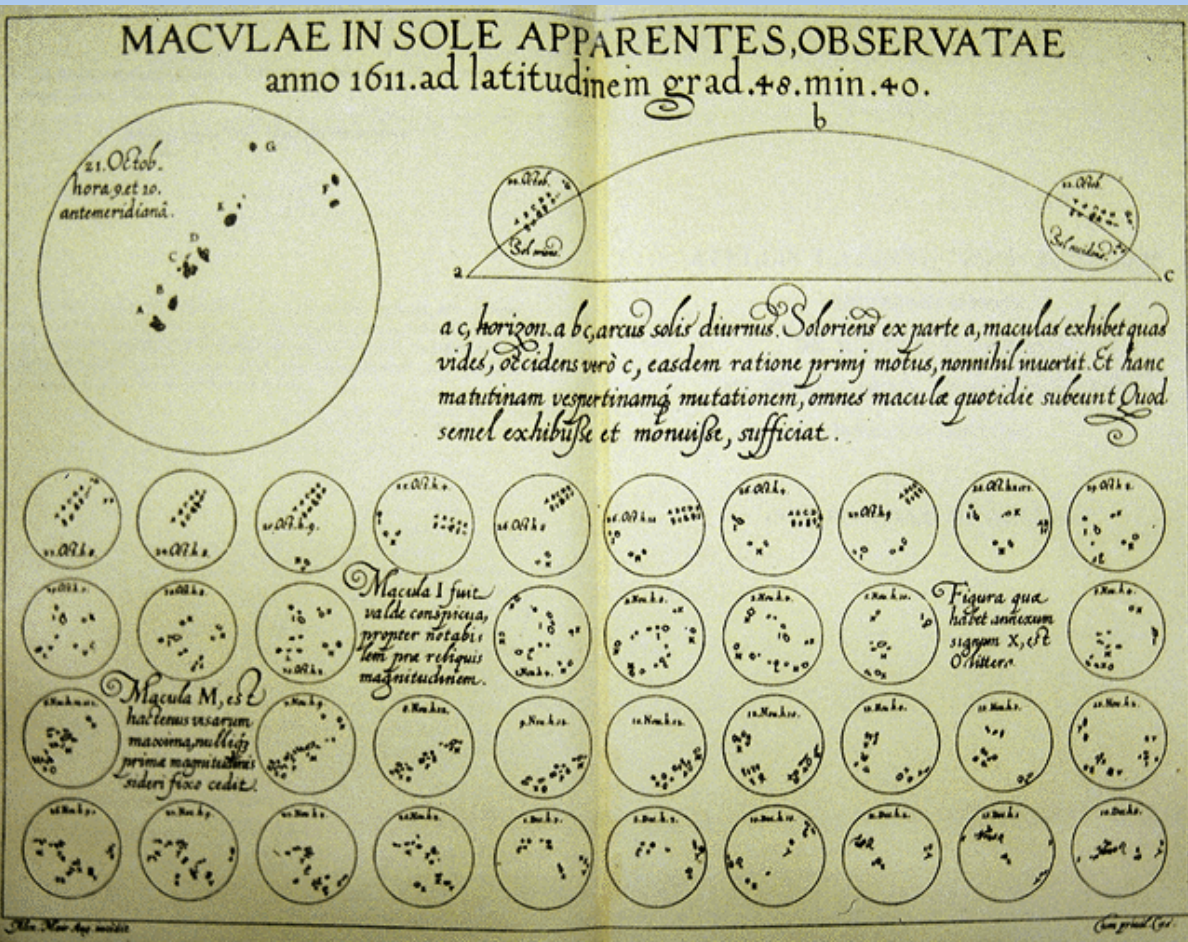


O clima do espaço e o seu impacto na Terra

Fernando J. G. Pinheiro

**Centro de Investigação da Terra e do Espaço da U.C.,
Observatório Geofísico e Astronómico da U.C.**

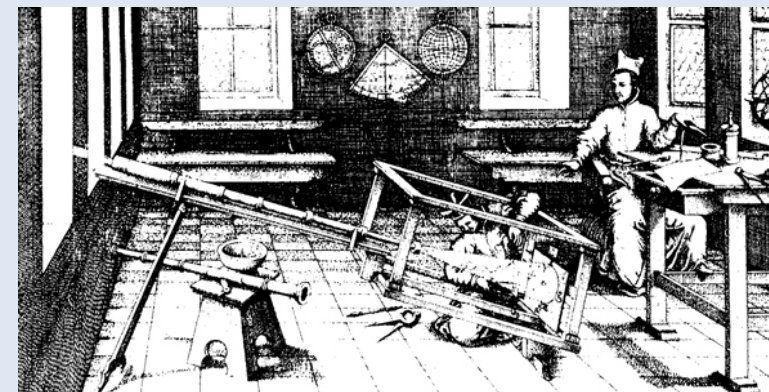
Galileu e as manchas solares



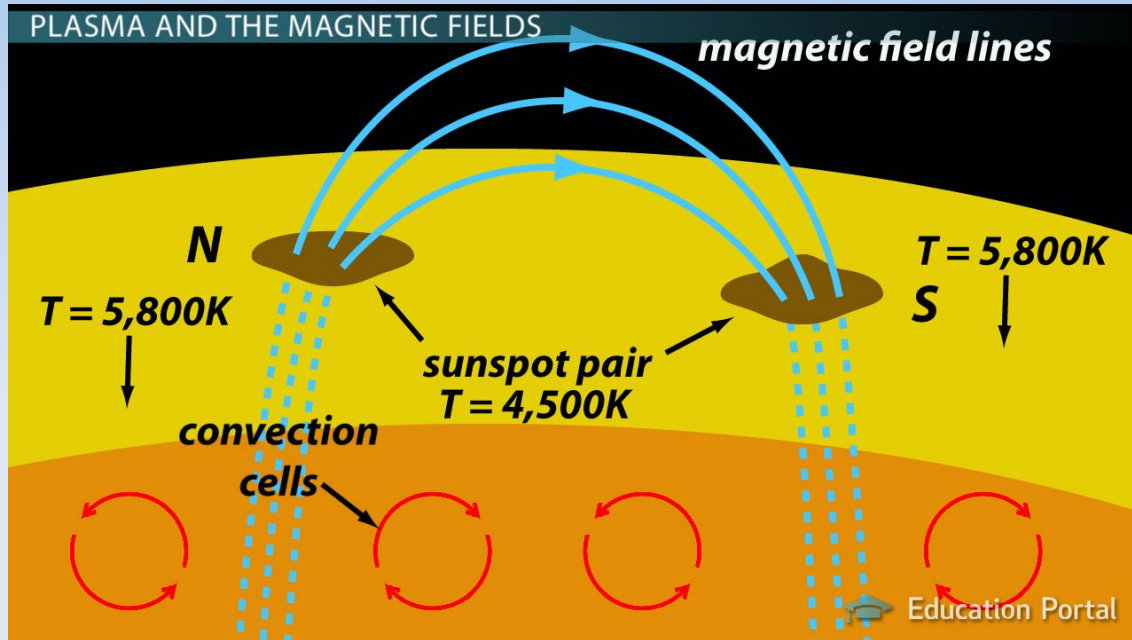
Galileu observa manchas solares concluindo ser fenómeno inerente à superfície solar

Descoberta disputada com C. Scheider (o qual afirma tratarem-se de planetoides)

...mas há registo de machas observadas anteriormente (China 800 AC, J. Worcester sec XII)

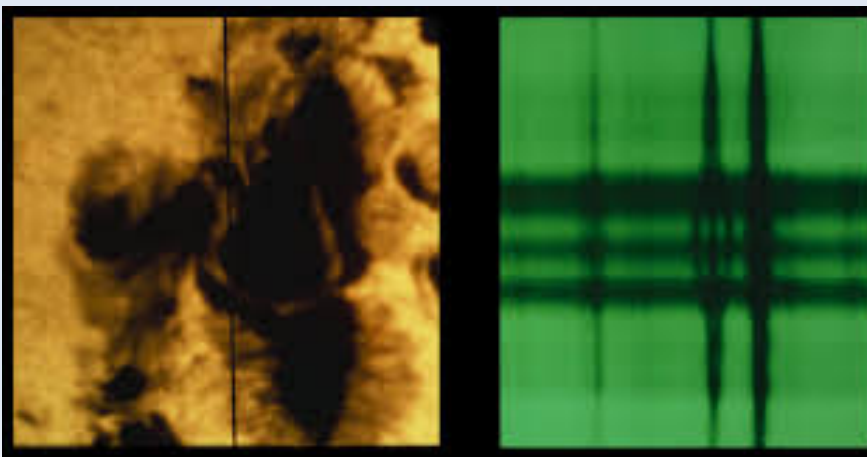


O que são as manchas solares?

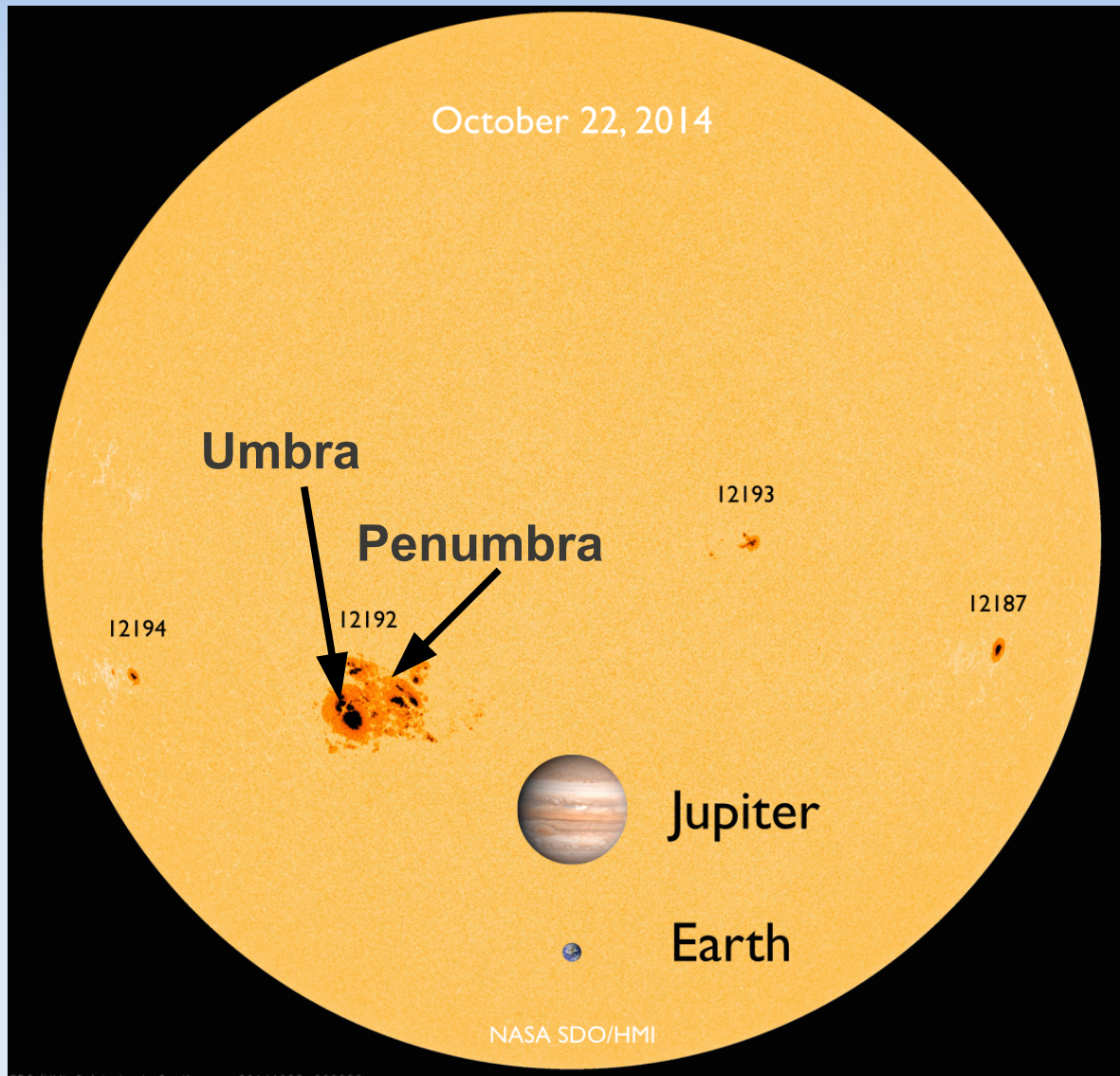


- Zonas da fotosfera solar onde o campo magnético irrompe à sua superfície.
- Campos magnéticos que perturbam o transporte convectivo de energia

Como sabemos?



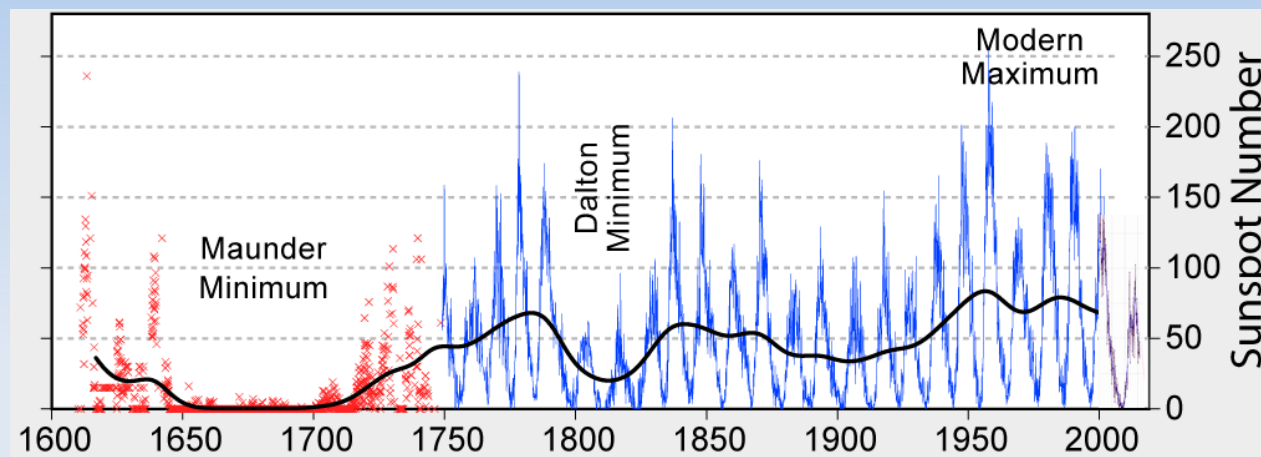
O que são as manchas solares?



