


CIAA - 2011

Divisão de Astrofísica
(DAS – INPE)

José Roberto Cecatto

Email: jrc@das.inpe.br

- 
- **Nascimento**
 - **Visão humana**
 - **Estrutura: Interior e fonte de energia, Atmosfera (Camadas)**
 - **Campos magnéticos do Sol**
 - **Regiões ativas**
 - **Ciclo de atividade**
 - **Explosões (“flares”) solares**
 - **Ejeções de massa coronal (CME)**
 - **Relações solares-terrestres**
 - **Espectro solar visível**
 - **Vento solar**
 - **Importância das pesquisas científicas sobre o Sol**
 - **Pesquisas sobre o Sol na DAS**

Nascimento

- Colapso de uma gigantesca nuvem de gás e poeira
- Crescem pressão e densidade. Cresce a rotação da nuvem
- Transferência de momento angular
- Formação de grãos e “planetésimos”
- Evolução de planetas a partir dos protoplanetas

Star-Birth Clouds • M16

HST • WFPC2

Nascimento





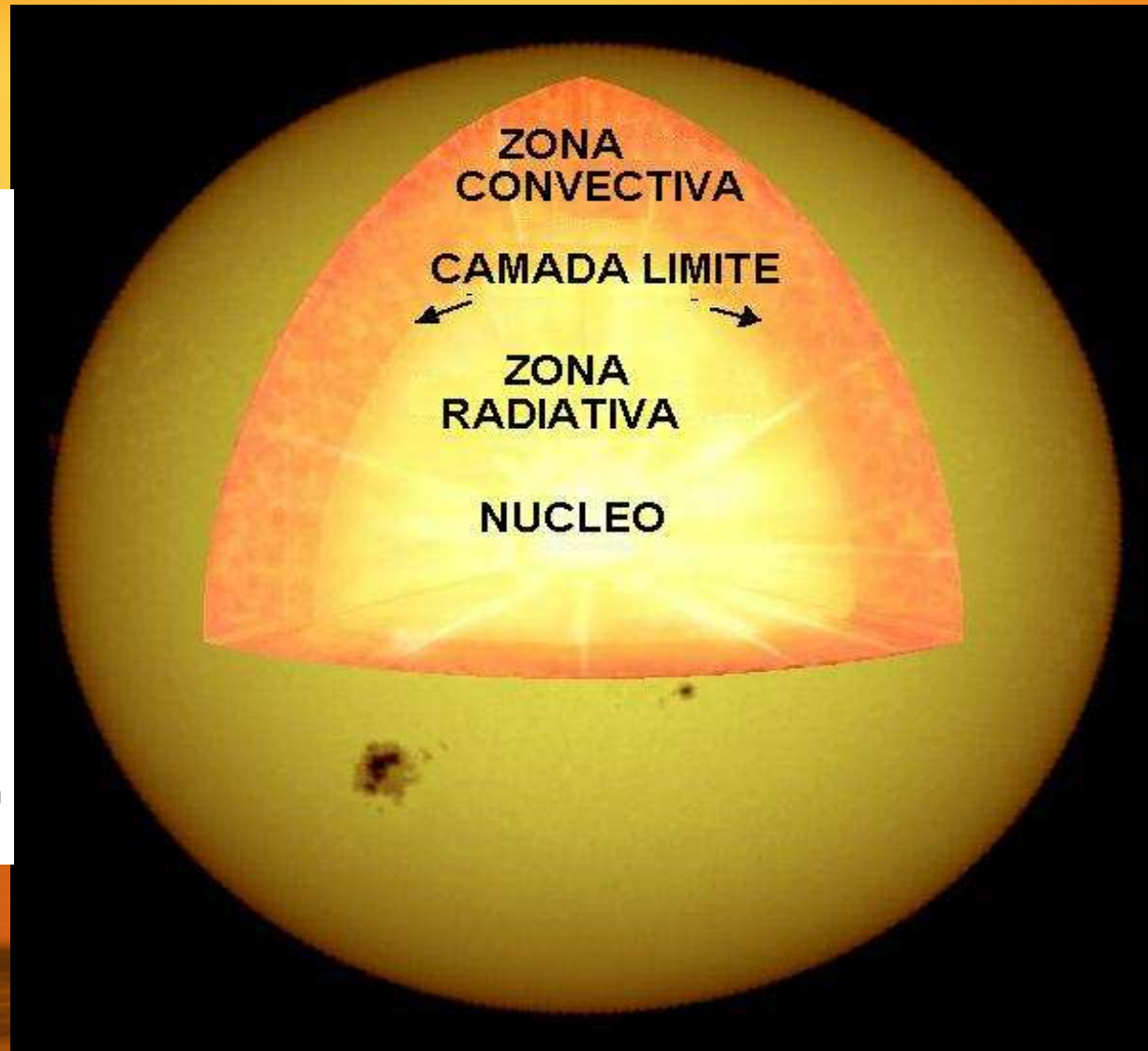
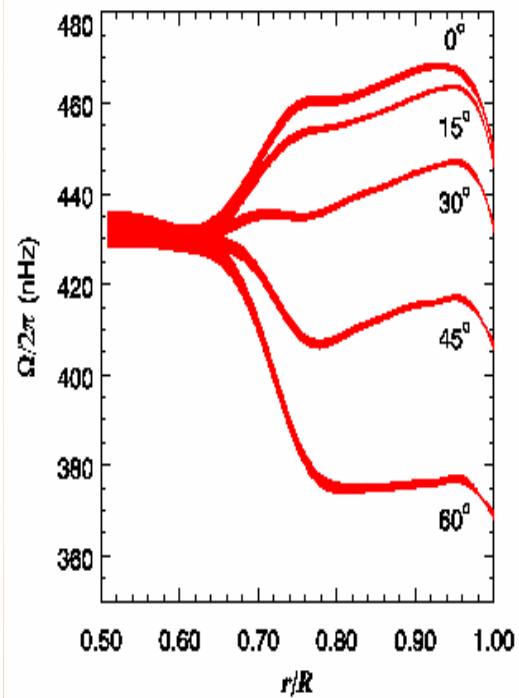
- Deus: Helios, Mitra, Ra
- Fonte de energia - luz e calor – saúde e fertilidade.

Tabela 4.1 - Características do Sol

Massa	$1,989 \times 10^{30}$ ~333.000 massas terrestres
Raio	696000 km ~109 raios terrestres
Densidade	Média: 1409 kg/m ³ Central: 160.000 kg/m ³
Velocidade de Escape	618 km/s
Distância	$1,496 \times 10^8$ km
Luminosidade	$3,9 \times 10^{26}$ Watts
Temperatura	Efetiva: 5780 K Central: 15.000.000 K
Idade	4,5 bilhões de anos
Tipo espectral	G2 V
Composição química (%)	H=92,1 He=7,8 O=0,06 C=0,030 N=0,0084 Ne=0,0076 Fe=0,0037 Si=0,0031 Mg=0,0024 S=0,0015 Demais=0,0015
Período de rotação	Equador: 25,67 dias Polos: 36 dias

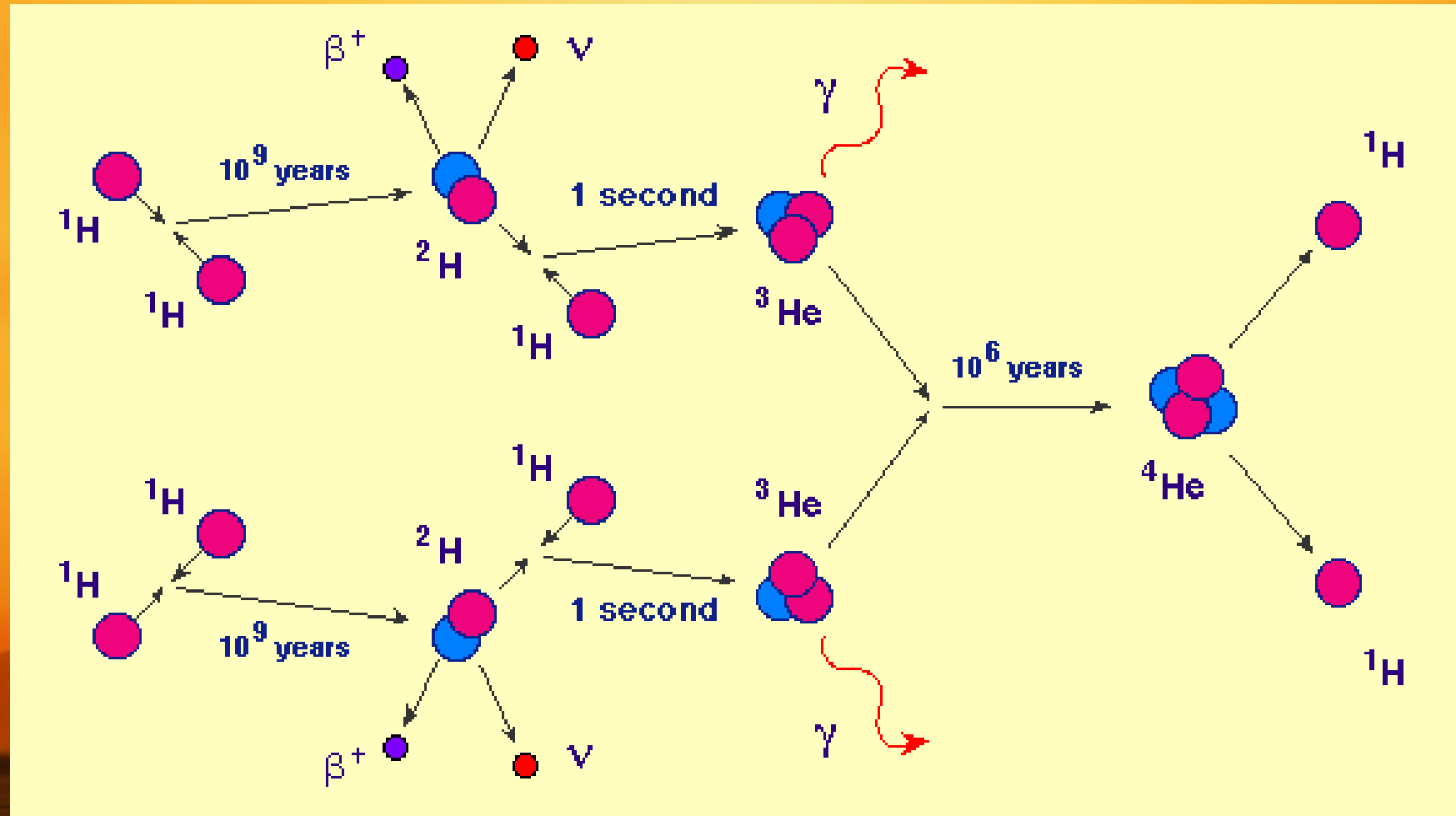
- O Sol apresenta rotação diferencial, isto é, o período de rotação depende da latitude.
- Centro geométrico e gravitacional do sistema solar
- 8 minutos-luz de distância da Terra

Estrutura do Sol - Interior

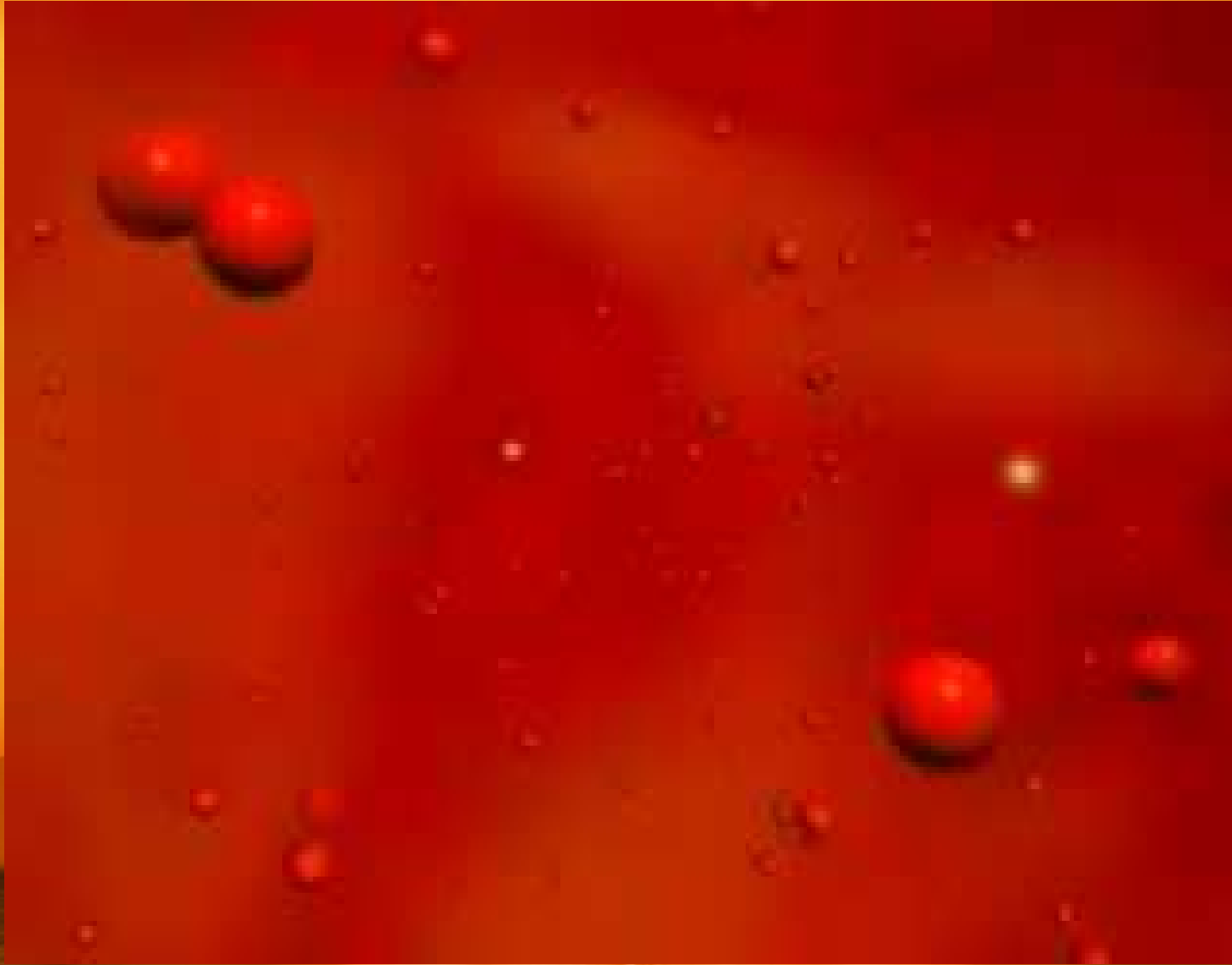


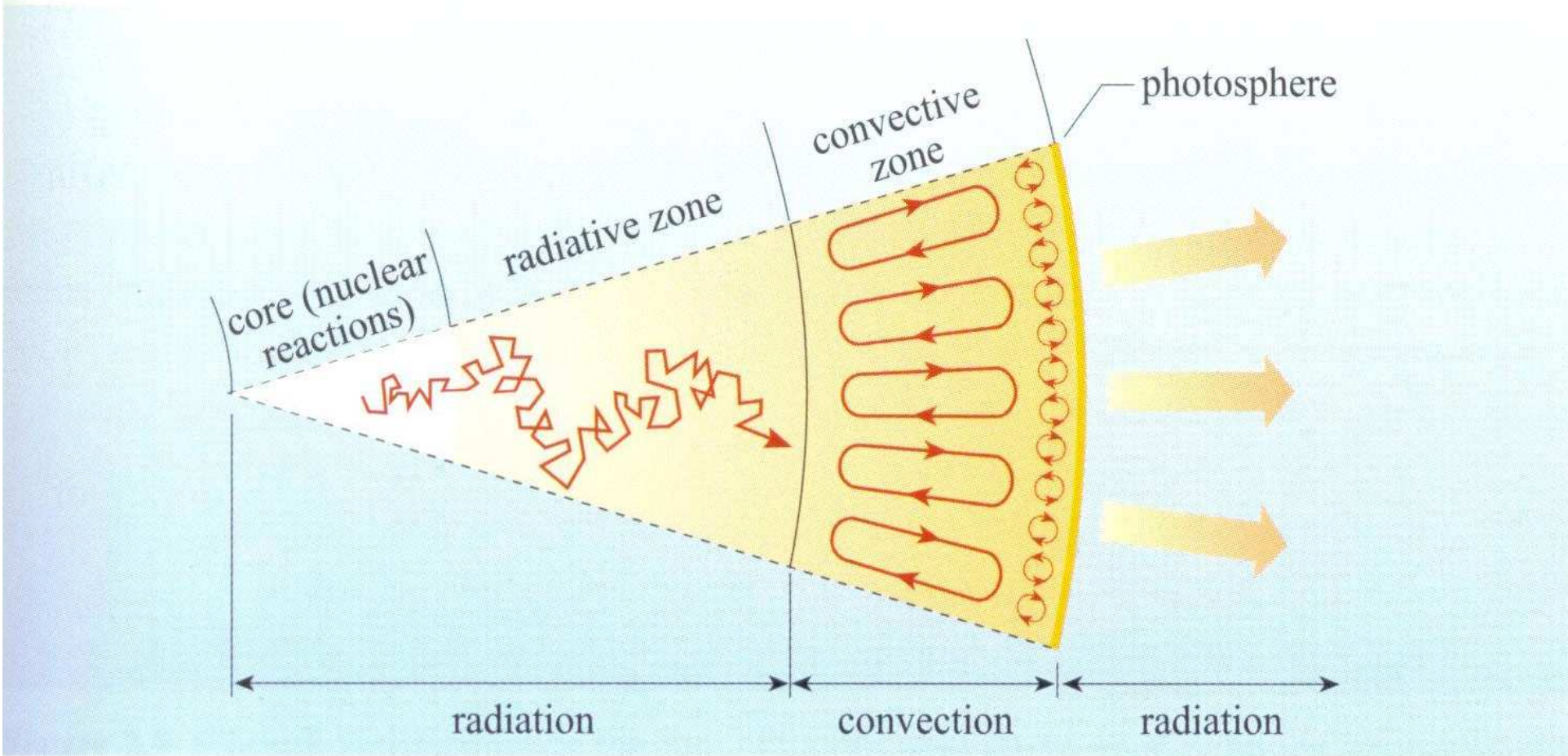
Estrutura - Interior (fonte de energia)

