

METEOROLOGIA



Vinícius Roggério da Rocha

Meteorologia

- Meteorologia pura x aplicada
- Meteorologia aeronáutica: Compreende o estudo dos processos físicos que envolvem a atmosfera, tendo em vista a ECONOMIA e a SEGURANÇA das atividades aéreas
- Observação, divulgação, coleta, análise e exposição (atual ou previsão)

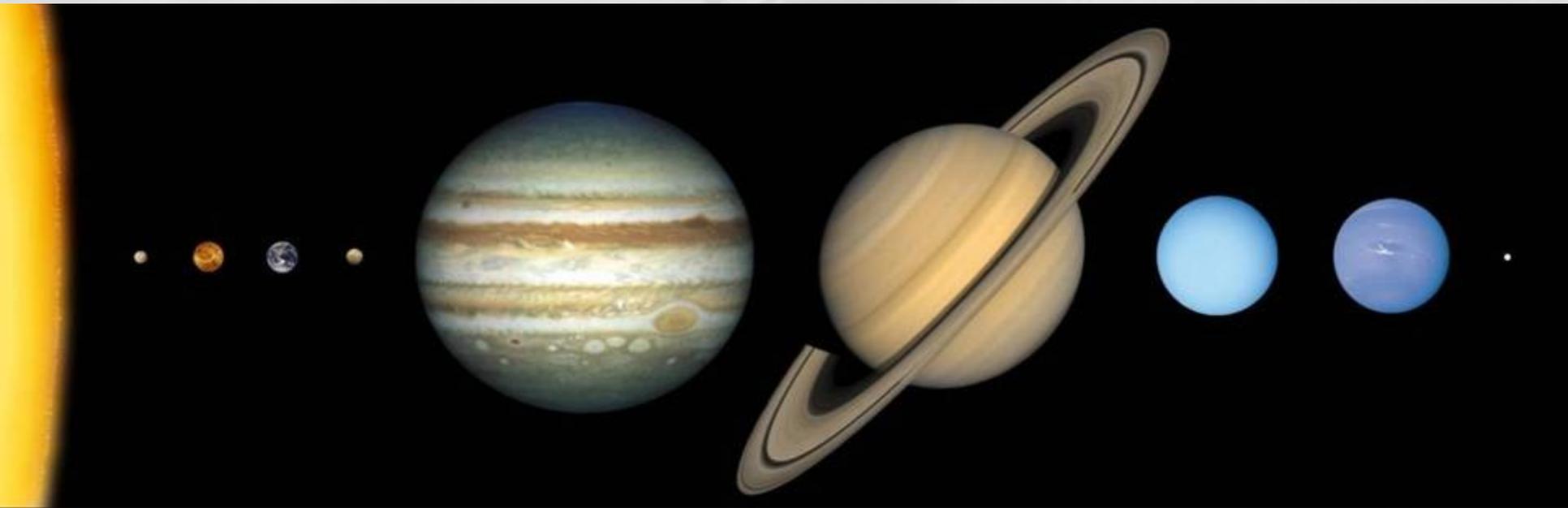
Atmosfera

- Camada de ar que envolve o planeta
- Importante conhecer seu ambiente de trabalho!



A Terra no Espaço

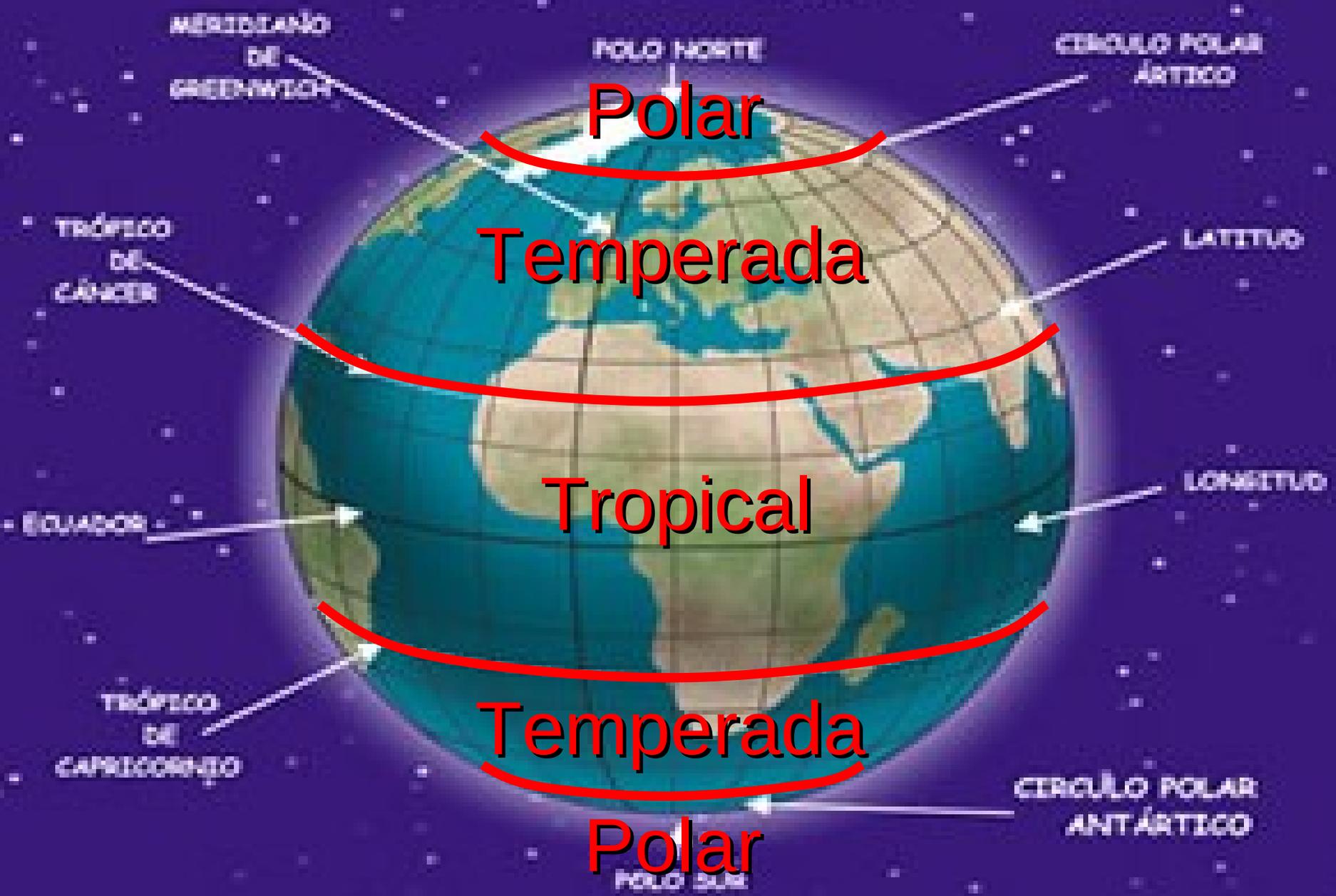
- Terra está 150 milhões de km distante do Sol



Rotação, Translação e Estações do ano

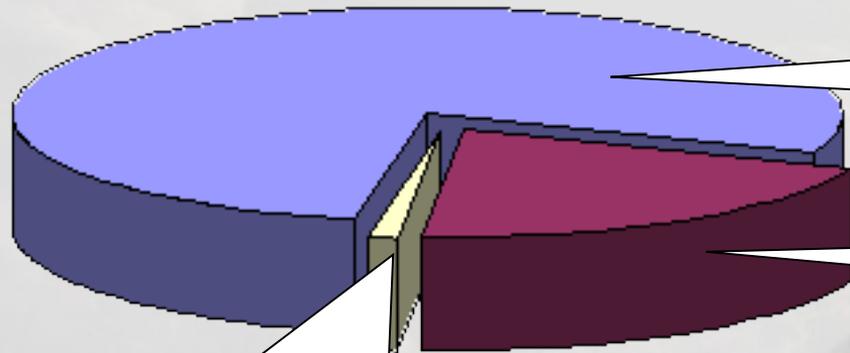


GLOBO TERRÁQUEO



Atmosfera

- Gases que a compõe o ar seco



78% Nitrogênio

21% Oxigênio

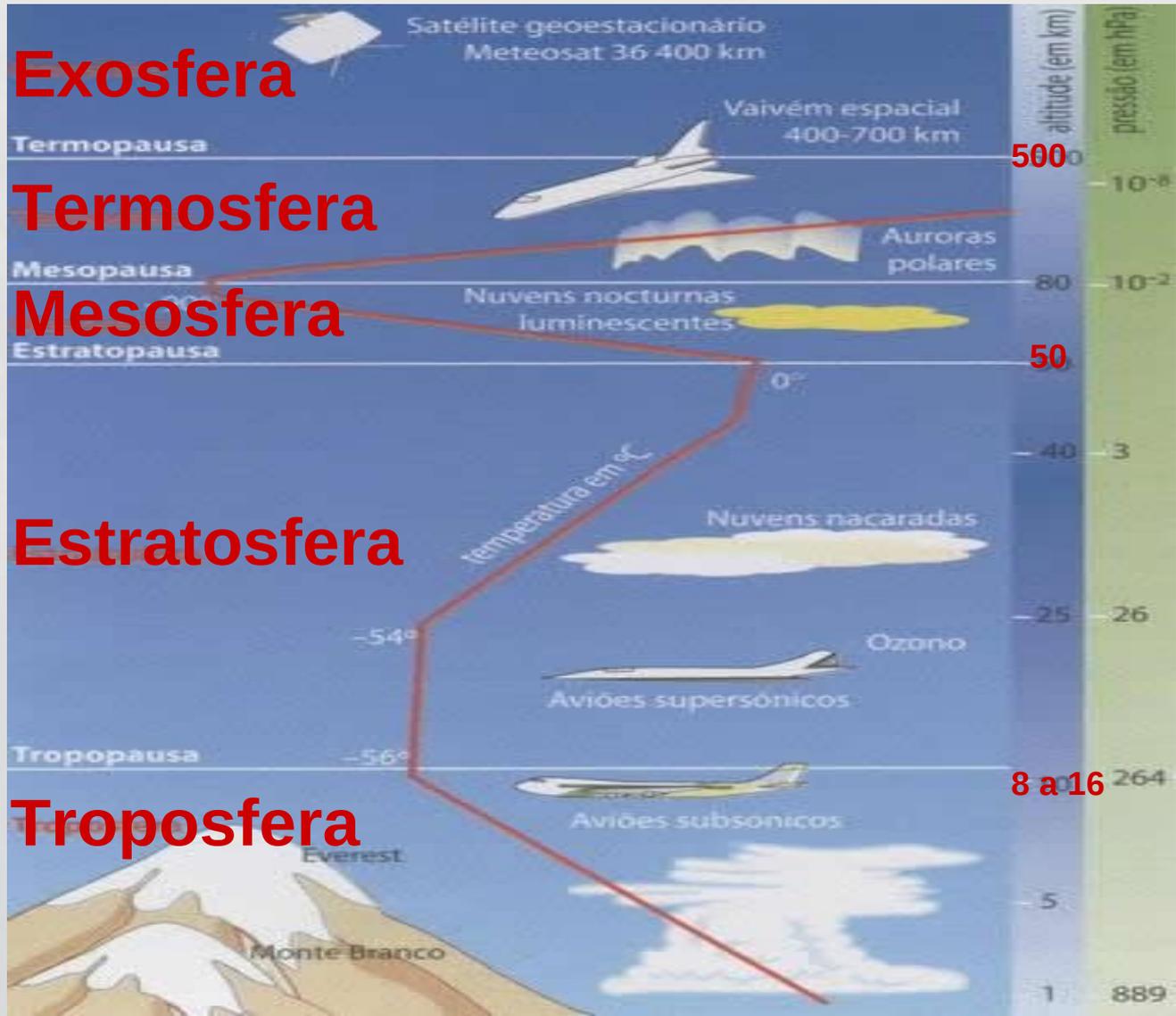
1% outros gases: Argônio,
Gás Carbônico, Hélio,
Metano, Neônio...

