

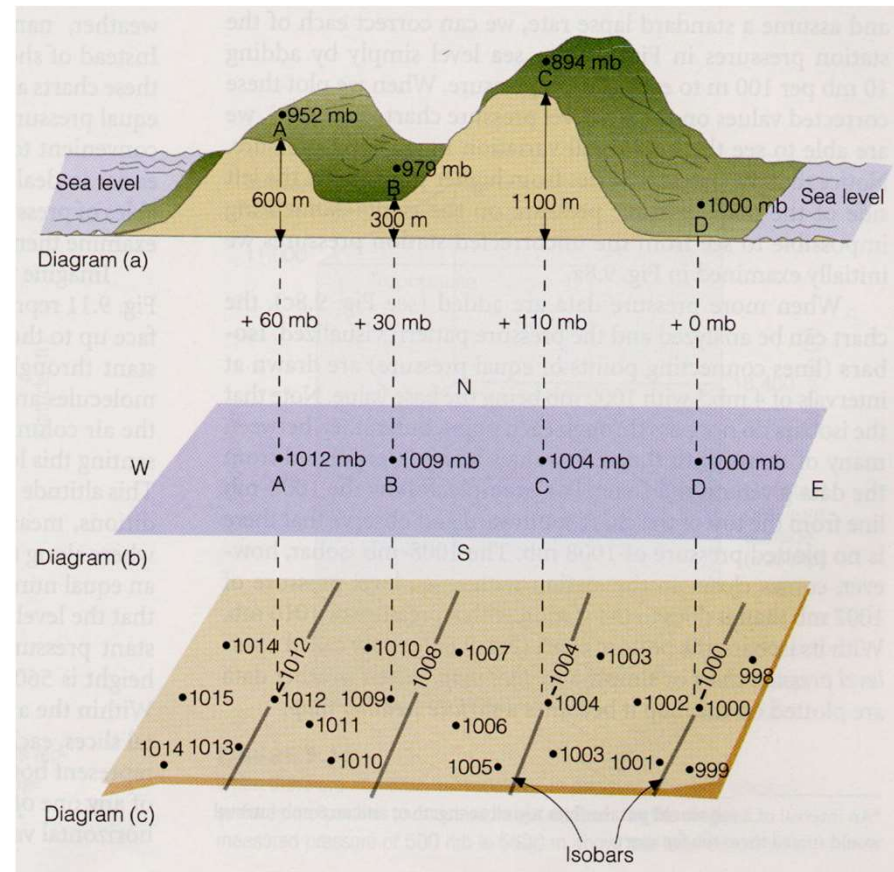


# **A atmosfera em movimento: força e vento**

**Capítulo 4 – Leslie Musk**  
**Capítulo 9 - Ahrens**

# Pressão

- Lembre-se que
  - A pressão é força por unidade de área
  - Pressão do ar é determinada pelo peso do ar das camadas superiores
  - Uma variação da pressão numa distância determinada (gradiente de pressão) faz com que o ar se mova
  - Qual é a diferença entre pressão superficial e pressão ao nível do mar?



# Lembre-se: balanço hidrostático

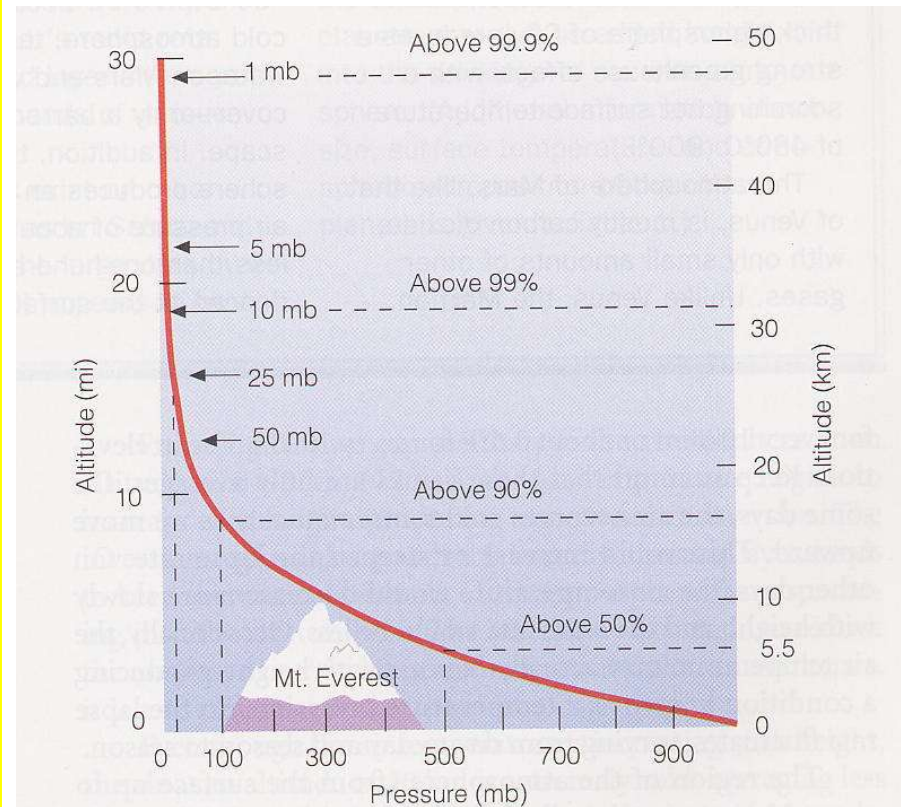
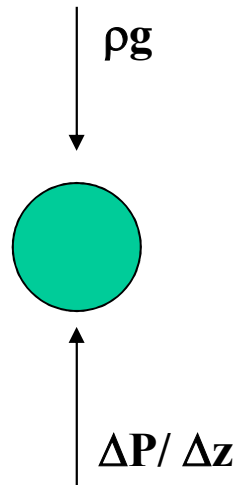
O que força o ar a não se mover continuamente para baixo devido à gravidade?

*O balanço entre a gravidade e a força do gradiente de pressão.*

$$\Delta P / \Delta z = -\rho g$$

Assim:

$$\Delta P = -\rho g \Delta z$$

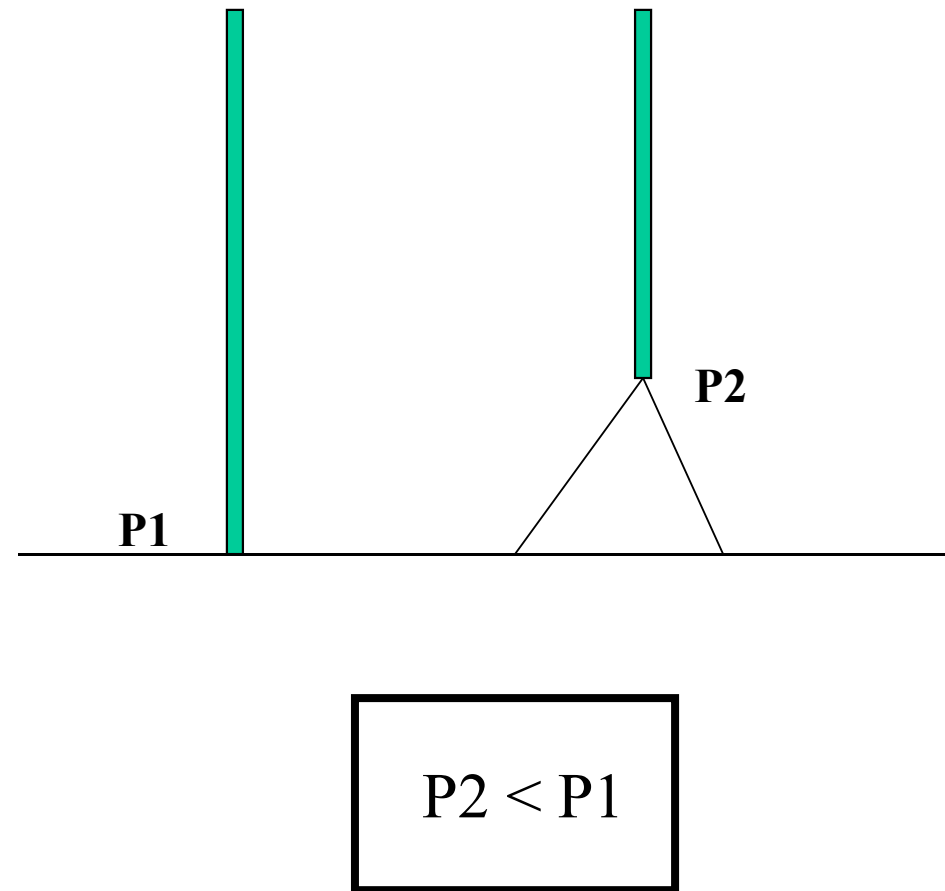


**FIGURE 1.8**

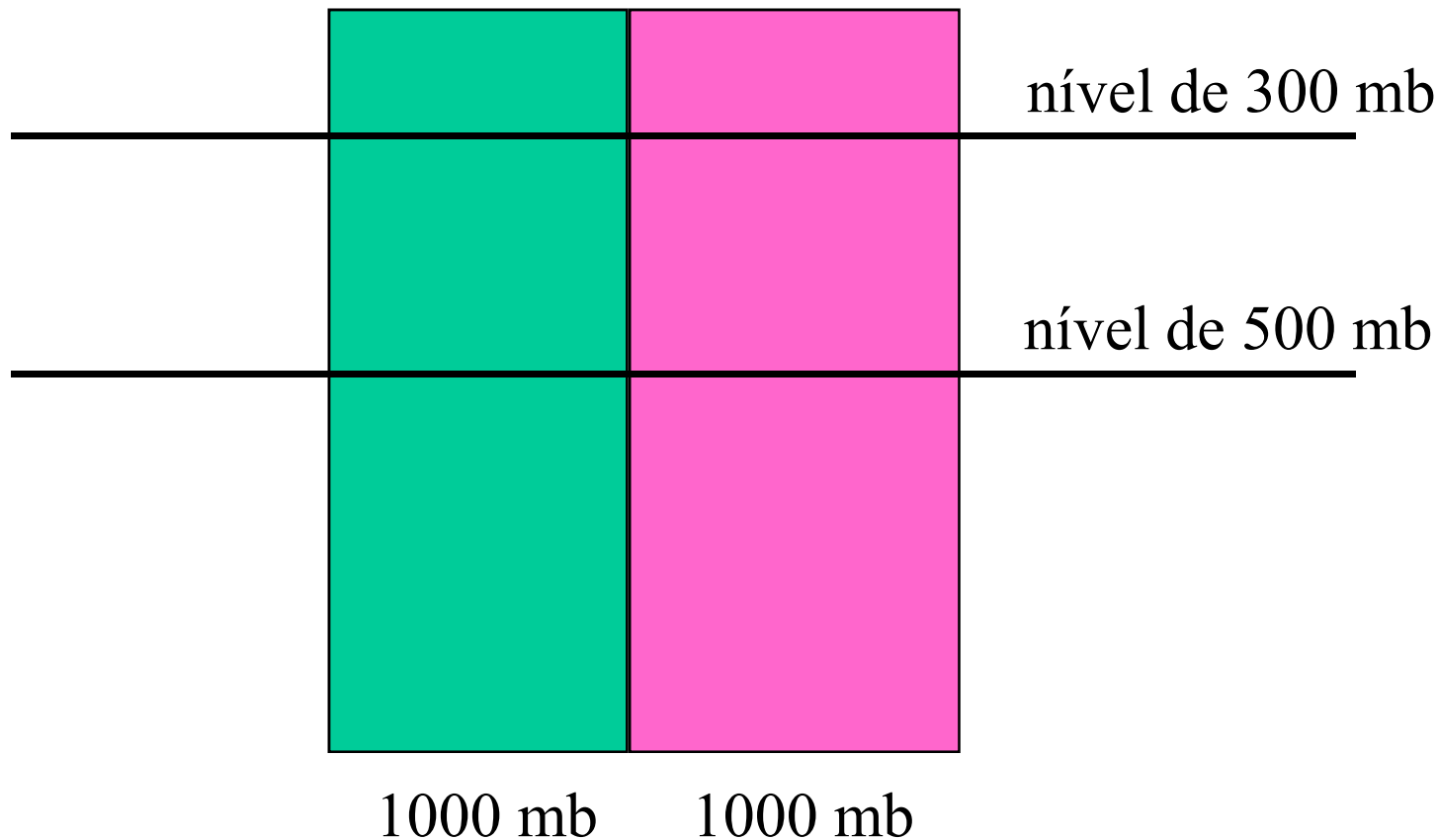
Atmospheric pressure decreases rapidly with height. Climbing to an altitude of only 5.5 km, where the pressure is 500 mb, would put you above one-half of the atmosphere's molecules.

# Por que a pressão varia horizontalmente?

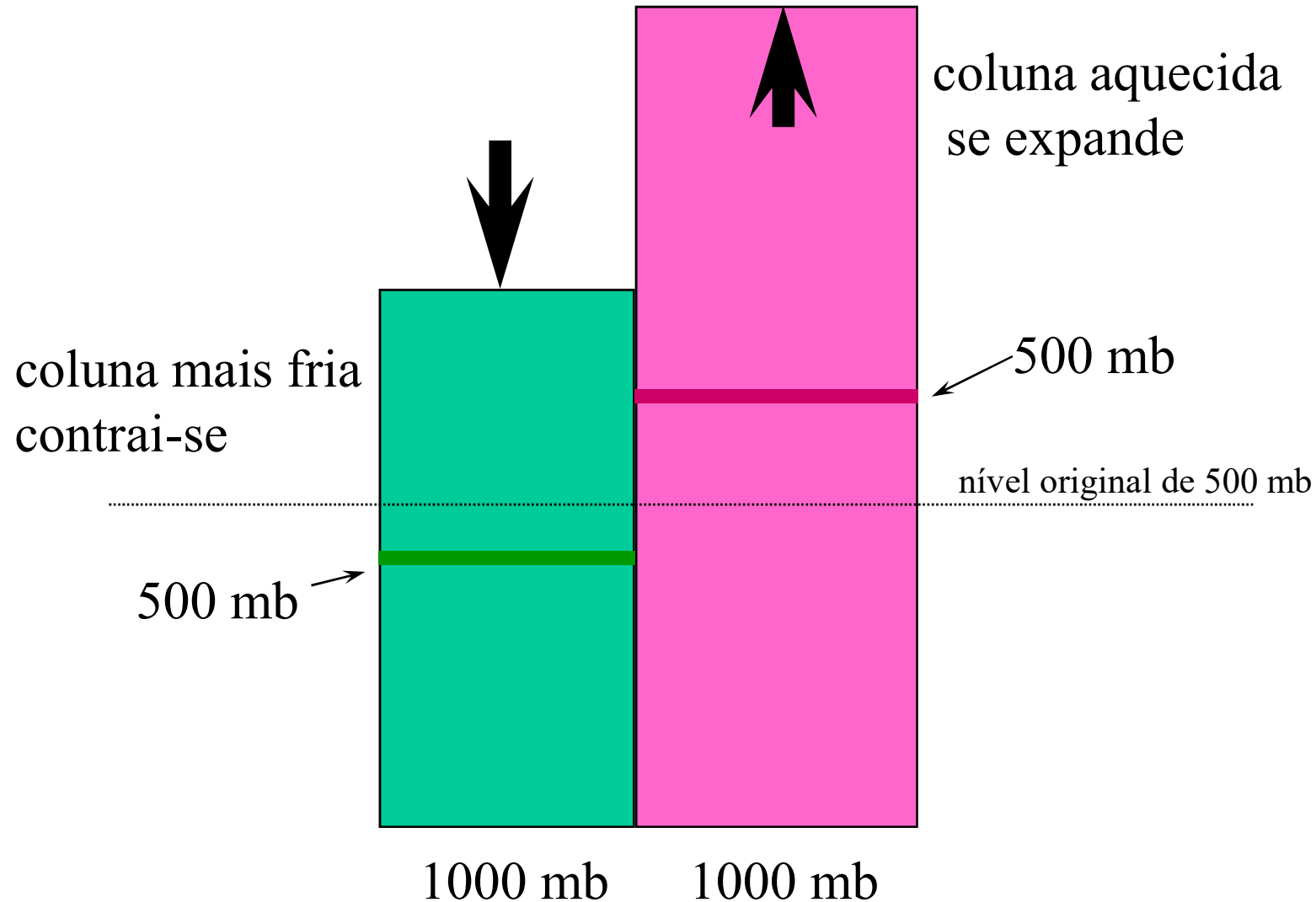
- Variação na altitude causa variações na pressão
- Mas por que a pressão varia entre locais que têm a mesma elevação?