Reações de fusão termonuclear - CADEIA PP - Fusão de H em He

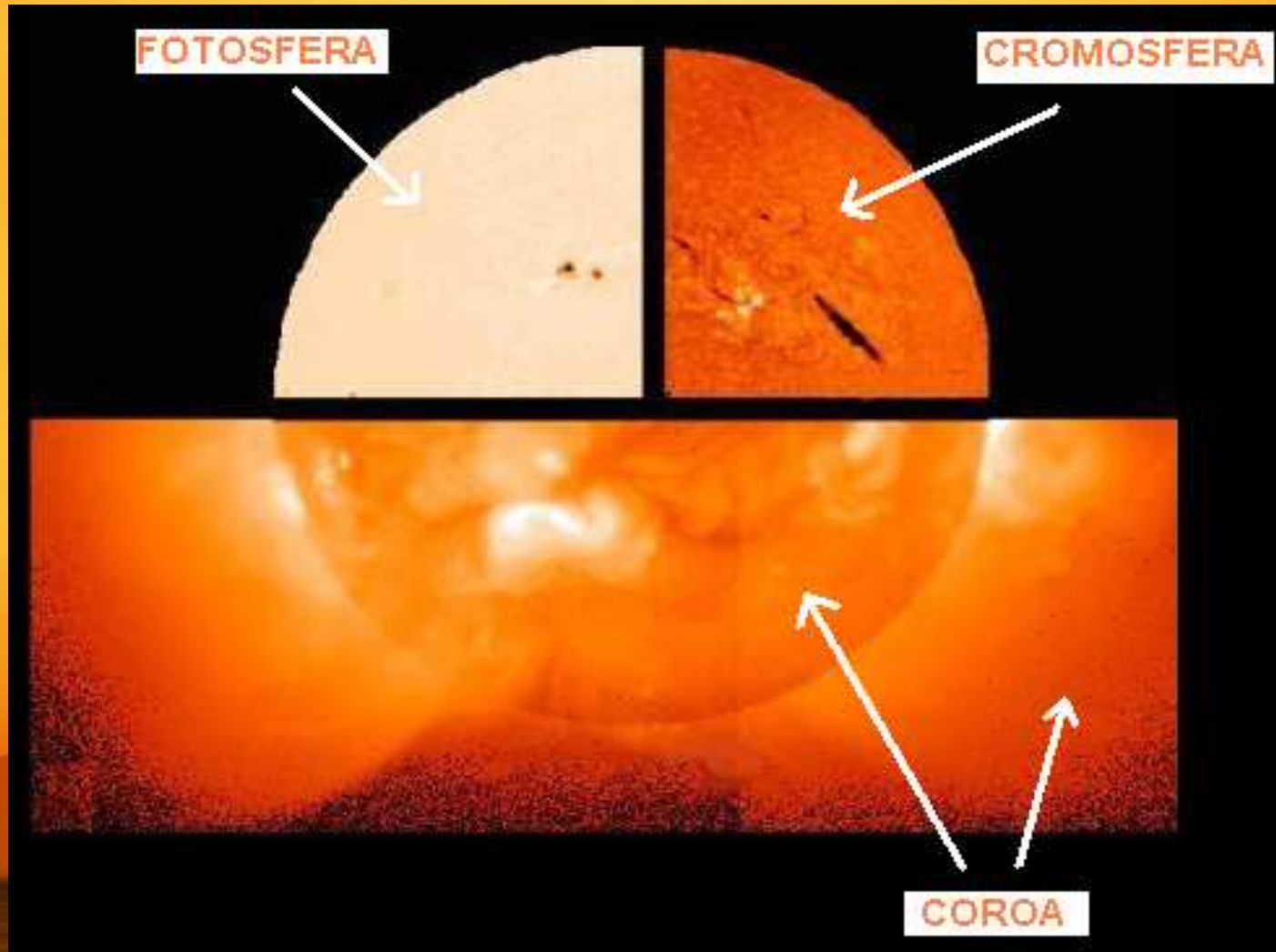


Interior (Prod. energia)

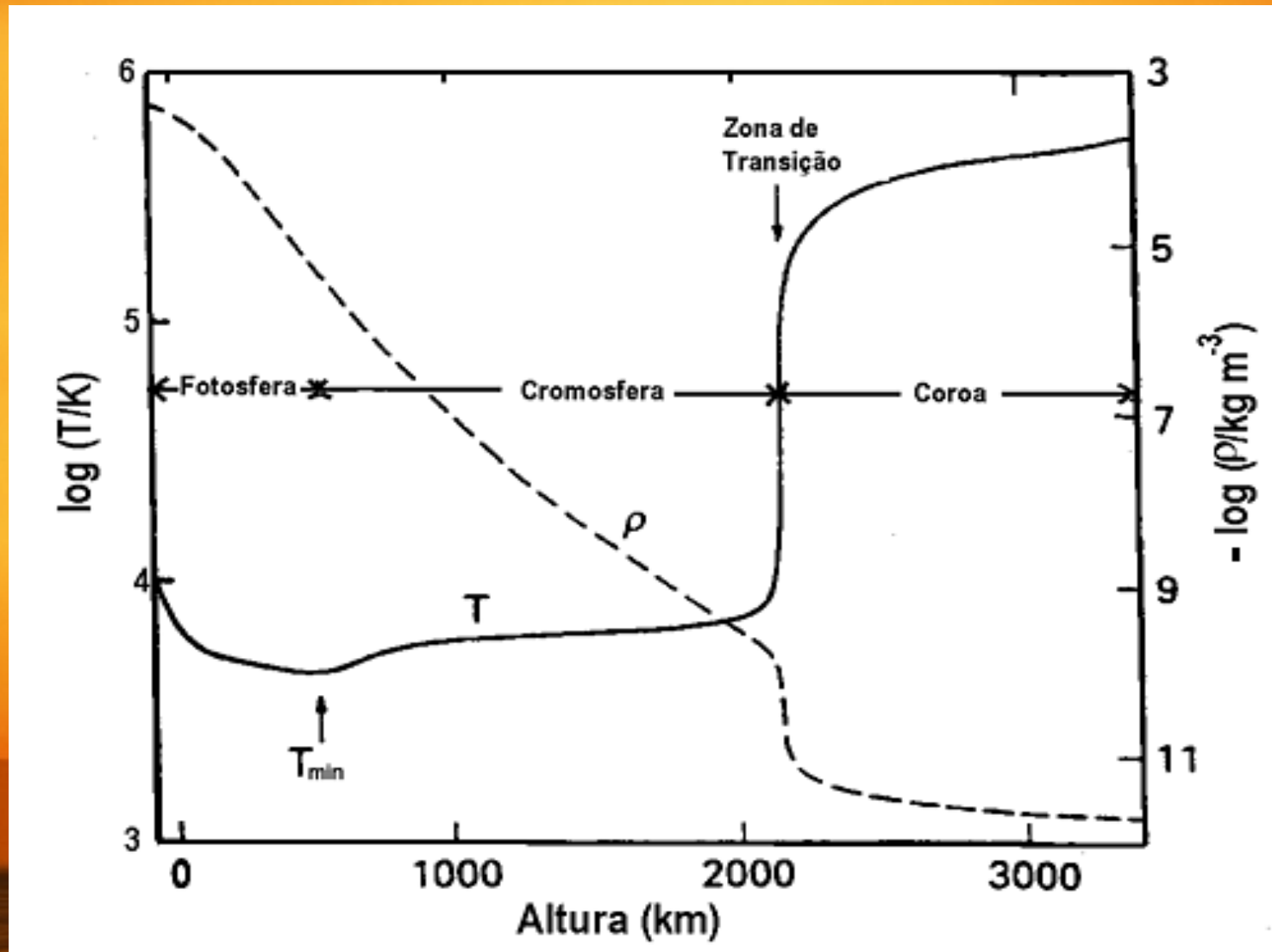




Estrutura - Atmosfera



Atmosfera - T, N_e



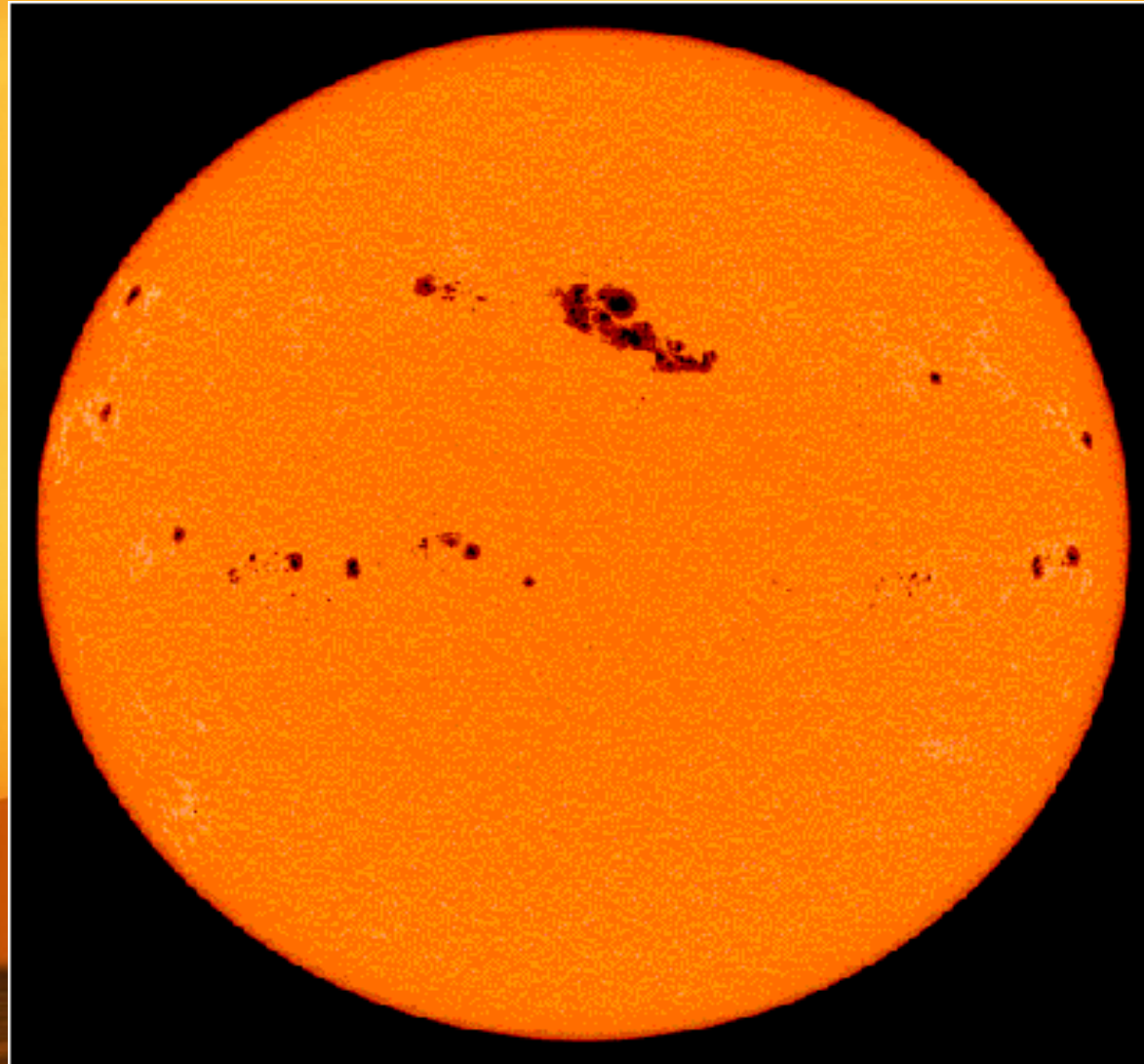
Fotosfera - características

- **Espessura ~ 500 km**
- **Luz visível do disco**
- **Granulação**
- **Manchas solares**
- **Obscurecimento (limbo)**
- **Rotação diferencial do disco solar**
- **Temperatura na superfície ~5800 K, cai a ~4200 K na sua parte mais elevada**
- **Densidade 10^{13} - 10^{15} part./cm³**

Fotosfera - luz branca

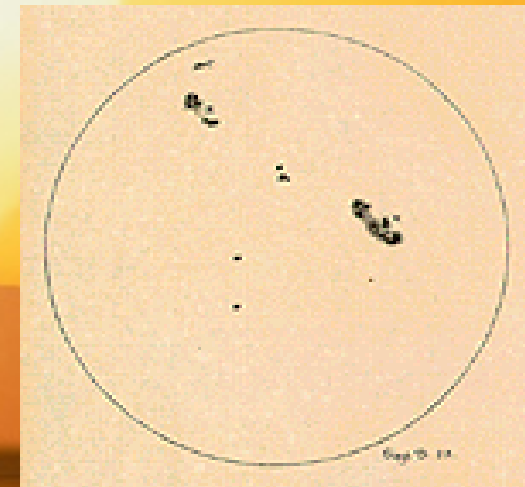
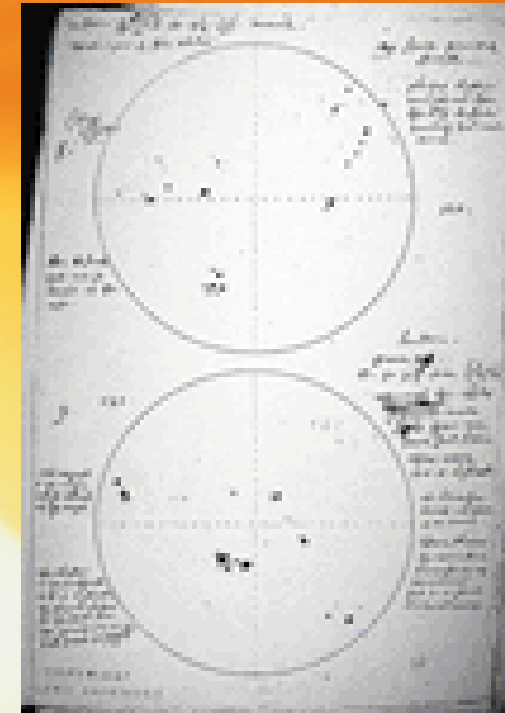


