

Sumário

Apresentação do curso.

Sistema climático. A atmosfera da Terra. Composição.
Estrutura vertical média.

Pedro Miranda (pmmiranda@fc.ul.pt)

Skype: pedro.m.a.miranda

Meteorologia

Bibliografia

Miranda PMA, 2009, Meteorologia e Ambiente, 2ª ed., Univ Aberta.

Miranda PMA, 2017, Introdução à Meteorologia, fenix/teams.

Wallace and Hobbs, 2006, Atmospheric Science and Introductory Survey, 2ª ed.

Exercícios

Diagramas

Exames resolvidos

Protocolo

Contactos:

pmmiranda@fc.ul.pt 8.3.38

Skype: pedro.m.a.miranda

Estrutura semanal do curso

2 teóricas

1 TP

1 PL

Dúvidas: 8.3.38 ou skype

Previsão

	S	T	Q	Q	S
1	2023-09-18	2023-09-19	2023-09-20	2023-09-21	2023-09-22
	T1	T1			
2	2023-09-25	2023-09-26	2023-09-27	2023-09-28	2023-09-29
	T3	T4		TP1	
3	2023-10-02	2023-10-03	2023-10-04	2023-10-05	2023-10-06
	T5	T6			
4	2023-10-09	2023-10-10	2023-10-11	2023-10-12	2023-10-13
	T7	T8		TP2,PL1	
5	2023-10-16	2023-10-17	2023-10-18	2023-10-19	2023-10-20
	T9	T10		TP3,PL2	
6	2023-10-23	2023-10-24	2023-10-25	2023-10-26	2023-10-27
	T11	T12		TP4,PL3	
7	2023-10-30	2023-10-31	2023-11-01	2023-11-02	2023-11-03
	T14	T14		TP5,PL4	
8	2023-11-06	2023-11-07	2023-11-08	2023-11-09	2023-11-10
	TESTE 1	T15		TP6,PL5	
9	2023-11-13	2023-11-14	2023-11-15	2023-11-16	2023-11-17
	T16	T17		TP7,PL6	
10	2023-11-20	2023-11-21	2023-11-22	2023-11-23	2023-11-24
	T18	T19		TP8,PL7	
11	2023-11-27	2023-11-28	2023-11-29	2023-11-30	2023-12-01
	T20	T21		TP9,PL8	
12	2023-12-04	2023-12-05	2023-12-06	2023-12-07	2023-12-08
	T22	T23		TP10,PL9	
13	2023-12-11	2023-12-12	2023-12-13	2023-12-14	2023-12-15
	TESTE 2			PL10	

Avaliação: **acertos** na próxima semana

Teste 1: 6 de Novembro

Teste 2: 11 de Dezembro

Exame1: Parte 1 (teste 1)+ Parte 2 (teste 2)=80%

Exame2: Parte 1 (teste 1)+ Parte 2 (teste 2)=80%

Se fizerem o(s) teste(s) podem melhorar a nota nos dois exames (num ou nos dois)

2 trabalhos (20%) a preparar nas PL usando PYTHON

Notas

O curso de Meteorologia utiliza conceitos de **Termodinâmica**, **Mecânica** e **Mecânica de Fluidos**, e pressupõe conhecimentos de **Cálculo**. É nosso objetivo consolidar esses conhecimentos e aplicá-los no estudo da Atmosfera.

A **Meteorologia** e a **Climatologia** estudam a Atmosfera (em interação com a superfície e o oceano)

No caso da Meteorologia esse estudo visa a compreensão da evolução do “estado do tempo” (*weather*), no caso da Climatologia o foco é a descrição e compreensão de estatísticas em longos períodos (e.g. 30 anos).

A Meteorologia é essencialmente uma disciplina da Física.