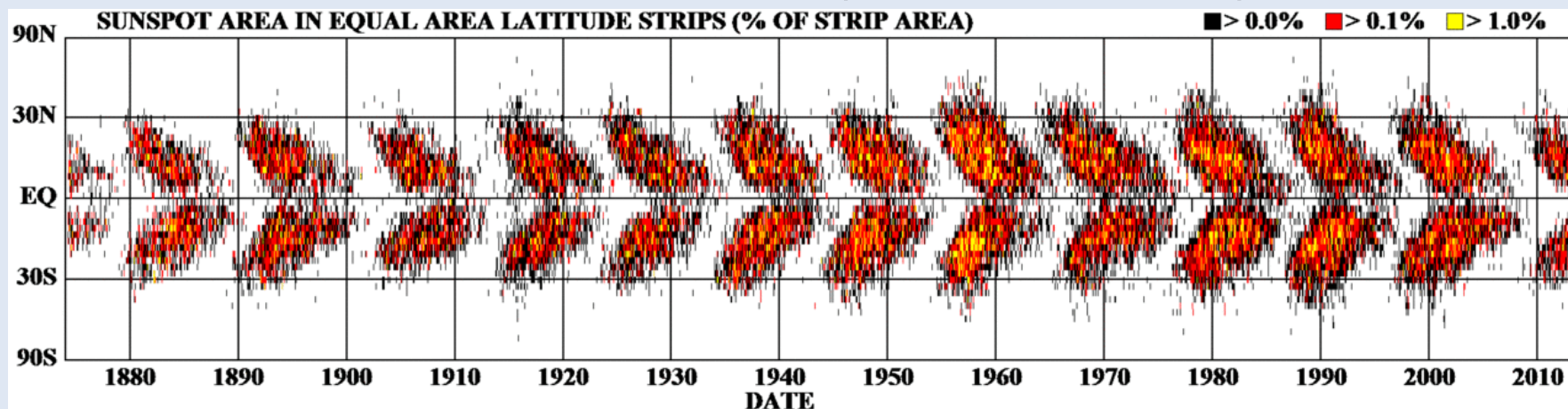
- Geralmente aos pares de polaridades opostas
- 1 ou 2 regiões: umbra penumbra
- Começam por formar-se a latitudes intermédias, migrando para o equador
- Podem ter tamanho da Terra ou maior

O ciclo solar

1843 - S. Schwabe observa variação periódica do nº de manchas

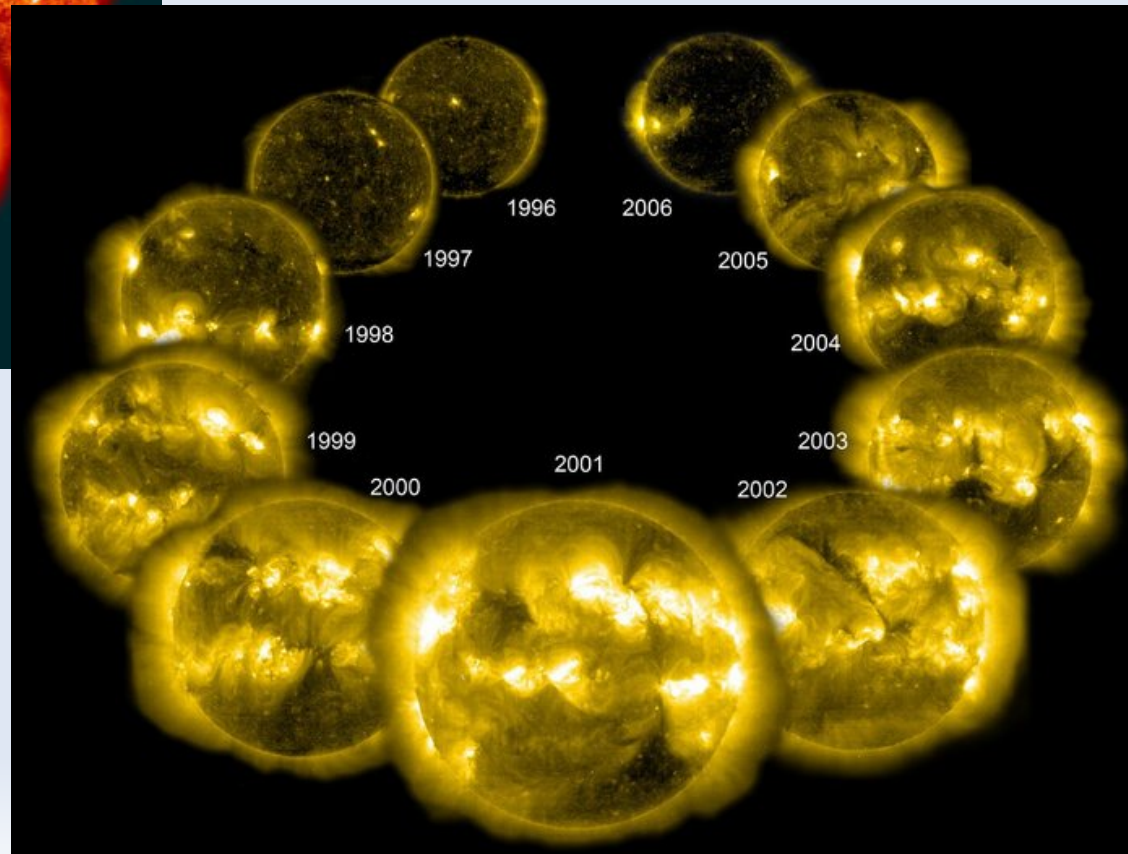
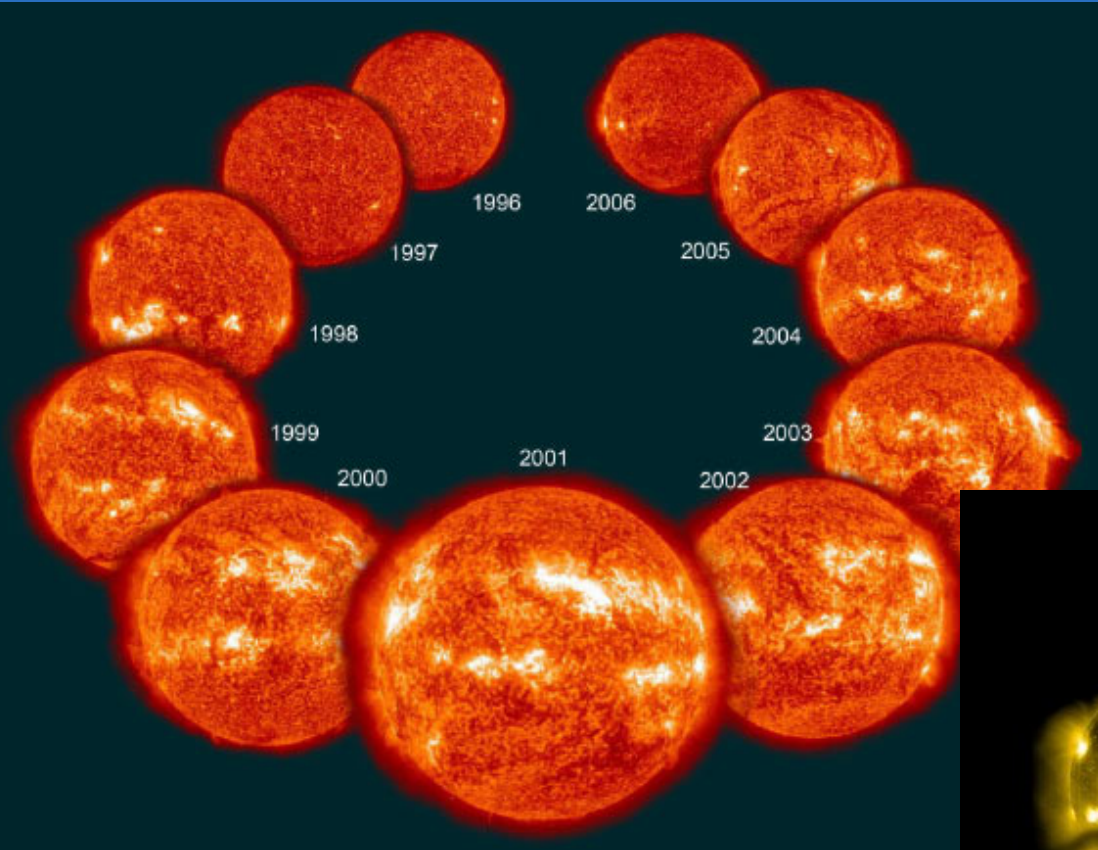


1852 - R. Wolf reconstrói o ciclo de atividade até fev. 1755, melhorado a estimativa do período ($P = 11.11$ anos)



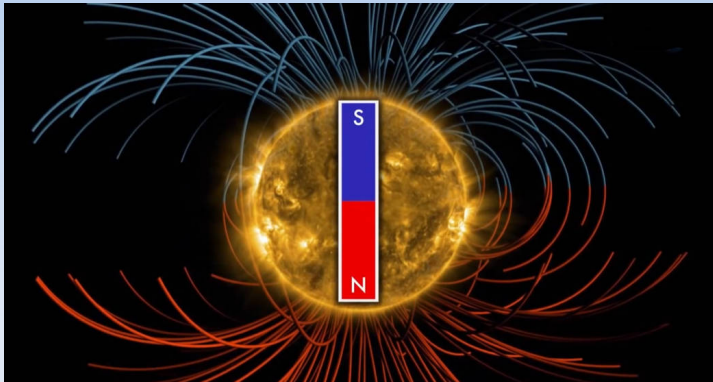
1904 - A. & E. Maunder - localização de manchas ao longo do ciclo

O ciclo solar

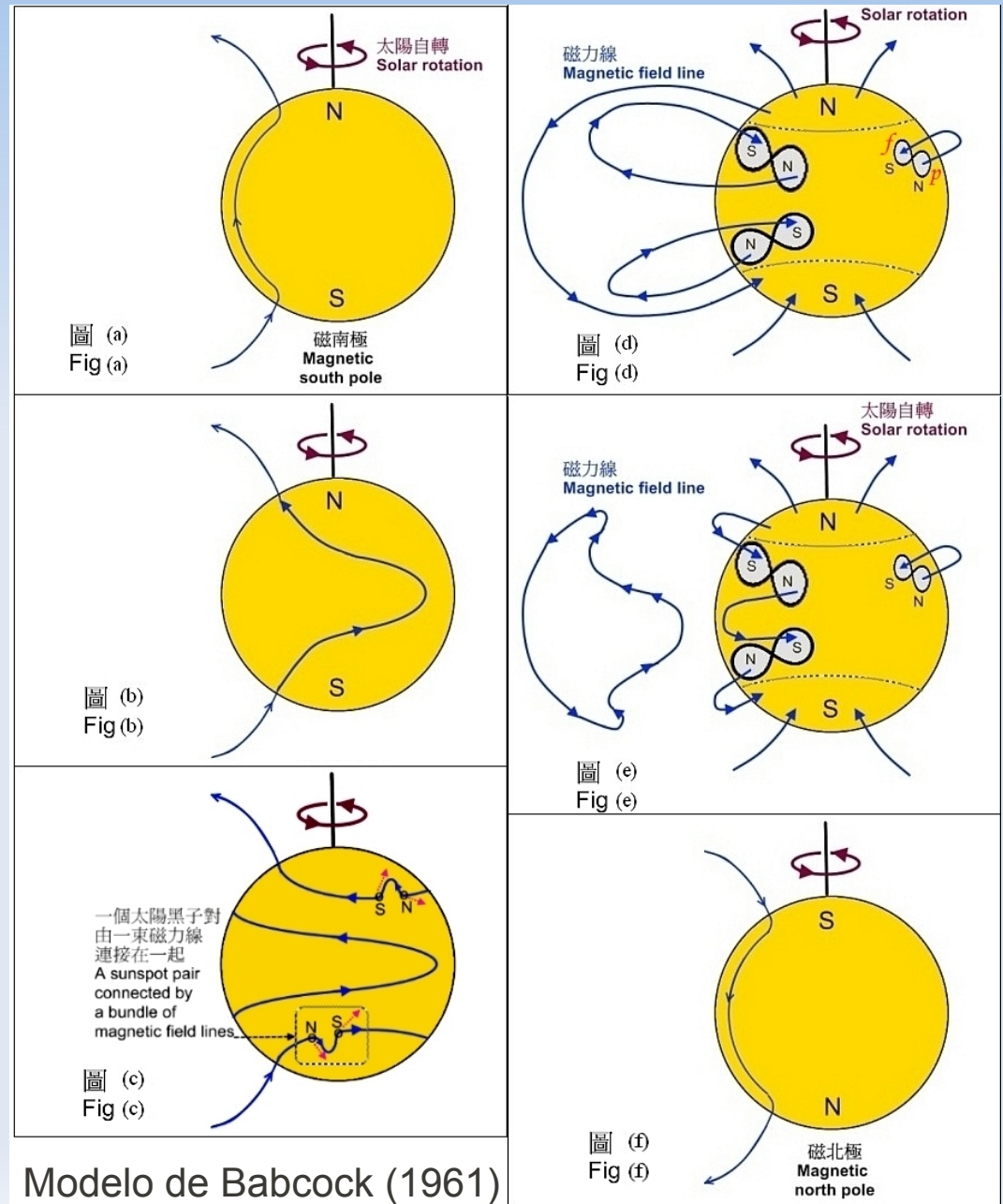
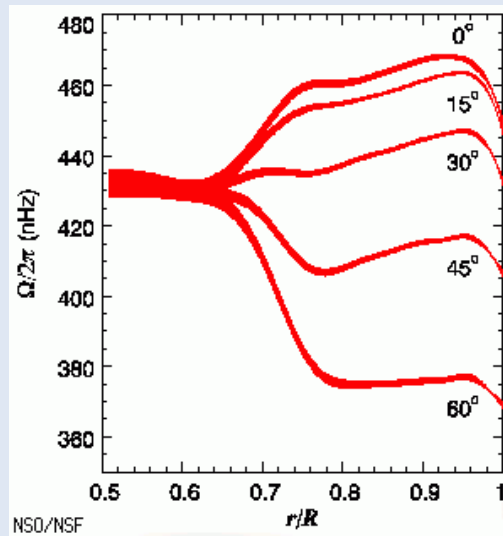


Porquê do ciclo solar?

