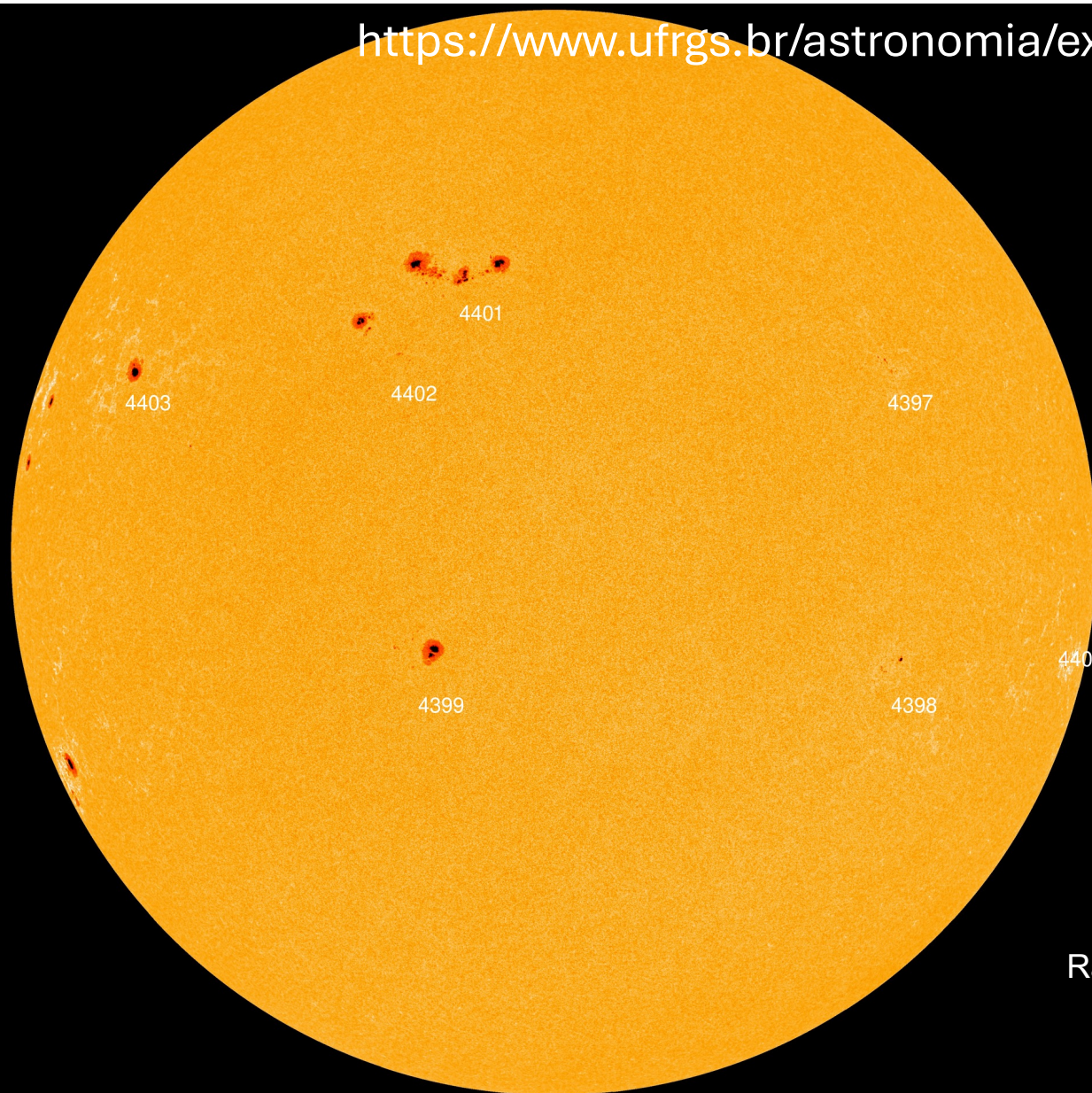


<https://www.ufrgs.br/astronomia/explorando-o-universo>

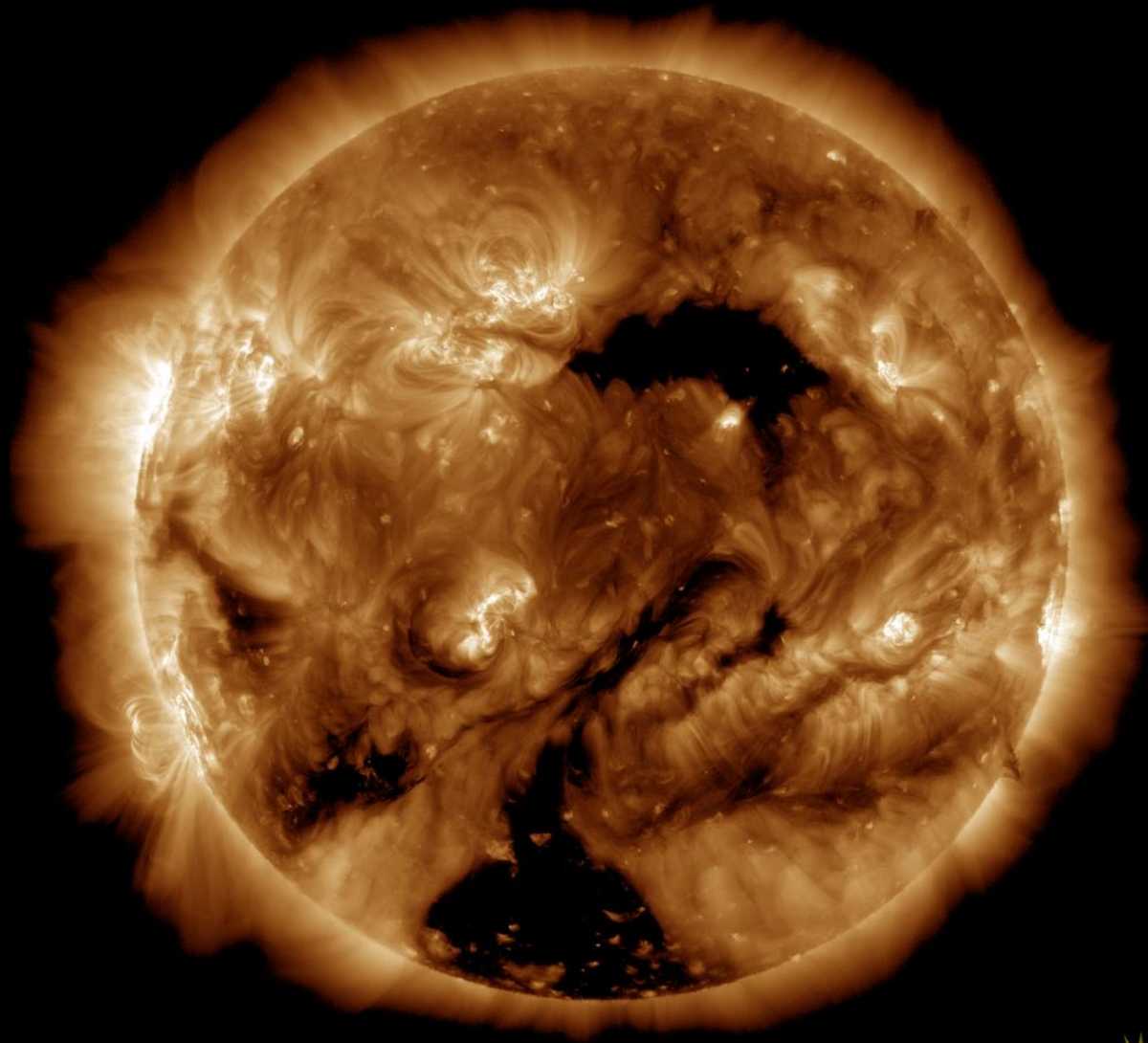
O Sol

Clima Espacial



27 março 2026
Raio do Sol = 700 000 km
= 109 R_{Terra}

Em raio-X

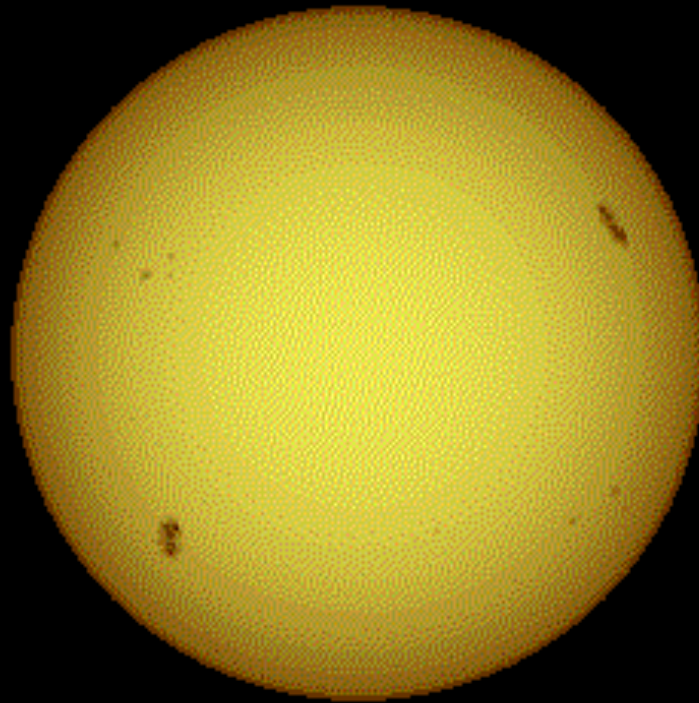


SDO/AIA- 193 2026-03-27 02:48:04

aia.lmsal.com



Rotação do Sol medida pelo Galileo em 1610

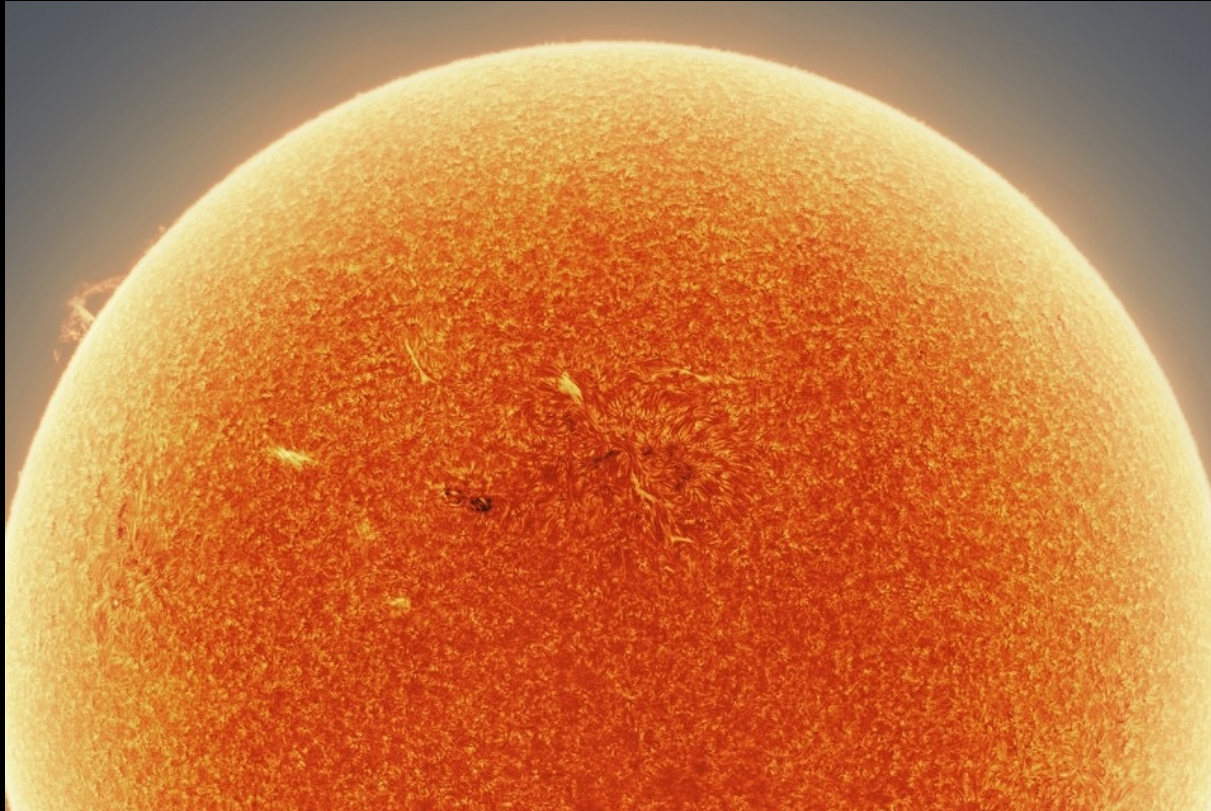


Massa no Sistema Solar

Componente	Massa
Sol	99,85%
Júpiter	0,10%
Demais planetas	0,04%
Cometas	0,01% (?)
Satélites e anéis	0,000 05%
Asteróides	0,000 000 2%
Meteoróides e poeira	0,000 000 1% (?)

Massa	$M_{\odot} = 1,9884 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R_{\odot} = 695\,500 \text{ km} = 109 R_{\text{Terra}}$
Densidade média	$\rho = 1409 \text{ kg/m}^3$
Densidade central	$\rho_c = 160\,000 \text{ kg/m}^3$
Distância	1 UA = 149 600 000 km
Luminosidade	$L_{\odot} = 3,828 \times 10^{26} \text{ watts} = 3,828 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$
Luminosidade em neutrinos	$L_{\nu}^{\odot} \approx 0,023 L_{\odot}$
Temperatura efetiva	$T_{\text{ef}}^{\odot} = 5785 \text{ K}$
Temperatura central	$T_c^{\odot} = 15\,000\,000 \text{ K}$
Magnitude absoluta bolométrica	$M_{\text{bol}}^{\odot} = 4,72$
Magnitude absoluta visual	$M_V^{\odot} = 4,79$
Tipo espectral e classe de luminosidade	G2 V
Índices de cor	B-V=0,62
	U-B=0,10
Composição química principal (Nº)	Hidrogênio = 91,2 %
	Hélio = 8,7%
	Oxigênio = 0,078 %
	Carbono = 0,043 %
Período rotacional no equador	25,67 d
na latitude 45°	27,50 d
na latitude 75°	33,40 d

A fotosfera do Sol



Fotosfera do Sol pela sonda SOHO, da NASA que observa o Sol continuamente.

