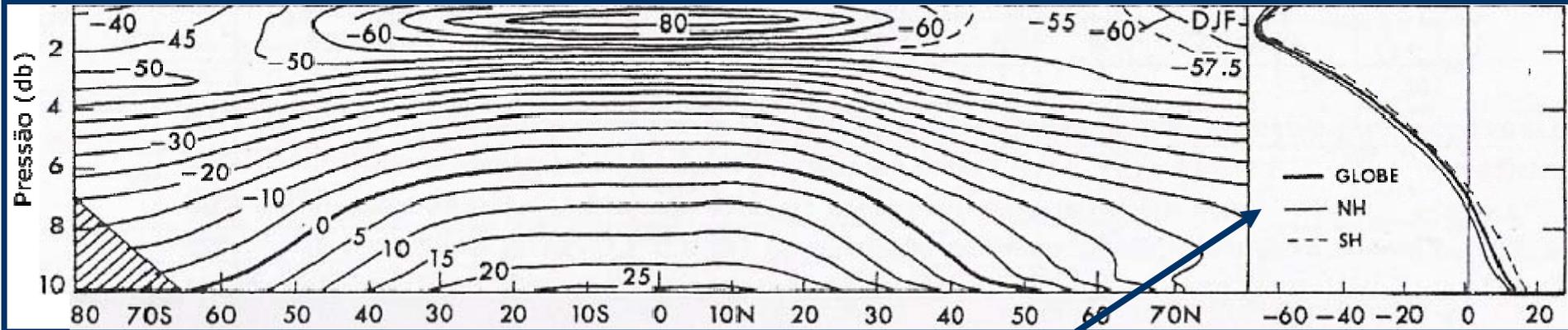


Figura 3: Peixoto & Oort

✘ Este facto pode ser devido ao deslocamento para Norte das isotérmicas.

✘ Comparando os perfis verticais Global e hemisféricos verifica-se que na tropopausa as curvas diferenciam-se para a média 1996|2006, o que não é visível no período anterior.

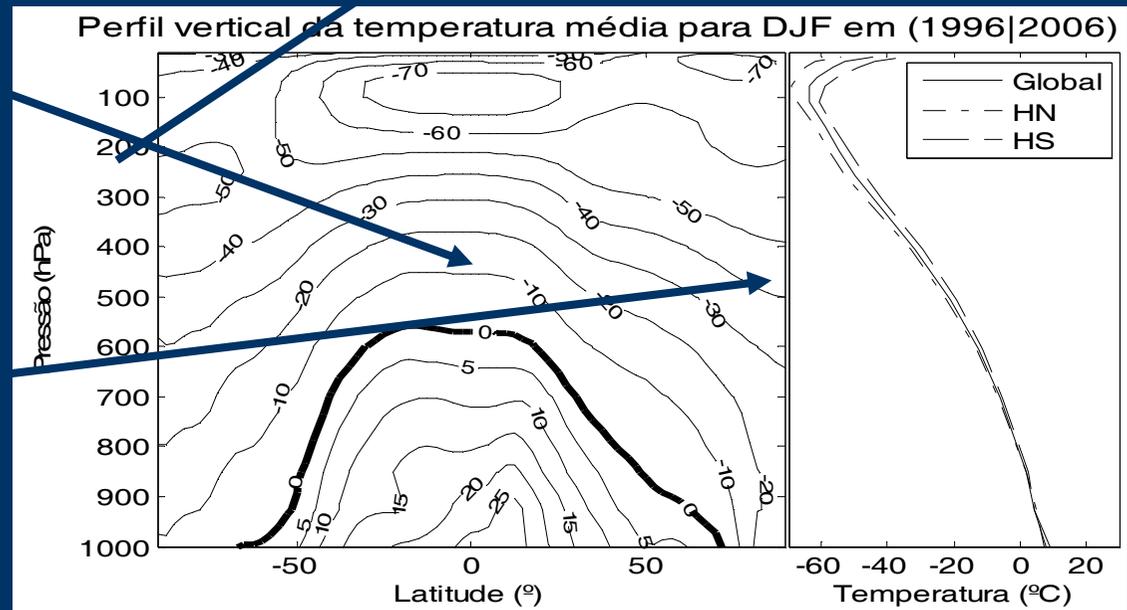


Figura 4: Média de 1996|2006

# Temperatura - Média Sazonal JJA:

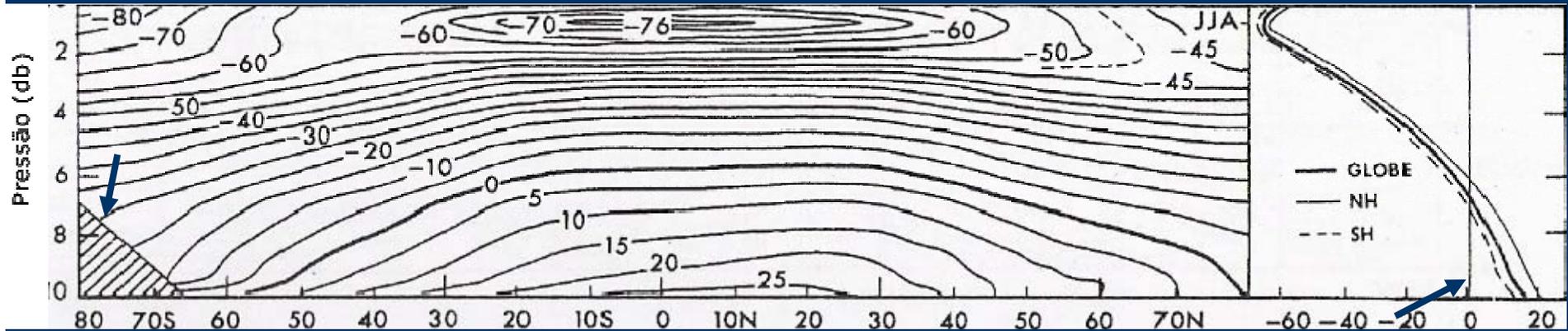


Figura 5: Peixoto & Oort

✘ No H.S. observa-se um decréscimo da temperatura à superfície. (comparação Peixoto com 1996|2006).

✘ Este decréscimo deve-se ao facto de, na figura 5 não estar representada uma parte do Pólo Sul, que contribui com temperaturas bastante negativas.

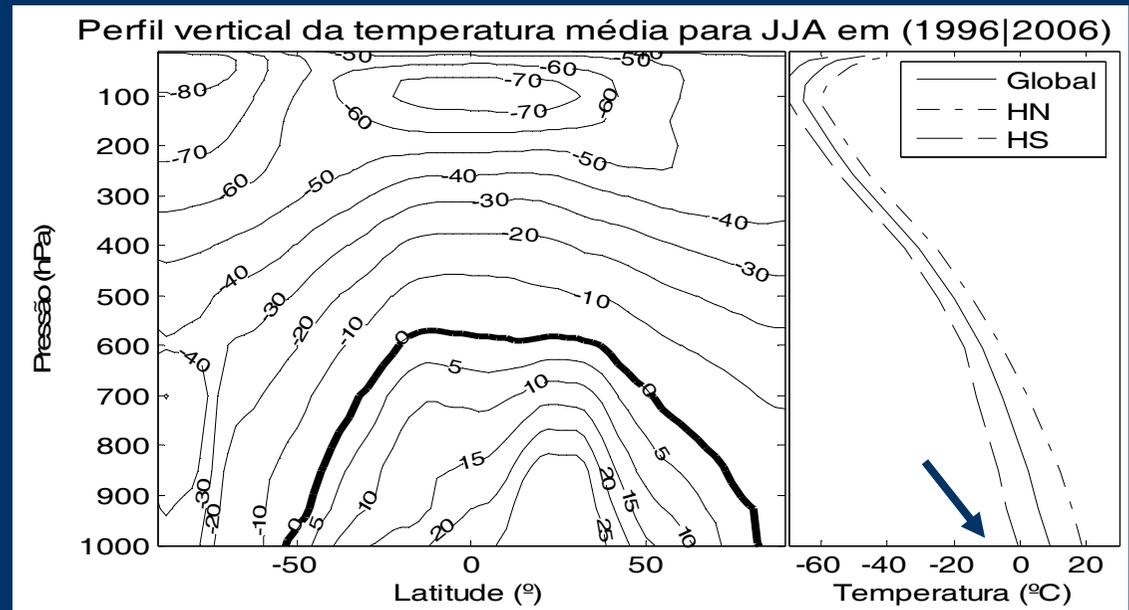


Figura 6: Média de 1996|2006

Temperatura - Média Sazonal JJA:

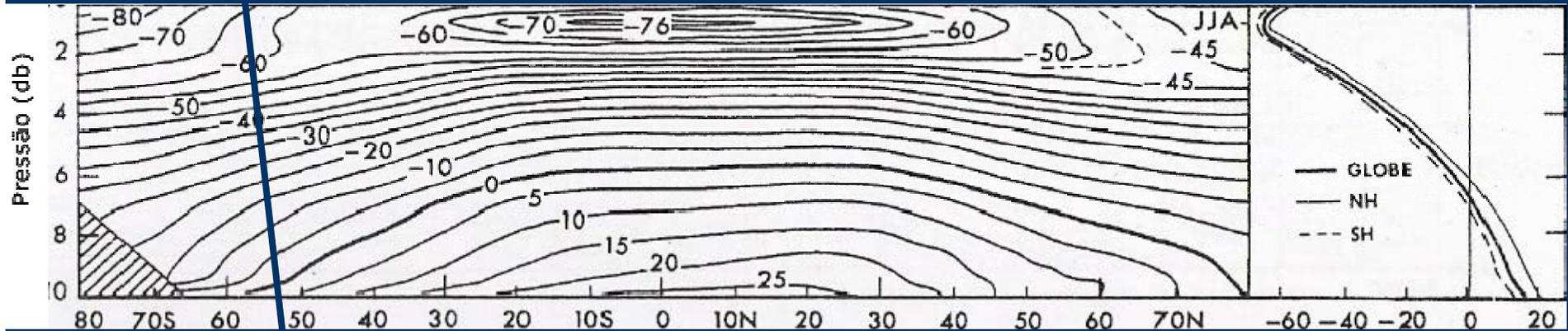


Figura 5. Peixoto & Oort

✘ As temperaturas muito baixas de Inverno que são observadas a 50mb no Hemisfério Sul estão associadas ao jacto polar nocturno.