O dipolo solar

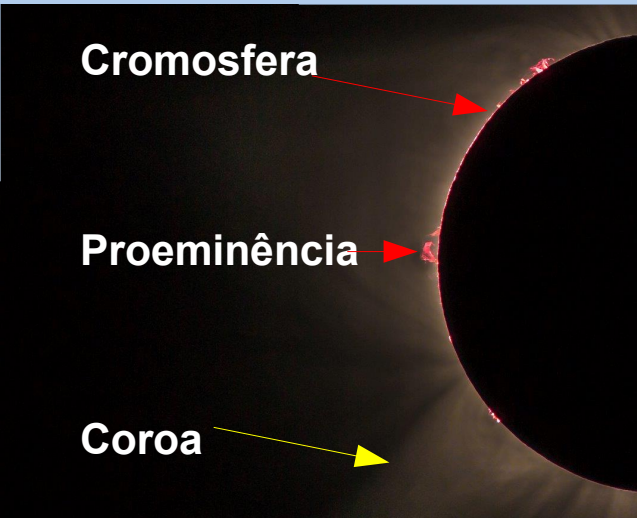


Rotação diferencial do Sol



Modelo de Babcock (1961)

Outros sinais de atividade solar: proeminências/filamentos



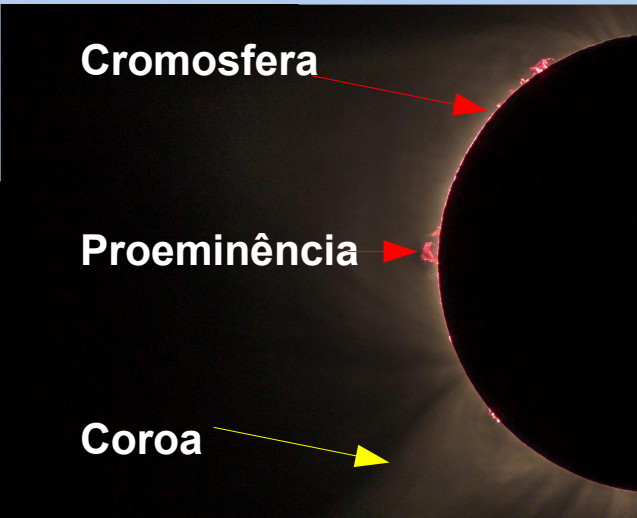
Observando o Sol
durante um eclipse

Outros sinais de atividade solar: proeminências/filamentos

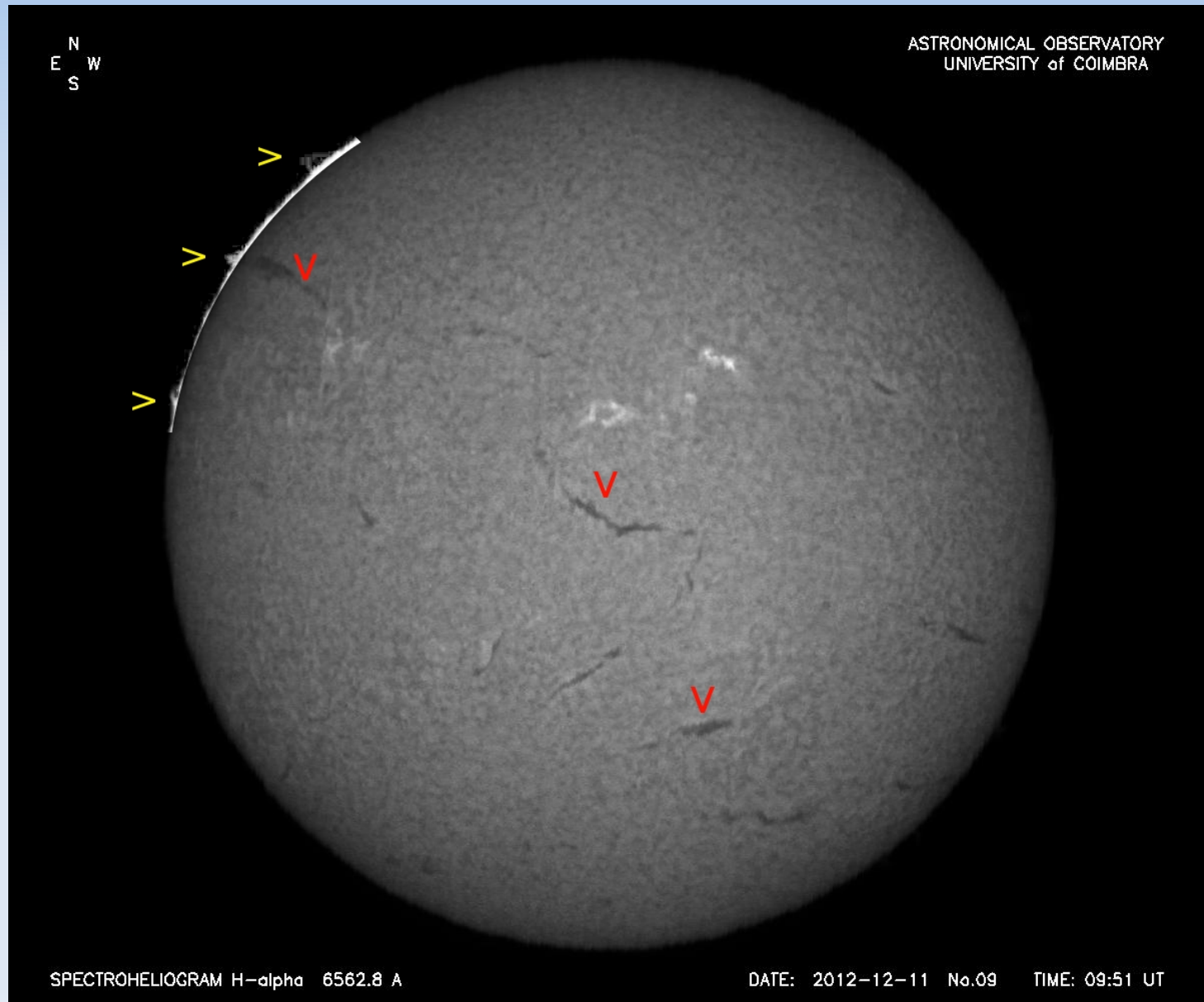
Cromosfera

Proeminência

Coroa

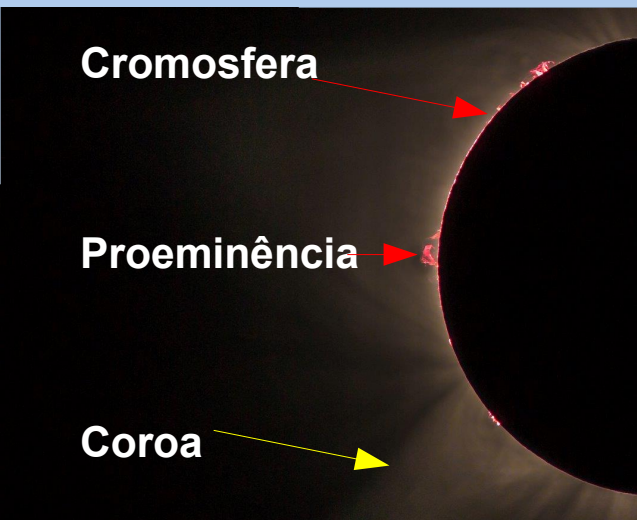


Observando o Sol
durante um eclipse

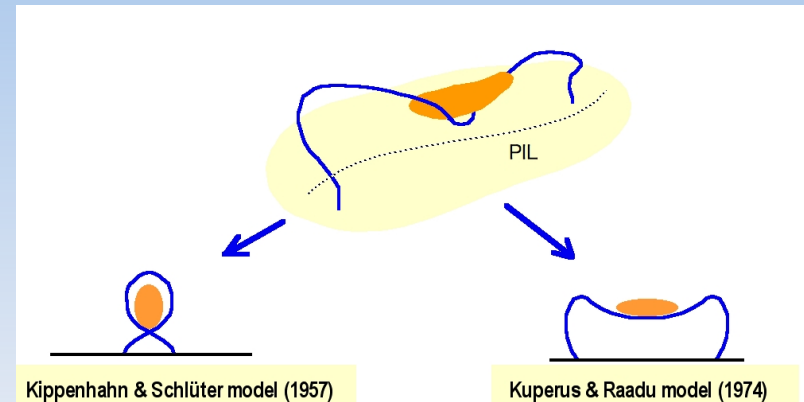


Espectroeliógrafos também permitem observar a cromosfera

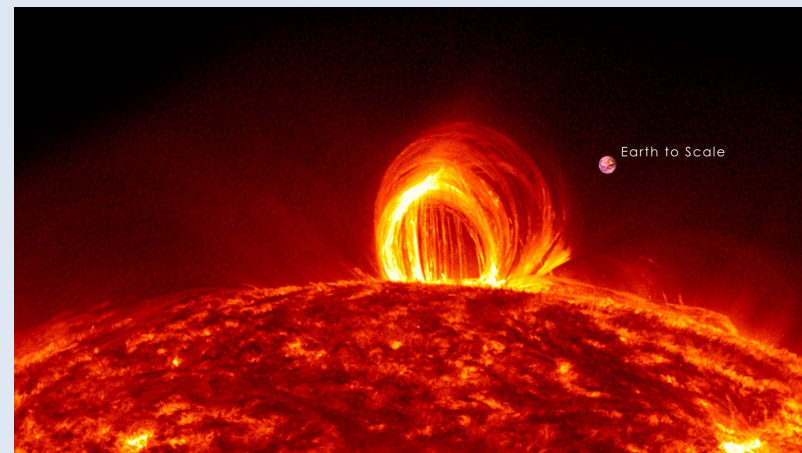
Outros sinais de atividade solar: proeminências/filamentos



Observando o Sol durante um eclipse

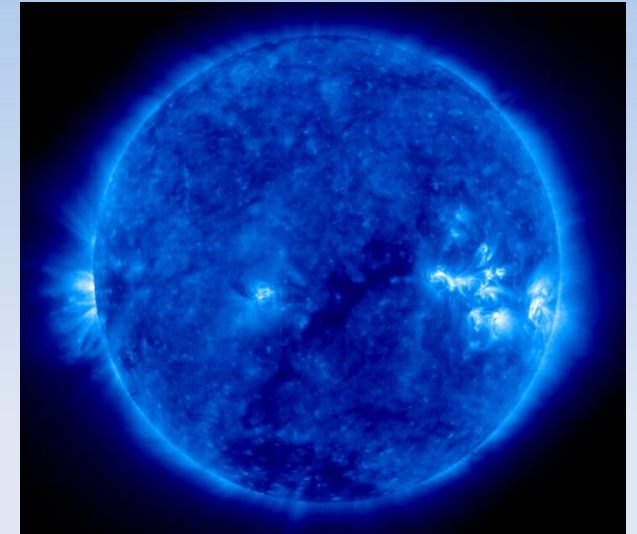
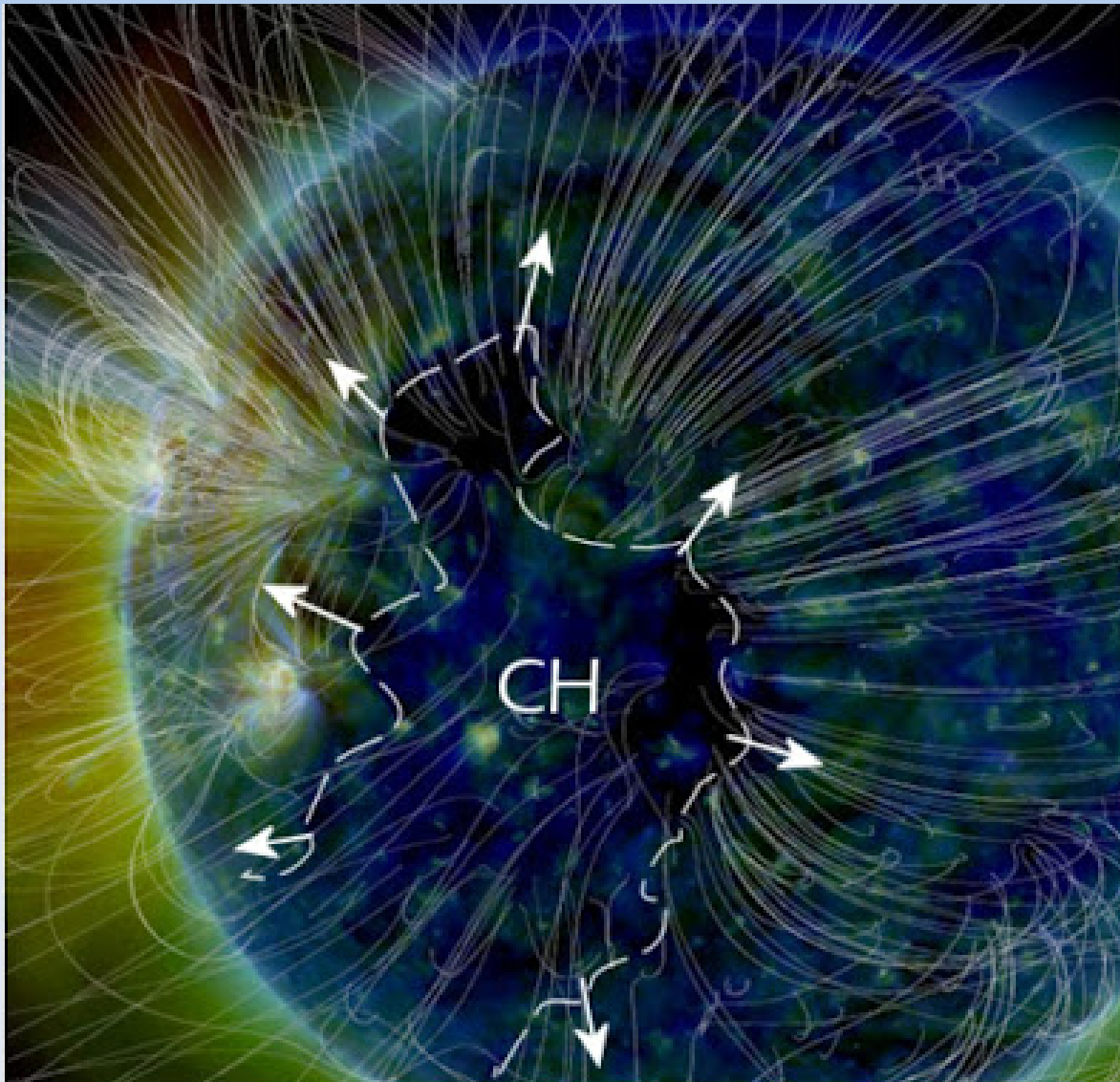