Programa (índice das folhas)

1. [Conceitos básicos](#)
2. [Transformações isobáricas do ar húmido](#)
3. [Processos adiabáticos do ar húmido](#)
4. [Estratificação e movimento vertical](#)
5. [Radiação na atmosfera: conceitos básicos](#)
6. [O movimento atmosférico](#)
7. [Vento em regime estacionário](#)
8. [Geometria do escoamento horizontal: vorticidade e divergência](#)
9. [A estrutura vertical do escoamento atmosférico](#)
10. [A circulação global](#)
11. [Sistemas de observação](#)
12. [Sistemas meteorológicos nas latitudes médias](#)
13. [Meteorologia satélite](#)
14. [Meteorologia Radar](#)
15. [Previsão numérica do tempo](#)

Séries de exercícios não resolvidos

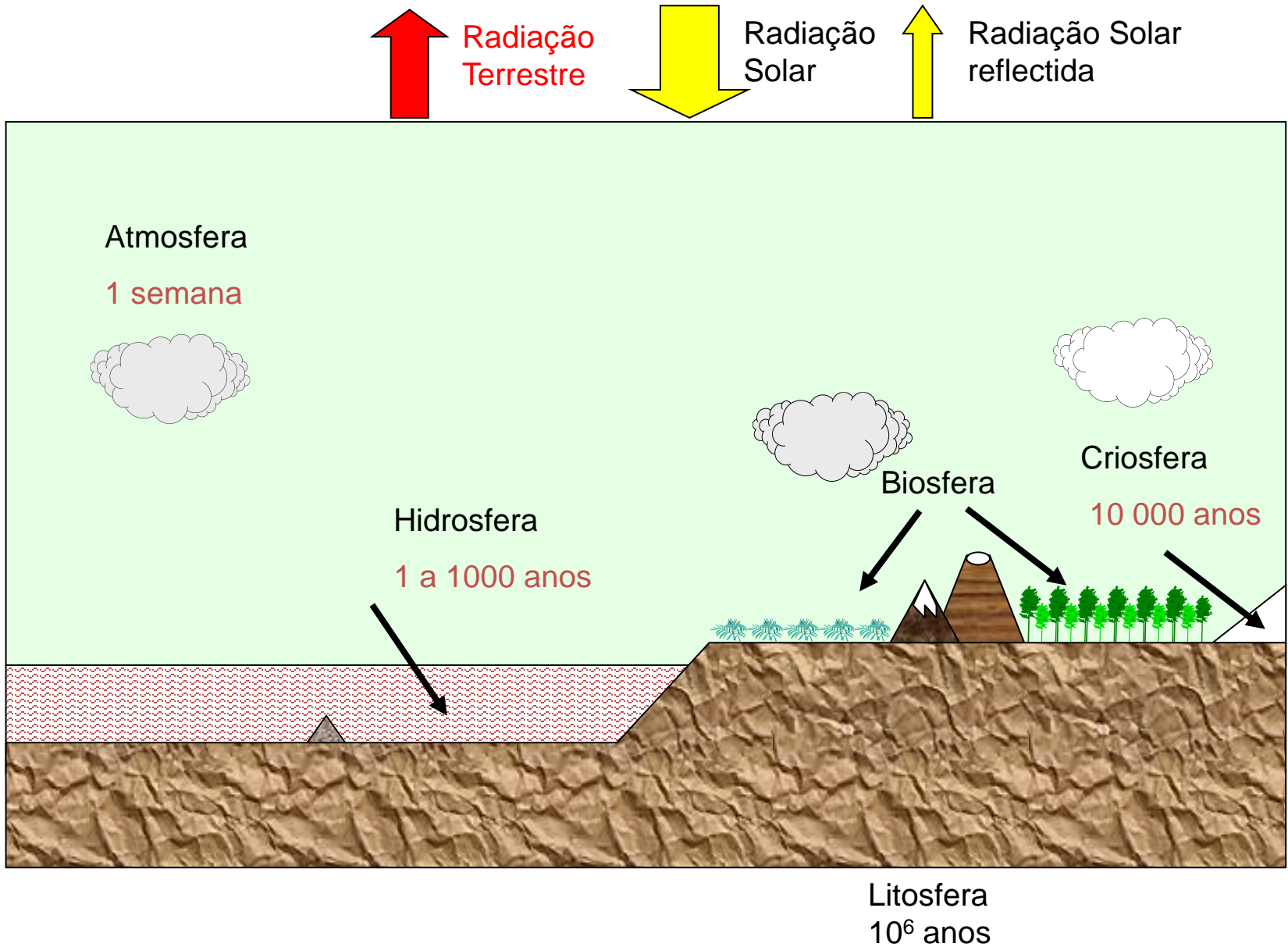
- 1. Termodinâmica do ar**
- 2. Processos isobáricos do ar húmido**
- 3. Processos adiabáticos do ar húmido**
- 4. Instabilidade estática**
- 5. Introdução à dinâmica**
- 6. escoamento estacionário**
- 7. Geometria do escoamento**
- 8. Estrutura vertical do escoamento**
- 9. Circulação**

