

Meteorologia – PL8

1º Semestre - 2025/26

A variação local de temperatura

À escala sinóptica, o escoamento horizontal pode ser dado pela equação:

$$\frac{d\vec{v}_h}{dt} = \vec{a}_p + \vec{a}_A + \vec{a}_{CO}$$

Esta equação tem um ar bastante inofensivo, especialmente porque dois dos termos à direita são muito fáceis de calcular como já se demonstrou em aulas anteriores (termo da pressão e de Coriolis). O termo do atrito, pode também numa primeira aproximação ser estimado de uma forma relativamente simples. O problema está no primeiro membro...

Esta expressão é uma aplicação da segunda lei de Newton. No seu estabelecimento admitimos que era possível definir uma partícula de ar como se fosse um ponto material, i.e. como um cubo de ar cujo movimento fosse possível seguir ao longo do tempo, mantendo ele sempre a sua identidade. De facto sabemos que isso não é verdade: as moléculas de ar movem-se incessantemente a velocidades muito superiores à velocidade média de uma “partícula” (velocidade do vento), implicando que partículas adjacentes vão trocar moléculas e, portanto, vão misturar as suas propriedades.

Para compreender como lidar com o problema do movimento das partículas de ar, vamos considerar uma equação mais simples que a equação do movimento. Como o ar é muito mau condutor, uma partícula de ar seco que se movimenta, segue, em boa aproximação, um processo adiabático seco, no qual é constante a temperatura potencial. Assim será satisfeita a equação:

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

Esta expressão estabelece que cada partícula de ar (em movimento) conserva a sua temperatura potencial. Apesar desta equação não permitir conhecer o movimento do ar, se este for conhecido é possível utilizá-la para calcular a evolução da temperatura num ponto fixo. No entanto, esta expressão dá-nos a *derivada langragiana ou material*, sendo que para estudarmos a variação pontual para a expressão é necessário a tendência da temperatura, sendo esta representada pela *derivada euleriana ou parcial*:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \frac{\partial\theta}{\partial t} + u\frac{\partial\theta}{\partial x} + v\frac{\partial\theta}{\partial y} + w\frac{\partial\theta}{\partial z} \Leftrightarrow \\ \frac{\partial\theta}{\partial t} &= \frac{d\theta}{dt} - u\frac{\partial\theta}{\partial x} - v\frac{\partial\theta}{\partial y} - w\frac{\partial\theta}{\partial z} \end{aligned}$$

Com esta expressão final, temos ainda de considerar o efeito de compressão adiabática, que vem dado por:

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{g}{C_p}$$

Exercício

Numa zona da atmosfera observa-se um gradiente vertical de temperatura de $-4 [^{\circ}\text{C}/\text{km}]$ e um gradiente horizontal de $2 [^{\circ}\text{C}]/100 [\text{km}]$, com a temperatura a decrescer de Sul para Norte.

a) Calcule a tendência da temperatura para um escoamento horizontal de Nordeste com velocidade de $10 [\text{m s}^{-1}]$, admitindo que se trata de um escoamento isotérmico.

b) Se o escoamento anterior for acompanhado por subsidência com uma velocidade descendente de $5 [\text{cm s}^{-1}]$, que impacto espera sobre a tendência da temperatura: a subsidência contribuirá para aquecimento ou arrefecimento? Nota: Não esquecer o efeito da compressão adiabática.

Guia prático

Para melhor resolução do exercício, em Python:

1. Coloque todos os parâmetros do enunciado num *script Python* (tenha atenção às unidades!).
2. À mão, faça o esquema do escoamento.
3. Calcule a componente relevante do vento (zonal ou meridional?) para o cálculo da tendência de temperatura.
4. Calcule a tendência de temperatura para a alínea a).
5. Coloque no mesmo *script* o cálculo da compressão adiabática (ver última expressão da primeira página).
6. Calcule a tendência de temperatura para a alínea b).
7. Como podemos variar o aquecimento ou arrefecimento por movimento vertical?