0 a 4%
vapor d'água

Camadas da atmosfera

Ionosfera

Camada de Ozônio



Troposfera

- Camada mais baixa
- Principais fenômenos meteorológicos
- Maioria dos vôos
- Temperatura cai $2^{\circ}\text{C}/1.000$ pés
- Podem ocorrer inversões térmicas
- Altitude: 17 a 19 km no Equador; 13 a 15 km nas latitudes temperadas e 7 a 9 km nos pólos em média (varia com horário)

Tropopausa

- Estreita região de transição entre troposfera e estratosfera (3 a 5 km)
- Isotermia (temperatura constante na vertical)



Estratosfera

- Começa a difusão da luz solar (azul)
- Camada de ozônio (entre 25 e 50 km);
filtram raios ultravioleta (UV)



Ionosfera (mesosfera e termosfera)

- Absorção de radiação mais energética (raios gama, raios X) e por isso ionizada
- Reflexão de ondas de rádio

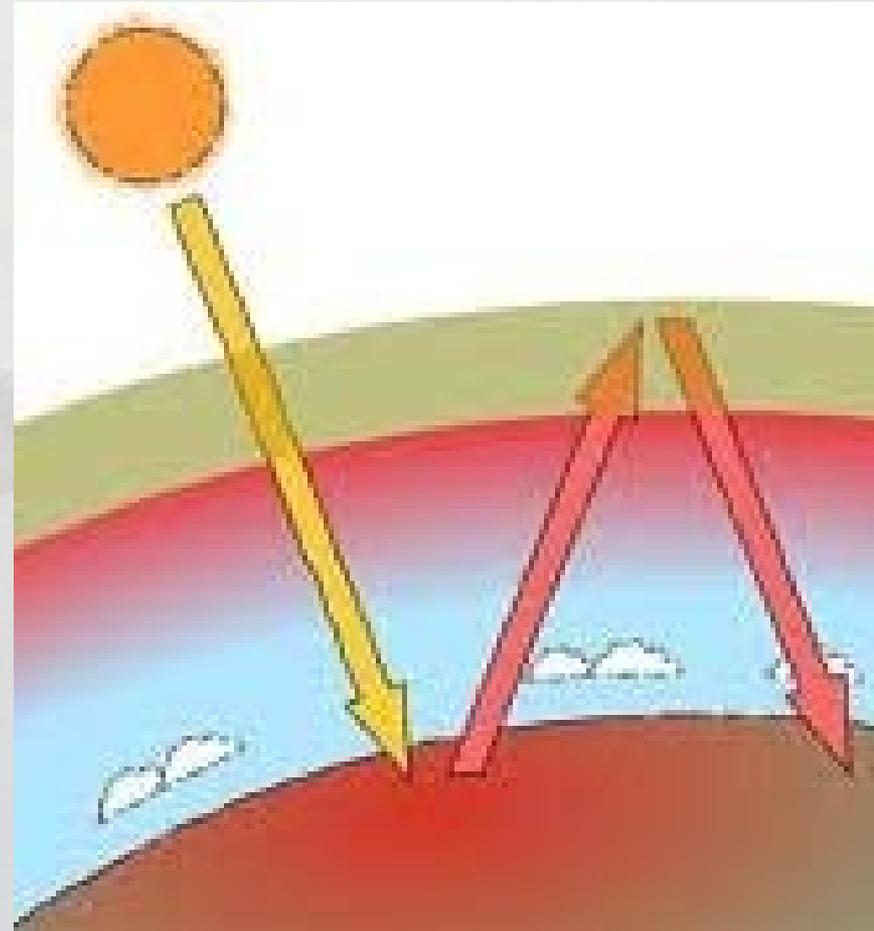
Exosfera

- Transição para espaço interplanetário



Energia solar na atmosfera

- Insolação: quantidade de energia solar que atinge a superfície
- Efeito estufa: planeta absorve energia solar e gases “prendem” o calor (radiação infravermelha)



		Visível			Ultravioleta			
Microondas	Infravermelho				UVA	UVB	UVC	Raios-X

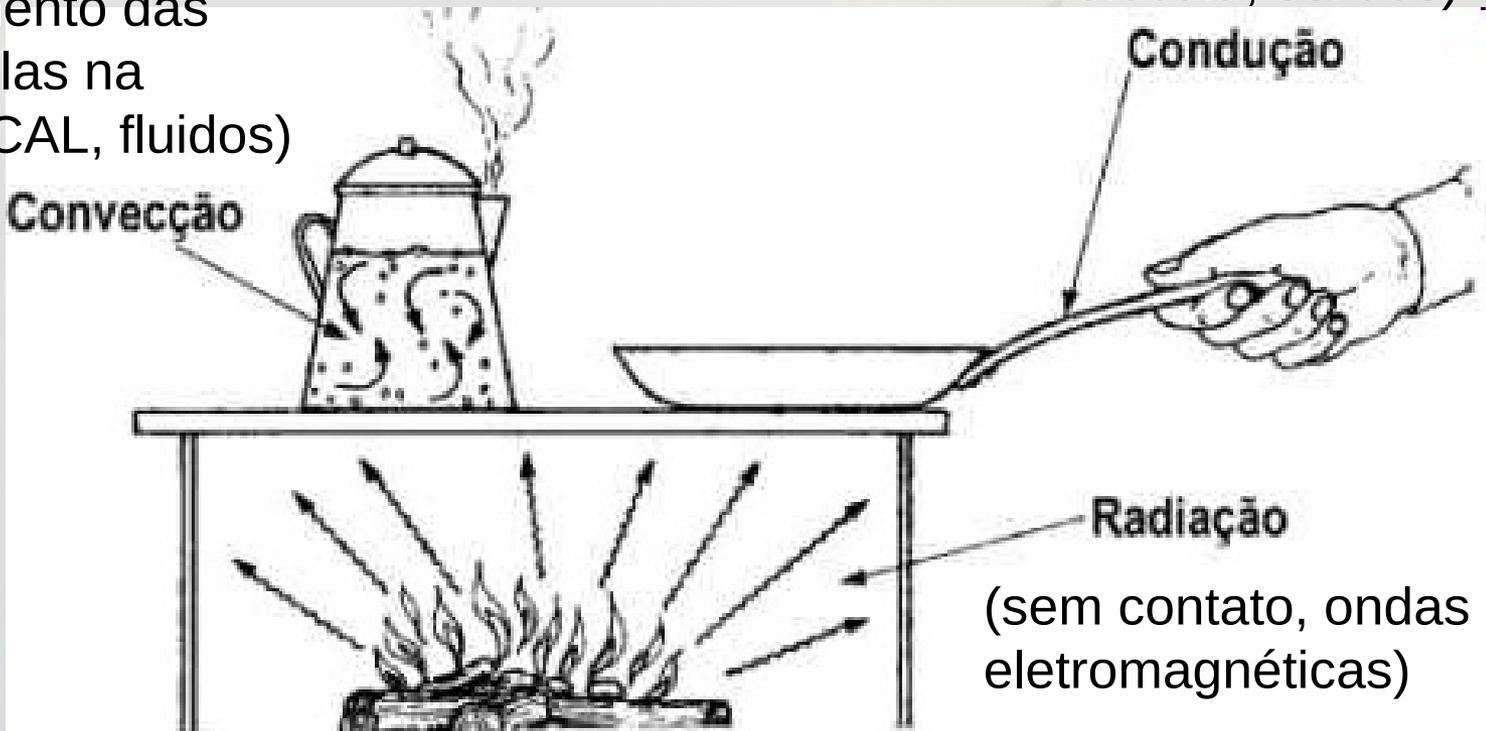
Temperatura x Calor

- **Temperatura:** medida do grau de agitação das moléculas
- **Calor:** forma de energia que indica o estado de agitação das moléculas
- Aquecimento => afastamento das moléculas => dilatação do corpo
- Exceção: água, dilata quando congela (cristalização aumenta espaços entre as moléculas)

Propagação de calor

(movimento das moléculas na VERTICAL, fluidos)

Convecção



(de molécula em molécula, sólidos)

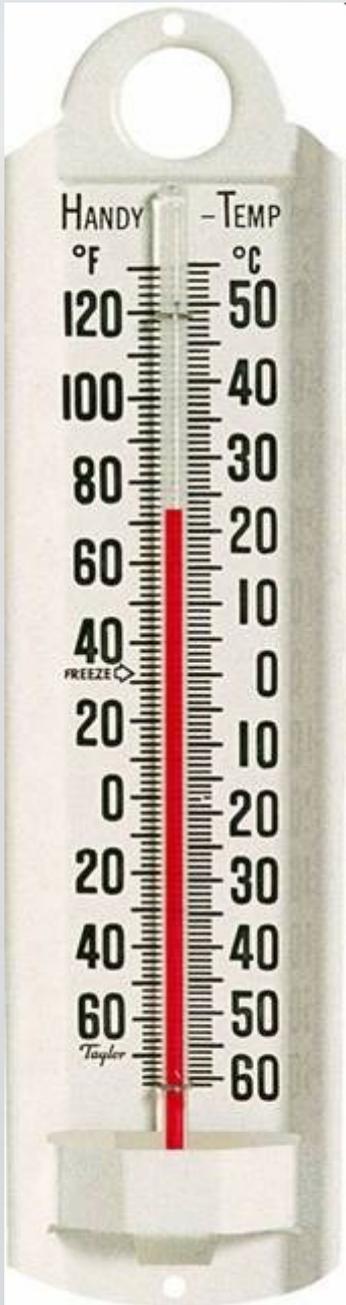
Condução

Radiação
(sem contato, ondas eletromagnéticas)

Advecção => (movimento das moléculas na HORIZONTAL, fluidos)