Fotosfera - visível

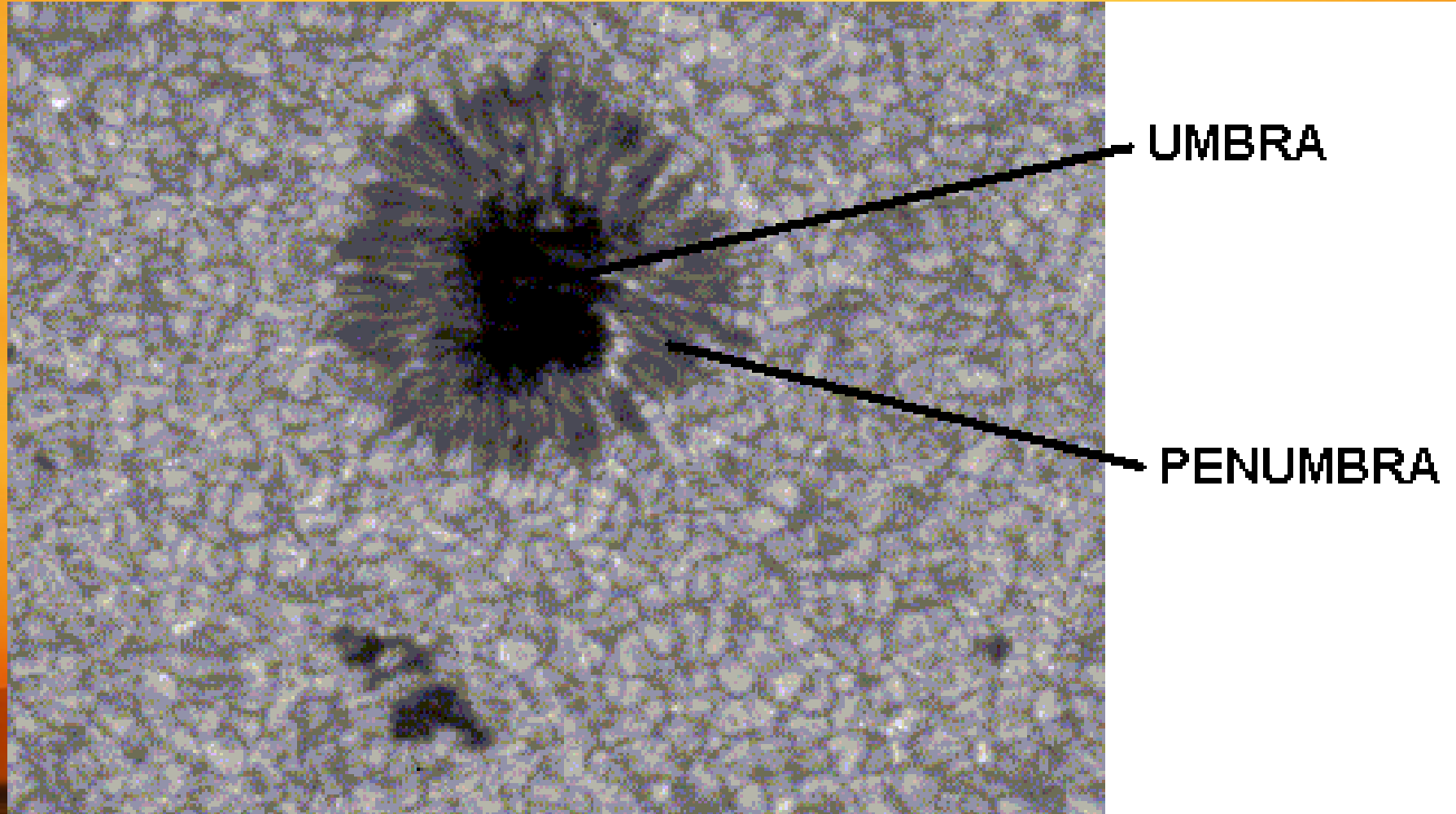


Manchas solares

- **Observação a olho nú - China 28 a.C**
- **Registros de Anaxágoras de 467 a.C**
- **Em 1607 Kepler - trânsito de Mercúrio: a imagem do disco (camera escura) mostrou uma mancha escura.**
- **Galileo e Thomas Harriot foram os primeiros a observar usando um telescópio (~ 1610)**



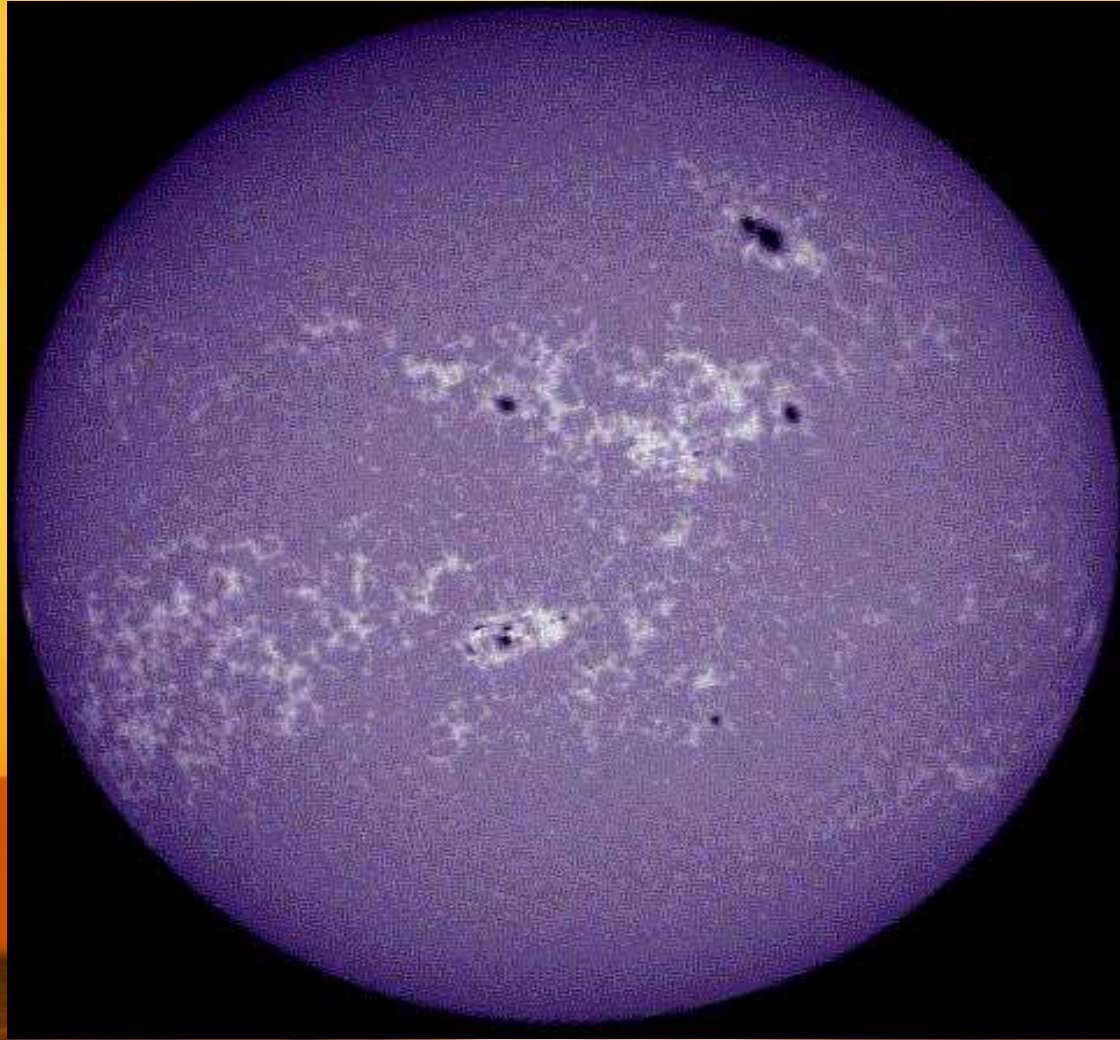
Fotosfera - Manchas solares



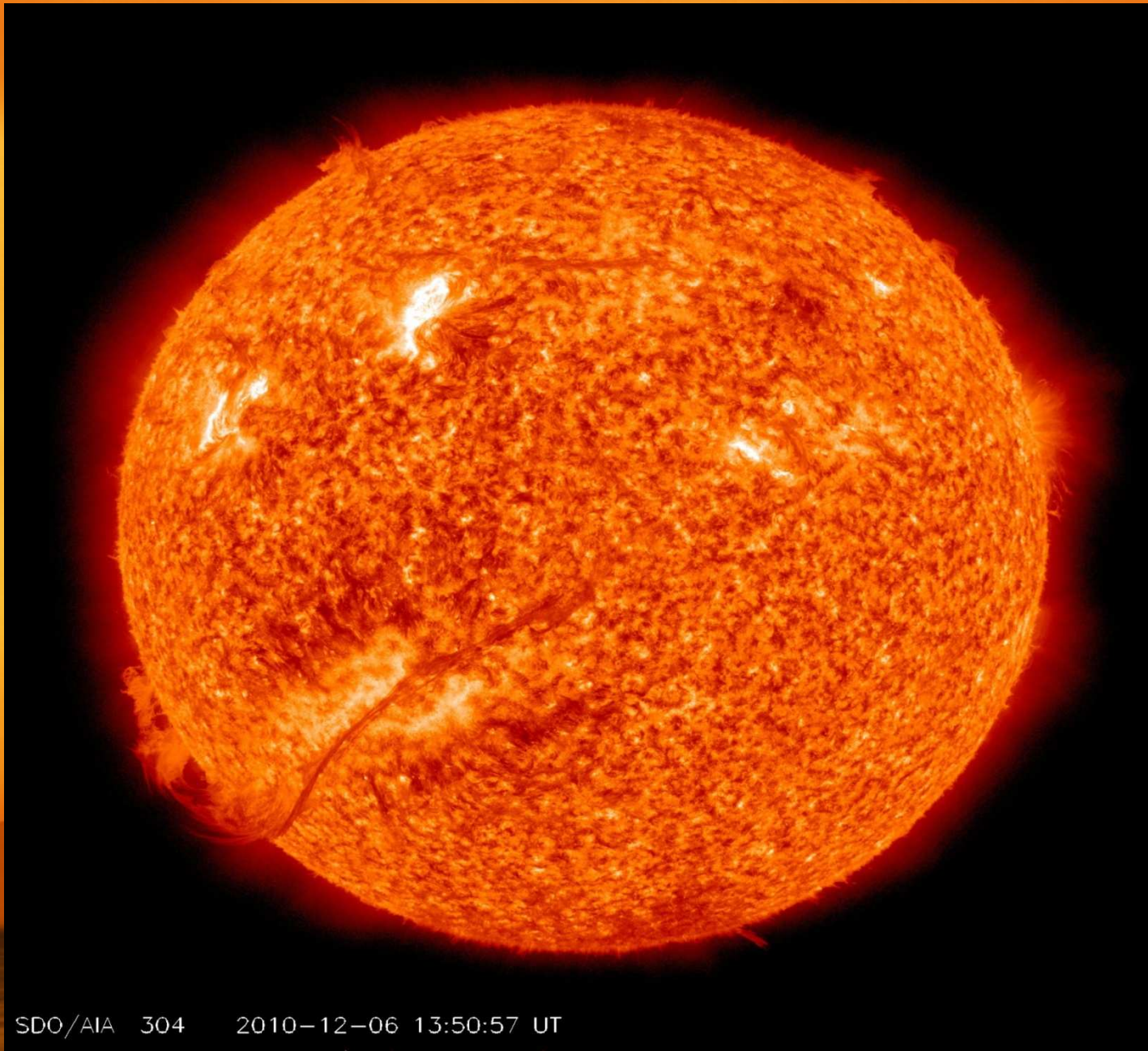
Cromosfera - características

- $\sim 10^3$ km acima da fotosfera
- Temperatura variando de $10^4 - 10^5$ K
- Densidade 1 a 2 ordens de grandeza menor que fotosfera
- Observada com filtro H- α , e linha do Ca II.
- Proeminências, filamentos, “praias” brilhantes, fáculas, espículos.
- Algumas estruturas visíveis durante eclipses totais.

