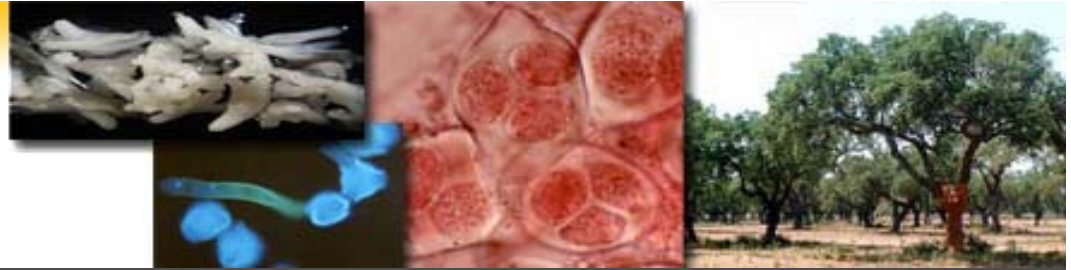




Grupo: ASC “Água, Solo e Clima”

ICAM

Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas



Seminário

Instituto Politécnico de Bragança

30 de Janeiro de 2009

“Tempo, Clima e Alterações Climáticas”

João Corte-Real

ASC_ICAM e Departamento de Engenharia Rural
Universidade de Évora

Introdução

A atmosfera como componente do Sistema Climático ou Sistema Terra

Meteorologia

SISTEMA CLIMÁTICO OU SISTEMA TERRA

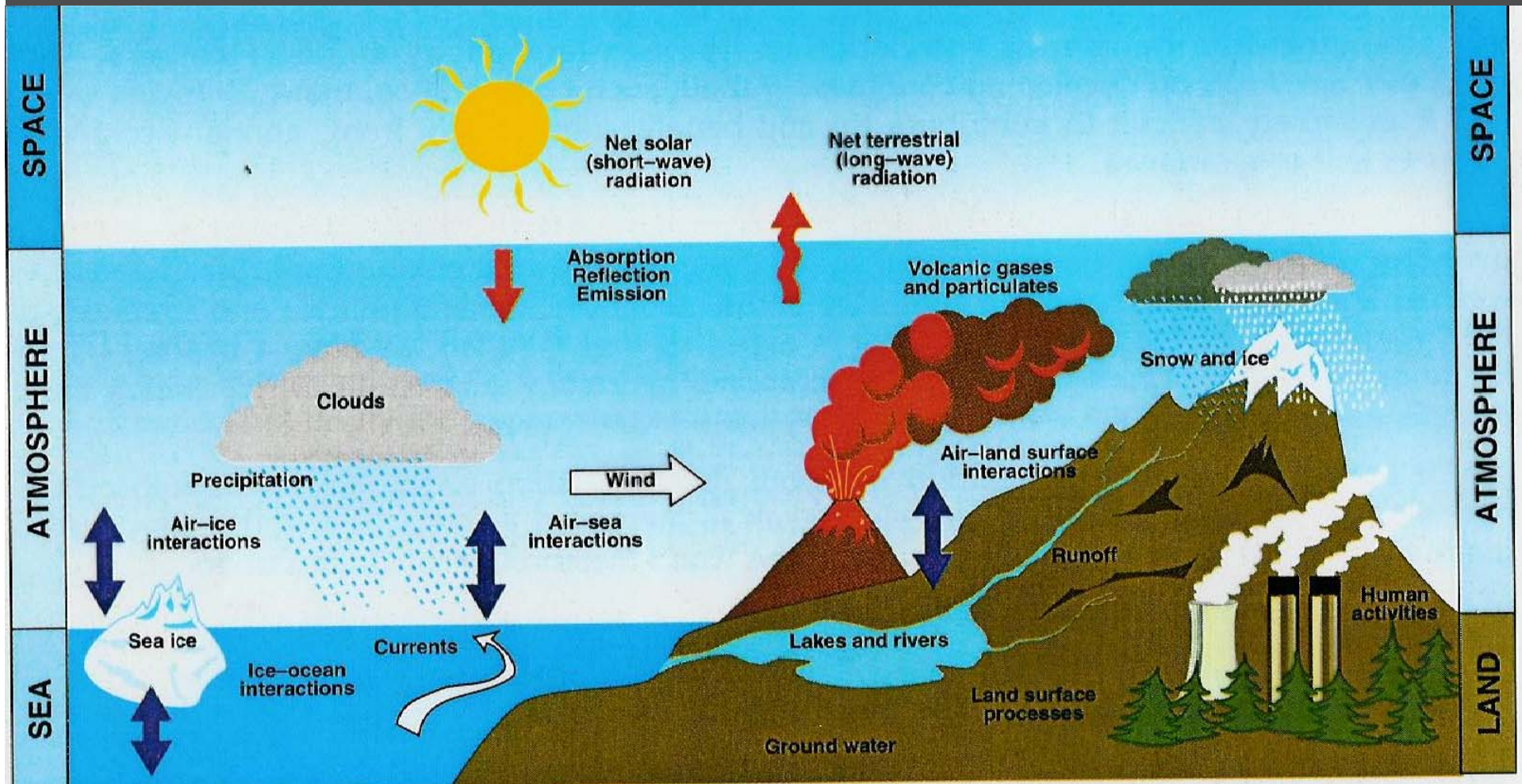


Table 1.1
Atmospheric Composition^a

Constituent	Tropospheric mixing ratio	Vertical distribution (mixing ratio)	Controlling processes
N ₂	0.7808	Homogeneous	Vertical mixing
O ₂	0.2095	Homogeneous	Vertical mixing
H ₂ O ^b	≤0.030	Decreases sharply in troposphere; increases in stratosphere; highly variable	Evaporation, condensation, transport; production by CH ₄ oxidation
Ar	0.0093	Homogeneous	Vertical mixing
CO ₂ ^b	345 ppmv	Homogeneous	Vertical mixing; production by surface and anthropogenic processes
O ₃ ^b	10 ppmv ^c	Increases sharply in stratosphere; highly variable	Photochemical production in stratosphere; destruction at surface transport
CH ₄ ^b	1.6 ppmv	Homogeneous in troposphere; decreases in middle atmosphere	Production by surface processes; oxidation produces H ₂ O
N ₂ O ^b	350 ppbv	Homogeneous in troposphere; decreases in middle atmosphere	Production by surface and anthropogenic processes; dissociation in middle atmosphere; produces NO transport
CO ^b	70 ppbv	Decreases in troposphere; increases in stratosphere	Production anthropogenically and by oxidation of CH ₄ transport
NO	0.1 ppbv ^c	Increases vertically	Production by dissociation of N ₂ O catalytic destruction of O ₃
CFC-11 ^b CFC-12 ^b	0.2 ppbv 0.3 ppbv	Homogeneous in troposphere; decreases in stratosphere	Industrial production; mixing in troposphere; photodissociation in stratosphere

^aConstituents are listed with volume mixing ratios representative of the Troposphere or Stratosphere, how the latter are distributed vertically, and controlling processes.

^bRadiatively active.

^cStratospheric value

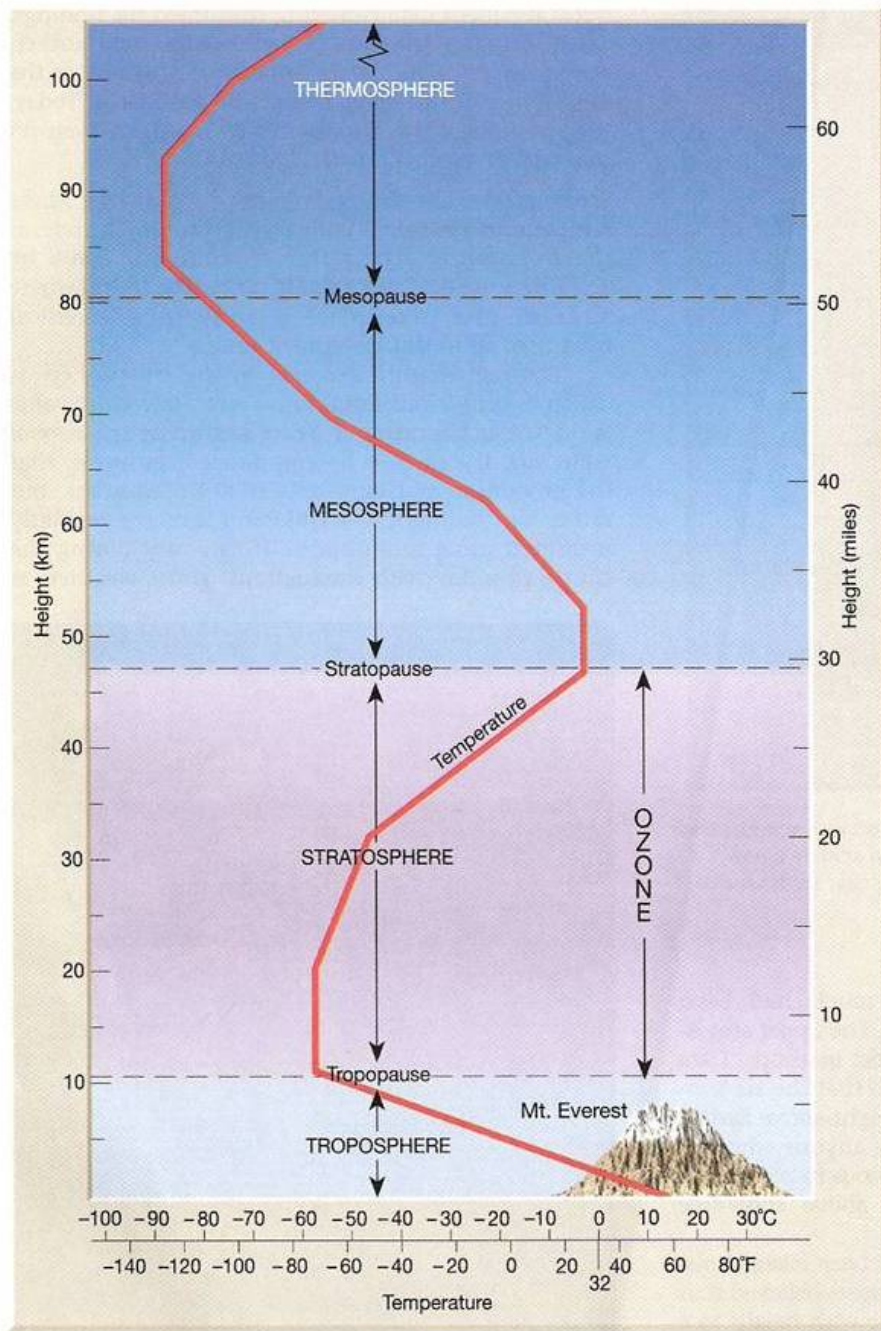


Figure 1-14 Thermal structure of the atmosphere to a height of about 110 kilometers.

Complexidade da Atmosfera

- a) Não linear
- b) Múltiplas escalas
- c) Mecanismos de realimentação
- d) Teleconexões
- e) Irregular, turbulento ou caótico.
Sensibilidade às condições iniciais.

Processos Fundamentais

1. Advecção
2. Atrito
3. Condução
4. Convecção
5. Transições de Fase da Água
6. Radiação

A origem do movimento

Processos radiativos

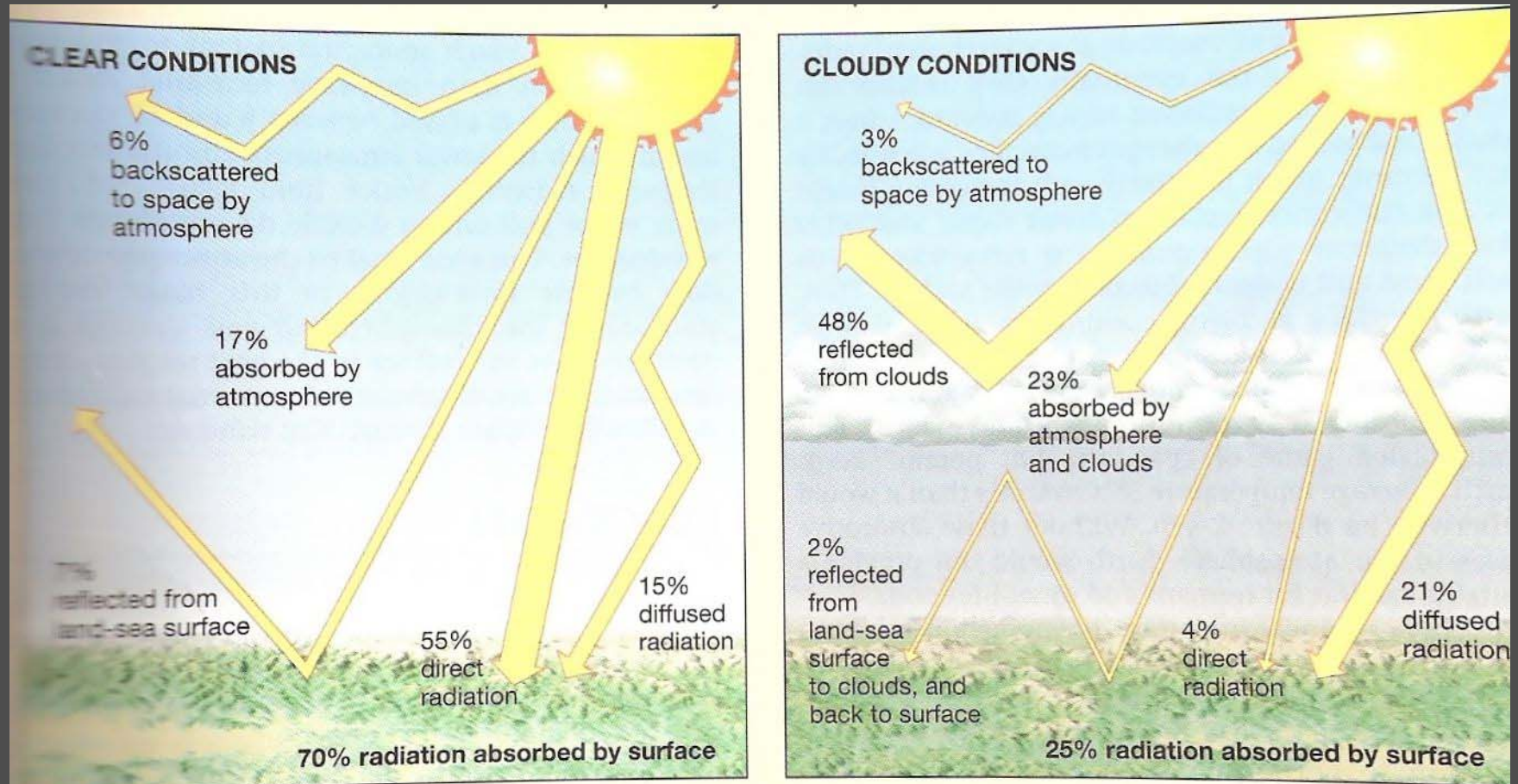


Figure 2-C A comparison of the average distribution of incoming solar radiation on clear and cloudy days.

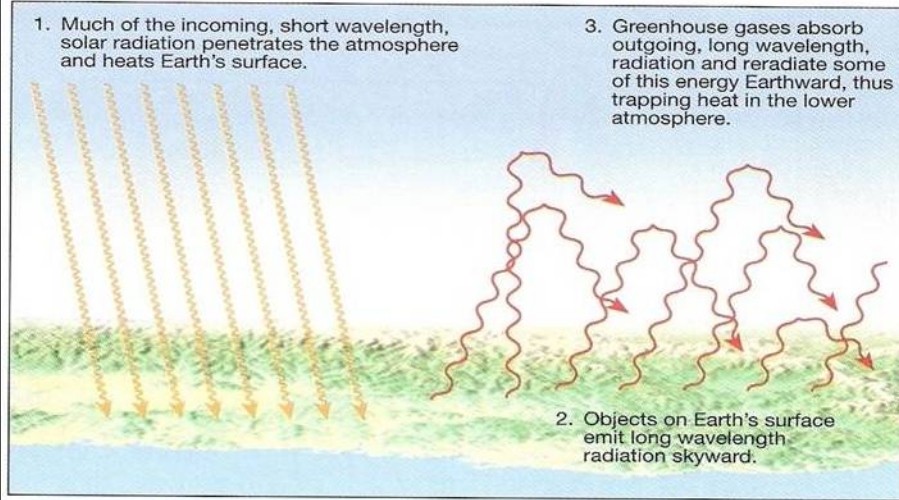


Figure 2-16 The heating of the atmosphere. Most of the short-wavelength radiation from the Sun passes through the atmosphere and is absorbed by Earth's land-sea surface. This energy is then reradiated as longer-wavelength terrestrial radiation, much of which is absorbed by certain gases in the atmosphere. Some of the energy absorbed by the atmosphere will be reradiated Earthward. This so-called greenhouse effect is responsible for keeping Earth's surface much warmer than it would be otherwise.

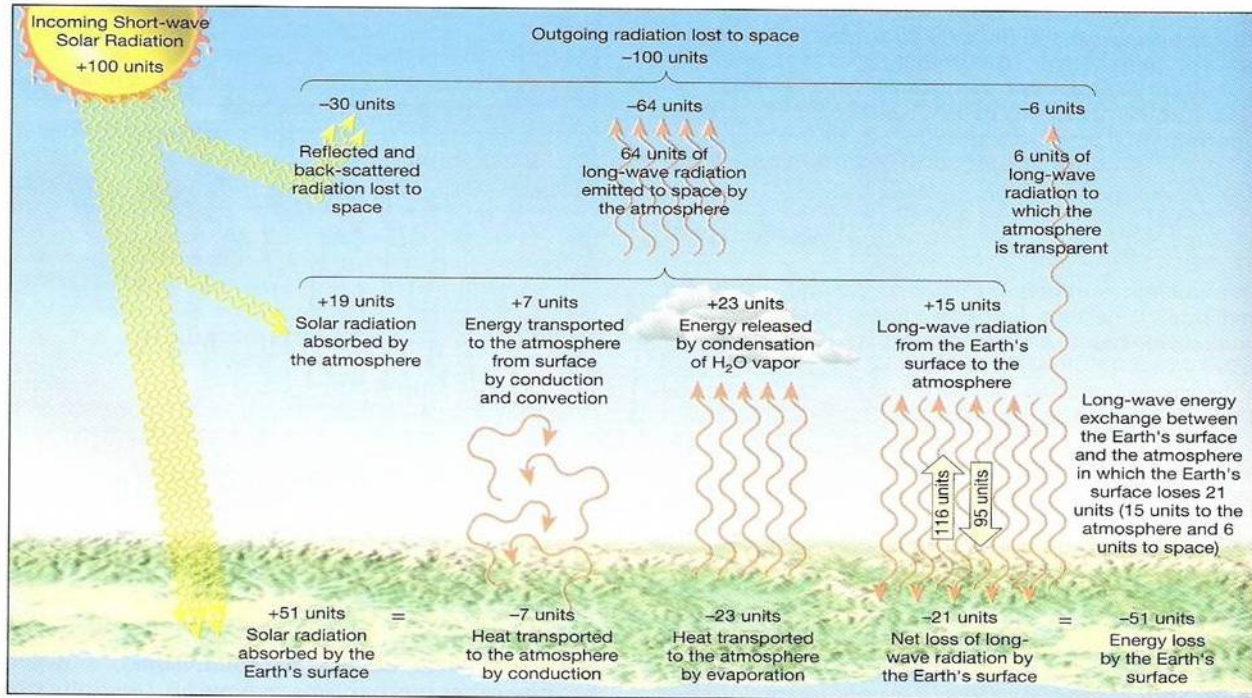


Figure 2-17 Heat budget of Earth and atmosphere. (Data from *Understanding Climate Change*, Washington, DC; U.S. National Academy of Science, 1975)

Table 2-4 Heat budget of Earth's surface, atmosphere, and overall planetary heat budget.*

HEAT BUDGET OF EARTH'S SURFACE			
INCOMING		OUTGOING	
Solar radiation	51	Earth radiation	116
Atmospheric radiation	95	Evaporation	23
		Conduction/Convection	7
Total	146	Total	146
HEAT BUDGET OF THE ATMOSPHERE			
INCOMING		OUTGOING	
Solar radiation	19	Radiation to space	64
Condensation	23	Radiation to surface	95
Earth radiation	110		
Conduction	7		
Total	159	Total	159
PLANETARY HEAT BUDGET			
INCOMING		OUTGOING	
Solar radiation	100	Reflected and scattered	30
		Atmospheric radiation to space	64
		Earth radiation to space	6
Total	100	Total	100

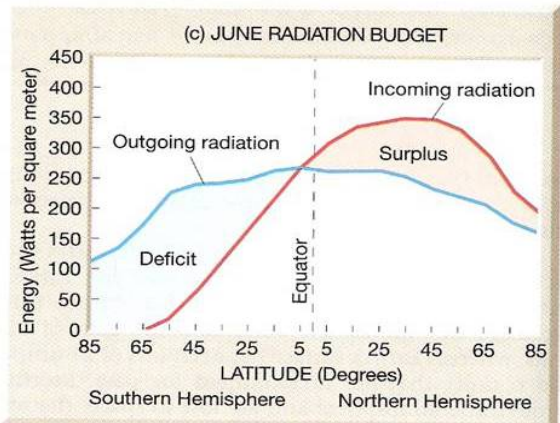
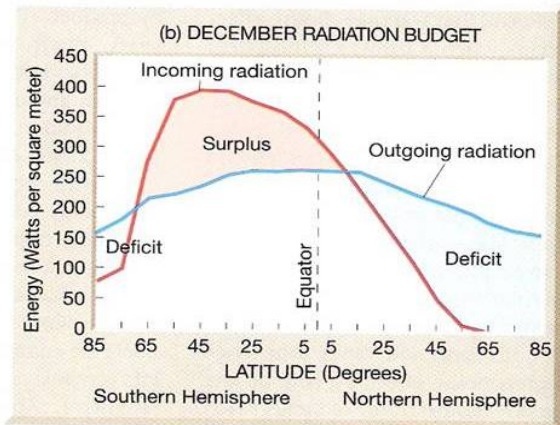
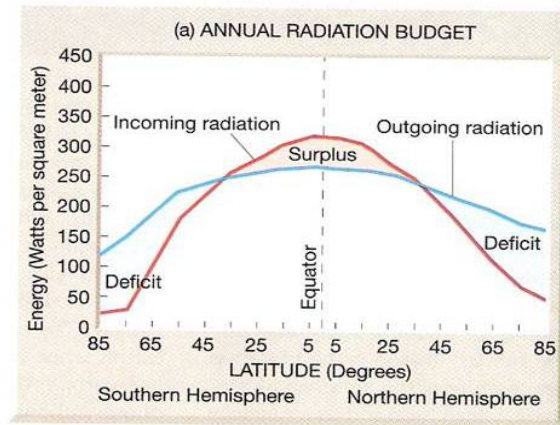
*Units are in hundredths of the incoming solar radiation.

and convection (7 units) as shown in Figure 2-17. An overall balance is achieved because the atmosphere emits 64 units of energy to space as longwave radiation. A careful examination of Table 2-4 confirms that incoming radiation is balanced by outgoing radiation.

Latitudinal Heat Balance

Because the amount of incoming solar radiation is nearly equal to the amount of outgoing terrestrial radiation for Earth as a whole, the average worldwide temperature remains constant. However, the balance of incoming and outgoing radiation that holds for the entire planet obviously is not maintained at each latitude. Averaged over the entire year, a zone around Earth between 36°N and 36°S receives more solar radiation than is lost to space (Figure 2-18a). Not surprisingly, this zone,

Figure 2-18 Latitudinal heat balance. (a) Averaged over the entire year, we see that equatorward from 36°, the amount of incoming solar radiation exceeds the loss from outgoing terrestrial radiation. The reverse is true for the middle and high (polar) latitudes, where losses from outgoing terrestrial radiation exceed gains from incoming solar radiation. (b) Because solar radiation migrates seasonally, during December, areas between 5° north and 70° south latitude experience a radiation surplus, whereas the rest of the world has a deficit. (c) By June, the area



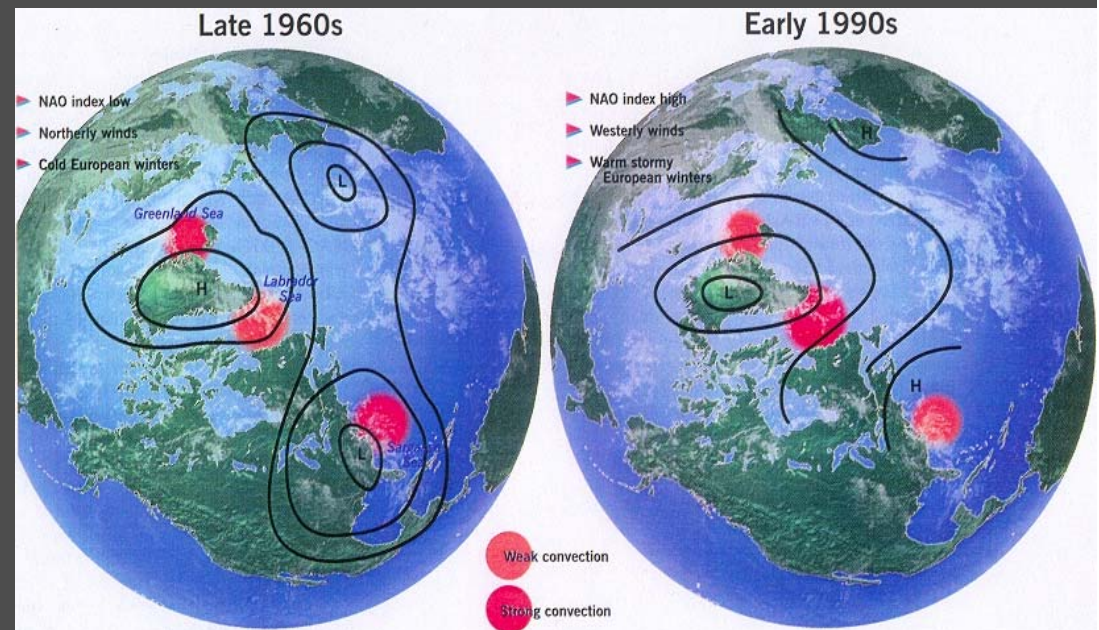
Teleconexões

A Oscilação do Atlântico Norte (NAO)

O que é a Oscilação do Atlântico Norte? Como influencia o Clima da Europa?