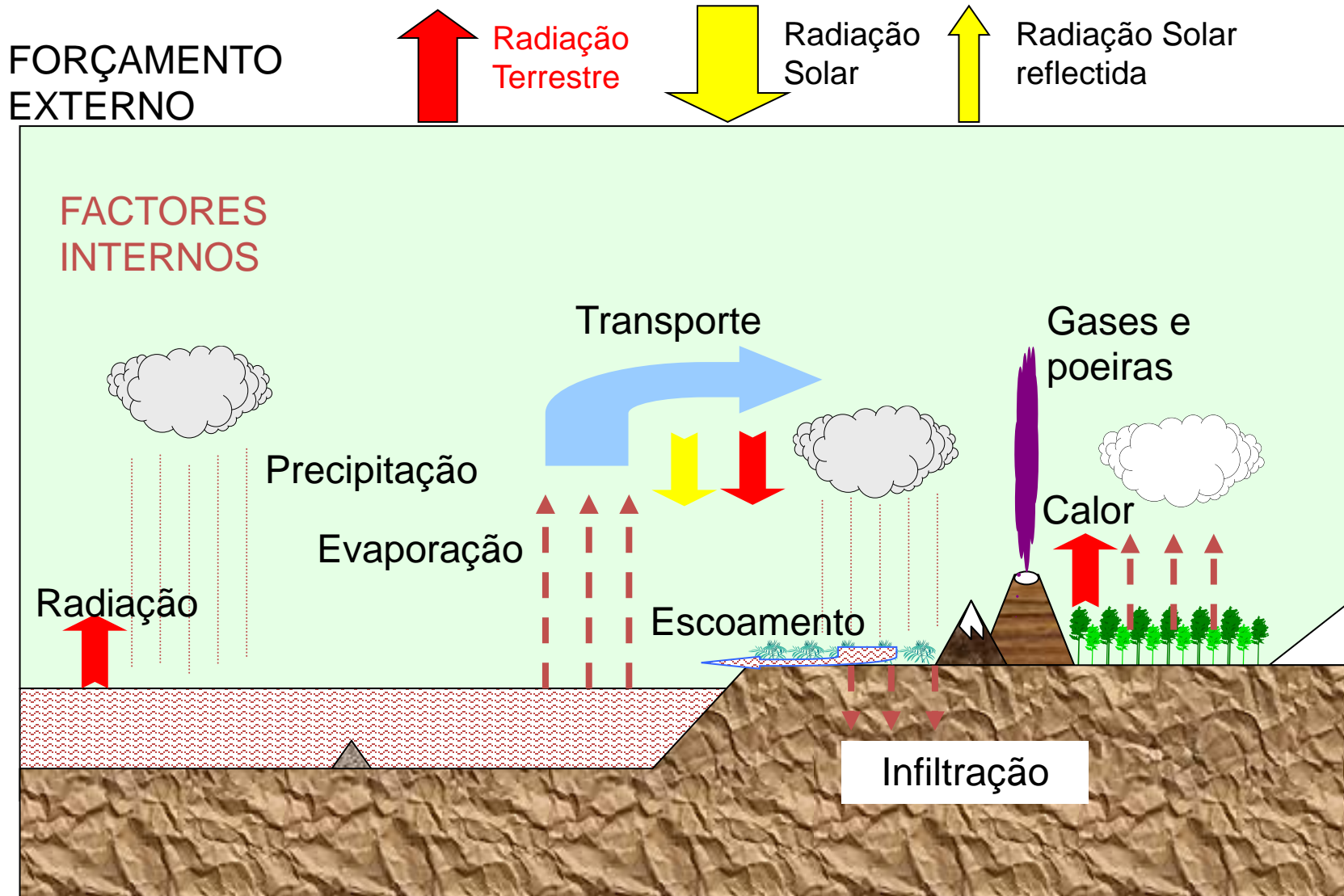
Nota importante

Os tópicos de radiação geralmente incluídos num curso de Meteorologia serão dados na disciplina de Radiação e Energia Solar

Mas alguns conceitos serão referidos por serem necessários para outros tópicos.

Sistema climático





