

OBS: Os exercícios abaixo foram questões de provas em anos passados.

1. No artigo de Phillips, 1966 "The equations of motion for a shallow rotating atmosphere and the traditional approximation" Journal of Atmospheric Sciences, 23, 5, pp.626-627 são apresentados dois conjuntos de equações:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= F_\lambda + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right) (v \sin \varphi - w \cos \varphi) \\ \frac{dv}{dt} &= F_\varphi - \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right) u \sin \varphi - \frac{wv}{r} \\ \frac{dw}{dt} &= F_r - g + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right) u \cos \varphi + \frac{v^2}{r} \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{du'}{dt} &= F_\lambda + \left(2\Omega + \frac{u'}{a \cos \varphi}\right) (v' \sin \varphi - w' \cos \varphi) \\ \frac{dv'}{dt} &= F_\varphi - \left(2\Omega + \frac{u'}{a \cos \varphi}\right) u' \sin \varphi - \frac{w'v'}{a} \\ \frac{dw'}{dt} &= F_r - g + \left(2\Omega + \frac{u'}{a \cos \varphi}\right) u' \cos \varphi + \frac{v'^2}{a} \end{aligned} \right\} (2')$$

Qual a diferença entre esses dois conjuntos de equações? Discuta a consistência da aproximação feita e quais as consequências.

2. Dadas as equações:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} - \frac{uv \tan \varphi}{a_T} + \frac{uw}{a_T} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin \varphi + F_{atx} \\ \frac{dv}{dt} + \frac{u^2 \tan \varphi}{a_T} + \frac{vw}{a_T} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin \varphi + F_{aty} \\ \frac{dw}{dt} - \frac{u^2 + v^2}{a_T} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_{atz} \end{aligned}$$

- A) Calcule a equação para a derivada total da energia cinética por unidade de massa  $k = \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$ ; o que acontece quando o vento é geostrófico?
- B) Discuta em que condições é possível fazer a aproximação do vento geostrófico
- C) Discuta em que condições é possível fazer a aproximação hidrostática
3. Explique a existência de correntes de jato de oeste em altitude nos dois hemisférios terrestres com base em equações que descrevem **aproximadamente** os movimentos atmosféricos.
4. Numa determinada localidade em 30 °S, o gradiente horizontal de temperatura numa camada entre 1000 e 900 hPa é de 5 °C/100 km apontando para nordeste. Responda as questões abaixo justificando conceitualmente suas respostas.
- Sabendo que o vento geostrófico em 1000 hPa é de 10 m.s<sup>-1</sup> soprando de sudoeste calcule o vento geostrófico em 900 hPa.
  - Qual a advecção horizontal de temperatura na camada de 1000 a 900 hPa.
  - Sabendo que a taxa de variação vertical de temperatura nessa camada é de  $\frac{\partial T}{\partial p} = 6^\circ\text{C}/100 \text{ hPa}$ , qual a velocidade vertical que neutralizaria a advecção horizontal de temperatura calculada em (b).

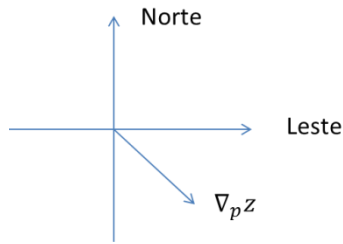
- d. Qual a variação de temperatura nessa camada esperada após 24 horas de advecção de temperatura conforme calculada em (b)?

5. Suponha que uma parcela de ar está sujeita a apenas a força de Coriolis de forma que

$$\frac{du}{dt} = f \frac{dy}{dt} \quad e \quad \frac{dv}{dt} = -f \frac{dx}{dt}$$

Supondo que  $f = 2\Omega \sin\phi$  é constante, e lembrando que Coriolis só pode mudar a direção e não a velocidade do vento, determine a trajetória  $(x,y)$  dessa parcela de ar, assim como o período associado a trajetória encontrada. Qual o valor desse período para diferentes latitudes?

6. Uma parcela de ar está inicialmente em repouso no plano  $xy$ . Se o gradiente horizontal de pressão é de 5 hPa/100 km apontando para sudeste, qual seria o vetor velocidade após 6 hrs de atuação de apenas a força devida ao gradiente de pressão? Suponha que a densidade do ar é de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .
7. Sabendo que o vento geostrófico é de sudeste em 900 hPa com 5 m/s, de nordeste em 700 hPa com 10 m/s e de noroeste em 500 hPa com 20 m/s,
- determine a advecção de temperatura em cada camada.
  - Se essa advecção de temperatura persistisse por 24 horas, qual seria a variação de temperatura em cada camada.
  - Na camada de 900 a 700 hPa, sabe-se que o balanço de radiação leva a um resfriamento radiativo de  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{dia}$ , e que a variação local de temperatura medida por radiossondagens é nula. Como é possível que a temperatura não varie nessa camada? Qual fenômeno neutraliza a variação de temperatura nesse caso?
8. Suponha que uma coluna de ar em  $25 \text{ }^\circ\text{S}$  está inicialmente isotérmica desde 900 hPa até 500 hPa. Em 900 hPa o vetor gradiente de altura geopotencial aponta para sudeste conforme a figura abaixo e tem módulo de  $5\text{m}/100\text{km}$ . Em 700 hPa o gradiente de altura geopotencial é de  $10\text{m}/100 \text{ km}$  mas aponta para nordeste e em 500 hPa o gradiente de altura geopotencial é de  $15\text{m}/100\text{km}$  e aponta para noroeste.