**Duas colunas de ar –  
mesma temperatura  
mesma distribuição de massas**

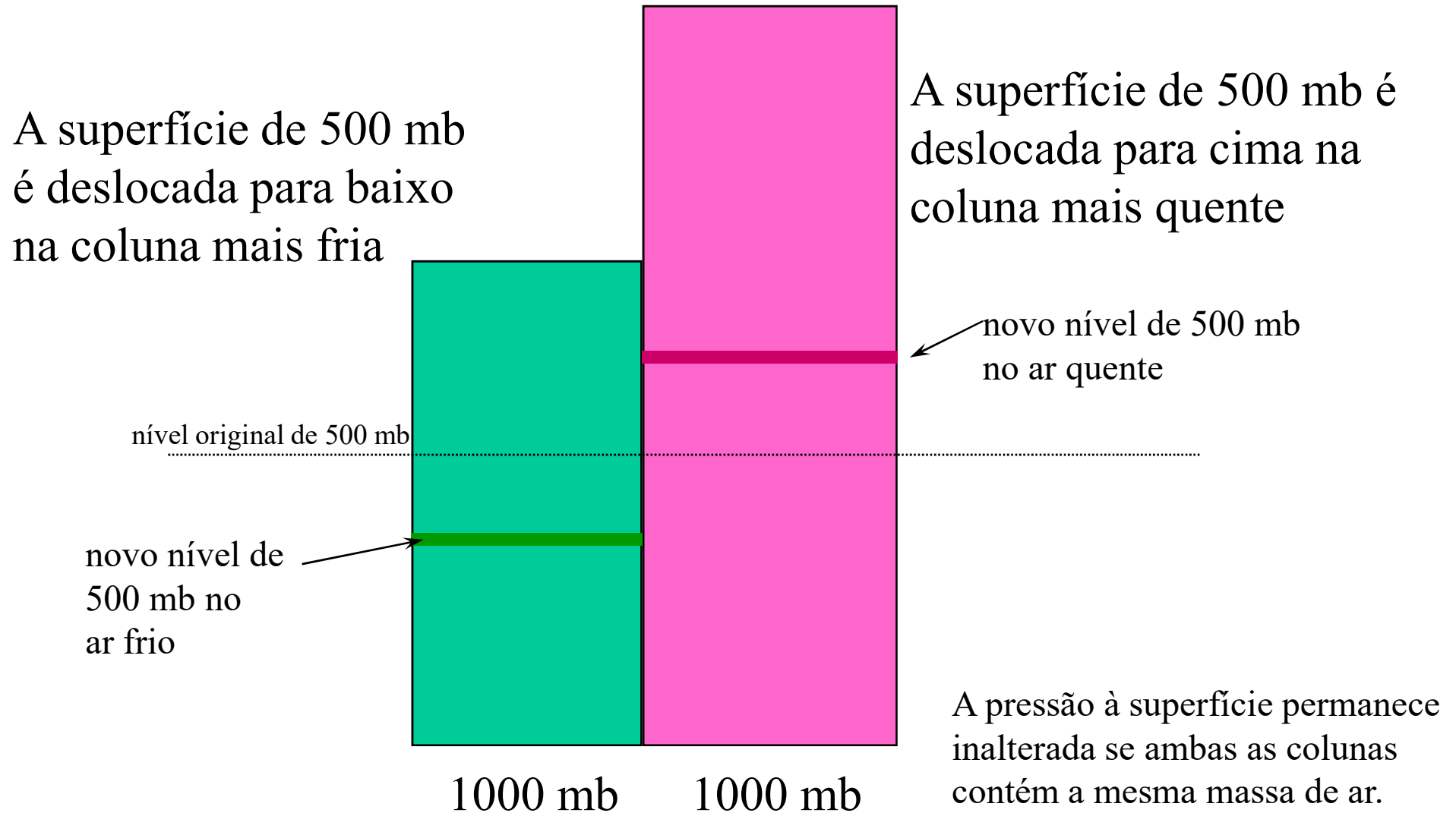


# Resfrie a coluna da esquerda; aqueça a coluna da direita

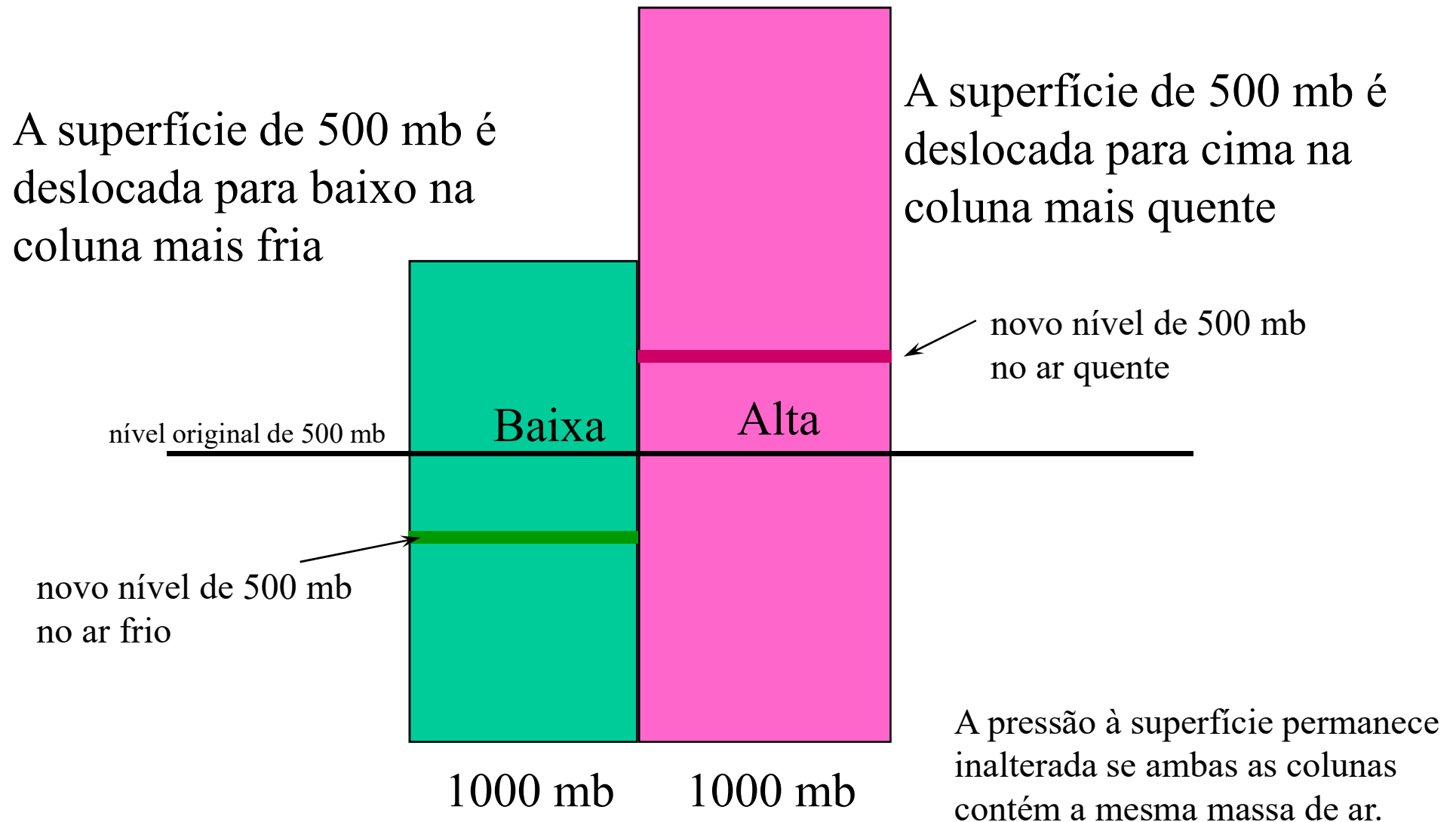




O nível da superfície de 500 mb varia; a pressão à superfície permanece inalterada