Massa da Terra $\approx 6 \times 10^{24}$ kg

Massa da atmosfera $\approx 5 \times 10^{18}$ kg (1/1 000 000)

Massa do oceano $\approx 1.4 \times 10^{21}$ kg (1/4 000)

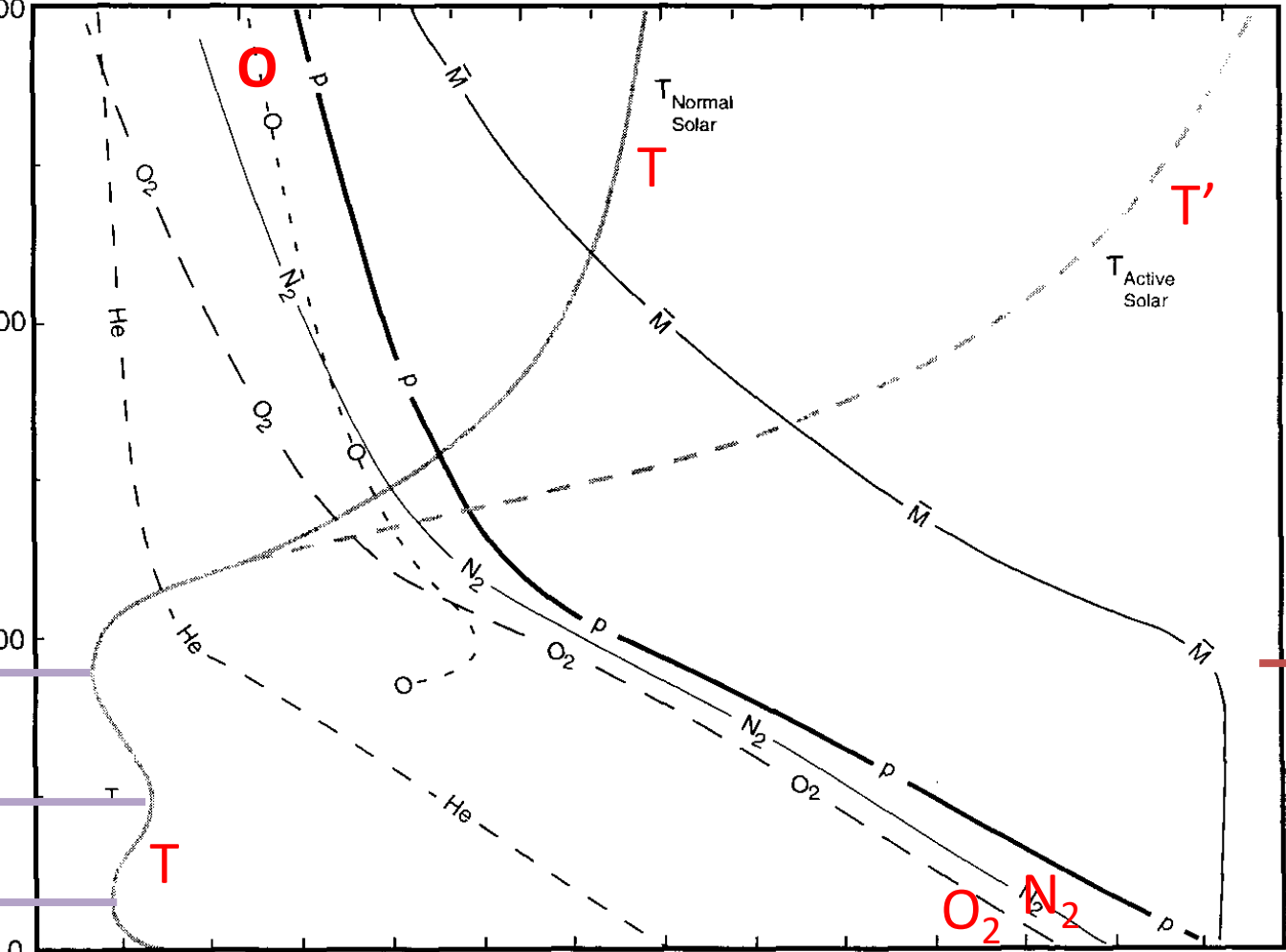
No entanto, o ambiente físico junto da superfície é determinado pela **atmosfera** e (em menor grau) pelo **oceano**.