A Oscilação do Atlântico Norte (NAO) é, tal como o ENSO, uma *teleconexão*, identificada por Sir Gilbert Walker, nos anos vinte do século passado.

Traduz-se por uma **correlação negativa** entre a **pressão atmosférica na Islândia e nos Açores**; dito de outra maneira: quando a pressão atmosférica tende a ser menor que a média na Islândia, tende a ser maior que a média nos Açores e vice-versa;



Oscilação do Atlântico Norte (NÃO)

Estado da Atmosfera

- Composição (concentrações; humidade específica)
- Temperatura (T)
- Pressão (p)
- Velocidade ($\vec{V} = \vec{V}_H + \vec{V}_V$)
- Densidade (ρ)

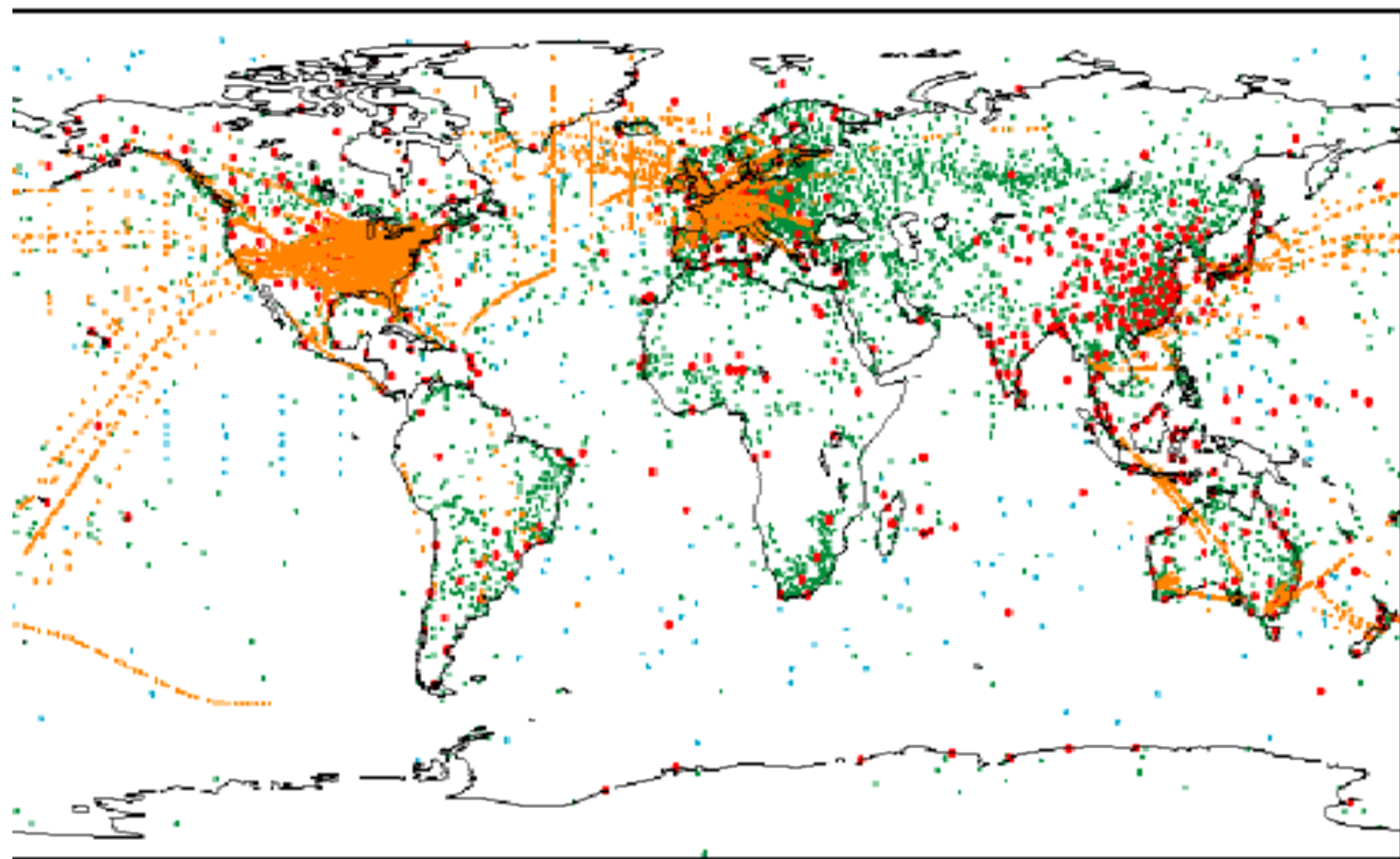
O TEMPO

- O Tempo (atmosférico; “weather”) é definido pelo estado instantâneo da atmosfera.

Estado da Atmosfera

- Observações:
- Superfície: estações meteorológicas, EMAs
- Altitude: radiosondagens
- Detecção Remota:
- Satélite: geostacionário; órbita polar
- Radar: Tempo e Perfilador
- Meteorologia Sinóptica (escala sinóptica)

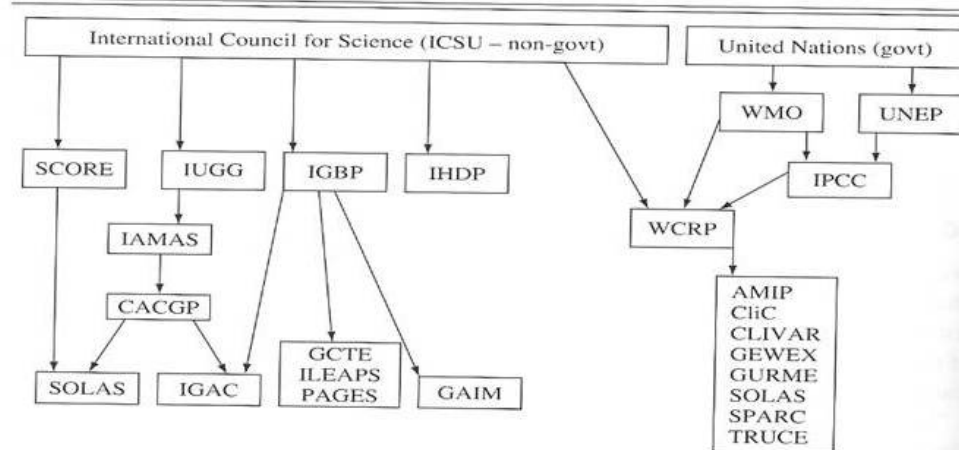
● Balloon sondes ● Aircraft ● Land and ship stations ● Automatic buoys



Enquadramento Internacional

- **Organização Meteorológica Mundial (OMM)**
- **Conselho Internacional para a Ciência (ICSU)**
- **Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC)**
- **Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF)**
- **Institutos de Meteorologia**
- **EUMETSAT**

Table 10.1 *Structure of major organizations and programs within the international research community, with focus on the atmosphere (courtesy Henning Rodhe, Department of Meteorology, University of Stockholm, and adapted from IGAC Conference discussions in Crete, 2002).*



Organizations and programs

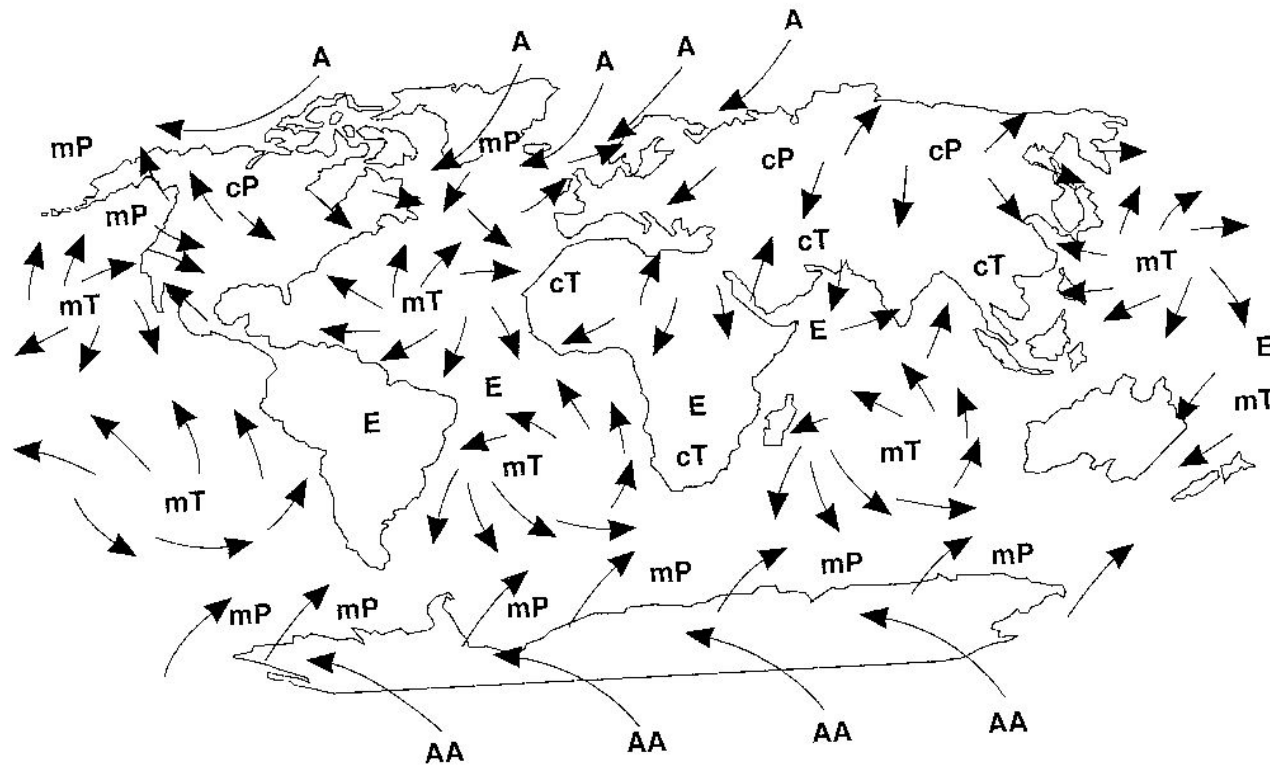
SCORE	Scientific Committee on Ocean Research
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
IGBP	International Geosphere/Biosphere Program
IHDP	International Hydrological Development Program
WCRP	World Climate Research Programme
WMO	World Meteorological Organization
UNEP	United Nations Environment Programme
IPCC	International Panel on Climate Change
IAMAS	International Association of Meteorology and Atmospheric Science
CACGP	Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution
IGAC	International Global Atmospheric Chemistry Program
GAIM	Global Analysis, Integration, and Modelling Program

International projects (WCRP and IGBP)

AMIP	Atmospheric Model Intercomparison Project
CiC	Climate and Cryosphere
CLIVAR	Climate Variability and Predictability
GEWEX	Global Energy and Water Cycle Experiment
GCTE	Global Chemistry Tropospheric Experiment (completed Dec 2003)

Meteorología Sinóptica

ANATOMY OF A CYCLONE

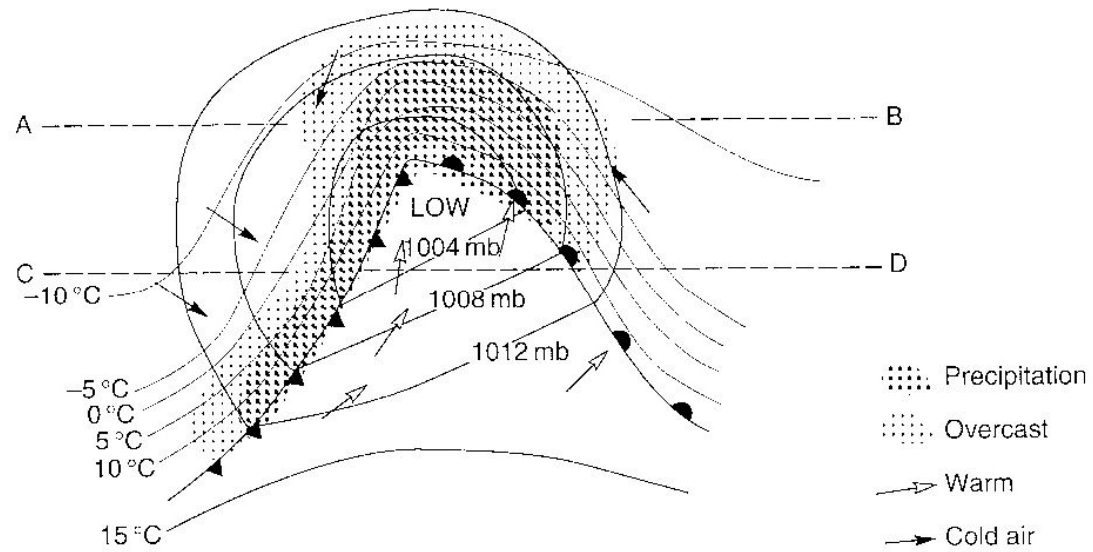
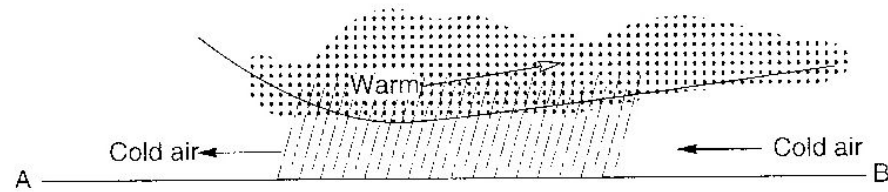


A : Arctic – very cold and dry
cP : continental polar – cold and dry
mP : maritime polar – cold and moist
E : equatorial – very warm and moist

mT : maritime tropical – warm and moist
cT : continental tropical – warm and dry
AA : Antarctic – very cold and dry

Figure 1.5 Typical distribution of air masses around the globe

Vertical cross-section from A to B



Vertical cross-section from C to D

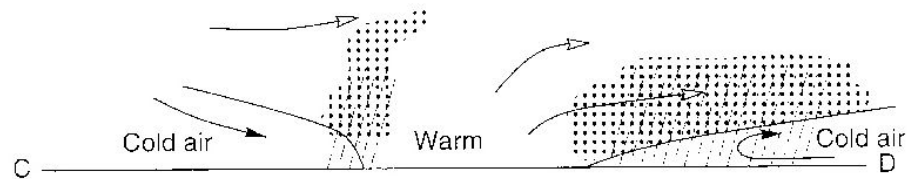


Figure 1.10 An idealized representation of a mature extra-tropical cyclone (adapted from the work of Bjerknes and Solberg 1922)

ANATOMY OF A CYCLONE

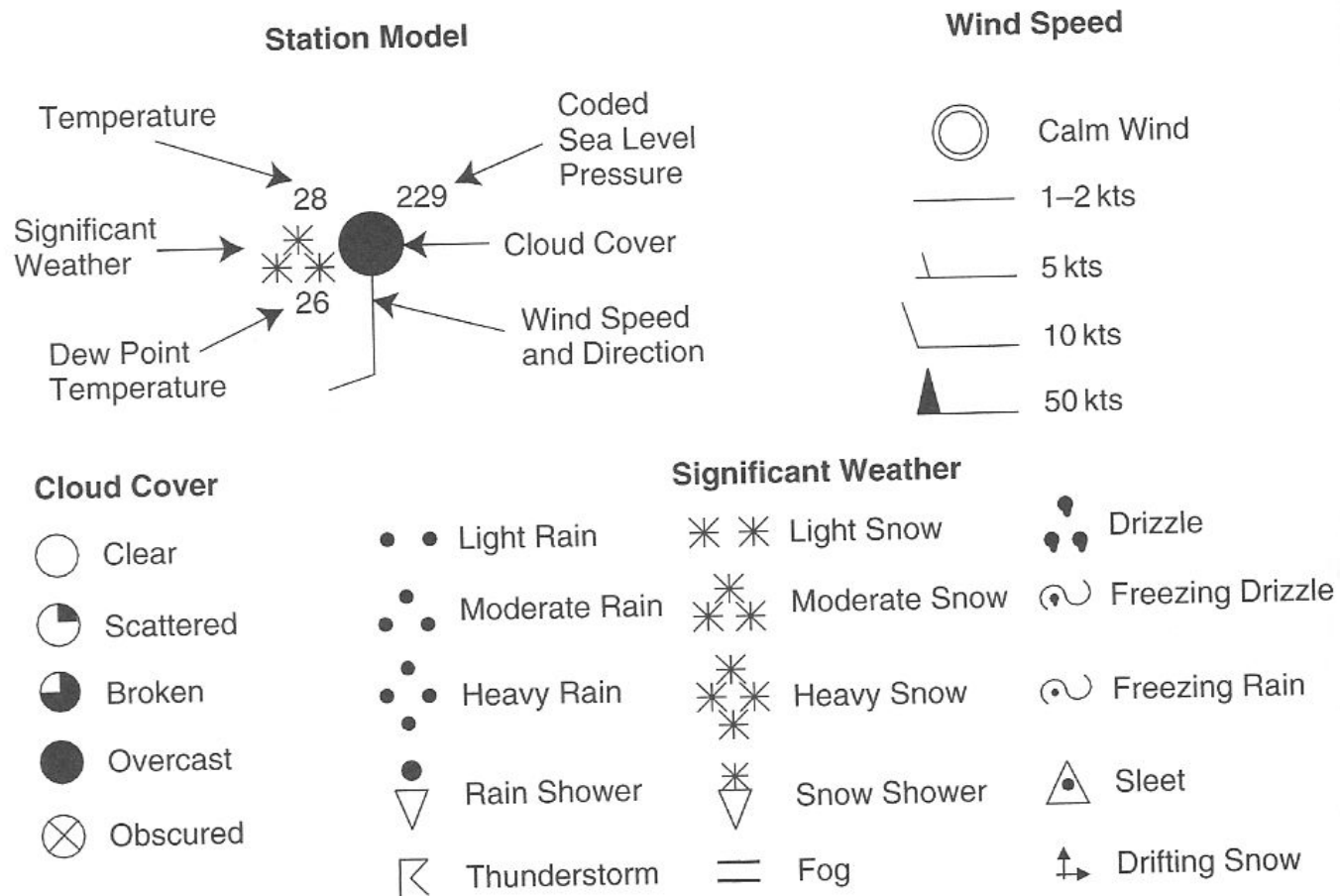


Figure 1.4 Station model for surface weather map conventions

ANATOMY OF A CYCLONE

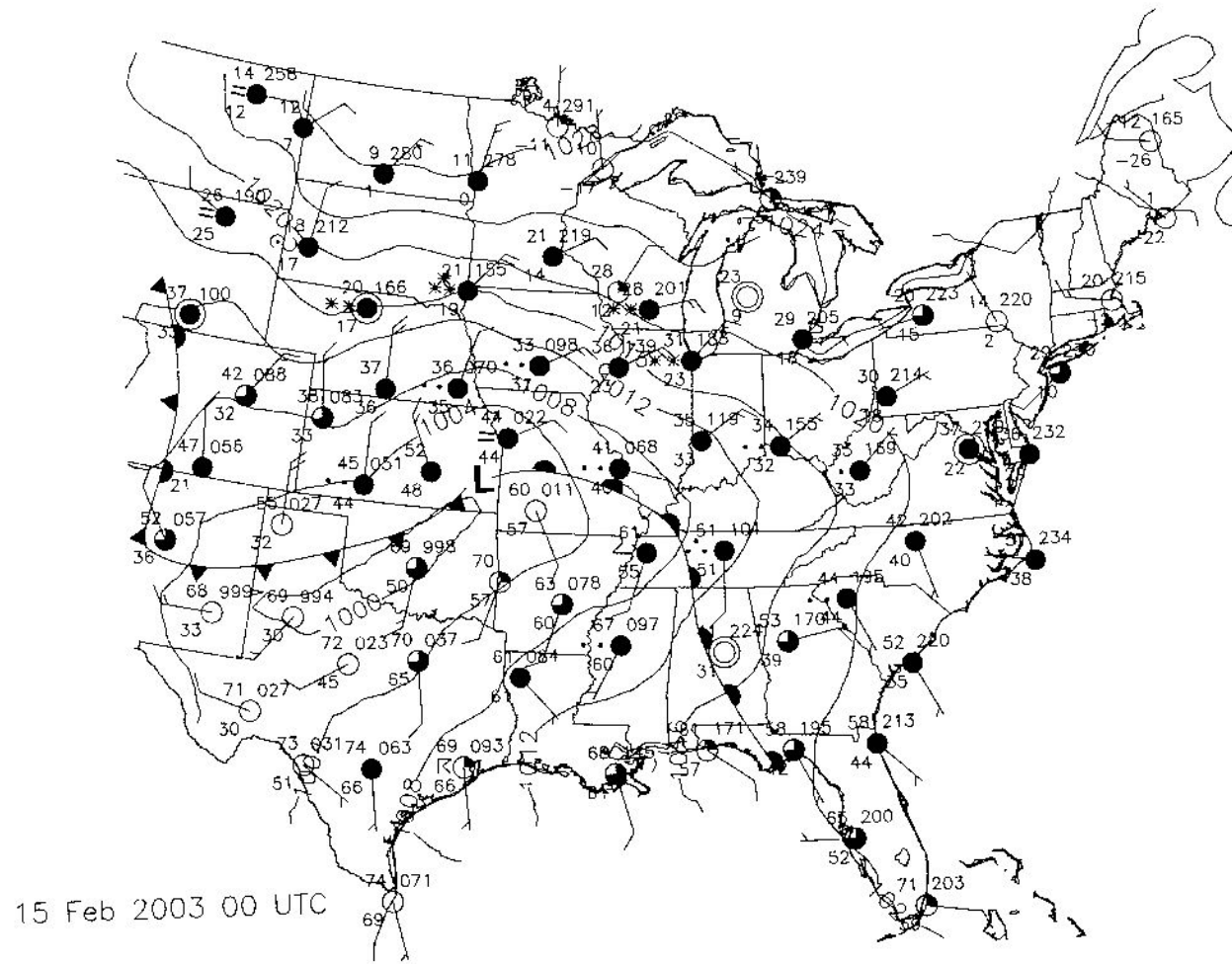
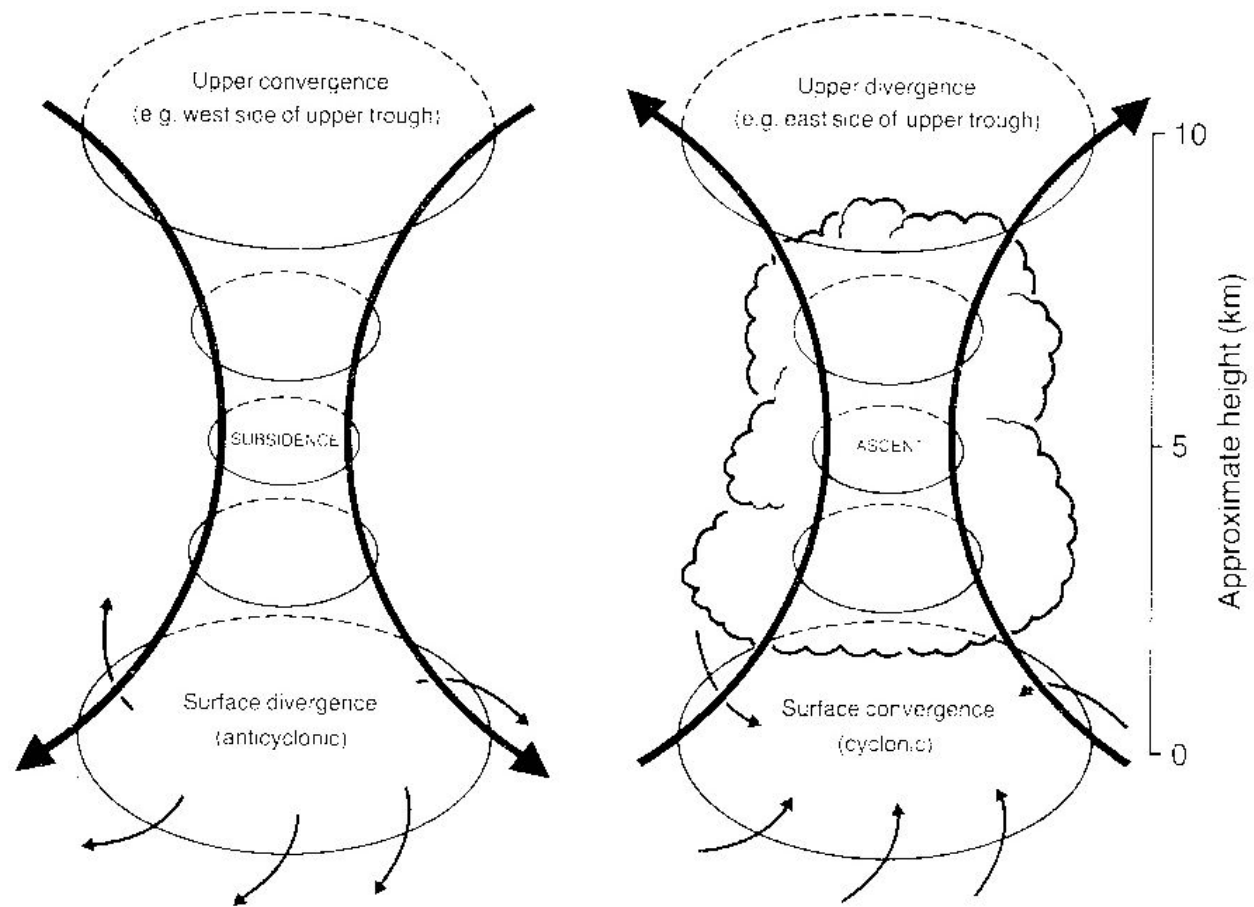
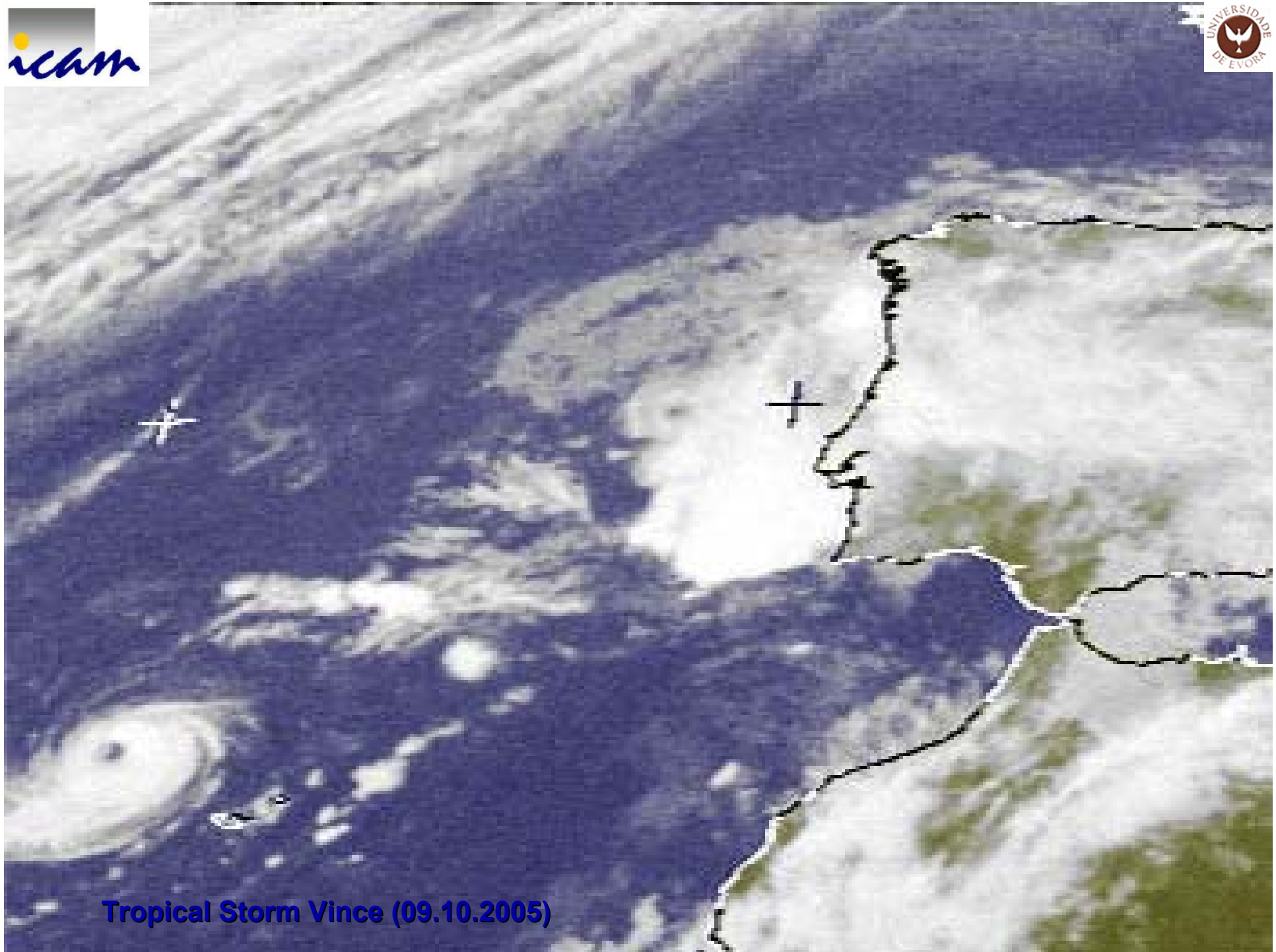