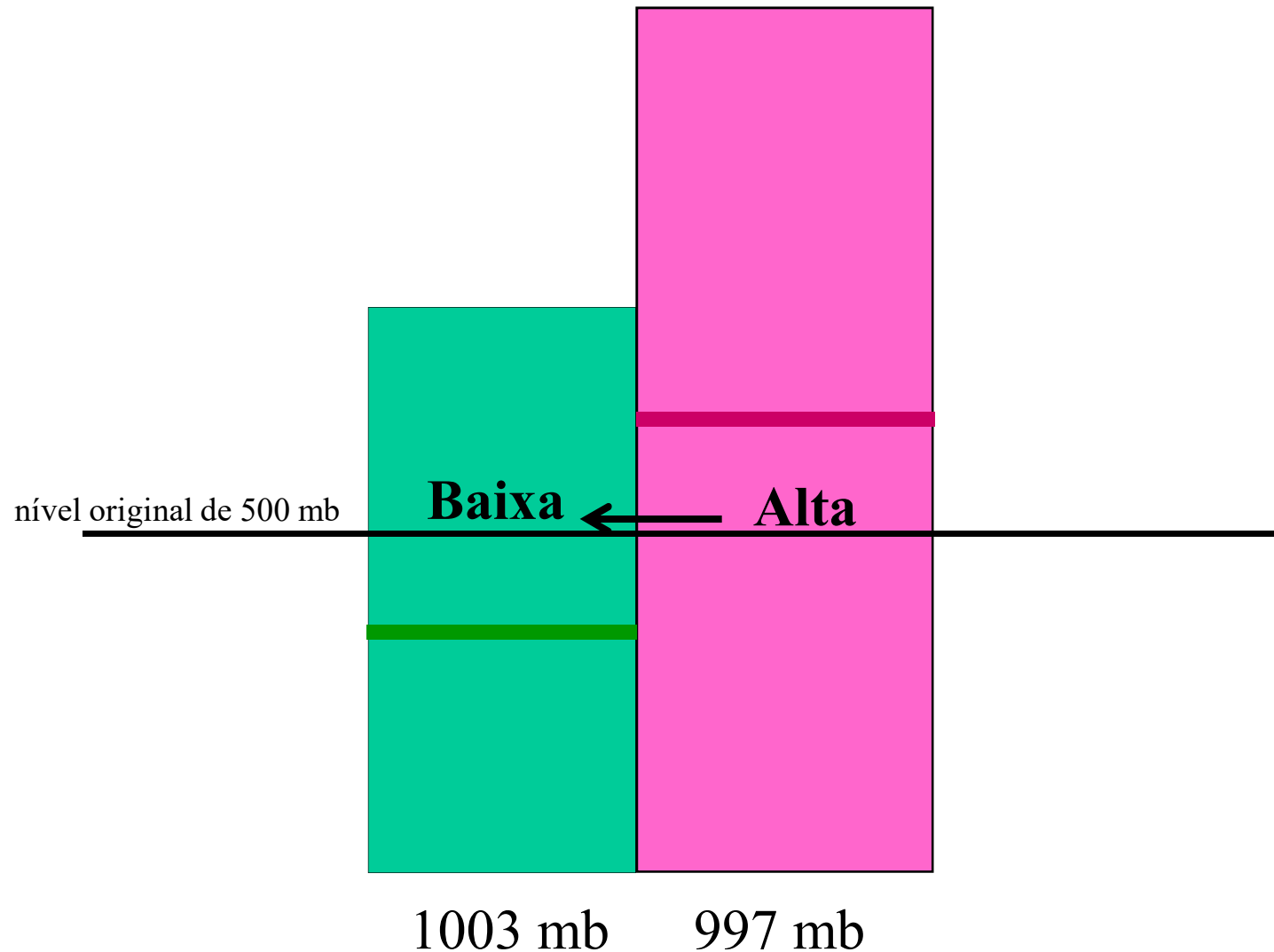


## Desenvolve-se uma diferença de pressão na direção horizontal acima da superfície

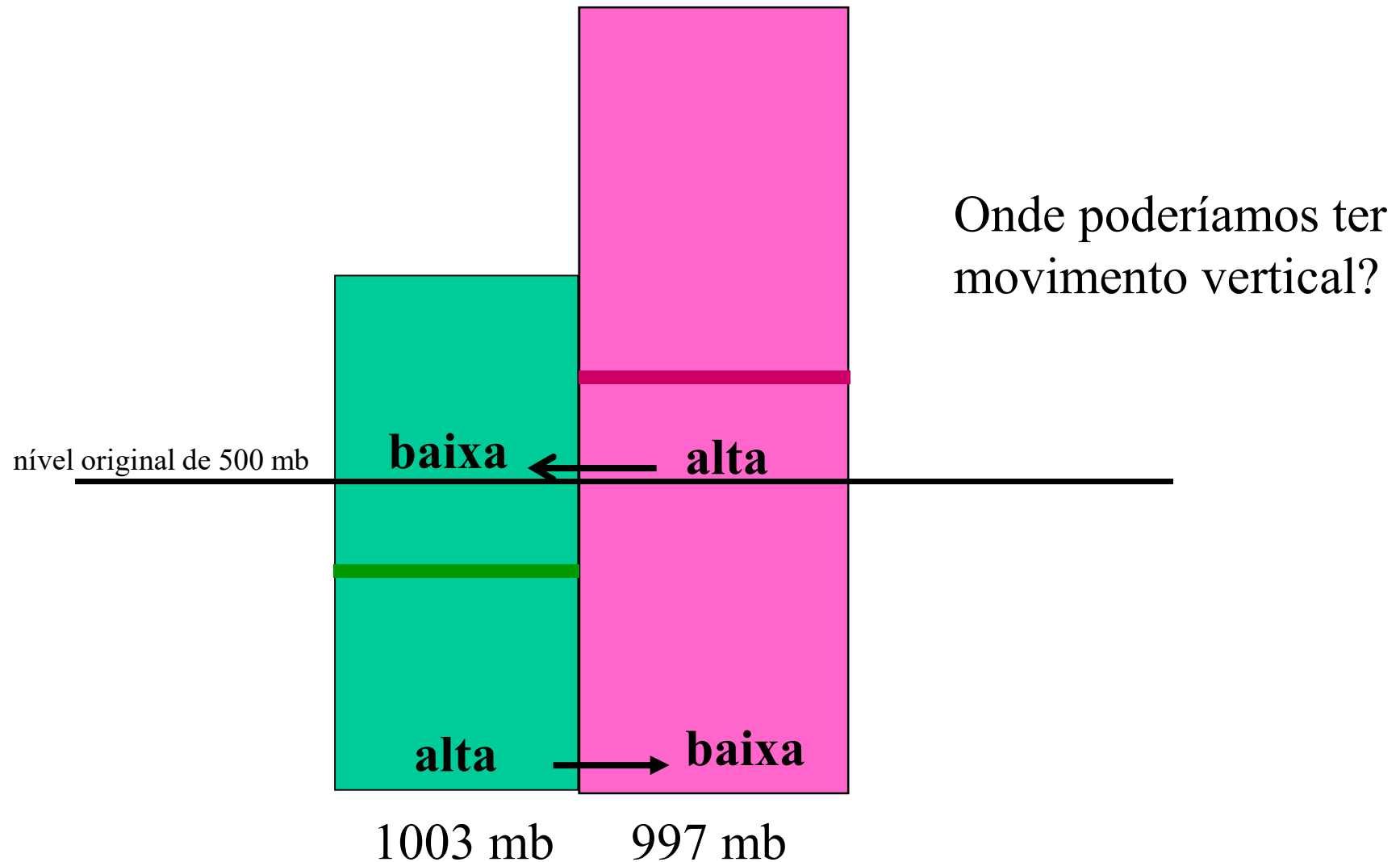




O ar move-se da alta para a baixa pressão no meio da coluna, provocando a variação da pressão na superfície.



O ar move-se da alta para a baixa pressão em superfície ...



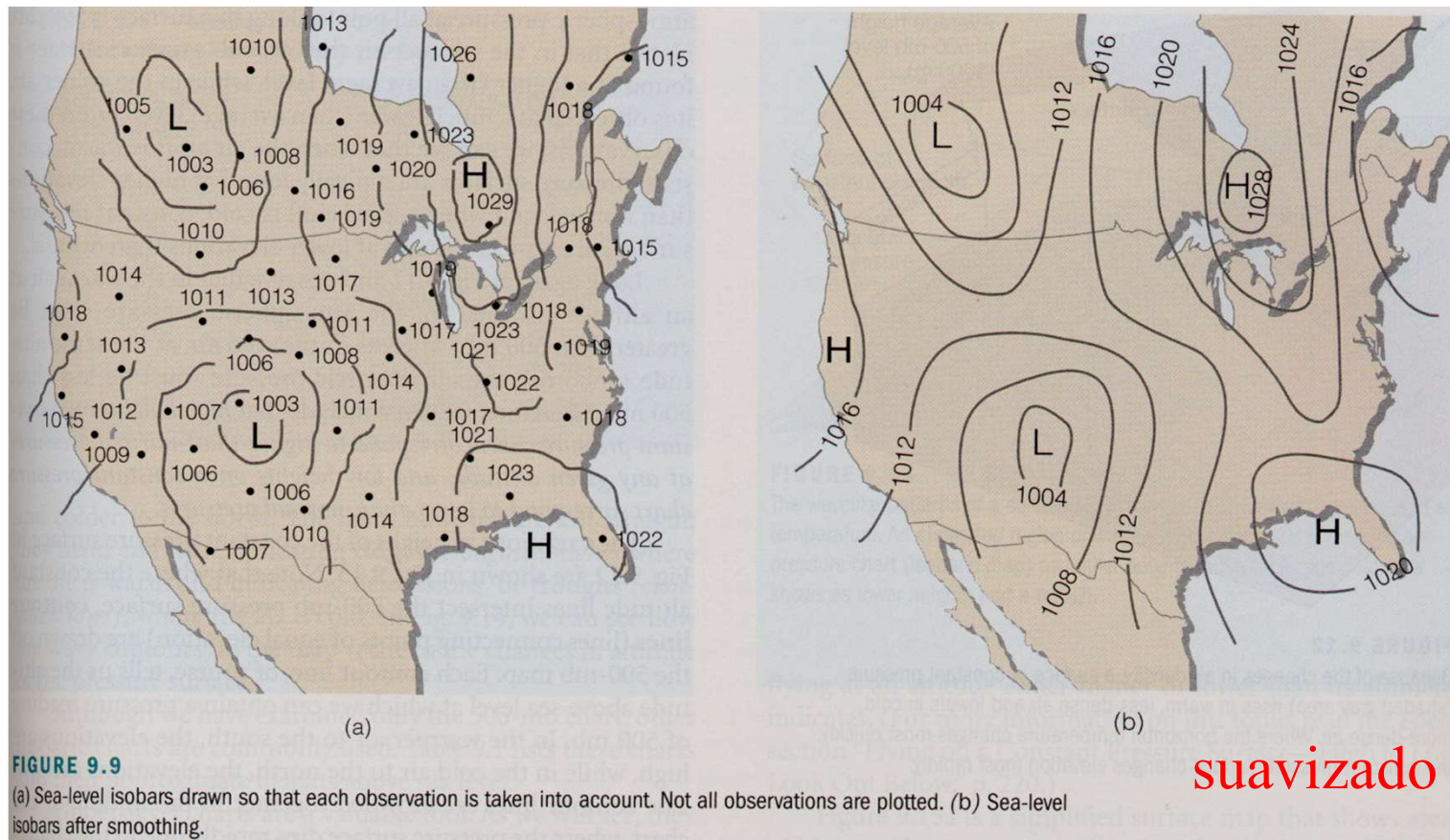
# O que observamos?

- Introduzimos um aquecimento diferencial numa atmosfera inicialmente em repouso
- O aquecimento diferencial causa taxas diferentes de expansão do fluido
- As diferentes taxas de aquecimento resultam em pressões diferentes ao longo da superfície horizontal
- As diferenças de pressão introduzem escoamento ao fluido
- Isto é uma análise em pequena escala de como a atmosfera converte **calor** em **movimento**

EI → EC

# Mapas de pressão à superfície

- Estações superficiais com pressões ajustadas ao mesmo nível são usadas para construir mapas com isolinhas de pressão – **isóbaras**

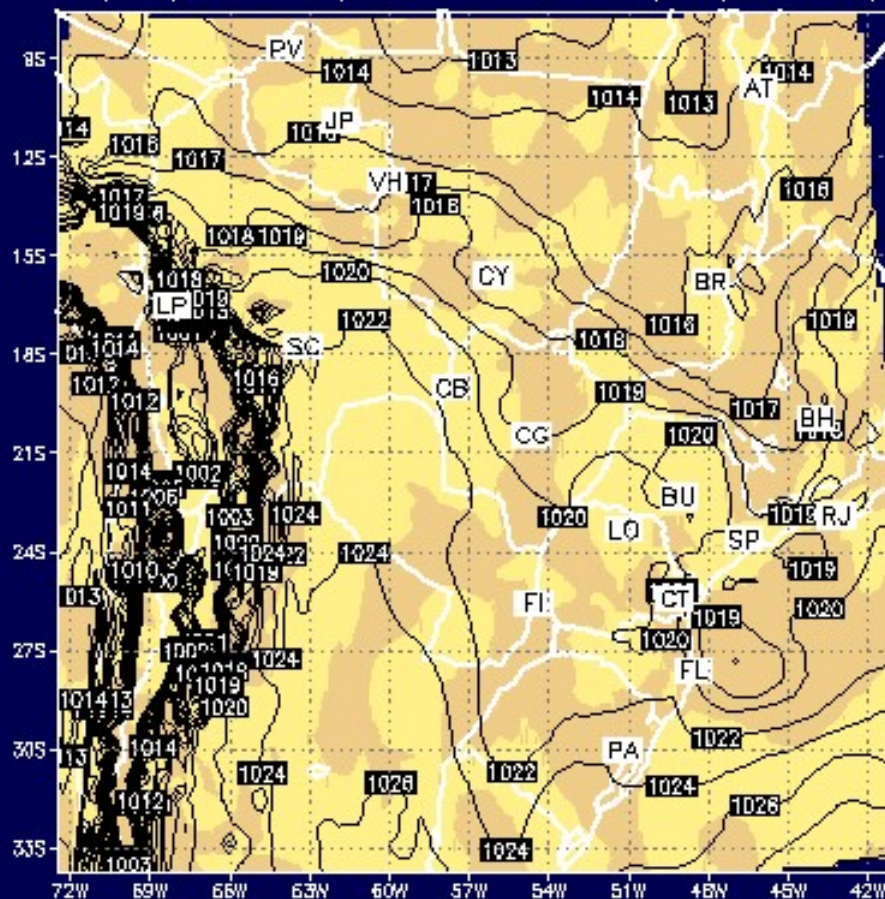




## ANÁLISE

Pressão na superfície (hPa) e Div. de umidade ( $1.E5 \times g/kg/s$ )