ORIGINS: SOLAR SYSTEM ELEMENTS

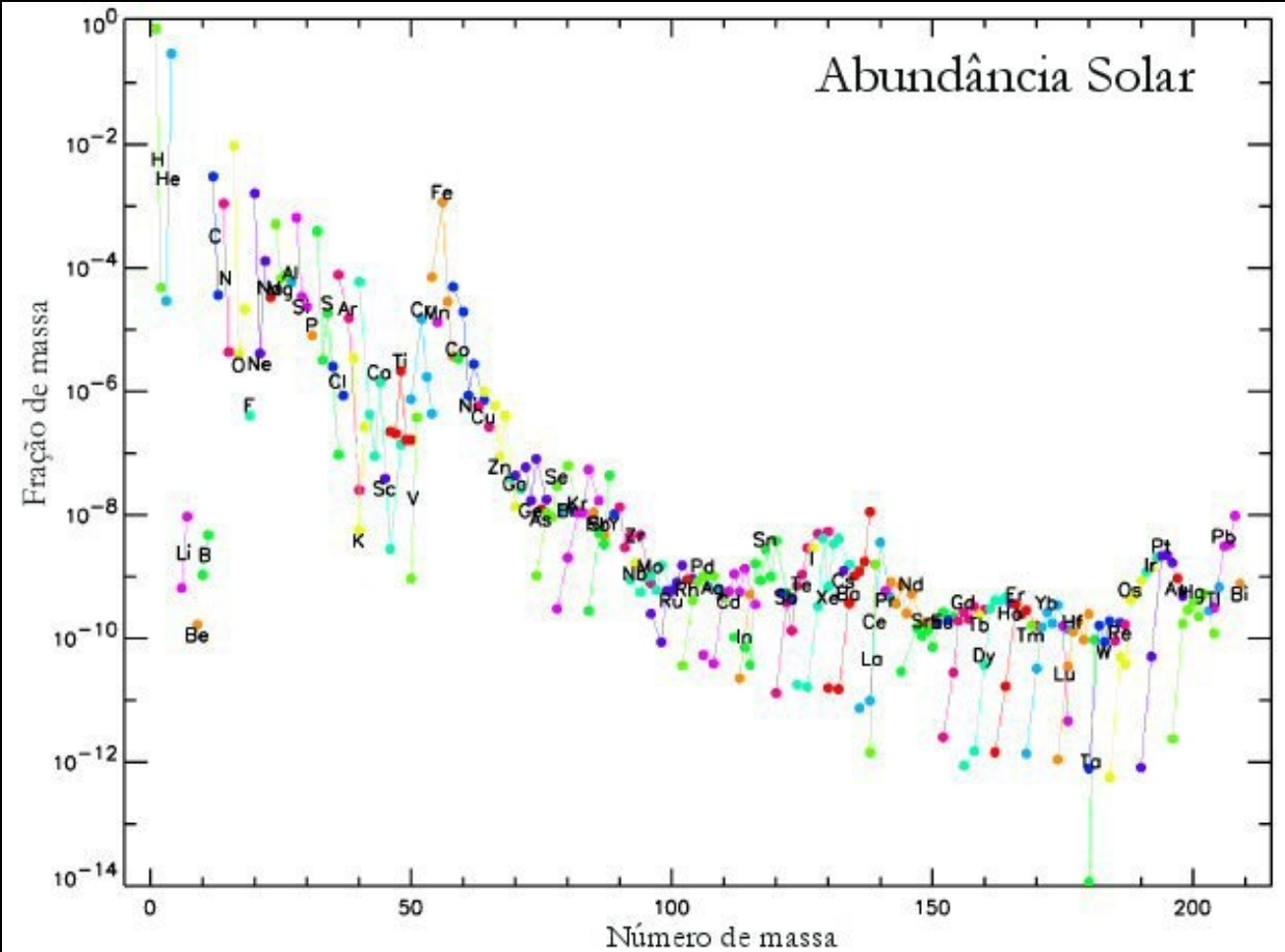
H HYDROGEN																	BIG BANG FUSION			DYING LOW MASS STARS			EXPLODING MASSIVE STARS			He HELIUM						
Li LITHIUM	Be BERYLLIUM																	COSMIC RAY FISSION			MERGING NEUTRON STARS			EXPLODING WHITE DWARFS			B BORON	C CARBON	N NITROGEN	O OXYGEN	F FLUORINE	Ne NEON
Na SODIUM	Mg MAGNESIUM																										Al ALUMINUM	Si SILICON	P PHOSPHORUS	S SULFUR	Cl CHLORINE	Ar ARGON
K POTASSIUM	Ca CALCIUM	Sc SCANDIUM	Ti TITANIUM	V VANADIUM	Cr CHROMIUM	Mn MANGANESE	Fe IRON	Co COBALT	Ni NICKEL	Cu COPPER	Zn ZINC	Ga GALLIUM	Ge GERMANIUM	As ARSENIC	Se SELENIUM	Br BROMINE	Kr KRYPTON															
Rb RUBIDIUM	Sr STRONTIUM	Y YTTRIUM	Zr ZIRCONIUM	Nb NIOBIUM	Mo MOLYBDENUM	Tc TECHNETIUM	Ru RHODIUM	Rh RHENIUM	Pd PALLADIUM	Ag SILVER	Cd CADMIUM	In INDIUM	Sn TIN	Sb ANTIMONY	Te TELLURIUM	I IODINE	Xe XEON															
Cs CAESIUM	Ba BARIUM			Hf HAFNIUM	Ta TANGSTANIUM	W TUNGSTEN	Re RHENIUM	Os OSMIUM	Ir IRIDIUM	Pt PLATINUM	Au GOLD	Hg MERCURY	Tl THALLIUM	Pb LEAD	Bi BISMUTH	Po POLONIUM	At ASTATINE	Rn RADON														
Fr FRANCIUM	Ra RADIUM																															
La LANTHANUM	Ce CELESIUM	Pr PRASEODYMIUM	Nd NEODYMIUM	Pm PROMETHIUM	Sm SAMARIUM	Eu EUROPEUM	Gd GADOLINIUM	Tb TERBIUM	Dy DYSPROSIUM	Ho HOLMIUM	Er ERBIUM	Tm THULIUM	Yb YTERBIUM	Lu LUTETIUM																		
Ac ACTINIUM	Th THORIUM	Pa PROCTINIUM	U URANIUM																													

BIG BANG FUSION
DYING LOW MASS STARS
EXPLODING MASSIVE STARS
COSMIC RAY FISSION
MERGING NEUTRON STARS
EXPLODING WHITE DWARFS

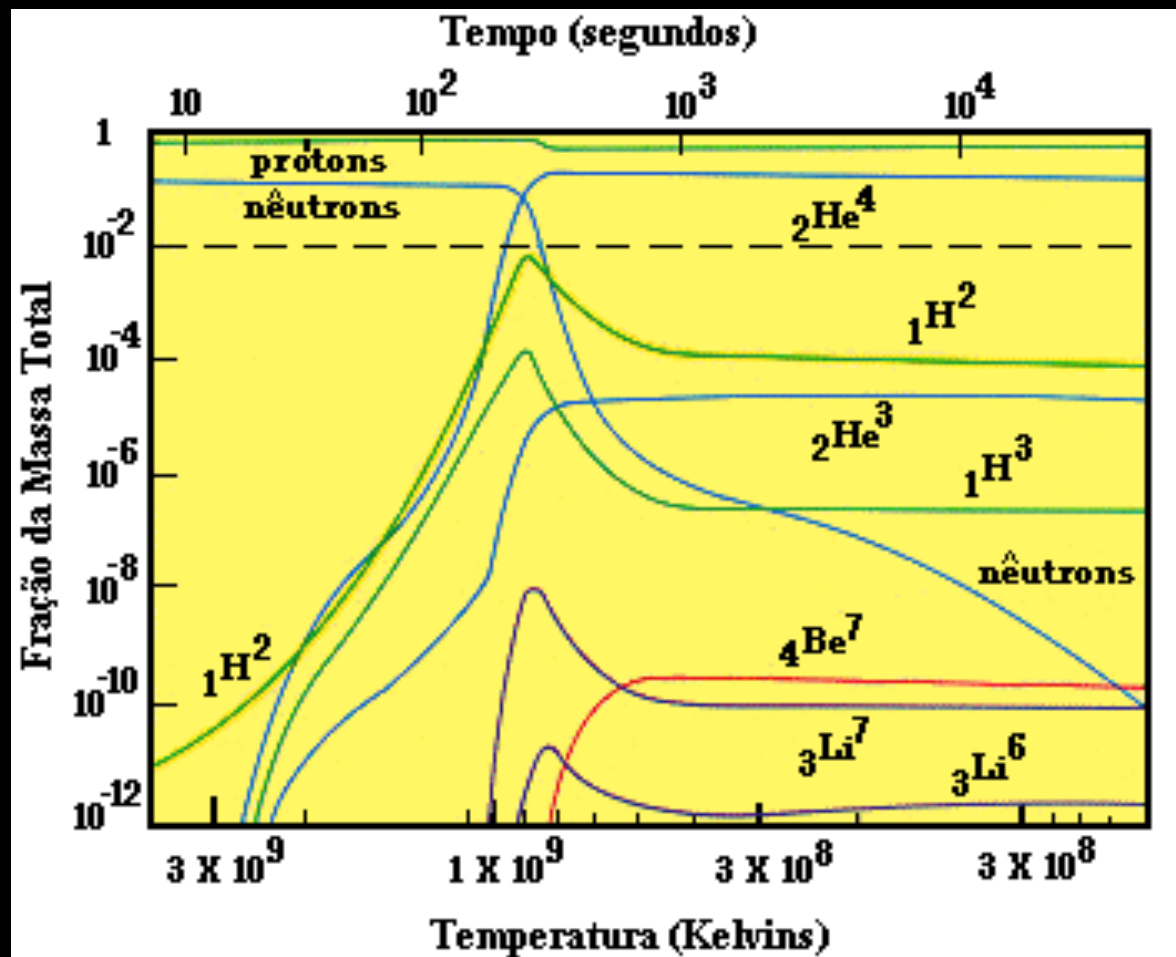


Composição Química da Atmosfera do Sol

Elemento	Z	A	Percentagem em massa	Percentagem em número de partículas
H	1	1	70,57%	91,2%
He	2	4	27,52%	8,7%
O	8	16	0,9592%	0,078%
C	6	12	0,3032%	0,043%
Ne	10	20	0,1548%	
Fe	26	56	0,1169%	
N	7	14	0,1105%	
Si	14	28	0,0653%	
Mg	12	24	0,0513%	
S	16	32	0,0396%	
Ne	12	24	0,0208%	
Mg	12	26	0,0079%	
Ar	18	36	0,0077%	
Fe	26	54	0,0072%	
Mg	12	25	0,0069%	
Ca	20	40	0,0060%	
Al	13	27	0,0058%	
Ni	28	58	0,0049%	
C	6	13	0,0037%	
He	2	3	0,0035%	
Si	14	29	0,0034%	
Na	11	23	0,0033%	
Fe	26	57	0,0028%	
Si	14	30	0,0024%	



$4\text{H} \rightarrow \text{He}$ dos 3m46s depois do Big Bang até 6m



A fotosfera do Sol

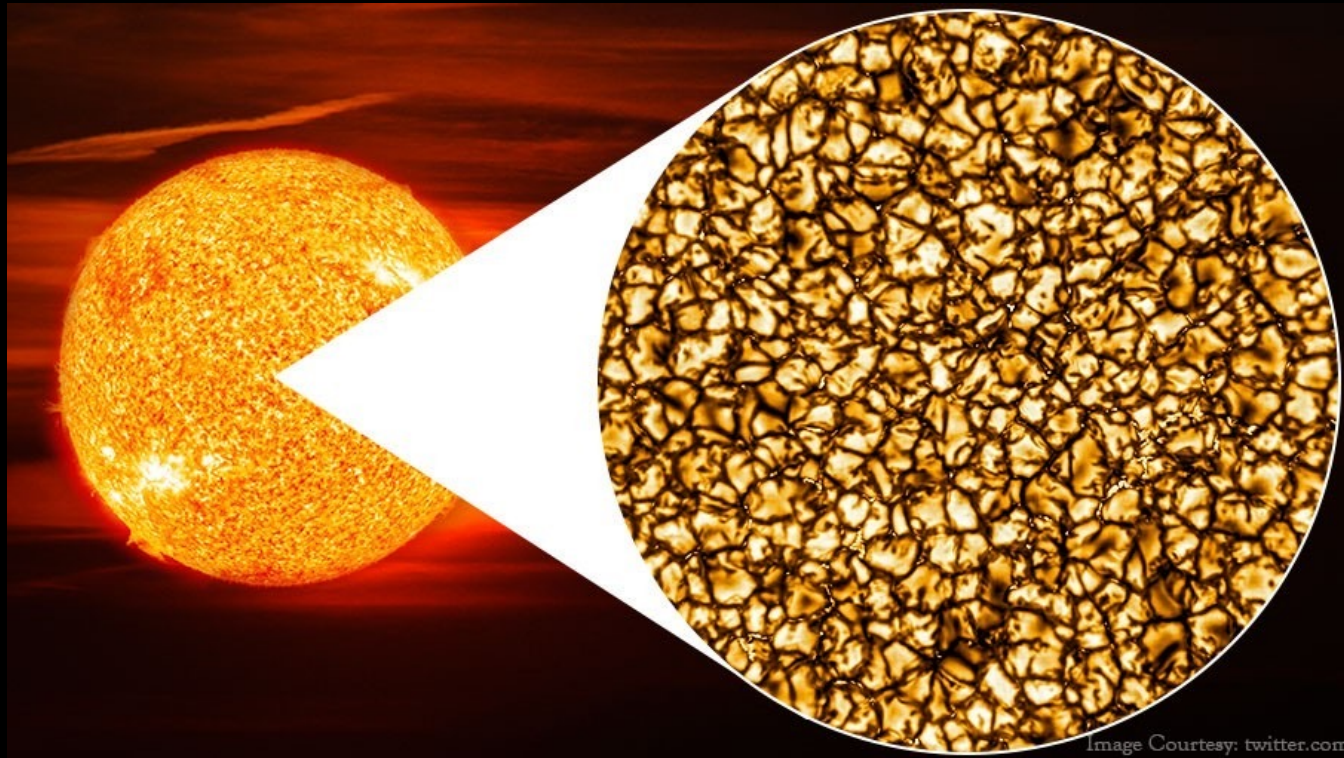
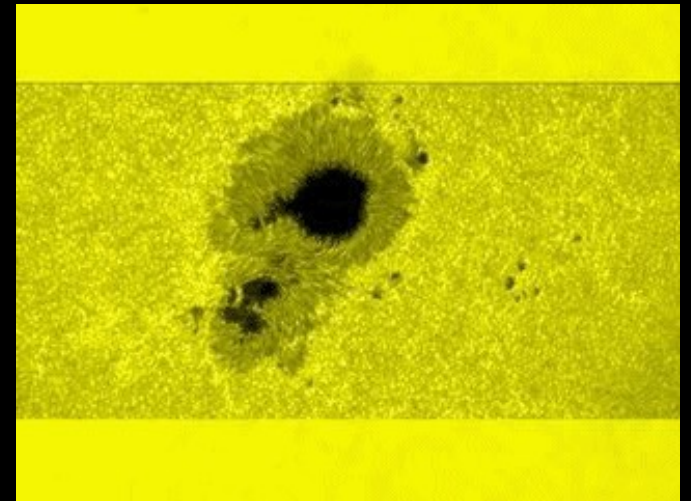