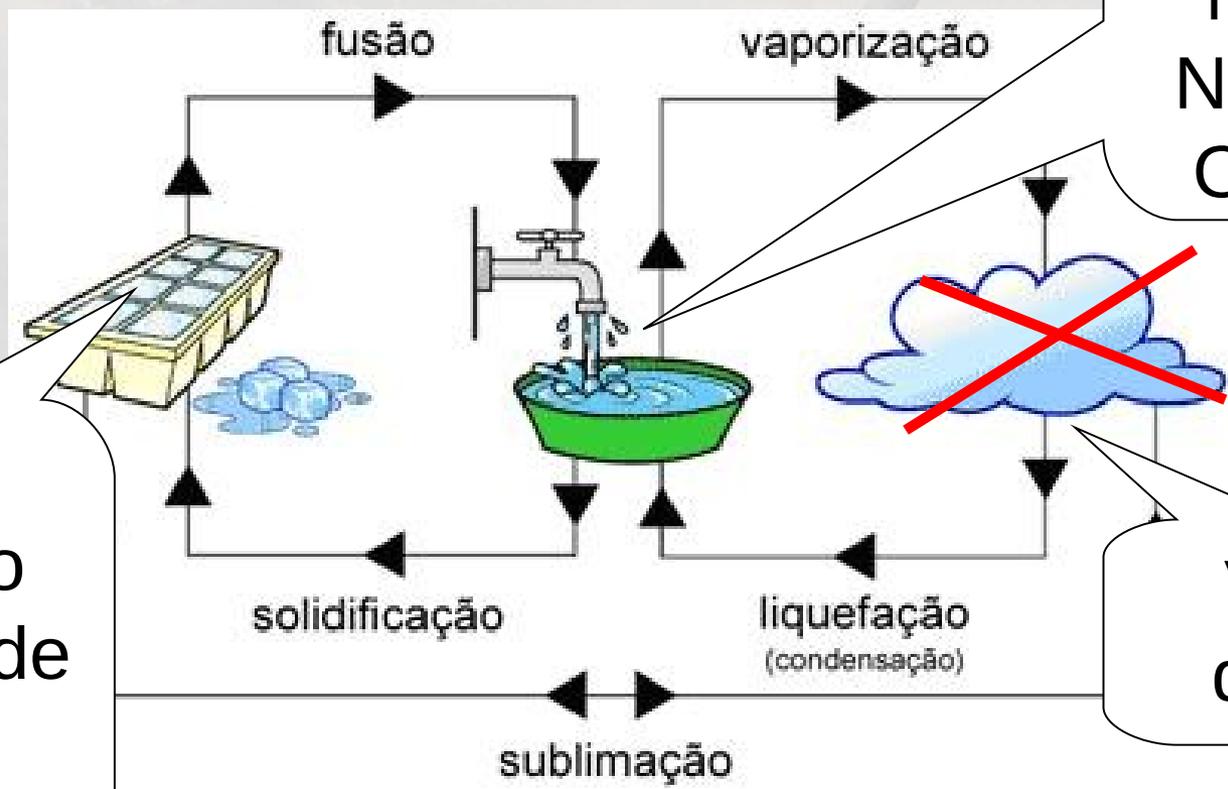
Temperatura

- Termômetro
- Termógrafo



Água na atmosfera

- Estados físicos da água



Chuva
Chuvisco
Nuvem
Nevoeiro
Orvalho

Neve
Granizo
Cristais de gelo
Geada

Vapor d'água

Água na atmosfera

- **Umidade do ar:** quantidade de vapor no ar
- **Umidade RELATIVA do ar:** relação entre a quantidade de vapor d'água e a capacidade de saturação do volume de ar
- **Temperatura do ponto de orvalho:** temperatura que o ar deve atingir para tornar-se saturado ($UR=100\%$). Ex: latinha de refrigerante

Atmosfera

- Ar seco x Ar úmido
- Peso molecular do $N_2 = 28\text{g/mol}$
- Peso molecular do $O_2 = 32\text{g/mol}$
- Peso molecular da $H_2O = 18\text{g/mol}$
- Para um mesmo volume, gases de maior massa “saem” para dar espaço a um gás mais leve (vapor d’água)

Higrômetro/higrógrafo

- Mede/registra a umidade relativa



Pressão atmosférica

- **Peso da coluna de ar sobre a superfície terrestre** (exercida em todos os sentidos)
- **Barômetro / Barógrafo**



Pressão atmosférica

- Sistema aberto
- Pressão **baixa**
- => **cavado**

- Sistema fechado
- Pressão **baixa**
- => **ciclone**



Baixa pressão
(permite convecção):
atmosfera instável

Alta pressão (inibe
convecção):
atmosfera estável

- Sistema aberto
- Pressão **alta**
- => **crista**

- Sistema fechado
- Pressão **alta**
- => **anticiclone**

Altitude-Densidade



- **Definição:** valor da altitude, obtido a partir da medida da pressão e temperatura (determina o quanto o ar está ou não mais denso)
- Quanto maior a temperatura, umidade, altitude e menor a pressão no nível médio do mar, maior é a altitude densidade (ex: horário quente do dia e baixa pressão causa grande altitude densidade, e avião precisará de mais pista ao decolar)

Variáveis atmosféricas

	Altitude	Densidade	Temperatura
Densidade	inversamente	-----	-----
Temperatura	inversamente	inversamente	-----
Pressão	inversamente	diretamente	inversamente
Umidade	-----	inversamente	-----
Altitude-Densidade	-----	-----	diretamente

$$d = \frac{m}{V}$$



$$P = \frac{F}{A}$$



Atmosfera Padrão (ISA)

- Atmosfera idealizada obtida por médias climatológicas
- **Temperatura ao nível do mar:** 15°C ou 59°F
- **Gradiente vertical térmico:** 0,65°C/100m ou 2°C/1000 pés
- **Pressão ao nível do mar:** 1013,25 hPa ou 29,92 polHg ou 760 mmHg
- **Gradiente vertical bórico:** 1hPa/30ft (1hPa/9m) ou 1polHg/1000ft (1polHg/300m)

Atmosfera Padrão (ISA)

- **Altura da atmosfera:** 20.000 metros ou 65.800 pés (troposfera e tropopausa)
- **Densidade ao nível do mar:** $1,225 \text{ kg/m}^3 = 0,001225 \text{ g/cm}^3$
- **Peso molecular do ar seco:** 28,966 g
- **Peso específico do ar ao nível do mar:** $1,2013 \text{ g/m}^2\text{s}^2$
- **Aceleração da gravidade:** $980,31 \text{ cm/s}^2$
- **Temperatura da tropopausa:** $- 56,5^\circ\text{C}$
- **Latitude:** 45°
- **Velocidade do som ao nível do mar:** 660 nós ou 340 m/s

- **Ajuste do altímetro (QNH):** pressão da estação reduzida ao nível do mar de acordo com os parâmetros da atmosfera padrão
- **Pressão padrão (QNE):** é a pressão padrão ao nível do mar, cujo valor é 1013,25 hPa

Vento

- Ar em movimento, causado pela diferença de pressão => circulação atmosférica (da ALTA pressão para BAIXA pressão)



CONVECÇÃO

ADVECÇÃO

Ventos – forças atuantes

- **Força do gradiente de pressão:** surge devido à diferença de pressão
- **Força centrífuga:** Tendência de “jogar” objetos pra fora de movimento curvo
- **Força de Coriolis:** Força aparente, age em grandes corpos desviando a trajetória
- **Força de atrito:** Contrária ao movimento, devido à rugosidade da superfície

Atmosfera livre

600 m

Camada de transição:

intensidade do vento aumenta com altura

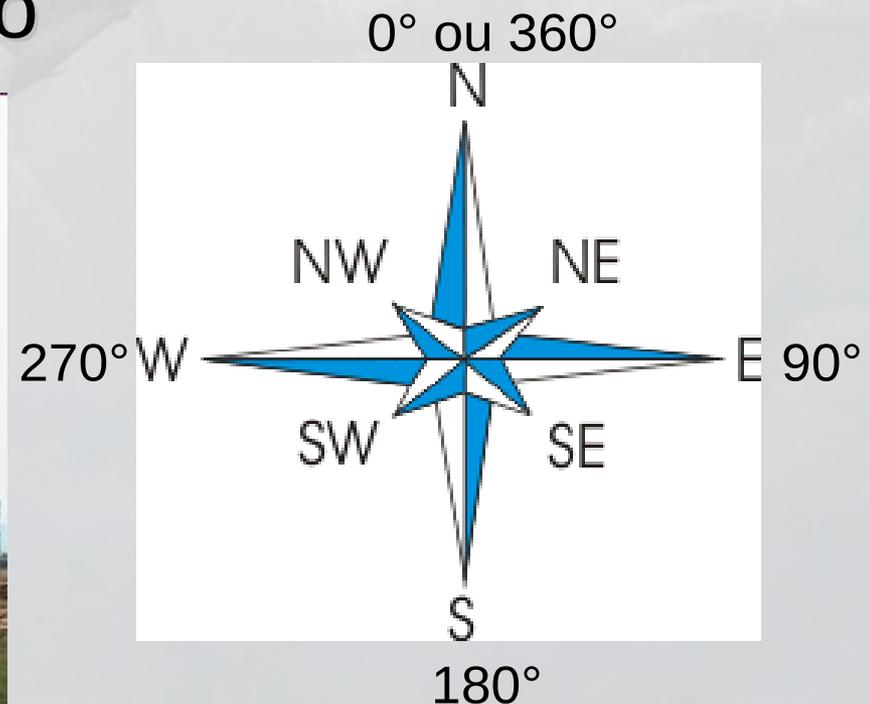
100 m

Camada limite: ventos de superfície, muito irregulares devido ao relevo

Camada de fricção

Vento

- **Velocidade** (intensidade): expressa em nós(kt)
- **Direção** (e sentido): de onde vem o vento
- **Caráter** (regularidade): rajada ou contínuo
- **Anemômetro/anemógrafo**



Vento

- Correntes de jato (*jet stream*): circulação em níveis elevados (~9 mil metros) no sentido oeste-leste que representam máximos de velocidade do vento (acima de 100 kt)
- Efeitos em aeronaves: pouso e decolagem (de proa), em rota (de cauda), cálculo de combustível na rota, correção de deriva

Nuvens

- Expressão direta do estado da atmosfera
- Precisa de **núcleo de condensação** (partícula sólida onde o **vapor d'água** vai condensar) e o ar deve atingir a **saturação**, através de **acréscimo de vapor d'água** (evaporação) ou **resfriamento**
- Processos: advecção, radiação, convecção, efeito orográfico, efeito dinâmico