Cromosfera - imagem de Ca II



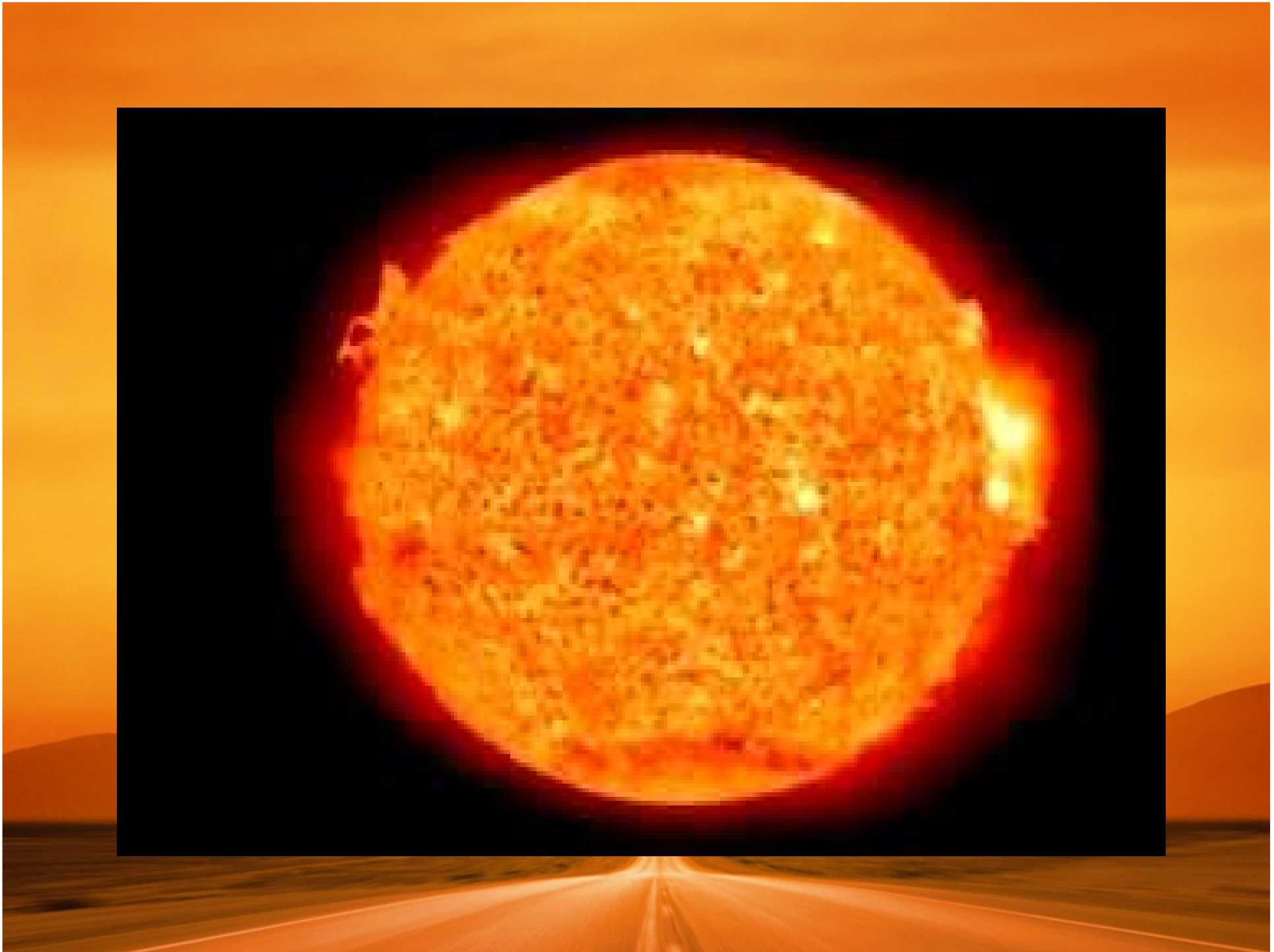
Cromosfera - imagem de H- α



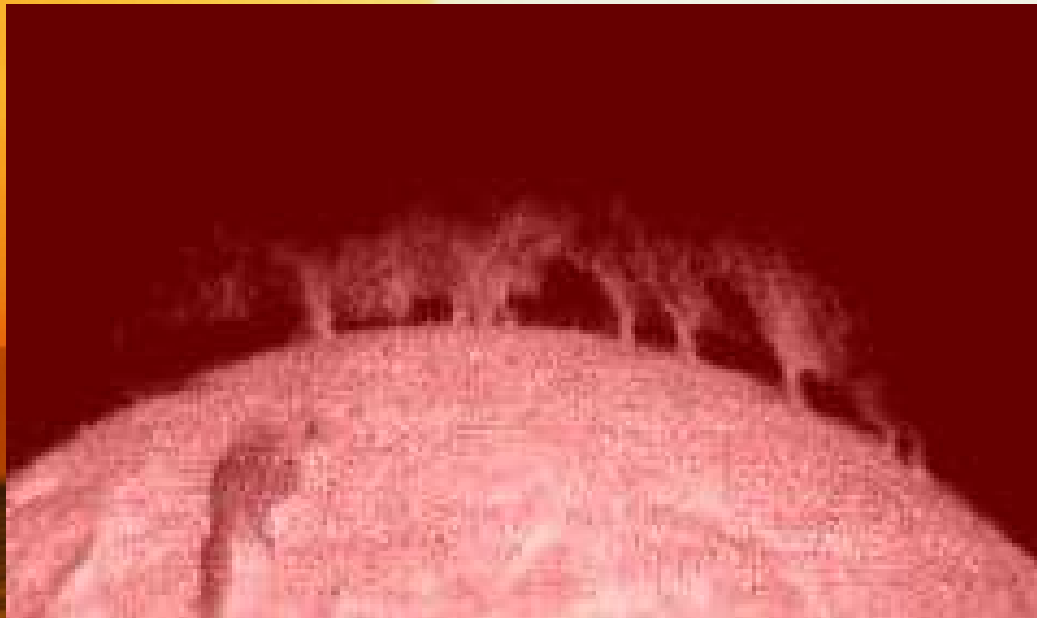
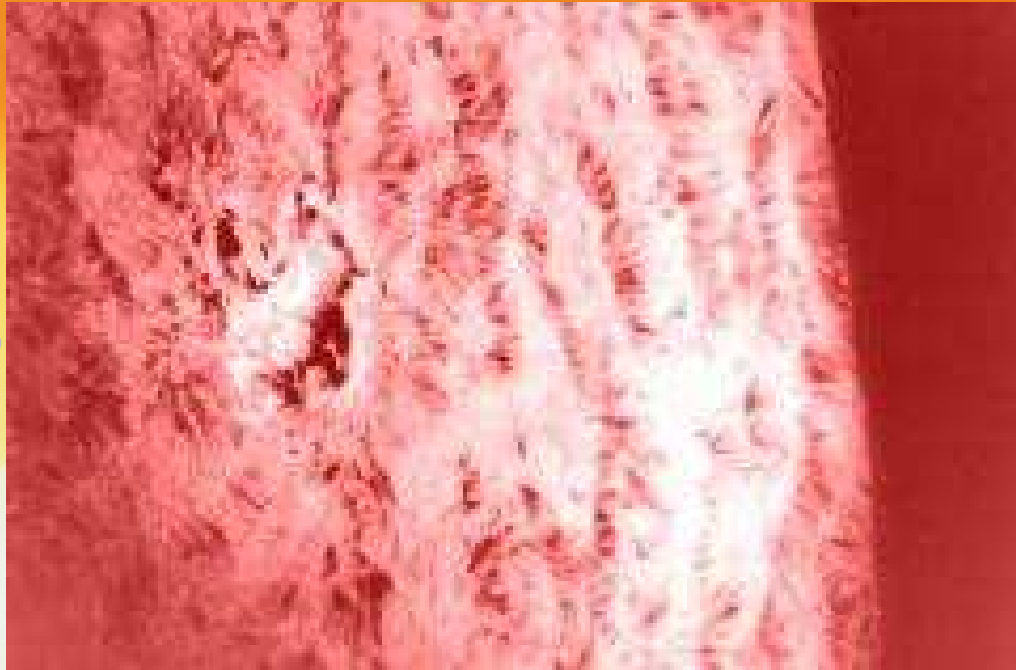
SDO/AIA 304 2010-12-06 13:50:57 UT



1999/03/06 08:08:10



Espículas



Proeminências

Coroa solar - características

- Camada mais externa e tênue
- Estende-se por milhões de km
- Visível apenas durante eclipses totais
- Temperatura: 1-2 milhões de graus.
- Densidade de 2-3 ordens de grandeza mais baixa que na cromosfera
- Emite Raios-X em abundância
- Matéria na forma de plasma
- RA - arcos magnéticos

Coroa solar - Eclipse solar

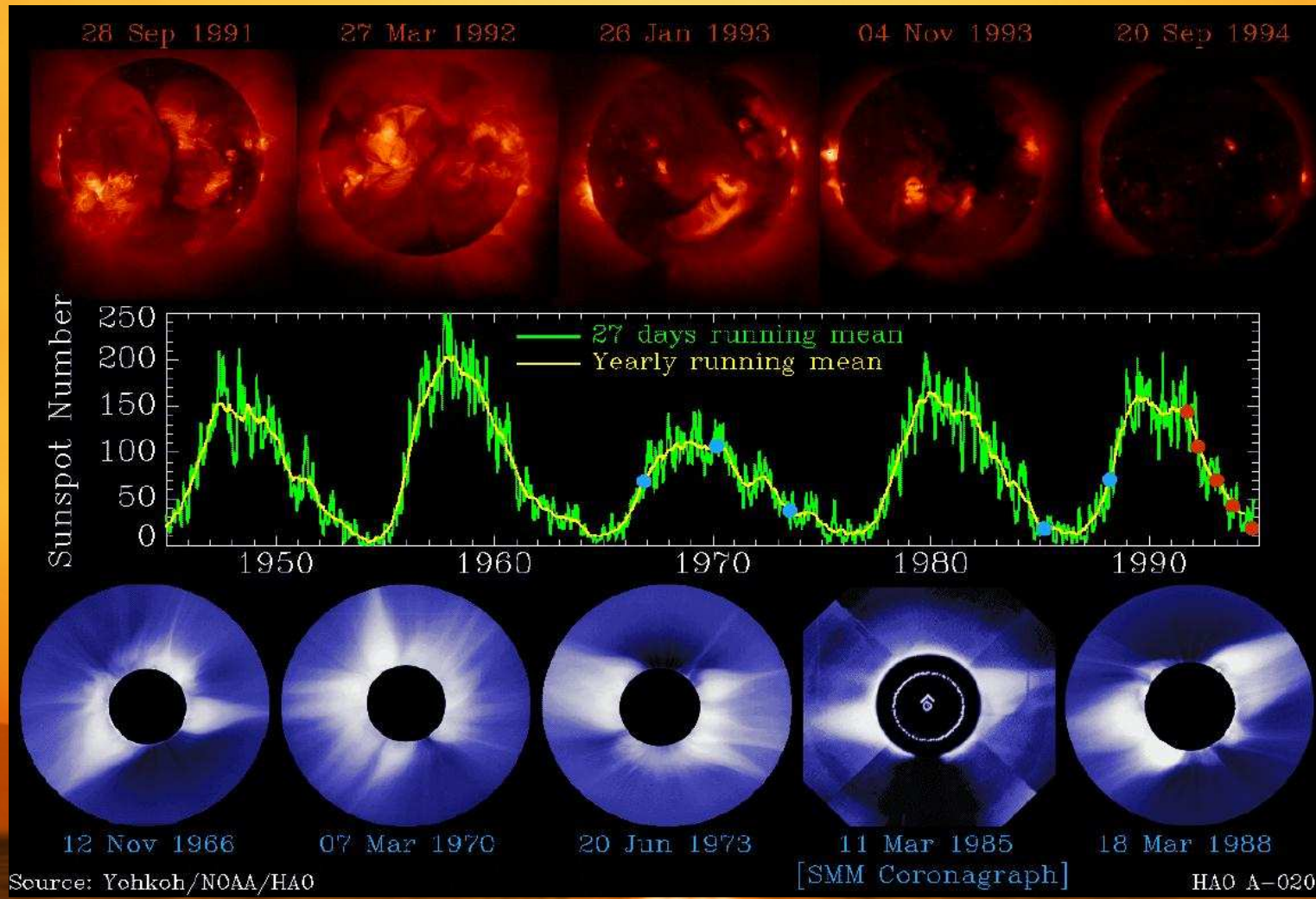


Buracos Coronais

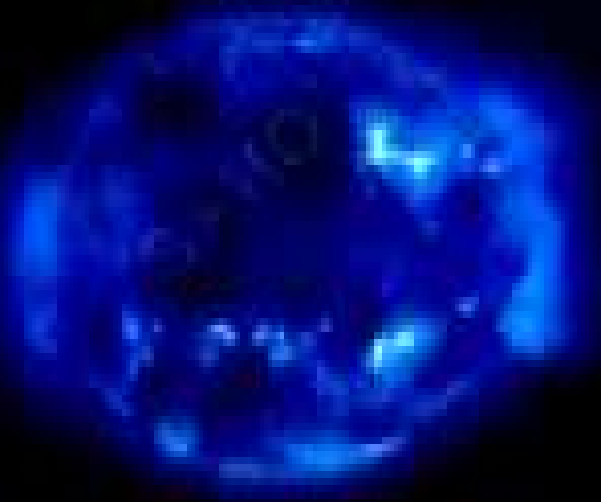


Streamers

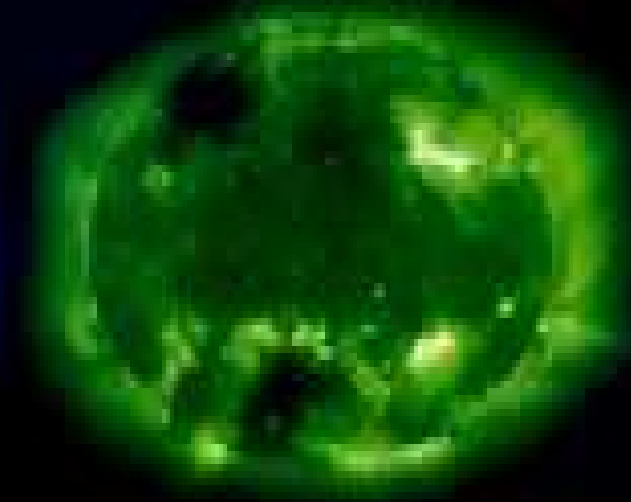
Coroa solar - evolução ciclo



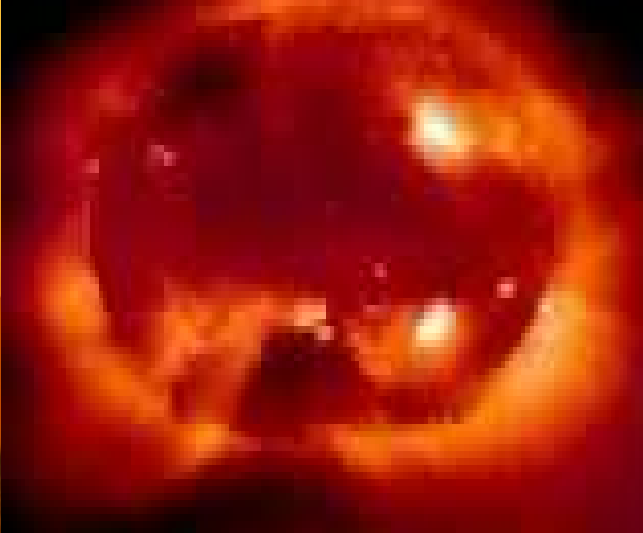
EIT 171 Å (1 MK)



EIT 195 Å (1,5 MK)



EIT 304 Å (60000 K)

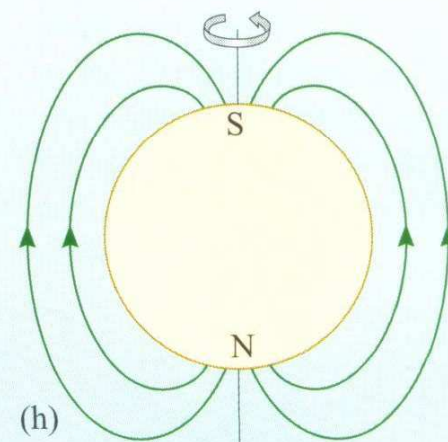
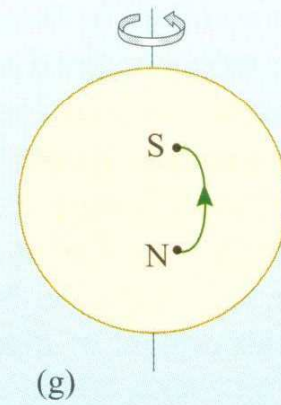
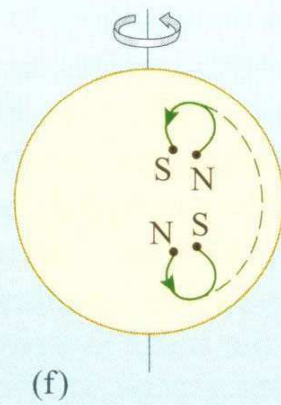
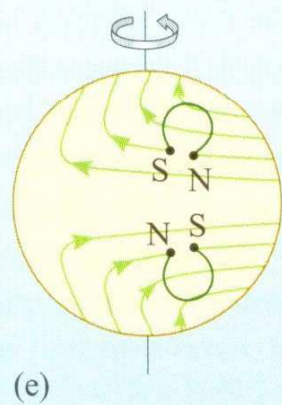
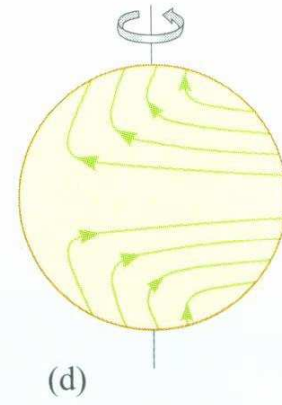
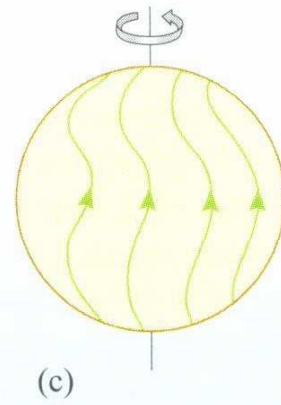
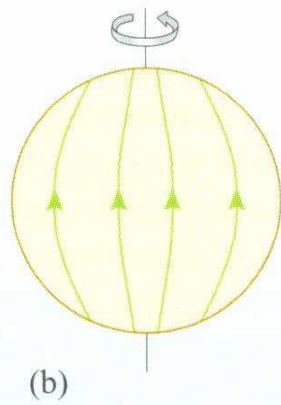
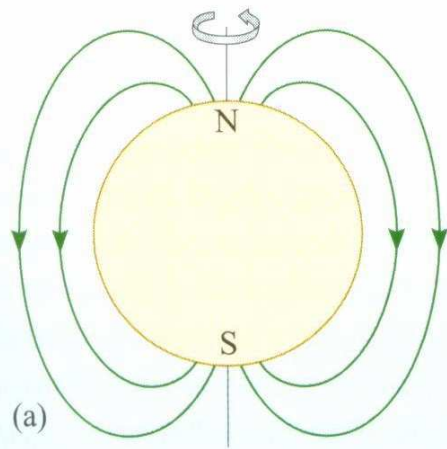


Campos magnéticos do Sol – Ciclo



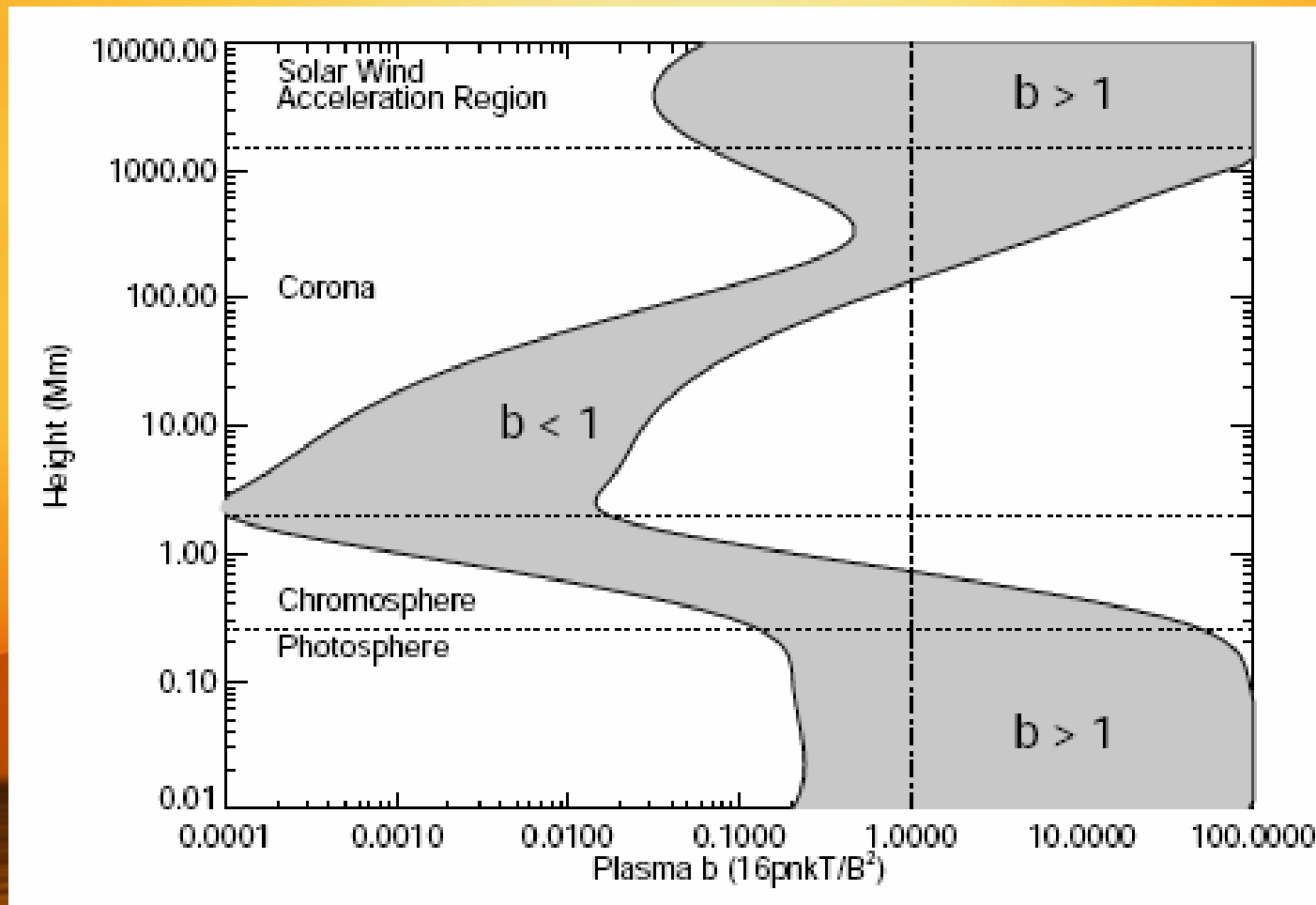
Tabela - Parâmetro β de plasma na atmosfera solar