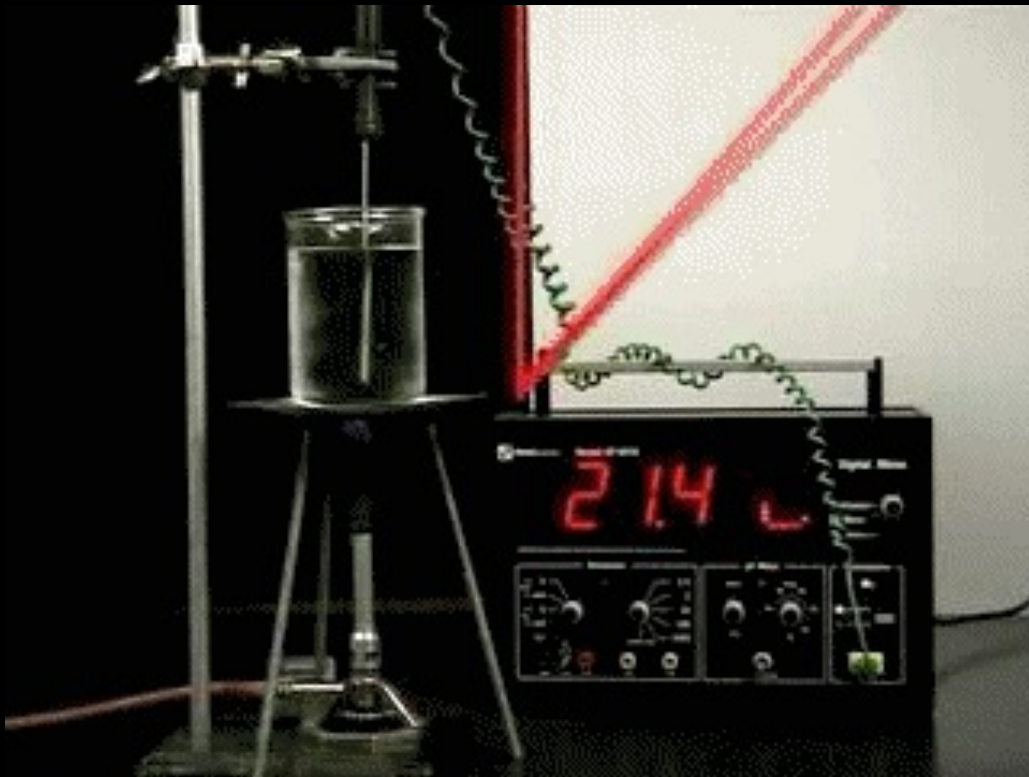
Image Courtesy: twitter.com

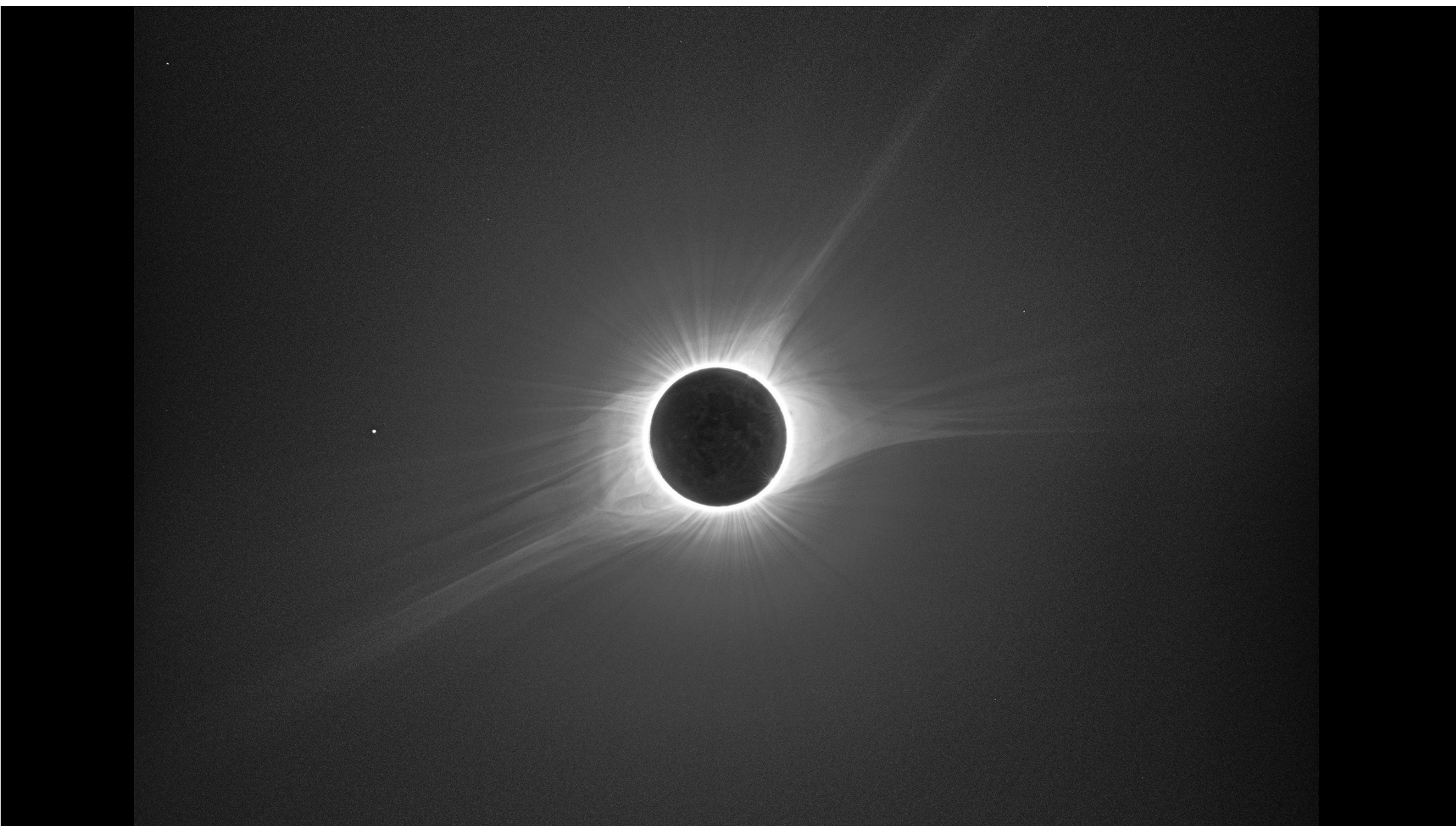


A fotosfera tem um aspecto granular. Os grânulos são os topos de colunas convectivas. Material quente vindo de regiões mais profundas ascende à superfície.

[Imagem do satélite SOHO].

Convecção





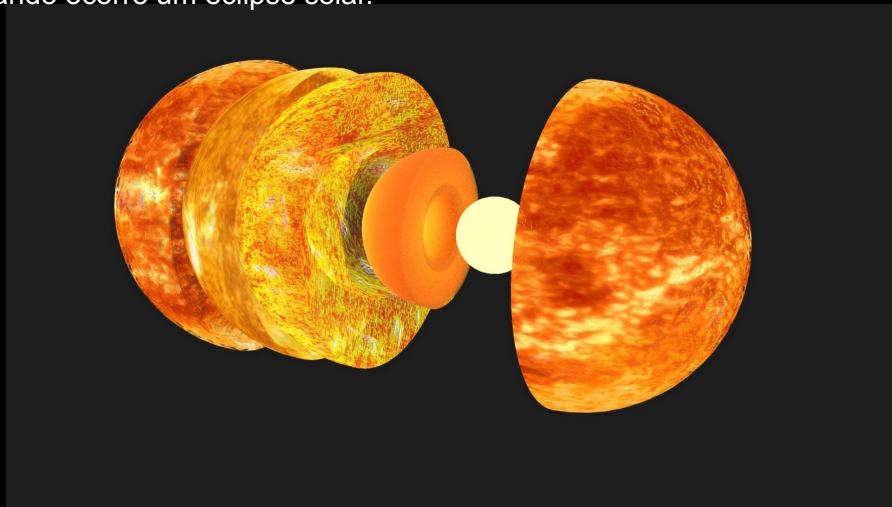
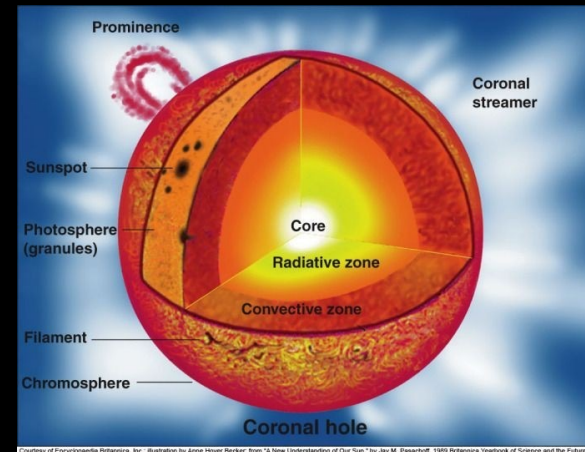
Sol, nossa estrela

A luz que chega à Terra vem do núcleo do Sol, Onde a temperatura é da ordem de 15 milhões de Kelvin e lá ocorrem reações termonucleares que transformam 600 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio por segundo, liberando energia.

A camada acima do núcleo - zona radiative - conduz esta radiação até um certo ponto, quando o transporte radiativo já não dá mais conta do transporte de energia e o meio torna-se convectivo - zona convectiva. A convecção é o que ocorre, por exemplo, com a água, quando ela está fervendo.

Quando você olha para o Sol, você enxerga a **fotosfera solar**, o topo da zona convectiva.

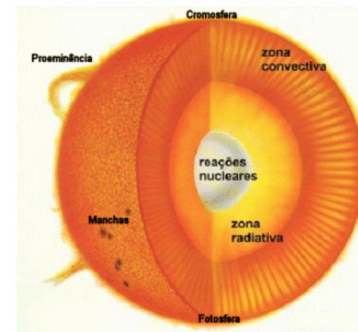
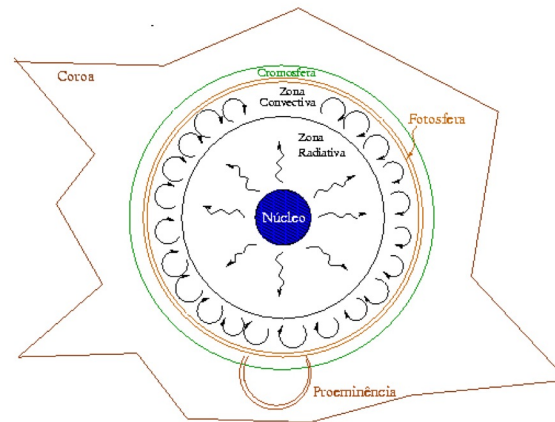
Acima da fotosfera, há outras regiões muito tênues, como a cromosfera e a coroa solar, que só podem ser vistas a olho nu quando ocorre um eclipse solar.



Estrutura do Sol



Combinação de uma foto tirada por [Wendy Carlos](#) © 1996-2007 Serendip LLC, do eclipse solar de 1999 na Romênia, com uma imagem ultravioleta tirada pelo satélite SOHO/NASA-ESA.



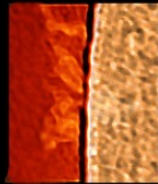
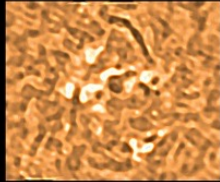
Fotosfera: 330 km, $T=5785\text{K}$

Núcleo: 15 milhões K, reações nucleares $\text{H} \rightarrow \text{He}$

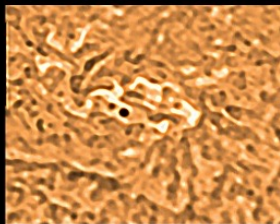
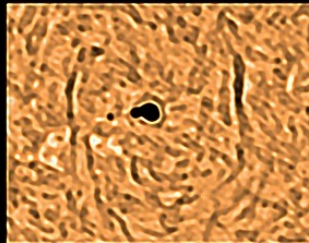
20/11/2022 10:40 UT
Lunt LS35 THa + X1.5 barlow
+ Mikrokular. Window-sill

^o
6563A

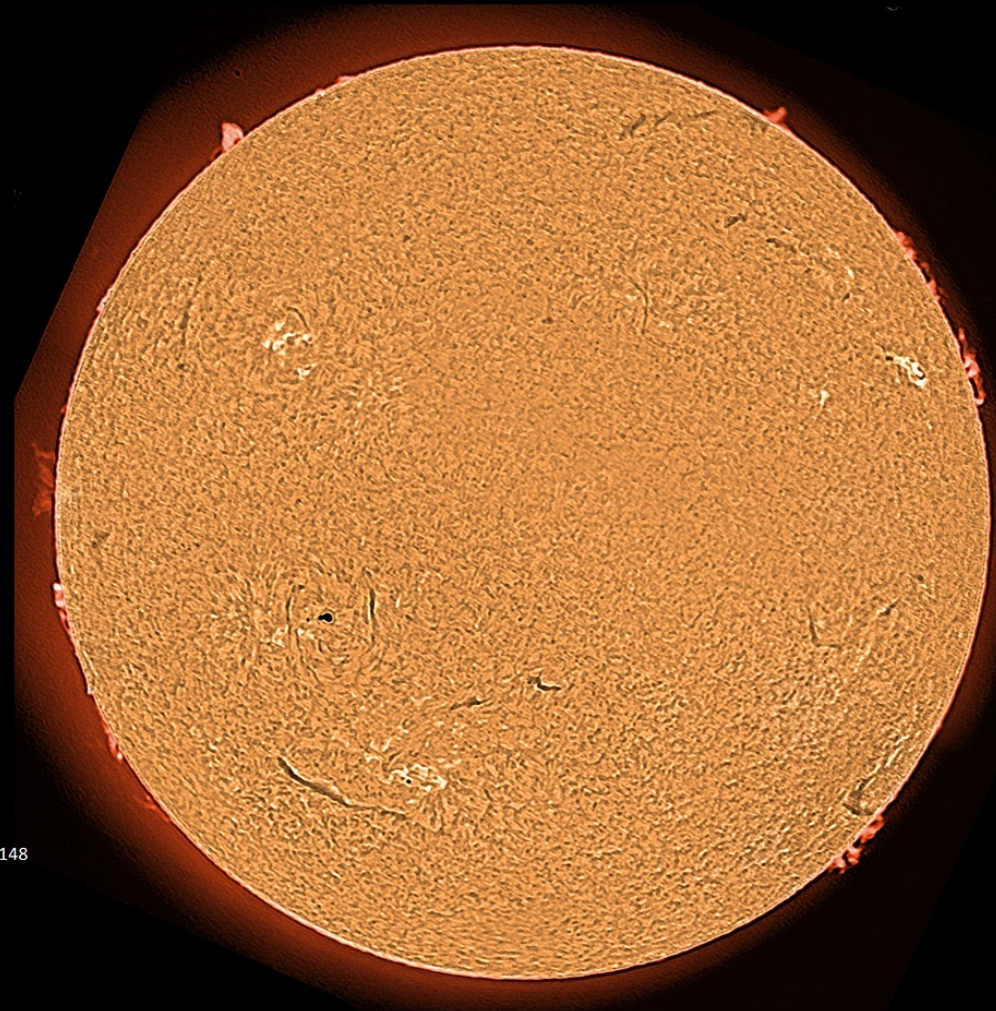
3149



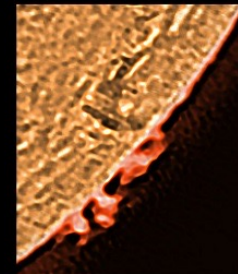
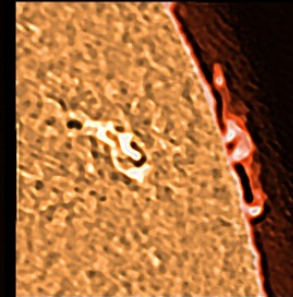
3147