- Porções do Sol suportadas por campos magnéticos



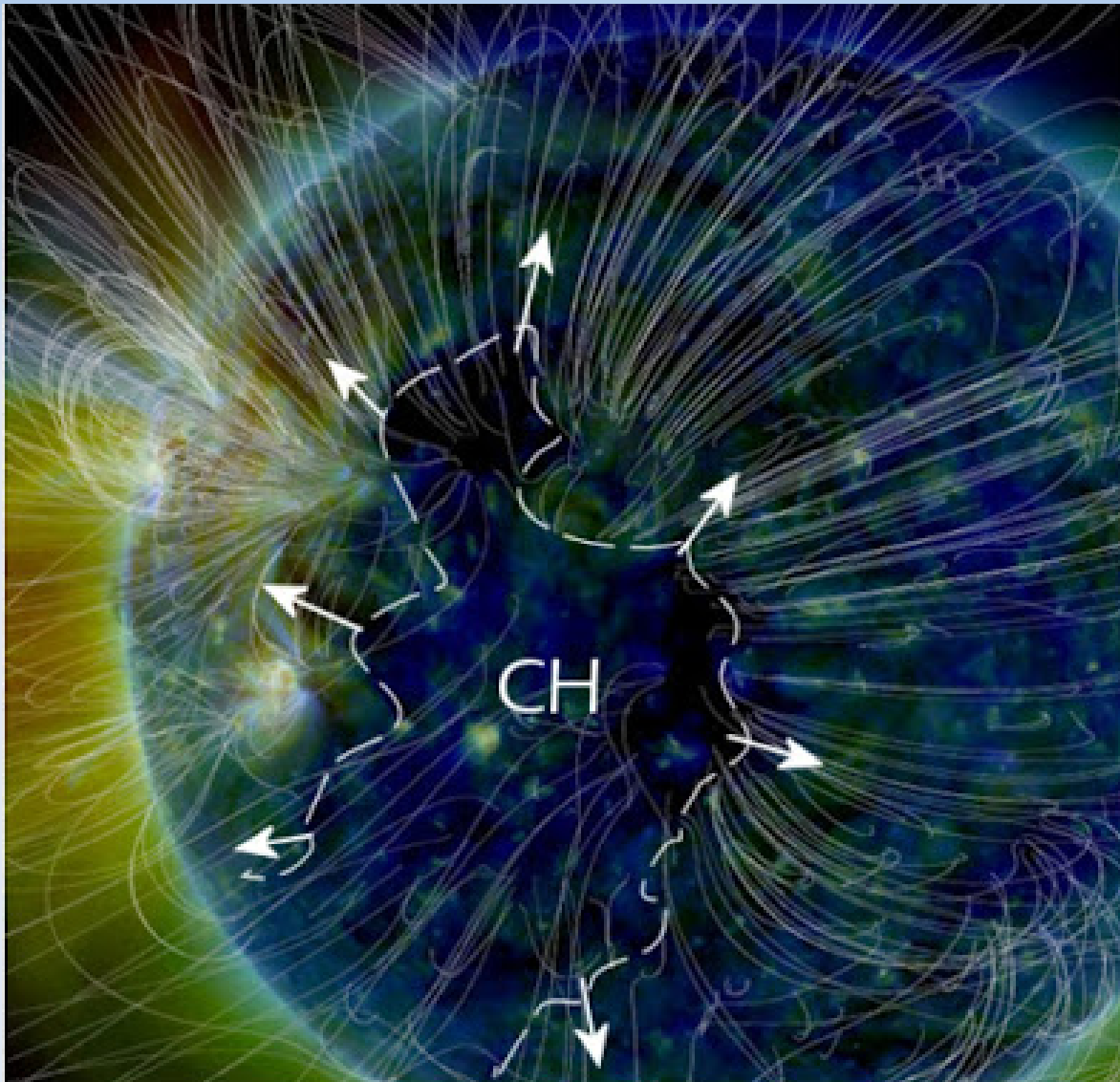
- Podem tomar grandes proporções

Outros sinais de atividade solar: buracos coronais

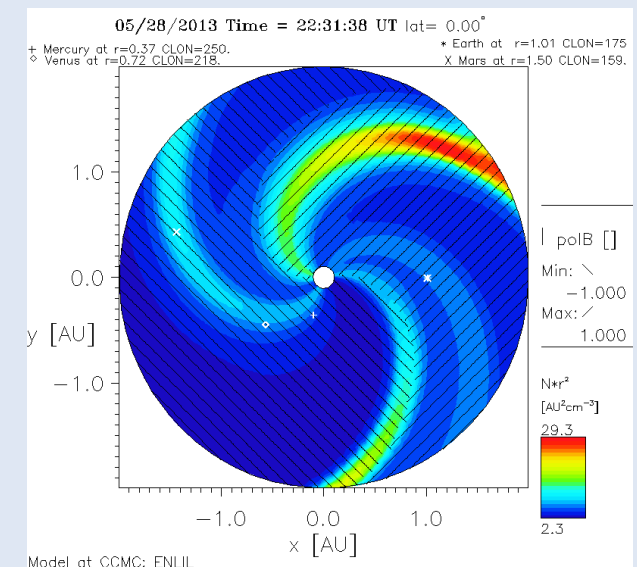
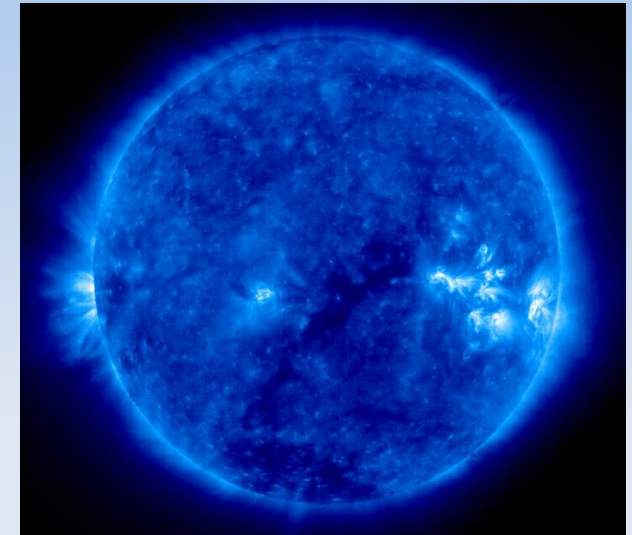


**Vento solar "escapa" mais facilmente por
entre os buracos coronais**

Outros sinais de atividade solar: buracos coronais e vento solar

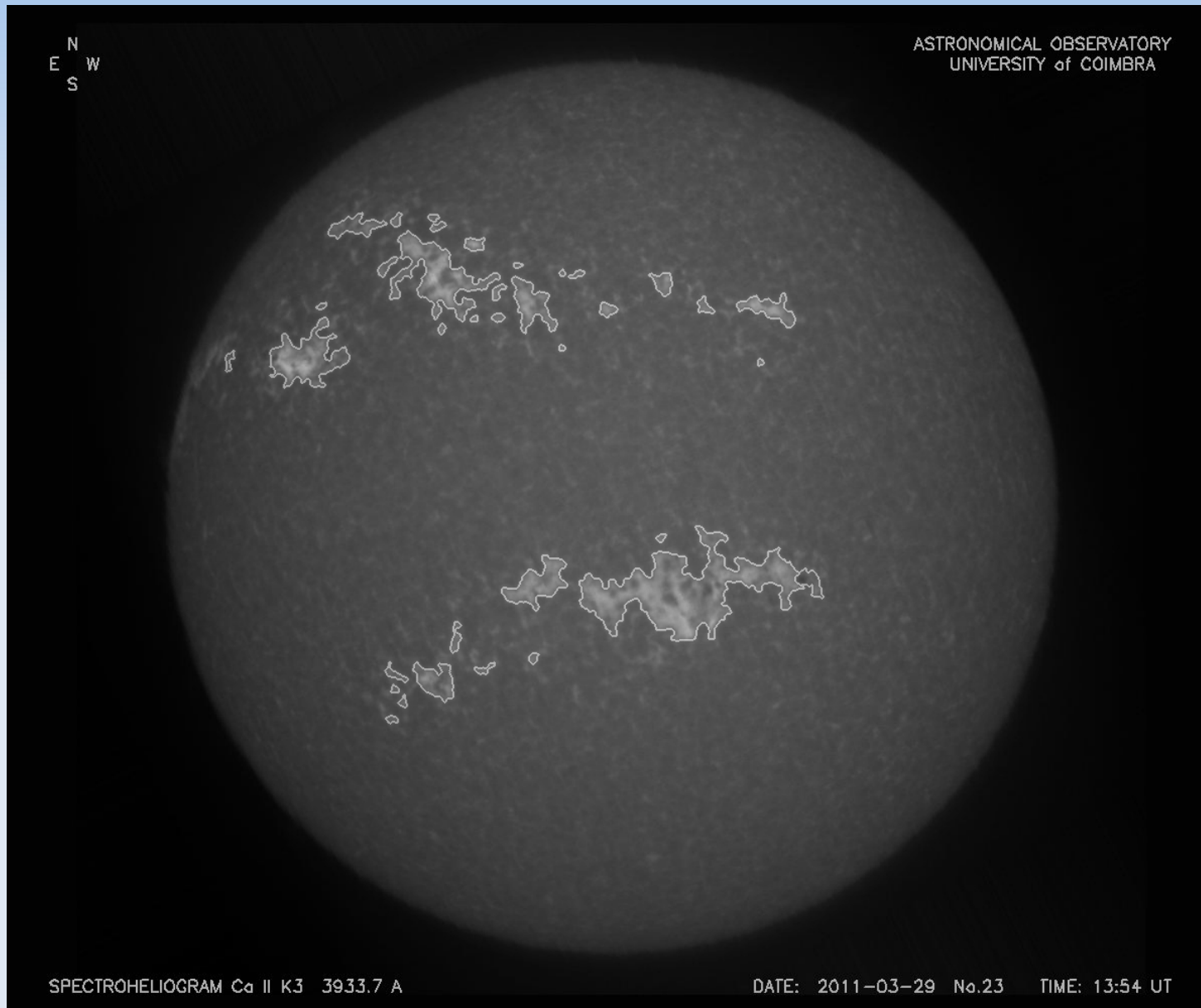


**Vento solar "escapa" mais facilmente por
entre os buracos coronais**



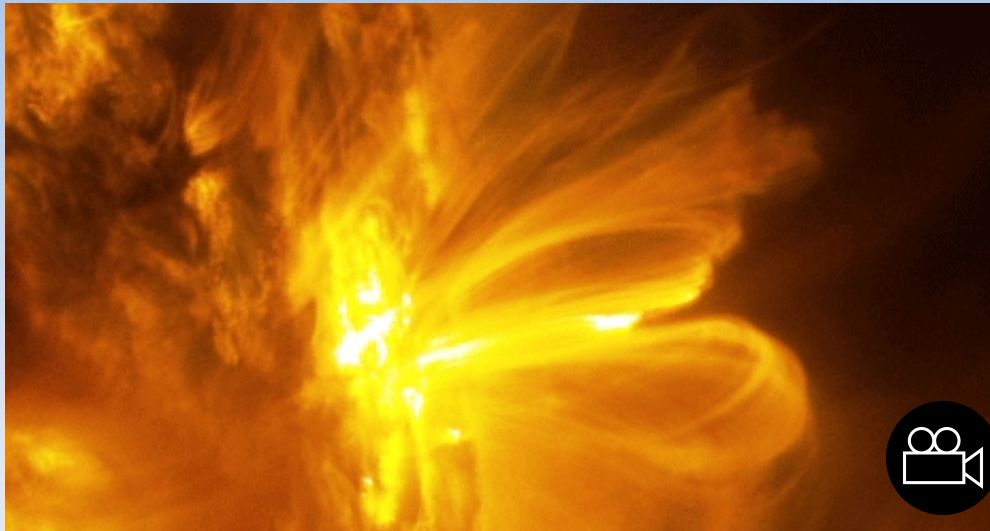
Vento solar $\sim 10^{(-14)}$ M_{\odot} /ano

Outros sinais de atividade solar: regiões faculares

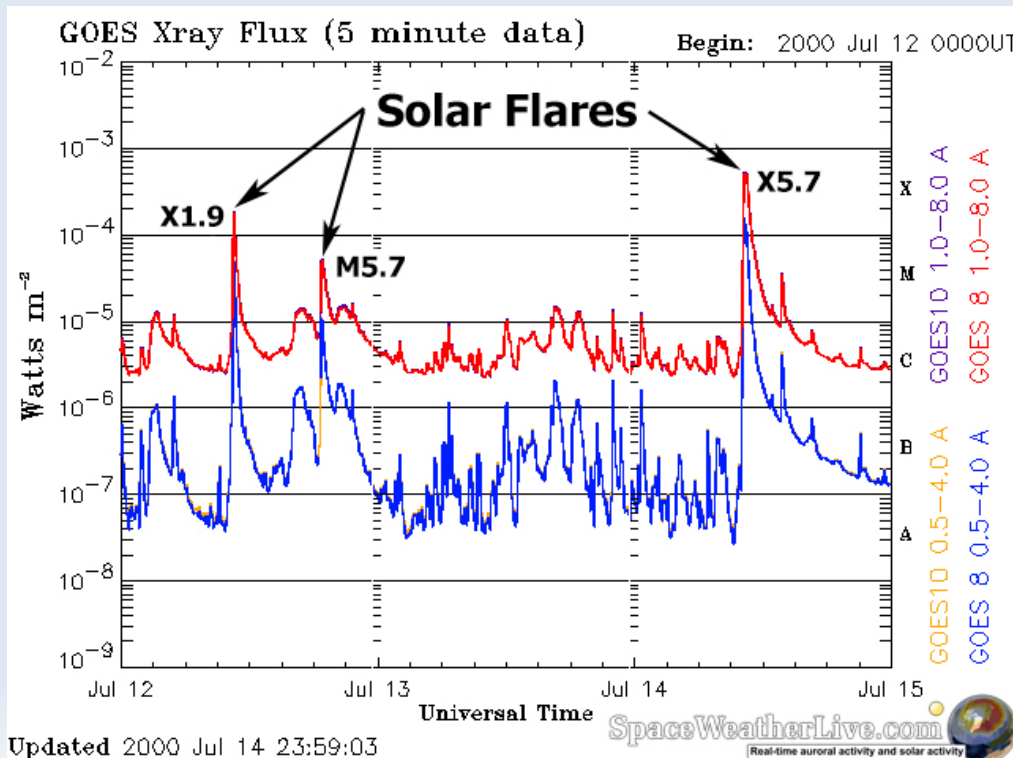


Contribuem mais para a irradiação solar do que as manchas

Erupções solares



- Libertação de grandes quantidades de energia (principalmente raios X e UV)
- Associado a fenómenos de reconecção magnética