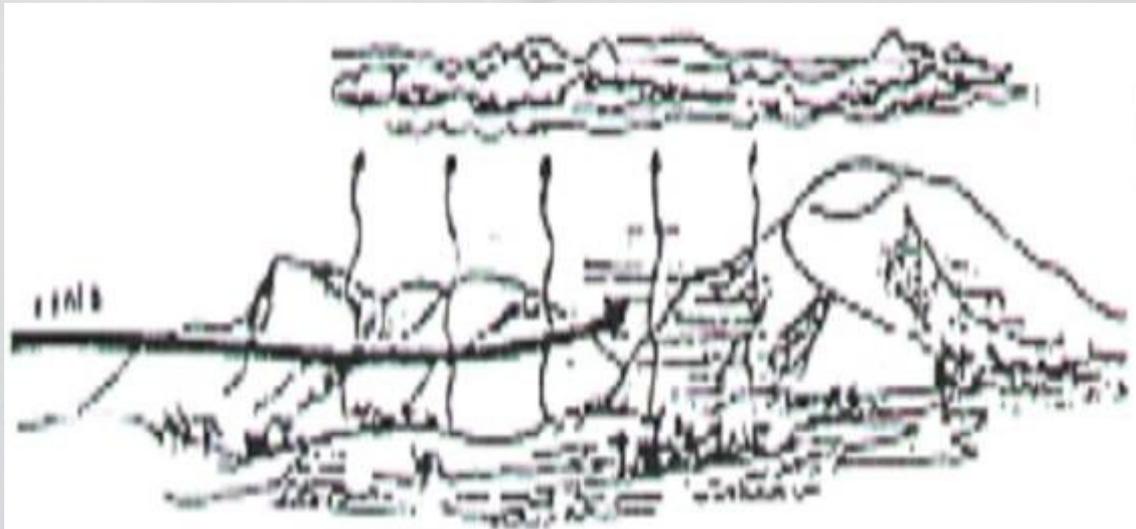
Advecção

- Resfriamento é provocado por ventos frios resfriando regiões quentes



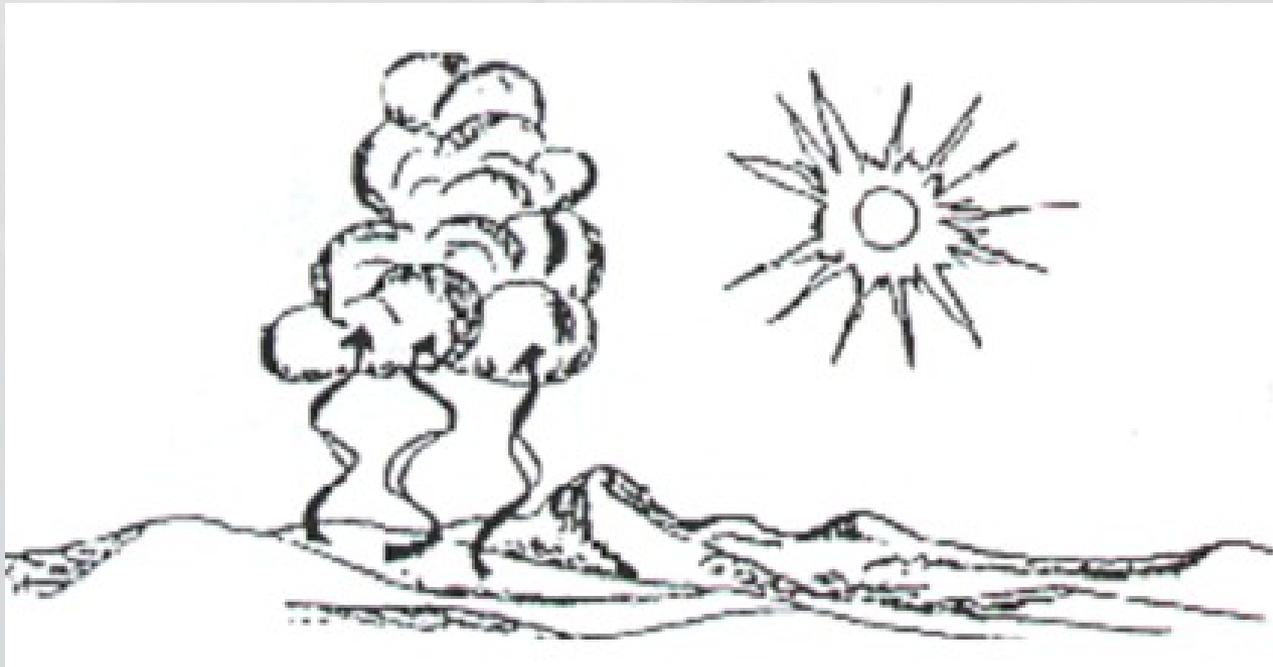
Radiação

- Superfície é aquecida durante o dia e resfria rapidamente conforme diminui a insolação, esfriando também o ar e o aproximando da saturação



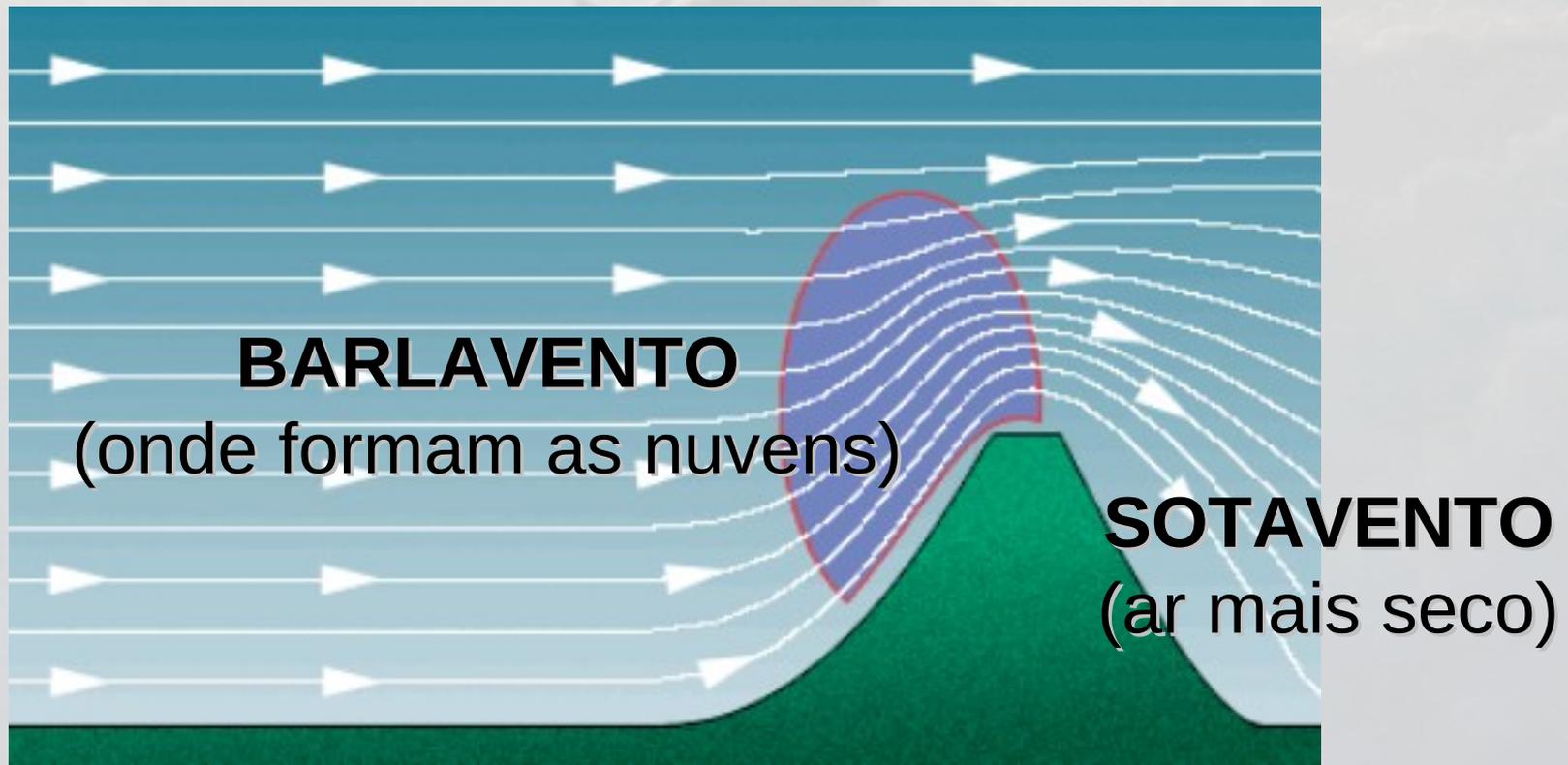
Convecção

- Superfície aquecida pelo sol aquece o ar, que se eleva em correntes ascendentes, expande e resfria



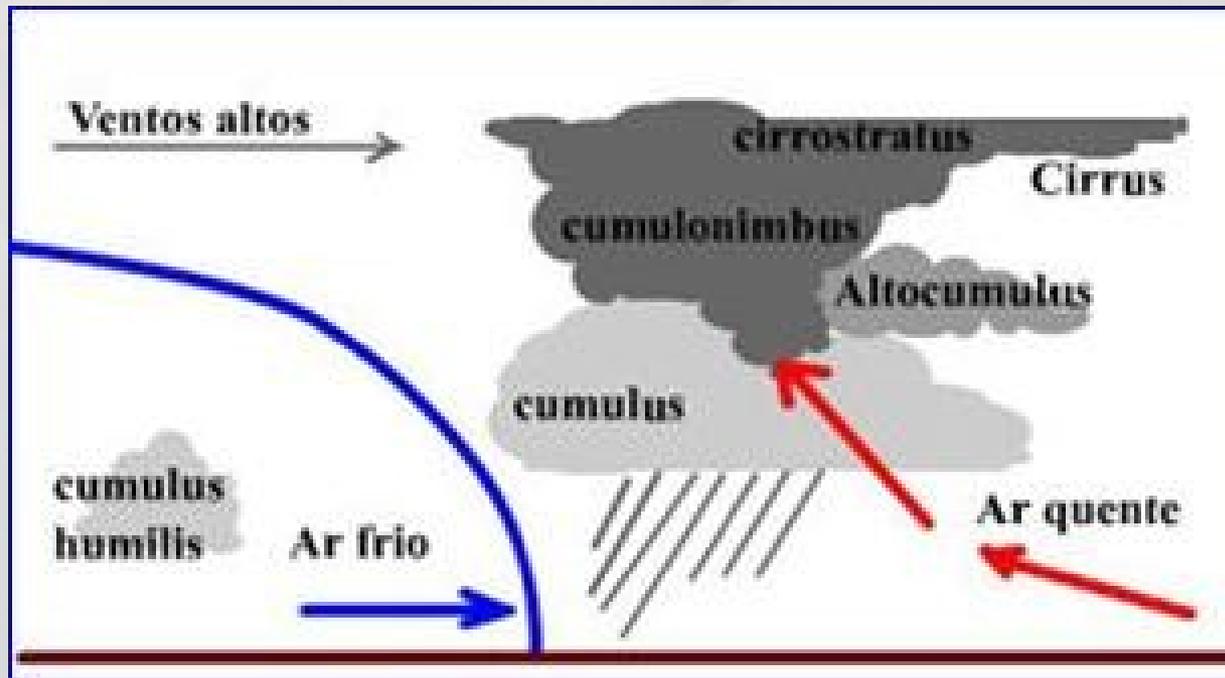
Efeito orográfico

- Ar que flui contra uma montanha é forçado a elevar-se e esfria por expansão, saturando e formando nuvem



Efeito dinâmico

- O avanço de uma massa de ar frio empurra uma massa de ar quente para cima, que por sua vez esfria e condensa (ex: frentes frias)