TEMPERATURE (K)

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

ALTITUDE (km)

300
200
100
0



PRESSURE (mb)

NUMBER DENSITY (m^{-3})

10^{12} 10^{13} 10^{14} 10^{15} 10^{16} 10^{17} 10^{18} 10^{19} 10^{20} 10^{21} 10^{22} 10^{23} 10^{24} 10^{25} 10^{26} 10^{27} 10^{28}

MOLAR WEIGHT

12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

Heterosfera

Homosfera

Composição da Homosfera (z<100 km)

Componente		Concentração Volúmica (%)	Partes por Milhão em vol. (ppmv)
Azoto	N ₂	78.08 ⁽¹⁾	
Oxigénio	O ₂	20.95 ⁽¹⁾	
Árgon	Ar	0.93 ⁽¹⁾	
Néon	Ne	0.0018	
Hélio	He	0.0005	
Hidrogénio	H ₂	0.00006	
Xénon	Xe	0.000009	
Vapor de água	H ₂ O	0. a 4	
Dióxido de carbono	CO ₂	0.036 ^a	360
Metano	CH ₄	0.00017 ^b	1.7
Óxido nitroso	N ₂ O	0.00003 ^b	0.3
Ozono	O ₃	0.000004 ^b	0.04
Ozono (Estratosfera)		0.001 ^b	10
Partículas		0.000001 ^b	0.01
Clorofluorcarbonetos	CFCs	0.00000001 ^b	0.00001