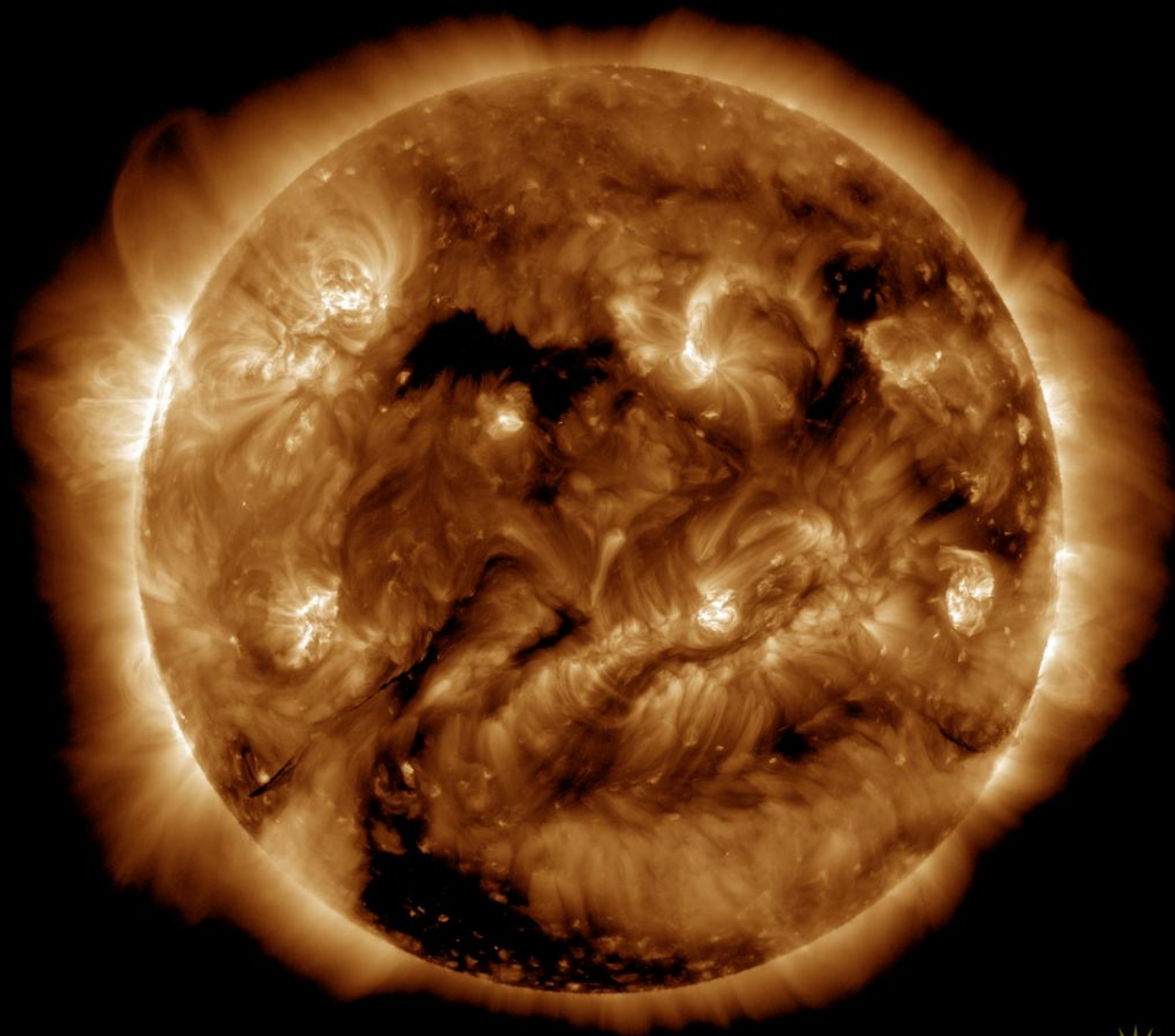


3148



3150

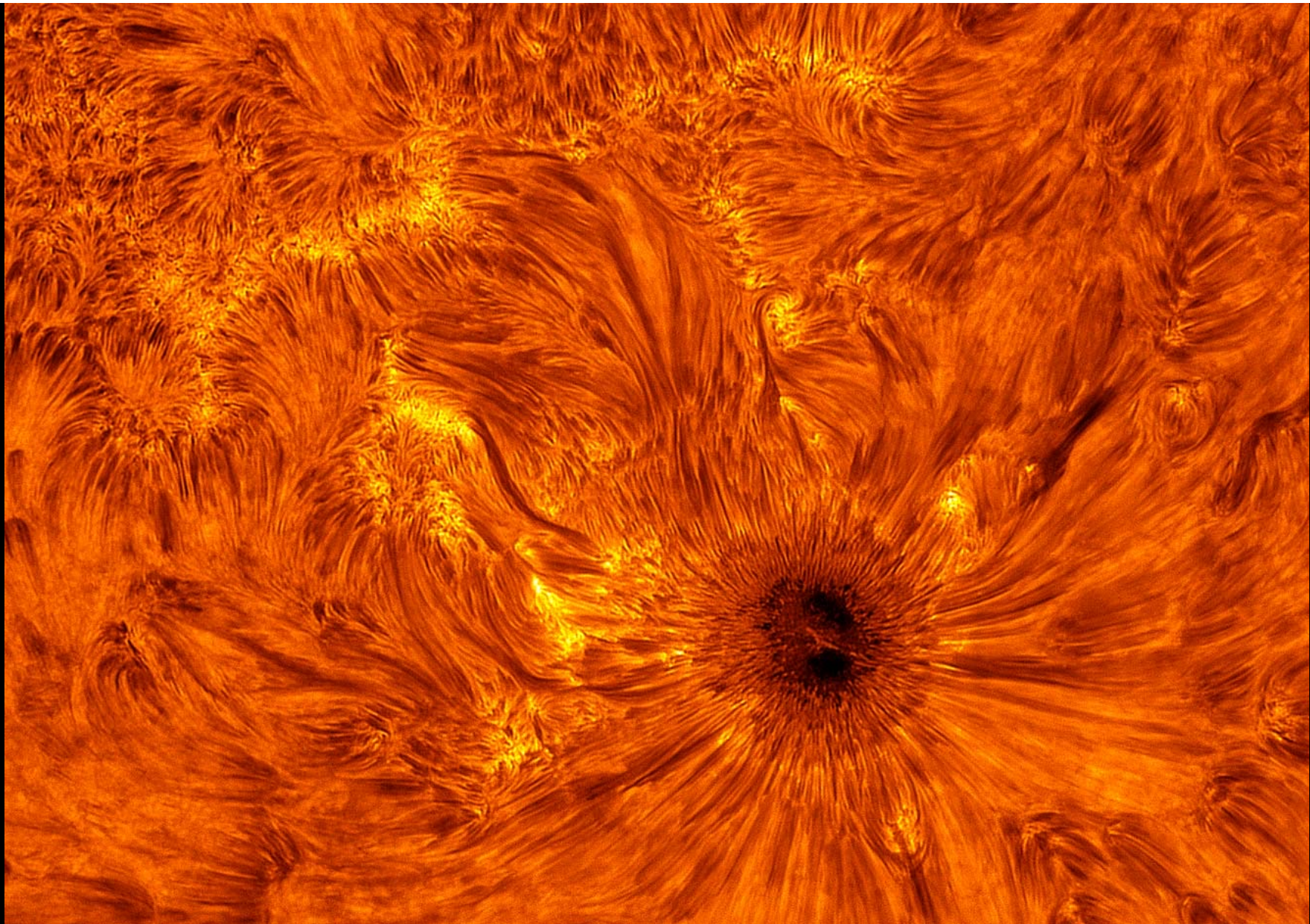


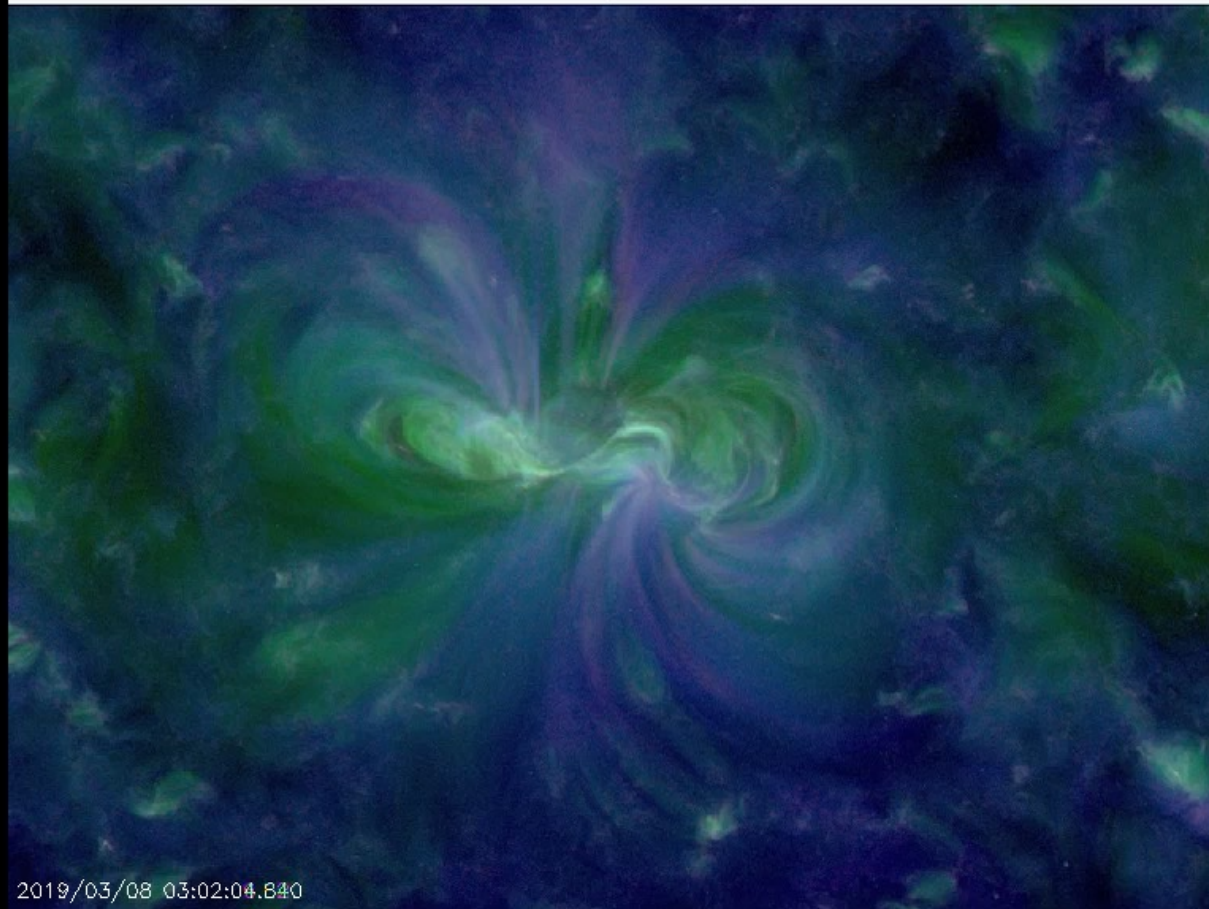
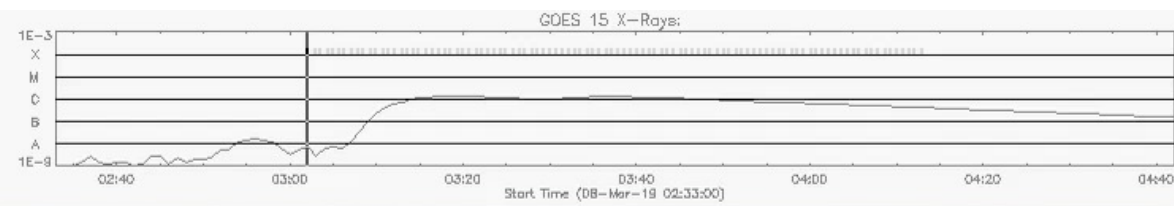