Classificação de nuvens

CIRRUS

CUMULONIMBUS

45,000 ft

3 miles

40,000 ft

7 miles

35,000 ft

6 miles

30,000 ft

CIRROSTRATUS

5 miles

25,000 ft

20,000 ft

ALTOSTRATUS

15,000 ft

3 miles

10,000 ft

2 miles

NIMBOSTRATUS

STRATOCUMULUS

CUMULUS

5,000 ft

1 mile

STRATUS

0 ft

0 miles

Typical altitudes of cloud bases for mid-latitude regions



Classificação de nuvens

CI – Cirrus
CS – Cirrostratus
CC – Cirrocumulus

} Altas

AS – Altostratus
AC – Altocumulus
NS – Nimbostratus

} Médias

ST – Stratus
SC – Stratocumulus
CU – Cumulus
CB – Cumulonimbus

} Baixas

- **Estratiformes** ('stratus'):
Grande desenvolvimento
horizontal



- **Cumuliformes** ('cumulus'):
Grande desenvolvimento
vertical

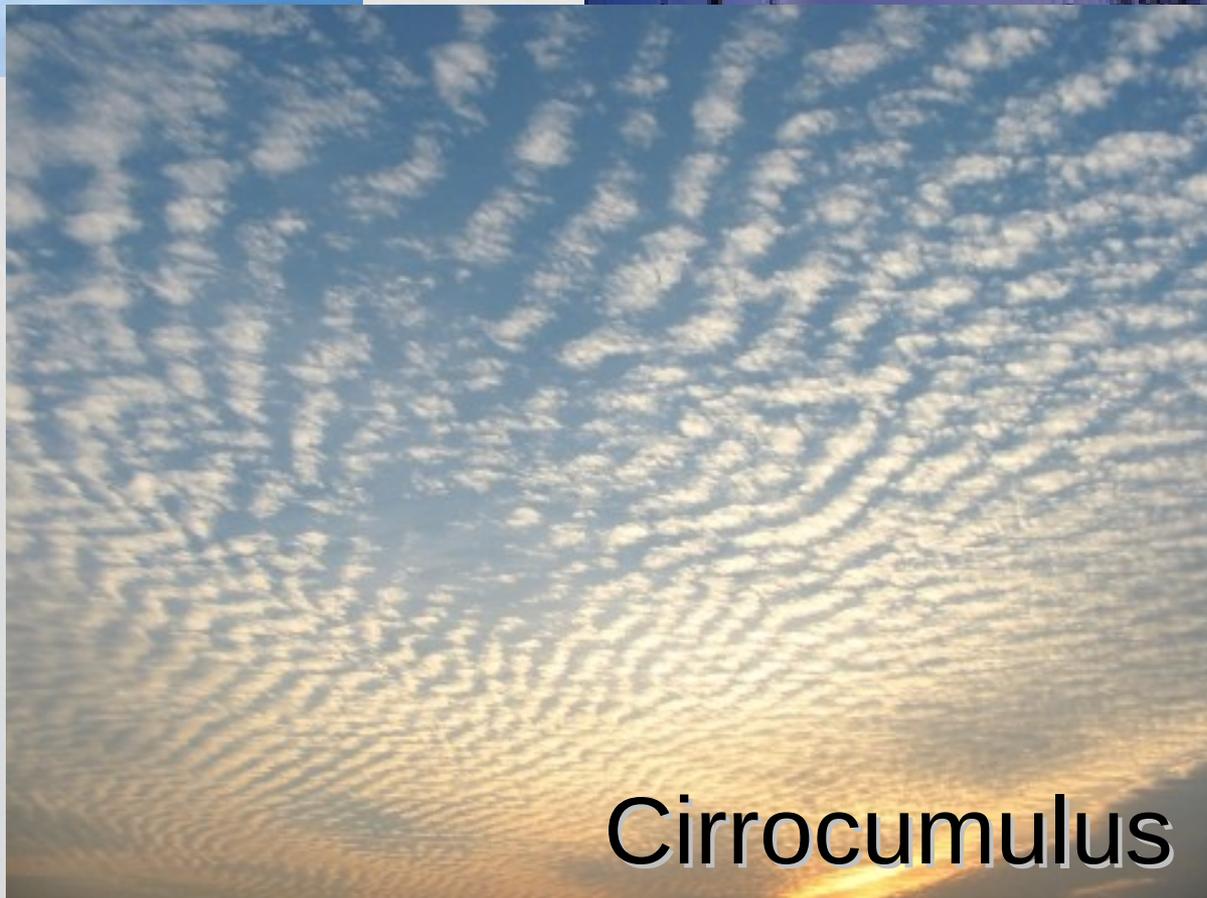




Cirrus



Cirrostratus



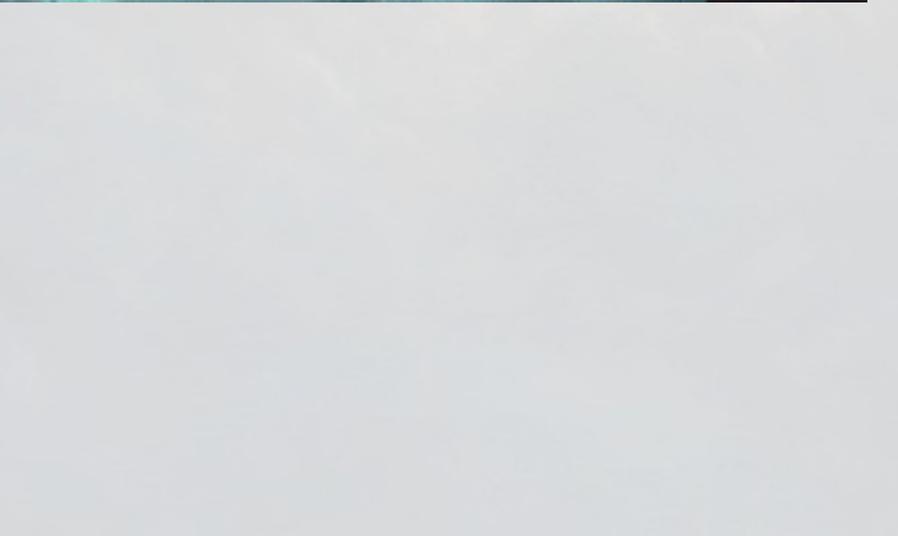
Cirrocumulus



Alto cumulus



Altostratus



Nimbostratus



Cumulus



Stratocumulus



Stratus



Cumulonimbus



CABEÇA: **CI - CIRRUS**
CS - CIRRUSTRATUS
CC - CIRRUSCUMULUS

ABDOMEN: **AS - ALTOSTRATUS**
AC - ALTOCUMULUS
NS - NIMBOSTRATUS

SAPATO: **ST - STRATUS**
SC - STRATUSCUMULUS

CALÇADO: **CU - CUMULUS**
CB - CUMULONIMBUS

Trilhas de condensação (*contrail*)

- Gases quentes que saem das turbinas encontram ar mais frio ao redor e vapor d'água condensa/congela
- Queda de pressão/temperatura no centros dos vórtices que partem das pontas das asas
- Altitude: 8 a 10 mil metros
- Temperatura: $< -35^{\circ}\text{C}$
- Umidade: 65%



Restrição à visibilidade

- Nevoeiros (UR > 97%): nuvem colada à superfície (visibilidade < 1 km)
- Névoa úmida (UR > 80%) e Seca (UR < 80%): partículas sólidas menores e mais dispersas (visibilidade > 1 km)



Tipos de nevoeiros

- Classificam-se conforme o processo de formação

Nevoeiro de radiação

Nevoeiro de advecção

de vapor

Marítimo

de brisa marítima

orográfico

frontal

Nevoeiro de radiação

- Formado pelo resfriamento do ar em contato com uma superfície esfriada por radiação noturna, principalmente em noites sem nuvens e com ventos fracos. Ocorre de preferência na primavera e inverno.

Nevoeiro de advecção

- Formado quando uma massa de ar quente e úmida se move sobre uma superfície fria. Muitas vezes se forma como nevoeiro de radiação e se move devido a um vento fraco. Se o vento for moderado ou forte, o nevoeiro dissipa.

Nevoeiro de vapor

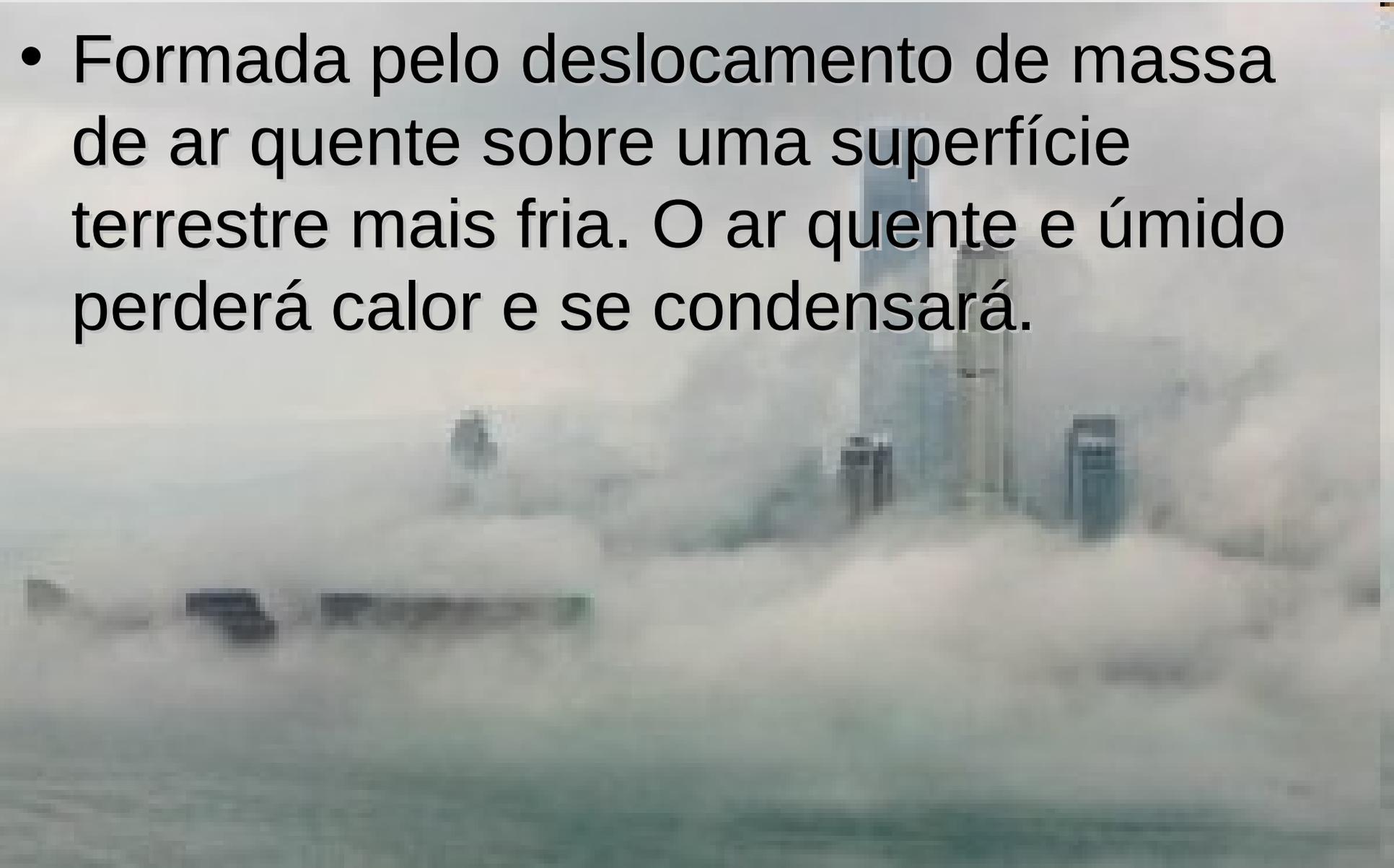
- Ocorre quando o ar frio se desloca sobre uma superfície líquida mais quente (comum sobre rios, lagos, pântano, especialmente no outono e inverno)