Médias zonais da temperatura em °C para média de JJA e representação dos perfis verticais hemisféricos e globais

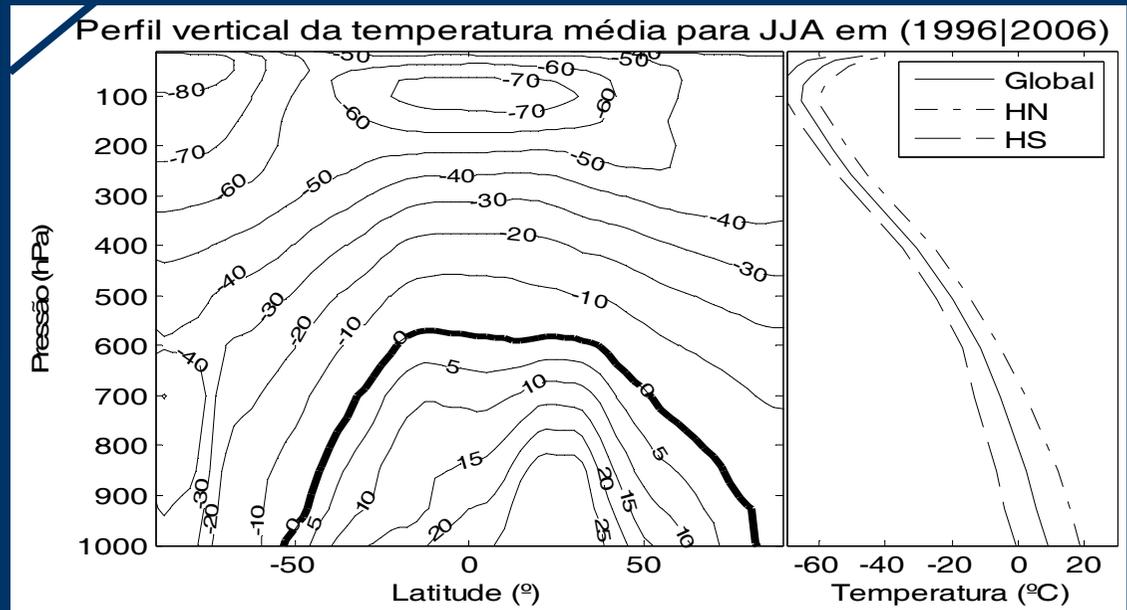


Figura 6: Média de 1996|2006

# Temperatura Potencial – Média Anual:

Dinâmica do Clima  
2006 | 2007

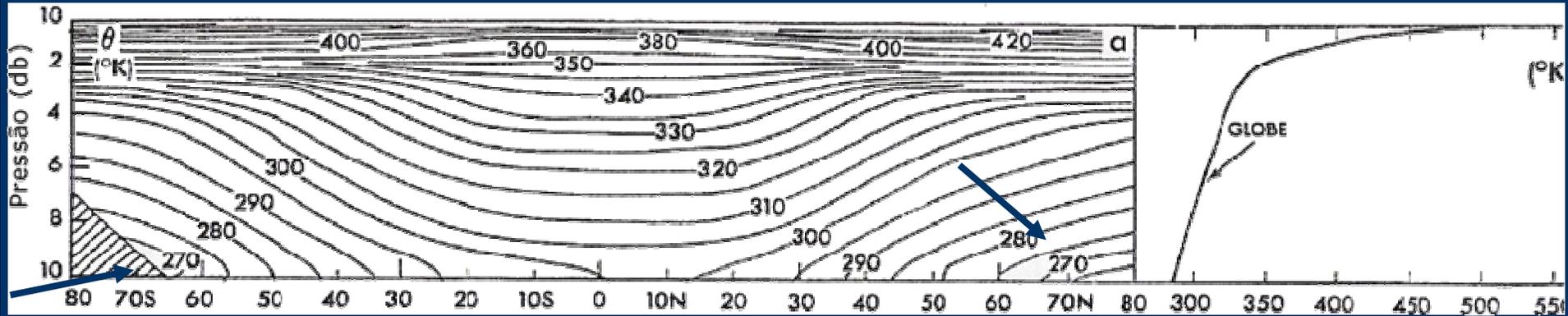


Figura 7: Peixoto & Oort

✘ Os valores mínimos de temperatura potencial são observados nas regiões polares, perto da superfície.

✘ A temperatura potencial aumenta com a altitude.

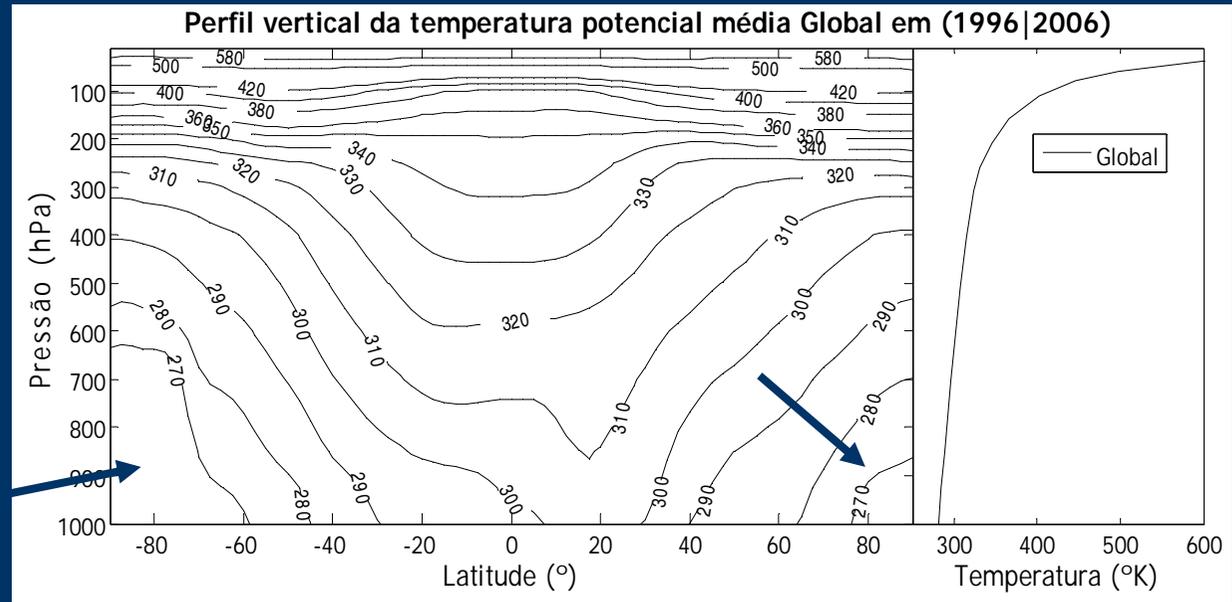


Figura 8: Média 1996 | 2006

# Temperatura Potencial – Média Anual:

Dinâmica do Clima  
2006 | 2007

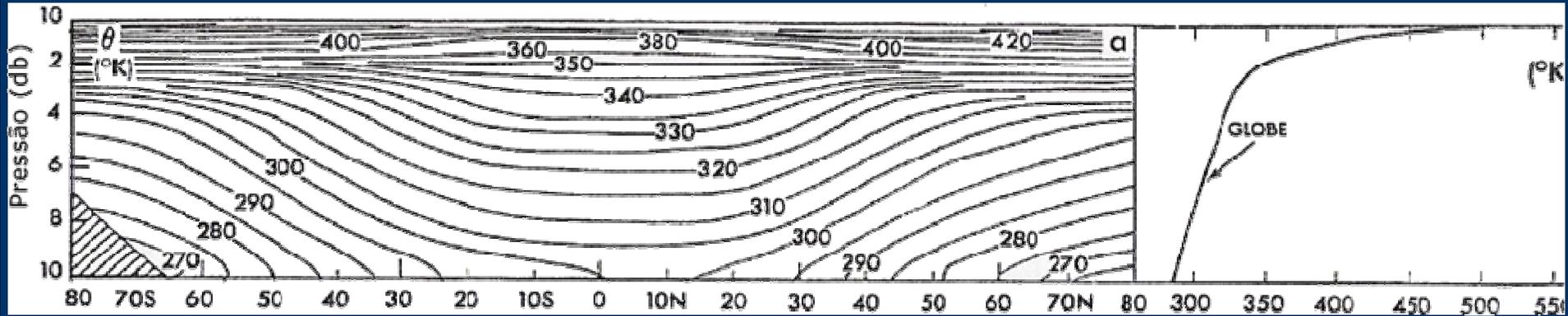


Figura 7: Peixoto & Ort

Média zonal da temperatura potencial em °K e perfis verticais

✘ Também se verifica um deslocamento das isolinhas para Norte.

