

Meteorologia – PL7

1º Semestre - 2025/26

O vento do gradiente em regime estacionário

A meteorologia terrestre pode ser estudada à partida através da análise de sistemas de alta e de baixa pressão. Comparativamente, os sistemas de alta pressão são mais estáveis que os de baixa pressão. Isto deve-se em parte à sua grande escala e menor velocidade de rotação. Mas porque é que são tão diferentes dos sistemas de baixa pressão, que são menores, instáveis, e com ventos bastante mais intensos? Isto pode ser em parte explicado pela expressão do vento do gradiente em regime estacionário.

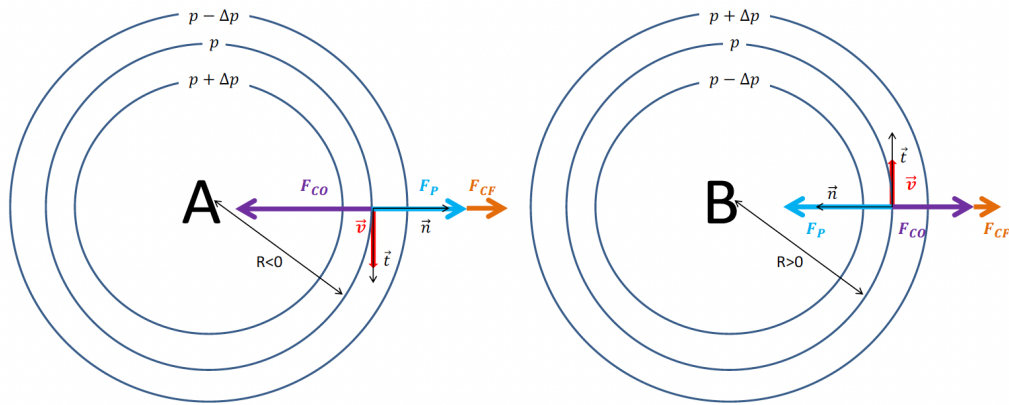
Tendo em conta que estamos com uma circulação fechada, temos de considerar o efeito da aceleração centrípeta adicionalmente ao efeito de Coriolis e o do gradiente de pressão. Usando um sistema de coordenadas naturais, podemos escrever a equação do balanço na forma:

$$-\frac{v^2}{R} - fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

A equação acima é uma equação de segundo grau sobre a forma $av^2 + bv + c = 0$, sendo que $a = -\frac{1}{R}$, $b = -f$ e $c = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$. Podemos então obter as soluções de v através da fórmula resolvente das equações de segundo grau:

$$\begin{aligned} v &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \Rightarrow \\ \Rightarrow v &= -\frac{fR}{2} \pm \frac{R}{2} \sqrt{f^2 - \frac{4}{\rho R} \frac{\partial p}{\partial n}} \end{aligned}$$

A utilização da solução acima, contudo, requer algum cuidado devido à necessidade de estabelecer corretamente os sinais dos diferentes termos. Não menos importante, devemos atentar ao facto de se tratar de uma equação de segundo grau para v , tendo naturalmente duas raízes, sendo que apenas uma é fisicamente relevante. A figura abaixo esquematiza a situação correspondente ao equilíbrio do vento do gradiente no hemisfério norte. Em ambos os sistemas a força centrífuga tem, naturalmente, o sentido centrífugo, mas as forças do gradiente horizontal de pressão e de Coriolis trocam de posição. Ambos os sistemas satisfazem a solução, sendo que para o caso da baixa pressão (rotação no sentido direto - regra da mão direita) temos $R > 0$ e o gradiente de pressão negativo (ver imagem, pressão diminui no sentido $\vec{n}$). Para o caso da pressão alta, temos uma circulação invertida com $R < 0$ mas com o gradiente de pressão a permanecer negativo pela inversão do sentido de $\vec{n}$.



Exercício prático:

1. Abra uma aplicação de consulta de dados de previsão (e.g., www.windy.com).
2. Escolha um sistema de alta pressão nas latitudes médias no hemisfério norte (dica: preferencialmente sobre o oceano pois apresenta uma representação melhor).
3. Nesse sistema, escolha um ponto central e um ponto no bordo, não tem de ter muita precisão. Verifique a distância entre os pontos (botão direito do rato sobre um dos pontos escolhidos).
4. Entre os mesmos pontos, calcule também a variação de pressão (pressão do ponto central menos pressão do ponto no bordo, em Pascal).
5. Com os dados adquiridos, calcule as soluções para a equação (em python ou usando uma calculadora). Admita um $\Omega = 7.292 \times 10^{-5} [s^{-1}]$ e um $\rho = 1.225 [kg\ m^{-3}]$.
6. Qual é a velocidade realista para o sistema (qual das raízes é a solução física)? Compare com o vento observado, discuta as diferenças.