- Calcule o vento geostrófico em 900, 700 e 500 hPa e desenhe a hodógrafa do vento.
- Com base na figura da hodógrafa do vento, **deduza** a direção do gradiente de temperatura em cada uma das camadas de 900 a 700 hPa e de 700 a 500 hPa, e também qual o sinal da advecção de temperatura em cada uma dessas camadas.
- Calcule a advecção de temperatura em cada camada.
- Faça uma avaliação** de qual seria o sinal da variação vertical de temperatura desde 800 até 600 hPa devida à advecção de temperatura determinada em b).
- Deduza** com base na equação da termodinâmica qual seria o sinal da velocidade vertical que poderia neutralizar a variação de temperatura provocada pela advecção horizontal de temperatura.

9. Dadas as seguintes equações:

$$\frac{du}{dt} - \frac{uv \tan \varphi}{r} + \frac{uw}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega(v \sin \varphi - w \cos \varphi) + f_{atrito_x}$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{u^2 \tan \varphi}{r} + \frac{vw}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin \varphi + f_{atrito_y}$$

$$\frac{dw}{dt} - \frac{u^2 + v^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + 2\Omega u \cos \varphi + f_{atrito_z}$$

$$c_p \frac{d \ln \theta}{dt} = \frac{\dot{q}}{T}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot \vec{V}$$

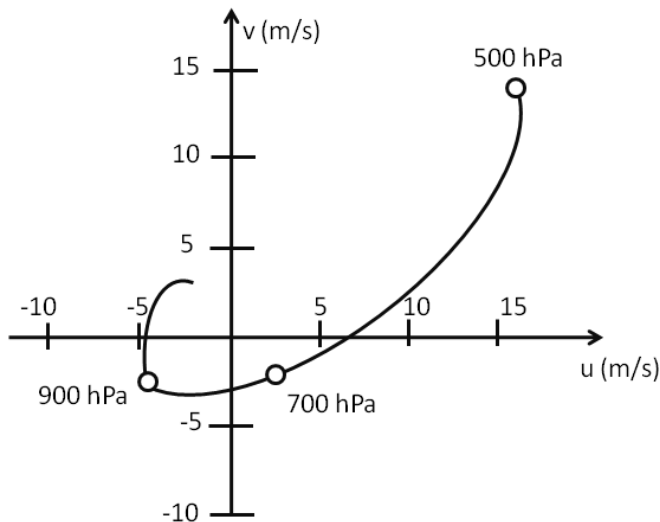
$$p = \rho RT$$

$$\theta = T \left( \frac{1000 \text{ hPa}}{p} \right)^{R/c_p}$$

Descreva e discuta as seguintes aproximações e suas consequências para a previsão numérica do tempo:

- Aproximação tradicional
- Uso de apenas uma componente de Coriolis
- Equilíbrio hidrostático
- Vento geostrófico
- Atmosfera incompressível ou inelástica

10. O ar localizado 100 km ao sul de uma determinada estação meteorológica de superfície está 4 °C mais frio que o ar na estação. Se o vento nessa estação é de noroeste com velocidade de 15 m.s<sup>-1</sup> e o aquecimento por radiação solar é de 1 °C/hora responda às seguintes questões:
- Qual equação permite avaliar a evolução da temperatura nessa estação?
  - Quais suposições são necessárias para aplicar essa equação tendo em vista os dados fornecidos?
  - Qual a variação de temperatura local que se pode deduzir deve ocorrer nessa estação? Como você tem certeza de que o sinal de sua resposta está correto?
11. Numa determinada região a divergência próximo à superfície é de  $-10^{-5} \text{ s}^{-1}$  e a razão de mistura do vapor d'água é de 20 g/kg. Suponha que o ar sobre até 500 m de altura, condensa forma nuvens e toda água condensada chove.
- Calcule a velocidade vertical em 500 m
  - Deduza e explique como obter a chuva em superfície.
12. Suponha que numa determinada localidade, situada na latitude de 30° S, o hodógrafo do vento seja conforme a figura:



Suponha que o vento geostrófico é aproximadamente igual ao vento dado pelo hodógrafo acima.

- Calcule o gradiente horizontal de temperatura médio nas camadas de 900-700 hPa e 700-500 hPa.
- Calcule a tendência de variação local da temperatura em cada camada.
- Supondo que inicialmente a temperatura entre 900 e 500 hPa é constante, e que a diferença de altura entre o ponto médio de cada uma das camadas é de 2000 m, calcule o gradiente vertical de temperatura criado após 24 horas devido à advecção horizontal de temperatura em cada camada.

- d) Supondo que a densidade média dessa coluna seja de  $0,8 \text{ kg/m}^3$ , qual seria a velocidade vertical média em coordenada  $p$  (em hPa/dia) e em coordenada  $z$  (em m/s) que neutralizaria, em média, a advecção horizontal de temperatura em 700 hPa?