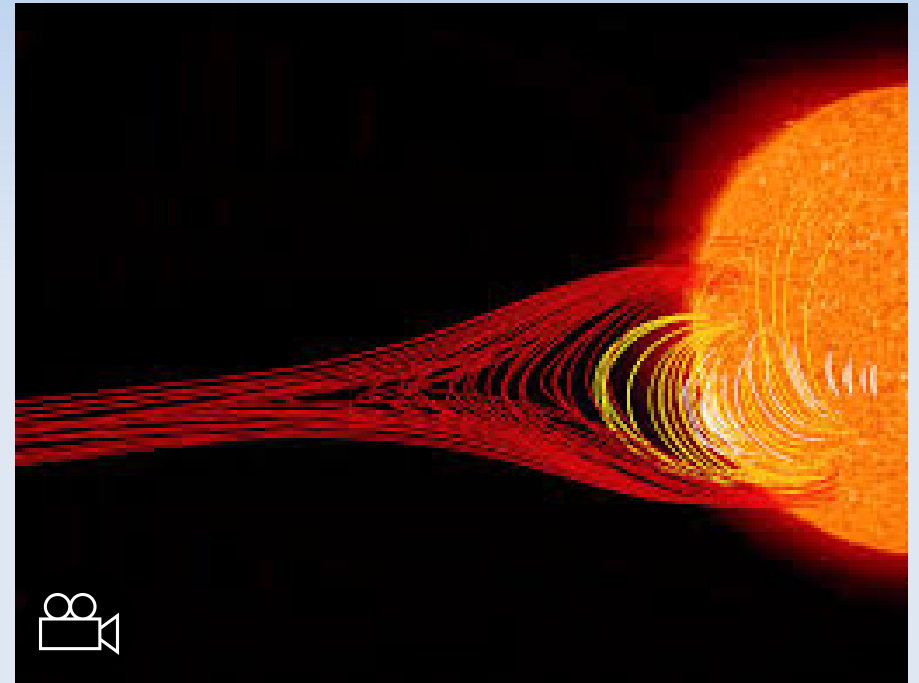
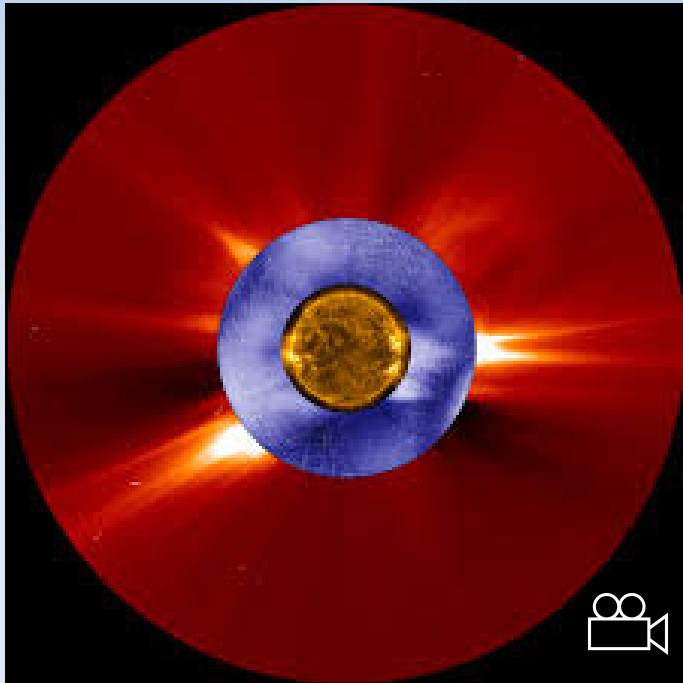


Radio Blackouts

Scale	Description	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
R 5	Extreme	X20 (2×10^{-3})	Less than 1 per cycle
R 4	Severe	X10 (10^{-3})	8 per cycle (8 days per cycle)
R 3	Strong	X1 (10^{-4})	175 per cycle (140 days per cycle)
R 2	Moderate	M5 (5×10^{-5})	350 per cycle (300 days per cycle)
R 1	Minor	M1 (10^{-5})	2000 per cycle (950 days per cycle)

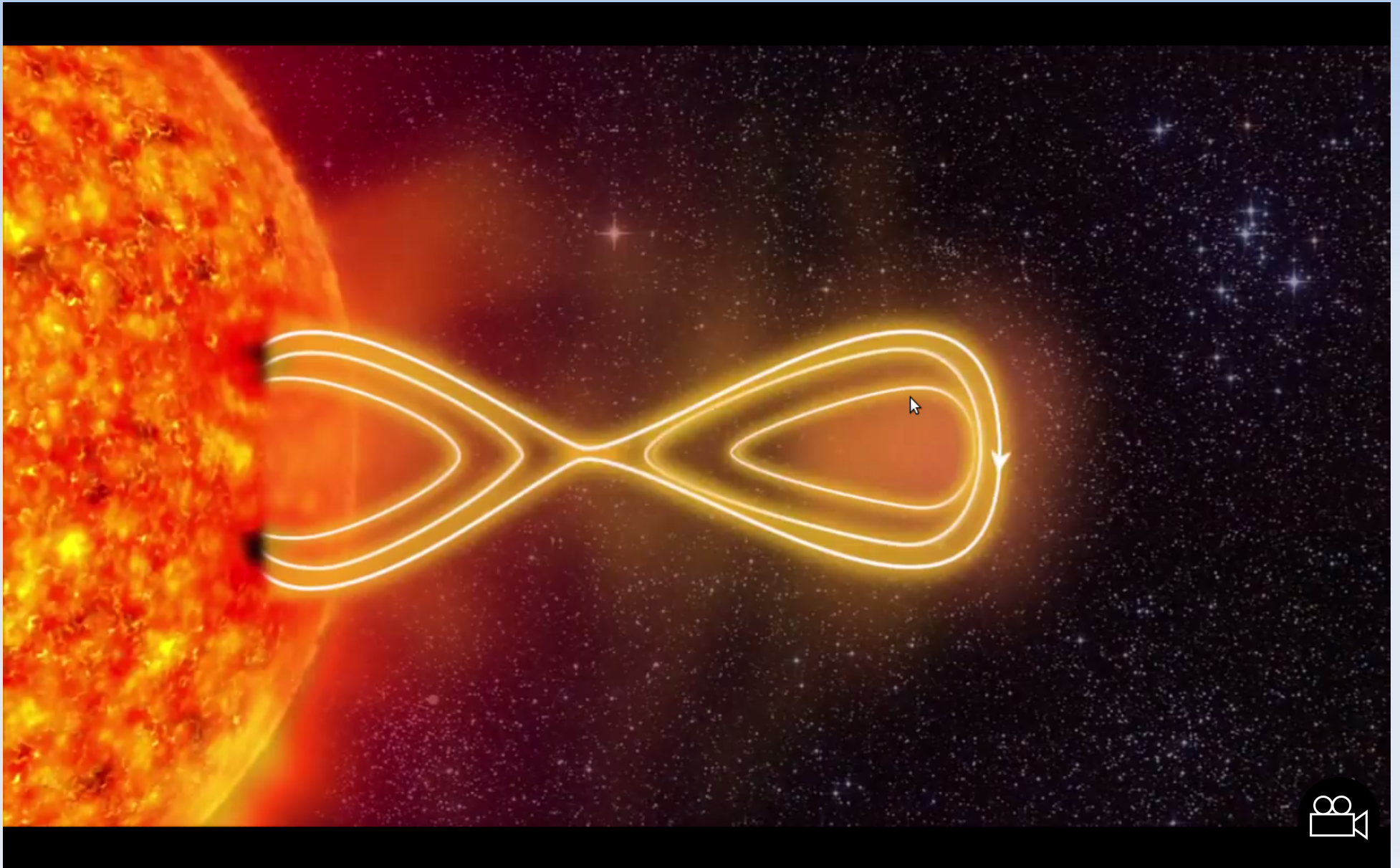
Existe uma escala para este tipo eventos

Ejeções de matéria coronal



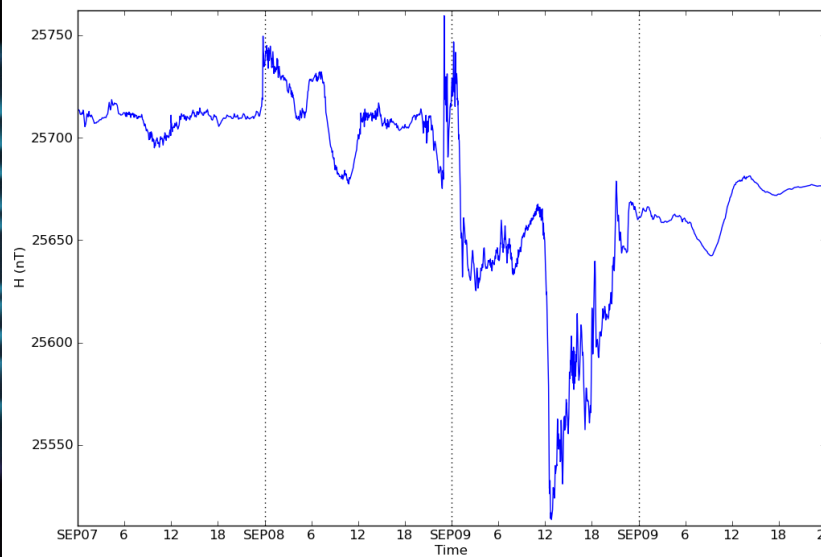
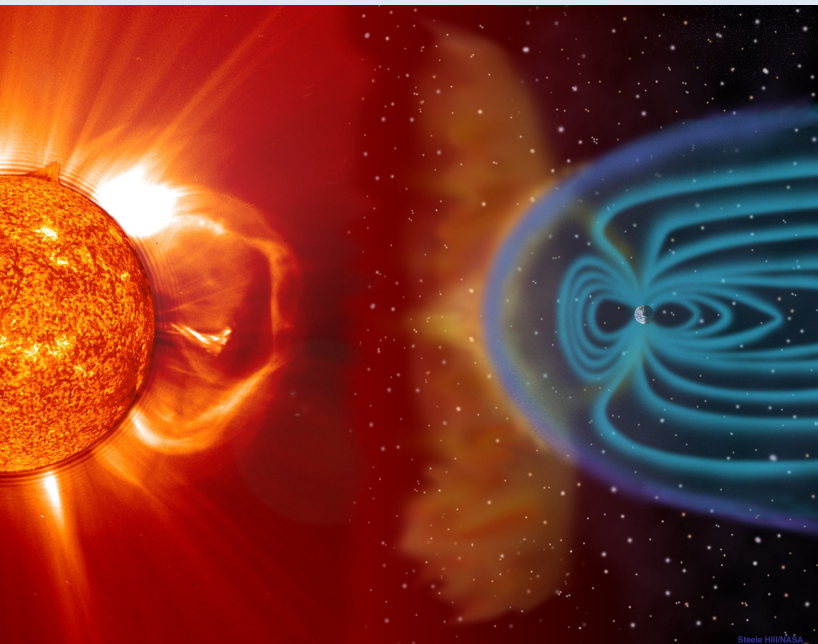
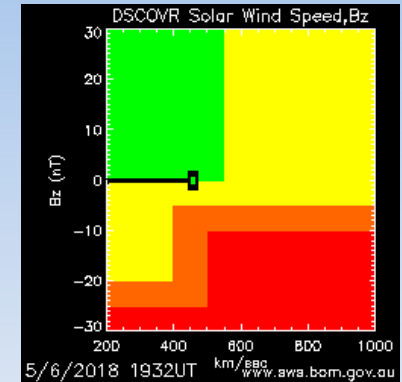
- Libertação de grande quantidade de material ($10^{10}T$)
- Igualmente ligadas a fenómenos de reconecção magnética

Tempestades geomagnéticas



Tempestades geomagnéticas

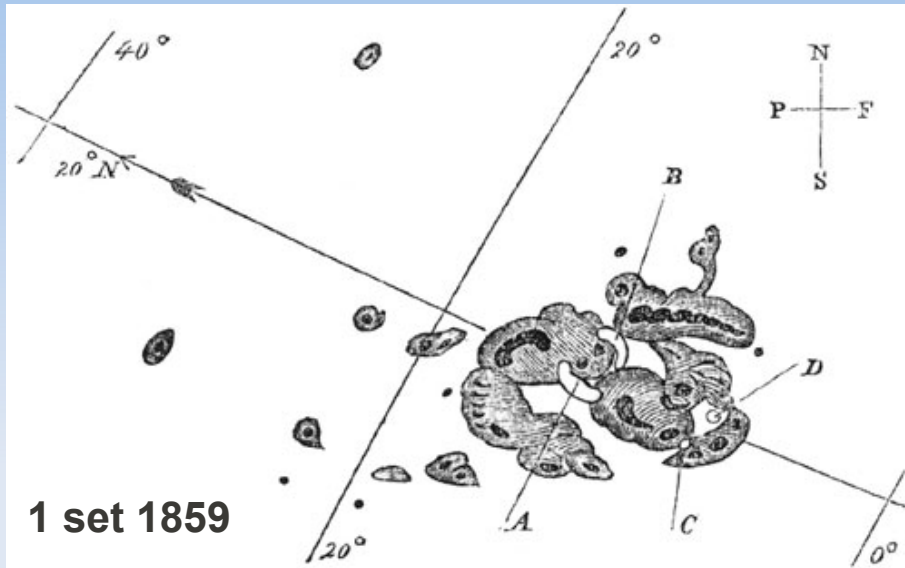
- Vento solar intenso e ejeções de materia coronal podem interagir com o campo magnético terrestre originando tempestades geomagnéticas
- Erupções solares intensas podem ionizar camadas na alta atmosfera. Estas partículas podem igualmente provocar tempestades geomagnéticas



Geomagnetic Storms

Scale	Description	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
G 5	Extreme	Kp = 9	4 per cycle (4 days per cycle)
G 4	Severe	Kp = 8, including a 9-	100 per cycle (60 days per cycle)
G 3	Strong	Kp = 7	200 per cycle (130 days per cycle)
G 2	Moderate	Kp = 6	600 per cycle (360 days per cycle)
G 1	Minor	Kp = 5	1700 per cycle (900 days per cycle)

Evento de Carrington



1 set 1859

observação de um flash brilhante

(Carrington & Hodgson)

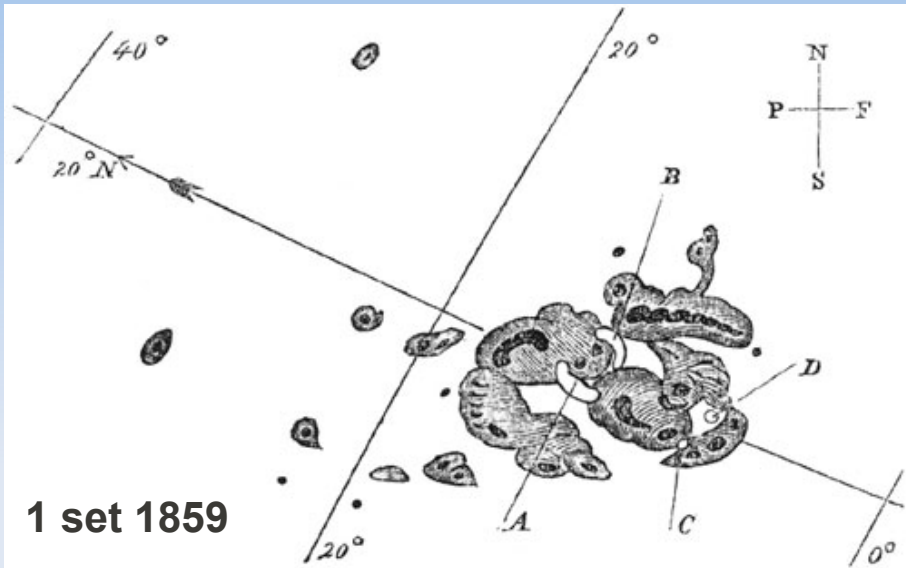
Carrington associa este evento a perturbação magnética registada no observatório de Kew