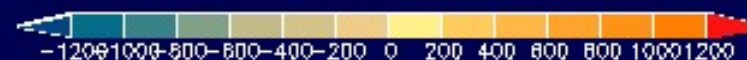
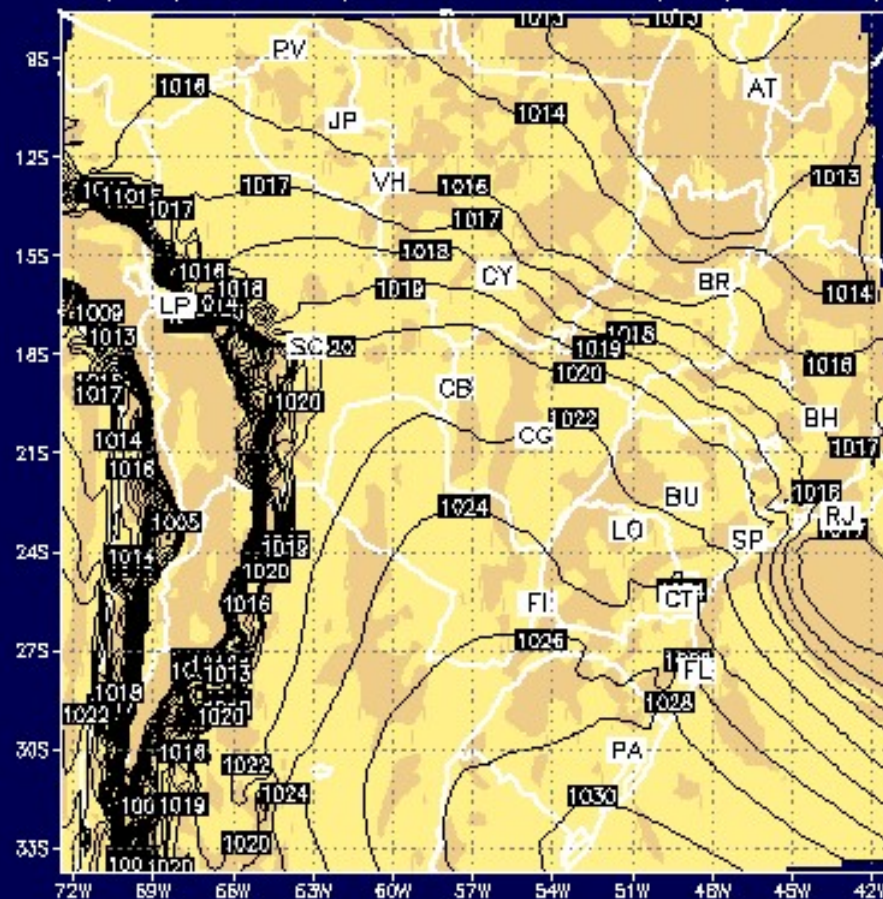
03/JUN/2004 00Z (Inicializacao-CPTEC: 03/JUN/2004 00Z)



## PREVISÃO

Pressão na superfície (hPa) e Div. de umidade ( $1.E5 \times g/kg/s$ )

05/JUN/2004 00Z (Inicializacao-CPTEC: 03/JUN/2004 00Z)



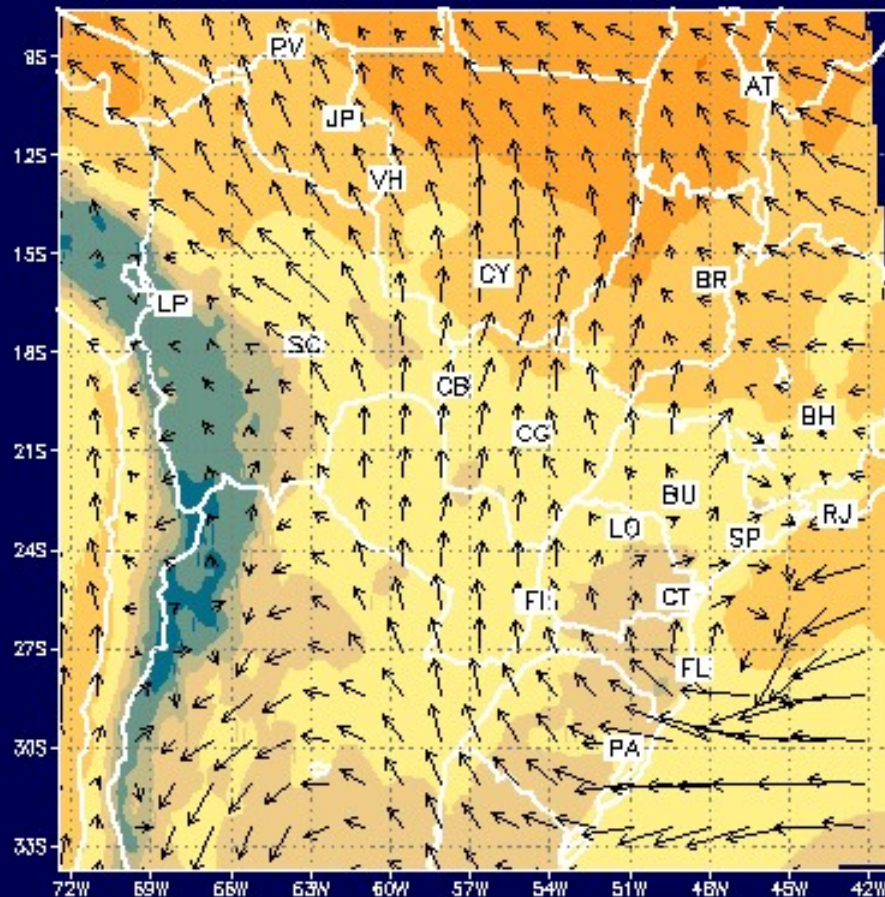


# VENTO E TEMPERATURA

## SUP

Vento (m/s) e Temperatura (C) em Superfície

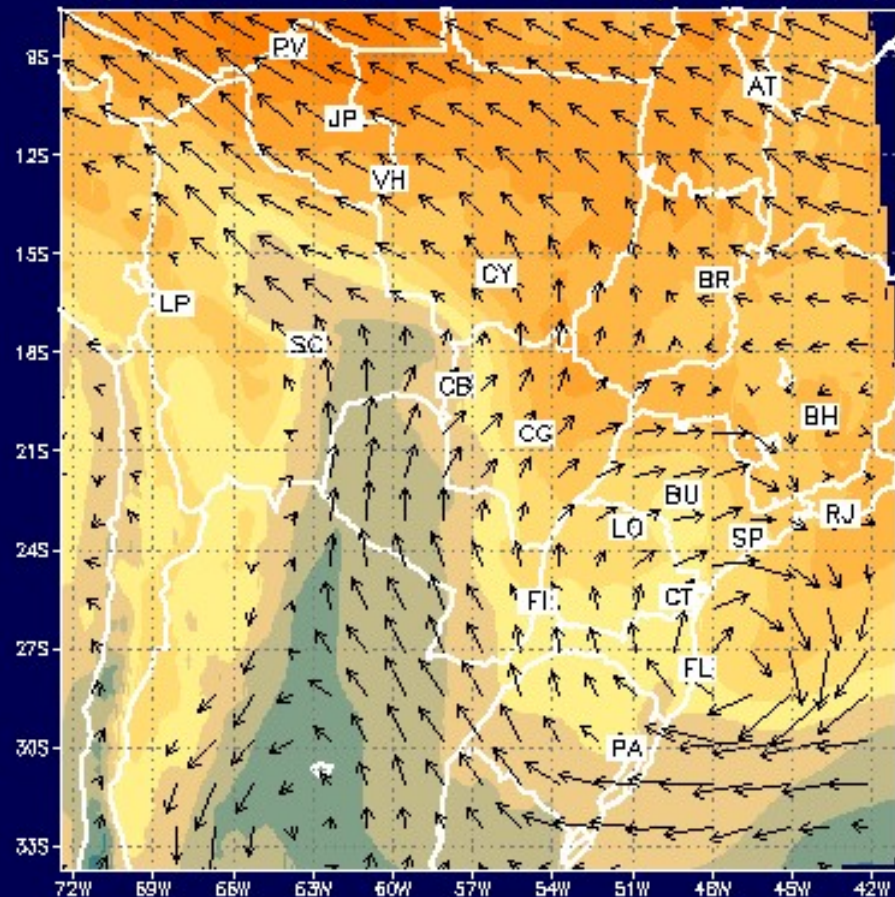
03/JUN/2004 00Z (Inicializacao-CPTEC: 03/JUN/2004 00Z)



## 850 mb

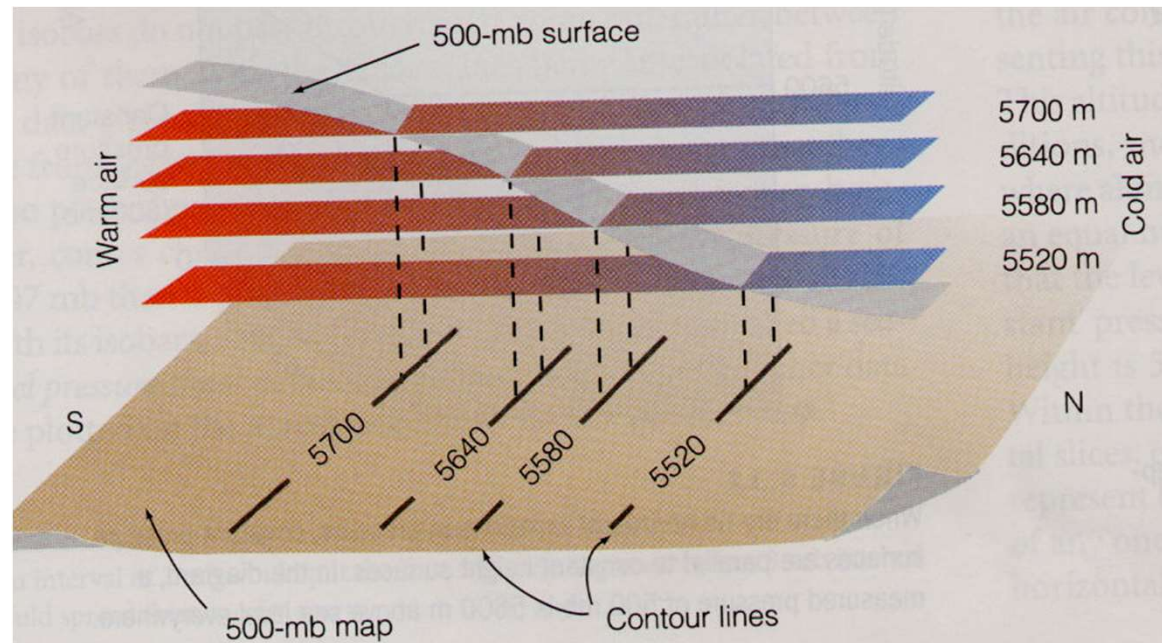
Vento em 850hPa (m/s) e theta\_e (K) em Superfície

03/JUN/2004 00Z (Inicializacao-CPTEC: 03/JUN/2004 00Z)