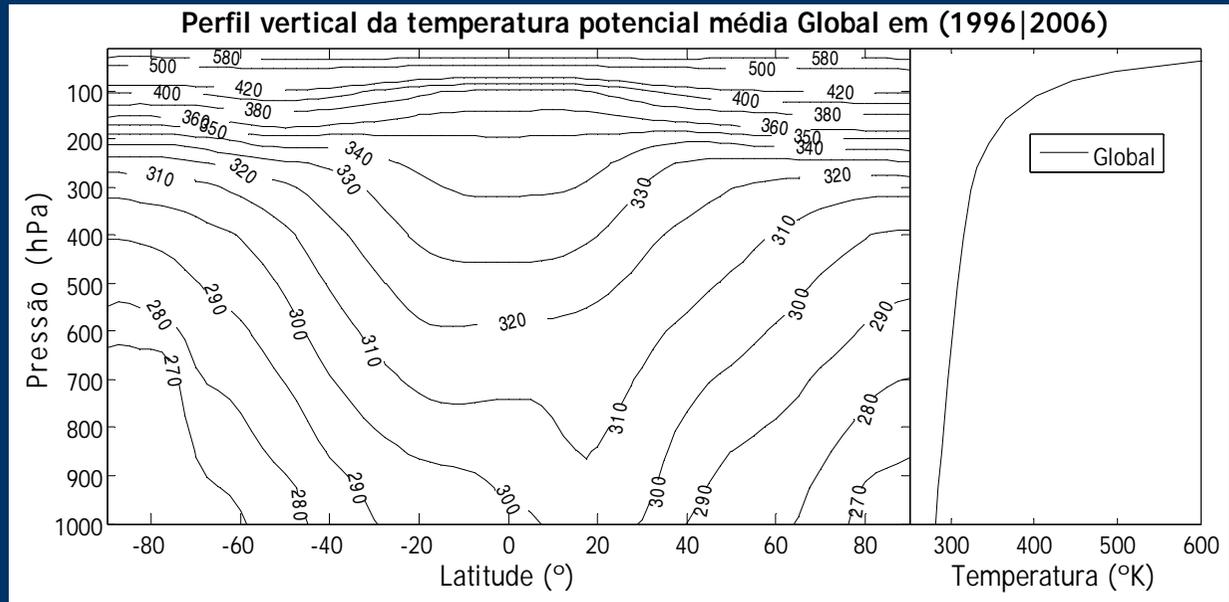


Figura 8: Média 1996 | 2006

# Temperatura Potencial – Média Anual:

Dinâmica do Clima  
2006 | 2007

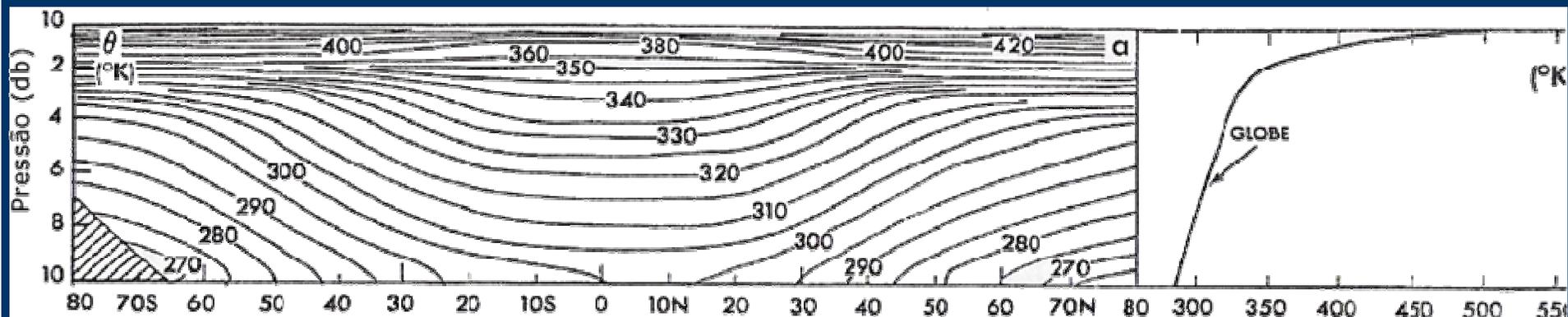


Figura 7: Peixoto & Oort

**×** Nas regiões intertropicais, o gradiente horizontal é claramente menor quando comparado com as regiões de latitudes médias e altas.

Média zonal da temperatura potencial em °K e perfis verticais

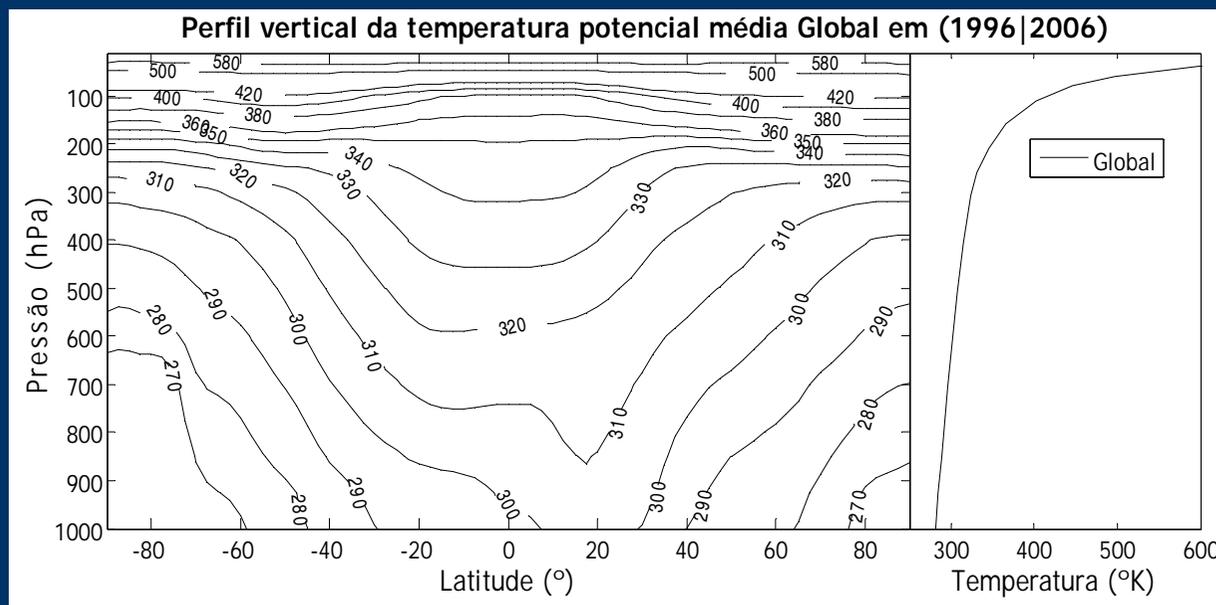


Figura 8: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial:

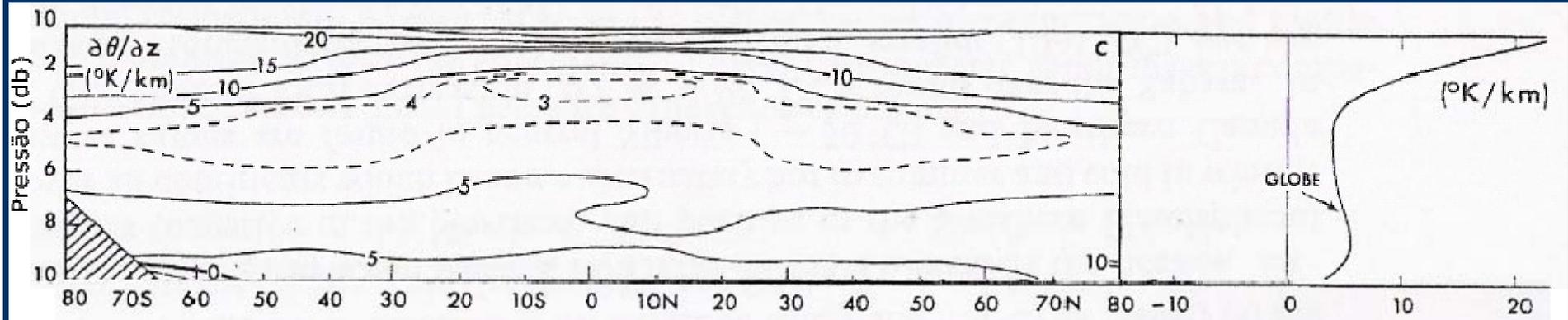


Figura 9: Peixoto & Oort

✘ A variação da temperatura potencial em altitude é sempre positiva, evidenciando a estabilidade da atmosfera

✘ No entanto, localmente esta pode tornar-se instável, podendo ocorrer convecção.

Perfil vertical da variação da temperatura potencial média Global em (1996|2006)

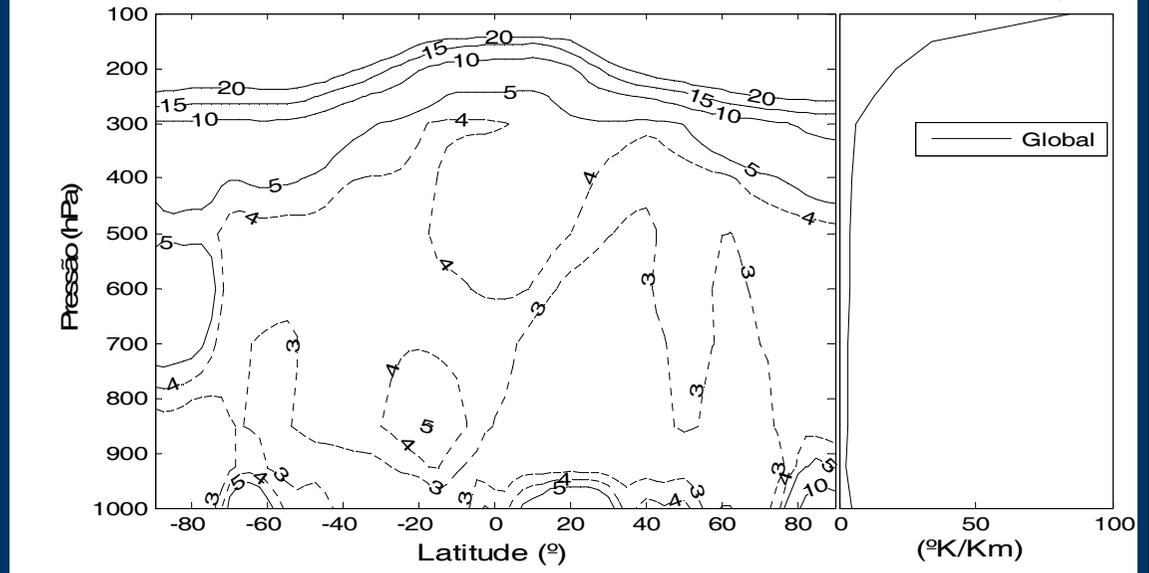


Figura 10: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial:

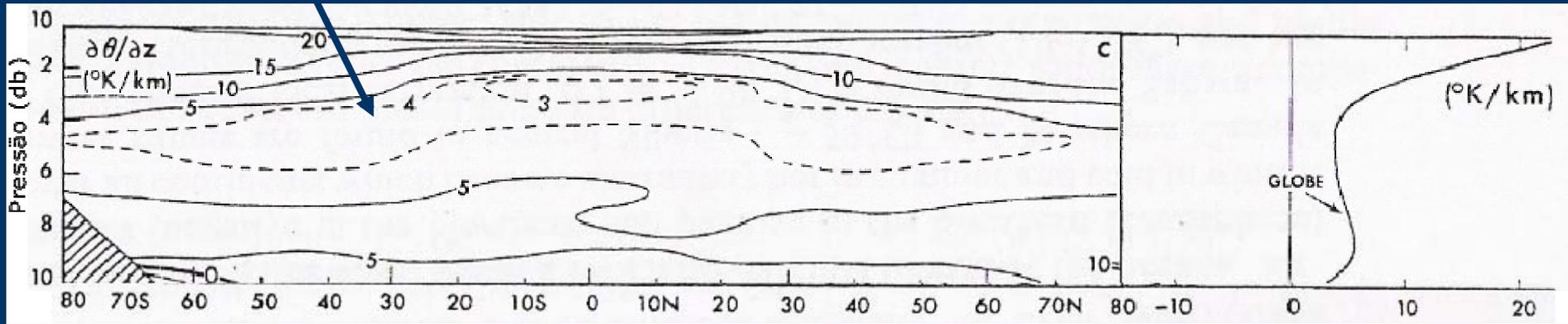


Figura 9: Peixoto & Oort

✘ Na figura 9 a isolinha 5°K/km estende-se desde a superfície até cerca de 700mb, o que não acontece na figura 10.