H ~ 110 nT ; D ~ 0.283°

Aug 31st

Evento de Carrington

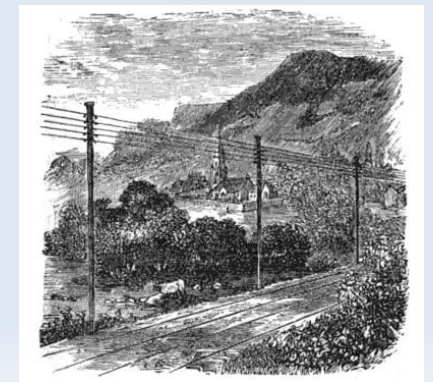
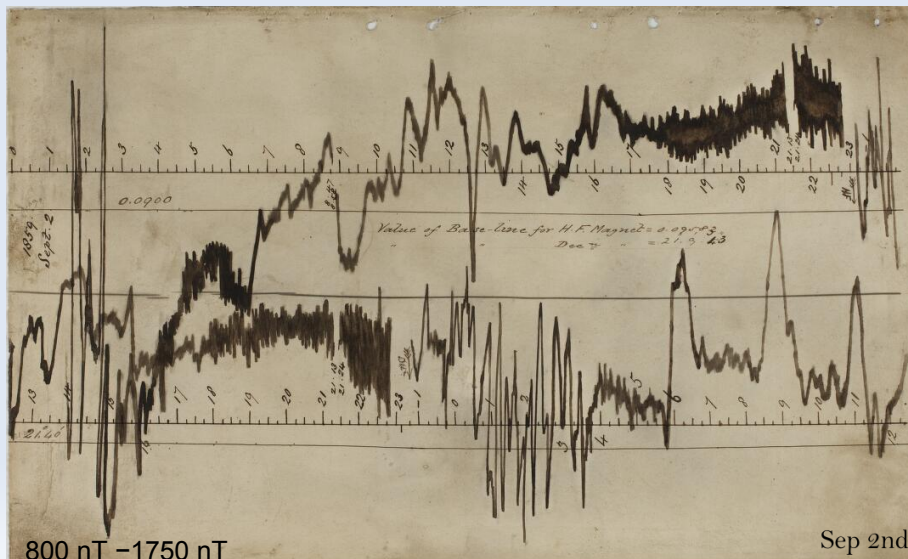


1 set 1859

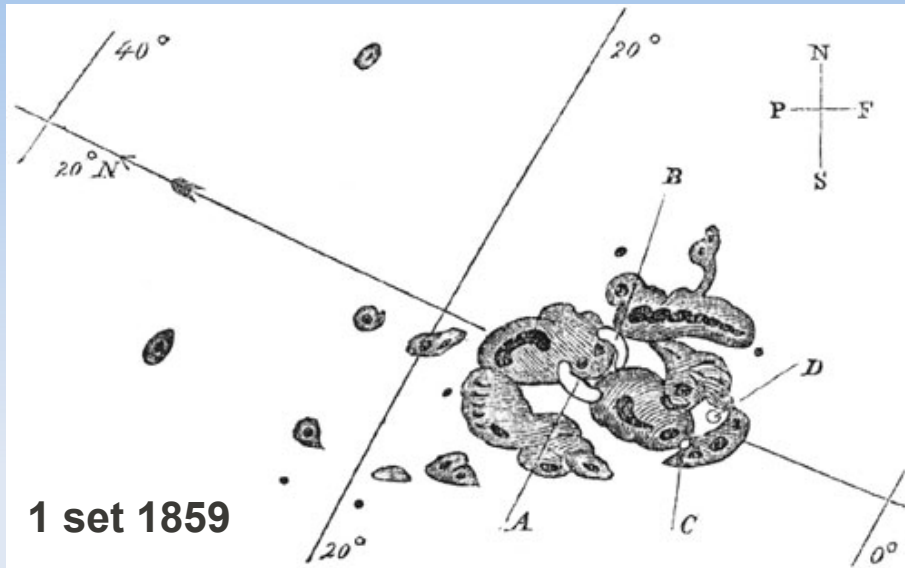
observação de um flash brilhante

(Carrington & Hodgson)

Carrington associa este evento a perturbação magnética registada no observatório de Kew



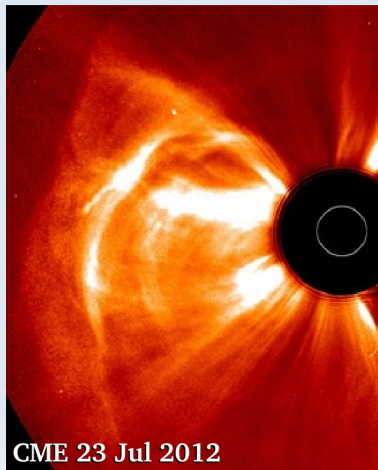
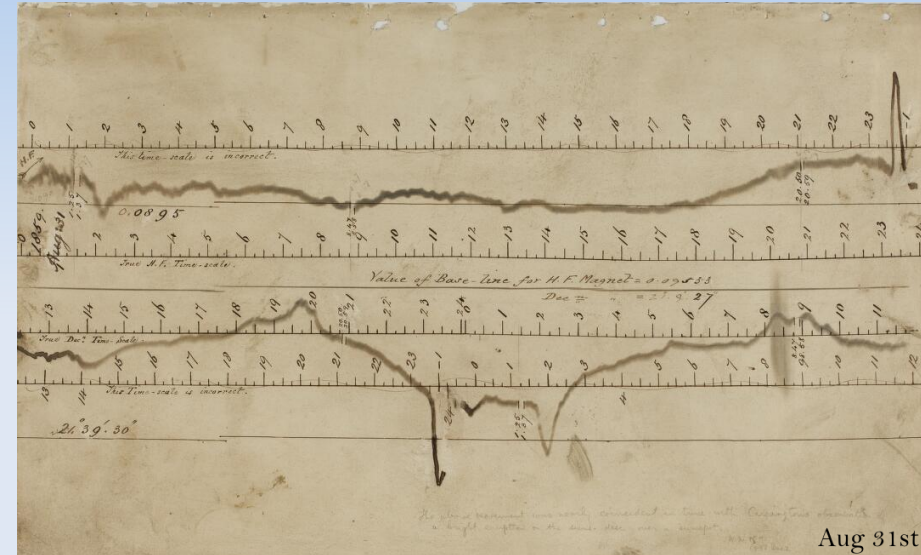
Evento de Carrington



1 set 1859

observação de um flash brilhante
(Carrington & Hodgson)

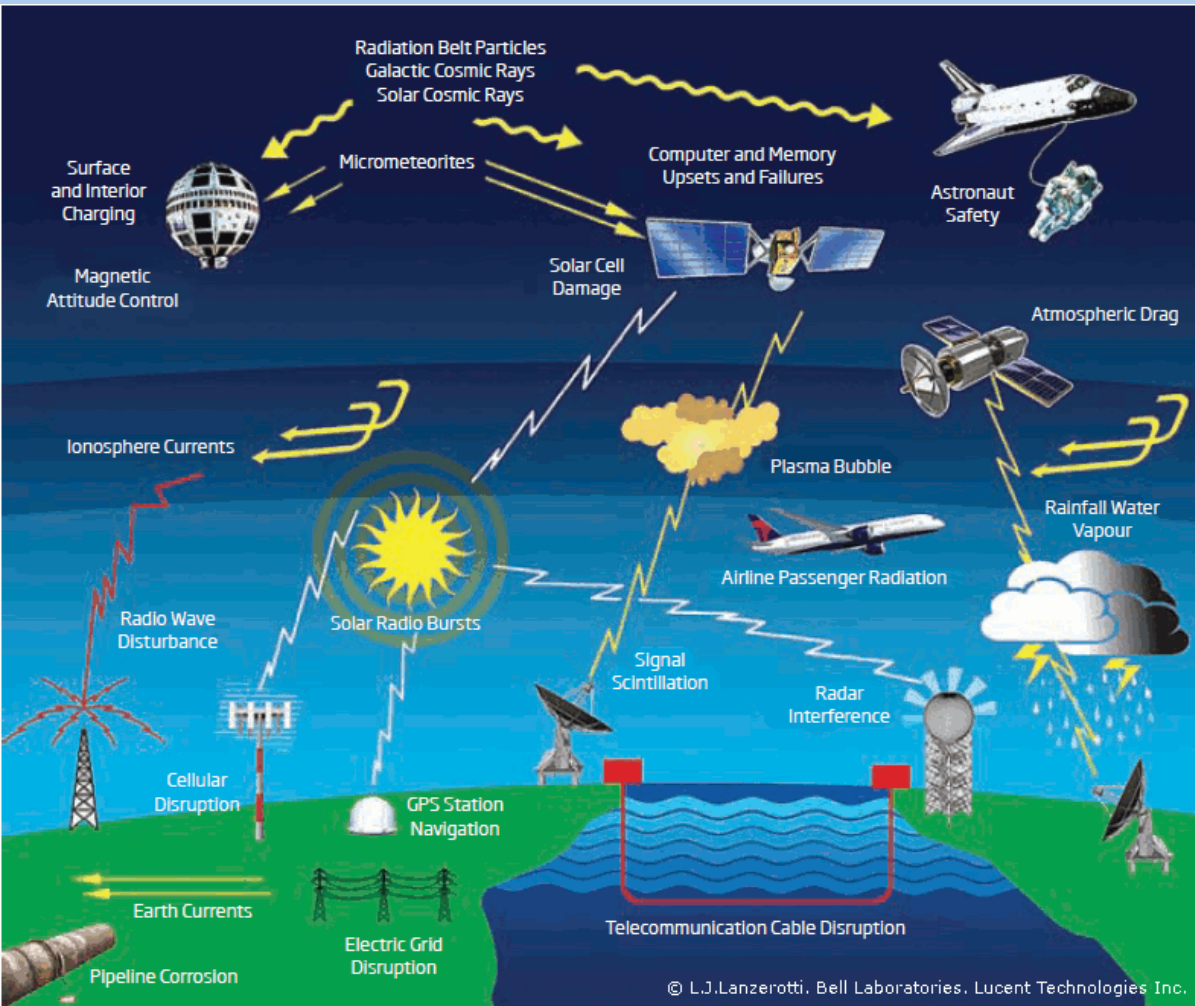
Carrington associa este evento a perturbação magnética registada no observatório de Kew



Este não foi um evento único...

... da dessa vez não estava apontado para nós...

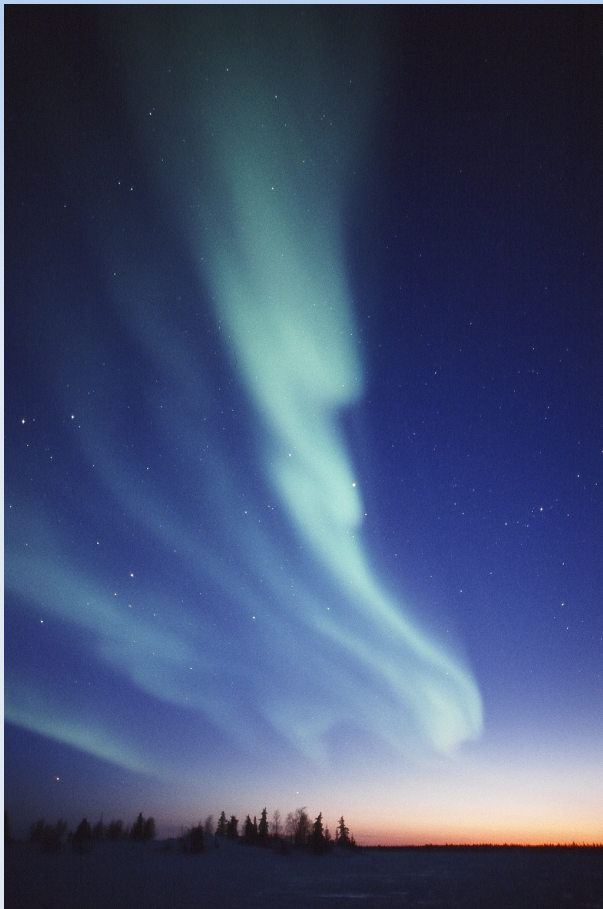
A meteorologia espacial



Meteorologia do espacial - Área das Ciências Espaciais dedicada às condições variáveis no Sol, meio interplanetário e na vizinhança do nosso planeta, as quais têm impacto na segurança humana e nos sistemas tecnológicos.