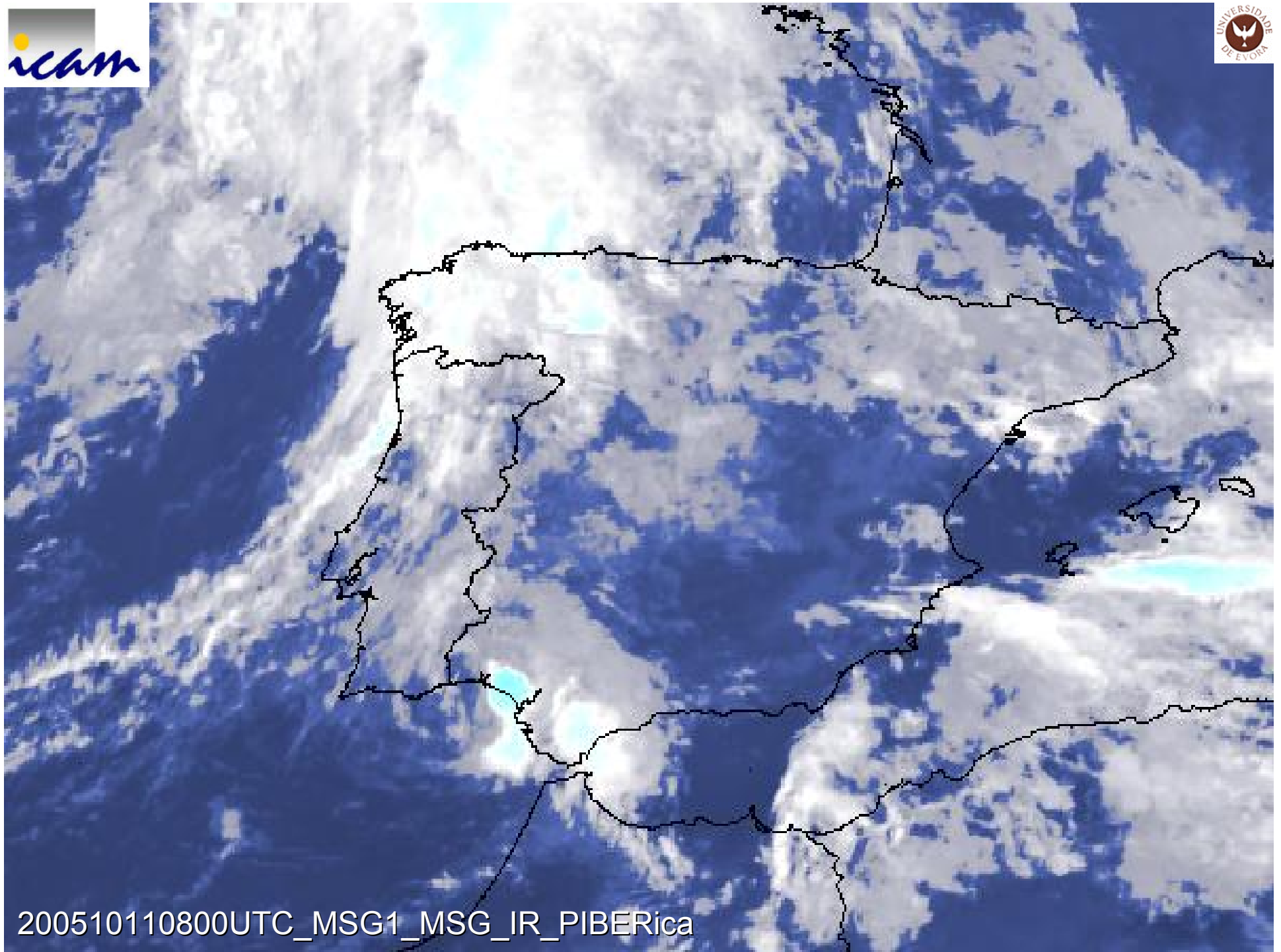
Figure 1.7 Surface weather map valid at 00 UTC 15 Feb 2003

Fig. 4.6 A schematic illustration indicating patterns of convergence and divergence at the surface and in the upper atmosphere are linked to vertical motions.

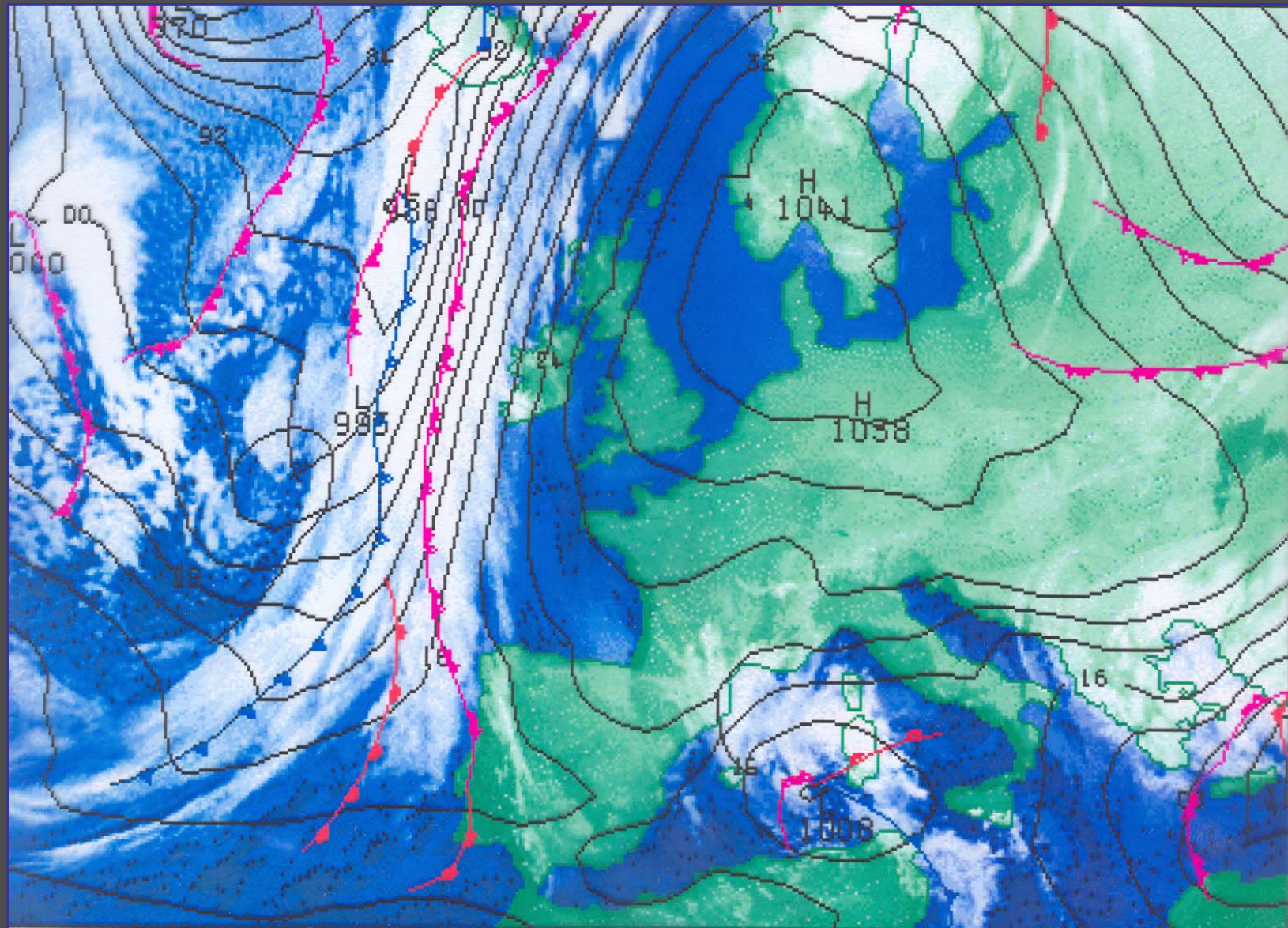




Tropical Storm Vince (09.10.2005)

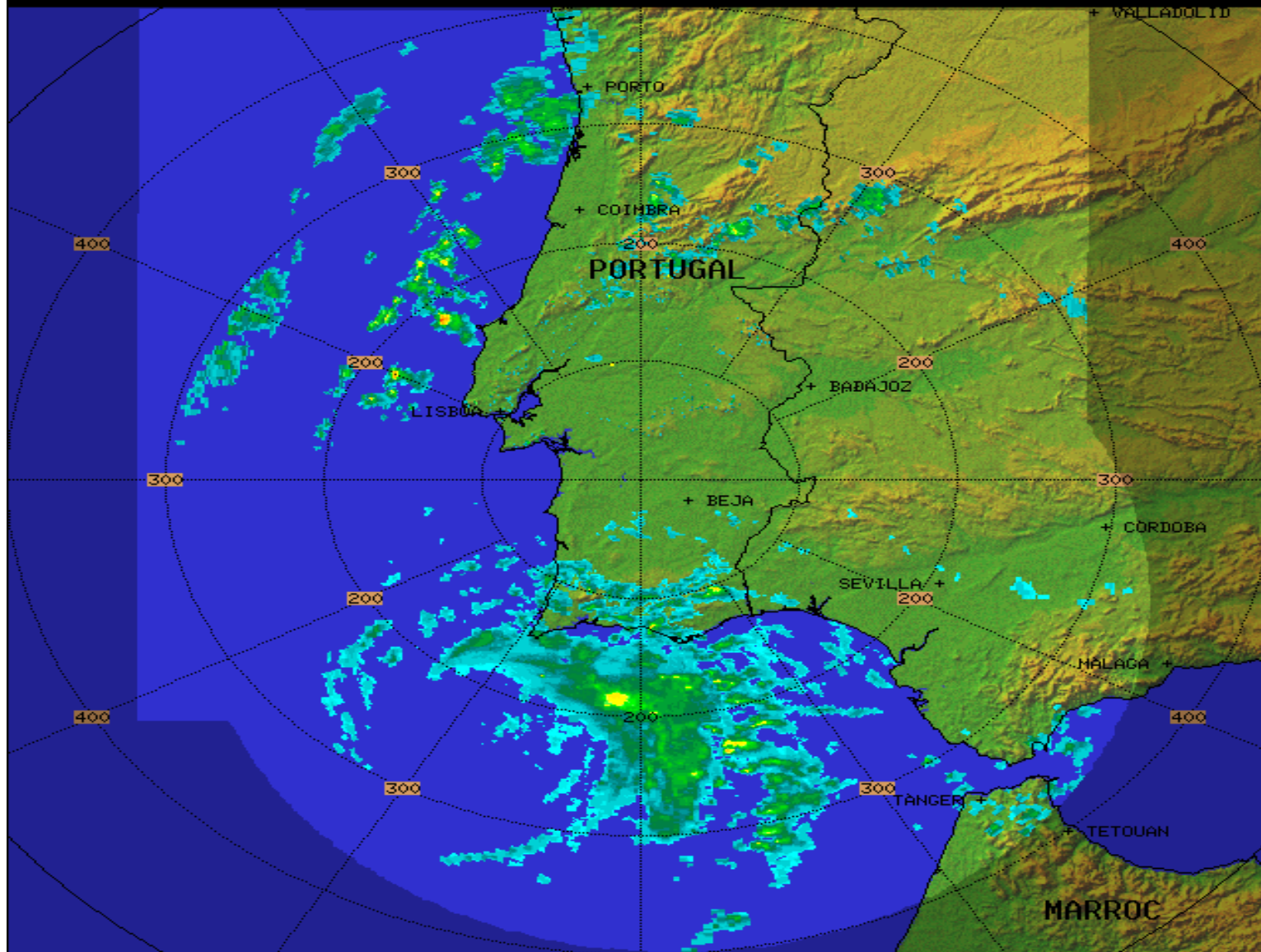


200510110800UTC_MSG1_MSG_IR_PIBERica

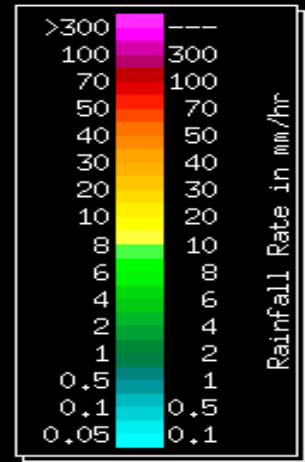


00:00 Tuesday February 18th 2003

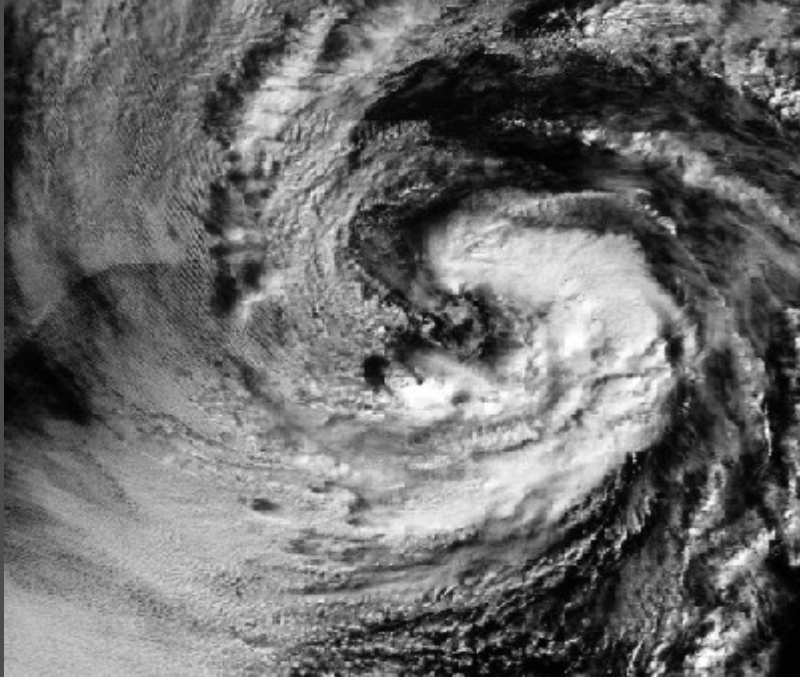
© Copyright EUMETSAT/
MetOffice



portugal_comp
CAPPI
FARO_COMP4
Task: REFLECTVOL_
PRF: 450Hz
Height: 1.0 km
Max Range: 400 km
03:00:17Z
11 OCT 2005 UTC



Instituto de Meteorologia, imagem do RADAR de Coruche



PREVER O TEMPO

Que é prever o tempo?

É determinar os estados futuros da atmosfera, a partir de um estado “inicial” conhecido.

É isso possível?

Se sim, como?

PREVER O TEMPO

Prever o tempo: sim, é possível.

Porquê?

Porque as variáveis que definem o estado instantâneo da atmosfera, estão ligadas entre si por equações, que traduzem leis fundamentais da Física, e que exprimem princípios globais de conservação (momento linear, massa, energia, momento angular).

PREVER O TEMPO

Estas equações, que se designam por equações de balanço, são equações de prognóstico, i.e., são equações da forma

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \sum_i F_i$$

Evolução temporal da atmosfera

Equações primitivas:

Prognóstico

- Equações de balanço da quantidade de movimento (eqs. do movimento)
- Equação de balanço da massa (eq. continuidade)
- Equação de balanço da energia (eq. termodinâmica)

Diagnóstico

- Equação de estado
(outras)

Sistema “fechado”, desde que...

Descrições Euleriana e Lagrangeana

▪ Descrição Euleriana

$$A = A(x, y, z, t)$$

$$\frac{\partial A}{\partial x}, \frac{\partial A}{\partial y}, \frac{\partial A}{\partial z}, \frac{\partial A}{\partial t}; \text{grad} A, \frac{\partial A}{\partial t}$$

▪ Descrição Lagrangeana

$$A = A(x(t), y(t), z(t), t)$$

$$\frac{dA}{dt}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial A}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \vec{V} \cdot \text{grad} A$$

Descrição Euleriana

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{dA}{dt} + \left(-\vec{V} \cdot \text{grad } A \right)$$

Derivada Local

Derivada Material

Advecção

Advecção:

transporte pelo campo do movimento

$$-\vec{V} \cdot \text{grad} A = -\vec{V}_H \cdot \text{grad}_H A - w \frac{\partial A}{\partial z}$$

= *advecção (horizontal) + convecção*

Equações de Prognóstico

(atmosfera húmida)

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{1}{r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + (fv - ew) + F_{a\lambda} - \frac{uw}{r} + \frac{uv}{r} \operatorname{tg} \varphi$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} - fu + F_{a\varphi} - \frac{vw}{r} - \frac{u^2}{r} \operatorname{tg} \varphi$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + eu + F_{az} - g + \frac{u^2}{r} + \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \operatorname{div} \vec{V} \quad \text{ou} \quad \frac{d\alpha}{dt} = \alpha \operatorname{div} \vec{V}$$

$$\frac{dp}{dt} = (\gamma - 1) \rho \dot{Q} - \gamma p \operatorname{div} \vec{V}$$

$$\frac{dq}{dt} = (e - c) + D$$

$$(p \alpha = R_a T (1 + 0,61q))$$

e, outras tantas equações quantos os componentes adicionais.

Relembrar que:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad } u = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}$$

Como se prevê o tempo?

- No presente, o tempo atmosférico prevê-se, **resolvendo com** o auxílio de computadores digitais, **o sistema de equações** que resulta, **por aplicação de métodos numéricos**, da transformação das equações que regem o comportamento da atmosfera em equações discretizadas no espaço e no tempo.
- Todos os dias, o Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (**ECMWF**), produz **previsões para dez dias**, à escala global, com base num estado inicial “observado”, referente às 12h TUC, do primeiro dia.

Figure 7-9 shows the grid centered on a u point and it includes the required fluxes for the u prediction equation. Equation 7-82 is written in finite difference form as follows:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\Pi_{i,j}^u u_{i,j,k}) + [F_{i+1/2,j}^u (u_{i+1,j} + u_{i,j}) - F_{i-1/2,j}^u (u_{i,j} + u_{i-1,j}) \\ & + G_{i,j+1/2}^u (u_{i,j+1} + u_{i,j}) - G_{i,j-1/2}^u (u_{i,j} + u_{i,j-1})]_k \\ & + \frac{1}{2\Delta\sigma_k} [\dot{S}_{k+1}^u (u_{k+2} + u_k) - \dot{S}_{k-1}^u (u_k + u_{k-2})]_{i,j} \\ & = [\pi_{i+1/2,j} C_{i+1/2,j} (v_{i+1/2,j+1/2} + v_{i+1/2,j-1/2}) \\ & + \pi_{i-1/2,j} C_{i-1/2,j} (v_{i-1/2,j+1/2} + v_{i-1/2,j-1/2})]_k \\ & - \frac{\Delta\eta}{2n_{i,j}} [(\pi_{i+1/2,j} + \pi_{i-1/2,j}) (\Phi_{i+1/2,j} - \Phi_{i-1/2,j}) \\ & + \sigma ((\pi\alpha)_{i+1/2,j} + (\pi\alpha)_{i-1/2,j}) (\pi_{i+1/2,j} - \pi_{i-1/2,j})]_k + \left(\frac{\Pi F_\xi}{mn}\right)_{i,j,k} \end{aligned} \quad (7-87)$$

where

$$\begin{aligned} \Pi_{i,j}^u &= 1/8 [\Pi_{i+1/2,j+1} + \Pi_{i-1/2,j+1} + \Pi_{i-1/2,j-1} + \Pi_{i+1/2,j-1} \\ & + 2(\Pi_{i+1/2,j} + \Pi_{i-1/2,j})] \end{aligned} \quad (7-88a)$$

$$\begin{aligned} F_{i+1/2,j,k}^u &= 1/8 [F_{i+1,j+1} + F_{i,j+1} + \\ & 2(F_{i,j} + F_{i+1,j}) + F_{i+1,j-1} + F_{i,j-1}]_k \end{aligned} \quad (7-88b)$$

7-4 EXAMPLE OF A STAGGERED PRIMITIVE EQUATION MODEL 233

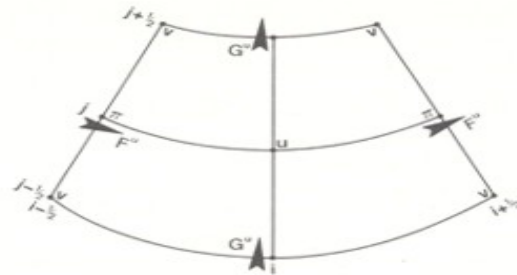


Figure 7.9 The grid centered on a u point.

$$\begin{aligned} G_{i,j+1/2}^u &= 1/8 [2(G_{i+1/2,j+1/2} + G_{i-1/2,j+1/2}) + G_{i+1/2,j+3/2} \\ & + G_{i-1/2,j+3/2} + G_{i+1/2,j-1/2} + G_{i-1/2,j-1/2}]_k \end{aligned} \quad (7-88c)$$

$$\begin{aligned} C_{i,j,k} &= \left(\frac{f\Delta\xi\Delta\eta}{mn}\right)_{i,j} - (u_{i+1/2,j} + u_{i-1/2,j})_k [(1/m)_{i,j+1/2} \\ & - (1/m)_{i,j-1/2}] \Delta\xi/2 + (v_{i,j+1/2} + v_{i,j-1/2})_k [(1/n)_{i+1/2,j} - (1/n)_{i-1/2,j}] \frac{\Delta\eta}{2} \end{aligned} \quad (7-88d)$$

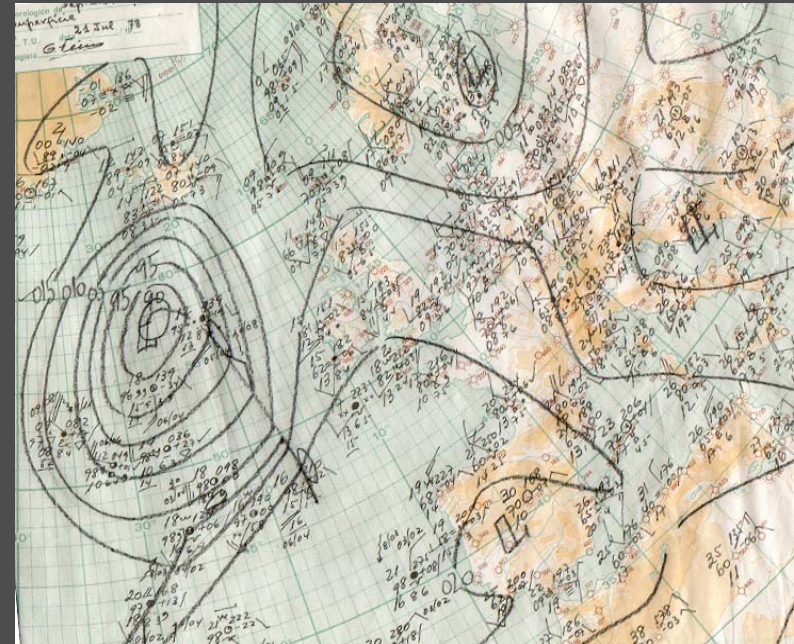
and \dot{S}^u is computed from \dot{S} in the same way that Π^u is computed from Π .