Parameter	Photosphere	Cool corona	Hot corona	Outer corona
Electron density n_e (cm^{-3})	2×10^{17}	1×10^9	1×10^9	1×10^7
Temperature T (K)	5×10^3	1×10^6	3×10^6	1×10^6
Pressure p (dyne cm^{-2})	1.4×10^5	0.3	0.9	0.02
Magnetic field B (G)	500	10	10	0.1
Plasma- β parameter	14	0.07	0.2	7

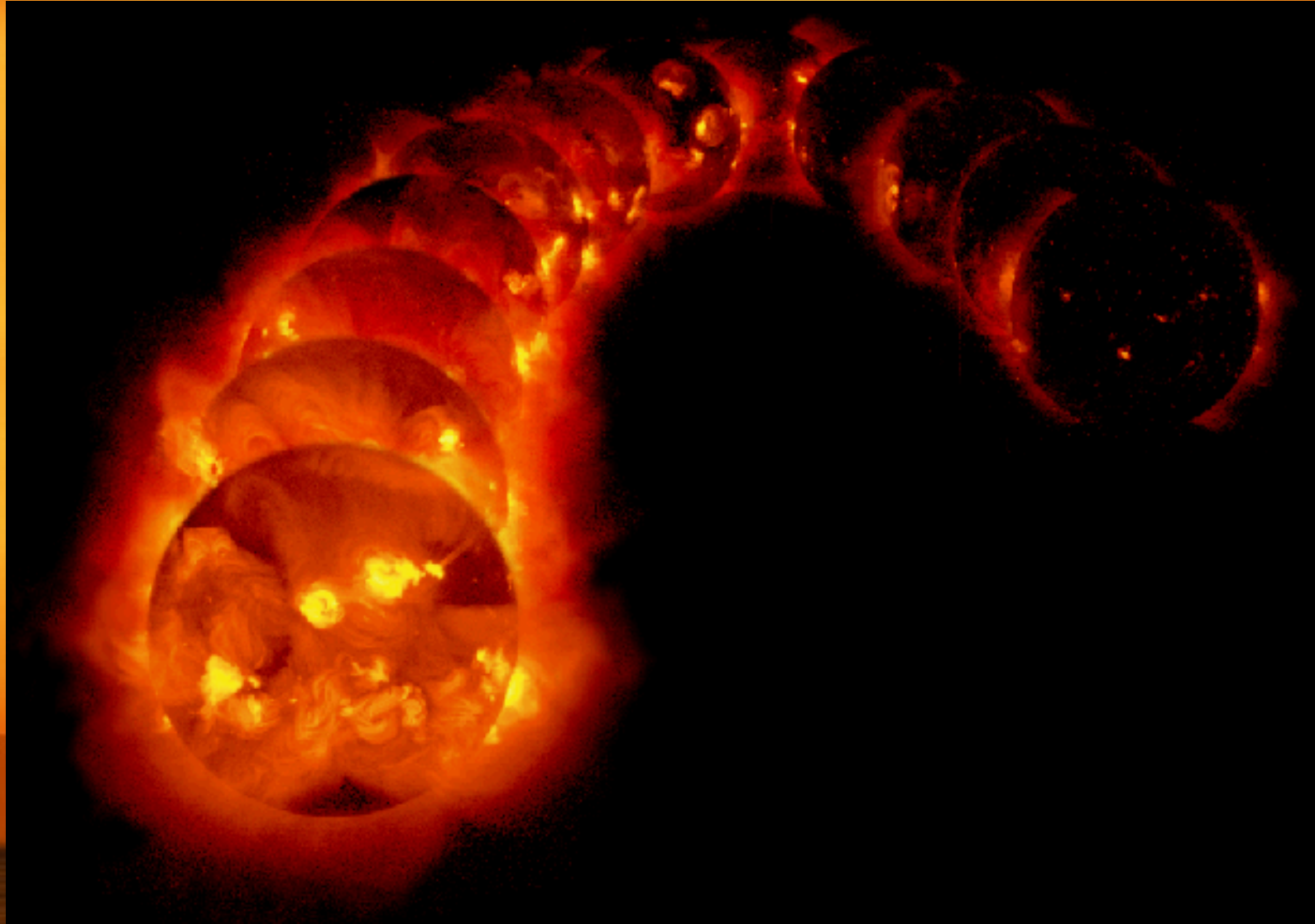


Parâmetro β de plasma

$\beta = \text{Pr. térmica}/\text{Pr. magnética} = 2\xi n_e k_B T_e / (B^2/8\pi)$; ξ - fração ionização, $\xi = 1$ coroa, $\xi = 0.5$ fotosfera



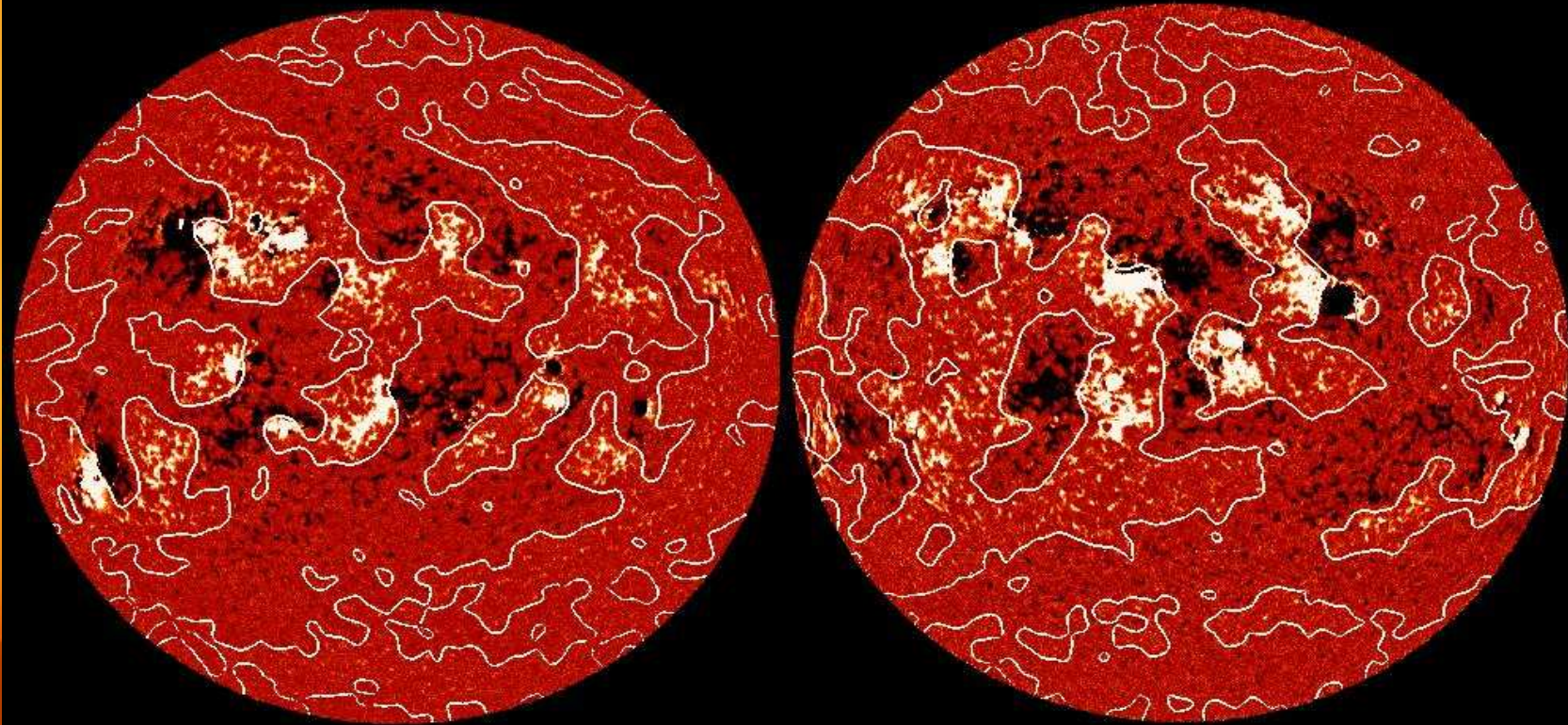
Campos magnéticos do Sol



Campos magnéticos do Sol

28 Feb 1982 [Cycle 21]

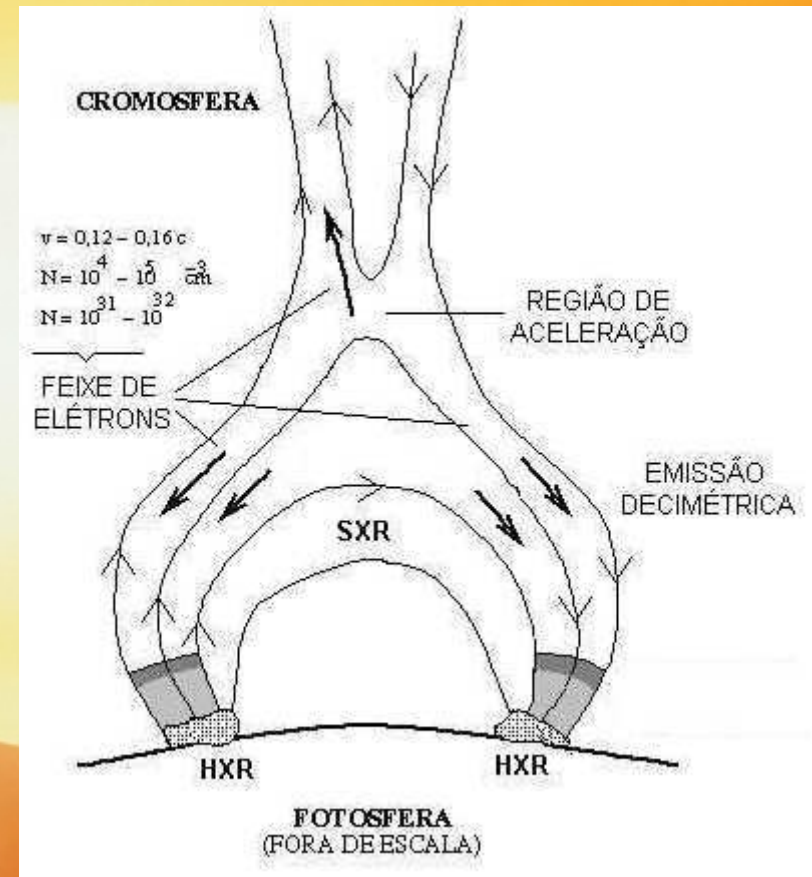
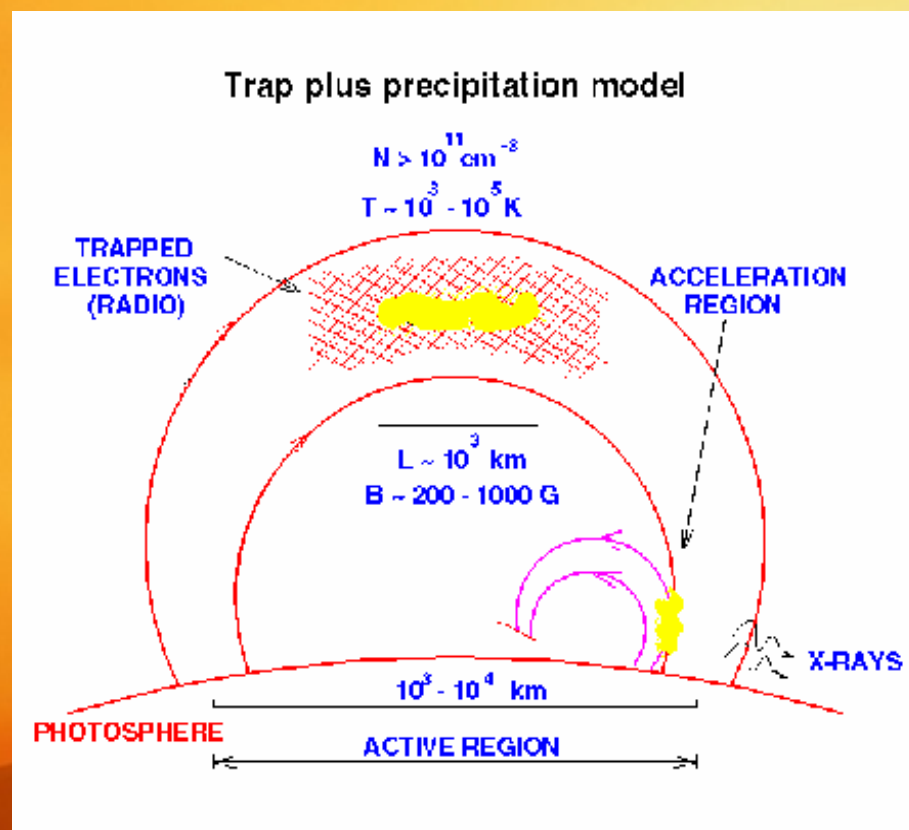
26 Feb 1992 [Cycle 22]



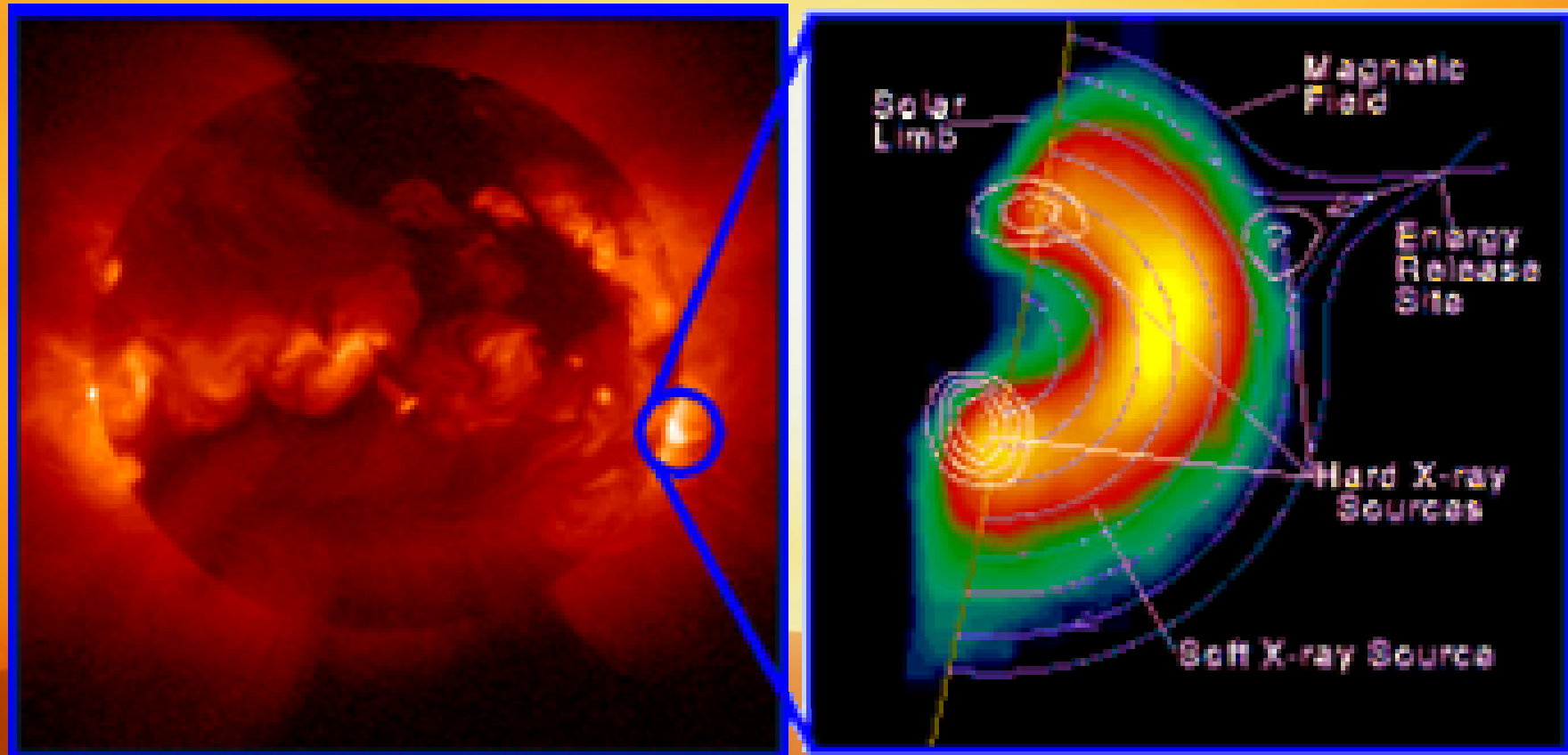
Source: National Solar Observatory (H. Jones)