SDO/AIA- 193 2026-03-25 02:49:04

aia.lmsal.com

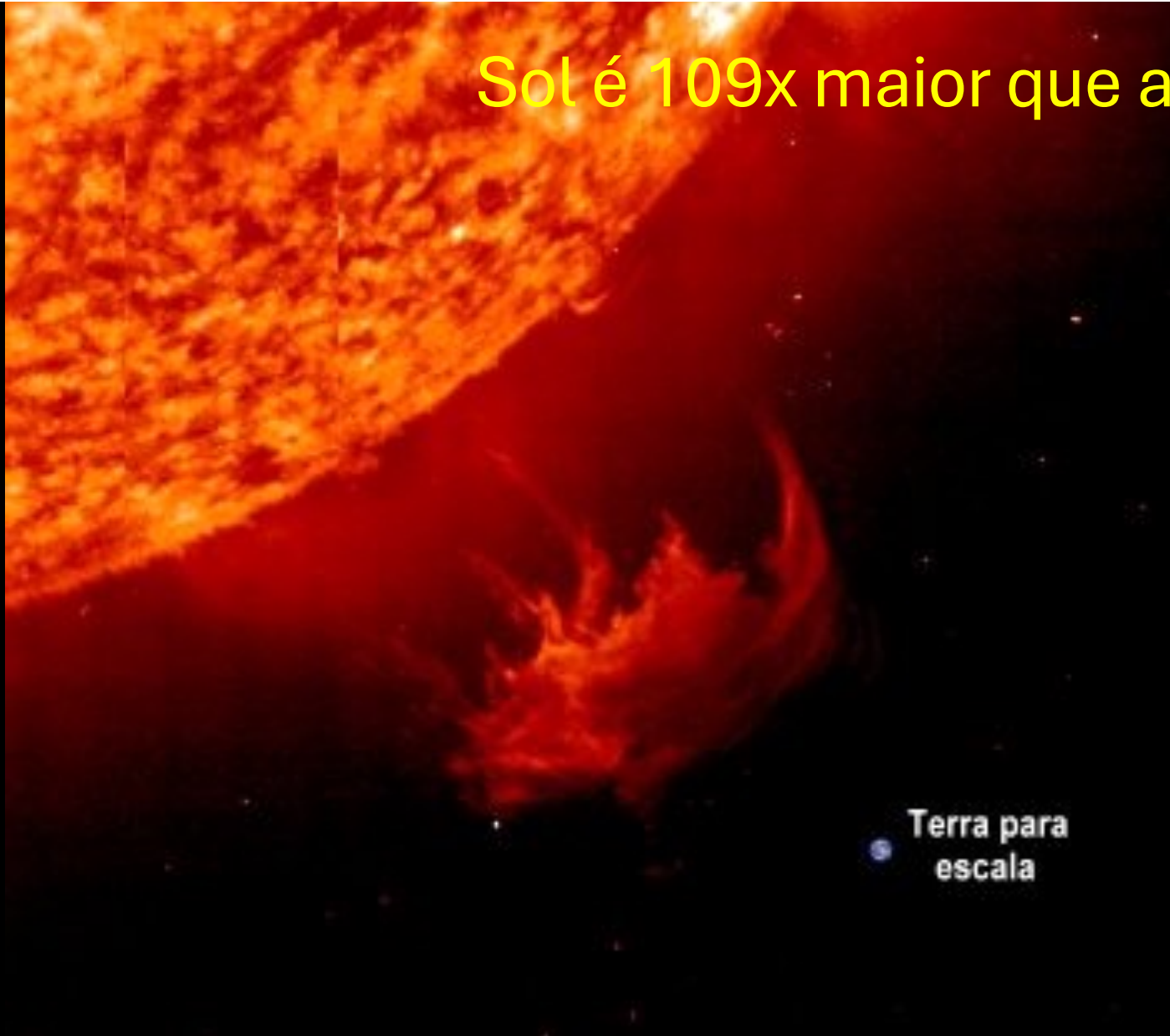






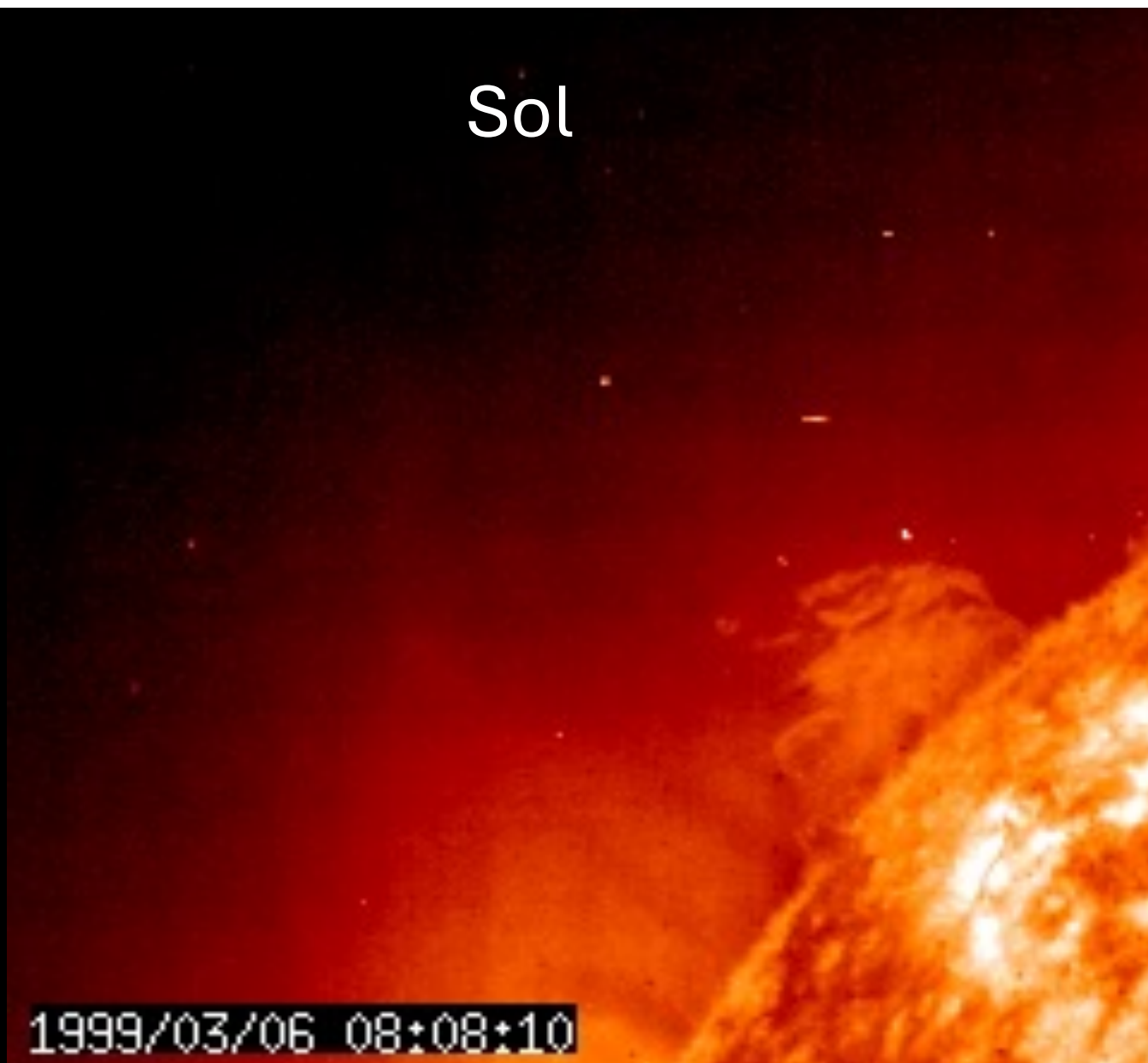
Sol é 109x maior que a Terra

Terra para
escala

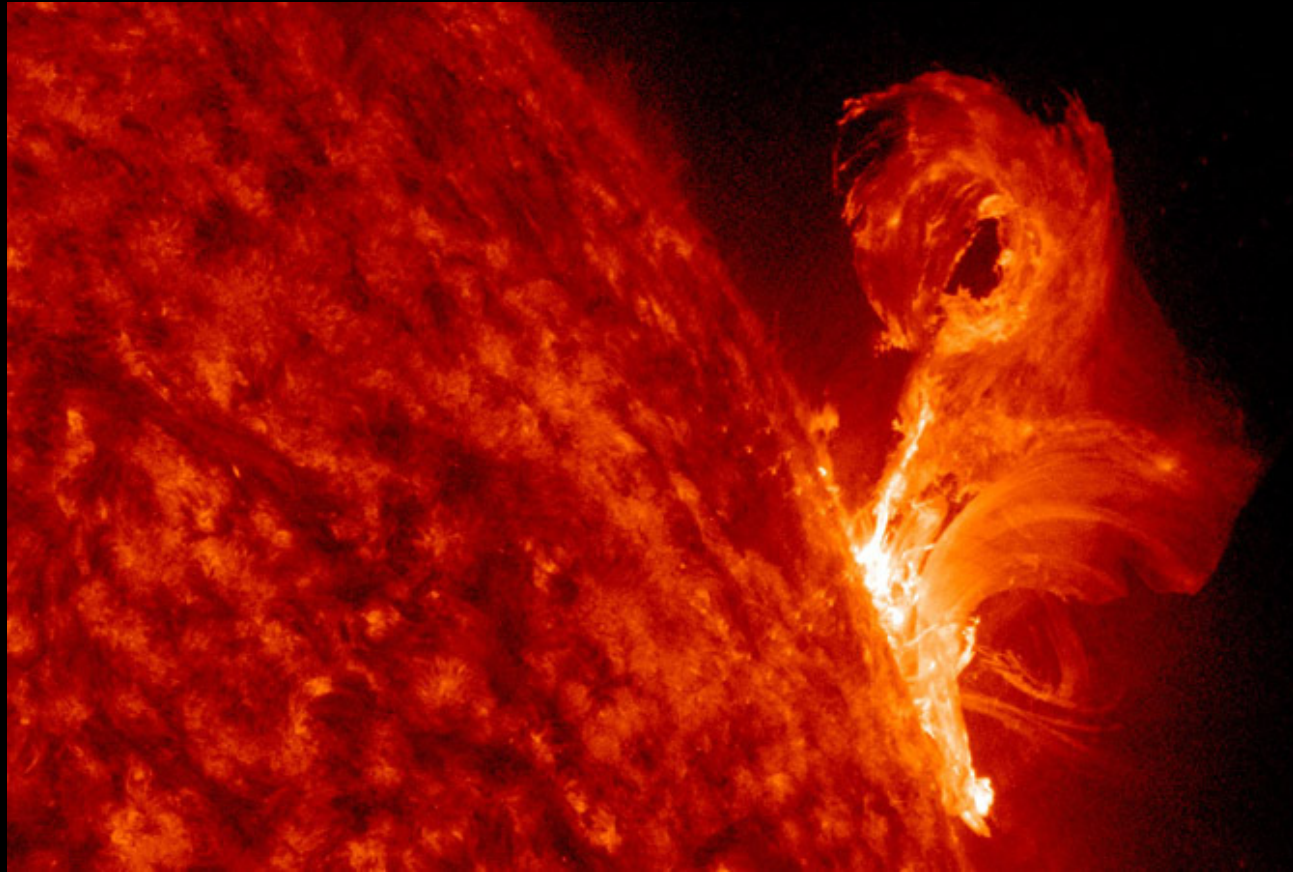


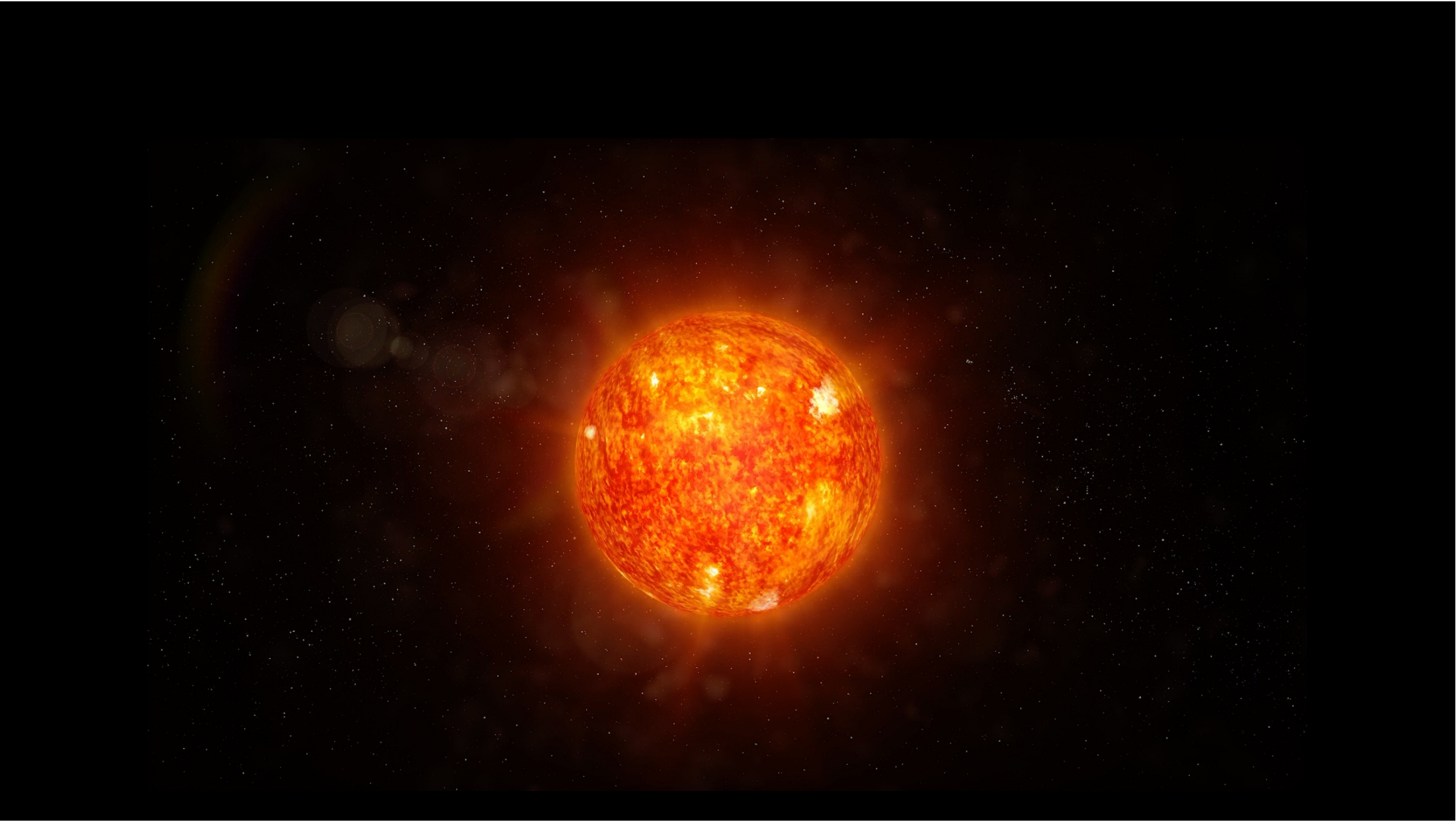
Sol

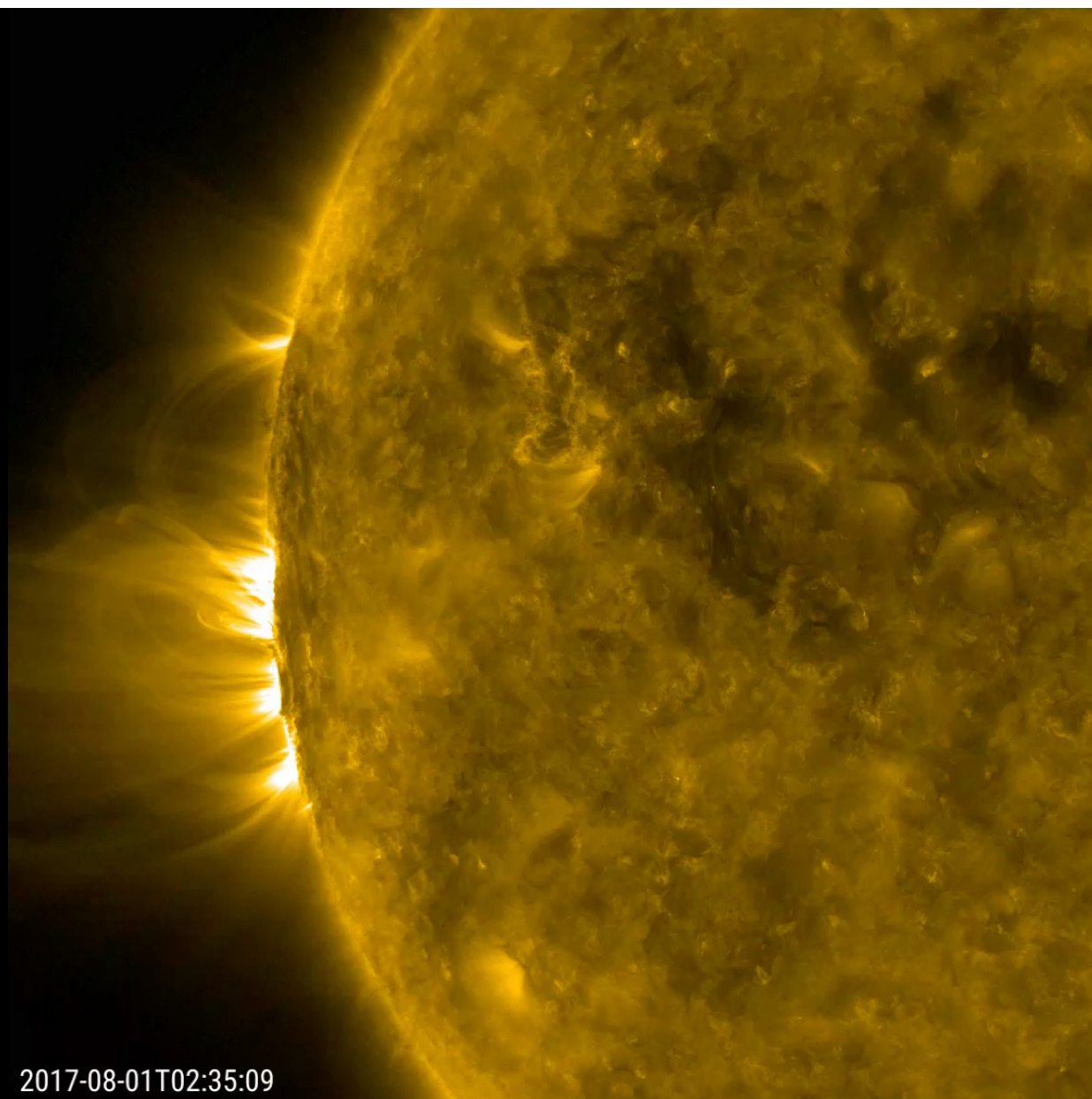
1999/03/06 08:08:10



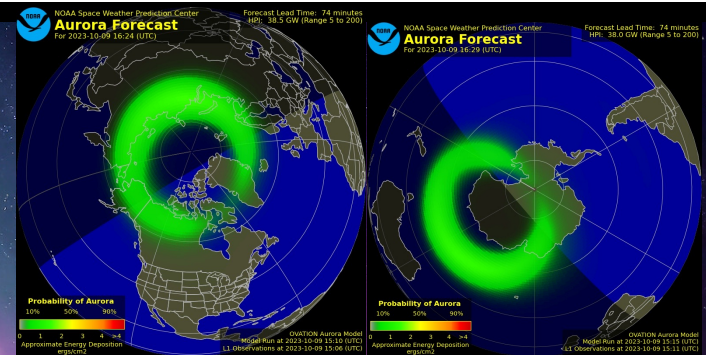
Ejeção coronal de massa 3 Mar 15 13:31 UTC

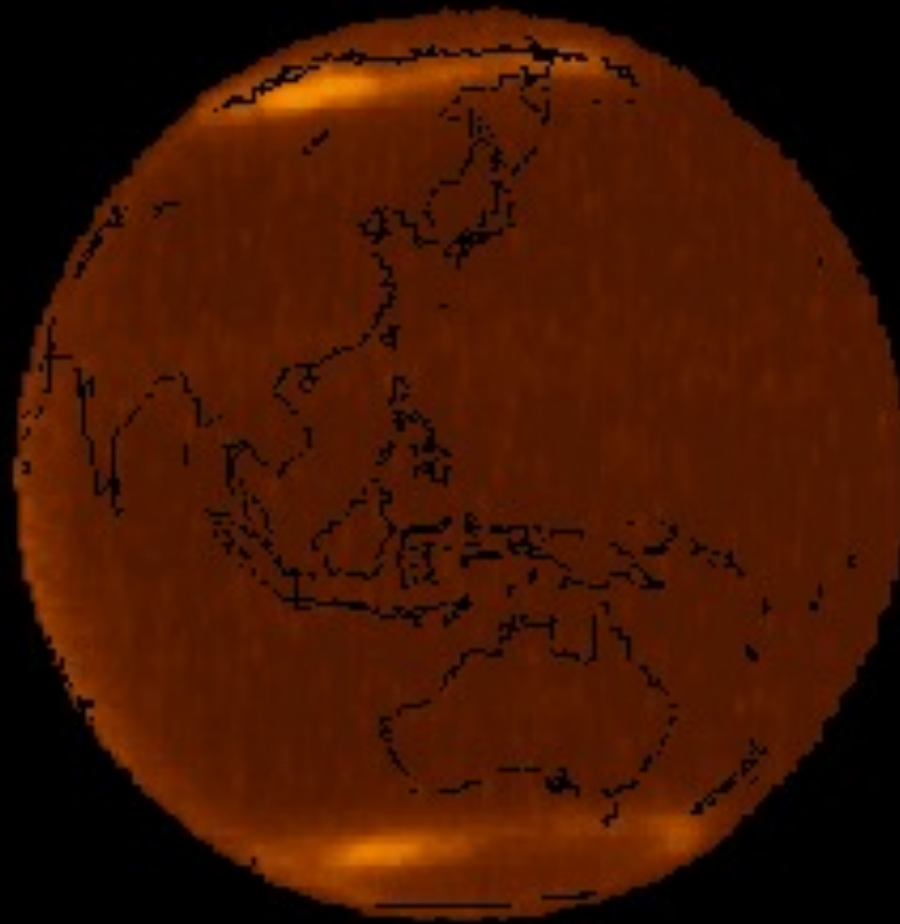






2017-08-01T02:35:09





Em 22 de outubro de 2001, o experimento VIS do satélite Polar da NASA imageou as auroras simétricas sobre os dois pólos da Terra.

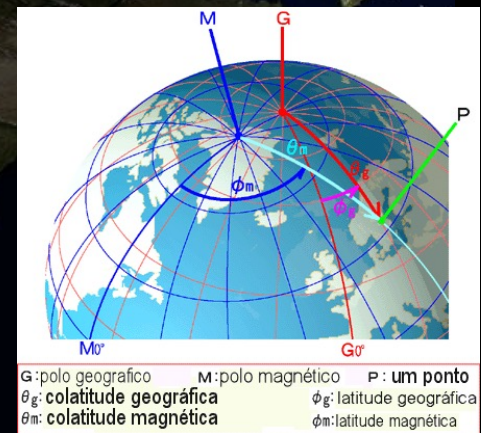
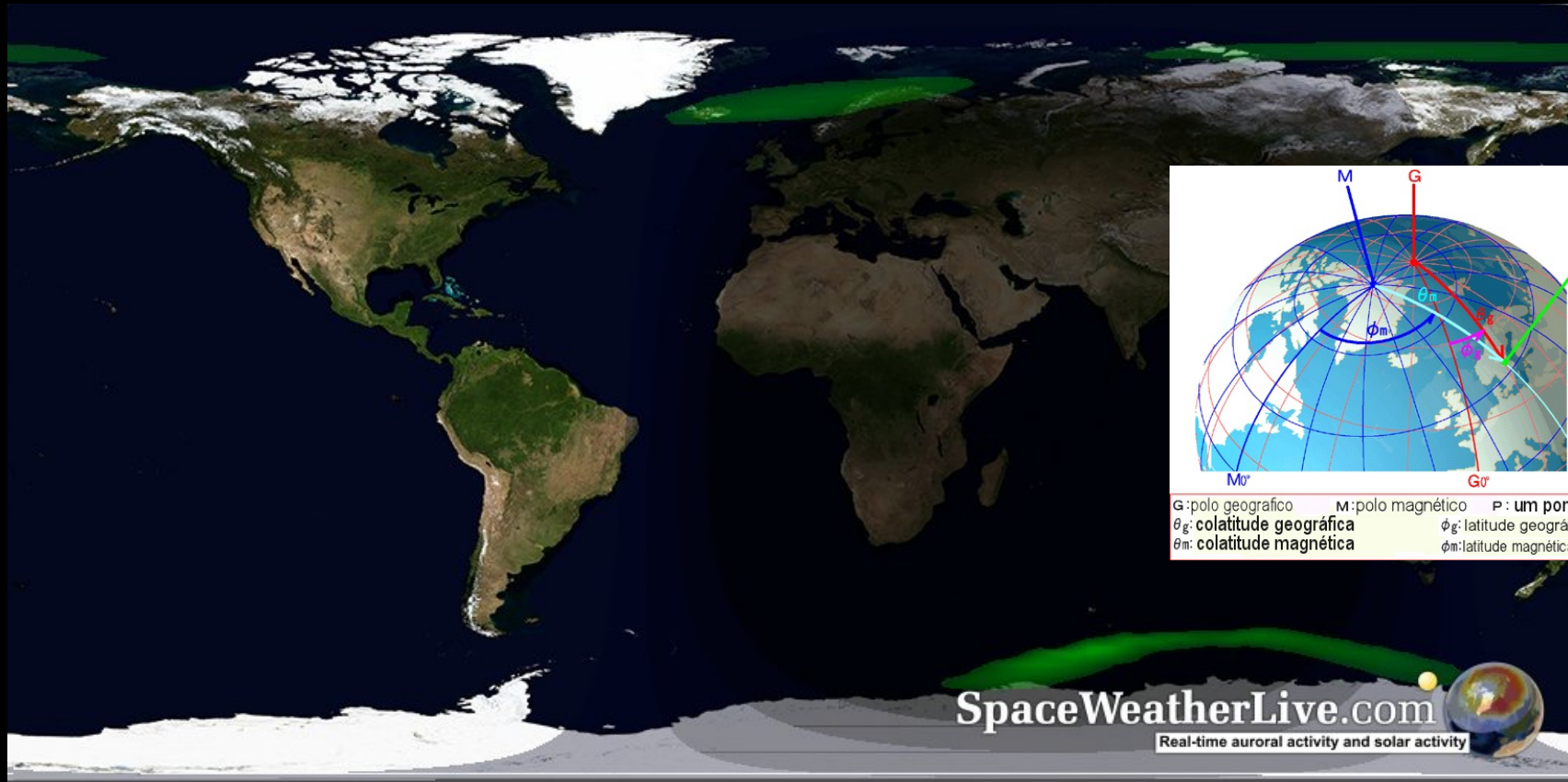


