

Aula 9

MECANISMOS DA CIRCULAÇÃO E DO EQUILÍBRIO DO AR

META

Iniciar o conhecimento da dinâmica atmosférica, que produz fluxos de energia horizontal, na constituição do clima.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
compreender a dinâmica da atmosfera, a partir da análise sistemática de seus elementos;
deverá explicar as forças e os mecanismos que impulsionam os deslocamentos do ar;
explicar as condições e os produtos da estabilidade e da instabilidade do ar;
e fazer leituras da circulação do ar, em cartas sinópticas.

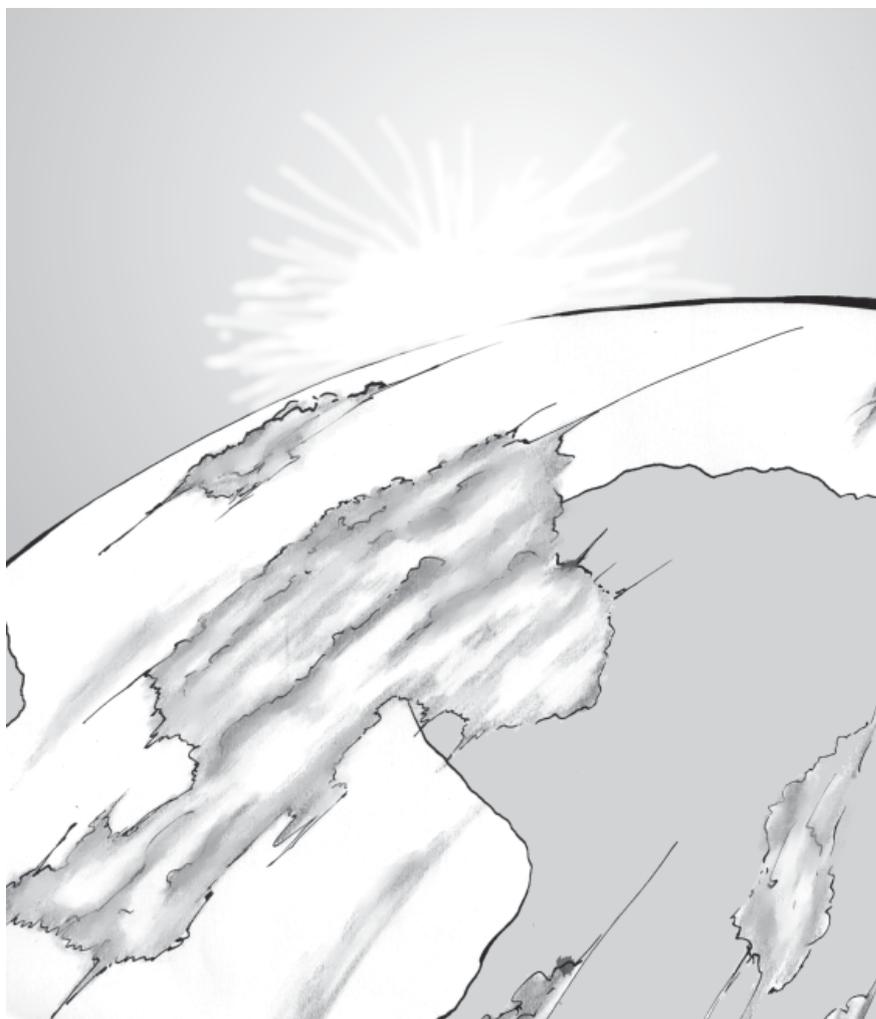
PRÉ-REQUISITO

Ter assimilado o conteúdo da aula 08 “pressão atmosférica”.

Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto

INTRODUÇÃO

Caro aluno, ou querida aluna: a atmosfera está sempre em movimento, resultado da soma de dois componentes: o movimento em relação à superfície da terra e o movimento em conjunto com a Terra, ao girar em torno de seu eixo. O primeiro movimento ocorre em duas dimensões: horizontal (ventos); e vertical (correntes aéreas); ambas em diferentes escalas temporais e espaciais. O segundo movimento exerce importantes efeitos sobre a direção dos ventos em relação à Terra. A causa básica e fundamental do movimento atmosférico, horizontal ou vertical, é o desequilíbrio na radiação líquida entre as baixas e as altas latitudes, e entre a superfície da terra e a atmosfera.