✘ Abaixo das isolinhas assinaladas a variação da temperatura potencial com a altitude, é sempre inferior a ou igual a 5°K/Km. Acima desta os gradientes são fortes para os dois casos.

Perfil vertical da variação da temperatura potencial média Global em (1996|2006)

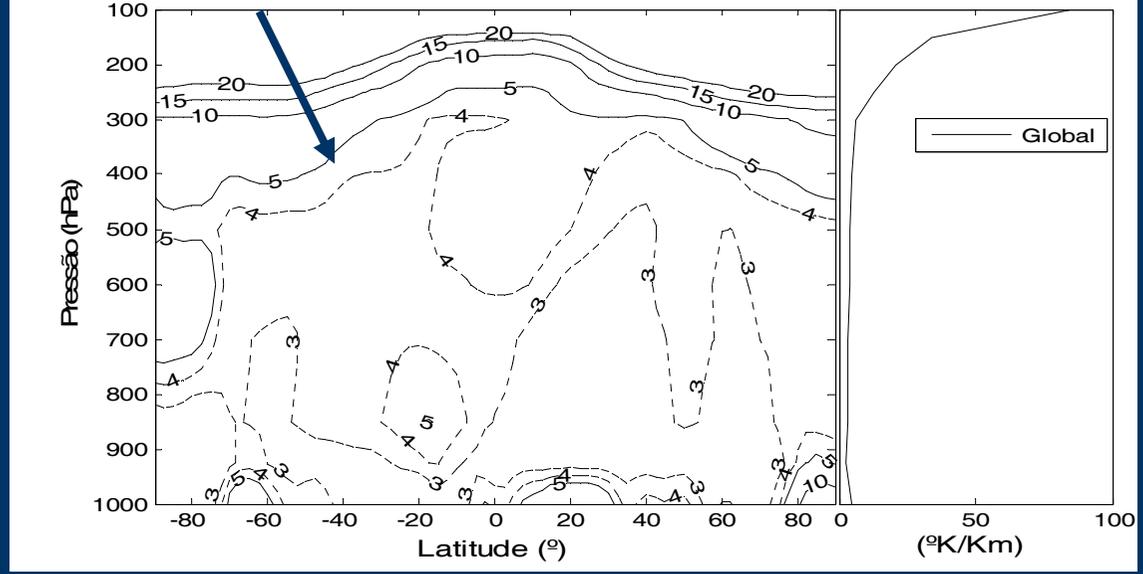


Figura 10: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial:

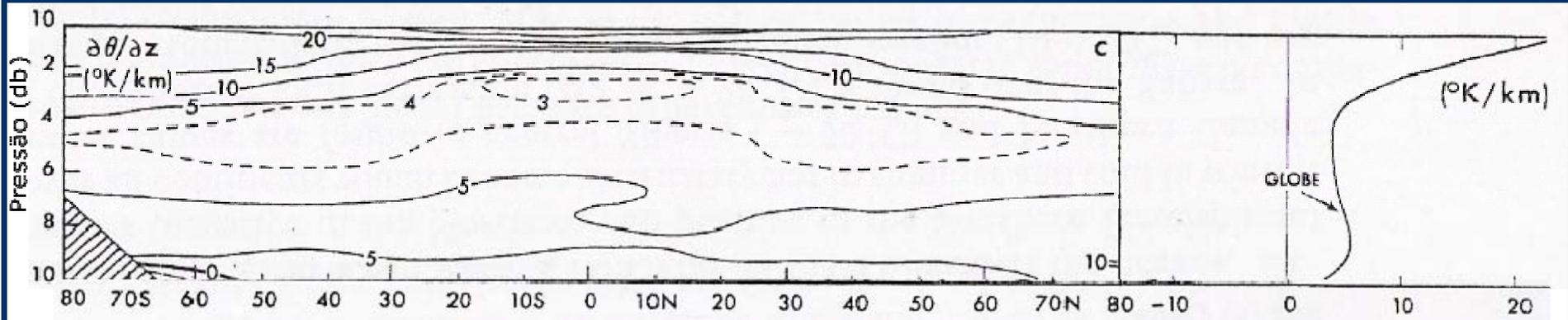


Figura 9: Peixoto & Oort

Gradiente vertical da temperatura potencial em °K/Km e perfil vertical Global.

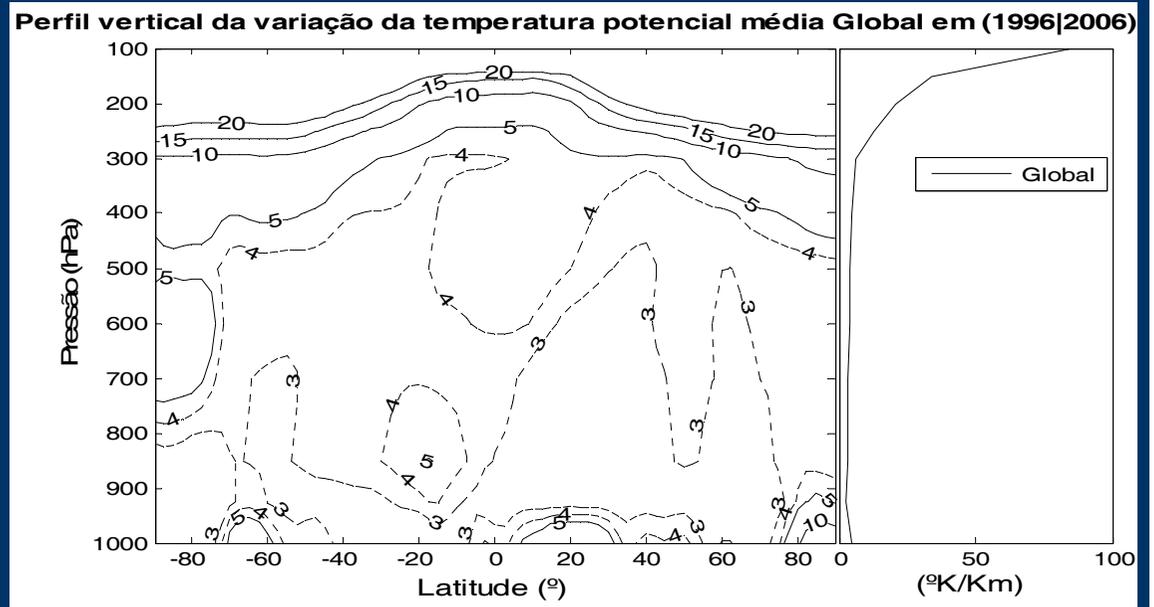


Figura 10: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial:

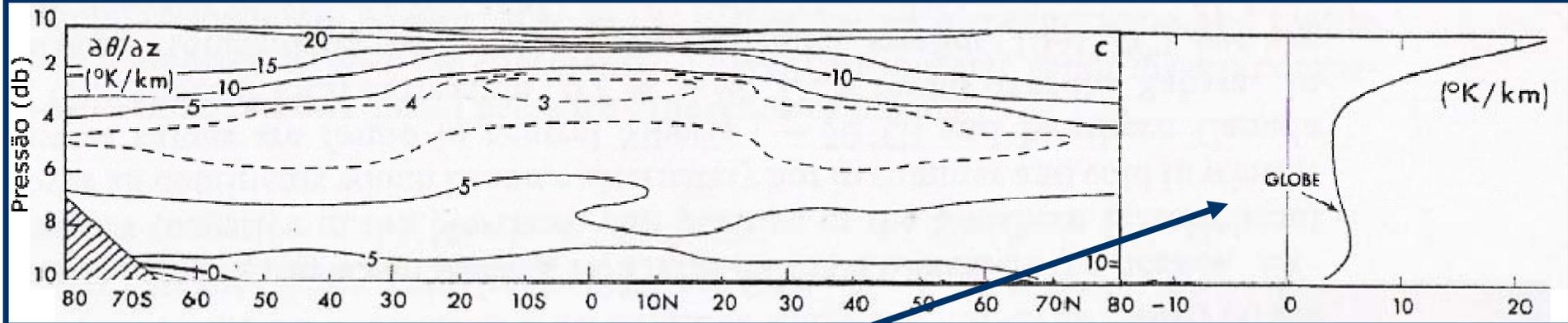


Figura 9: Peixoto & Oort

✘ Observando os perfis verticais globais notam-se algumas diferenças, principalmente na troposfera.

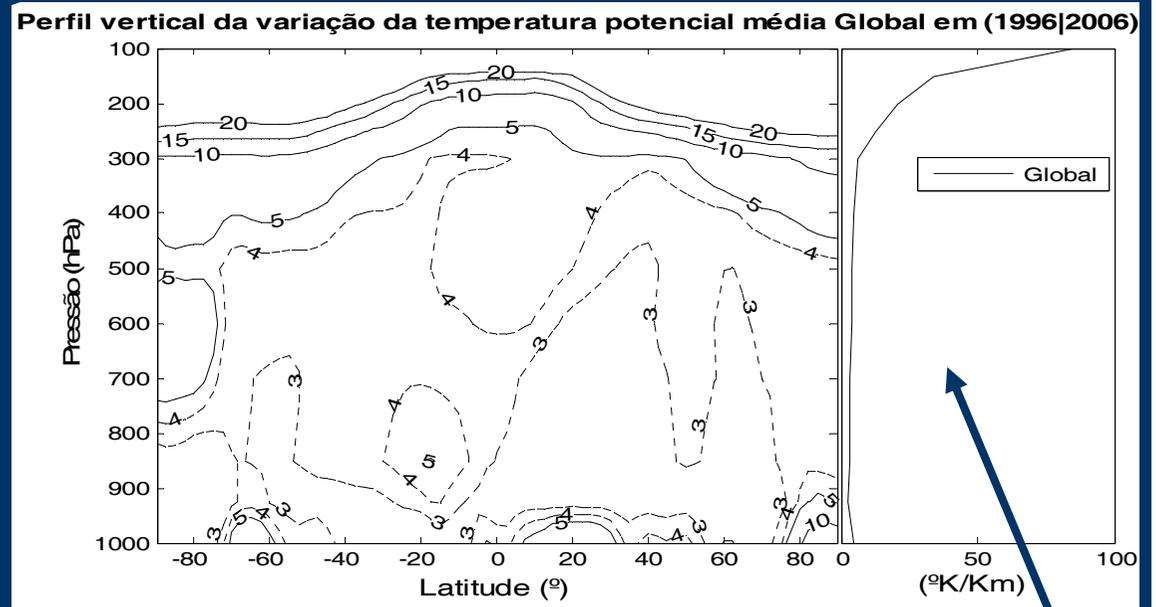


Figura 10: Média 1996 | 2006

Frequência de Brunt-Vaisala:

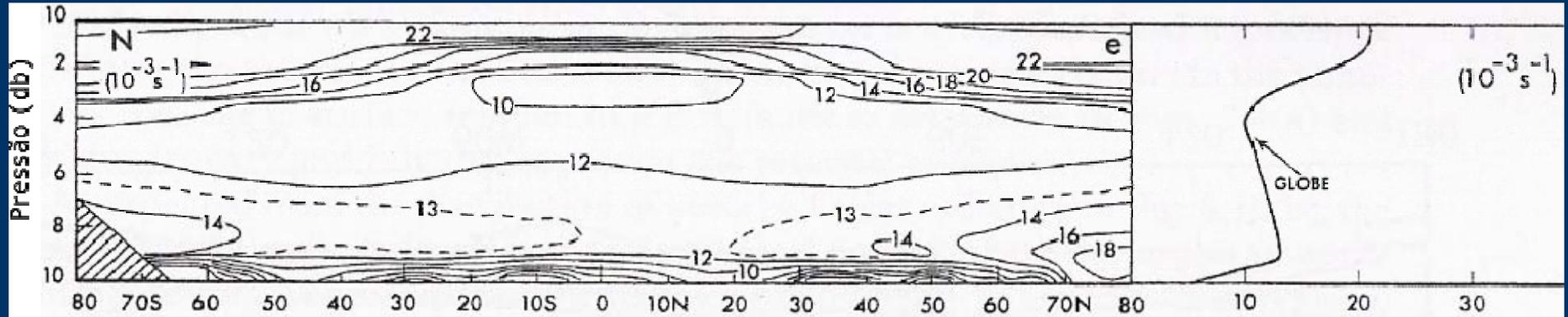


Figura 11: Peixoto & Oort

- ✘ Na troposfera,  $N$  varia de  $10 \times 10^{-3}$  rad/s à superfície para  $14 \times 10^{-3}$  rad/s ou mais nas latitudes altas no nível de 850mb.
- ✘ Na estratosfera a Frequência de Brunt Vaisala aumenta para valores maiores que  $20 \times 10^{-3}$  rad/s.

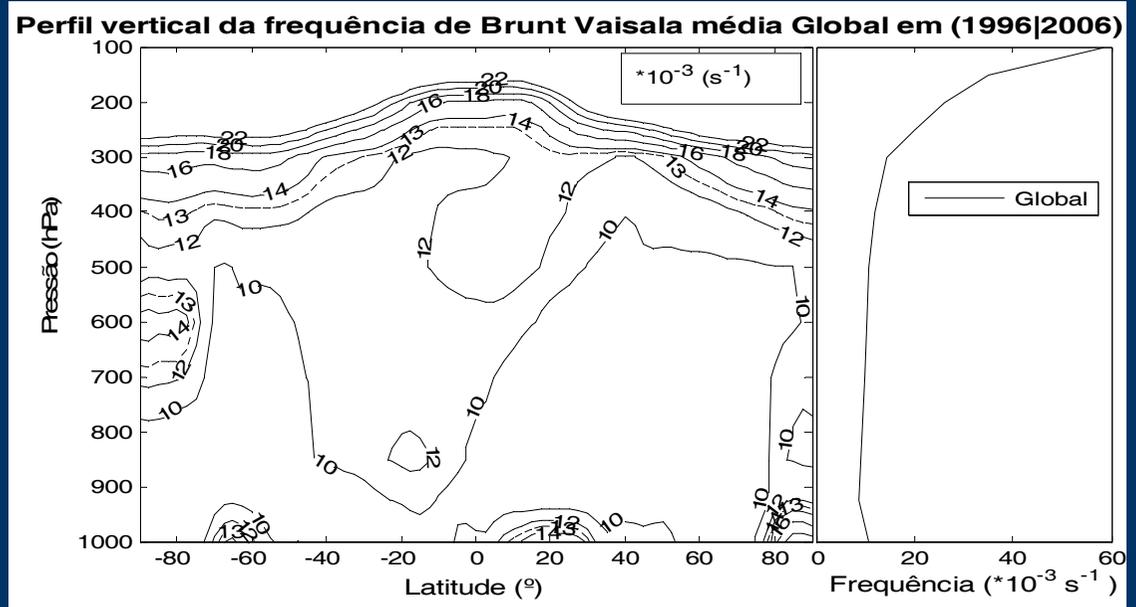
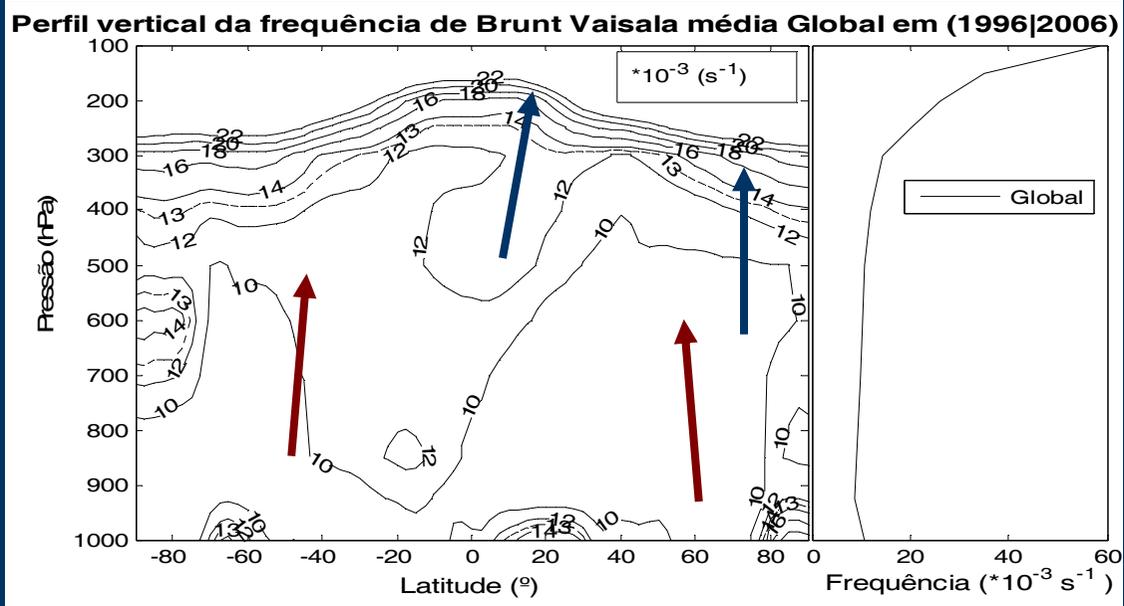


Figura 12: Média 1996 | 2006

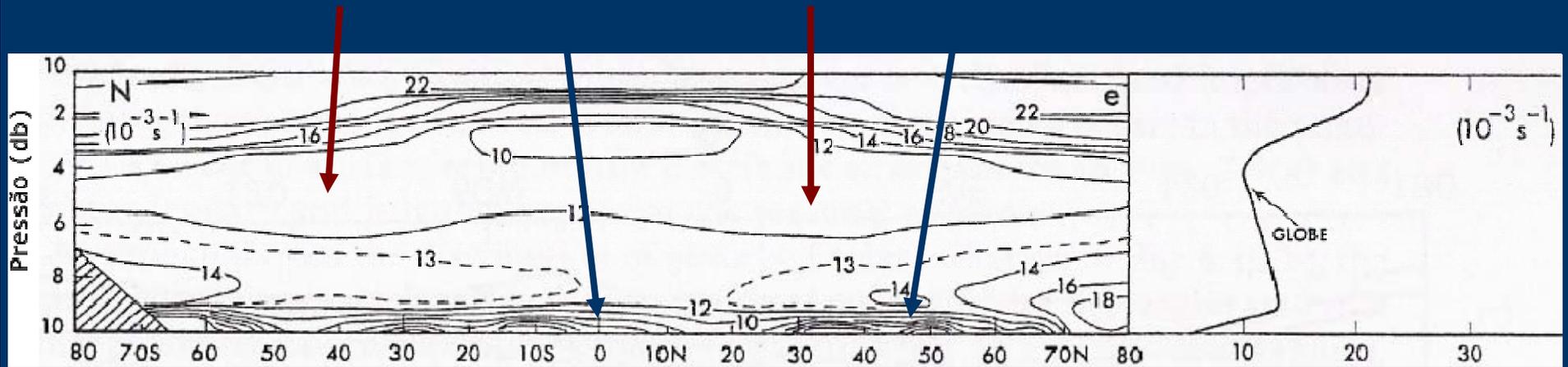


✘ Atmosfera muito estratificada

✘ Mais Estável

✘ Atmosfera pouco estratificada

✘ Menos Estável



# Temperatura Potencial Equivalente

## Média Anual:

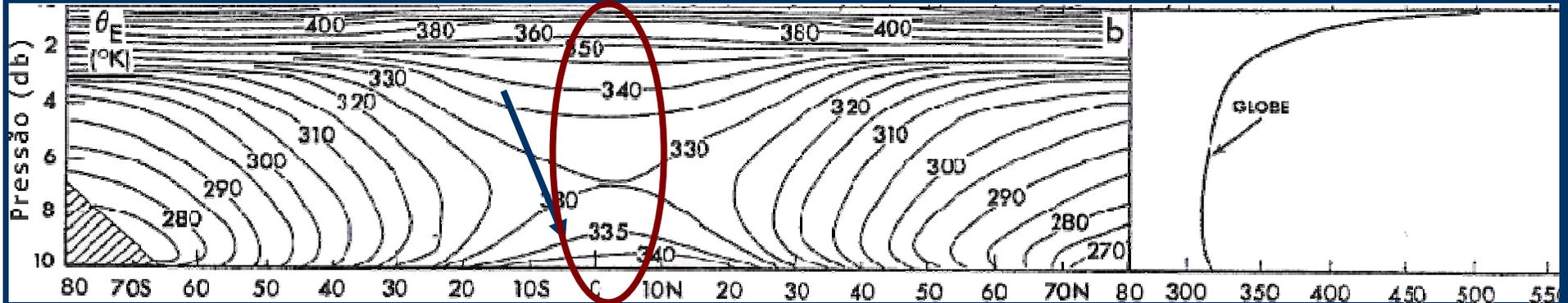


Figura 13: Peixoto & Oort

Através das figuras 13 e 14 verifica-se que os valores mais altos são observados nas regiões intertropicais com um perfil bimodal na vertical e que a distribuição meridional é quase simétrica com respeito ao equador.