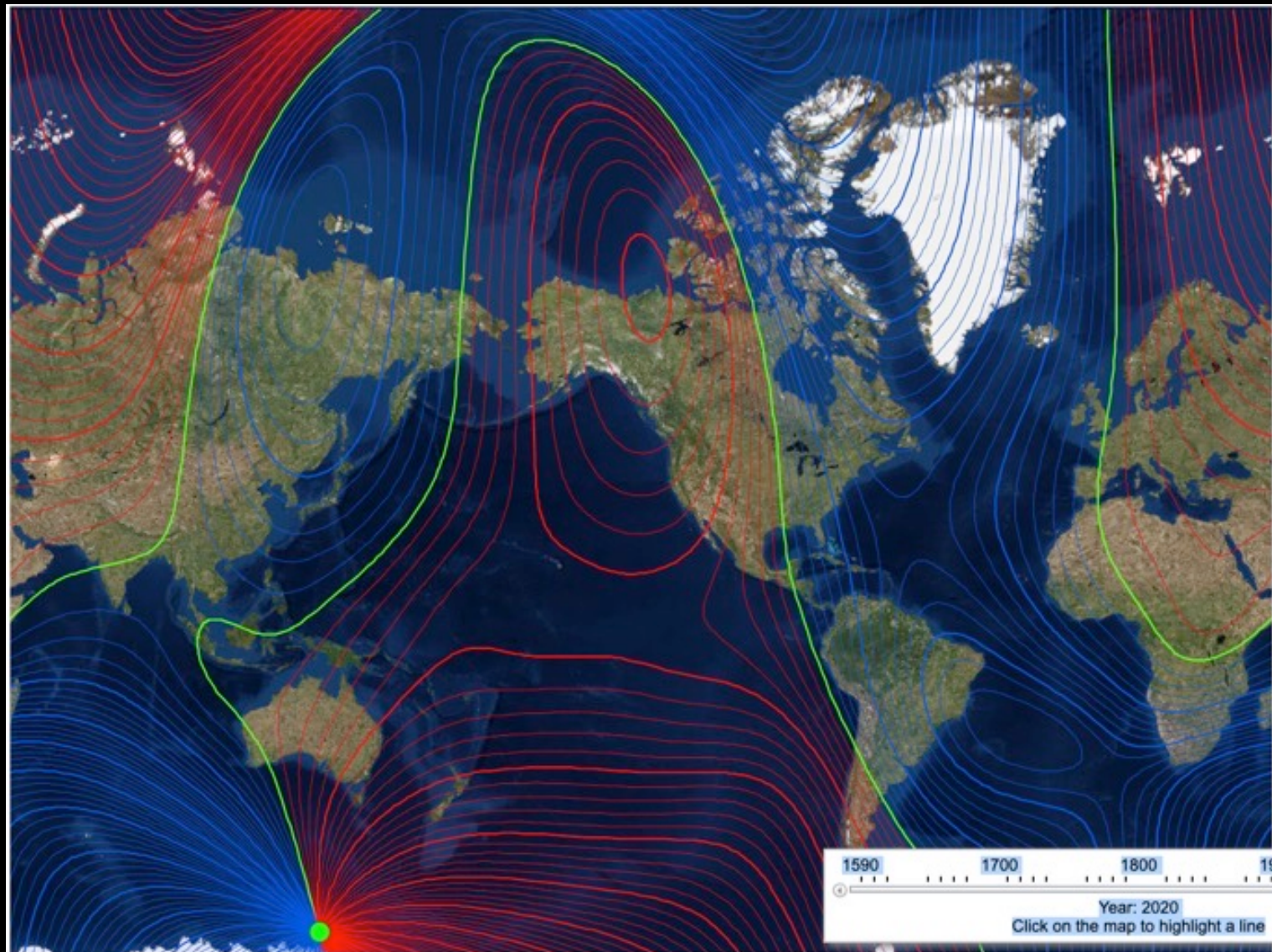
Nova Zelândia 11.05.19

Aurora

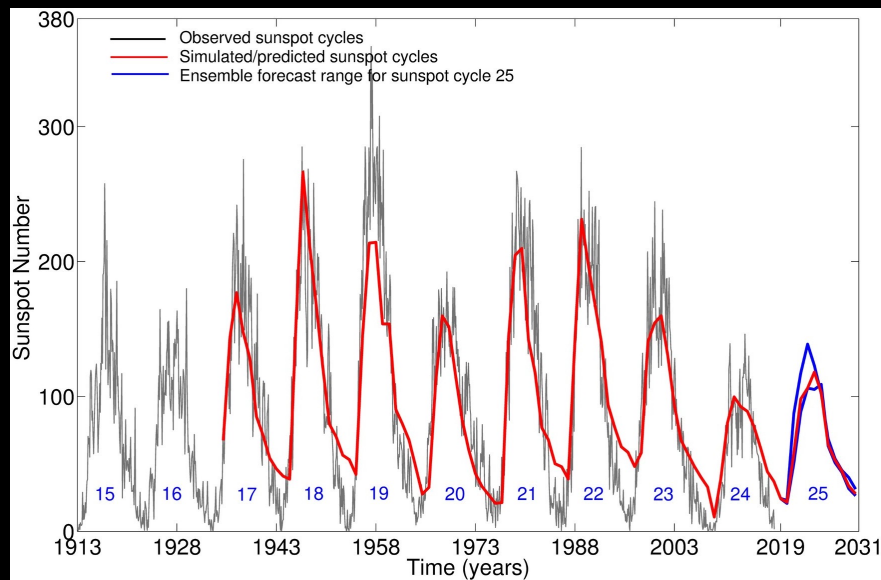
8 mar 25







Ciclo de Atividade Solar



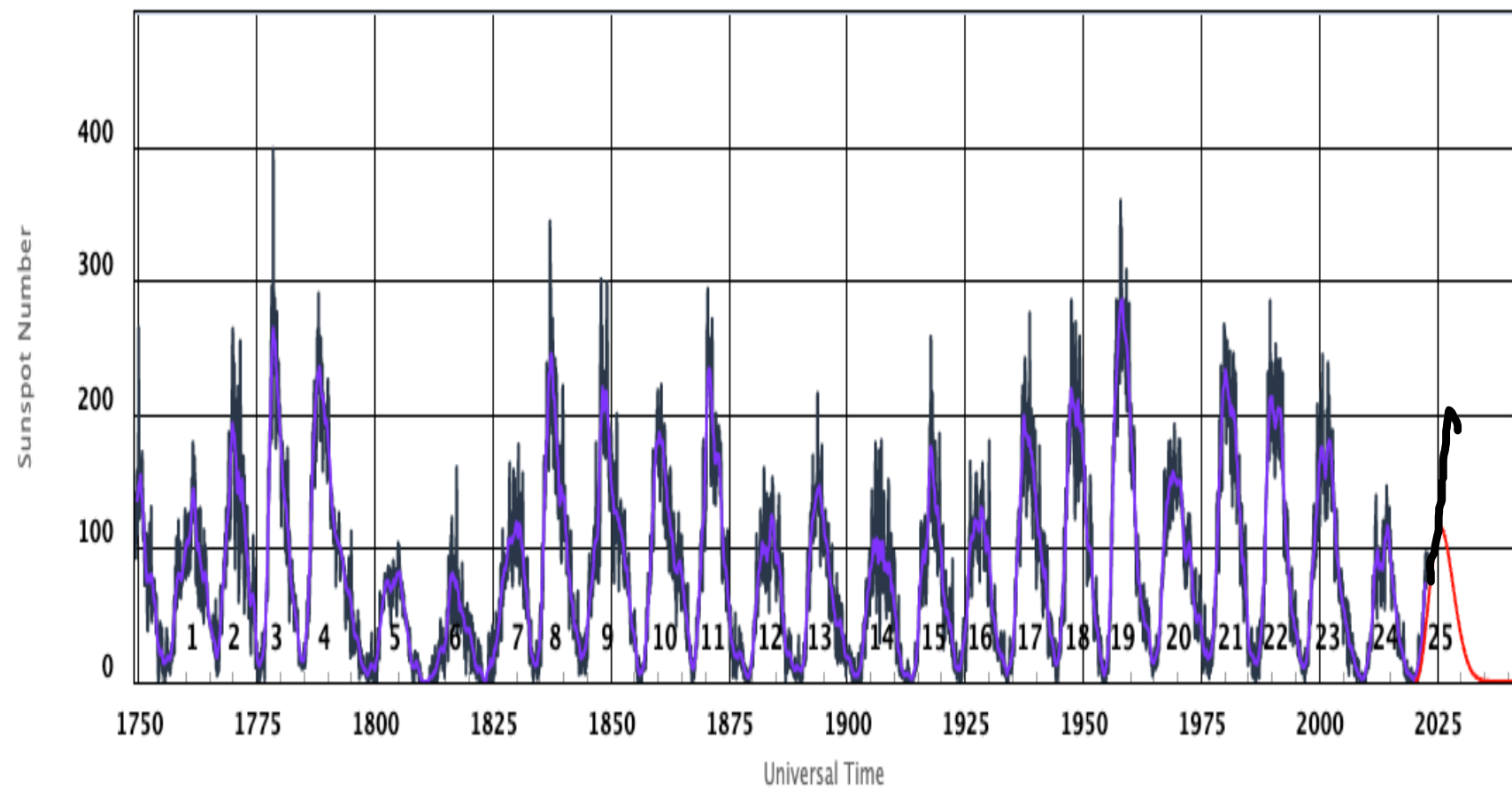
O número de manchas na superfície indica a intensidade de sua atividade magnética.

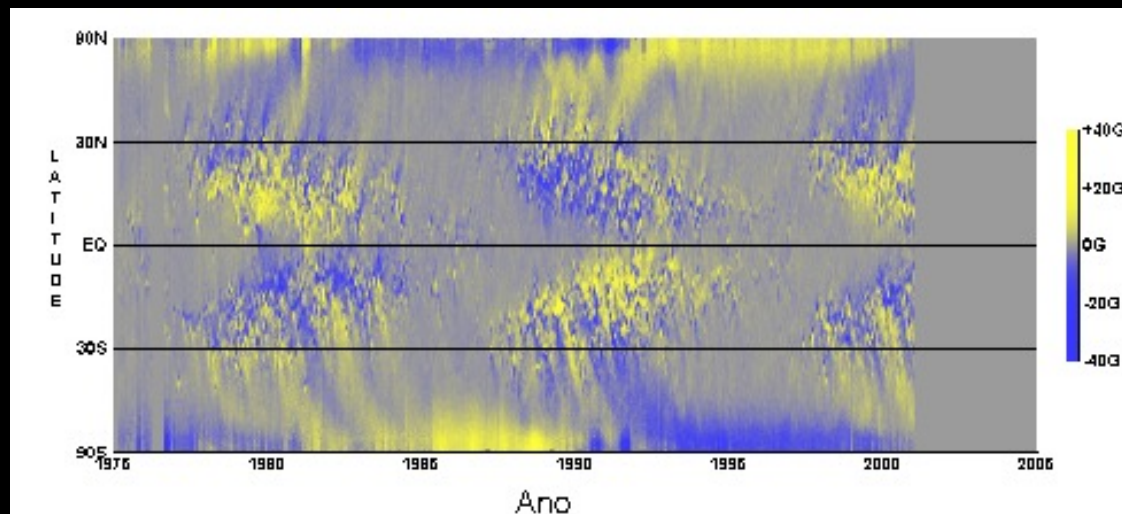
O número de manchas atinge seu máximo em intervalos que variam de 8 a 14 anos, sendo que 11 anos é a duração média de um ciclo solar.

O número médio de manchas durante o máximo de atividade varia de 180 a 240.

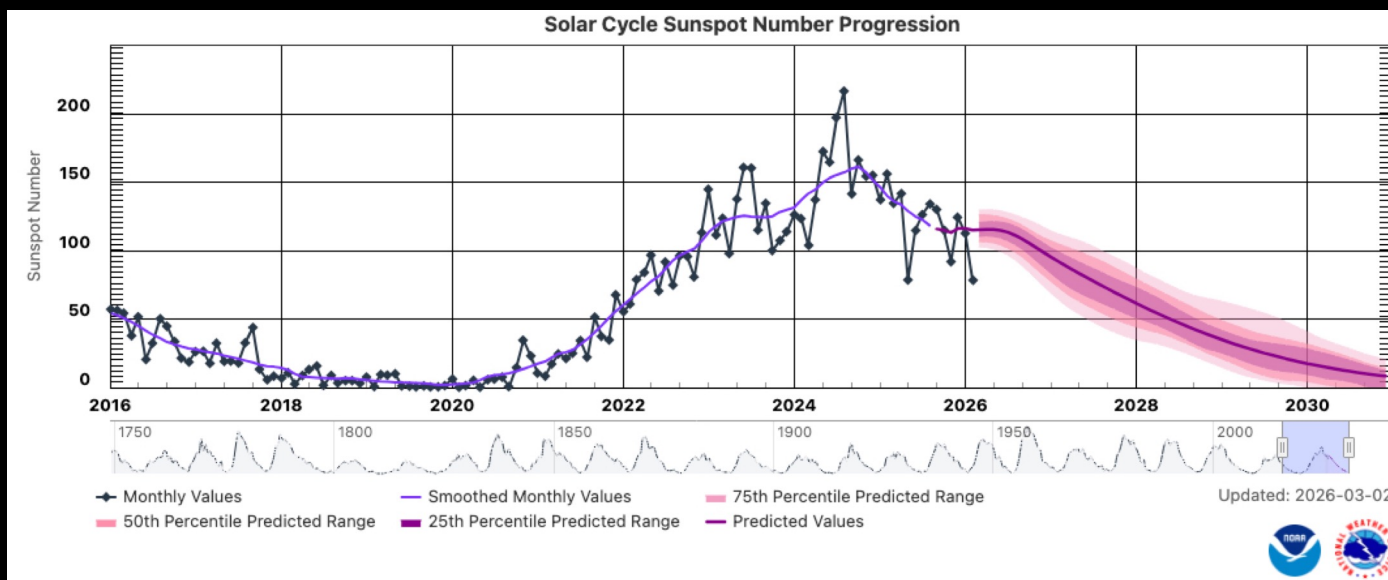
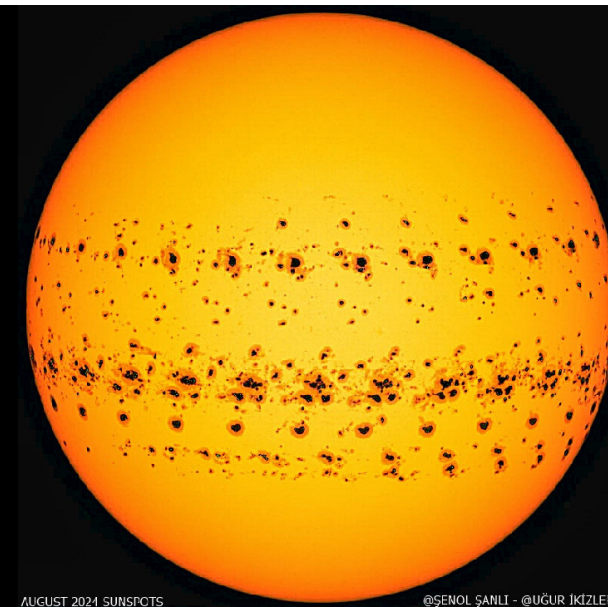