MECANISMOS E FORÇAS

As diferenças de temperatura do ar atmosférico e a conseqüente formação de zonas de pressões desiguais ocasionam os deslocamentos do ar, formando-se os ventos. Em áreas planas, o deslocamento é predominantemente horizontal, mas, em áreas movimentadas, o deslocamento obedece à orientação do relevo, seguindo o caminho mais curto.

As zonas mais frias, onde dominam as altas pressões, são centros dispersores ou divergentes de ventos, nas quais o ar apresenta-se calmo e seco. Nas zonas mais quentes, de baixas pressões, formam-se as áreas ciclônicas, convergentes dos ventos, nas quais o ar está sempre em movimento.

O deslocamento do ar na posição vertical é denominado de corrente aérea, conhecida na aeronáutica como térmicas. Os anticiclones são áreas descendentes, enquanto as depressões são áreas de ascendência.

O vento diverge dos centros de alta pressão, com a temperatura baixa, e converge para a depressão. Aí se torna mais leve (dilatação das moléculas) e ascende. No alto, as temperaturas são mais baixas, o ar se resfria e desce para os anticiclones, tentando chegar a um equilíbrio das pressões na atmosfera. Apesar dos deslocamentos constantes, as pressões não se igualam porque o mecanismo da radiação não permite, aquecendo mais algumas partes que outras.

A velocidade do vento é muito variável e depende diretamente das diferenças de pressão e da densidade do ar (Força do Gradiente de Pressão ou Força Motriz). Outras forças também influenciam o deslocamento do ar, tais como a Força de Gravidade, a Força Centrífuga, a Força de Coriolis e a Força de Atrito.

A força do gradiente de pressão ou força motriz depende diretamente das diferenças de pressão e da densidade do ar, e funciona como a força motivadora para o ar se movimentar de áreas de alta pressão para áreas de menor pressão. Quanto mais denso for o ar, menor a velocidade do vento. O ar mais rarefeito, em altitude, atinge mais velocidade. Por esta força, o vento é obrigado a fluir no sentido das pressões mais baixas, e, quanto maior for o gradiente, mais intensa é a força.

Força de Gravidade é a força que se traduz pela atração em direção ao centro da Terra, que a exerce sobre todos os corpos colocados na sua superfície e a qualquer altura, imprimindo-lhes a propriedade de serem pesados.

A Força Centrífuga atua para fora do centro do círculo de movimento de um corpo, numa trajetória curva, de acordo com a primeira Lei de Newton.

Quando o fluxo de ar se desloca a grandes distâncias sobre o globo, sua trajetória não é perpendicular às isóbaras e sofre um desvio aparente. A força responsável por esse desvio na trajetória do vento é denominada de Força de Coriolis ou defletora, que ocorre devido à rotação da Terra, como resultado das Forças de Gravidade e Centrífuga.

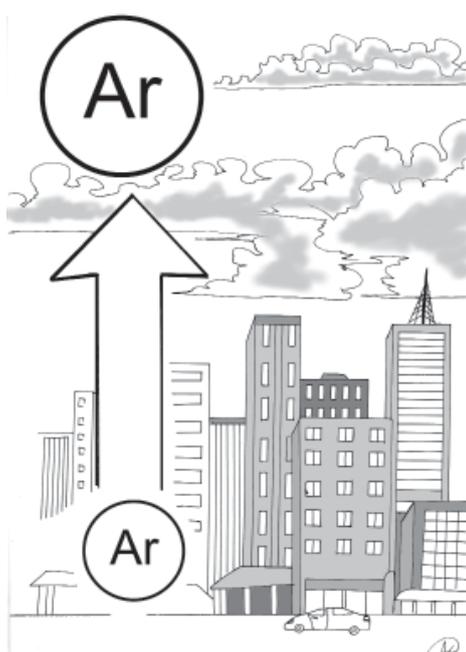
A Terra executa uma rotação completa a cada 24 horas e, portanto, todos os corpos situados sobre ela efetuam um giro completo no mesmo tempo, ou seja, a velocidade angular é idêntica para todos os pontos em qualquer lugar em que se encontrem. O mesmo não acontece com a velocidade linear, pois esta decresce com o aumento da latitude. Por conseguinte, a Força de Coriolis é máxima nos pólos e nula no equador. A Força de Coriolis sempre atua em ângulos retos com a direção do movimento do ar, para a direita, no hemisfério norte, e para a esquerda, no hemisfério Sul.