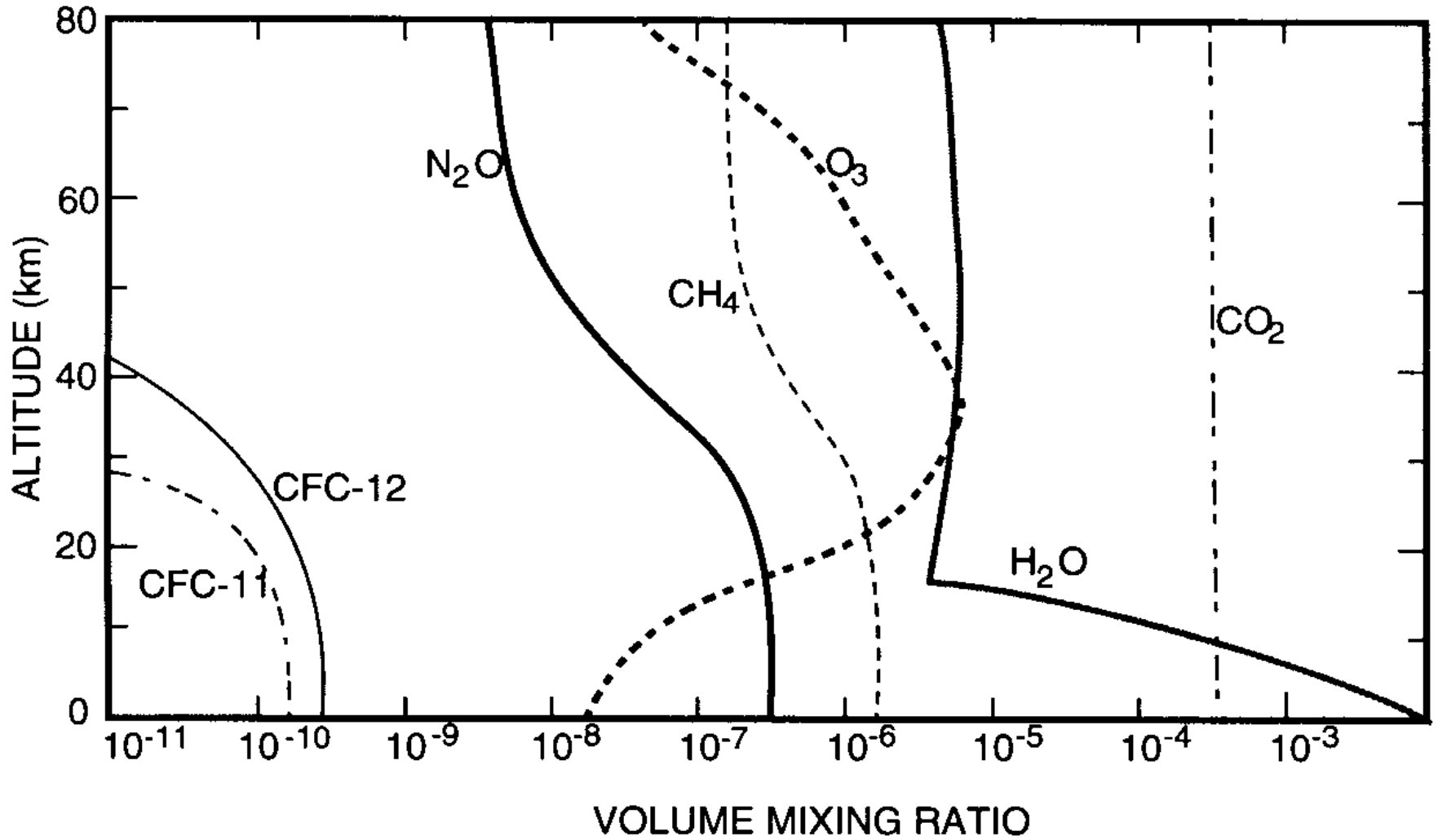
AR

Na **homosfera** as proporções de N_2 , O_2 , Ar são aproximadamente constantes. As concentrações de H_2O são muito variáveis. Os outros compostos contribuem com muito pouca **massa**.

Vamos chamar **AR SECO** à mistura em proporções constantes que se observa na Homosfera.

Vamos chamar **AR HÚMIDO** à mistura em proporções variáveis de ar seco e água. O ar húmido pode ser **monofásico** (só contém vapor) ou pode ser uma **mistura heterogénea** (vapor+líquido+sólido)

Gases de estufa



O que explica a estrutura observada?

História: origem dos constituintes

Gravidade:

Retenção de gases: Problema do escape

Estratificação vertical: separação por densidades
(porque existe uma Homosfera?)