Nevoeiro marítimo

- Formado sobre o mar, quando o deslocamento da massa de ar quente e úmida for advectado sobre a água mais fria. O ar quente e úmido perderá calor por contato ocorrendo a condensação, ocorre principalmente na primavera e verão

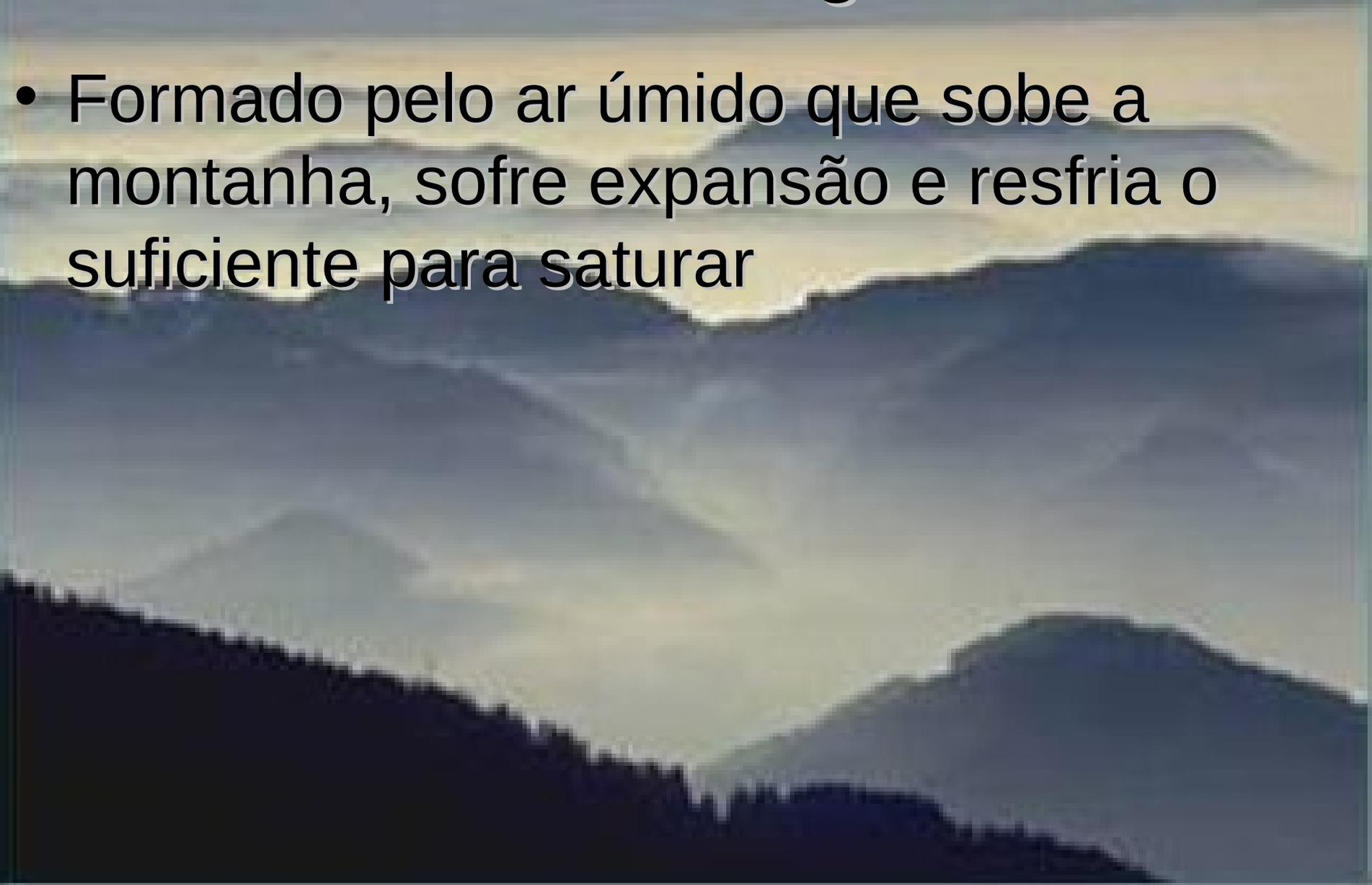
Nevoeiro de brisa marítima

- Formada pelo deslocamento de massa de ar quente sobre uma superfície terrestre mais fria. O ar quente e úmido perderá calor e se condensará.



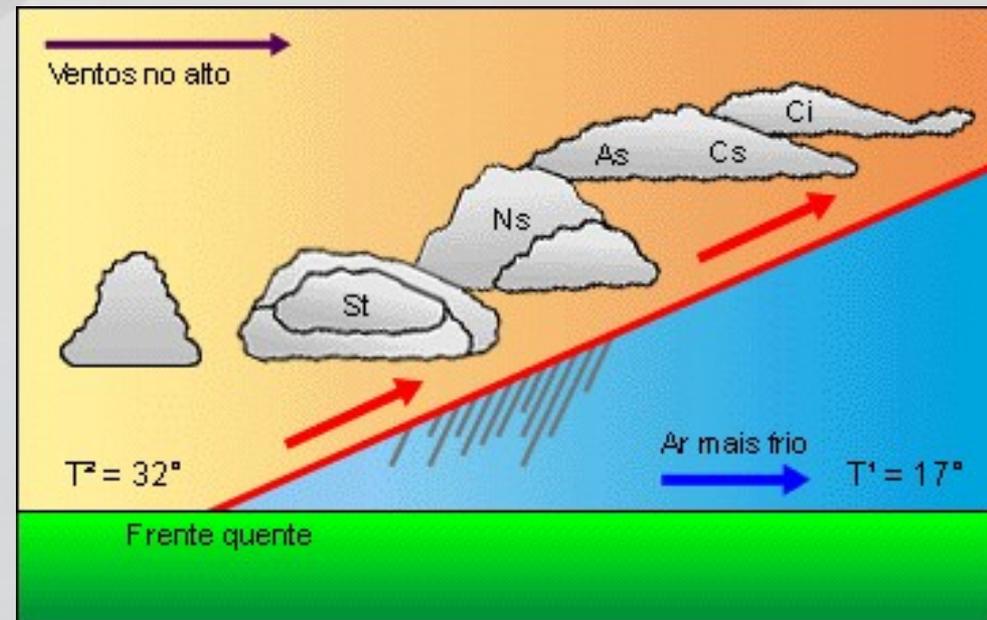
Nevoeiro orográfico

- Formado pelo ar úmido que sobe a montanha, sofre expansão e resfria o suficiente para saturar



Nevoeiro frontal

- A chuva pode aumentar a temperatura do ponto de orvalho até que nevoeiro seja formado sem resfriamento da camada de ar inferior (ex: lado frio adiante de uma frente quente)

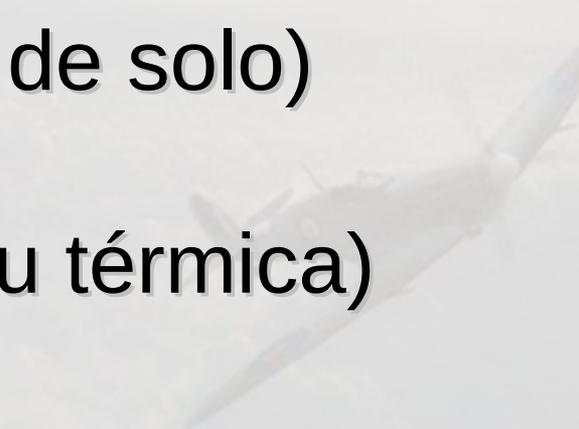


Restrição à visibilidade

- Nevoeiro
- Névoa (úmida e seca)
- Fumaça
- Poeira
- Cinzas vulcânicas
 - danifica superfícies
 - gruda nas hélices/turbinas
 - pouco oxigênio
 - danifica aparelhos de medição



Turbulência

- Classificam-se conforme o processo de formação:
 - Mecânica (ou de solo)
 - Orográfica
 - Convectiva (ou térmica)
 - Dinâmica
 - Classificam-se também quanto à intensidade:
 - Leve
 - Moderada (necessário cinto de segurança)
 - Forte (aeronave pode ficar fora de controle)
 - Severa (possíveis danos estruturais)
- 

Turbulência mecânica (de solo)

- Resulta do atrito de ventos fortes com a superfície (obstáculos obrigam turbulência a se expandir na vertical)



Turbulência orográfica

- Onda se forma depois do vento passar sobre a montanha



The diagram illustrates the propagation of atmospheric waves over a mountain range. A vertical dashed line on the left represents the wind direction. As the wind passes the mountain, it creates a series of wave-like disturbances in the air. These waves are labeled as 'Ondas a sotavento atrapadas' (downwind trapped waves). The wave crests are associated with 'Nubes lenticulares' (lenticular clouds), which are depicted as white, lens-shaped clouds. The troughs of the waves are associated with 'Turbulencia y cizalladura' (turbulence and shear), indicated by small circular arrows showing the swirling motion of the air.