Ciclo solar 11 anos

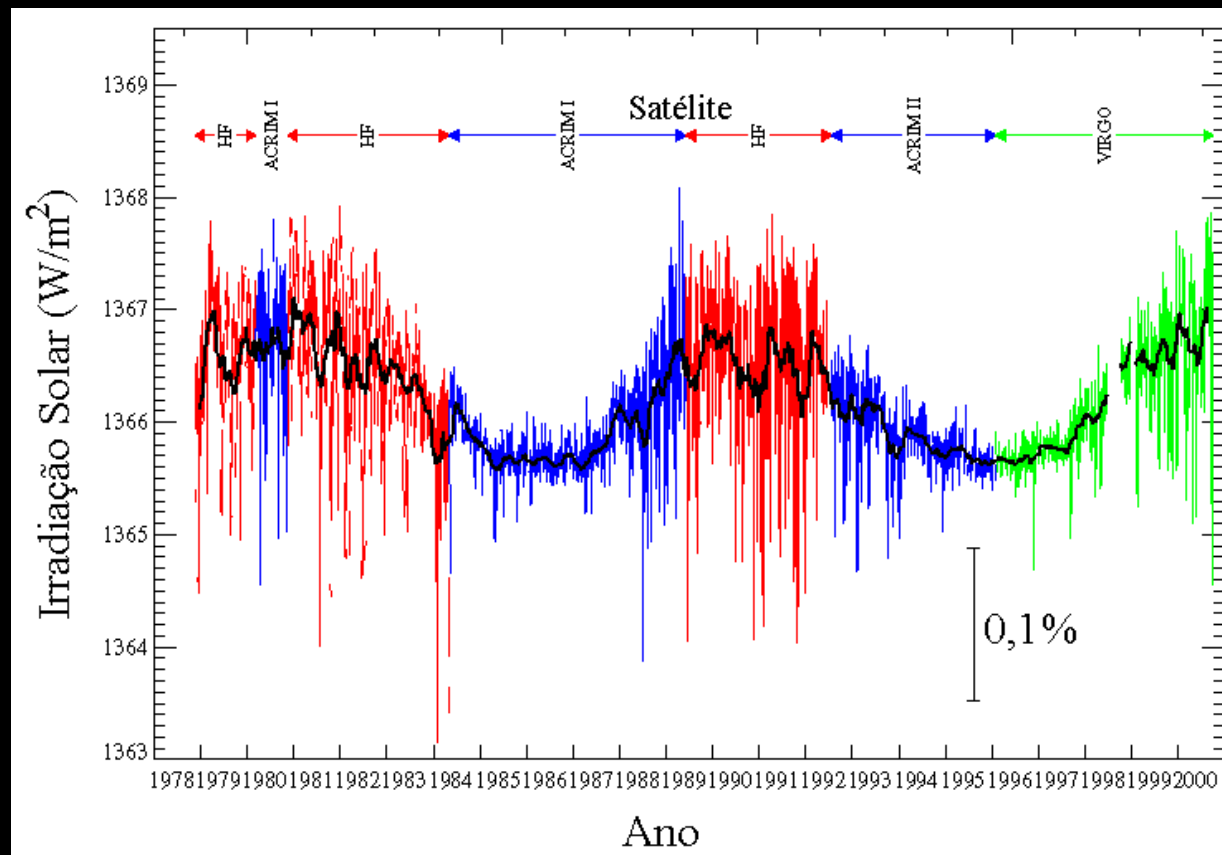




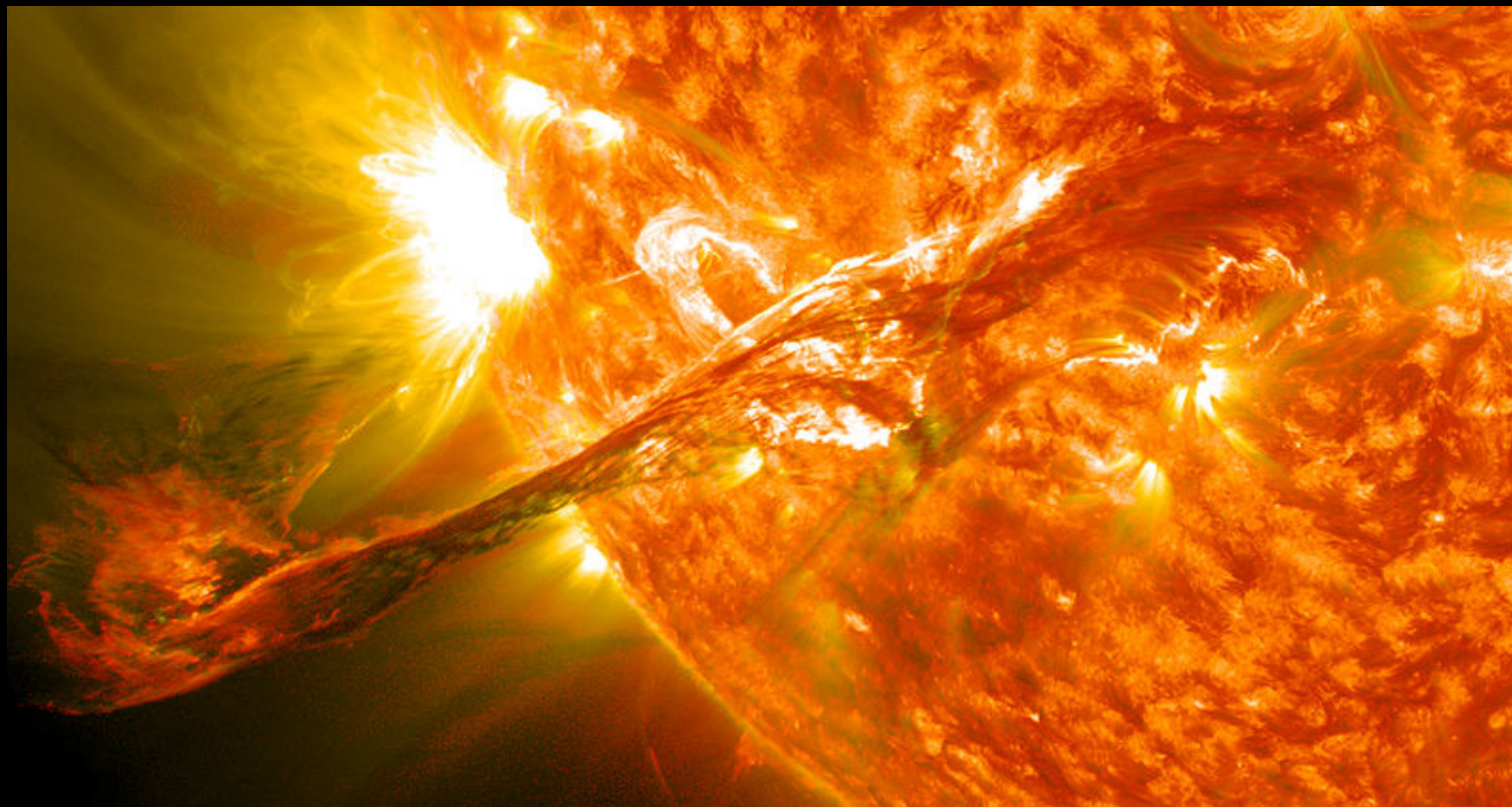
Reversão do campo magnético do Sol a cada 11 anos



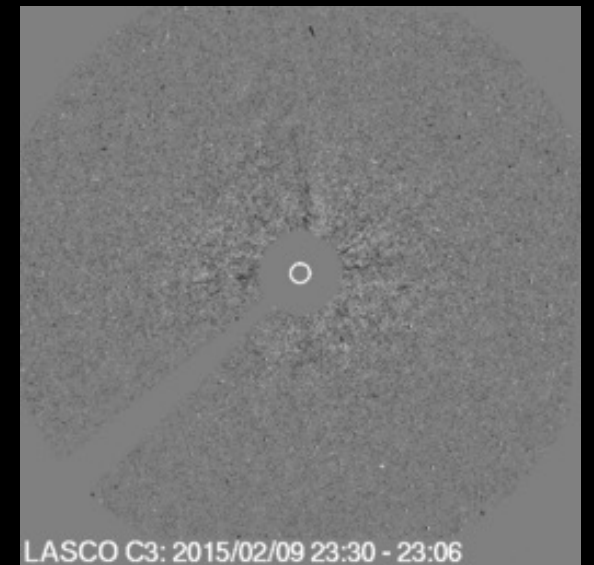
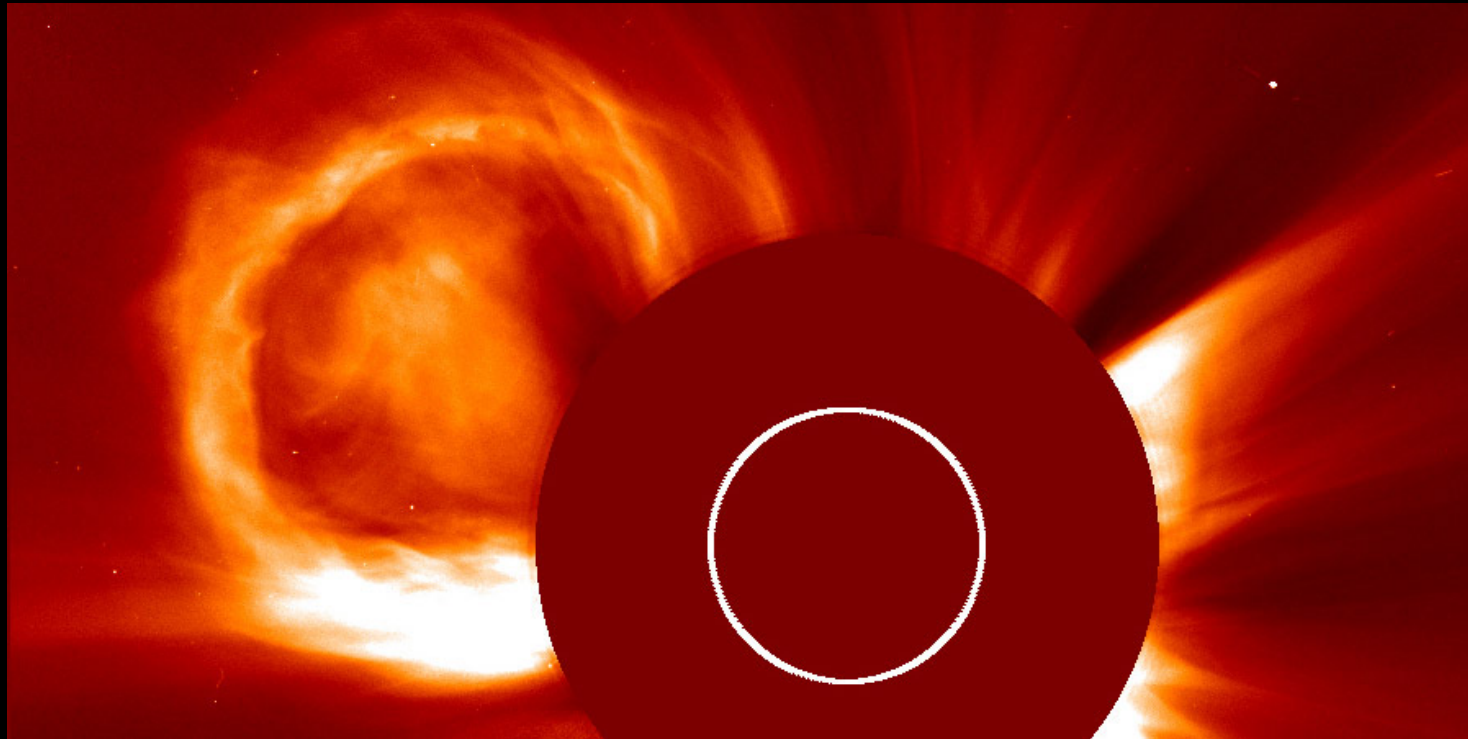
Energia do Sol