Desde quando se fazem previsões meteorológicas?

As previsões meteorológicas remontam aos **finais do século XIX!**

A qualidade das previsões foi melhorando, à medida que a **compreensão dos mecanismos** responsáveis pelo tempo e suas alterações, bem como das escalas envolvidas, foi aumentando, designadamente:

- i) a partir **dos anos trinta**, com **Rossby** e a escola de **Chicago**, a que pertenceram notáveis cientistas da atmosfera;
- ii) **dos anos 50** com o aparecimento dos computadores digitais; a **primeira previsão numérica do tempo** com sucesso foi realizada na Universidade de **Princeton**, por **von Neumann, Charney e Fjortoft**.

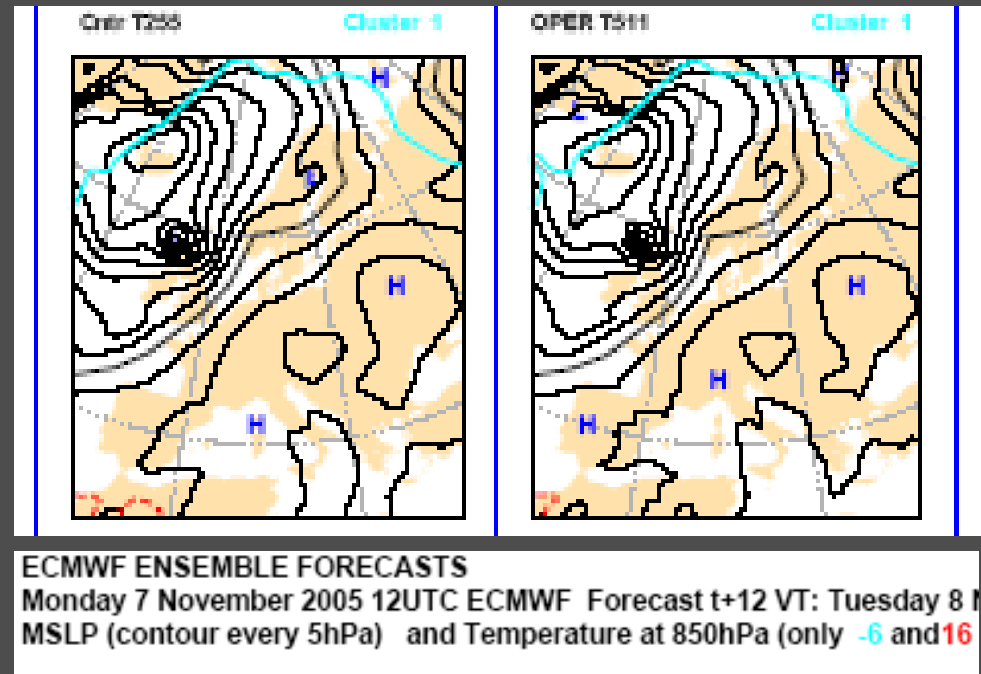


Carta meteorológica do ano de 1978- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa

Como se prevê o tempo?

O **ECMWF**, desenvolveu e aplica, outro método de previsão, conhecido como **previsão de “Ensemble”**; o estado inicial “Observado” é perturbado de modo a produzir vários outros possíveis estados iniciais; o modelo do ECMWF, actua sobre todos estes estados iniciais, produzindo uma família de estados futuros; a previsão é feita à custa de todos os possíveis estados futuros; trata-se de um método de previsão de qualidade superior àqueles que assentam num único estado inicial.

Os resultados da previsão podem ser **visualizados** sob a **forma de cartas de tempo, cartas sinópticas ou cartas meteorológicas.**



Os Grandes Mestres (alguns nomes)

Vilhelm Bjerkness



Portrait of the Norwegian scientist Vilhelm Bjerkness

Lewis Fry Richardson

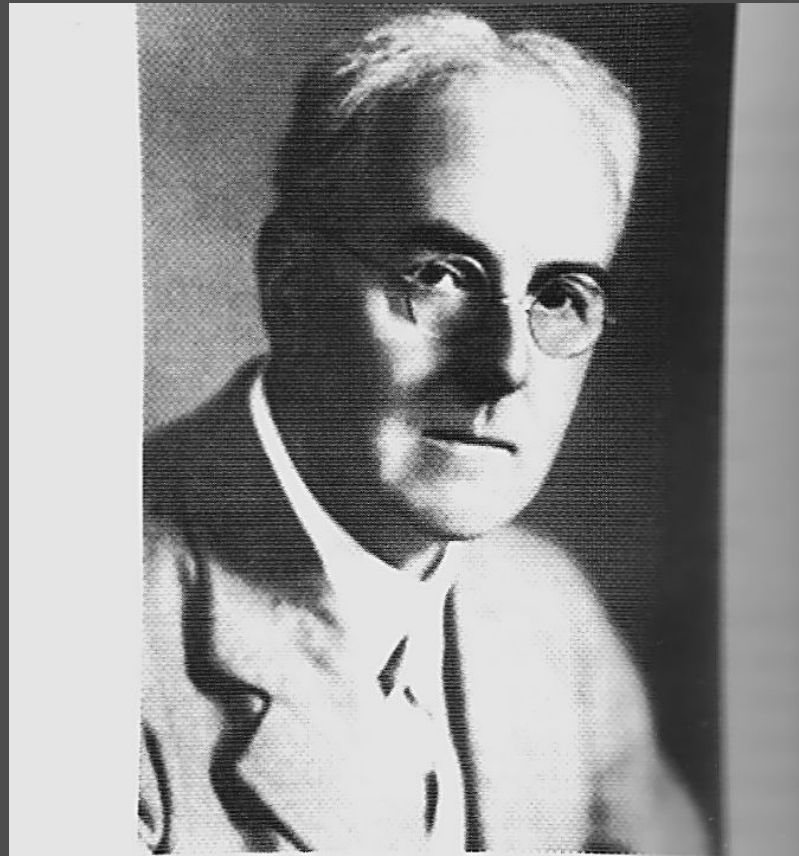
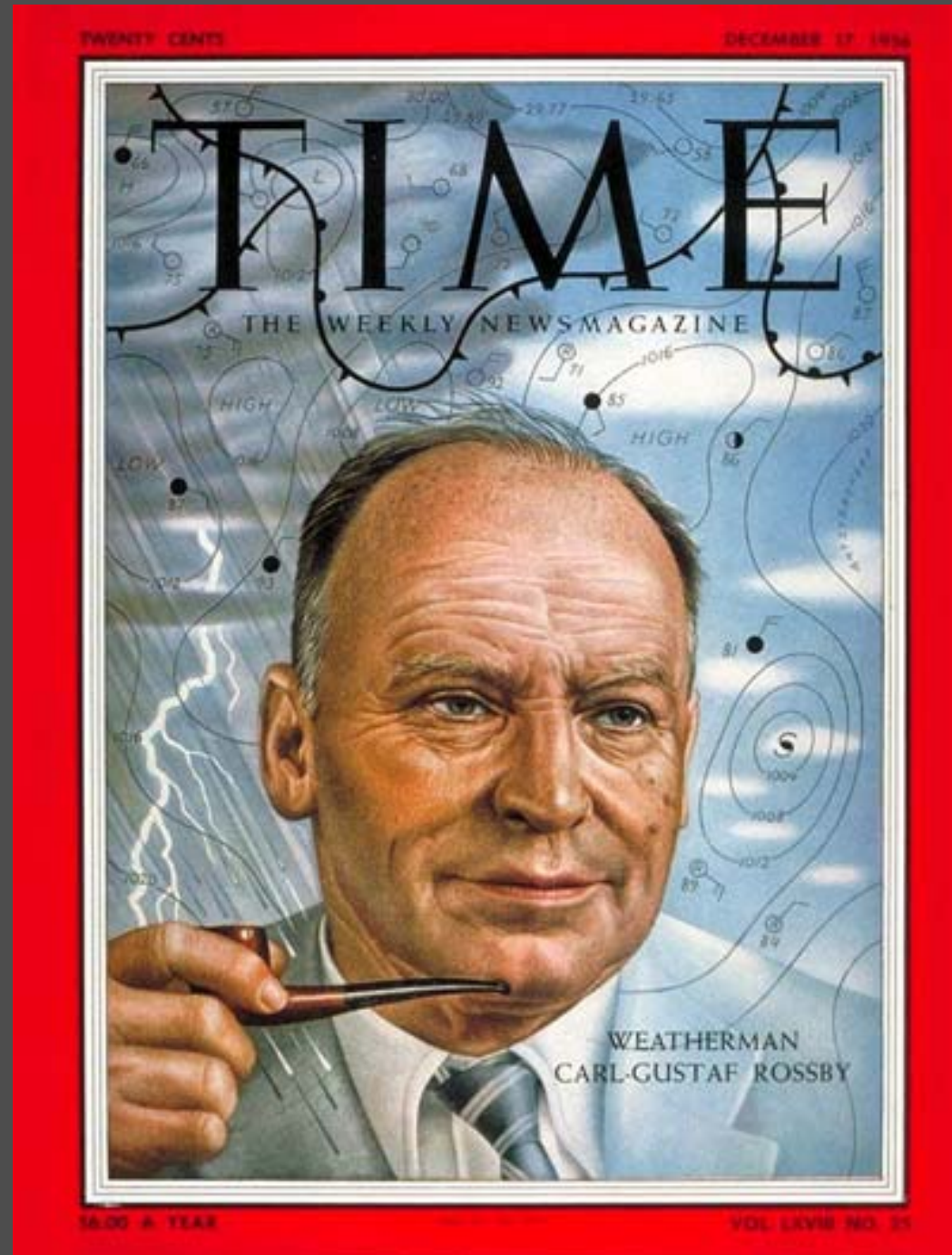


FIGURE 2 Lewis Fry Richardson (1881–1953). (From *Richardson's Collected Works*, reproduced with permission of Bassano and Bassano Studios.)

Carl-Gustaf Rossby



Jule Charney



FIGURE 3 Jule Charney (1917–1981). (From the cover of *EOS*, 57, August, 1976. © Nora Rosenbaum.)

***The Atmosphere—
A Challenge
The Science of
Jule Gregory Charney***



CHARNEY REMEMBERED



FIG. 2. Charney as King of Mardi Gras, 1943
(courtesy of E. Carlstead).

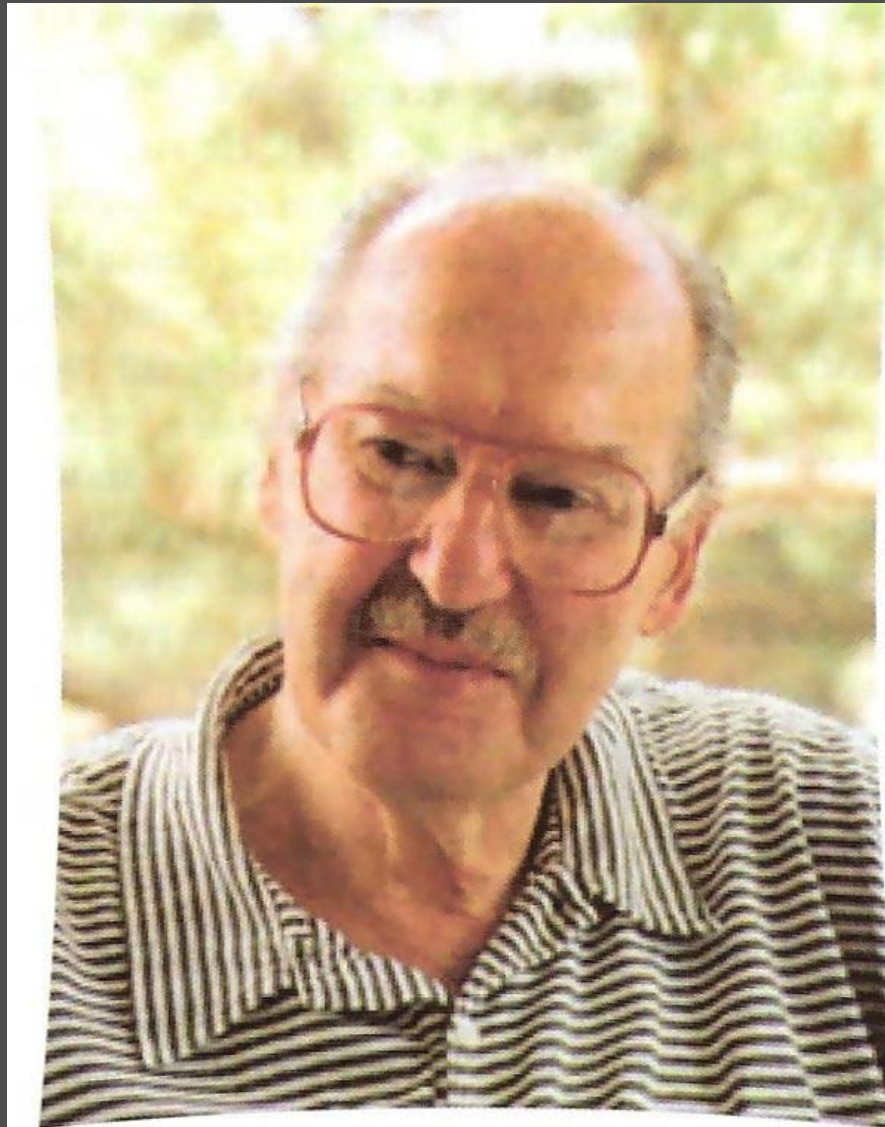


FIG. 1. (left) Harry Wexler and John von Neumann are shown standing in front of one of the panels of the Electronic Numerical Integrator and Calculator (ENIAC), Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, MD, April 1950. The original photograph has been cropped to isolate Wexler and von Neumann. (Reproduced from the Collections, Library of Congress.)



FIG. 2. (left) Joe Smagorinsky and Jule Charney are shown standing in front of the statue of Buddha in Tokyo, Japan, while attending the First International Conference on NWP, Tokyo, Japan, November 1960. (right) Smagorinsky, dressed in a kimono, at the conference banquet. (Courtesy of George Platzman.)

Joseph Smagorinsky



Joseph Smagorinsky. (Photo: Peter Smagorinsky)

Jacob Bjerkness

THE LIFE CYCLES OF EXTRATROPICAL CYCLONES



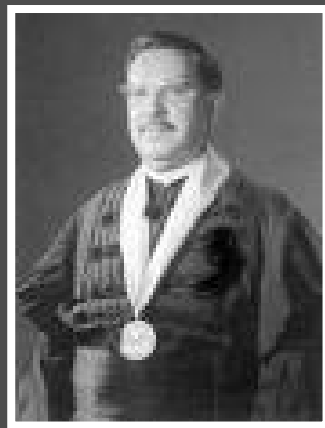
Edited by Melvyn A. Shapiro and Sigbjørn Grønås

Edward Norton Lorenz

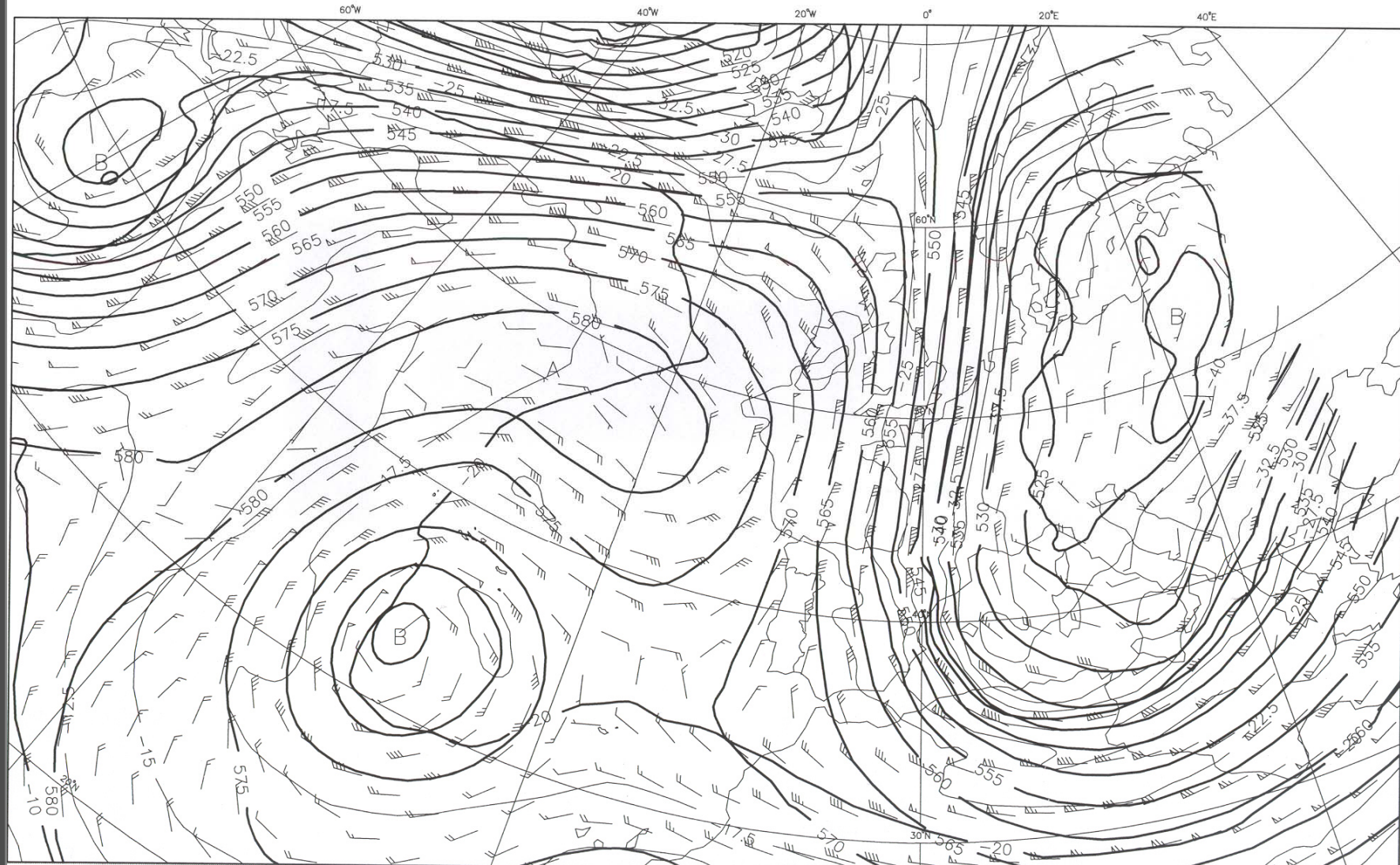


José Pinto Peixoto

estudos sistemáticos da *circulação global na atmosfera*, e em particular do ciclo global de água na atmosfera.

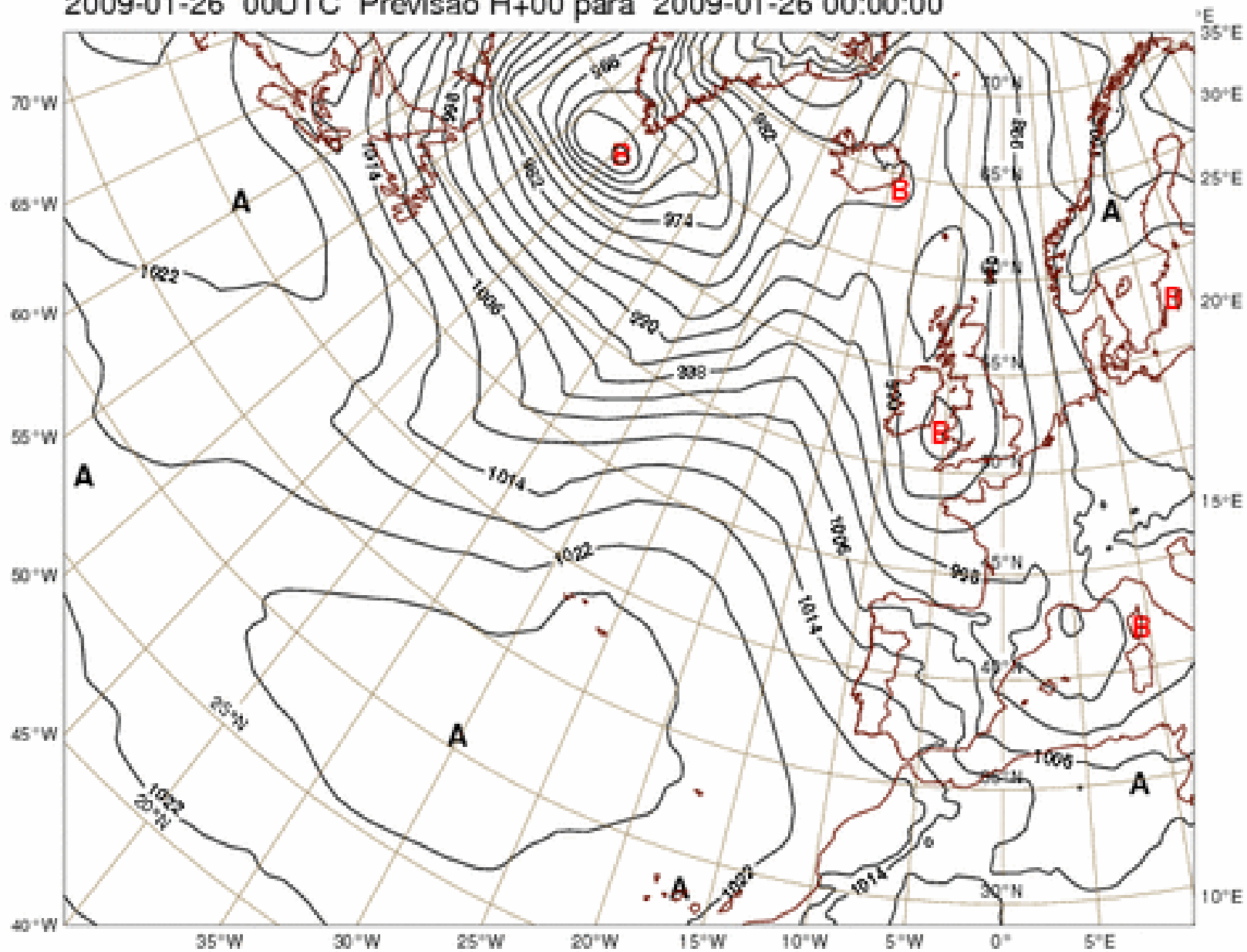


4A-FEIRA 19 JANEIRO 2005 12H ECMF **PREVISAO H+144 PARA 3A-FEIRA 25 JANEIRO 2005 12H**
Geopotencial a 500hPa /Vento a 500hPa /Temperatura a 500hPa /
20246