# Cartas com pressão constante

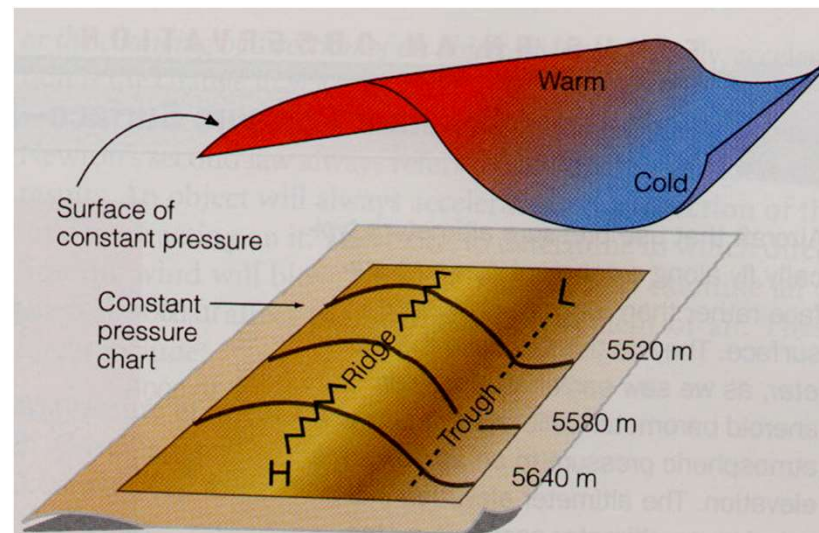
- As cartas de pressão constante (isobáricas) são freqüentemente usadas por meteorologistas
- As cartas isobáricas apresentam variação da altura numa superfície de pressão constante (e.g., 500 mb)
- Neste exemplo, um gradiente entre o ar quente e frio produz a inclinação da superfície de 500 mb
- O decréscimo da pressão com a altura é maior para massas de ar frio (mais densas)
- O gradiente de pressão é mais intenso onde os contornos de altura estão mais próximos





# Cavados e Cristas

- Gradientes de Temperatura geralmente produzem gradientes de pressão
- As isóbaras usualmente decrescem de valor do norte para o sul (p/ as temperaturas mais baixas, HS)
- Mas as linhas de contorno de altura não são comumente retas.
  - **Cristas** (altas alongadas) ocorrem onde o ar está quente
  - **Cavados** (baixas alongadas) ocorrem onde o ar está frio

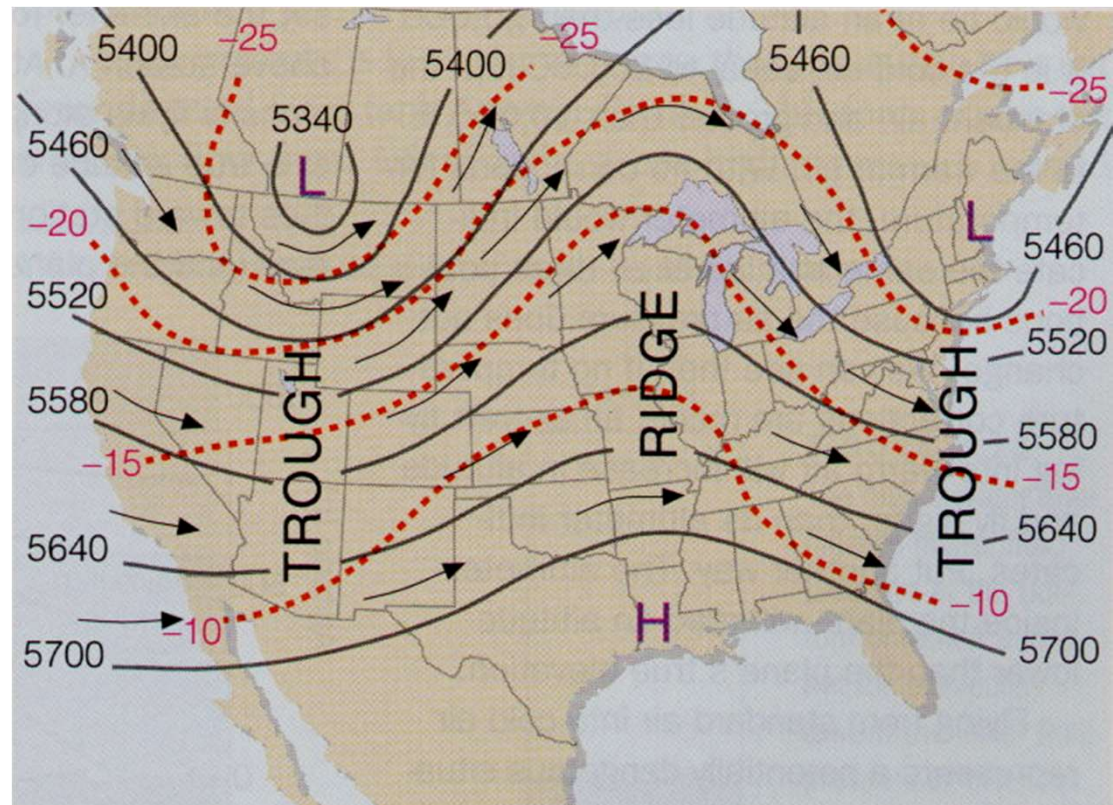


**FIGURE 9.14**

The wavelike patterns of a constant pressure surface reflect the changes in air temperature. An elongated region of warm air aloft shows up on a constant pressure chart (isobaric map) as higher heights and a ridge; the colder air shows as lower heights and a trough.

# Padrão de pressão e ventos superiores

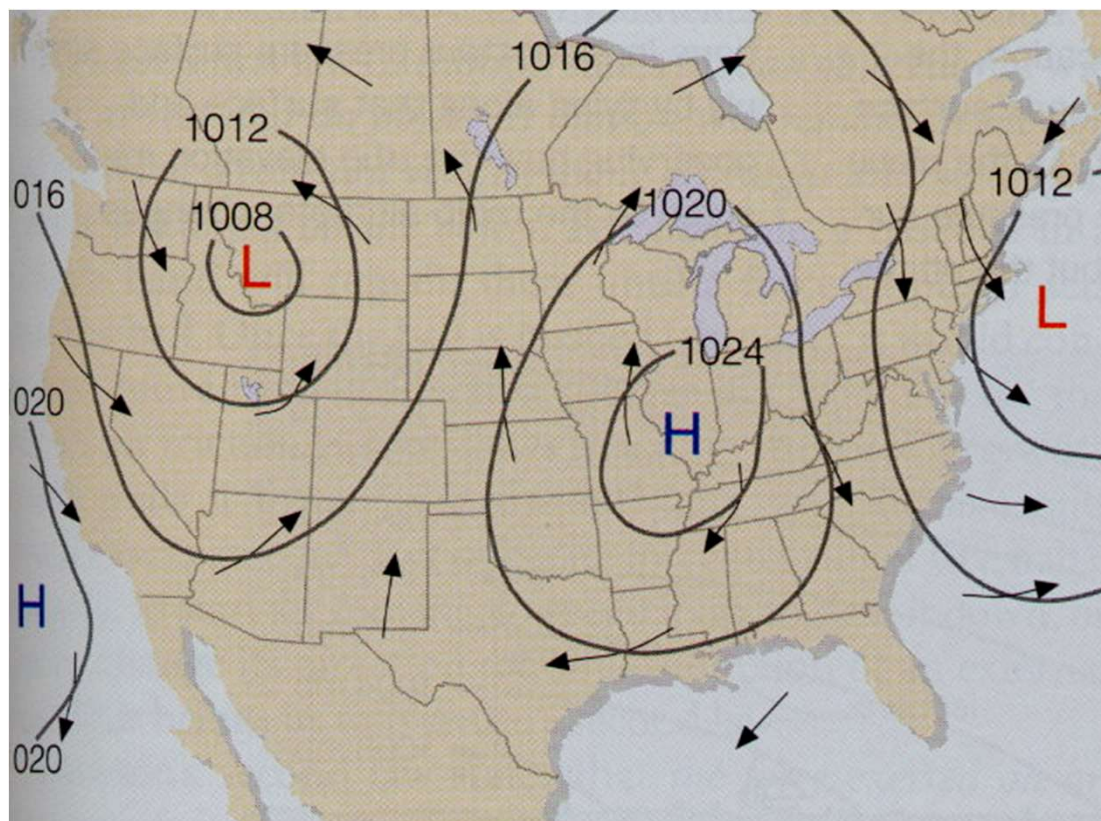
- Em níveis altos, o vento sopra paralelamente aos contornos de pressão e altura.



# Padrão de Pressão à superfície e ventos

Próximo da superfície no Hemisfério Sul o vento sopra

- no sentido horário em volta de um centro de baixa pressão
- no sentido anti-horário em volta de um centro de alta pressão



**Por que o vento não sopra da alta para a baixa pressão?**



# Forças e ventos

- O gradiente de pressão produz o movimento do ar
- Várias forças agem simultaneamente e determinam a direção do vento
- A **Lei do Movimento de Newton** descreve as relações entre as forças e o movimento
  - **1ª Lei:** um objeto em repouso permanecerá em repouso e um objeto em movimento permanecerá em movimento (e viajará com velocidade constante numa linha reta) até que uma força seja exercida sobre o objeto
  - **2ª Lei:** a força exercida sobre um objeto é igual à sua massa multiplicada pela aceleração ( $F = ma$ )

# Forças são expressas como vetores

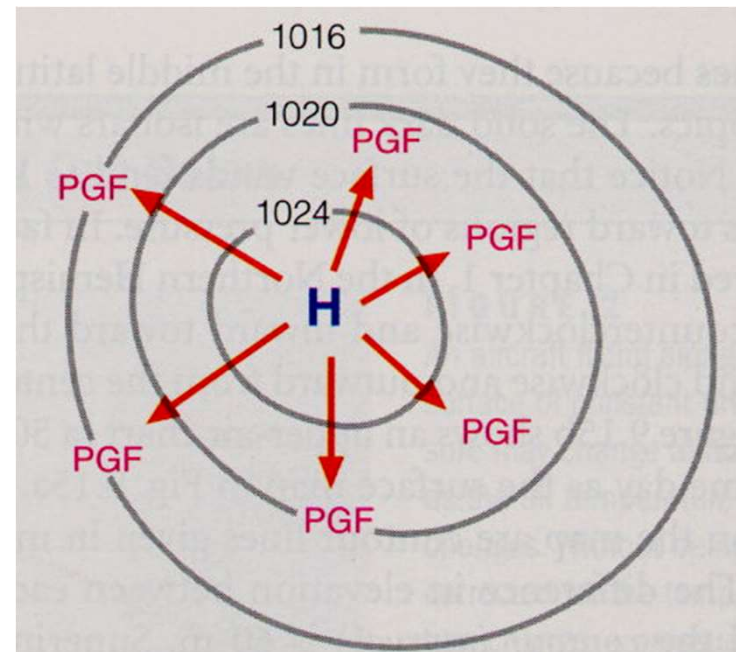
- As forças têm duas propriedades
  - Magnitude ou tamanho
  - Direção
- Os vetores têm as mesmas propriedades
  - Comprimento da seta indica a magnitude
  - Direção/sentido da seta indicam a direção/sentido