Sendo a Força de Coriolis praticamente nula nas latitudes equatoriais e tropicais, para compensar, os ventos sopram mais velozes aumentando o efeito da Força Centrífuga e equilibrando a Força do Gradiente de Pressão.

Se um corpo, durante o movimento, segue uma trajetória curva, deve haver uma aceleração em direção ao centro de rotação. A grandeza da aceleração centrípeta é pequena, de modo que ela somente se torna importante onde os ventos, em alta velocidade, movem-se em trajetórias muito curvas. Esta aceleração centrípeta pode ser também considerada como uma força centrífuga de sentido oposto, que opera radialmente para fora.

A Força de Atrito ou de fricção, teoricamente, pode reduzir o efeito da Força de Coriolis. Próximo ao solo, o efeito de turbilhonamento do ar devido ao atrito com a superfície altera tanto a direção como a velocidade do vento. O atrito depende da forma e da rugosidade do solo e diminui com a altura. Para a Meteorologia, é a resistência que uma superfície exerce ao movimento do ar que desliza sobre ela.

EQUILÍBRIO ATMOSFÉRICO: ESTABILIDADE E INSTABILIDADE



Quando um volume de ar, por qualquer razão, é deslocado verticalmente ele se expande em virtude de encontrar pressão mais baixa (descompressão) e de não haver nenhuma troca de calor com o ar circundante. Este processo envolve trabalho e consumo de energia, caindo a temperatura.

Esse processo é denominado de adiabático, porque a variação térmica não envolve ganho ou perda de energia para o ambiente. A proporção na qual a temperatura diminui num volume de ar em ascensão e expansão é conhecida como razão adiabática. A razão adiabática seca é a queda da temperatura de aproximadamente $9,8^{\circ}\text{C}$ por quilômetro.

A razão adiabática úmida ou saturada tem um ritmo mais lento, cerca de 5°C por 1.000m.

As contínuas quedas na temperatura levarão à condensação, quando a temperatura do ponto de orvalho do volume do ar for atingida. O calor latente será liberado pelo processo de condensação e este diminuirá o índice de queda de temperatura no volume do ar em ascensão.

Um volume ou uma massa quando submetido a algum impulso perturbador de ar, é considerado:

Estável – quando retorna à sua posição original;

Neutro – quando permanece em sua posição perturbada;

Instável – quando se afasta de sua posição original ao desaparecer o impulso de perturbação.

Se o ar é forçado a elevar-se, sendo mais frio e mais denso do que o ar circundante, tenderá a retornar ao seu nível original.

Quando o ar é mais quente do que o ar circundante, com uma razão adiabática maior, será instável, e sua tendência é continuar se movendo a partir de sua posição original, uma vez iniciado o movimento.

Há dois outros tipos de condição de instabilidade: instabilidade condicional e instabilidade potencial ou convectiva.

Um volume de ar pode ser estável, e, quando é forçado a elevar-se, pelo aquecimento convectivo ou pela barreira orográfica, torna-se mais quente do que o ar circundante e se eleva livremente. É a instabilidade condicional, pois depende da umidade relativa do ar.

Se um volume de ar torna-se condicionalmente instável depois da elevação, considera-se que o mesmo esteve no estado de instabilidade convectiva ou potencial.

Um volume de ar é considerado neutro se, quando forçado para cima ou para baixo, tem a tendência de permanecer em sua posição perturbada, no momento em que desaparecer a força motivadora.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

A representação da direção e velocidade do vento é realizada mediante símbolos formados por flechas indicativas da procedência. Nelas se aliam barbas ou rebarbas referentes a 5 nós (meia rebarba), a 10 nós (uma rebarba inteira) até os 45 nós. Quando a velocidade alcança 50 nós, o símbolo é um triângulo ou flâmula. Recorde-se que um nó é equivalente a uma milha marítima, ou seja, 1.852 m/h.