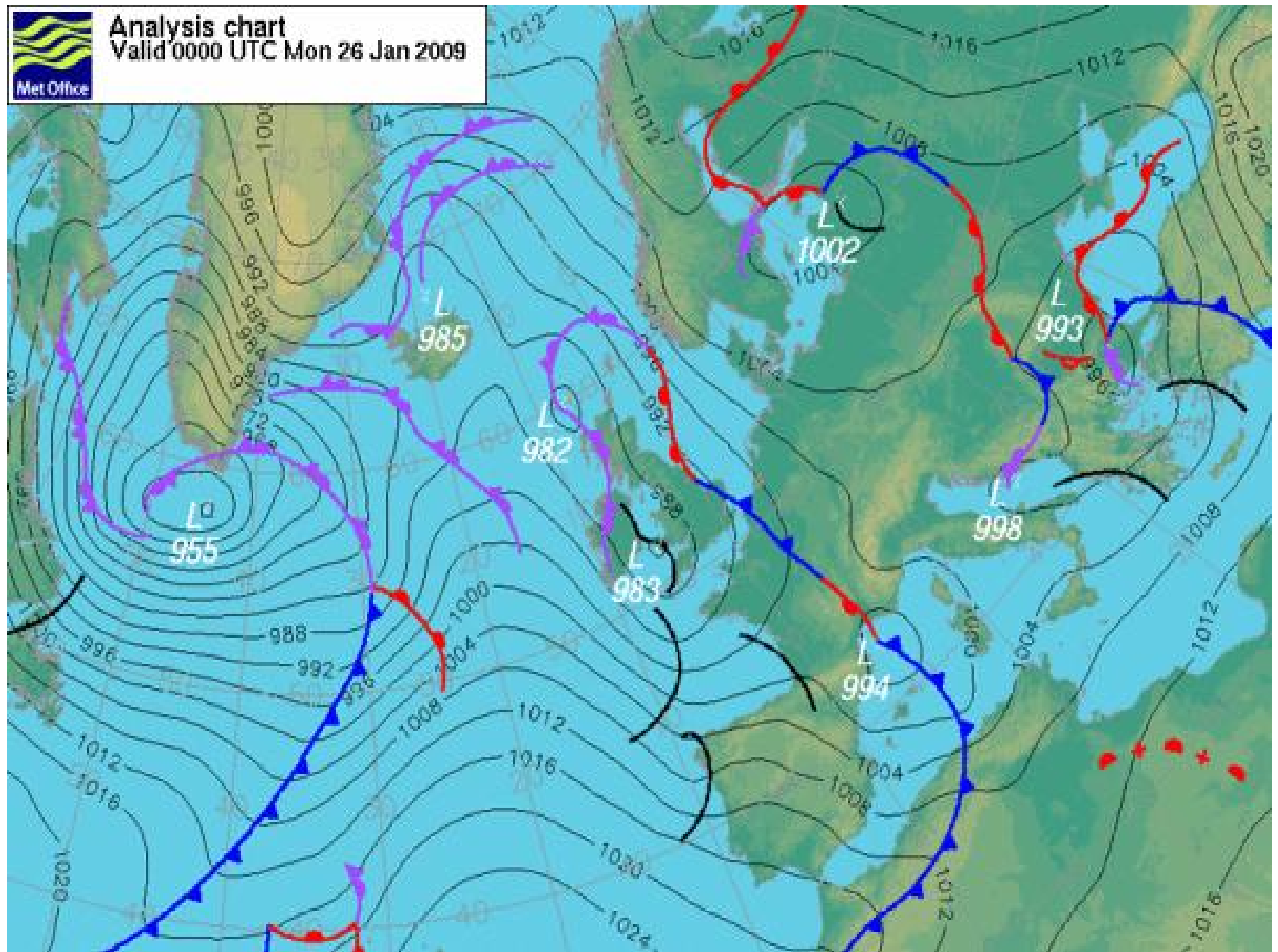
ECMWF Pressão ao nível médio do mar

2009-01-26 00UTC Previsão H+00 para 2009-01-26 00:00:00



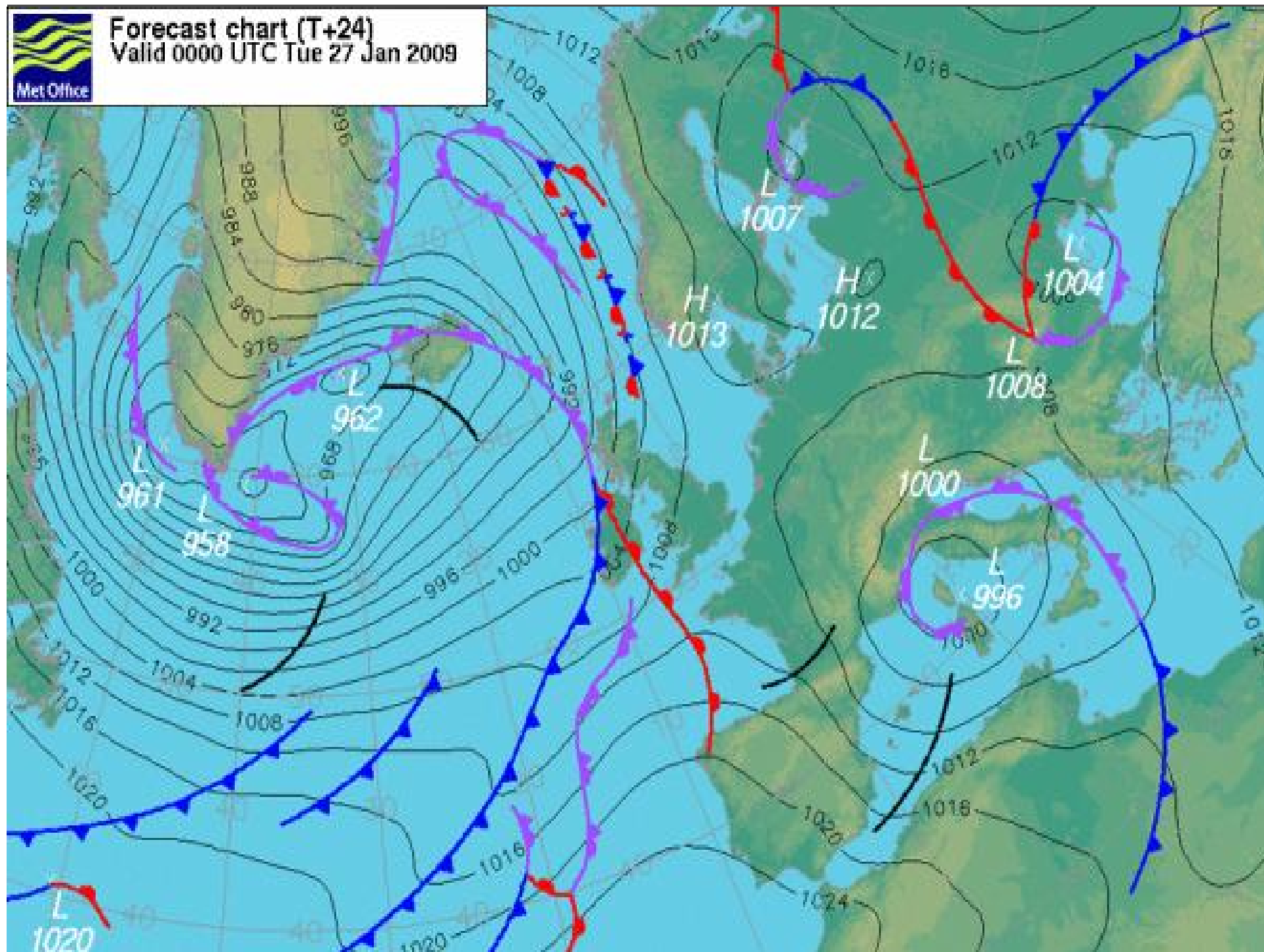


Analysis chart
Valid 0000 UTC Mon 26 Jan 2009



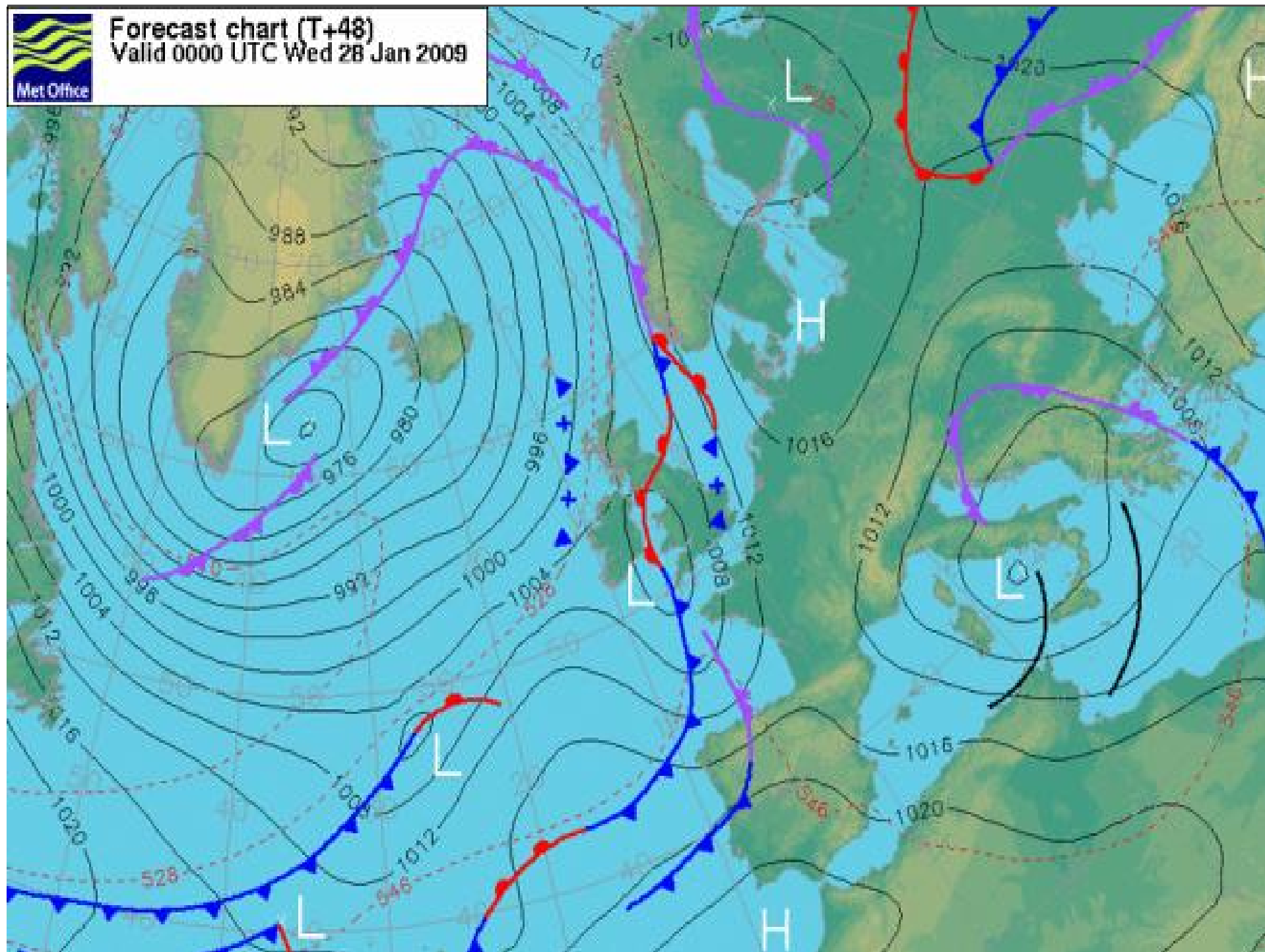


Forecast chart (T+24)
Valid 0000 UTC Tue 27 Jan 2009



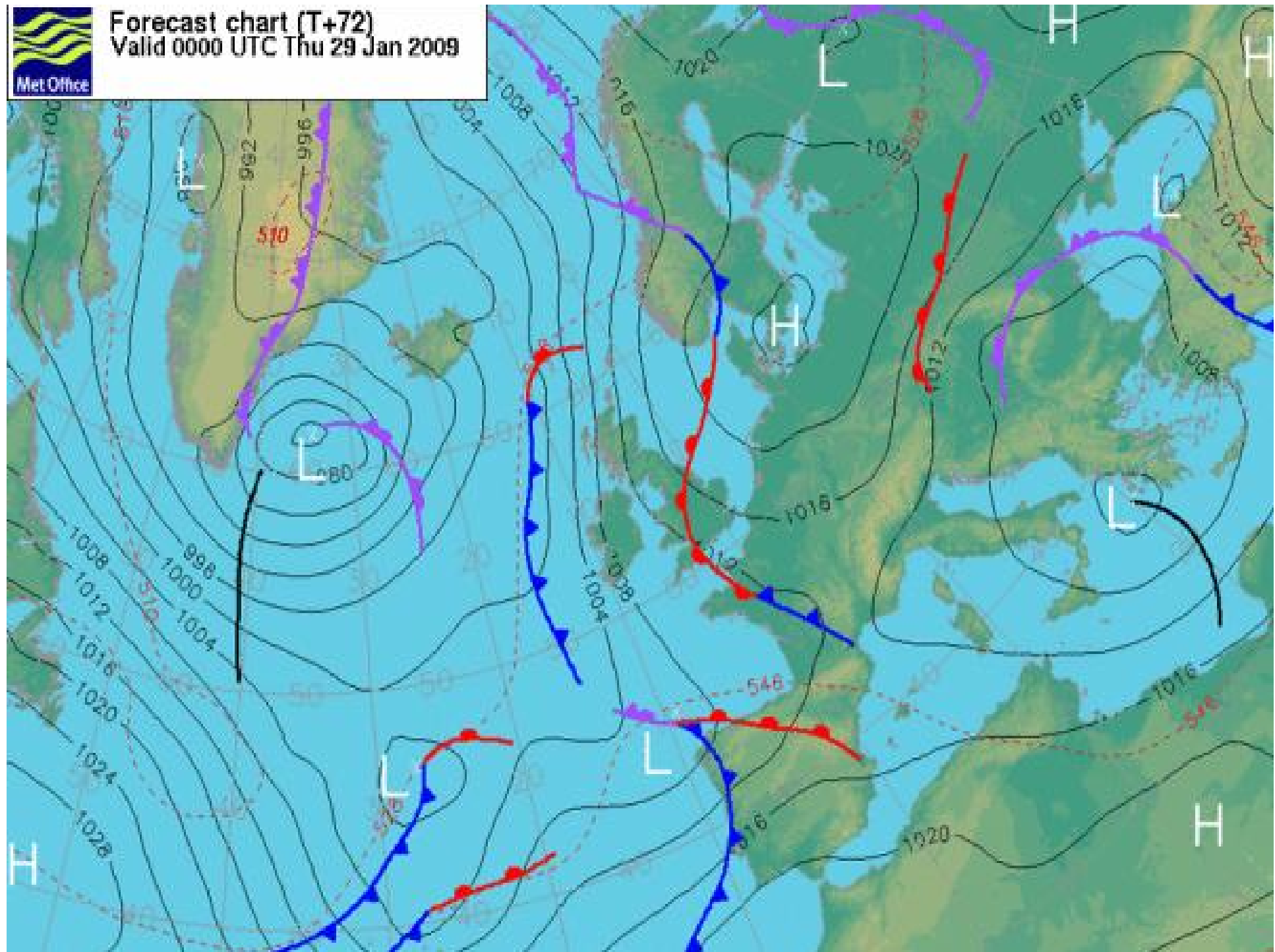


Forecast chart (T+48)
Valid 0000 UTC Wed 28 Jan 2009





Forecast chart (T+72)
Valid 0000 UTC Thu 29 Jan 2009



CLIMA

Que é o Clima?

O conceito de **clima**, envolve a descrição estatística das condições meteorológicas (i.e. do tempo atmosférico) durante um intervalo de tempo longo – convencionalmente **de 30 anos**. Este tratamento estatístico permite obter um quadro geral das condições meteorológicas típicas numa dada região do planeta, durante o período de tempo escolhido. O clima é pois uma **representação conceptual do comportamento estatístico da atmosfera**, i.e. o clima “não está lá fora”! O que “está lá fora” i.e. o que experimentamos é o **Tempo**. As grandezas que descrevem o Clima são os **elementos de clima**

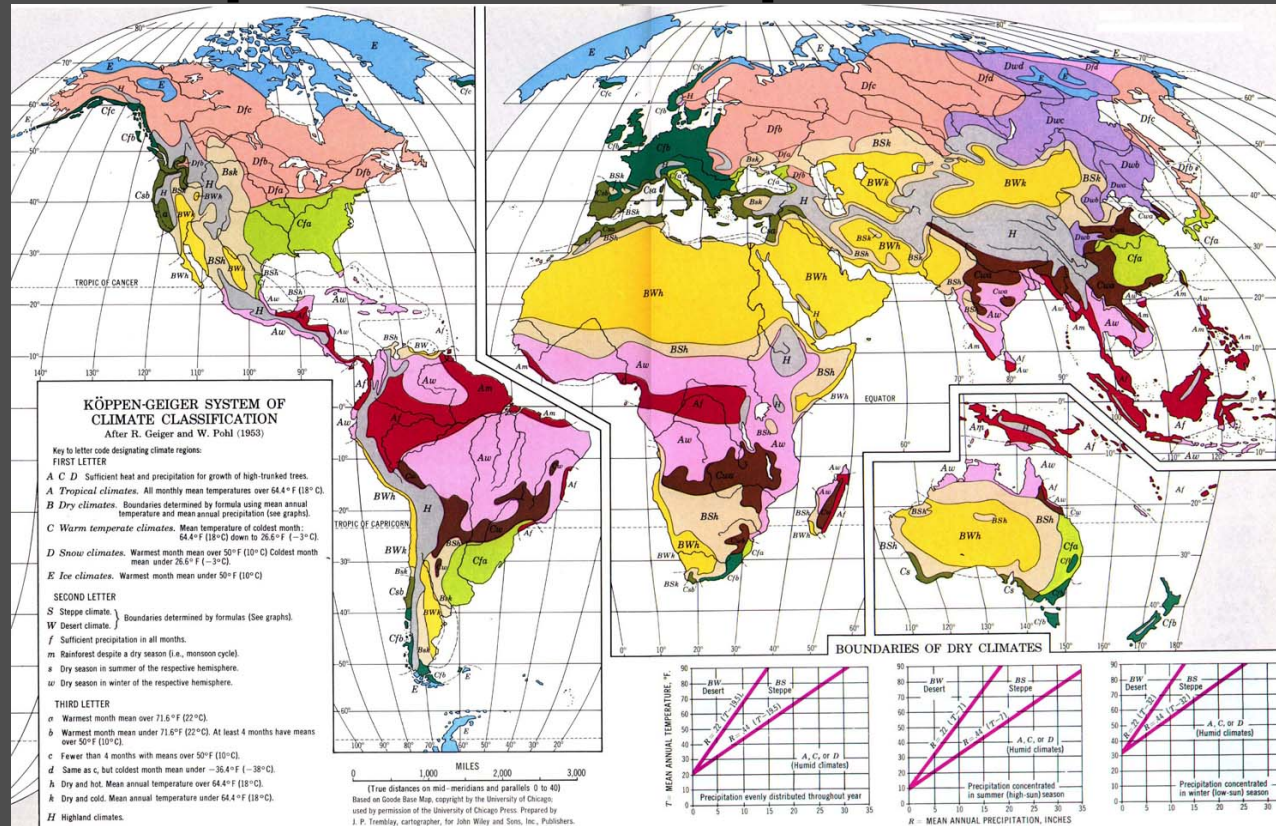


Tempo e clima
Crédito: Nuno Jorge 2005

Citando Mark Twain:

**“Climate is what we expect;
weather is what we get”.**

Quais os tipos de clima que existem na Terra?



Existem descrições simplificadas dos climas observados na Terra, que se baseiam em certos critérios seleccionados. Em geral, estes sistemas de classificação categorizam o clima de maneira a caracterizar o **ambiente meteorológico e hídrico** de uma região em termos da temperatura e da precipitação.

Um dos mais importantes sistemas de classificação dos climas é o **sistema de Köppen**, elaborado em 1918 por Vladimir Köppen da Universidade de Graz, Austria

As classes principais apresentam as seguintes características:

- **A - *Clima tropical húmido***: A temperatura média mensal em todos os meses do ano é superior a 18°C , não existindo uma estação de Inverno.
- **B - *Clima seco***: A evaporação excede a precipitação durante a maior parte do ano
- **C - *Clima temperado com Inverno suave***: Existe um Verão moderado ou quente e Inverno suave. A temperatura média do mês mais frio encontra-se entre os 18°C e os -3°C .
- **D - *Clima temperado com Inverno rigoroso***: Verão moderadamente quente e Inverno frio. A temperatura média do mês mais quente é superior a 10°C , e a do mês mais frio é inferior a -3°C .
- **E - *Clima polar***: Inverno e Verão extremamente frios. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 10°C .

Que é o Clima?

O clima é influenciado por diversos condicionantes, designados por **factores de clima**, que decorrem da complexidade das interacções entre os diferentes sistemas que compõem o nosso Planeta, **da radiação solar** que nos atinge e aquece, **da radiação infravermelha emitida** pela própria **Terra** para o espaço e dos **parâmetros orbitais da Terra** (excentricidade da órbita, inclinação do eixo de rotação da Terra e precessão do eixo).

- Qualquer mudança significativa nas estatísticas que definem o clima, representa **uma mudança climática, uma variação do clima ou uma alteração do clima.**
- Podemos distinguir entre **variações livres** e **forçadas** do clima.
- A Teoria de Milankovitch (mecânica Newtoniana!)
- Variações abruptas do clima e surpresas.
- Haverá apenas um Clima?

O Clima não tem uma natureza constante; sabemos que no passado o clima da Terra esteve sujeito a diversas alterações e que estas vão continuar a ocorrer no futuro, não apenas devido a “causas naturais” mas provavelmente também em consequência da actividade humana (a designada Alteração do Clima de Origem Antropogénica, ACC).

Estas alterações podem ter uma influência profunda no ambiente, nos recursos disponíveis e na vida humana.

PERÍODOS DE VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

AQUECIMENTO: $+0,37^{\circ}\text{C}$ ➤ DE 1915-1945

ARREFECIMENTO: $-0,14^{\circ}\text{C}$ ➤ DE 1945-1978

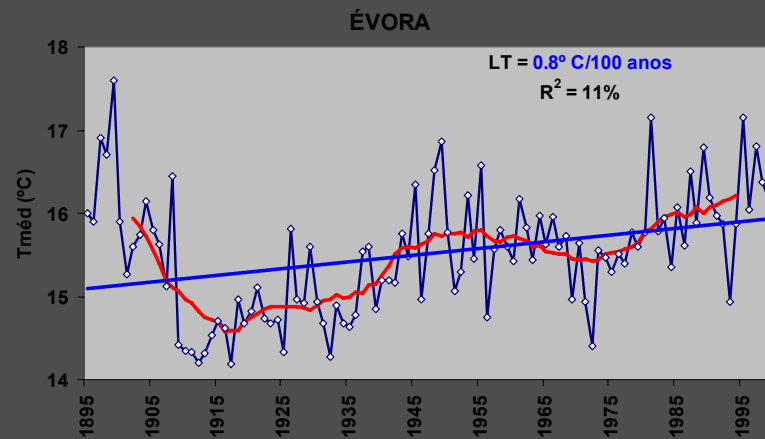
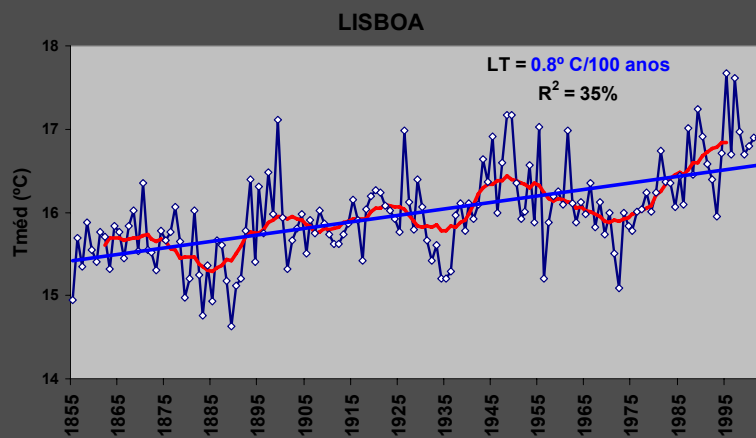
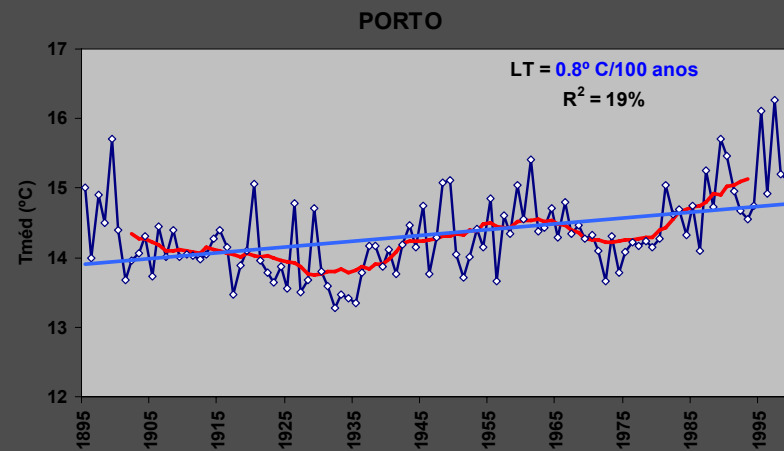
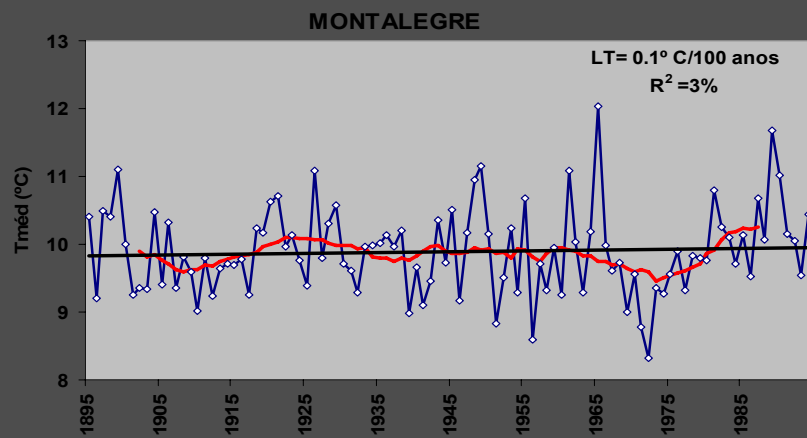
AQUECIMENTO: $+0,32^{\circ}\text{C}$ ➤ DE 1978-1999