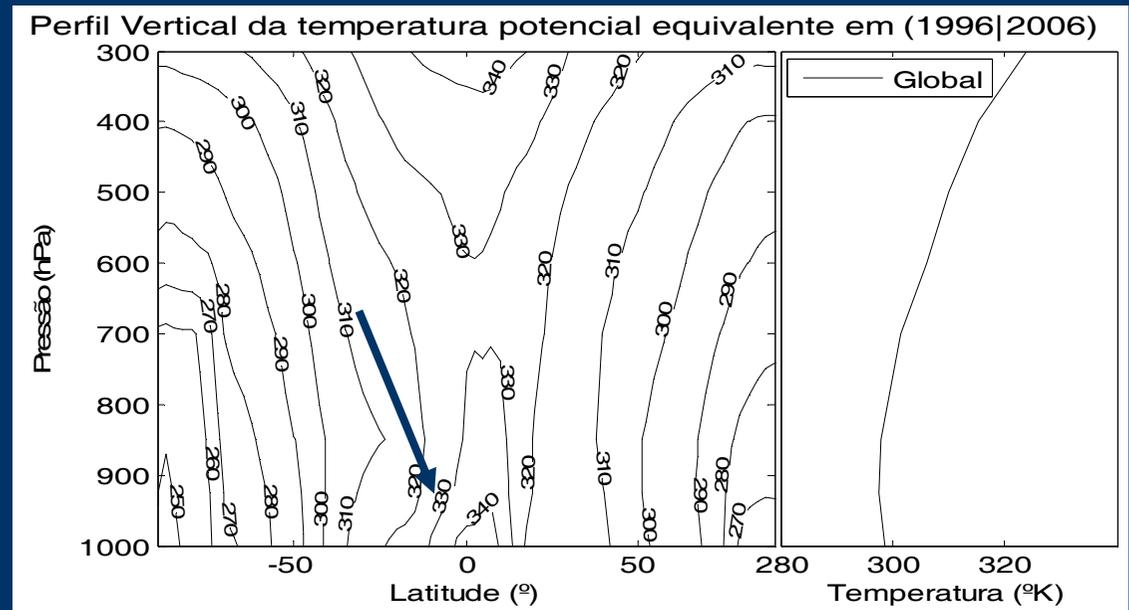


Figura 14: Média 1996 | 2006

# Temperatura Potencial Equivalente

## Média Anual:

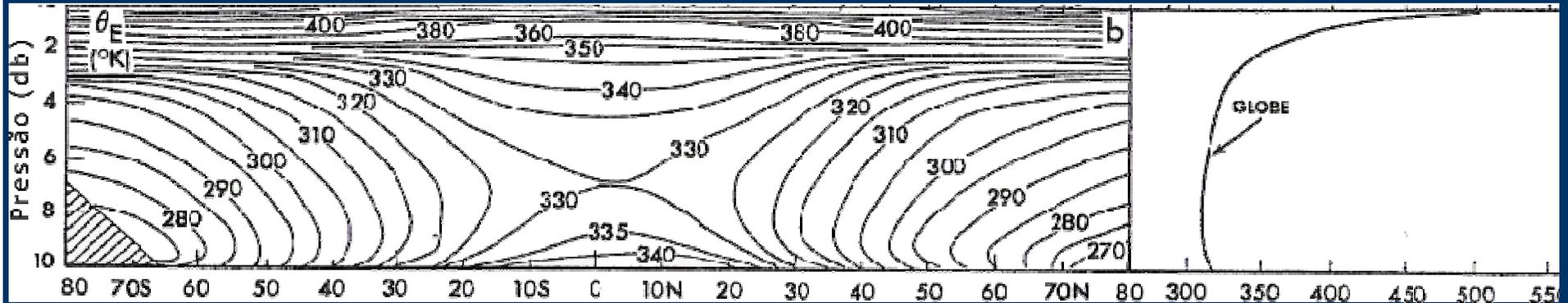


Figura 13: Peixoto & Oort

Média zonal da temperatura potencial equivalente em °K e perfil vertical Global.

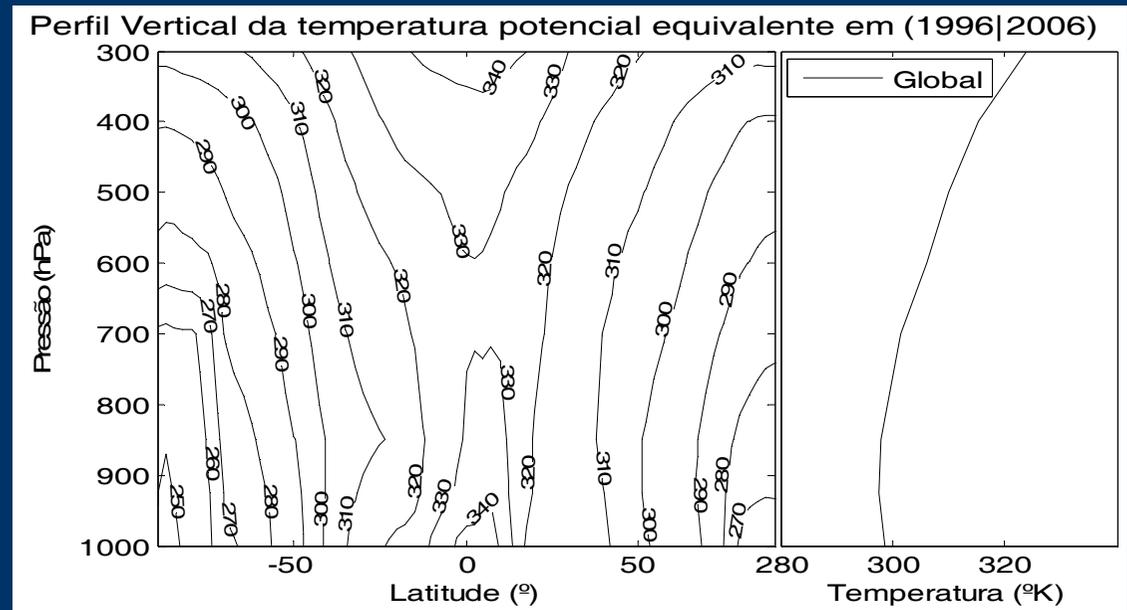
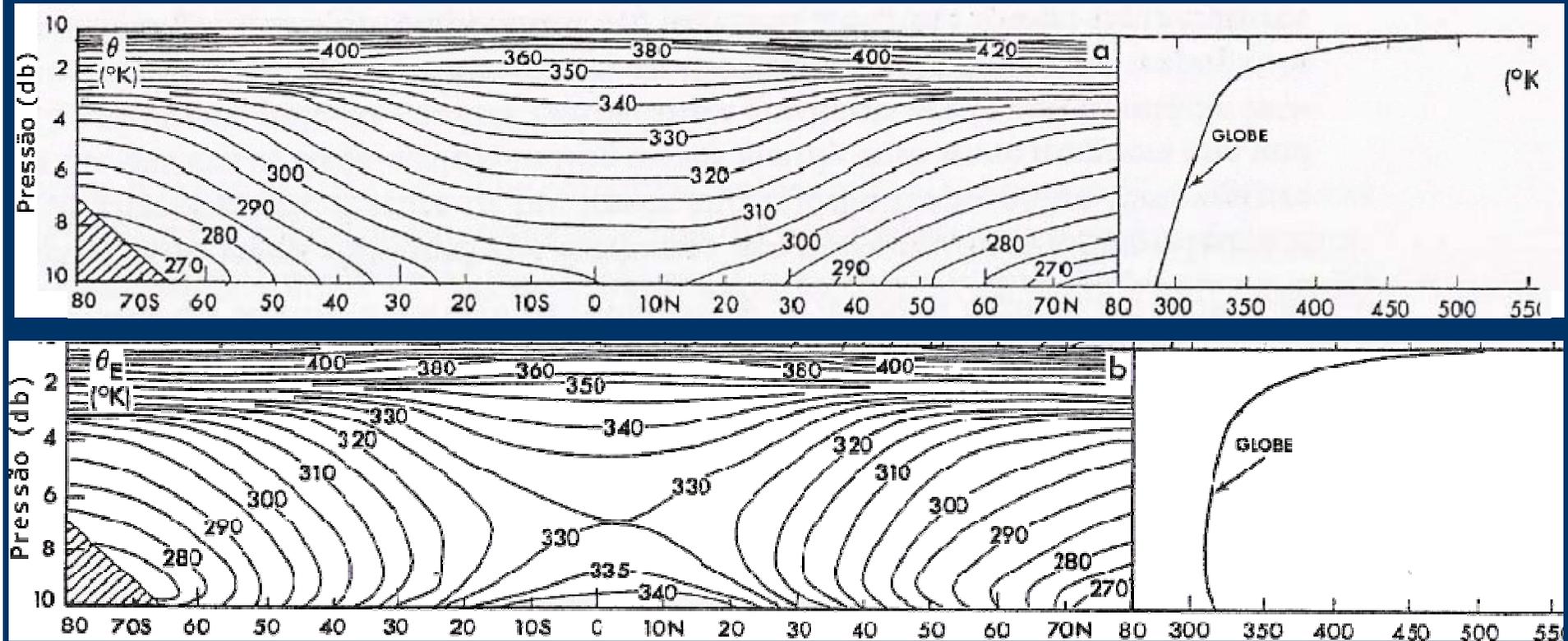
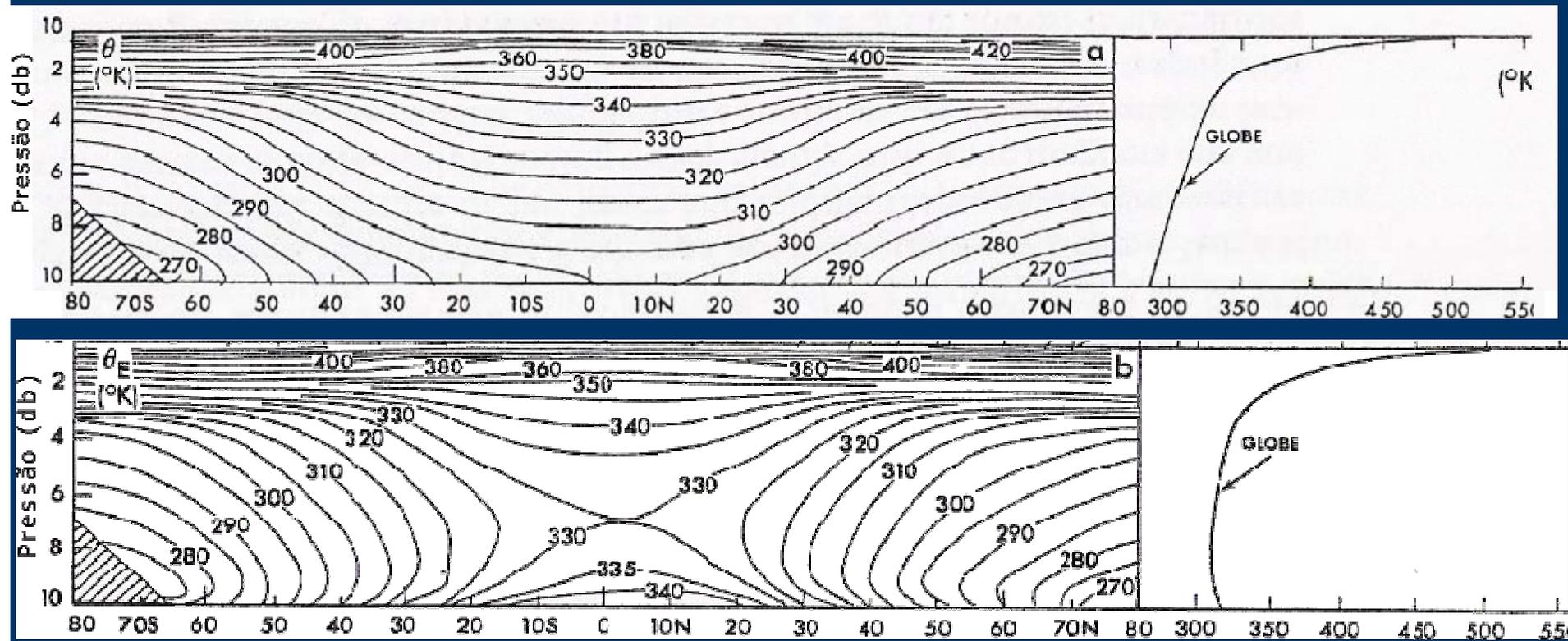