A rosa dos ventos é a forma mais corrente de representar a direção, pelos pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais. A direção é sempre representada e mencionada pela origem dos movimentos.

A escala da força do vento de Beaufort permite que a velocidade do vento seja calculada sem auxílio instrumental, pela observação dos efeitos sobre objetos comuns. Foi imaginada, no século XIX, por um marinheiro inglês, Almirante Sir Francis Beaufort.

Quadro - Representação da força do vento pela Escala de Beaufort.

FORÇA	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	EFEITOS
0		CALMARIA	Vento calmo. A fumaça eleva-se verticalmente.
1		ARAGEM	A direção do vento é mostrada pela inclinação da fumaça.
2		BRISA LIGEIRA	O vento é sentido no rosto. As folhas das árvores se agitam.
3		BRISA SUAVE	Folhas e galhos pequenos se movem constantemente.
4		VENTO MODERADO	O vento levanta poeira e papéis soltos. Alguns galhos maiores se movimentam.
5		VENTO FRACO	Árvores pequenas são sacudidas. Nas águas se formam pequenas ondas.
6		VENTO FORTE	Ramos ou galhos maiores se movimentam. Os guarda-chuvas são abertos com dificuldades. Próximo aos fios de telégrafos ouvem-se assobios.
7		TEMPESTADE MODERADA	Árvores grandes são sacudidas. Há dificuldades em se caminhar contra o vento.
8		TEMPESTADE	Os ramos das árvores são quebrados. Pode impedir de se caminhar na rua.
9		TEMPESTADE FORTE	Verificam-se leves danos estruturais. Alguns telhados podem ser arrancados.
10		TEMPESTADE TOTAL	Árvores são arrancadas. Consideráveis danos estruturais.
11/12		VENDAVAL	Ocorrem grandes danos.

CONCLUSÃO

A atmosfera tem um comportamento dinâmico e complexo, buscando equilibrar seu estado físico e atuando de forma diferenciada nos espaços geográficos, resultado de causas também variáveis. Pode apresentar estágios diferentes de equilíbrio ou ser perturbada em suas relações com a superfície.



RESUMO

A dinâmica da atmosfera é resultado de movimentos em relação à superfície da terra e em conjunto. Ela se movimenta tanto no sentido horizontal quanto no vertical. O que causa o movimento atmosférico horizontal ou vertical é o desequilíbrio na radiação líquida entre as baixas e as altas latitudes e entre a superfície da terra e a atmosfera. A velocidade do vento é muito variável e depende diretamente das diferenças de pressão e da densidade do ar (*Força do Gradiente de Pressão ou Força Motriz*). Outras forças também influenciam o deslocamento do ar, tais como a *Força de Gravidade*, a *Força Centrífuga*, a *Força de Coriolis* e a *Força de Atrito*. Um volume ou uma massa de ar é considerado; *estável*, *neutro*, ou *instável* se, quando submetido a algum impulso perturbador, respectivamente, retorna a sua posição original, permanece em sua posição perturbada ou se afasta de sua posição original quando desaparecer o impulso de perturbação.



ATIVIDADES

Assinale as alternativas corretas, tendo como base o conhecimento da pressão atmosférica como elemento impulsionador da dinâmica e do equilíbrio da atmosfera:

1. A pressão do ar é exercida:

- a) de cima para baixo
- b) somente na vertical
- c) em todos os sentidos
- d) somente na horizontal

2. A pressão atmosférica:

- a) independe da altitude
- b) diminui com a altitude
- c) aumenta com a altitude
- d) só varia com a altitude

3. A pressão atmosférica varia:

- a) com a temperatura
- b) de um lugar para outro
- c) com o período do dia
- d) todas as alternativas estão corretas