MÉDIA GLOBAL: $+0,56^{\circ}\text{C}$ ➤ DE 1850-1999

Oscilações Naturais dos Campos da Temperatura em Portugal

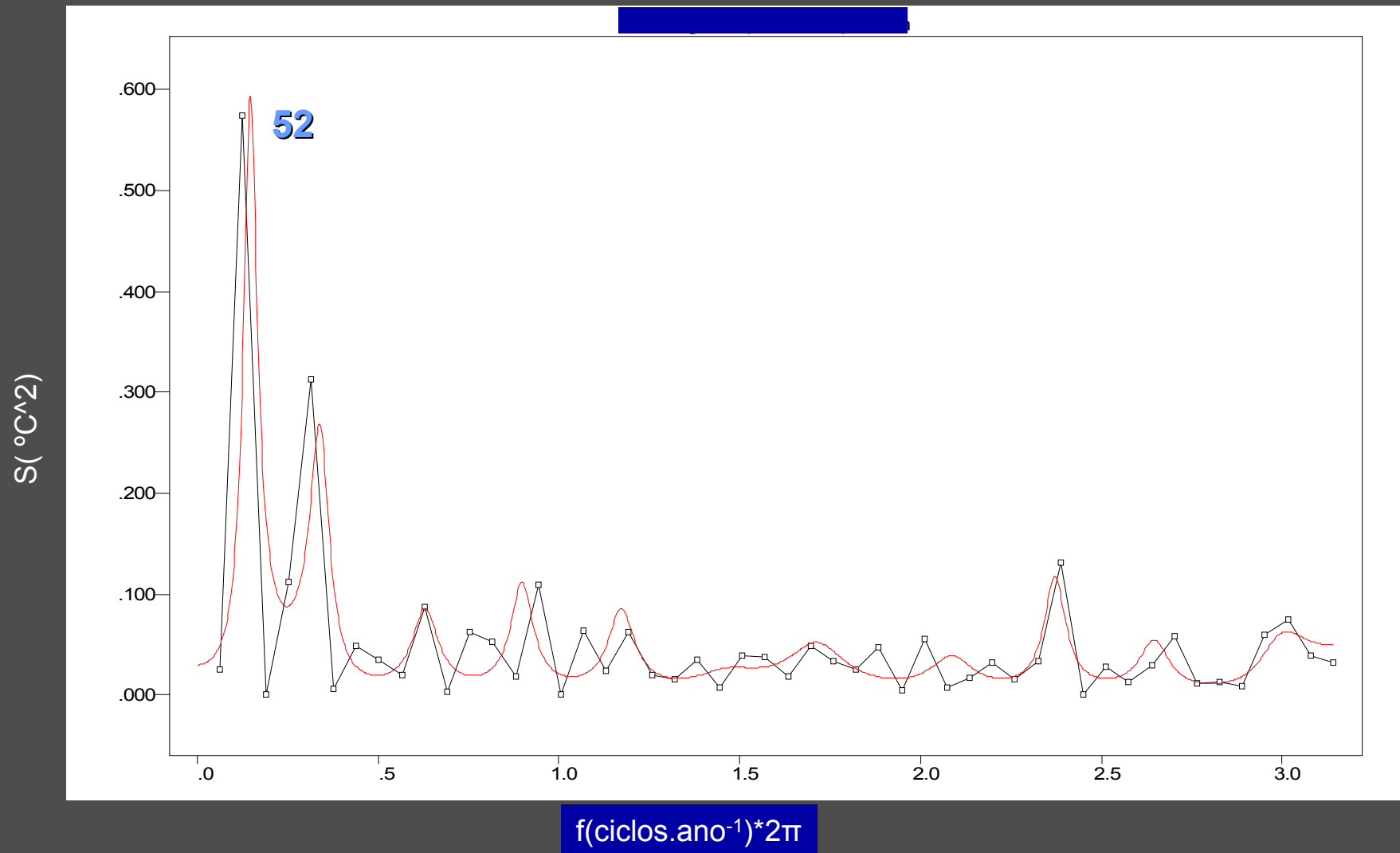
Temperatura do ar

Temperatura média anual

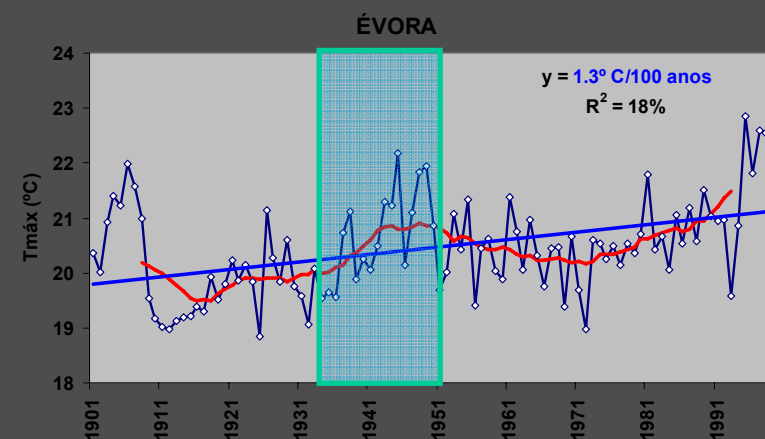
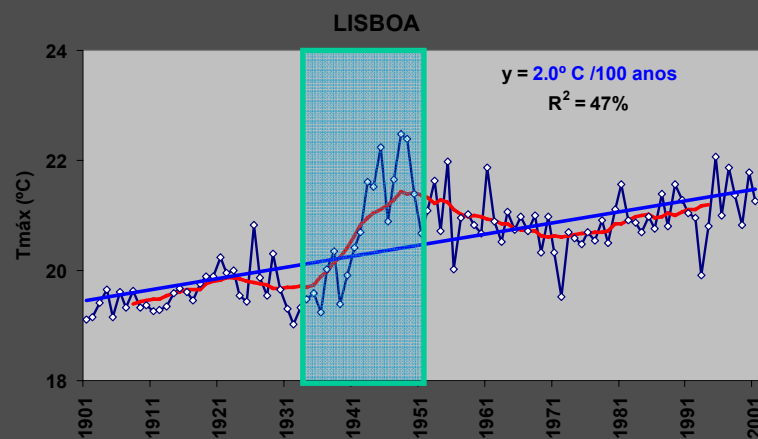
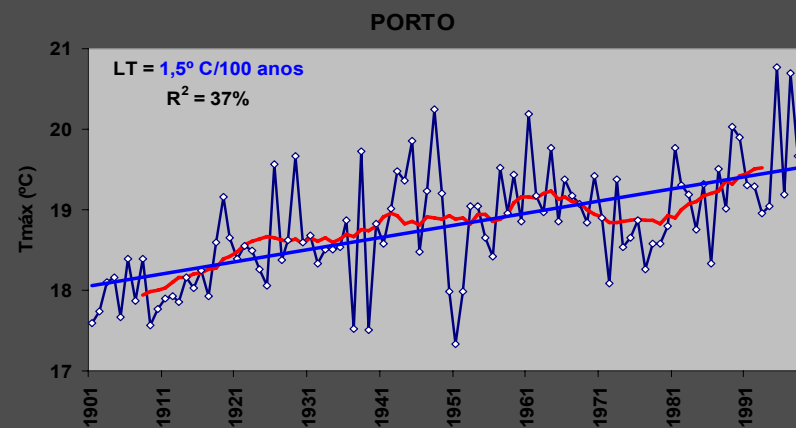
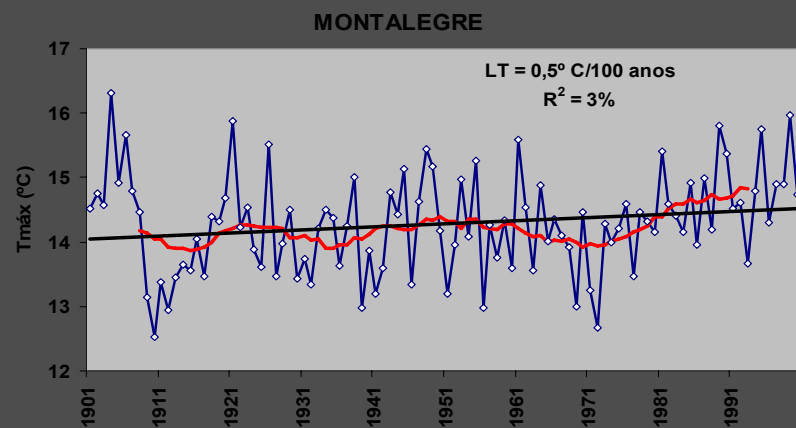


- Évora

MESA (Temperatura)

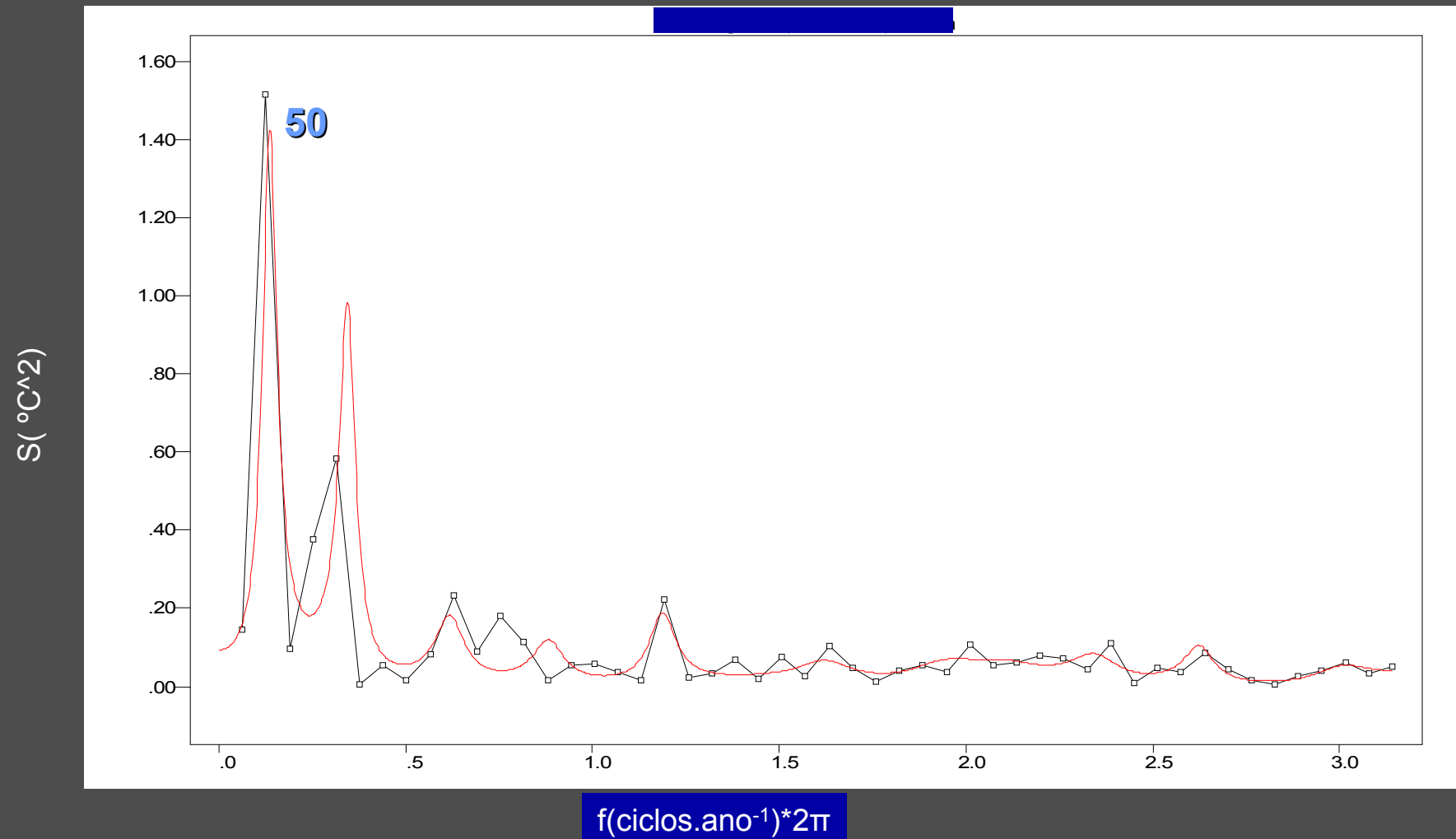


Temperatura máxima média anual



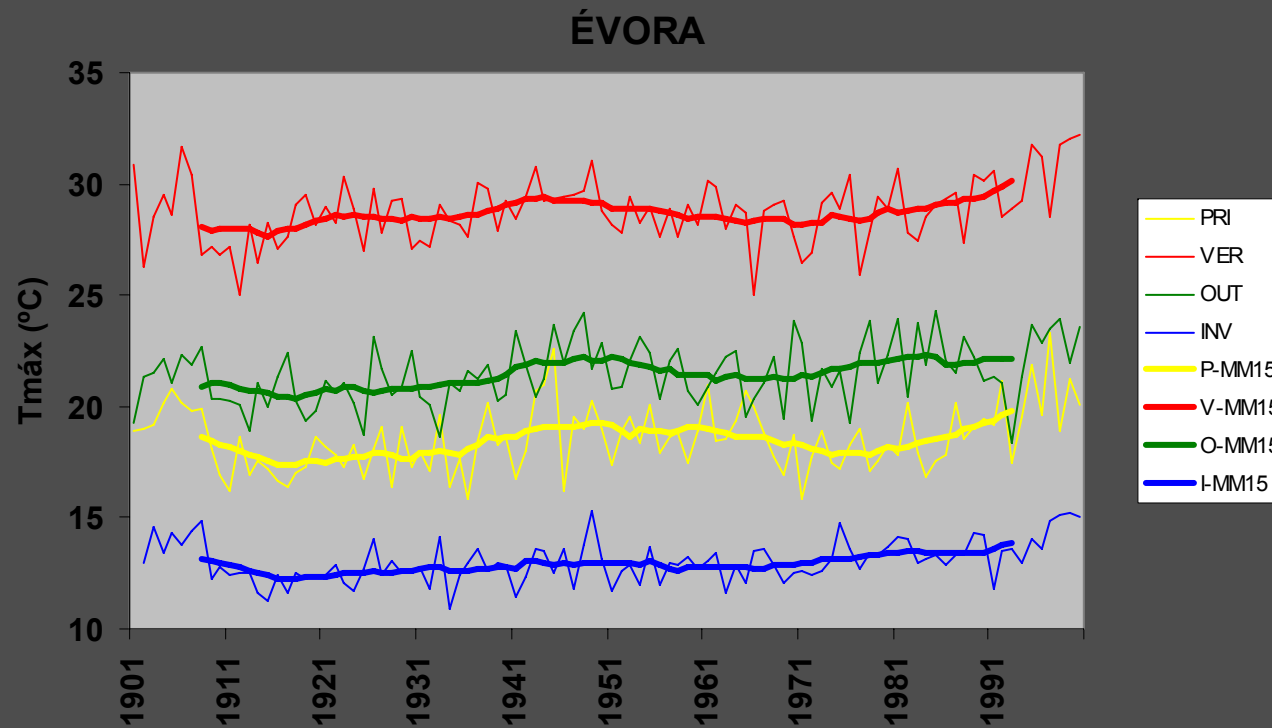
• Évora

MESA (Temperatura máxima)



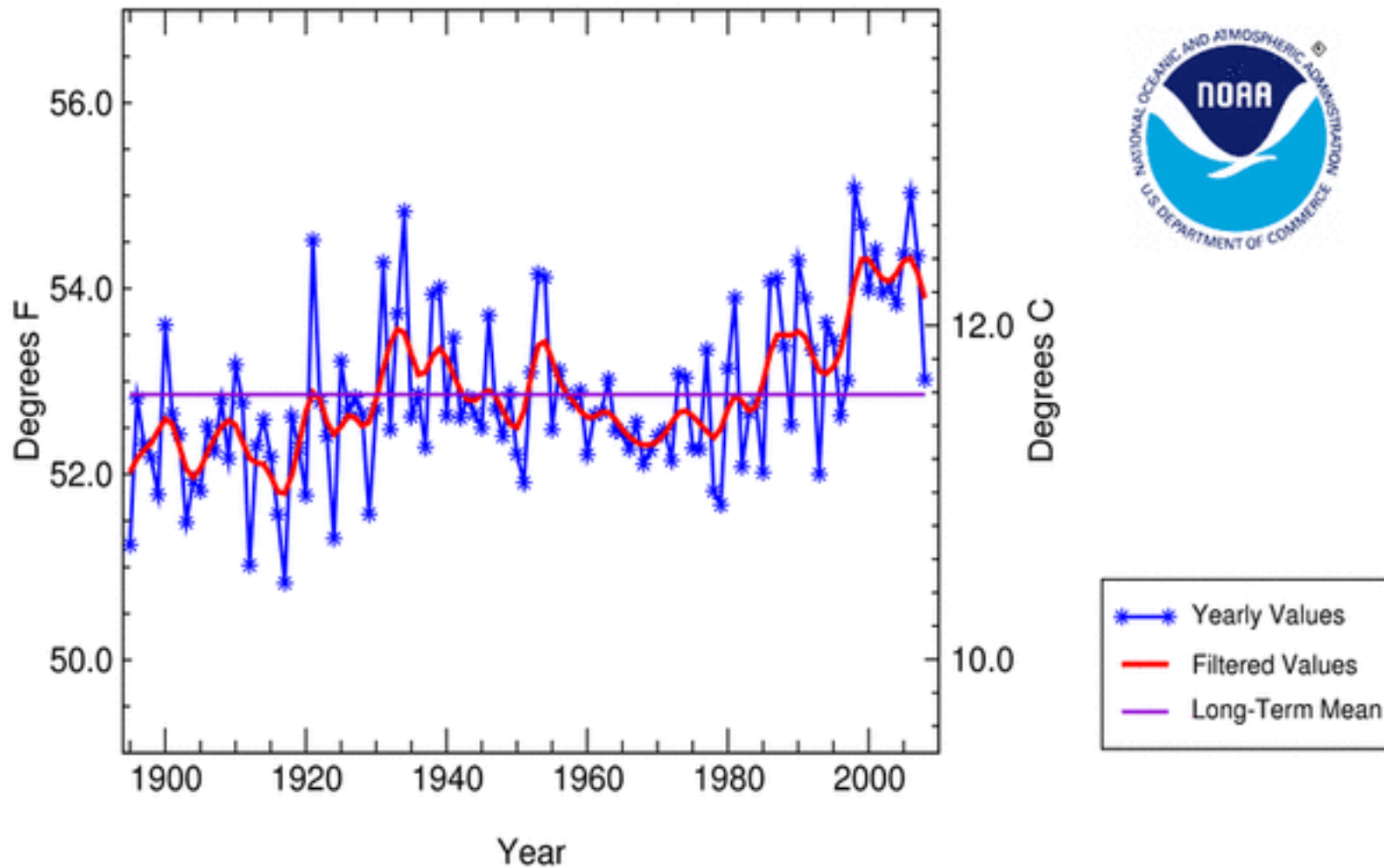
MA (Temperatura máxima média sazonal)

- Évora



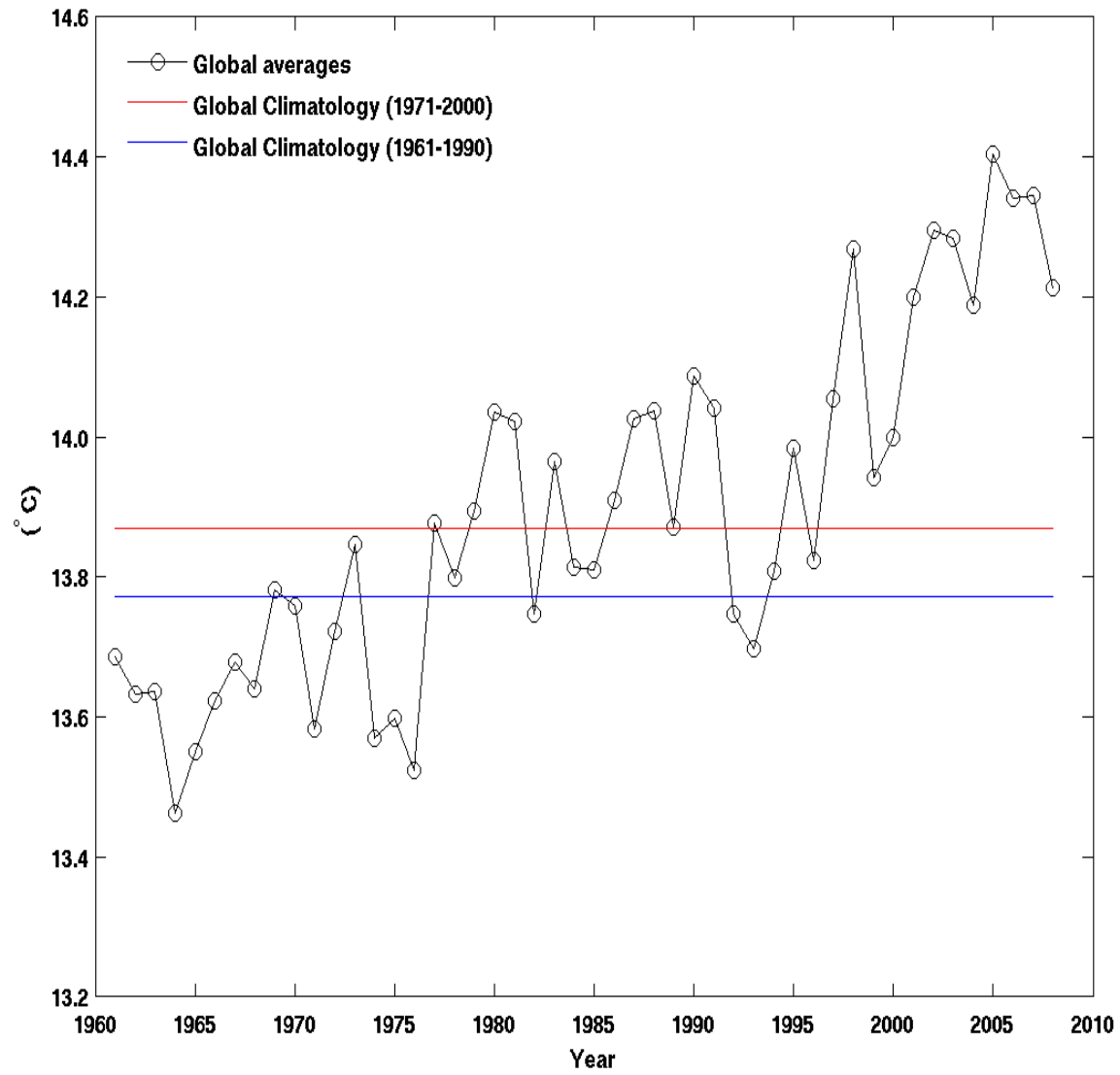
	STD	IQR ₇₅₋₂₅
DJF	0.9	1.1
MAM	1.5	2.1
JJA	1.4	1.7
SON	1.4	1.9

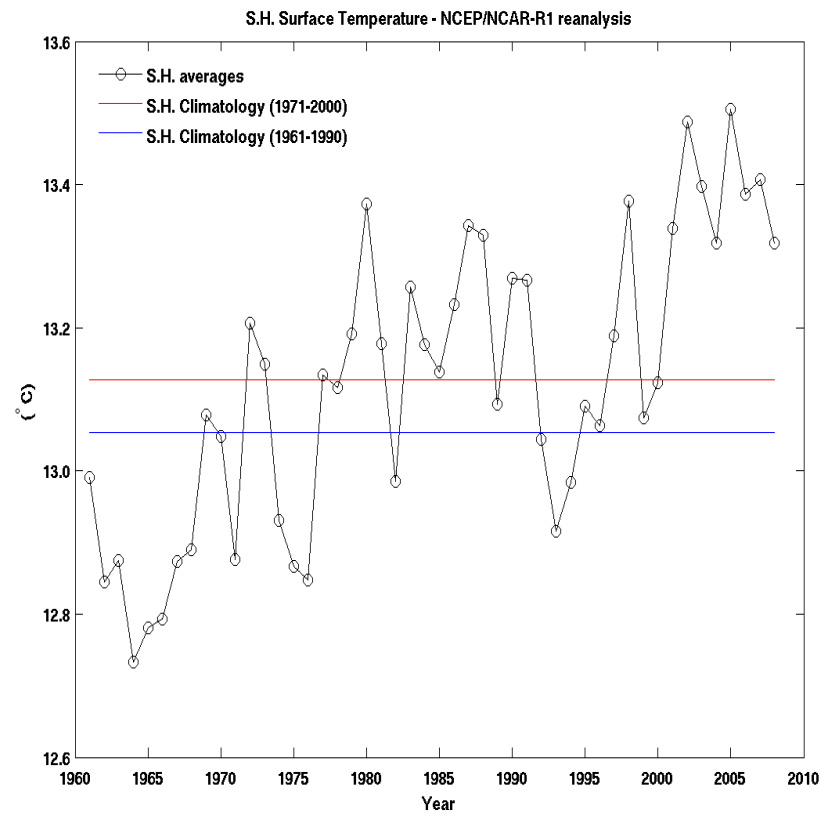
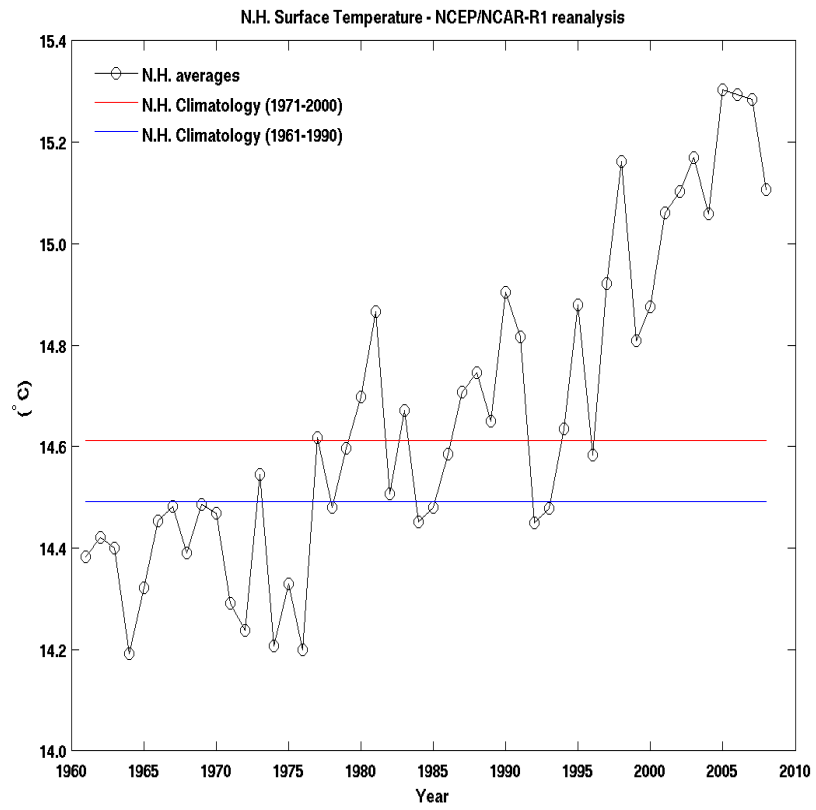
National (Contiguous U.S.) Temperature 1895 - 2008