# Forças que controlam o vento

- Força do Gradiente de Pressão
- Força de Coriolis
- Força Centrípeta
- Força de Fricção

# Força do Gradiente de Pressão

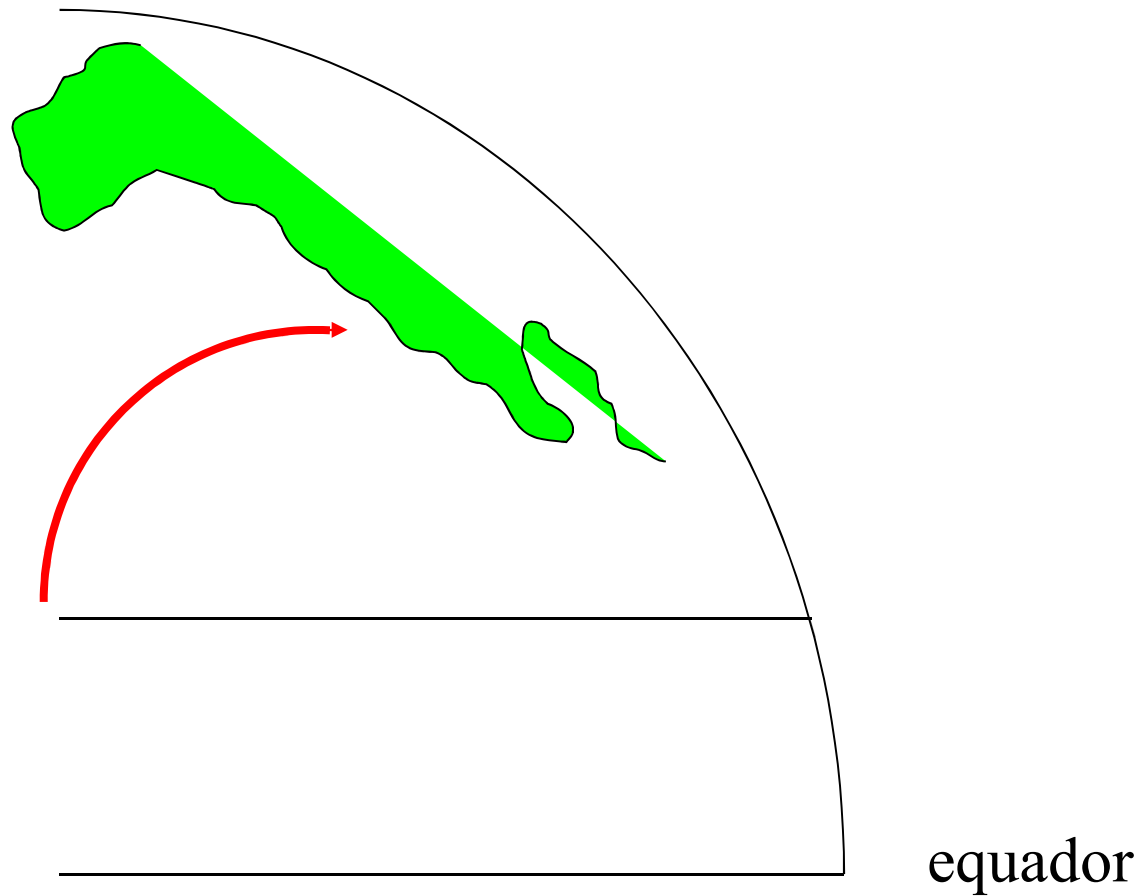
- Magnitude
  - Inversamente proporcional à distância entre as isóbaras ou linhas de contorno (altitude)
    - Quanto mais próximas, mais intensa é a força
- Direção
  - Sempre direcionada para a pressão mais baixa





# Força de Coriolis

Força aparente devido à **rotação** da Terra



# Força de Coriolis

- Força aparente devido à rotação da Terra
- Magnitude  $\{F_{co} = 2 \Omega V_H \sin(\text{lat})\}$ 
  - Depende da latitude e da velocidade do movimento da parcela de ar
  - Quanto maior a latitude, maior a força de Coriolis
    - zero no equador, máxima nos pólos
  - Quanto maior a velocidade, maior a força de Coriolis
- Direção
  - A força de Coriolis sempre age perpendicularmente à direção do movimento
    - Para a direita no hemisfério norte
    - Para a esquerda no hemisfério sul

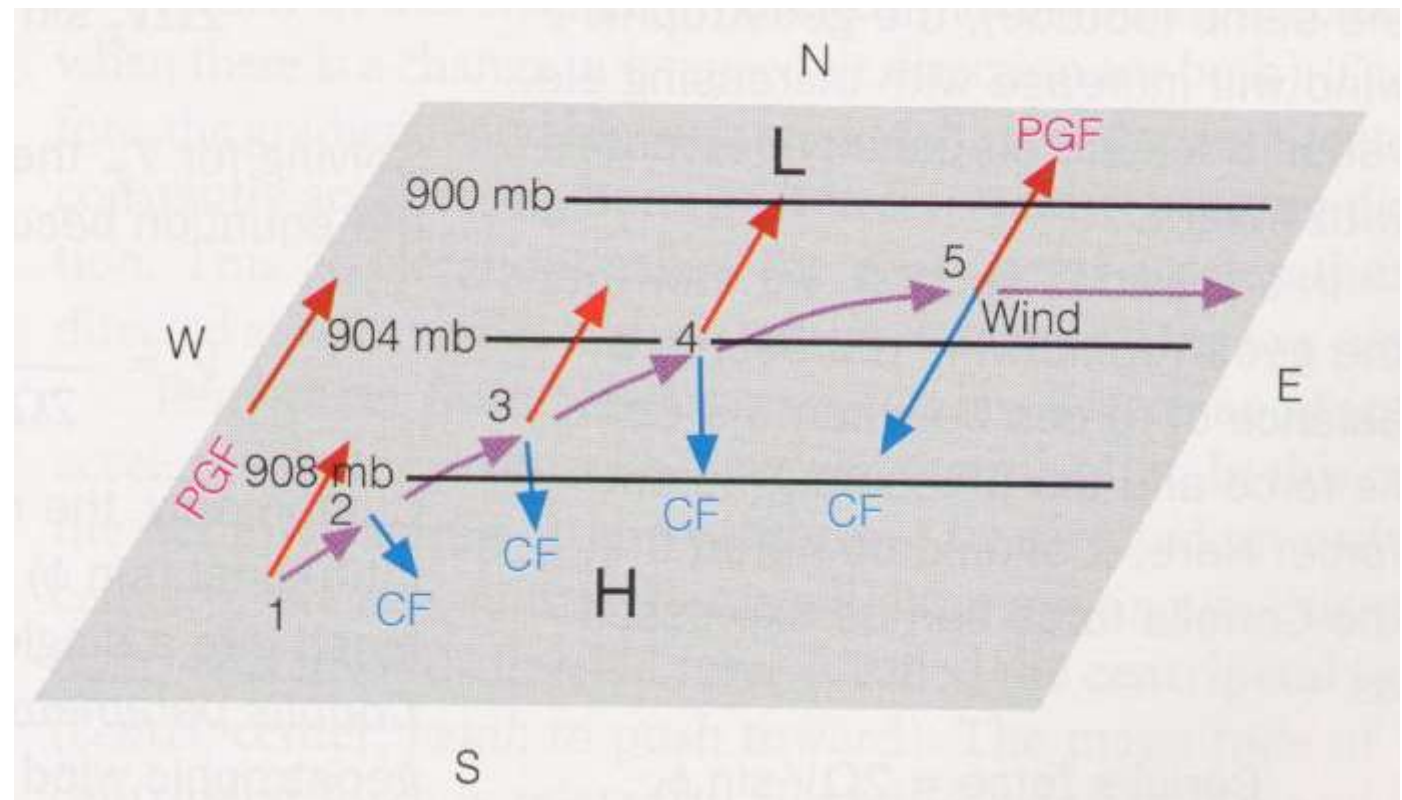
# Força de Coriolis

## MOVIMENTO ZONAL

- se a parcela se desloca para **leste**, apresenta q maior que da Terra, portanto, é desviada para uma latitude com **raio maior**
- se a parcela se desloca para **oeste**, apresenta q menor que da Terra, portanto, é desviada para uma latitude com **raio menor**

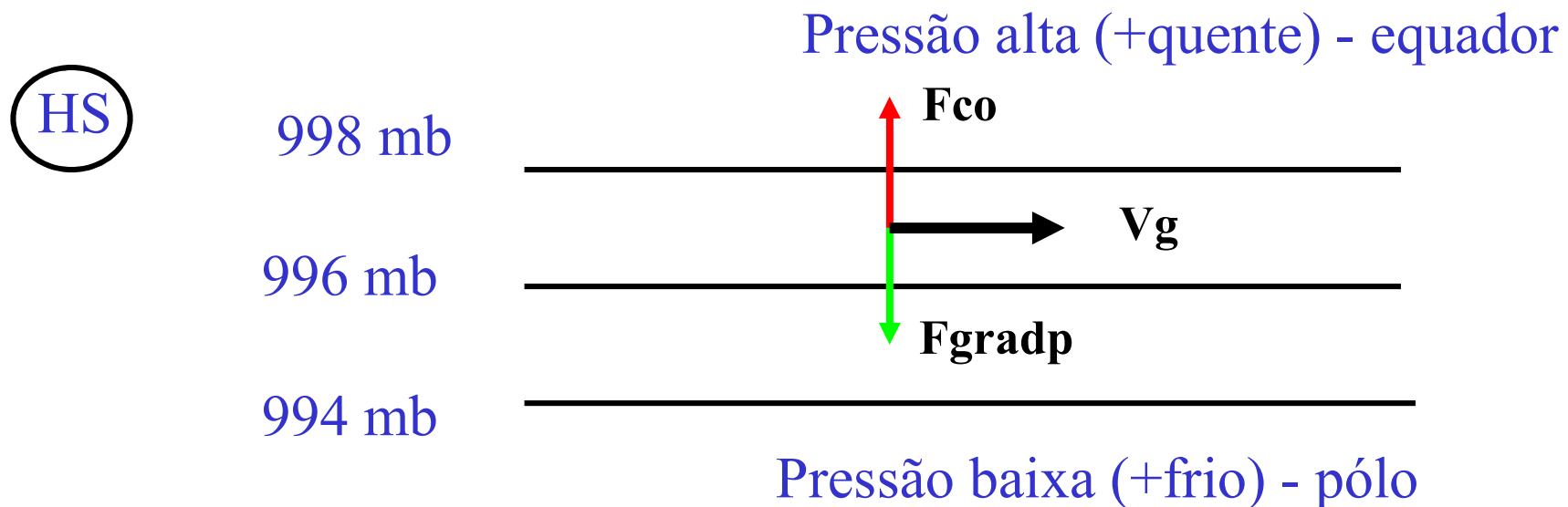
# Força de Coriolis

- Age para a direita no HN e para a esquerda no HS
- Mais intensa para ventos mais fortes



# Vento Geostrófico

- O vento geostrófico é o escoamento paralelo às isóbaras, no qual a força do gradiente de pressão é balanceada pela força de Coriolis.