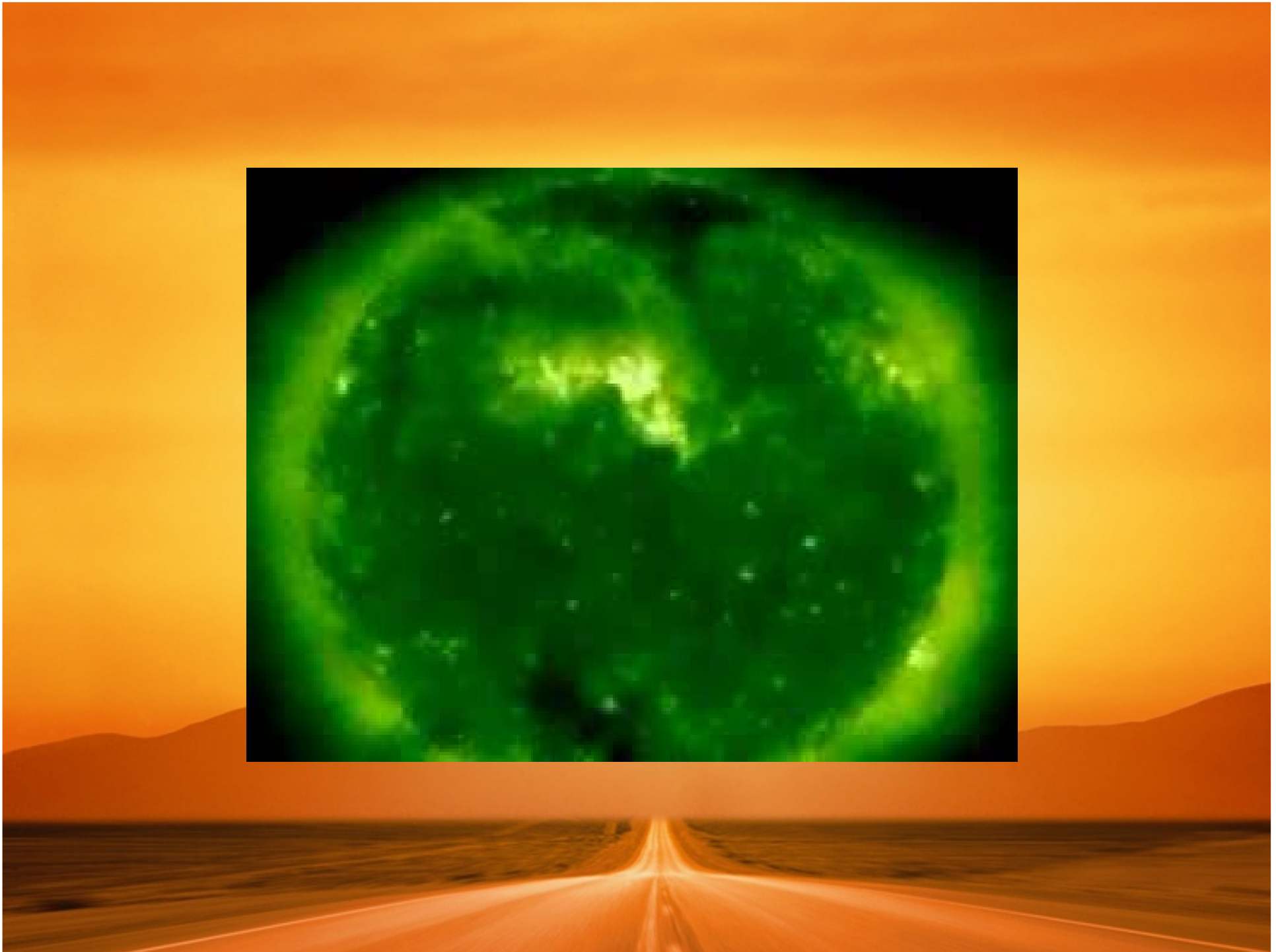
HAO A-019

Regiões ativas - arcos magnéticos



Região ativa - arco magnético

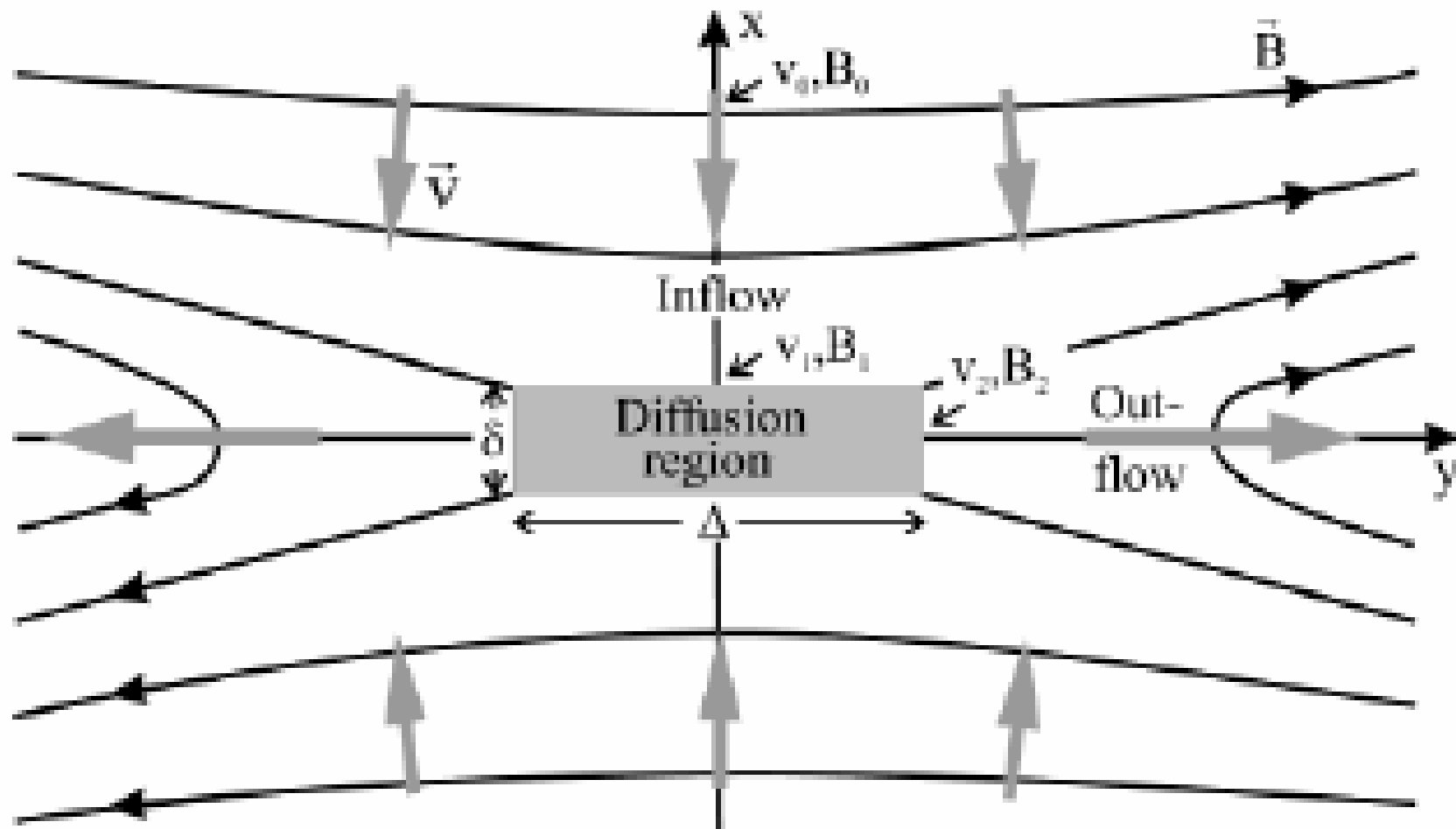




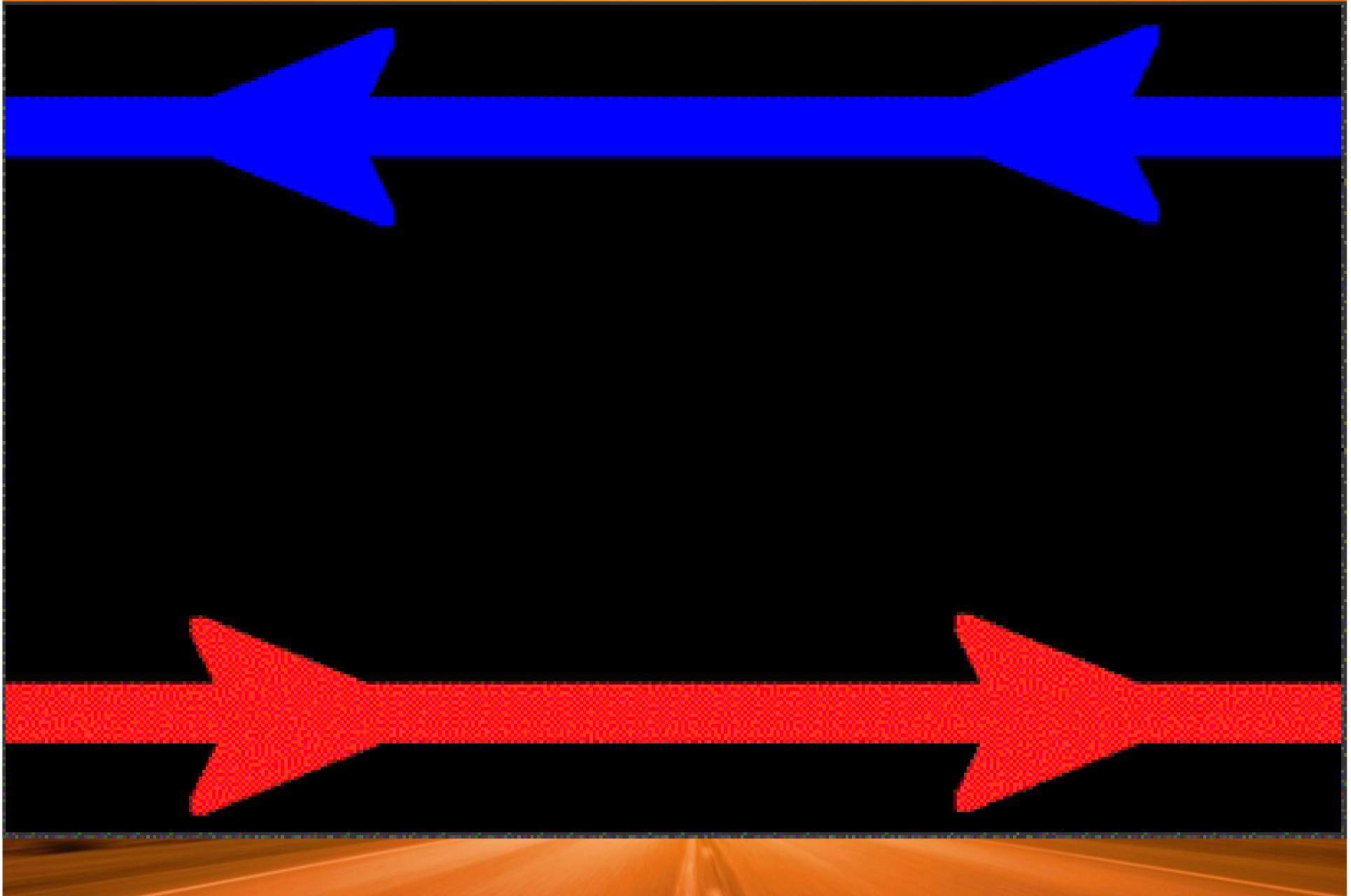
Região ativa evoluída



Reconexão linhas campo magnético



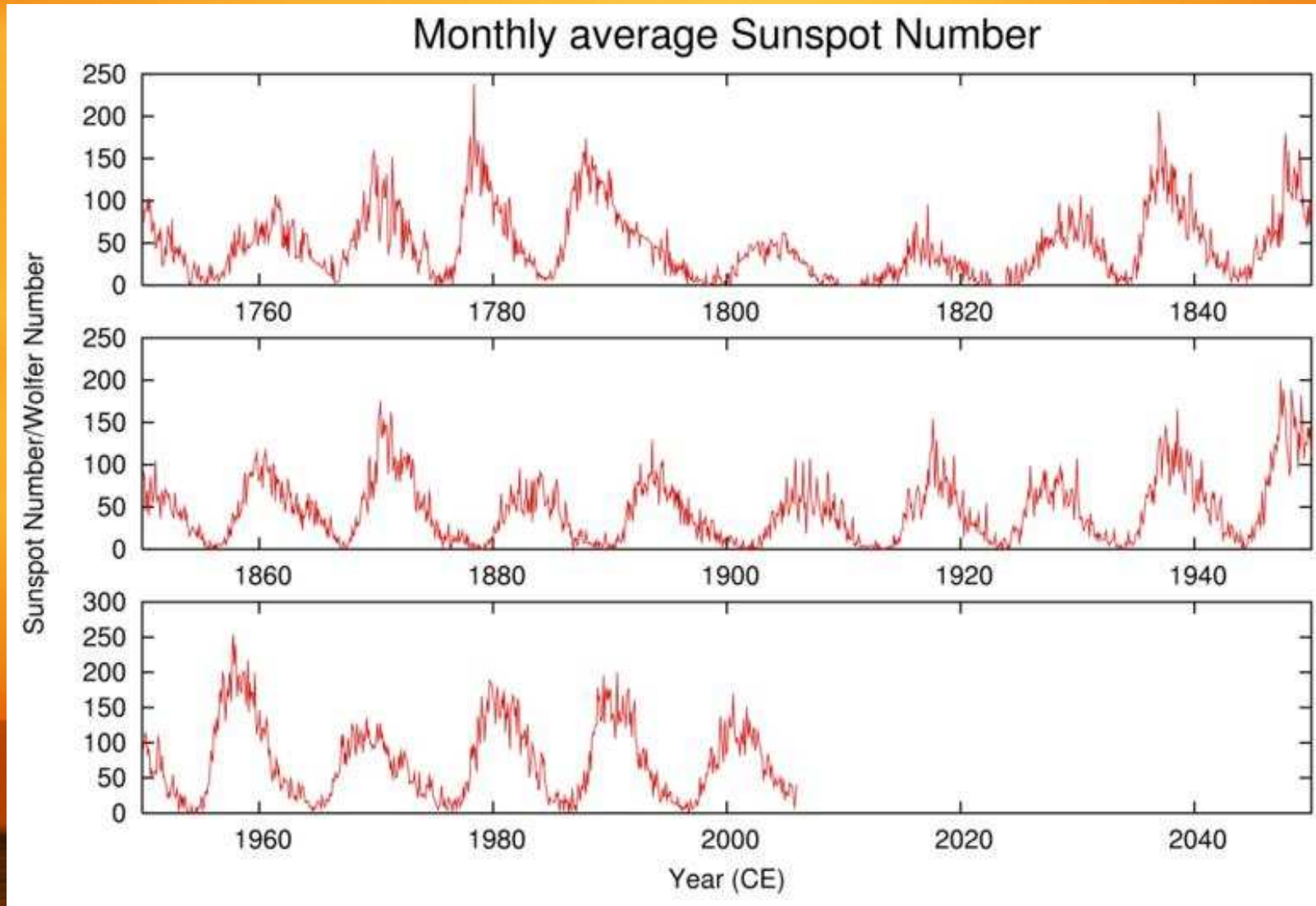
Reconexão de linhas campo magnético



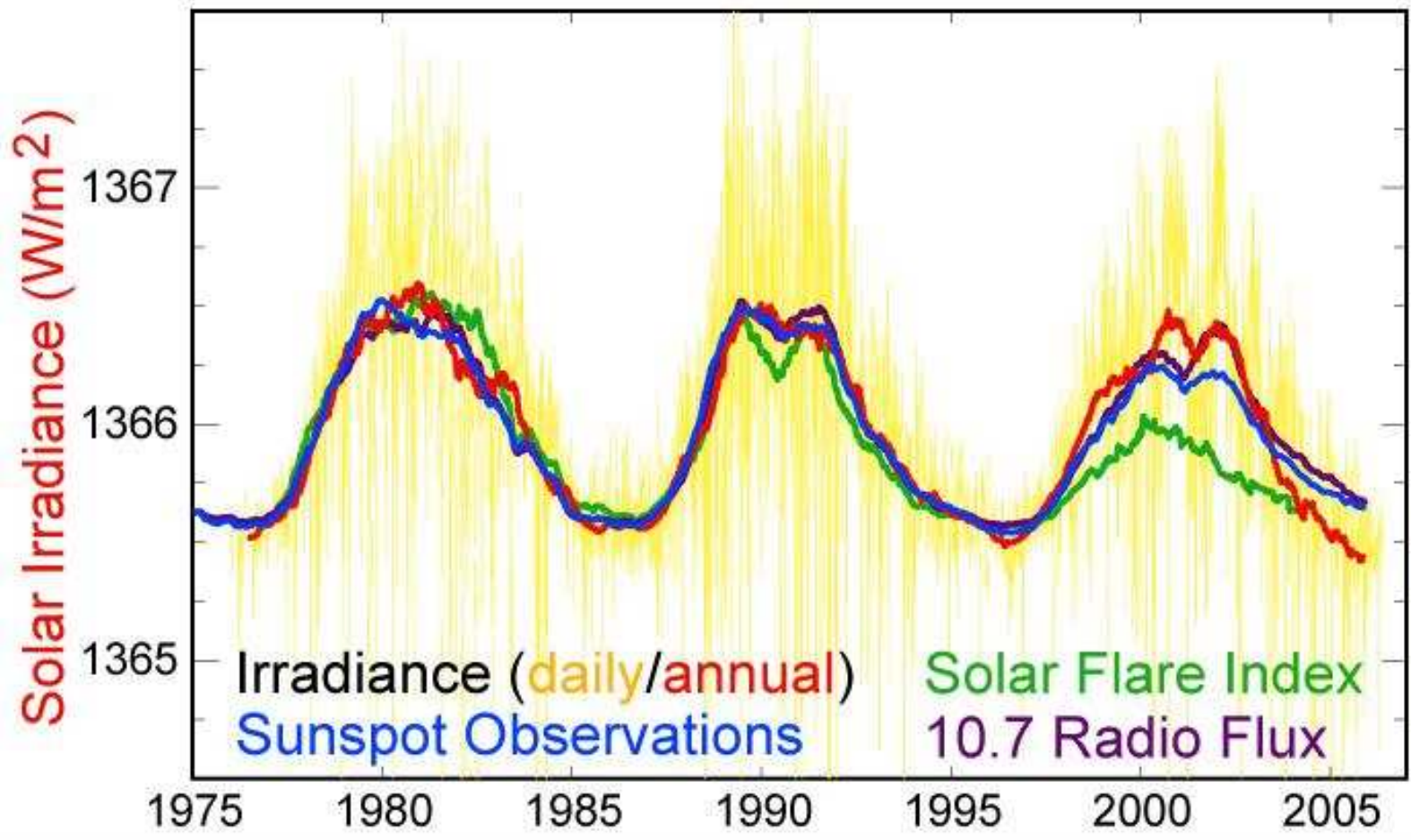
Ciclo de atividade solar

- **Crescimento e diminuição graduais n.º. de manchas**
- **Período médio 11 anos**
- **2001- máximo ciclo 23**
- **Ciclo de atividade magnética ~22 anos -mesma pol. magn.**
- **No máximo ocorre grande aumento número de fenômenos energéticos (“flares”)**
- **Atividade solar afeta atividades humanas: comunicações, sist. navegação, órbita satélites, sist. distribuição energia**

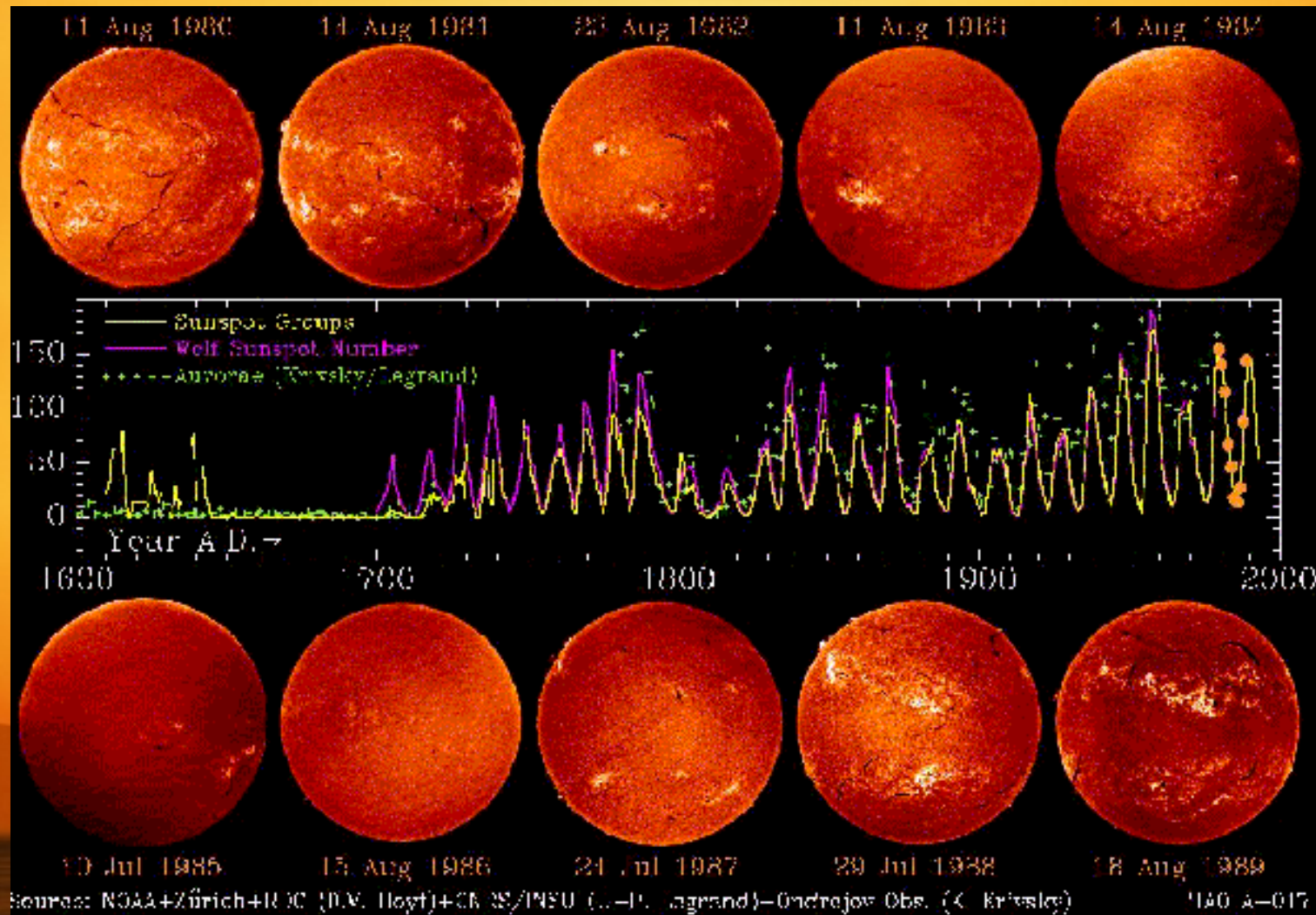
Ciclos de atividade: 1750 - 2005



Solar Cycle Variations



Ciclo de atividade - coroa



Ciclo de atividade - manchas