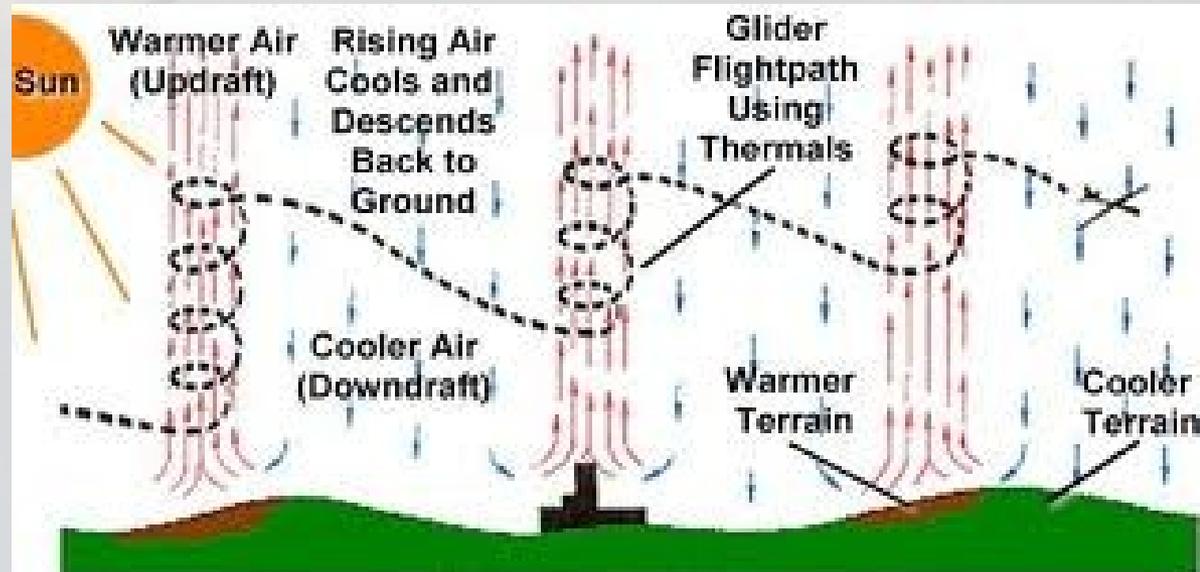
Ondas a sotavento atrapadas

Nubes lenticulares

Turbulencia y cizalladura

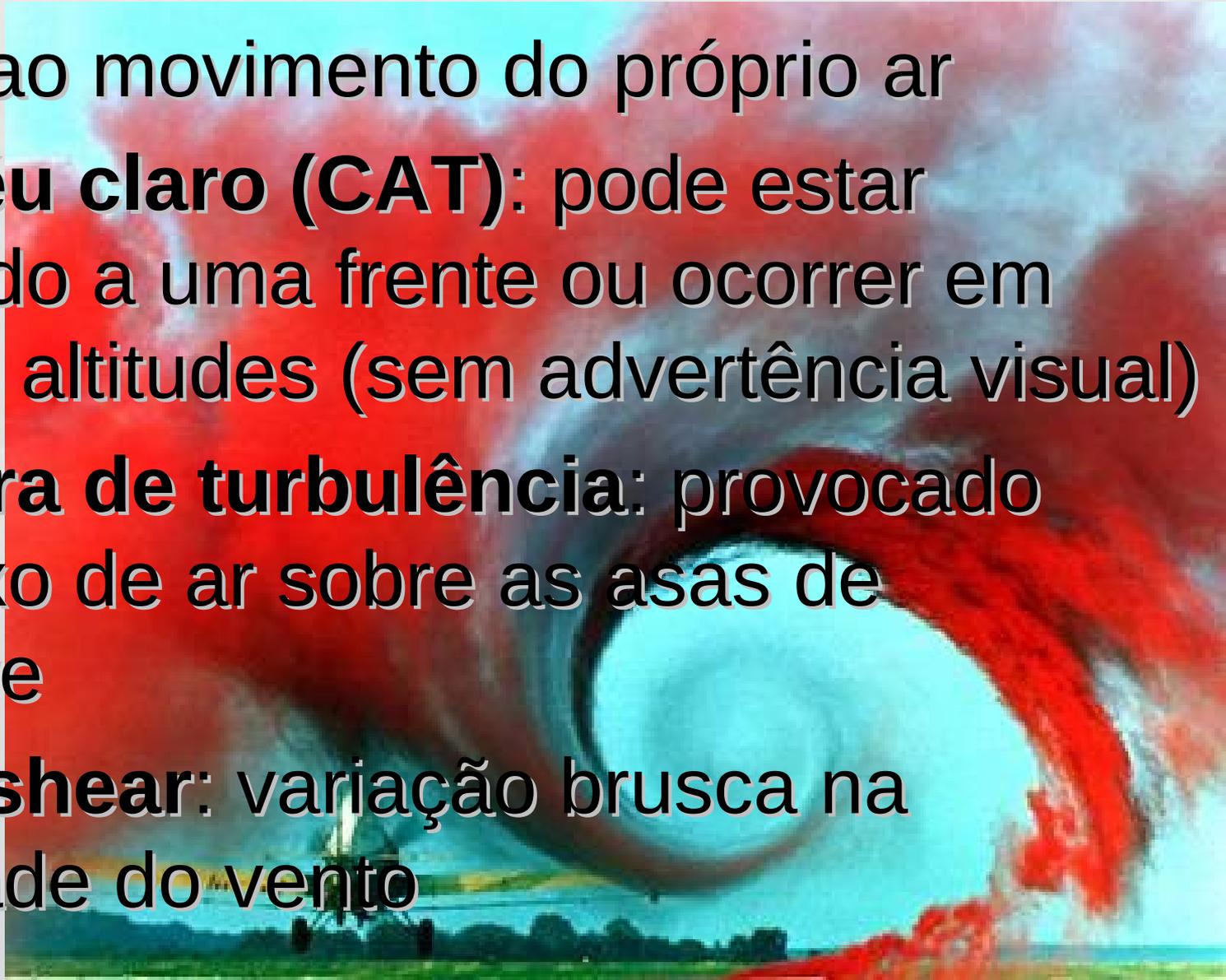
Turbulência convectiva (térmica)

- Forma-se durante o processo convectivo (escoamentos caóticos)
- Mais intensa no verão a tarde sobre os continentes e a noite sobre oceanos (períodos onde a convecção é mais intensa)



Turbulência dinâmica

- Devido ao movimento do próprio ar
- **a) de céu claro (CAT):** pode estar associado a uma frente ou ocorrer em grandes altitudes (sem advertência visual)
- **b) esteira de turbulência:** provocado pelo fluxo de ar sobre as asas de aeronave
- **c) windshear:** variação brusca na velocidade do vento

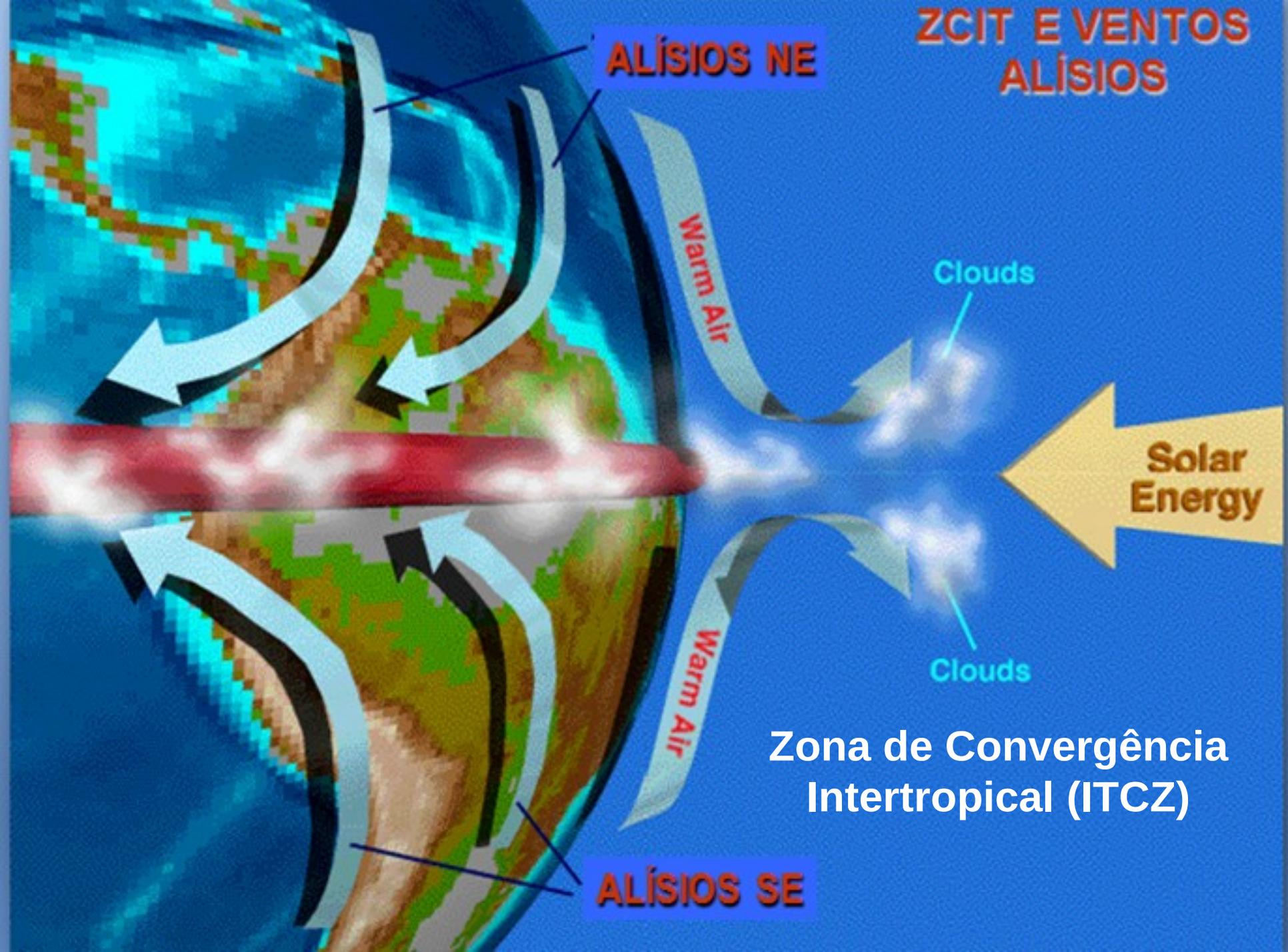


Massas de ar

- Grandes volumes de ar, cobrindo extensões da superfície da terra, que apresentam características físicas mais ou menos uniformes na horizontal
- Adquire características físicas da superfície, que passar a ser a sua origem
- Frentes: Encontro de duas massas de ar com características diferentes

Massas de ar

- **MASSA DE AR QUENTE**
 - Quando uma massa de ar se desloca sobre uma superfície mais fria
 - Geralmente estáveis (favorecem nevoeiros e nebulosidade estratificada)
- **MASSA DE AR FRIO**
 - Quando uma massa de ar se desloca sobre uma superfície mais aquecida do que ela
 - Geralmente mais instáveis (boa visibilidade e nebulosidade cumuliforme e trovoadas)