Ambiente cósmico

Radiação

Propriedades conservativas (Massa, momento angular)

Equação de balanço de um componente atmosférico

$$\left(\frac{kg}{s}\right) \frac{dQ}{dt} = \overset{\text{Fluxos na fronteira}}{(F_{in} - F_{out})} + \overset{\text{Produção}}{P} - \overset{\text{Remoção}}{R}$$

Regime estacionário $Q=\text{const}$ $F_{in} + P = F_{out} + R$

Tempo de residência $\tau = \frac{Q}{P + F_{in}} = \frac{Q}{R + F_{out}} \left(\frac{kg}{\frac{kg}{s}} = s \right)$

Q quantidade: atenção à análise dimensional

Tempo de residência (na Troposfera) de alguns componentes minoritários

Espécie química	Concentrações ^(a)	Fontes totais Tg ano ⁻¹	Tempo de residência
CFCl ₃ (CFC-11)	0.27 ppbv	~1	45-55 anos
CF ₂ Cl ₂ (CFC-12)	0.5 ppbv		102 anos
CF ₂ ClCFCl ₂ (CFC-113)	0.08 ppbv		85 anos
CF ₂ ClCF ₂ Cl (CFC-114)	0.02 ppbv		300 anos
CH ₄	1720 ppbv	410-660	10-14 anos
CO ₂	350 ppmv	7500	120 anos
CO	40-200 ppbv	1800-2700	30-90 dias
N ₂ O	310 ppbv	15	90-150 anos
NO _x	0.02-1000 ppbv	53	1-4 dias
NH ₃	0.1-10 ppbv	45	10 dias
SO ₂	20 pptv-1500pptv-100 ppbv	60	1-7 dias

^(a) Concentrações mais baixas correspondem a zonas remotas sobre o Oceano, concentrações mais elevadas correspondem a zonas urbanas poluídas. Fontes: IPCC (1995), Seinfeld e Pandis (1998).

$$\text{Exemplo } CO_2: \tau = \frac{350 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{18} \text{ kg}}{7500 \times 10^9 \text{ kg y}^{-1}} \approx 233 \text{ y}$$

Mas o CO_2 não é estacionário...

Alguns tempos característicos

Tempo de residência de um composto na atmosfera

versus

Tempo de **transporte** horizontal ao longo de um paralelo: 1 semana

Tempo de **mistura horizontal** na Troposfera (inter-hemisférico): 1 ano

Tempo de **mistura na camada limite** ($z < 1\text{km}$): 1 dia

Tempo de **mistura vertical na Estratosfera**: 100 anos

Equação de balanço de um componente

$$\frac{dQ}{dt} = (F_{in} - F_{out}) + (P - R)$$

Qual o valor dos fluxos F_{in} , F_{out} ?

Que **processos** realizam esses fluxos?

Na escala de tempo geológica:

- 1) Existe uma atmosfera primordial
- 2) Existem emissões de gases (degaseificação do manto)
- 3) Existem perdas de gases leves (H_2 , He)

Tabela 1.4 – Composição típica dos gases emitidos por vulcões, comparada com a composição actual da baixa atmosfera

(1) % calculadas para o caso do ar seco.

Gás		Emissões vulcânicas % em vol.	Atmosfera actual % em vol.
Vapor de água	H ₂ O	79.3	0. a 4 (variável)
Dióxido de carbono	CO ₂	11.6	0.035
Dióxido de enxofre	SO ₂	6.5	<0.0001 (variável)
Azoto	N ₂	1.3	78.08 ⁽¹⁾
Hidrogénio	H ₂	0.6	0.00005
Oxigénio	O ₂	—	20.95 ⁽¹⁾
Árgon	A	—	0.93 ⁽¹⁾
Outros		0.7	—
Total		100.0	100.0