Figura 14: Média 1996 | 2006



✘ Na alta troposfera e estratosfera  $\theta$  e  $\theta_e$  são muito próximas porque há um forte decréscimo de vapor de água com a altitude e a  $q_s$  tende para zero.

✘ Os perfis verticais globais de  $\theta$  e  $\theta_e$  (no lado direito das figuras) são diferentes na troposfera, onde  $\theta_e$  tem valores substancialmente mais altos.



✘ O valor quase constante de  $\theta_e$  na troposfera confirma o conceito de que a temperatura potencial equivalente é uma propriedade conservativa com e sem precipitação proveniente de transformações pseudoadiabáticas, isto é, se toda a água condensada é precipitada.

✘ As principais diferenças entre  $\theta$  e  $\theta_e$  são encontradas nos trópicos na baixa e média troposfera, onde a umidade específica de saturação ( $q_s$ ) é maior.

## Gradiente da Temperatura Potencial Equivalente:

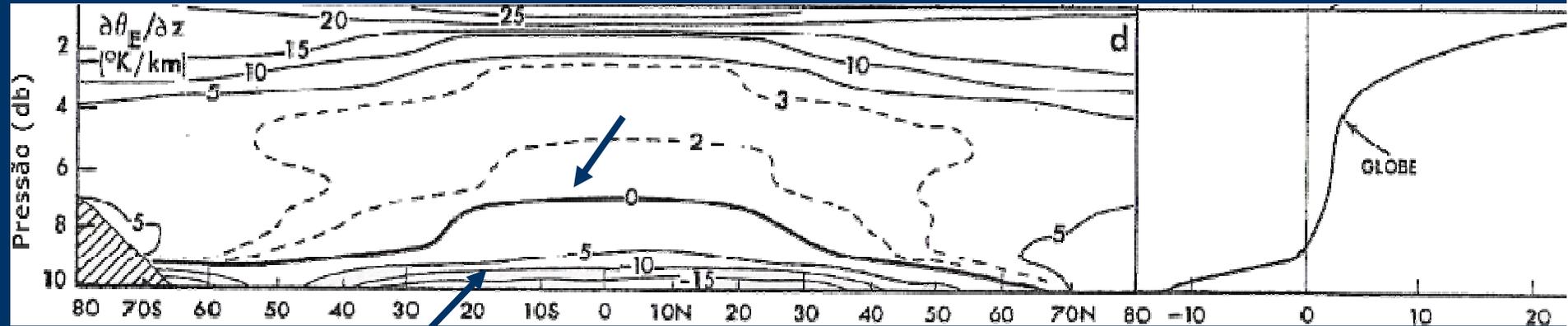


Figura 15: Peixoto & Oort

✘ Os valores de  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z}$  são negativos na baixa troposfera e nulos a cerca de 700mb nos trópicos, indicando forte instabilidade condicional.

✘ Isto mostra a importância da convecção profunda nos trópicos.

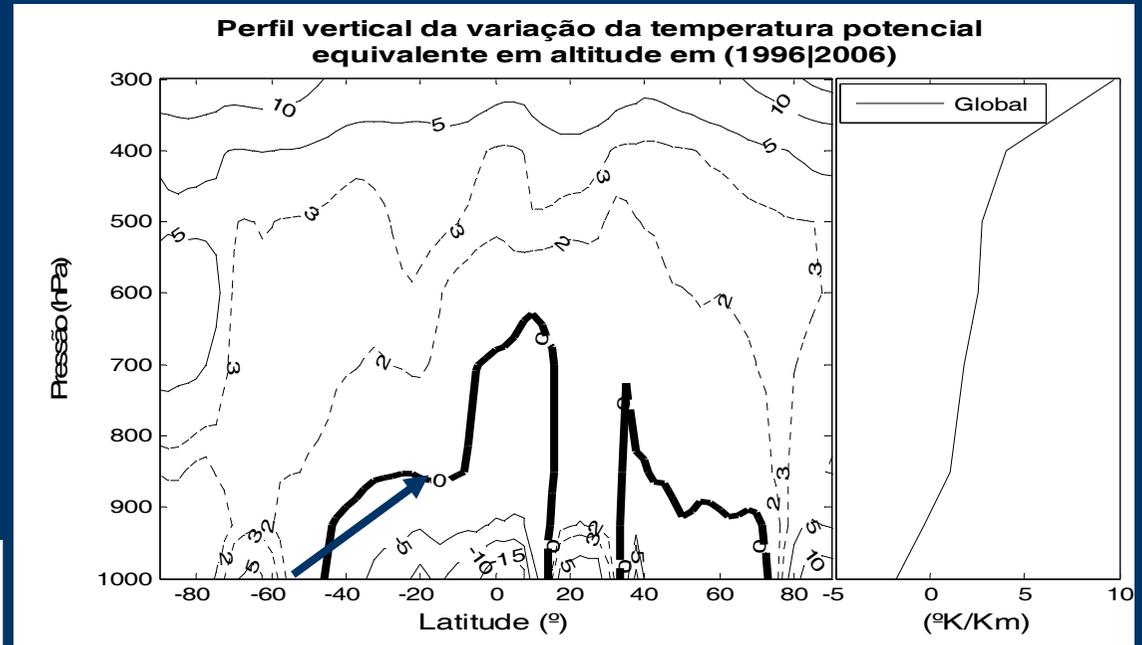


Figura 16: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial Equivalente:

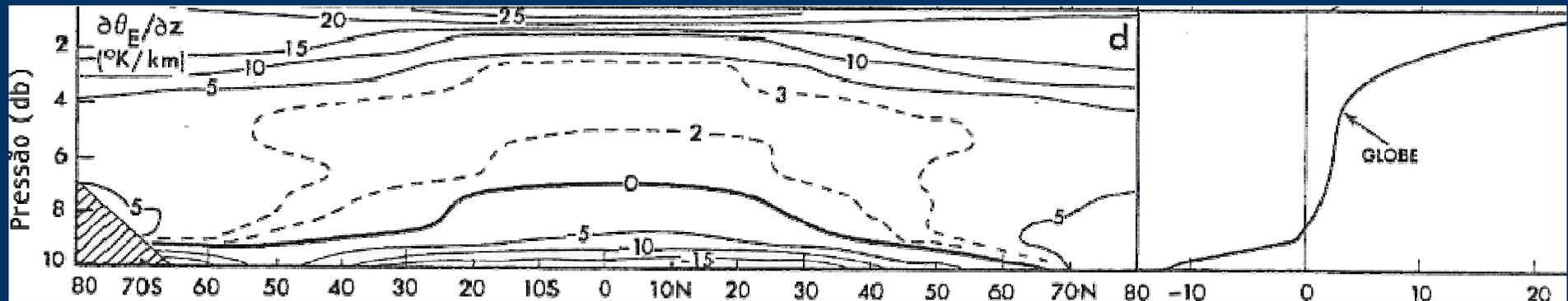


Figura 15: Peixoto & Oort

✘ O gradiente vertical de  $\theta_e$  é uma medida de instabilidade condicional.

✘  $\frac{\partial \theta_e}{\partial z}$  difere substancialmente de  $\frac{\partial \theta}{\partial z}$  para ar seco.