Tempestades geomagnéticas: nem tudo é beleza

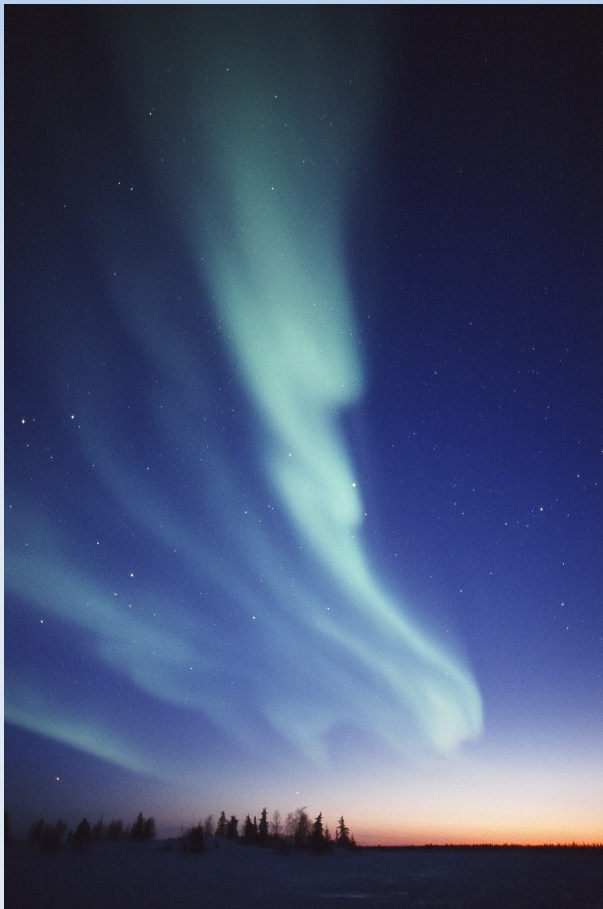
Auroras polares



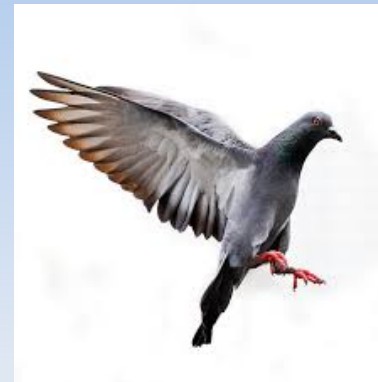
...mas as mesmas partículas que nos dão este espetáculo podem enfraquecer o campo magnético terrestre

Tempestades geomagnéticas: nem tudo é beleza

Auroras polares



...mas as mesmas partículas que nos dão este espetáculo podem enfraquecer o campo magnético terrestre



Alguns animais utilizam o campo geomagnético para se orientarem



O campo magnético também é usado nalgumas operações de prospecção

Tempestades geomagnéticas e correntes induzidas

Variações rápidas do campo geomagnético induzem correntes elétricas em condutores na superfície terrestre:

- Telegrafo
- Cabos alta tensão
- Corrosão de pipelines



Hydro-Quebec,
9-13 mar 1989

Lloyds estima que atualmente 1 evento de Carrington na rede elétrica dos EUA custaria entre 0.6 e 2.6 bilhões de USD

Perturbações ionosferias

Erupções solares e tempestades geomagnéticas podem afetar camadas da ionosfera:

- Transmissão GNSS:
 - Navegação
 - Prospeção



1 dia de operações ~ 1M€...

Perturbações ionosferias

Erupções solares e tempestades geomagnéticas podem afetar camadas da ionosfera:

- Transmissão GNSS:
 - Navegação
 - Prospeção



- Transmissão rádio



Batalla de Takur Ghar
(4-5 mar. 2002)

1 dia de operações ~ 1M€...

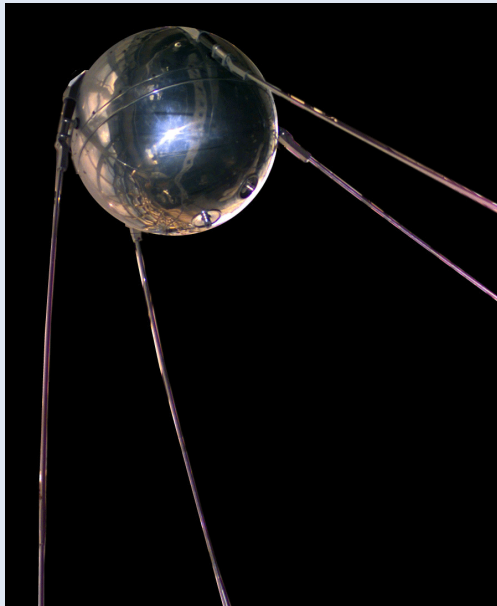
...que é isso em comparação com vidas humanas

Partículas energéticas

- Rotas polares
- Astronautas**
- Dano satélites**



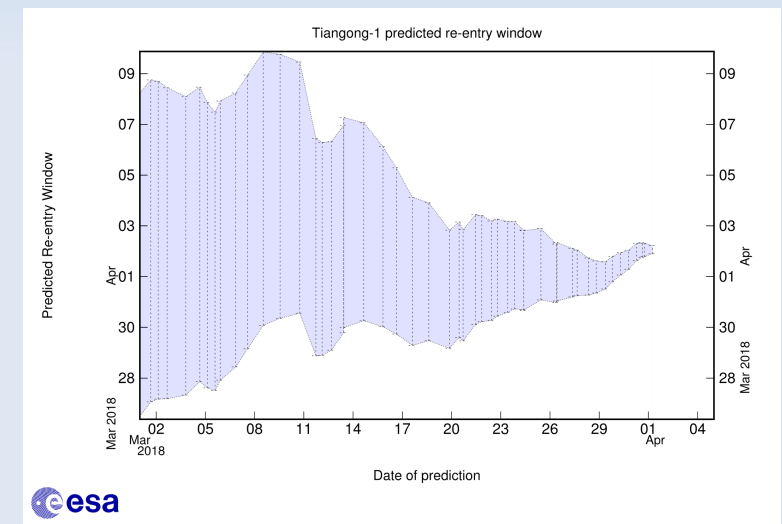
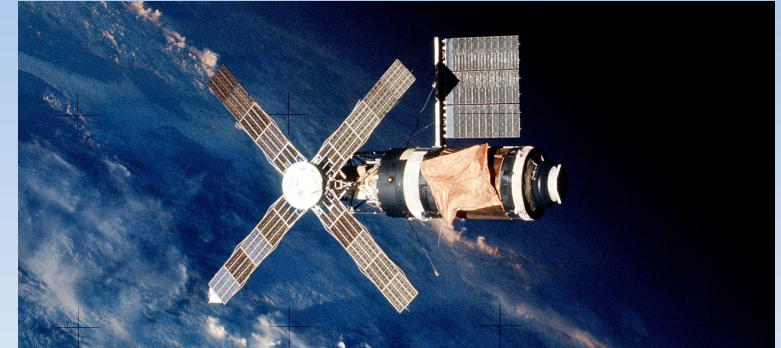
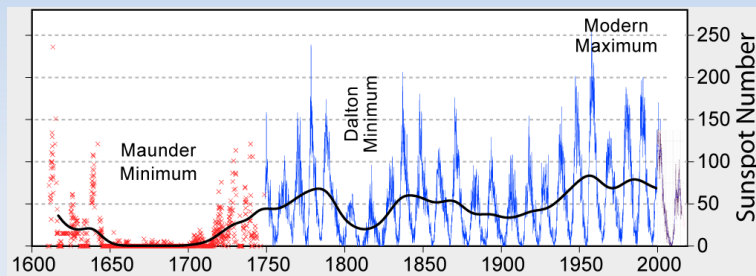
15-19 jan 2015



** Micrometeoritos também podem contar como fenômenos de meteorologia espacial

Irradiação e clima

O mínimo de Maunder e a "pequena idade do gelo"



Atividade solar e estações espaciais

e ainda: raios cósmicos e a formação de núvens...

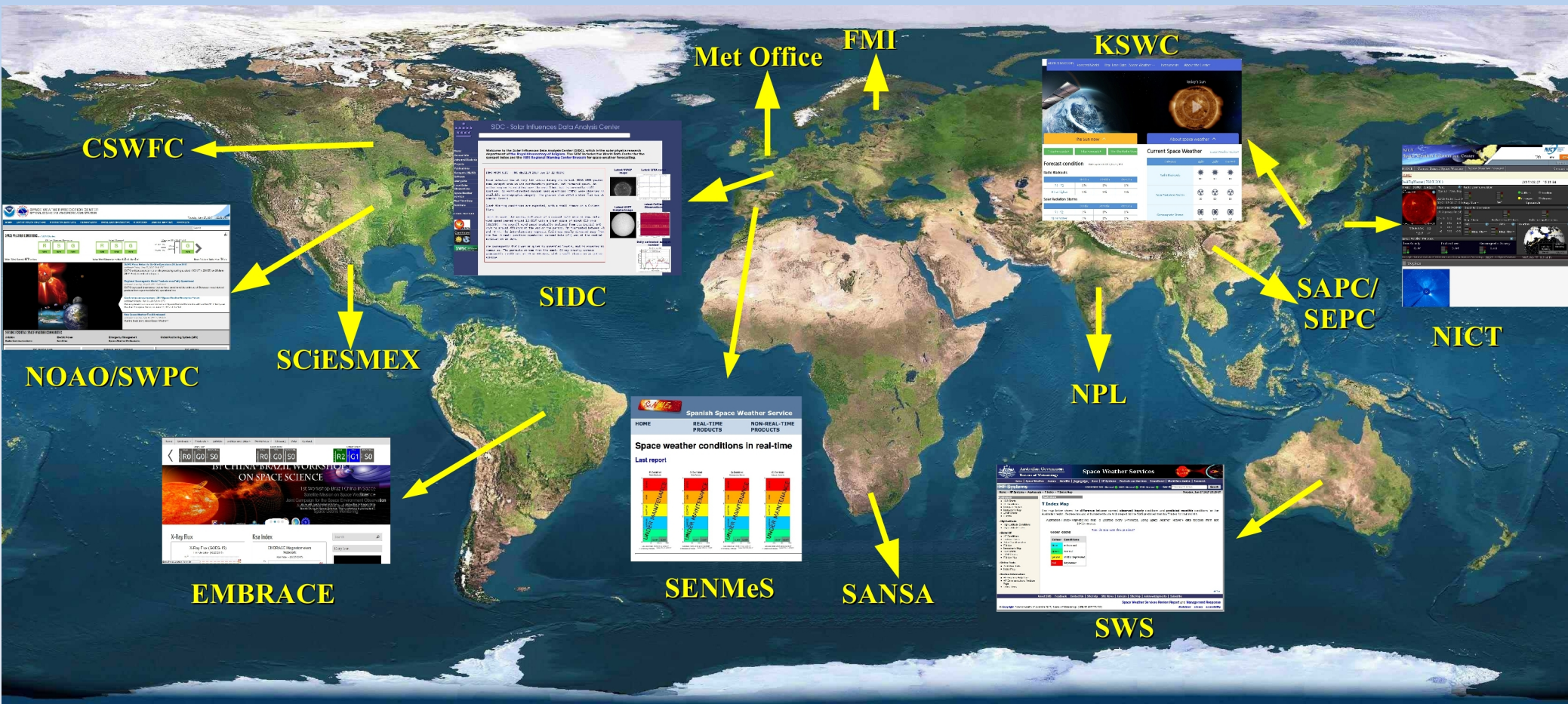
Mitigar efeitos de M.E.

- Rede el. - desligar temporariamente
- Aviação - alterar rotas
- Satélites – desligar temporariamente
- Telecom. rádio – usar alternativas
- Prospeção petr. - suspender perfuração.
- Columbofilia - Cancelar eventos

Para saber quando atuar necessitamos:

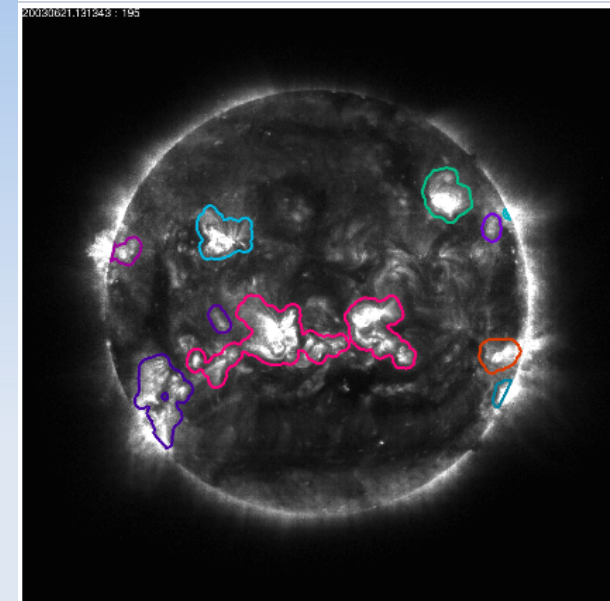
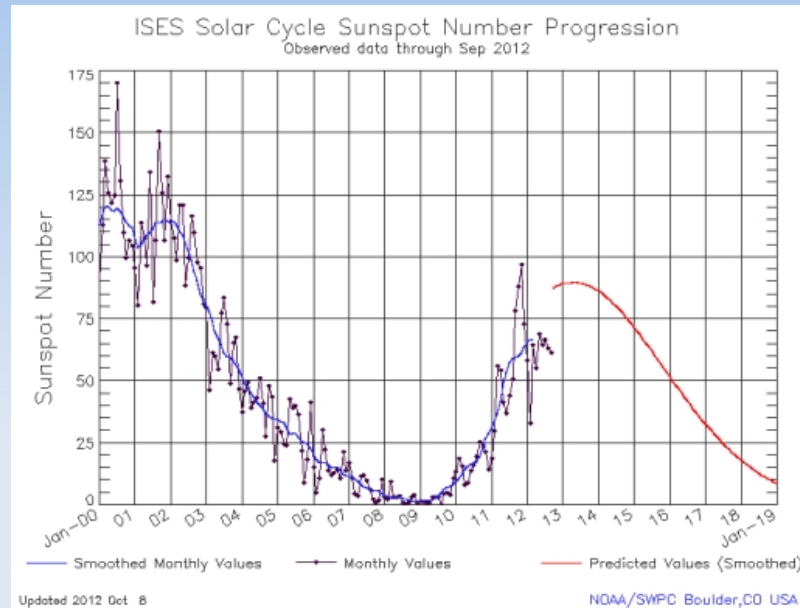
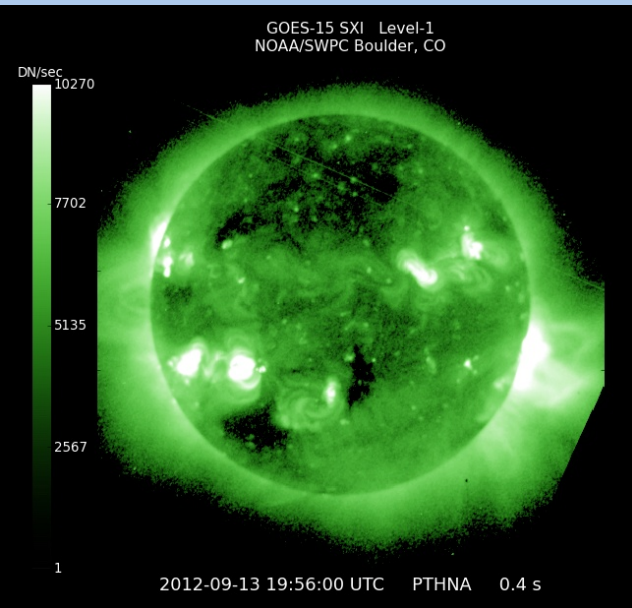
- Monitorização e previsão  Servicos

Serviços de M.E.