Nota: O escoamento **Geostrófico** é uma boa aproximação para a atmosfera superior (> 500 m)

# Força Centrífuga – F. aparente

- Quando vista de um **referencial fixo** (estrelas fixas), uma bola presa por uma corda é acelerada para o centro de rotação (aceleração centrípeta).
- Quando vista de um **referencial em rotação**, esta aceleração para dentro (provocada pela linha que puxa a bola – F. centrípeta) sofre uma força aparente no sentido oposto (força centrífuga).

# Força Centrífuga

- Magnitude
  - Depende do raio de curvatura do caminho curvo da parcela de ar
  - Depende da velocidade da parcela de ar

$$a_c = V^2/R$$

- Direção
  - Ângulo reto com relação à direção do movimento

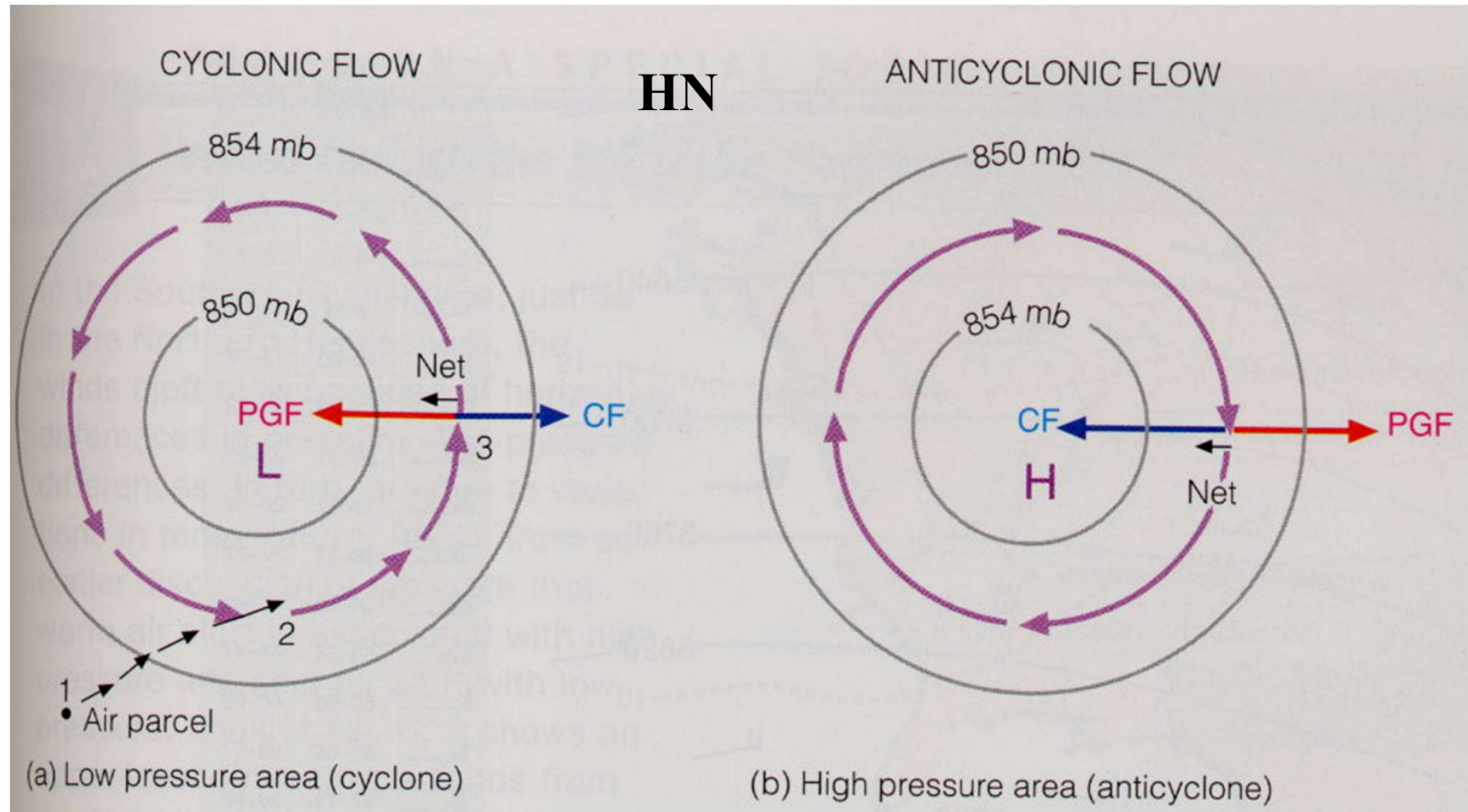


# Vento Gradiente

- O Vento Gradiente é o escoamento em torno de um caminho curvo resultante do balanço entre três forças:
  1. Força do Gradiente de Pressão
  2. Força de Coriolis
  3. Força Centrípeta
- É importante próximo a centros de altas e baixas

# Vento Gradiente

desbalanço entre pressão e coriolis



# A Fricção é importante próximo à superfície da Terra

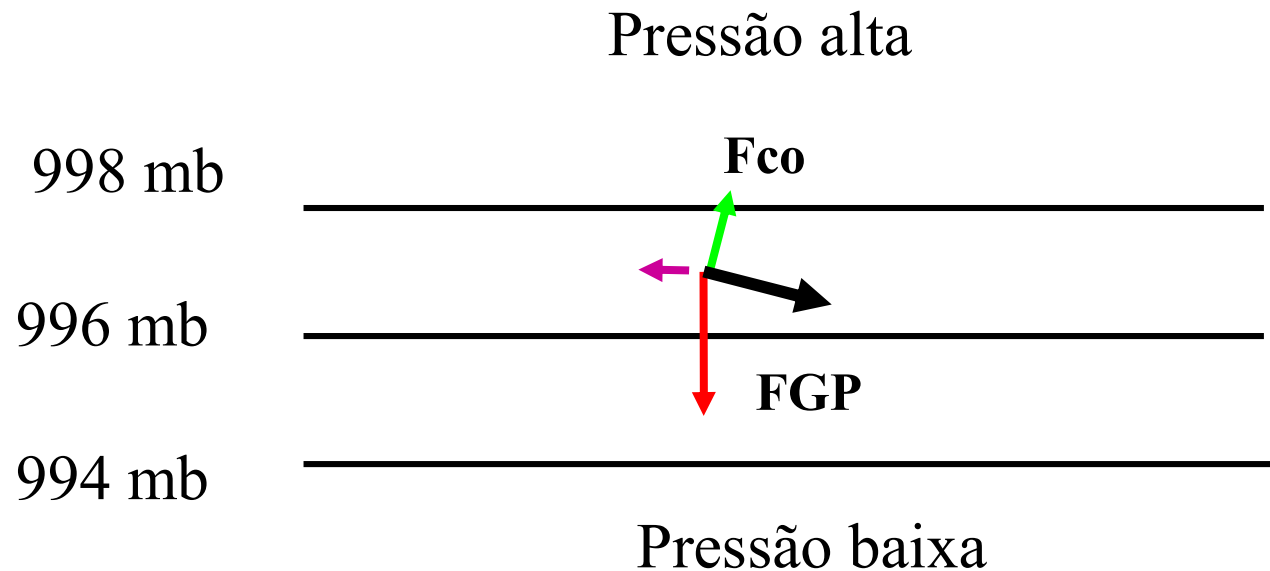
- O arrasto friccional exercido pela superfície diminui a velocidade do vento
  - Magnitude
    - Depende da velocidade da parcela de ar
    - Depende da rugosidade do terreno
    - Depende de quão uniforme é o campo do vento
  - Direção
    - Age sempre na direção oposta ao movimento da parcela
  - Importante na *camada de fricção* (camada limite planetária)
    - $z \sim < 1000$  metros na atmosfera

# O que acontece quando adiacionamos fricção ao balanço?

- A fricção diminui a velocidade do vento, sem mudar a direção
- Portanto, se a velocidade do vento diminui com a fricção, a força de Coriolis não estará em balanço com a força do gradiente de pressão
  - Imbalanço ( $FC < FGP$ ) empurra o vento na direção da baixa pressão
  - O ângulo com o qual o vento cruza as isóbaras depende da rugosidade da superfície
    - valor médio  $\sim 30$  graus

# Vento Geostrófico com fricção

HS



O vento não sopra paralelamente às isóbaras por muito tempo, mas é desviado na direção da baixa pressão; isto acontece próximo da superfície onde o terreno e a superfície provocam fricção.

# Vento e movimento vertical

- Vento na superfície sopra
  - em direção ao centro da baixa pressão (convergência)
  - para fora do centro de alta pressão (divergência)
- O ar move-se verticalmente para compensar a convergência ou divergência superficial
  - Convergência na superfície leva a divergência em altos níveis
  - Divergência na superfície leva a convergência em altos níveis