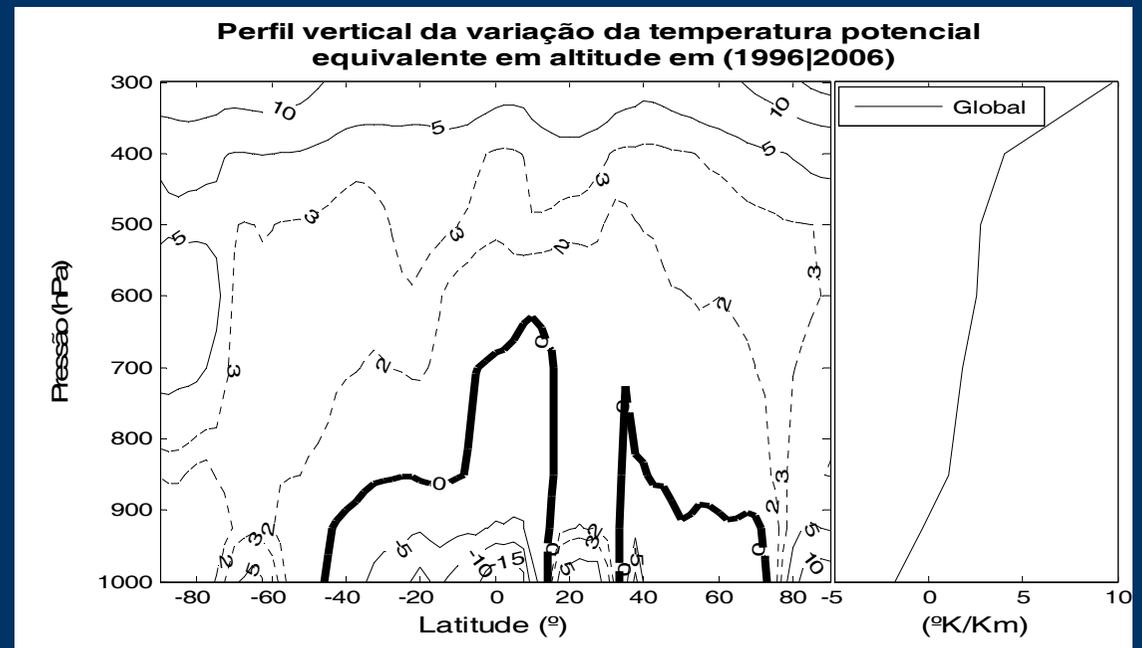


Figura 16: Média 1996 | 2006

## Gradiente da Temperatura Potencial Equivalente:

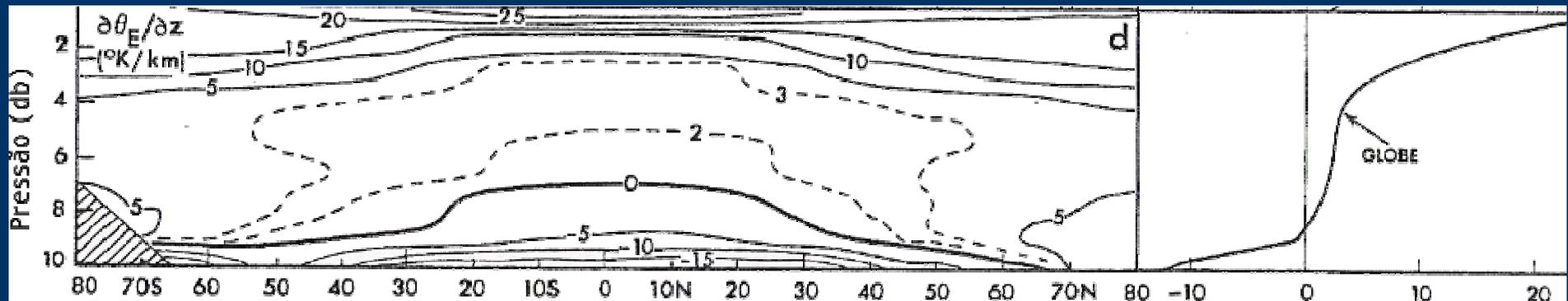


Figura 15: Peixoto & Oort

✘ A isolinha de 0°K/Km sofreu uma grande variação, entre os 20 e 30°N.

✘ Como não dispúnhamos de dados de humidade específica acima dos 300mb não foi possível representar todo o perfil vertical.

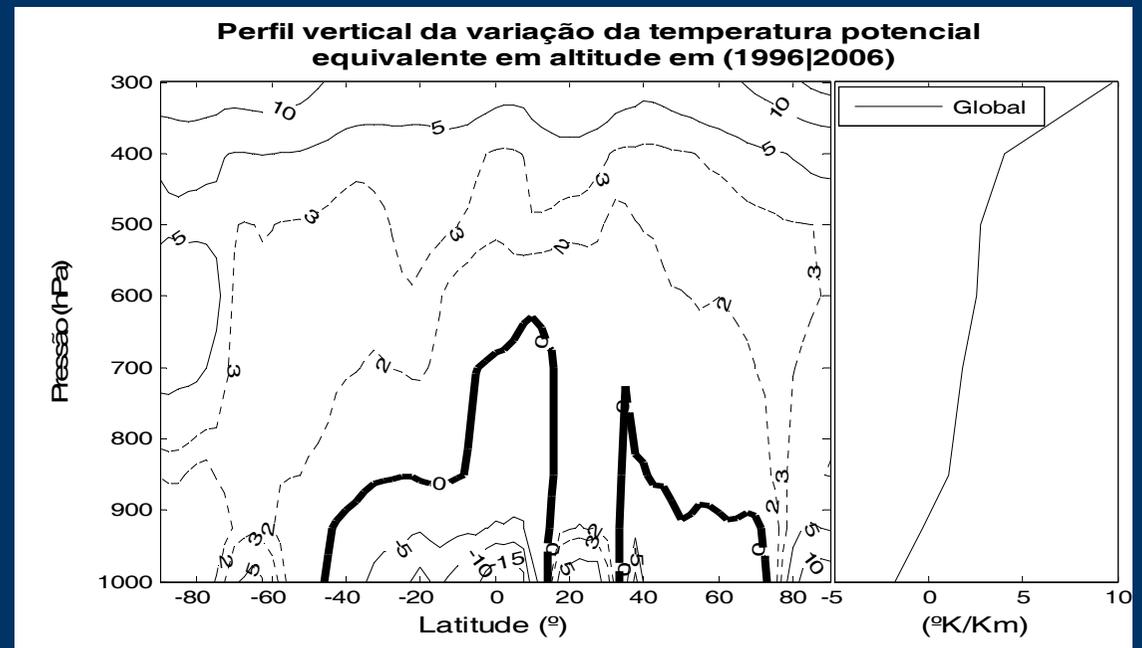


Figura 16: Média 1996 | 2006

# Gradiente da Temperatura Potencial Equivalente:

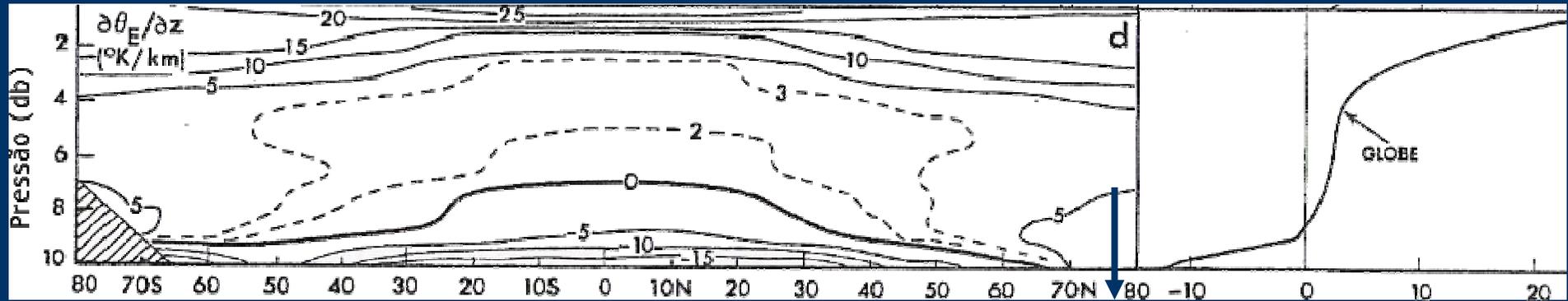


Figura 15: Peixoto & Oort

✘ O perfil global para a média 1996|2006 não tem valores tão baixos.

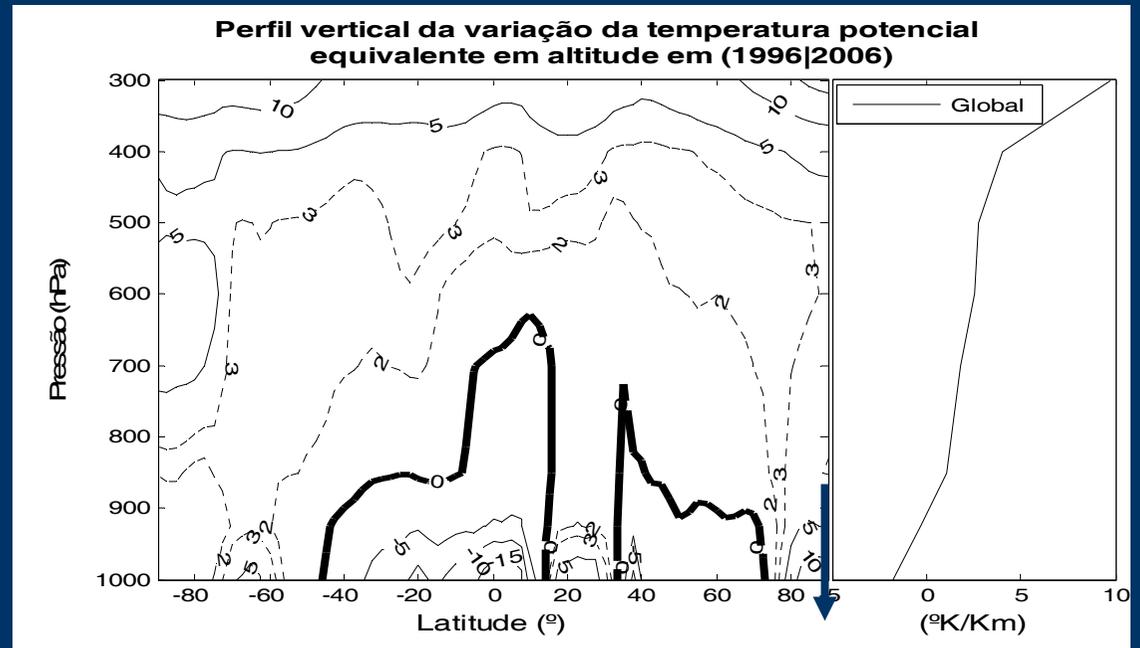


Figura 16: Média 1996|2006

# Conclusão:

Dinâmica do Clima  
2006 | 2007

- ✘ As isotérmicas deslocam-se para Norte.
- ✘ O Equador Meteorológico não coincide com o Equador geográfico.
- ✘ A temperatura à superfície no H.N. é maior do que a do H.S. quando sujeitos à mesma radiação solar.
- ✘ Gradientes de temperatura pólo-equador nas latitudes média são mais intensos no Inverno.
- ✘ As isolinhas de temperatura potencial também se deslocam para Norte.

# Conclusão:

Dinâmica do Clima  
2006 | 2007

- ✘ Devido ao gradiente de temperatura potencial ser positivo, assim como a frequência de Brunt-Vaisala, conclui-se que, em média, a atmosfera é estável (localmente pode haver instabilidade).
- ✘ As principais diferenças entre a temperatura potencial e potencial equivalente são encontradas nos trópicos na baixa e média troposfera, onde a umidade específica de saturação é maior.