**Solar
Magnetic Field
Evolution**

Explosões (“flares”) solares

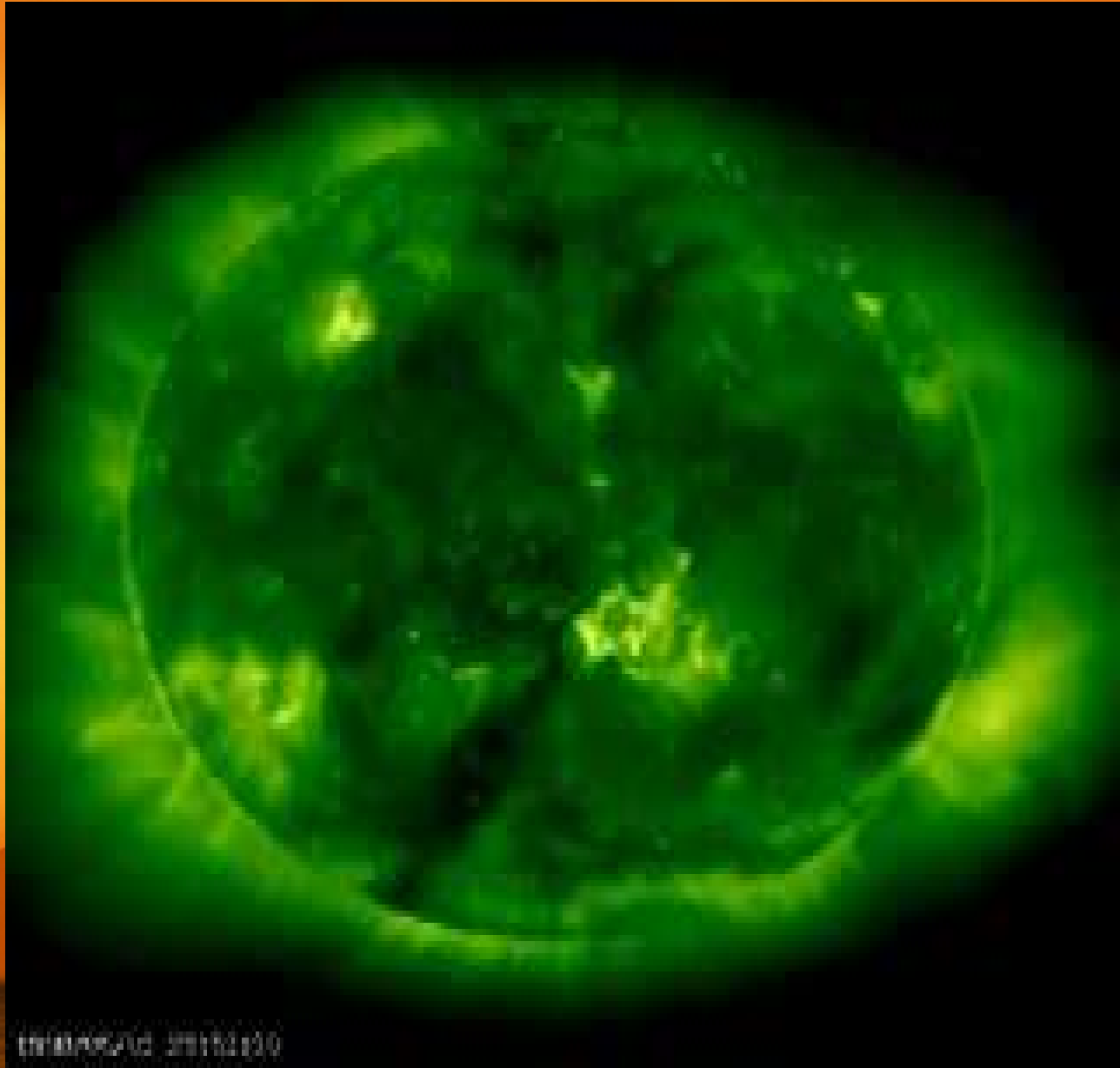
- Carrington & Hodgson meados século XIX
- Emissão 10^{26} - 10^{32} erg dentro alguns segundos a poucas horas.
- Energia magnética armazenada nas RA
- Part. energizadas interagem com o meio ambiente e geram emissão radiação (rádio, RX e Raios-gama) e partículas.
- Eventualmente CMEs.
- Algumas associadas a tempestades magn.

Explosões (“flares”) solares

Solar Flare
1972 August 07

Big Bear Solar Observatory





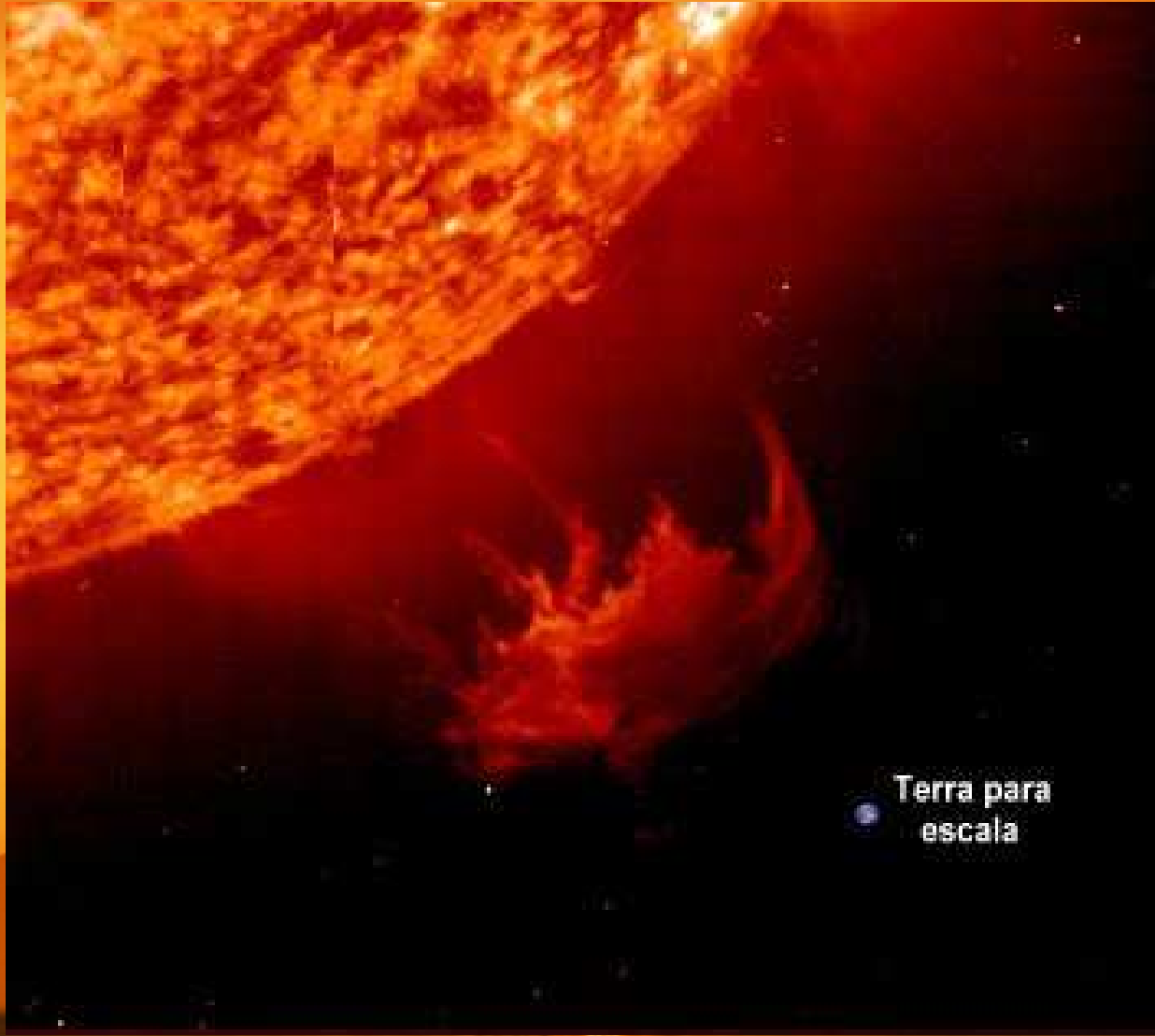
www.ck12.org

Ejeções massa coronal (CME)

- Expulsão de grandes quantidades de matéria (10^{15} - 10^{16} g) do Sol para o espaço a velocidades de 10^2 - 10^3 km/s.
- Causa e origem ainda desconhecidos
- Metade associados proeminências eruptivas e outra parte acompanha os “flares”. Associados instabilidades proem.
- Produzem ondas choque, ~ 2 dias p/ chegar a Terra.