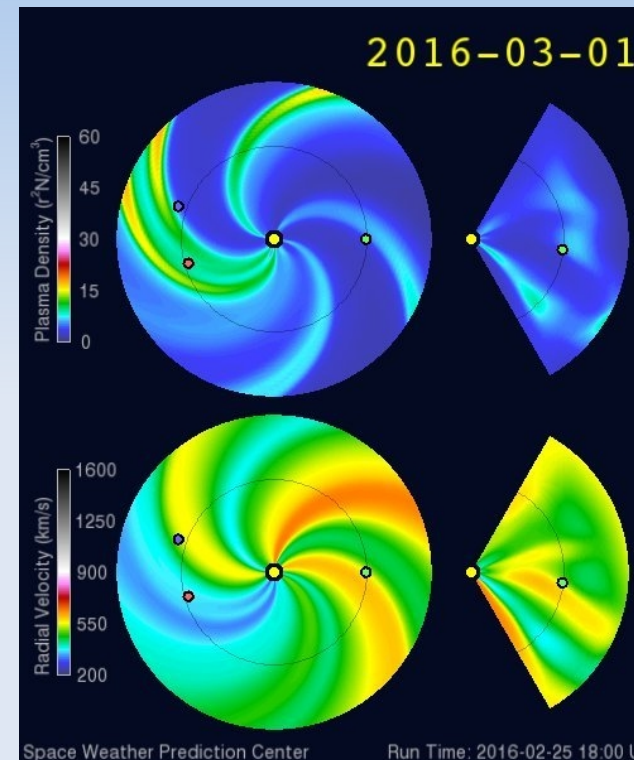
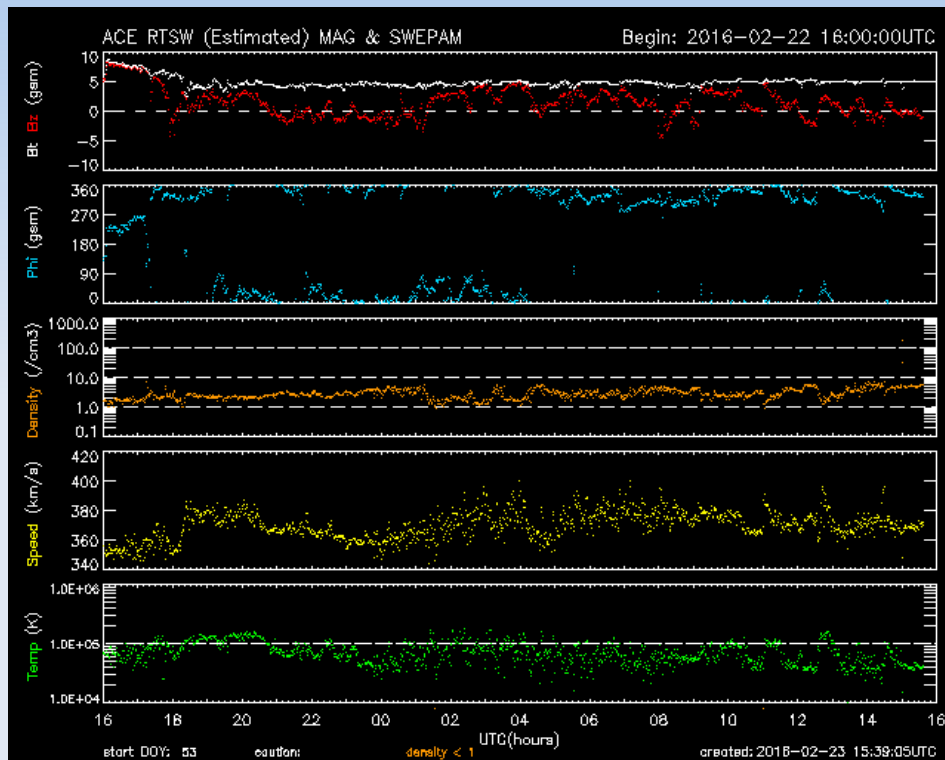
Que fazem os serviços de meteorologia espacial?

Monitorização do Sol



- Observações: ótico, raios-X, rádio, ...
- Identificação de regiões ativas: manchas, filamentos, buracos coronais, ...
- Monitorização de eventos: erupções, CMEs, ...
- Determinação de parâmetros solares: n^o manchas solares, F10.7cm, ...

Meio interplanetário

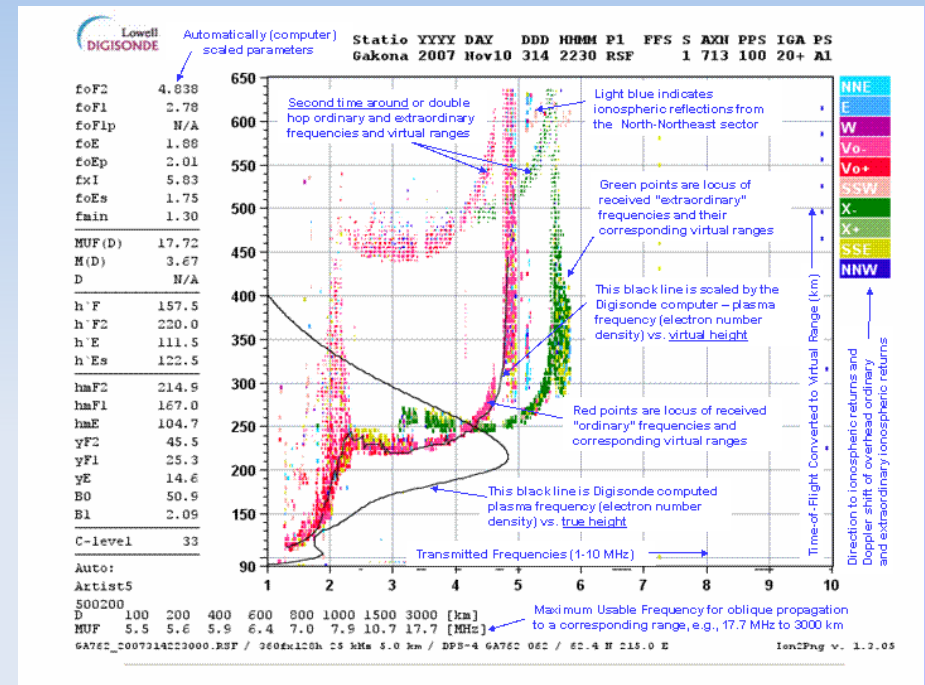
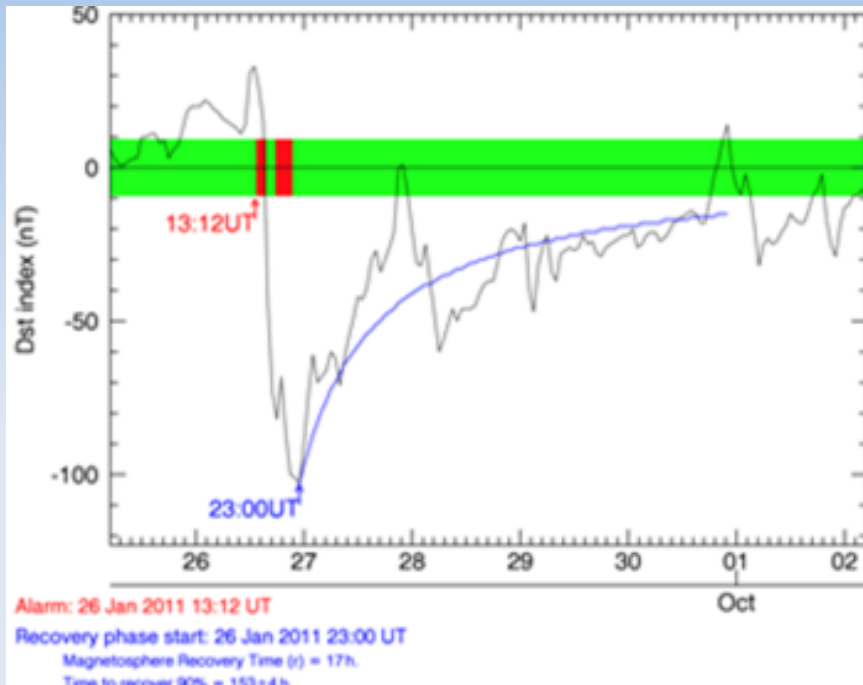


- Propriedades do vento solar: velocidade, densidade, campo magnético, ...
- Fluxos de partículas energéticas na vizinhança da Terra
→ índices de atividade

Solar Radiation Storms

Scale	Description	Physical measure (Flux level of ≥ 10 MeV particles)	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
S 5	Extreme	10^5	Fewer than 1 per cycle
S 4	Severe	10^4	3 per cycle
S 3	Strong	10^3	10 per cycle
S 2	Moderate	10^2	25 per cycle
S 1	Minor	10	50 per cycle

Monitorização na Terra



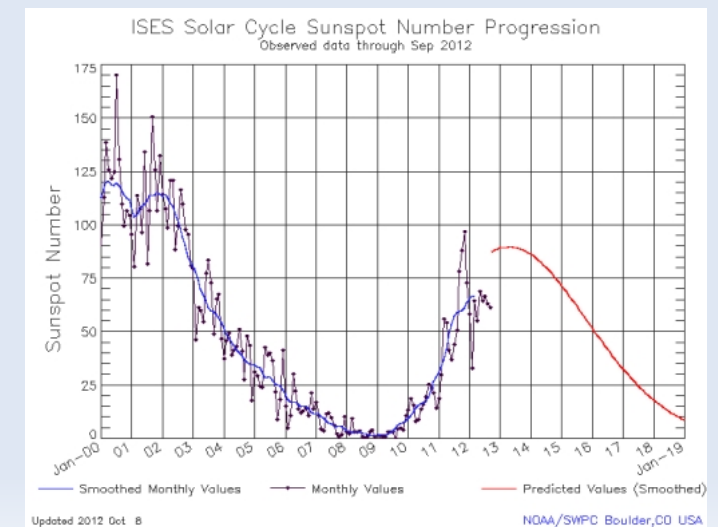
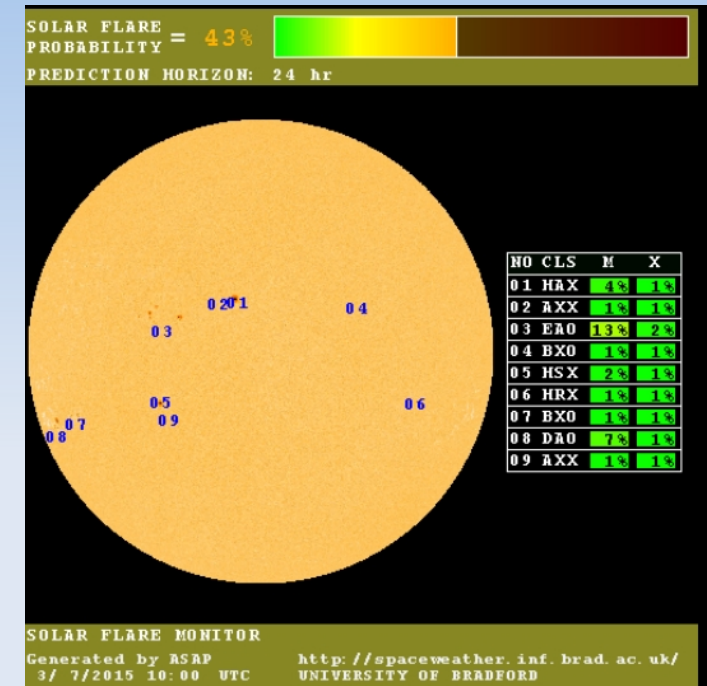
- Campo geomagnético:
 - Medições locais do campo e da sua variabilidade
 - Indices de atividade globais: Dst, Kp

- Ionosfera
 - Determinação de indices ionosféricos: TEC, MUF, cintilação, ...

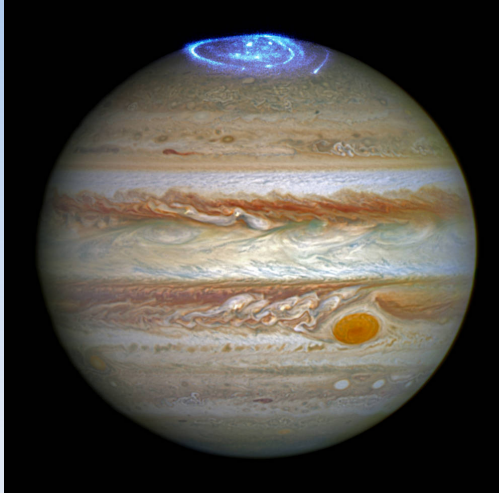
- E ainda medição de fluxos de partículas energéticas a nível do solo

Previsão

- Não se prevêem erupções solares
 - quanto muito estima-se um nível de atividade
 - geralmente estimada para os 2 dias seguintes
- Pode inferir-se o grau de geoeficácia de CMEs com algumas horas de antecedência
- Estimativa de atividade auroral
- Uso da recorrência de fenômenos para se fazerem estimar nível de atividade
- Atualmente só 3 após o início de um novo ciclo conseguimos estimar o seu comportamento



Met. espacial noutros locais

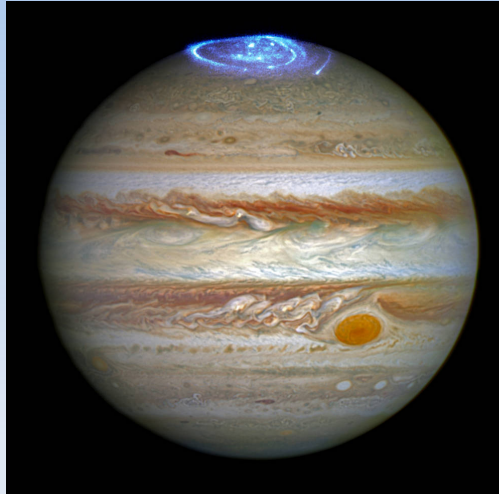


Auroras em Júpiter



Vento solar e a atmosfera marciana

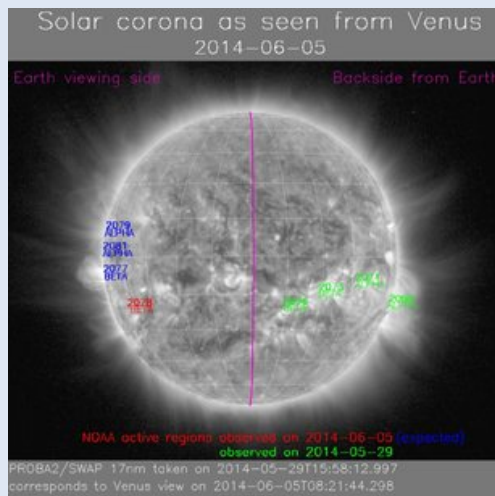
Met. espacial noutros locais



Auroras em Júpiter



Vento solar e a atmosfera marciana



**ESA: monitorização
Met. Esp. p/Vénus**



**Super-erupções em Proxima Cen e a
atmosfera de exo-planetas em Z.H.**

– Fim –

Muito obrigado pela atenção!