4. A pressão atmosférica decresce na vertical, por efeito da força de:
a) () atrito b) () gravidade c) () Coriolis d) () centrífuga
5. Um centro de baixa pressão apresenta:
a) () pressões mais elevadas ao centro
b) () pressões baixas em todos os sentidos
c) () pressões diminuindo para a periferia
d) () pressões aumentando para a periferia
6. Ao nível do mar a pressão é de 1.013 mb. A 45 metros de altitude, deverá ser aproximadamente:
a) () 1000 mb
b) () 1008 mb
c) () 1010 mb
d) () 1012 mb
7. Colo é:
a) () o prolongamento de um centro de alta pressão em forma de U
b) () o prolongamento de um centro de baixa pressão em forma de U
c) () uma área indefinida entre um ou dois centros de pressões diferentes
d) () o mesmo que dorsal e talvegue
8. Talvegue é reconhecido como:
a) () o prolongamento de um centro de alta pressão em forma de U
b) () o prolongamento de um centro de baixa pressão em forma de U
c) () uma área indefinida entre um ou dois centros de pressões diferentes
d) () o mesmo que dorsal e crista
9. Os ventos barostróficos e as correntes aéreas são sistemas de circulação:
a) () primária b) () secundária c) () terciária d) () qualquer uma
10. O anticiclone e a corrente aérea:
a) () convergente b) () divergente
c) () ascendente d) () subsidente
11. A depressão e o vento:
a) () convergente b) () divergente
c) () ascendente d) () subsidente
12. A força do gradiente de pressão:
a) () é responsável pelo desvio aparente do vento
b) () depende das diferenças de pressão e densidade do ar
c) () ocorre devido a rotação da terra
d) () se deve aos obstáculos da superfície da terra

13. A Força de Coriolis provoca um desvio aparente dos ventos, devido a(ao):

- a) gravidade terrestre b) movimento de translação
c) movimento de rotação d) gradiente de pressão

14. A Força de Coriolis decresce:

- a) com a estação do ano b) do equador para os pólos
c) dos pólos para o equador d) com o aumento da longitude

15. Os aparelhos que medem a pressão e a velocidade do vento são, respectivamente:

- a) psicrômetro e anemômetro
b) barômetro e psicrômetro
c) barômetro e anemoscópio
d) barômetro e anemômetro

16. A representação gráfica da pressão atmosférica:

- a) isoterms b) isótacas c) isógonas d) isóbaras

17. As linhas de igual intensidade do vento são representadas:

- a) isoietas b) isótacas c) isógonas d) isóbaras

18. Linhas que num mapa unem os pontos com a mesma direção do vento:

- a) isóbaras b) isótacas c) isógonas d) nós

19. Se o gradiente numa massa de ar for de $0,5^{\circ}\text{C}$ para cada 100 metros, será igual ao:

- a) gradiente adiabático úmido b) gradiente adiabático seco
c) gradiente termométrico vertical d) gradiente barométrico

20. Admitindo-se que a ascensão de uma parcela de ar continental se encontra na superfície a uma temperatura de 28° , sua razão adiabática, a 2000m, se dará na ordem de:

- a) 23°C b) 18°C c) 22°C d) 8°C

21. No ar instável:

- a) não há formação de nuvens
b) o ar tende a se afastar cada vez mais
c) não há movimentação vertical do ar
d) só se formam nuvens na origem

22. No equilíbrio estável, um corpo afastado de sua posição de origem, por uma força qualquer:

- a) () permanecerá na nova posição
- b) () voltará à posição de origem
- c) () voltará à posição de origem, afastando-se logo depois
- d) () tenderá a se afastar cada vez mais

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986.

ESTIENNE, Pierre et GODARD, Alain. **Climatologie**. Paris: Librairie Armand Colin, 1970.

FORSDYKE, A. C. **Previsão do tempo e clima**. Tradução: FERRO, Fernando de Castro. São Paulo: EDUSP / Edições Melhoramentos, 1975.

PINTO, Josefa Eliane Santana de S.; AGUIAR NETTO, Antenor Oliveira de. **Climatologia, Geografia e Agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar**. São Cristóvão: Editora da UFS (prelo).

SANT'ANNA NETO, João Lima; ZAVATINI, João Afonso (Orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: EDUEM, 2000.