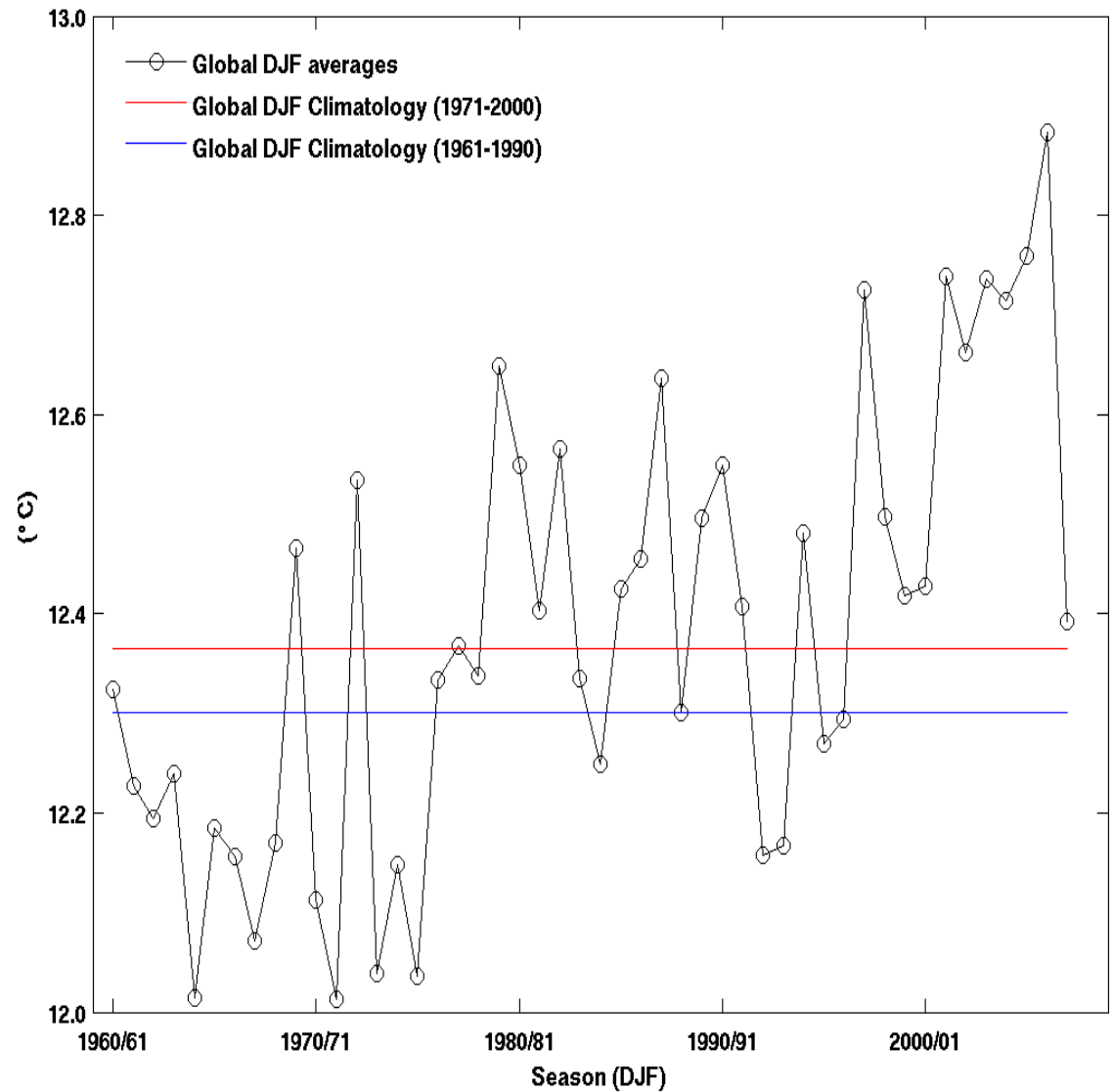
National Climatic Data Center / NESDIS / NOAA

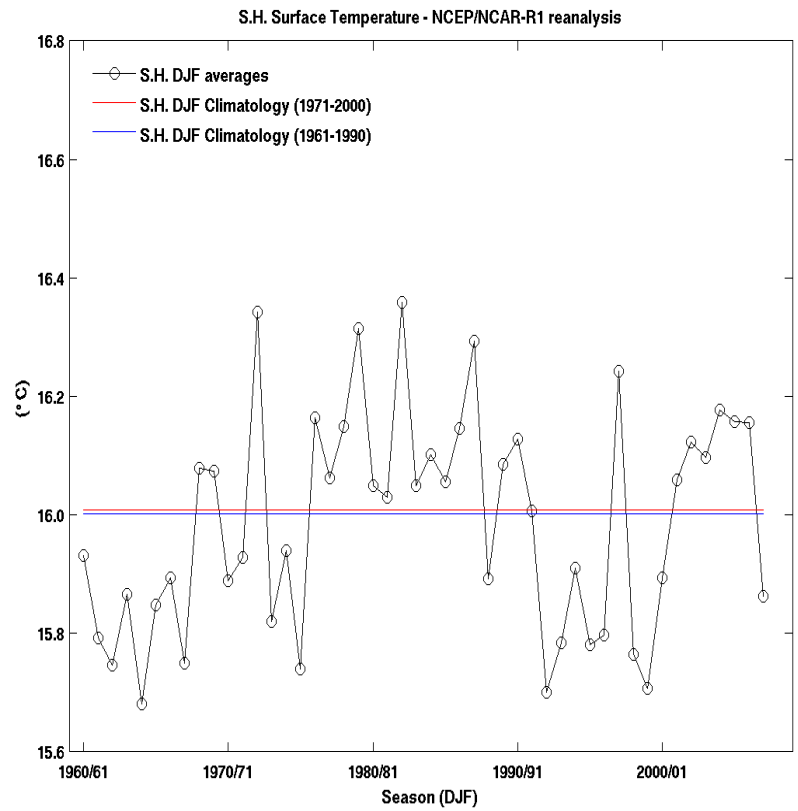
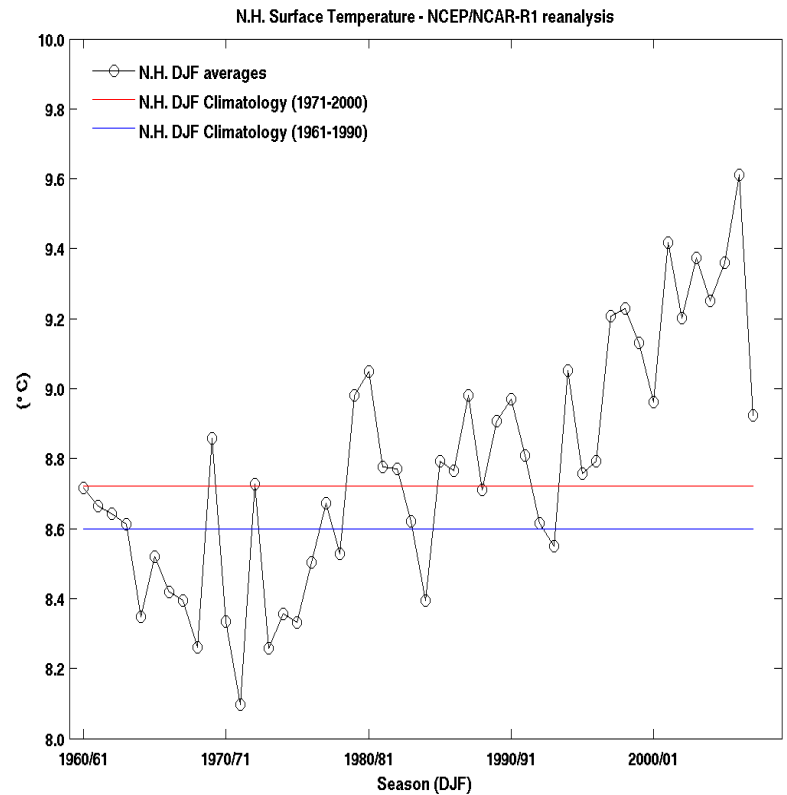
Global Surface Temperature - NCEP/NCAR-R1 reanalysis





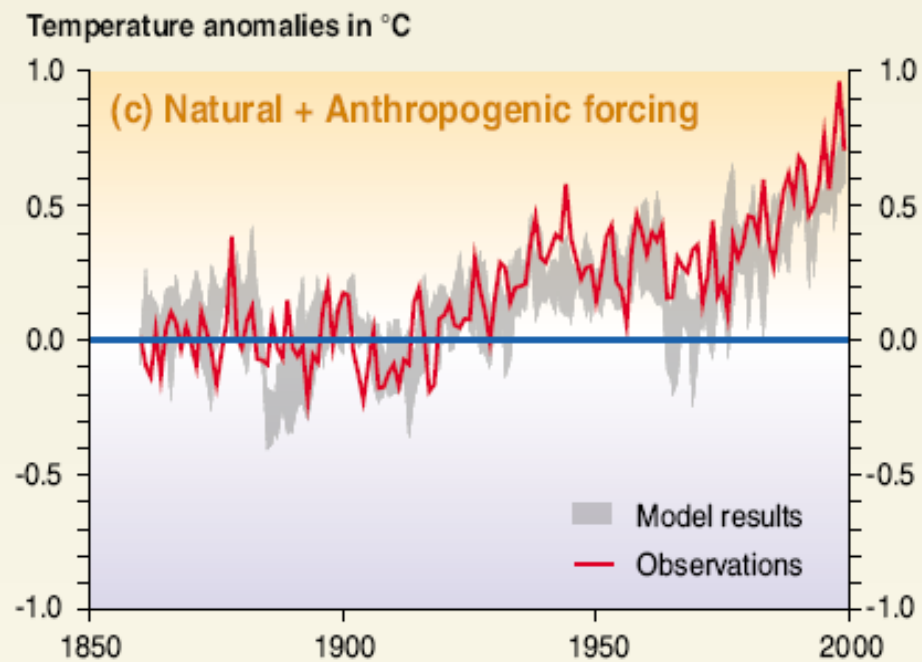
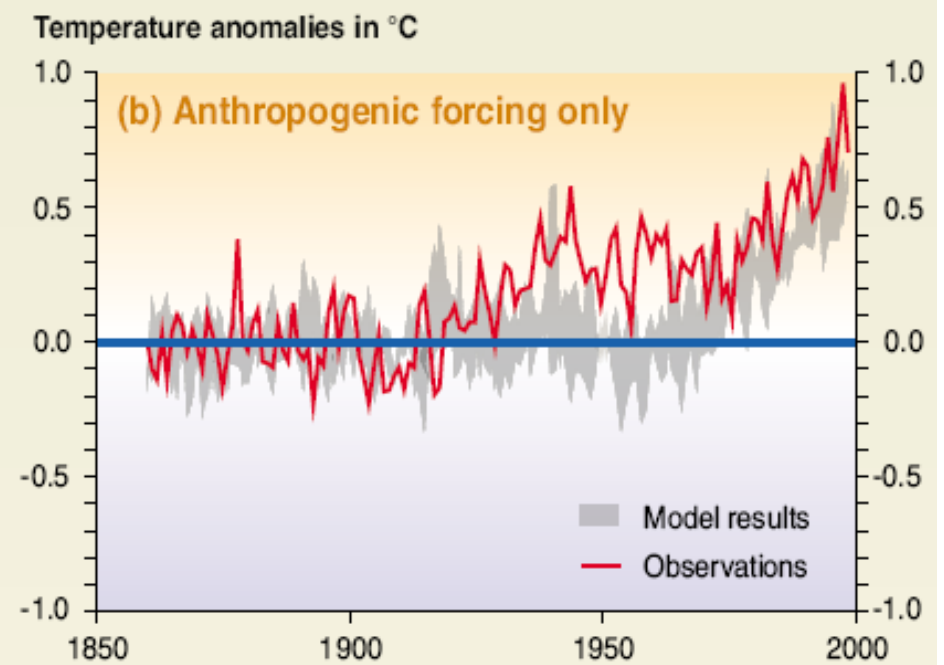
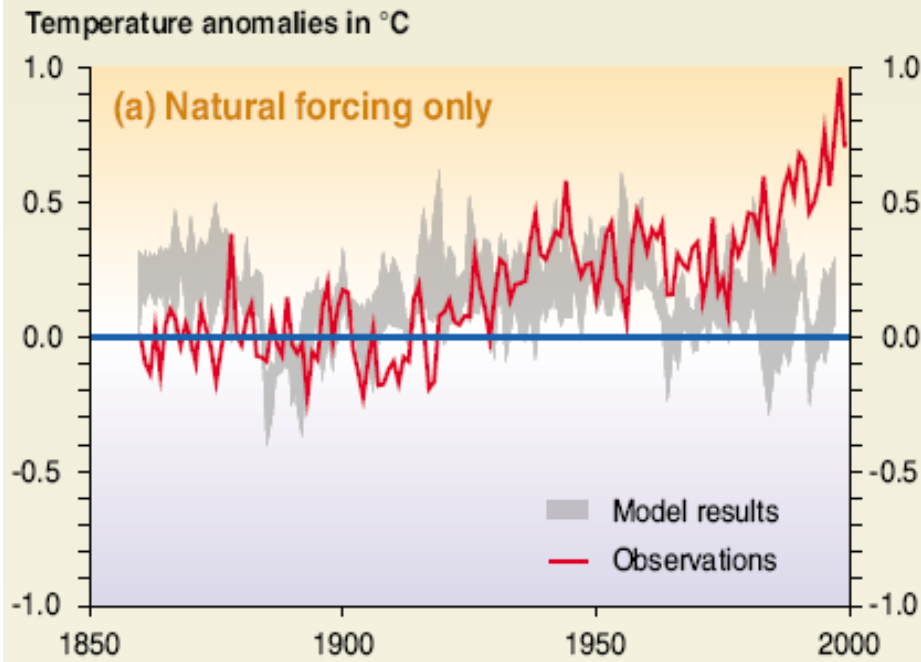
Global Surface Temperature - NCEP/NCAR-R1 reanalysis





Alterações Climáticas

- A “Teoria do Aquecimento Global”
- O Antropoceno (Paul Crutzen)
- Forçamento radiativo
- Sensibilidade do sistema climático



Efeitos do aumento da temperatura média e da variância nos valores extremos da temperatura

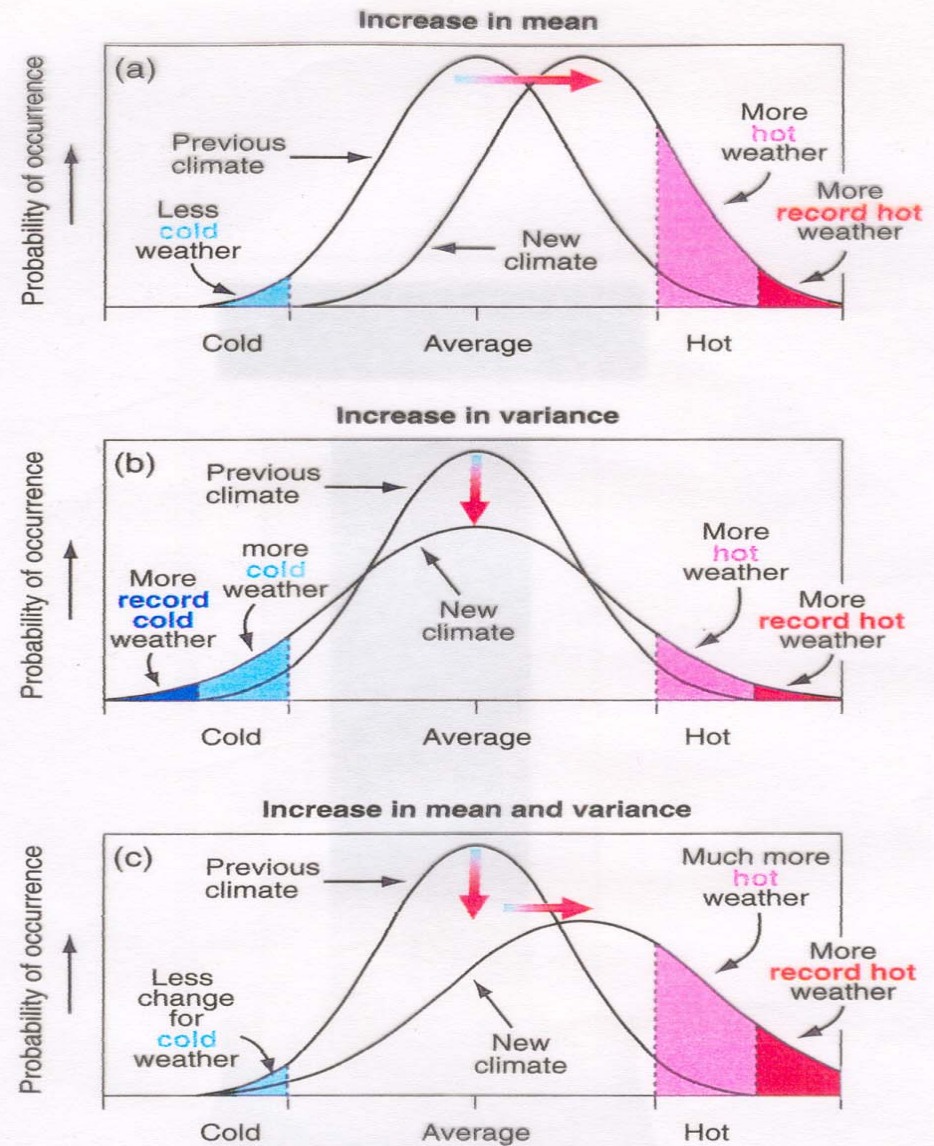


Figure 2.32: Schematic showing the effect on extreme temperatures when (a) the mean temperature increases, (b) the variance increases, and (c) when both the mean and variance increase for a normal distribution of temperature.

Modelos de Clima

Que são Modelos?

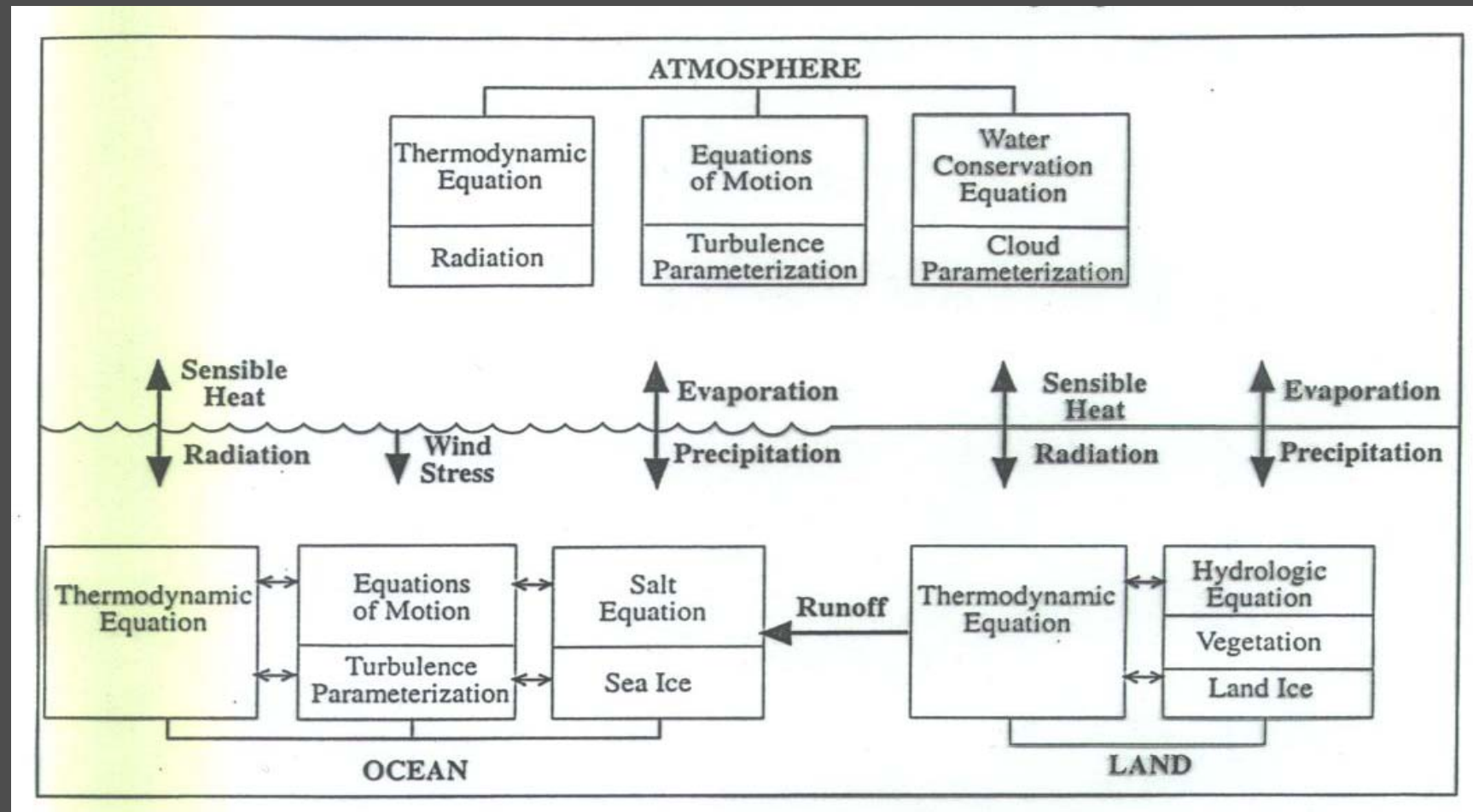
Um modelo é uma representação mais ou menos elaborada da realidade.

Um modelo matemático é um modelo, tratável por computadores digitais.

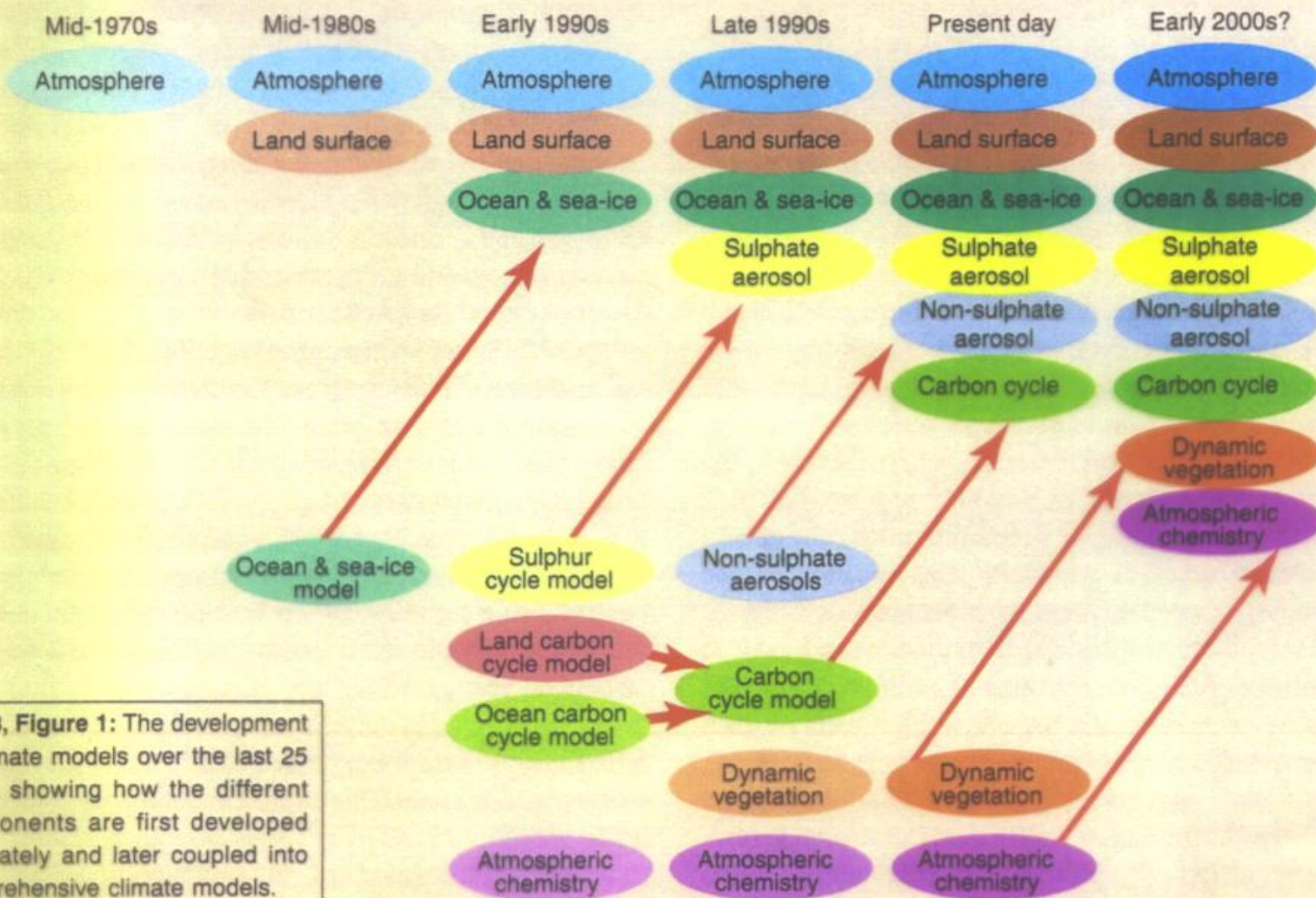
A investigação das *Alterações Climáticas* baseia-se nos resultados produzidos por **MODELOS DE CLIMA.**

Este sistema de equações, completado por: condições iniciais e de fronteira, valores determinados de “constantes” físicas, métodos de análise numérica (que permitem obter “soluções” das equações utilizando computadores digitais) e representações de processos “não resolvidos” (parametrizações) constituem um **MODELO DE CLIMA**.

Principais componentes de um Modelo de Clima



The Development of Climate models, Past, Present and Future



Box 3, Figure 1: The development of climate models over the last 25 years showing how the different components are first developed separately and later coupled into comprehensive climate models.

Exemplos:

HadCM2

HadCM3

HadAM3H

HadGEM

ECHAM5

CCM

ARPÉGE

- O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) estabeleceu quatro famílias de cenários de emissões, cujas características estão descritas em pormenor no **"Special Report on Emission Scenarios"** (SRES); estas famílias foram designadas por **A1, A2, B2 e B1**; a família A1 é a que descreve uma evolução baseada na utilização intensiva de combustíveis fósseis; a família B1 assenta na introdução de tecnologias limpas e eficientes.