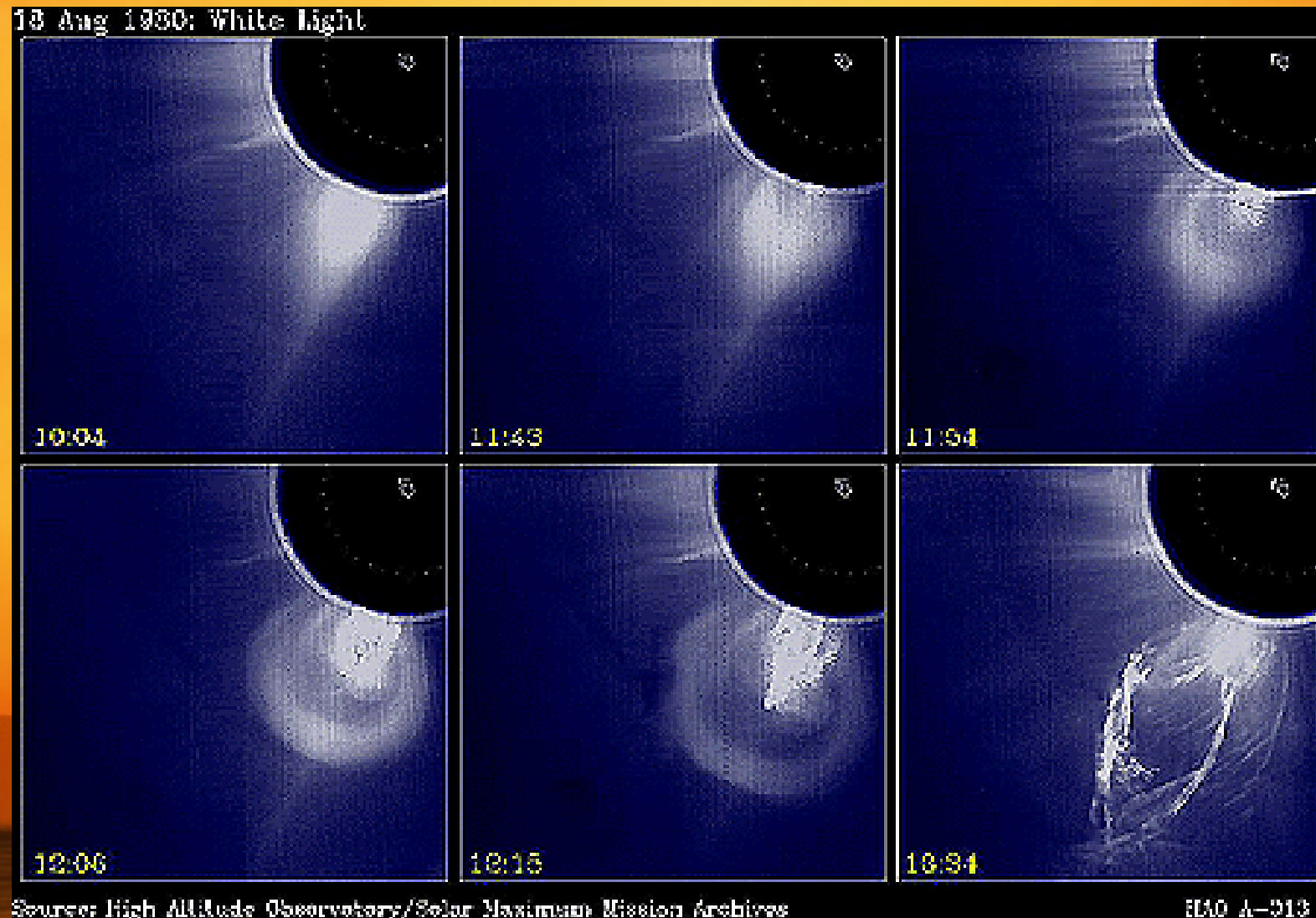
06:00



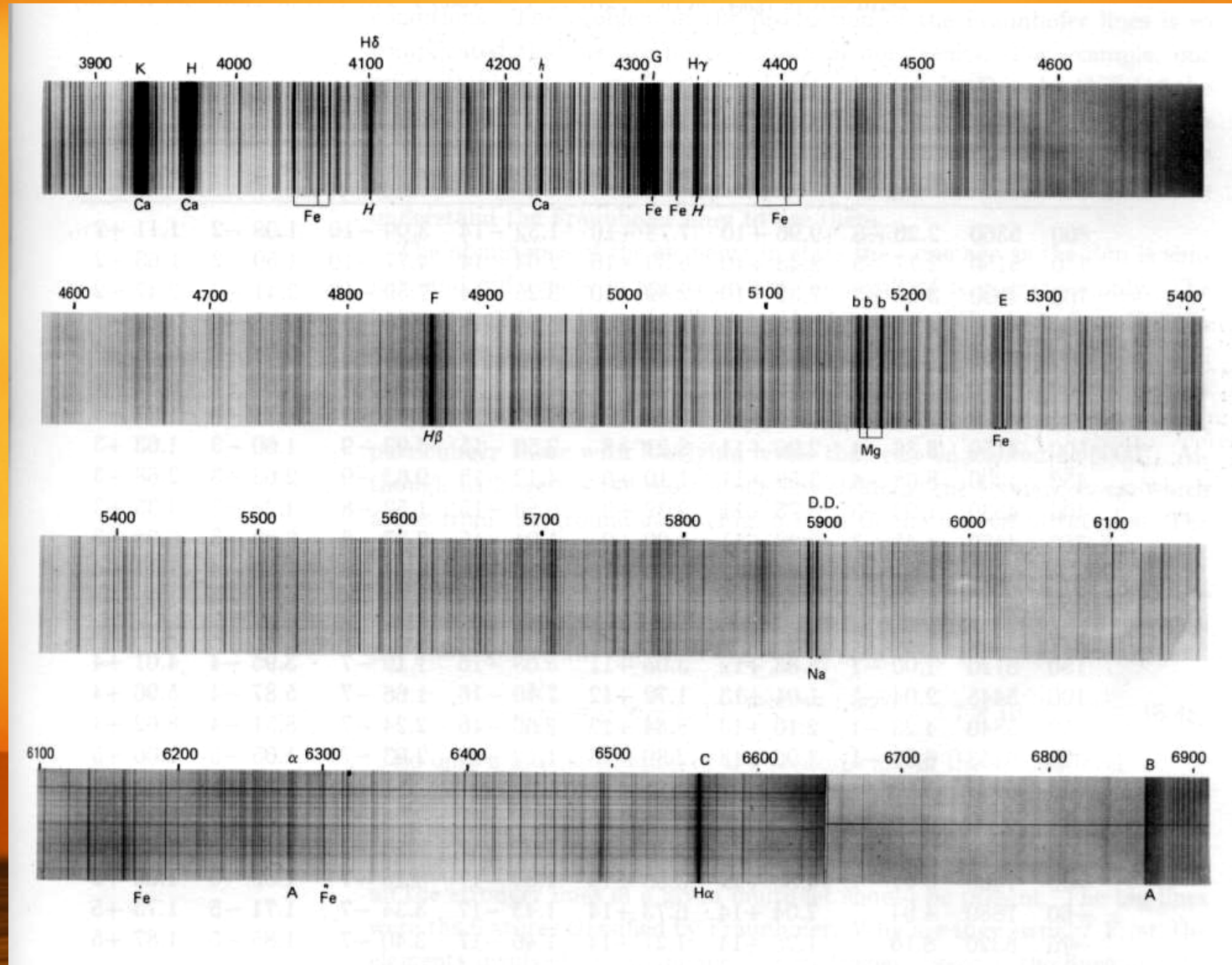


Terra para
escala

Exemplo de CME



Espectro solar



Espectro solar

- Átomos – absorção da luz em λ específicos (espectroscópio) → elem. químicos presentes no Sol.
- Abundância elementos e Temperatura da região onde estão presentes na atmosfera solar.
- Espectro solar – classificação espectral G2V
- ☀ - estrela baixa atmosf. fria ($T \sim 6000$ K)
- Presença de átomos de elementos metálicos
- Maioria átomos neutros – aqueles com níveis de energia baixos p/ excitação a 6000 K.
- Ca, Mg, Na, Fe
- Linhas do H: H- α , H- β , H- γ , H- δ

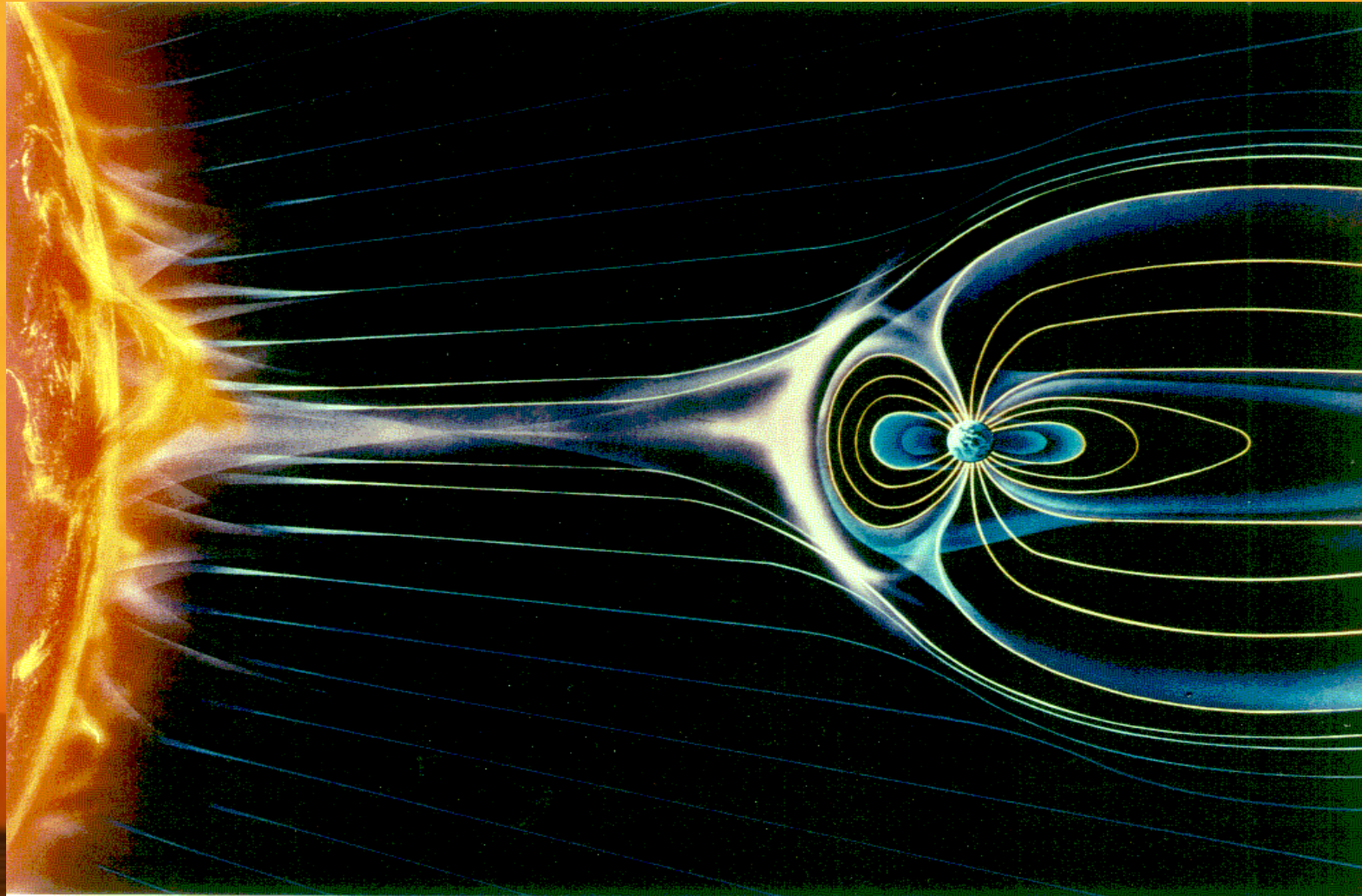
Vento solar

- Trata-se de um fluxo de elétrons e íons positivos expulsos da coroa p/ meio interpl. com $v = 10^2 - 10^3$ km/s
- Escapam ao espaço através de linhas de campo abertas
- Origem nos chamados buracos coronais
- Eventualmente atinge a Terra podendo causar auroras e/ou perturbações na magnetosfera terrestre.

Vento solar



Vento solar



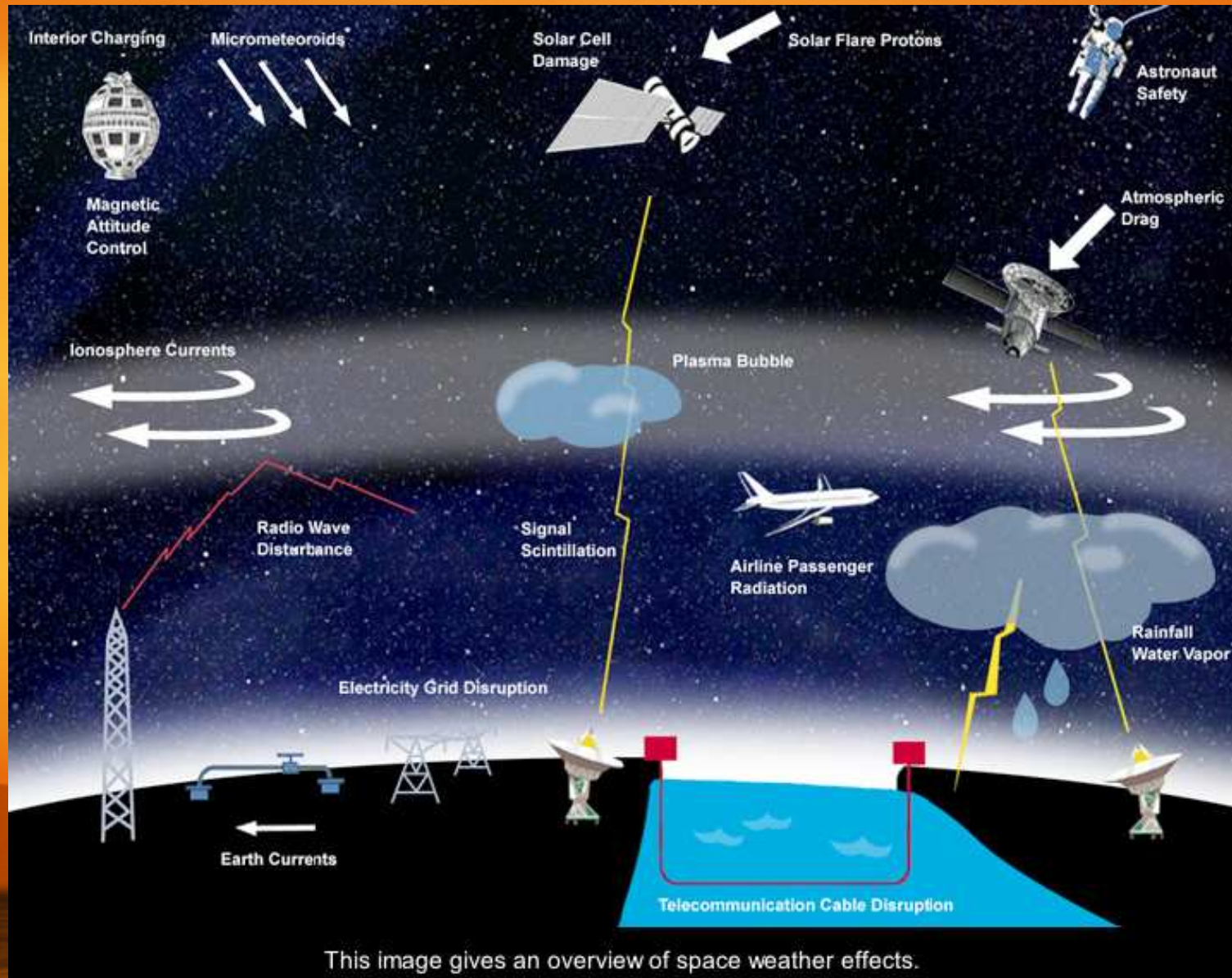




Exemplos de aurora



Importância pesquisas sobre Sol







Investigações solares na DAS

- Desenvolvimento de instrumentação rádio
- Instrumentos: espectroscópio
interferômetro
- Observações simultâneas com satélites
SOHO, HESSI
- Participação Campanhas Internacionais
de Observações - Programa “Max
Millenium”

Espectroscópio



Interferômetro - recente





FIM