Desde que existe fotossíntese

Há emissão de O_2 , captura de CO_2

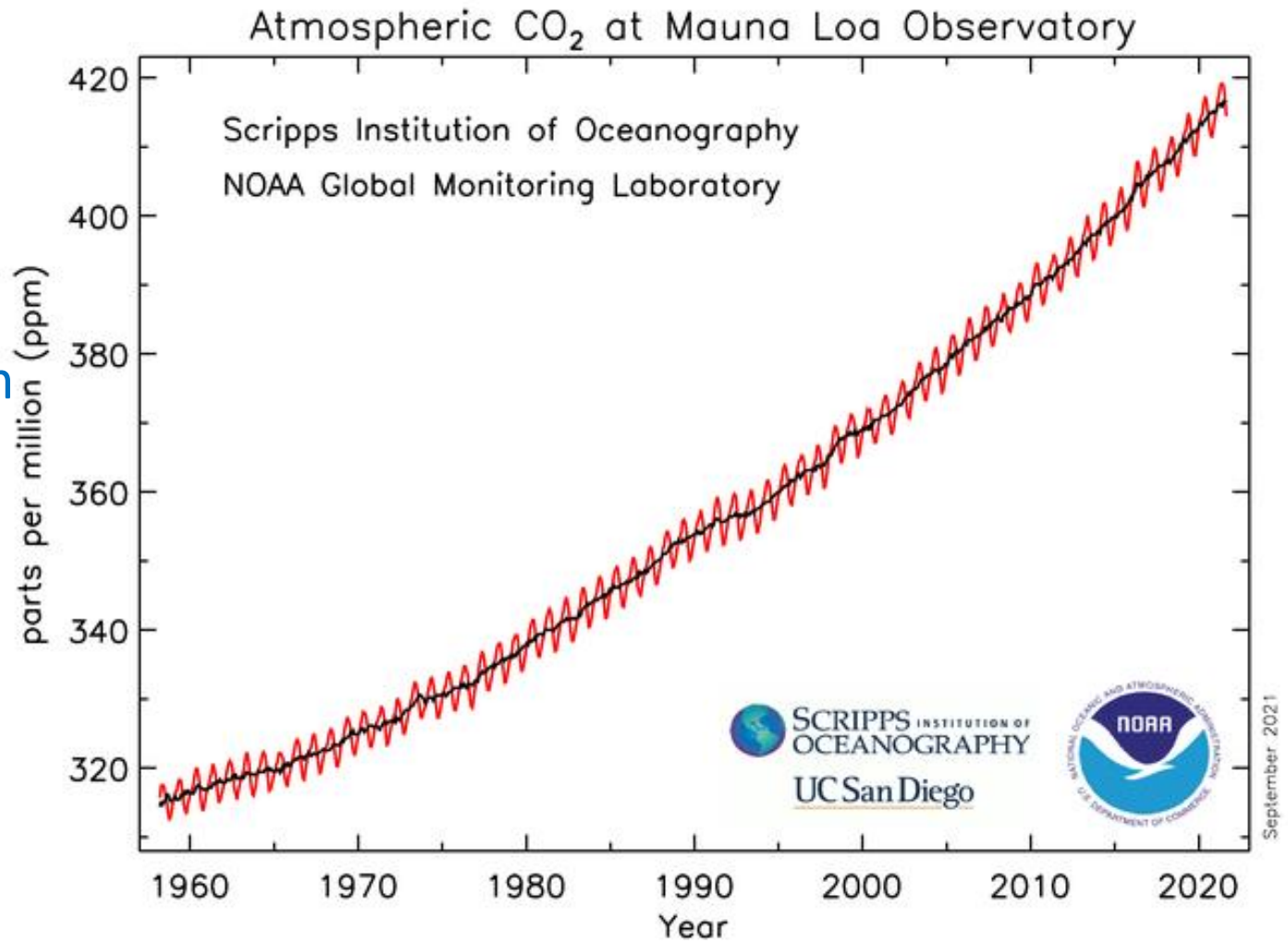
Desde que o Homem é um ator central
no Sistema climático

Há emissões de inúmeros compostos...

CO₂

1850: 280 ppm

2021: >410 ppm



Processos que determinam a estrutura da atmosfera

A atmosfera é um sistema 3D, que evolui no tempo. Para conhecer o estado da atmosfera precisamos de muitas variáveis (4D).

Temperatura, Pressão, concentração de água (diferentes fases), vento, concentração de diferentes compostos atmosféricos, ...

As leis da Física impõem relações entre estas variáveis.