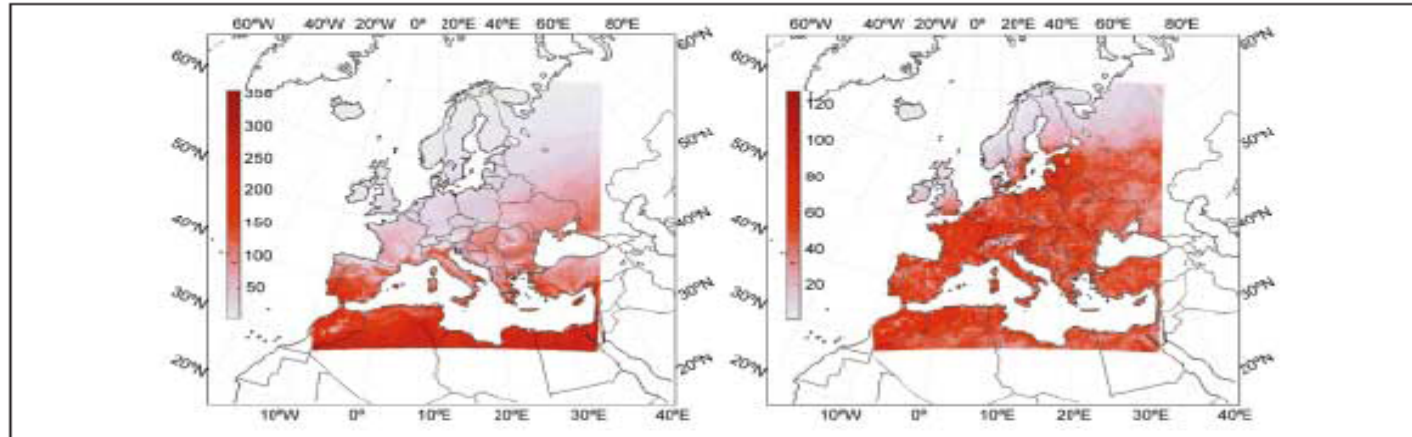


Figure 3: The length of the warm period defined as the number of consecutive summer days with maximum temperature $>25^{\circ}\text{C}$ during the 1961-1990 period (left) and the change by 2070-2099 (right), shown as the difference between 2070-2099 minus 1961-1990, under the A2 scenario.

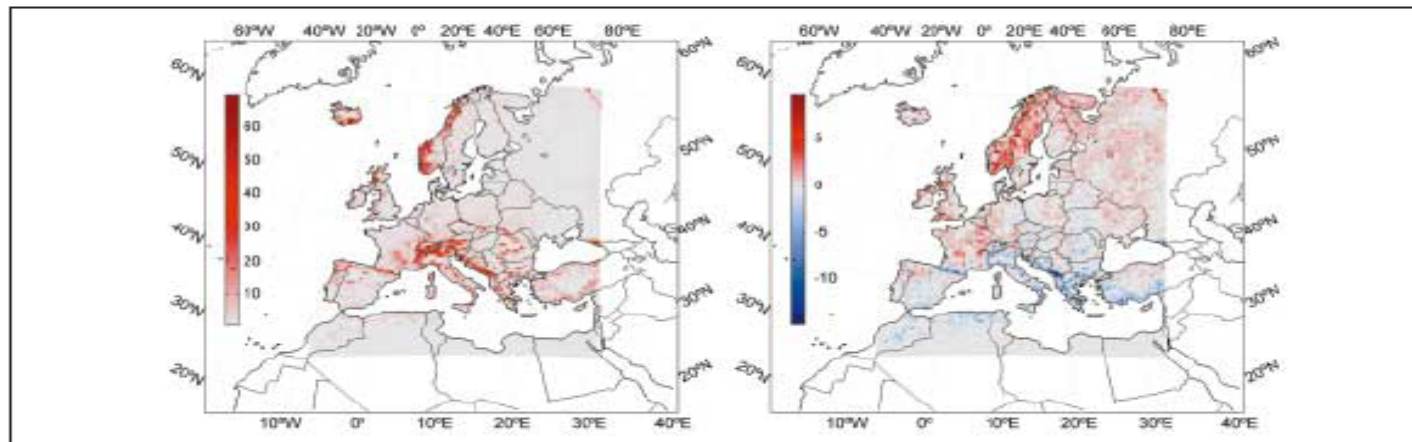
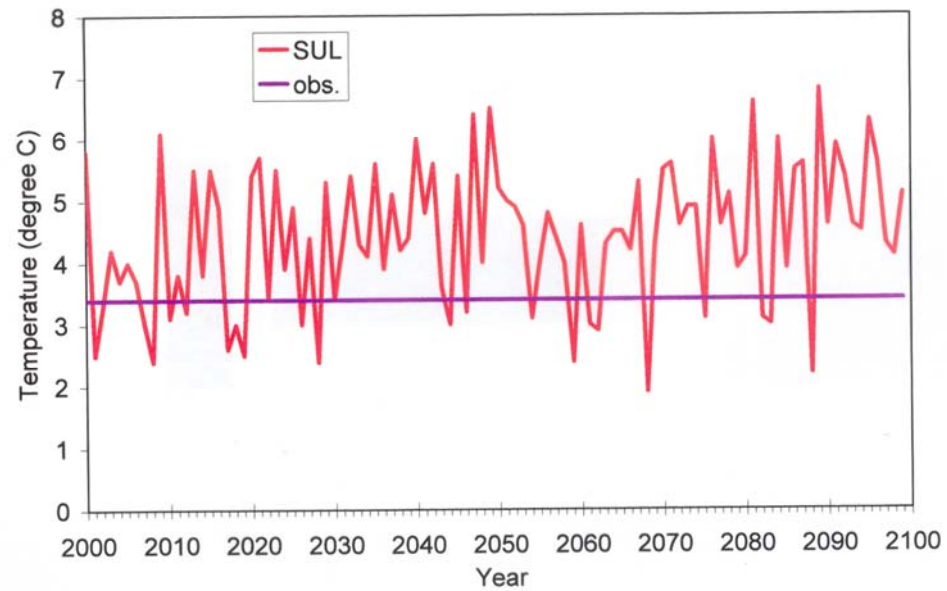


Figure 4: The number of intense rainfall days during 1961-1990 (left) and the change by 2070-2099 (right), shown as the difference between 2070-2099 minus 1961-1990, under the A2 scenario.

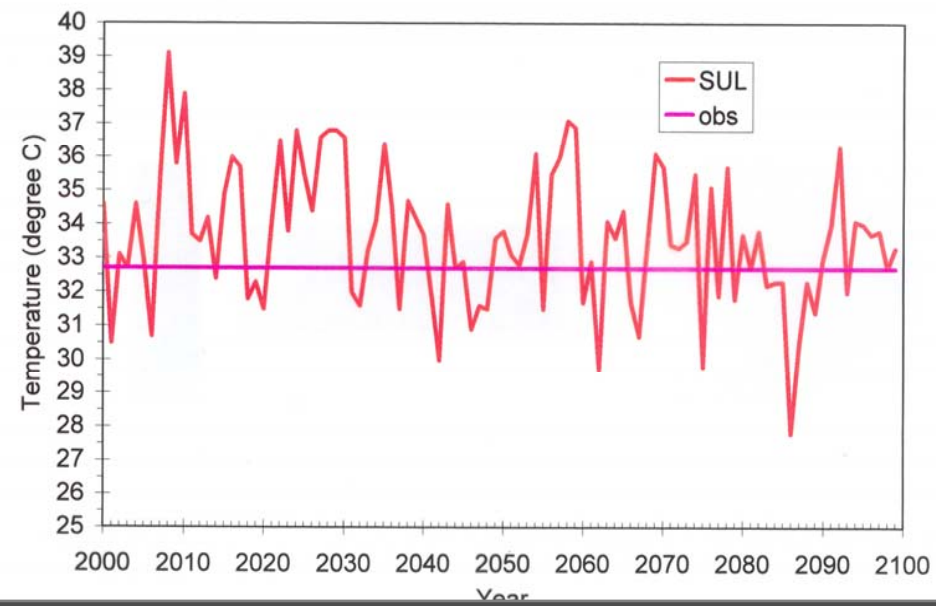
Projeção da
variação do
número de dias
consecutivos
com
temperaturas
máximas $>25^{\circ}\text{C}$
– cenário A2 –
Projecto MICE

Projeção da
variação do
número de
dias com
precipitação
intensa –
cenário A2 –
Projecto MICE

January mean minimum temperature (Tmin) scenarios (Beja)



July mean maximum temperature (Tmax) scenarios (Beja)



Beja

Totais de Precipitação
(mm)

	Outubro				Março			
	CON	GHG	SUL	H3GGa 1	CON	GHG	SUL	H3GGa1
2000-2029		58.4	55.1			83.0	85.2	
2030-2059		46.7	51.3			89.3	91.5	
2060-2089		42.1	41.2			98.2	94.5	
2000-2099	58.1	48.5	49.4	53.8	71.9	91.8	90.7	72.0

	O-M				DJF			
	CON	GHG	SUL	H3GGa 1	CON	GHG	SUL	H3GGa1
2000-2029		463.0	424.2			256.8	228.2	
2030-2059		428.4	445.3			237.5	236.9	
2060-2089		442.3	442.6			251.6	244.3	
2000-2099	435.9	449.1	440.0	438.3	229.7	252.2	240.6	241.7

Beja

Totais de Precipitação
(mm)

	Outubro				Março			
	CON	GHG	SUL	H3GGa 1	CON	GHG	SUL	H3GGa1
2000-2029		58.4	55.1			83.0	85.2	
2030-2059		46.7	51.3			89.3	91.5	
2060-2089		42.1	41.2			98.2	94.5	
2000-2099	58.1	48.5	49.4	53.8	71.9	91.8	90.7	72.0

	O-M				DJF			
	CON	GHG	SUL	H3GGa 1	CON	GHG	SUL	H3GGa1
2000-2029		463.0	424.2			256.8	228.2	
2030-2059		428.4	445.3			237.5	236.9	
2060-2089		442.3	442.6			251.6	244.3	
2000-2099	435.9	449.1	440.0	438.3	229.7	252.2	240.6	241.7

Modelos Regionais de Clima (RCMs)

Os AOGCMs fornecem projecções do clima futuro em escalas relativamente largas e não conseguem captar adequadamente os aspectos ou características regionais e locais, as quais são indispensáveis em estudos de impactos.

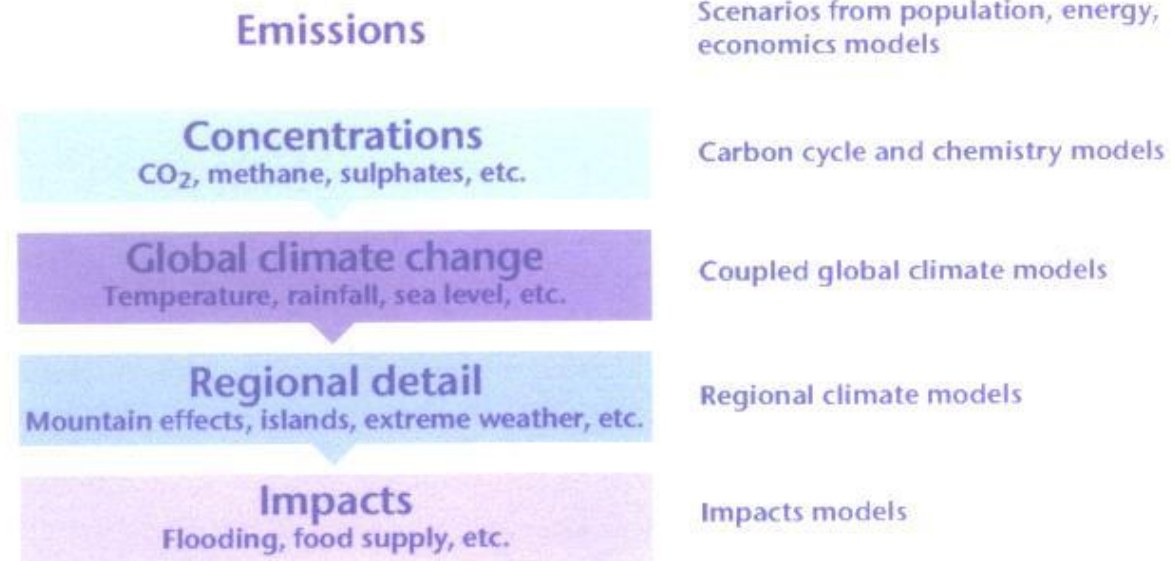
Além disso, fenómenos extremos como temperaturas severas, ondas de calor, cheias repentinas, etc, não encontram uma representação suficientemente adequada nos AOGCMs, i.e. estes modelos não são capazes de descrever correctamente aquele tipo de fenómenos nem no que respeita a frequências de ocorrência nem no que se refere à sua intensidade.

Estas dificuldades só podem ser resolvidas se as projecções globais forem completadas por “detalhe regional”; este pode ser dado utilizando modelos regionais de clima (RCMs).

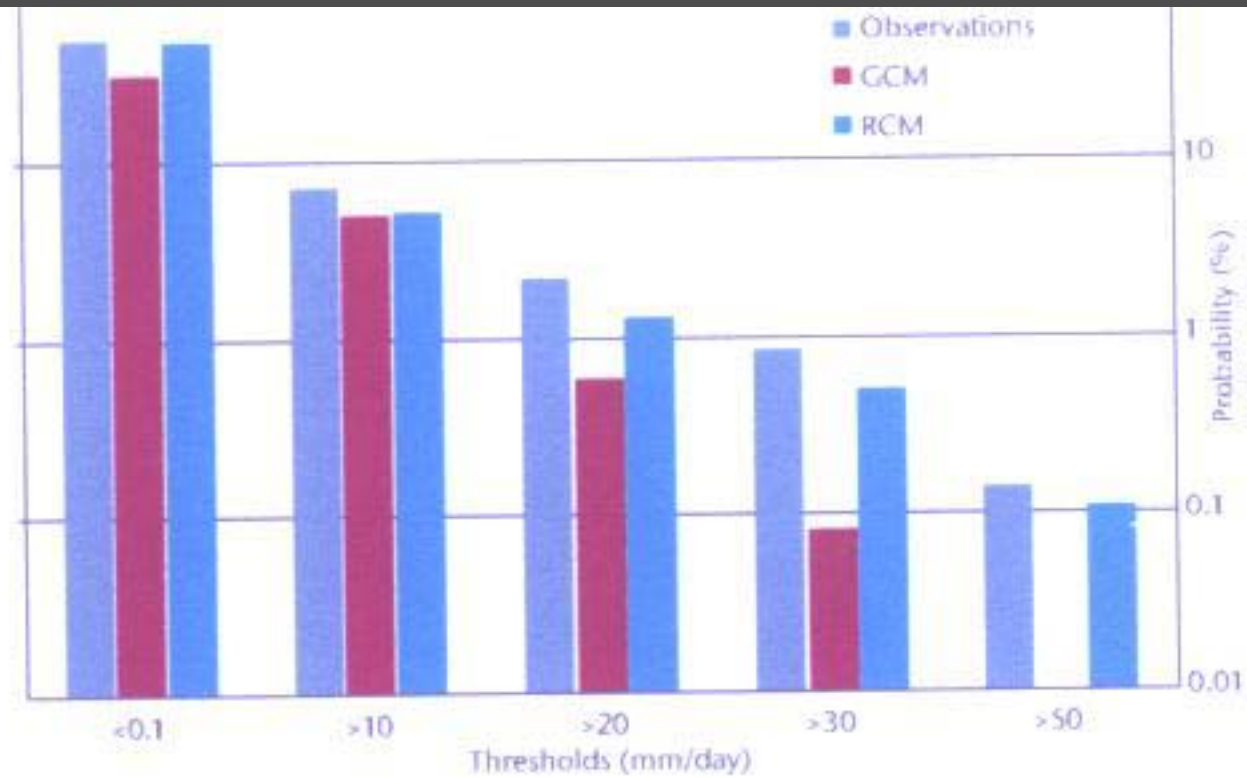
Exemplos: HadRM3H (descontinuado)
HadRM3P ou PRECIS

As condições iniciais e de fronteira (dependentes do tempo) para RCMs são extraídas de AOGCMs ou de AGCMs. A resolução espacial típica de um RCM é ~ 50 km, contrastando com a de ~300 Km de um AOGCM, o que permite uma muito melhor representação de ilhas, montanhas, contrastes continente-oceano, nuvens, precipitação, etc...

Predicting impacts of climate change

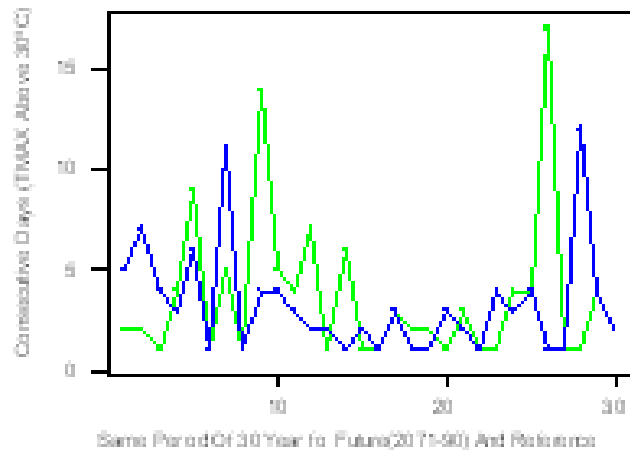


The main stages required to provide climate-change scenarios for assessing the impacts of climate change.

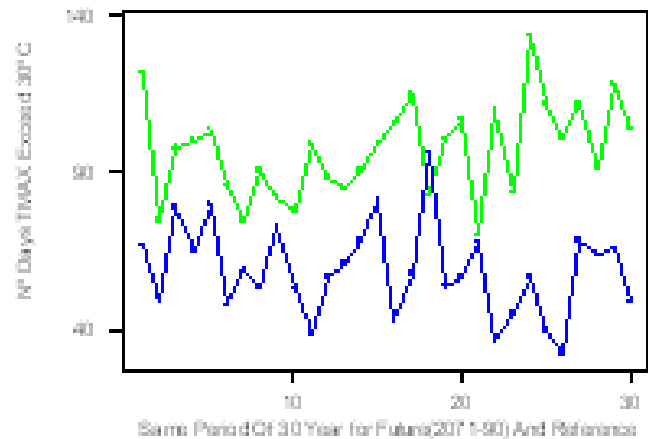


The frequency of winter days over the Alps with different daily rainfall thresholds. Blue bars, observed. Red bars, simulated by the GCM. Green bars, simulated by the RCM.

Maximum Number Of Consecutive Days Per Year Above 30°C-COIMBRA

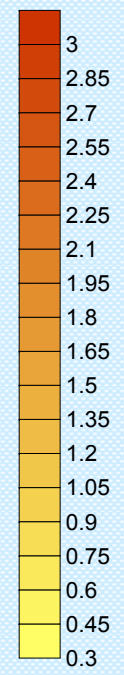
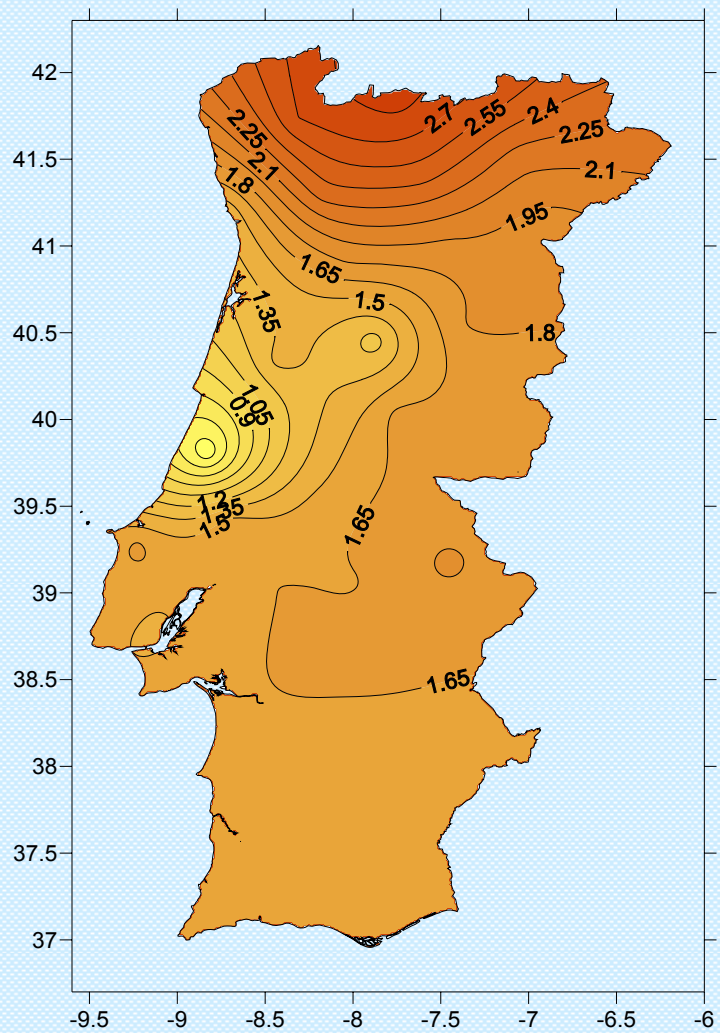


Number Of Summer Days Per Year (TMAX)-COIMBRA



	Mean	Stdev
Model SRES_A2a	3,67	3,84
Model Reference	3,30	2,74

	Mean	Stdev
Model SRES_A2a	97,43	15,29
Model Reference	59,00	14,69



DSR Ratio
A2a/Reference

INCERTEZAS NOS CENÁRIOS DO CLIMA FUTURO GERADOS POR MODELOS

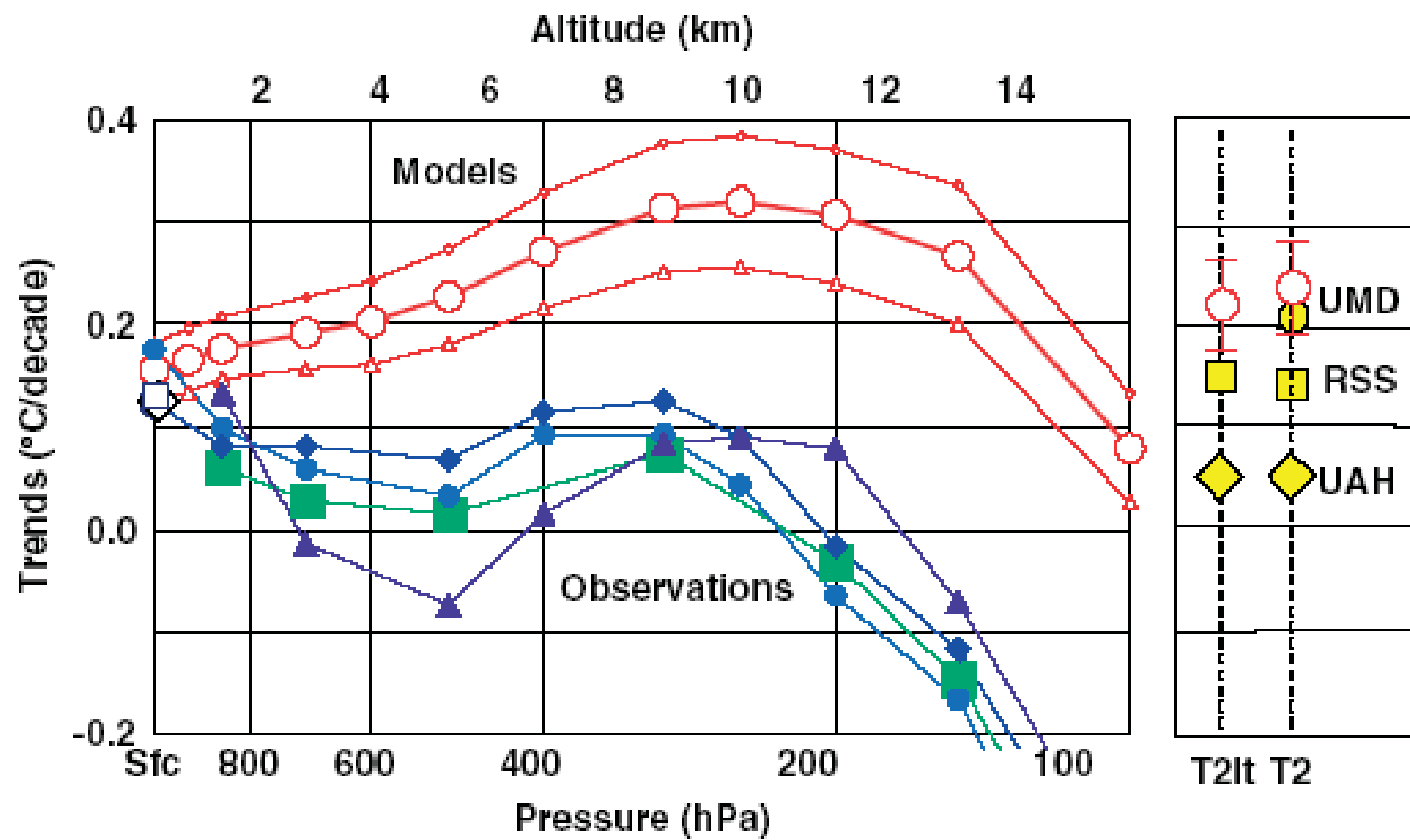
As incertezas nas projecções de alterações climáticas produzidas por modelos, são consequência do conhecimento muito imperfeito de três factores:

- ✓ **As emissões futuras de gases com efeito estufa;**
- ✓ **Variabilidade natural do clima;**
- ✓ **A forma como o sistema climático opera.**

Em resultado nenhum modelo de clima, global ou regional, é capaz de produzir projecções confiáveis do clima futuro.

DIFICULDADES

- Tendências de temperatura na troposfera tropical
- Tendência da temperatura no Ártico
- O Verão quente de 2003



- | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|------------|------------|
| ○ 22 model ave | -○- 22 model +2SE | -△- 22 model - 2SE | ■ HadAT2 | ● IGRA |
| ◆ RATPAC | ● HadCRUT Sfc | ◇ GISS Sfc | □ GHCN Sfc | ▲ RAOBCORE |

**“ALL MODELS ARE WRONG.
SOME ARE USEFUL”**

G. BOX

Universidade de Évora – Pólo da Mitra, Valverde



FIM DA EXPOSIÇÃO

Muito Obrigado!

João Corte-Real jmcr@uevora.pt

<http://www.icam.uevora.pt>