ALÍSIOS NE

ZCIT E EVENTOS ALÍSIOS

Warm Air

Clouds

Solar Energy

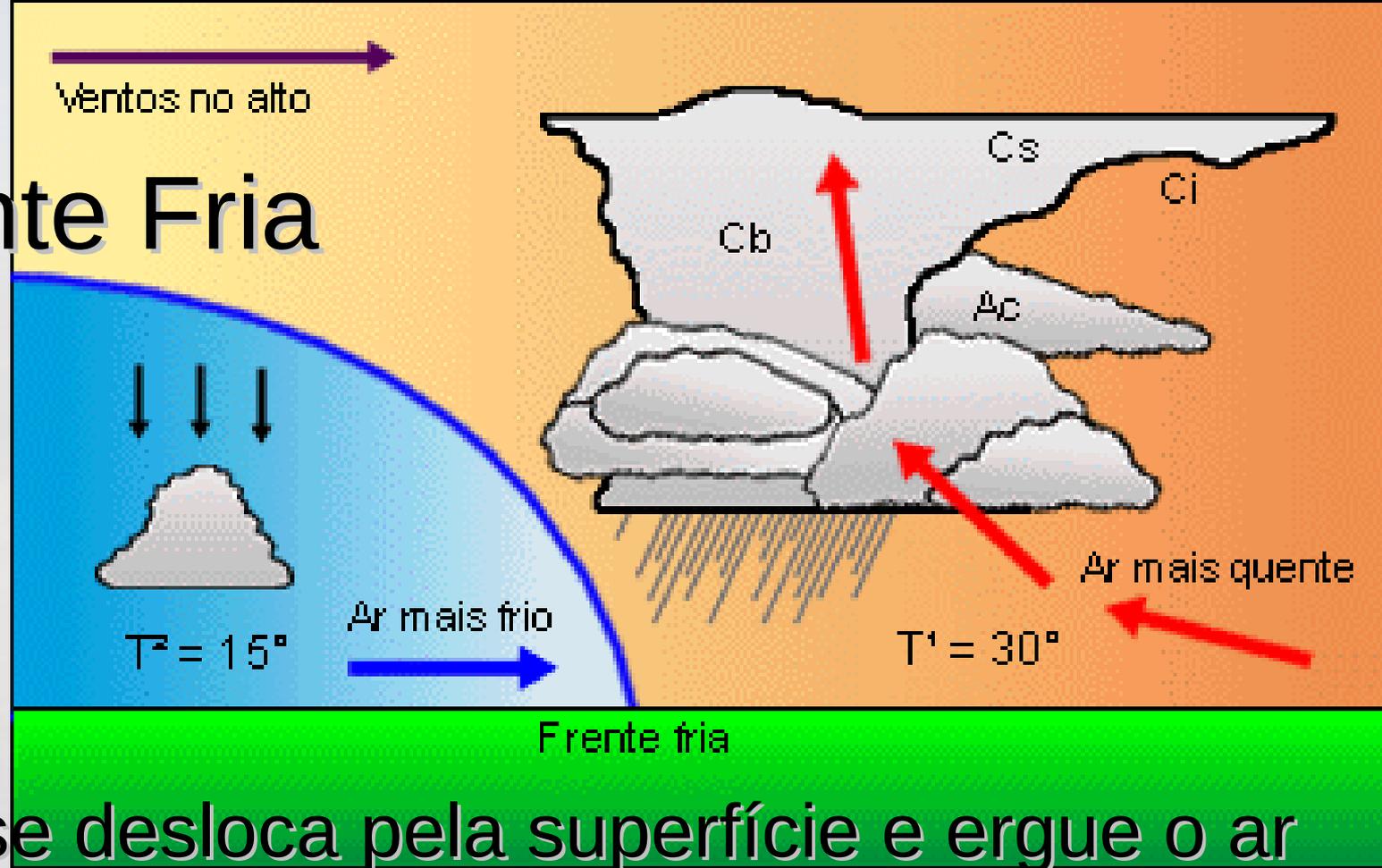
Warm Air

Clouds

Zona de Convergência Intertropical (ITCZ)

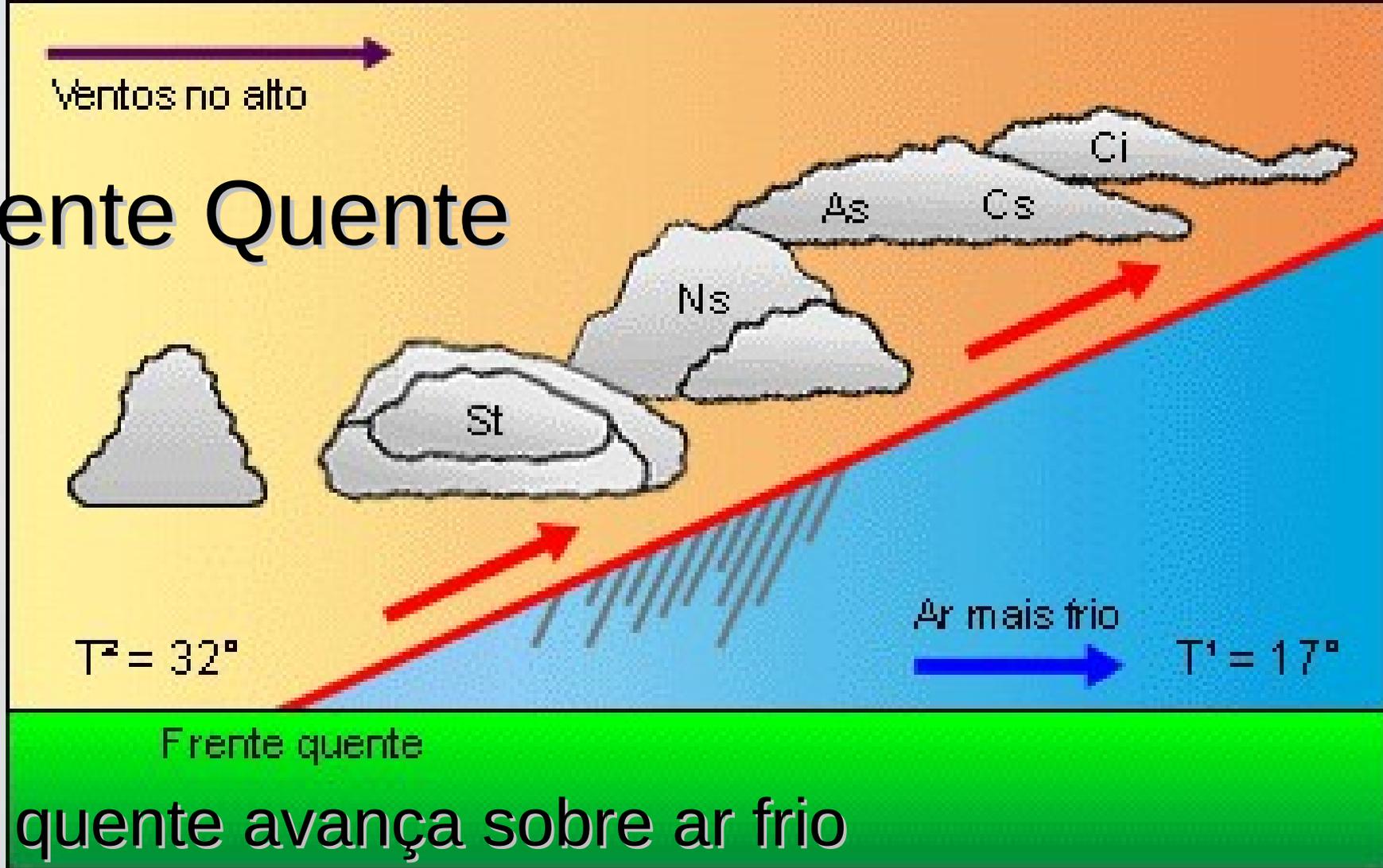
ALÍSIOS SE

Frente Fria



- Ar frio se desloca pela superfície e ergue o ar quente à frente
- Temperatura cai e pressão aumenta
- Desloca-se de SW para NE no hemisfério Sul e de NW para SE no hemisfério Norte

Frente Quente



- Ar quente avança sobre ar frio
- Temperatura aumenta e pressão cai
- Desloca-se de NW para SE no hemisfério Sul e de SW para NE no hemisfério Norte

Frente estacionária

- Cessa o movimento horizontal relativo entre as massa de ar
- Muita nebulosidade, característica do tipo de frente que deu origem ao sistema

Frente oclusa

- Frente fria encontra frente quente



Trovoadas

- Conjunto de fenômenos que ocorre associados a uma nuvem cumulonimbus:
- Trovões
- Relâmpagos
- Granizo
- Rajadas de vento
- Turbulência
- Chuva forte
- Gelo





1) Fase Cumulus

- Surgem como cumulus isolados
- Predominância de correntes ascendentes



2) Fase de maturidade



3) Fase de dissipação

- Predominância de correntes descendentes
- Laterais espalham em camadas para os lados



Radome (radar dome)

- Detectar chuva/granizo



Gelo

- Condições favoráveis à formação: água e temperatura abaixo do ponto de congelamento
- Gelo claro / cristal
- Gelo amorfo / opaco / escarcha
- Gelo misto: combinação dos anteriores

	Estratiforme	Cumuliforme
Claro	-----	0 e -10°C
Opaco	0 e -10°C	-10 e -20°C



Gelo claro / cristal

- Gotas colidem, se deformam e fluem pela superfície da aeronave
- Mais denso/pesado, aderente e translúcido





Gelo amorfo / opaco / escarcha

- Gotas congelam imediatamente após impacto
- Espaço entre bolhas o tornam quebradiço, mais leve e esbranquiçado



Gelo

- Externamente: superfícies expostas (altera perfil aerodinâmico e adiciona peso), antenas, rotor e hélices (reduz tração/velocidade de voo)
- Internamente: tubos de Pitot, carburadores (reduz entrada de ar) e tomadas de ar
- Anticongelantes: compostos químicos que se adicionam aos líquidos para congelar a uma temperatura mais baixa que o habitual



Luva de proteção mecânica (quebra-gelo)



PURÔ GESSÓ



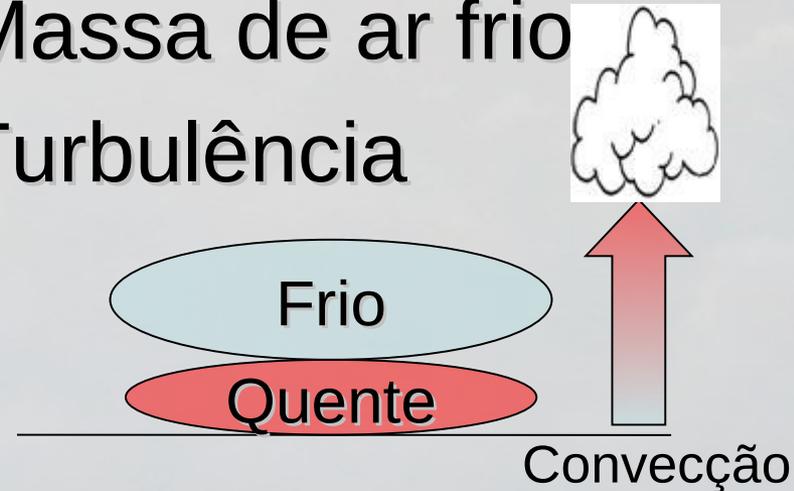
- Nuvens estratiformes
- Precipitação leve, longa duração e cobre grandes áreas
- Nevoeiro/névoa
- Alta pressão
- Massa de ar quente



Atmosfera ESTÁVEL

noite

- Nuvens cumuliformes
- Precipitação forte, curta duração e localizada
- Visibilidade boa
- Baixa pressão
- Massa de ar frio
- Turbulência



Atmosfera INSTÁVEL

dia

TORNADO

X

FURACÃO



Diâmetro: centenas de metros

Duração: minutos a horas

Forma-se com vento forte, em cisalhamento, principalmente sobre o continente

Ventos: 65 a 530 km/h

Diâmetro: centenas de quilômetros

Duração: dias a semanas

Forma-se só com ventos fracos e somente sobre o oceano com águas quentes

Ventos: 118 a 300 km/h