31 de agosto de 2012

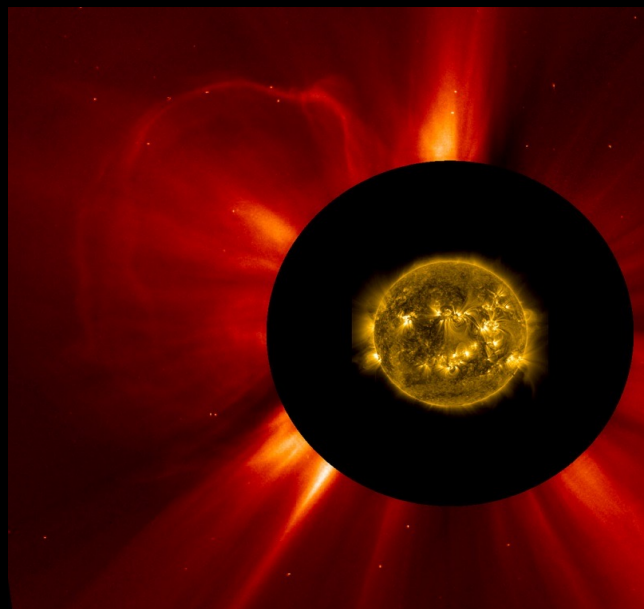


Ejeção coronal de massa



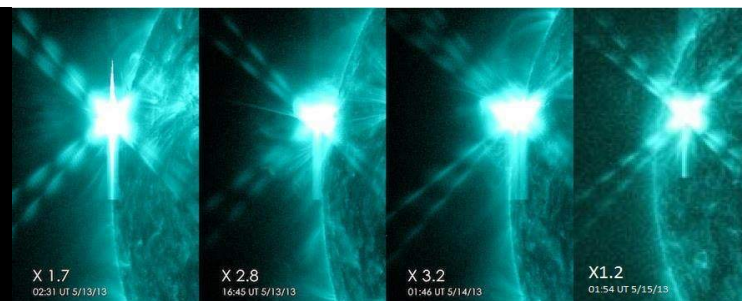
LASCO C3: 2015/02/09 23:30 - 23:06

2013

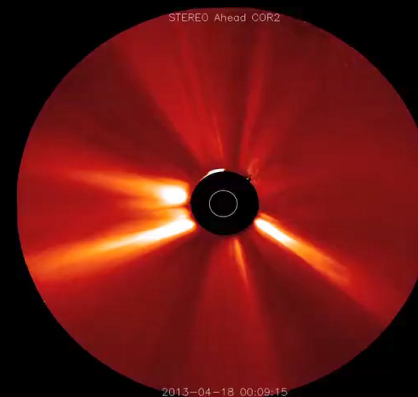


17 maio

7 fev, 23 jan



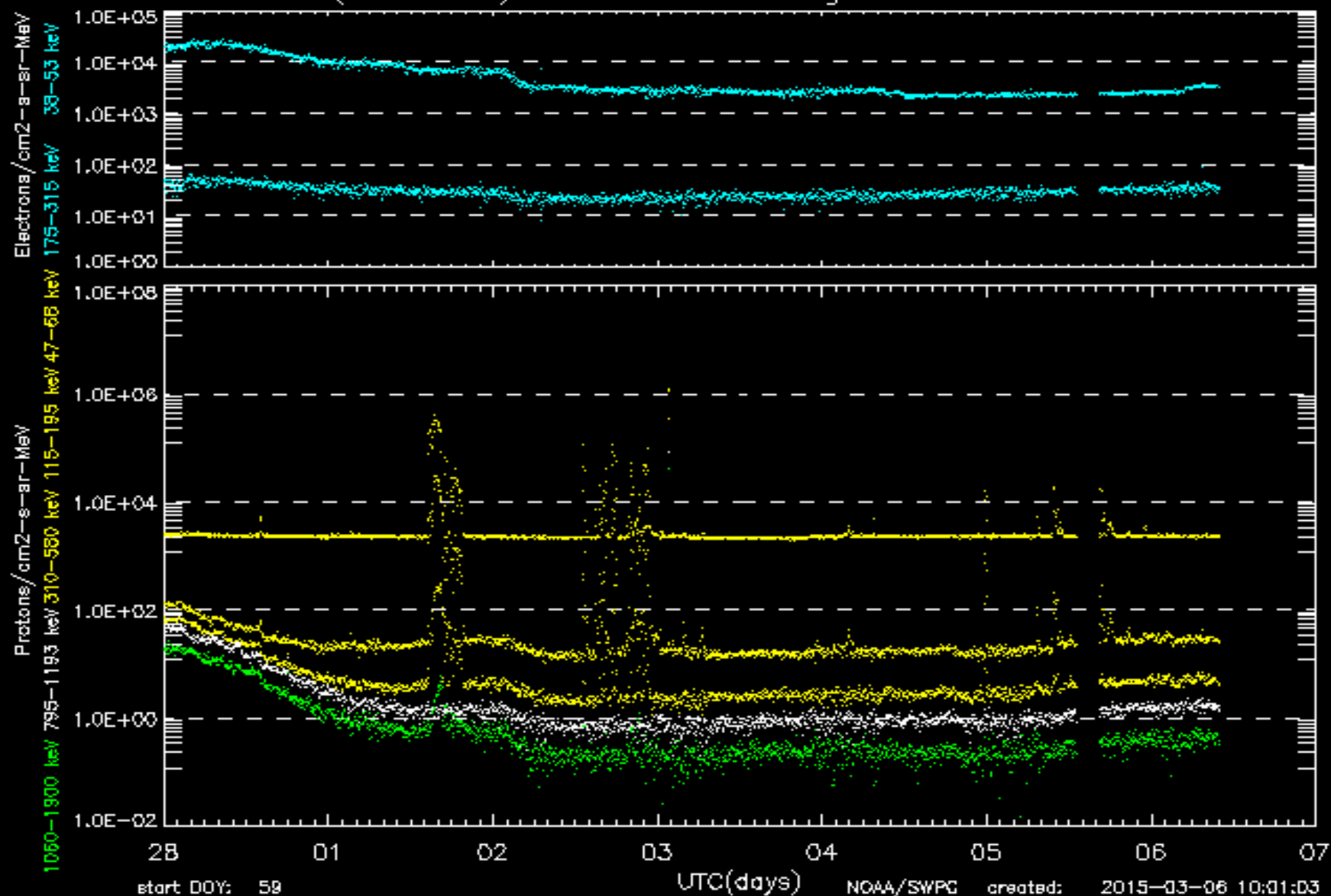
1 maio



18 a 23 abril

ACE RTSW (Estimated) EPAM

Begin: 2015-02-28 00:00:00UTC



Erupções solares e o vento solar

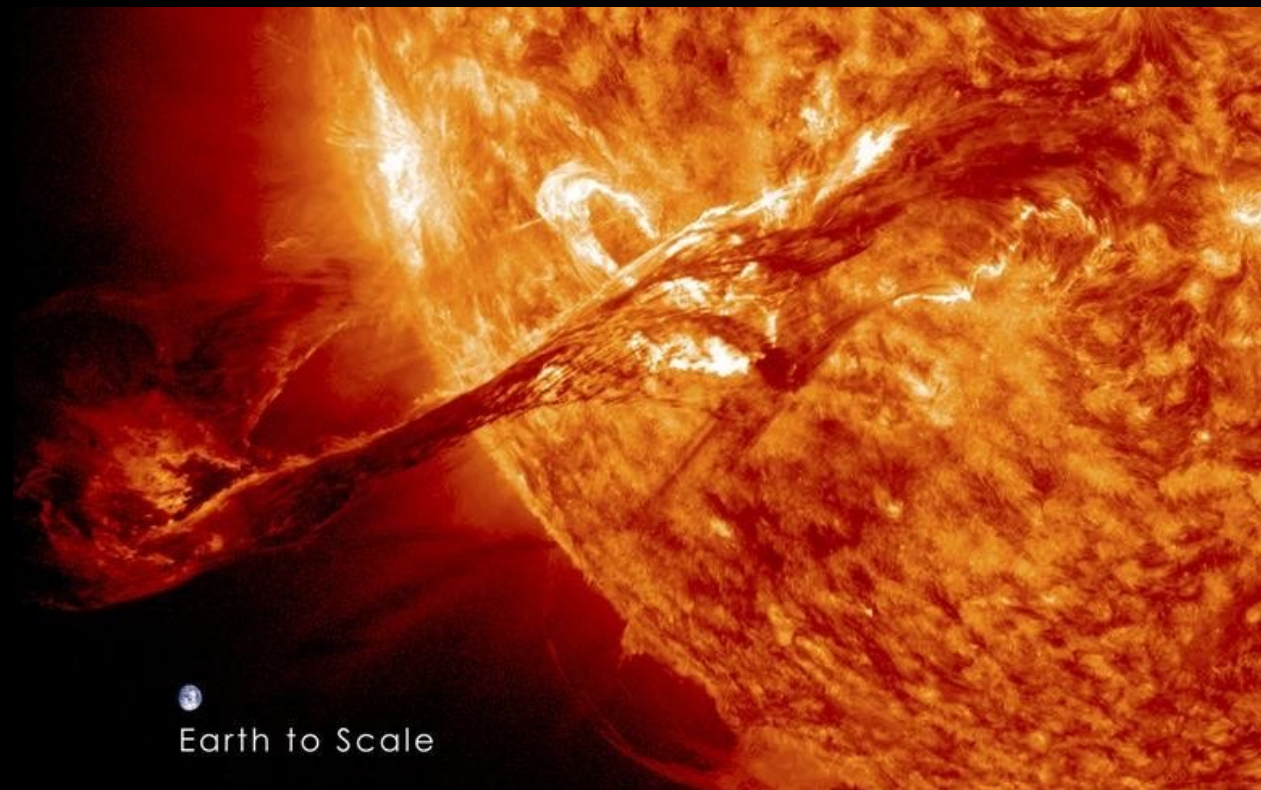


A atividade magnética do Sol produz gigantescas erupções que ejetam material de sua superfície para longe do Sol na forma de “**vento solar**”.

O vento solar é um fluxo de partículas como prótons (núcleos de hidrogênio), elétrons, núcleos de hélio, etc.

Como uma parte significativa dessas partículas são portadoras de cargas elétricas, elas interagem e seguem as linhas de força do campo magnético do Sol, muitas vezes formando grandes arcos.

Uma proeminência solar

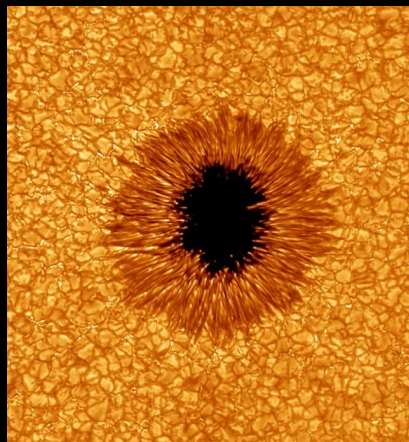


A quantidade de matéria ejetada nas erupções solares é de bilhões de toneladas. Na imagem acima pode-se ver uma proeminência formada a partir de uma erupção, comparada com a Terra para se ter uma noção de dimensões.

Atividade solar

Além dos arcos, a atividade magnética do Sol produz “manchas” na superfície do Sol, regiões onde a temperatura é 1000K menor e portanto menos brilhantes. O vento solar, por sua vez, produz auroras na Terra e em outros planetas. Já foram observadas auroras em Júpiter e Saturno.

Durante os ciclos de alta atividade solar, as tempestades solares podem causar danos à redes elétricas na Terra e ao sistema de telecomunicação e geoposicionamento por satélites.

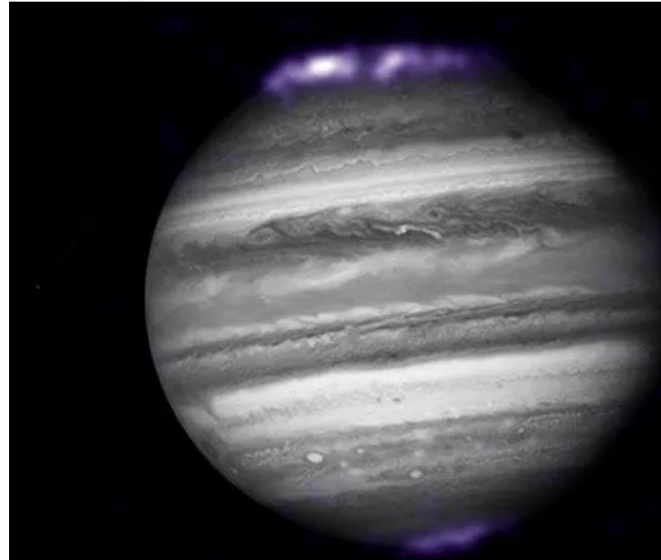


Aurora nos pólos de Júpiter

Júpiter tem período de rotação de 9.6h → intenso campo magnético → íons de alta energia.

Além dos íons do vento solar, íons provenientes de Io interagem com a magnetosfera Joviana.

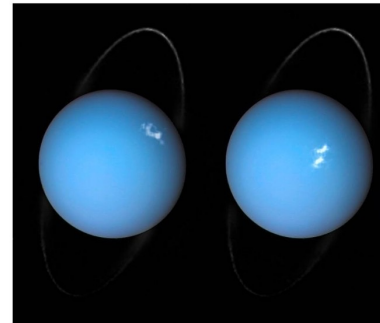
À direita, composição de imagem óptica do planeta com imagem obtida com o telescópio de raios X Chandra, em 2007.



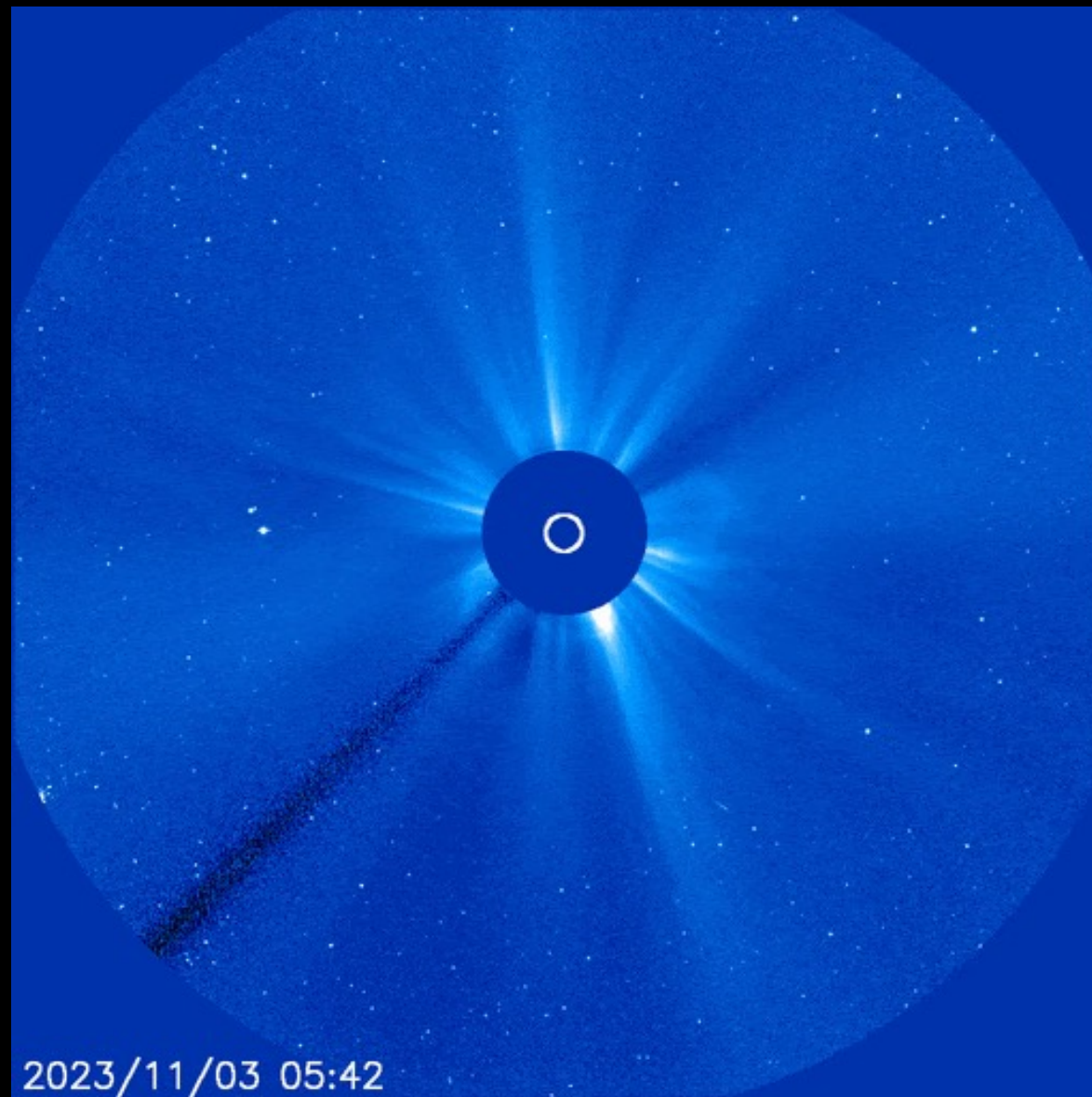
Auroras nos demais gigantes



Composição de imagens óptica e no ultra-violeta, obtidas com o telescópio Hubble, 2017.



Composição de imagens óptica da sonda Voyager 2 (1980s) com imagens UV obtidas com o telescópio Hubble, 2012 e 2014.

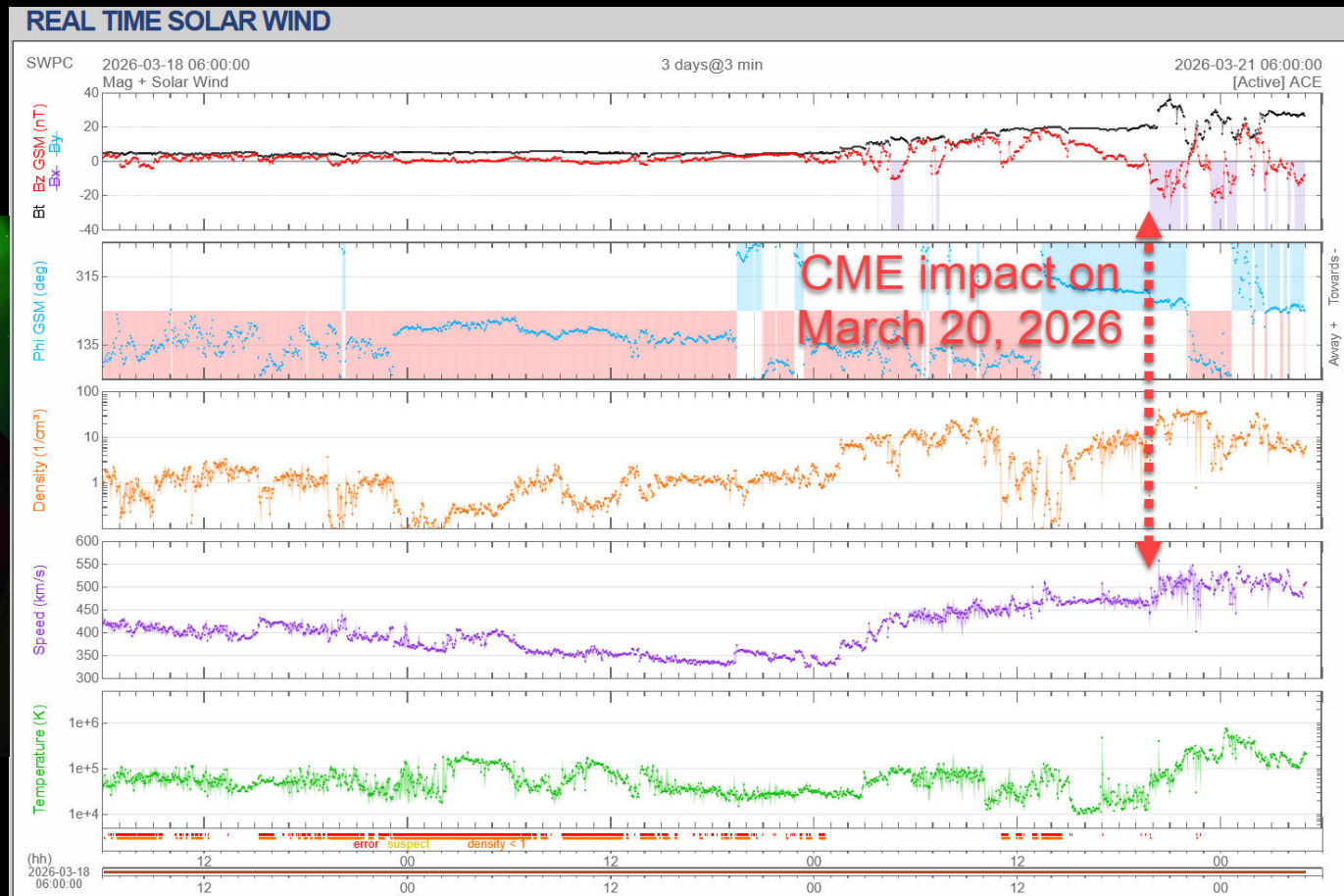


2023/11/03 05:42

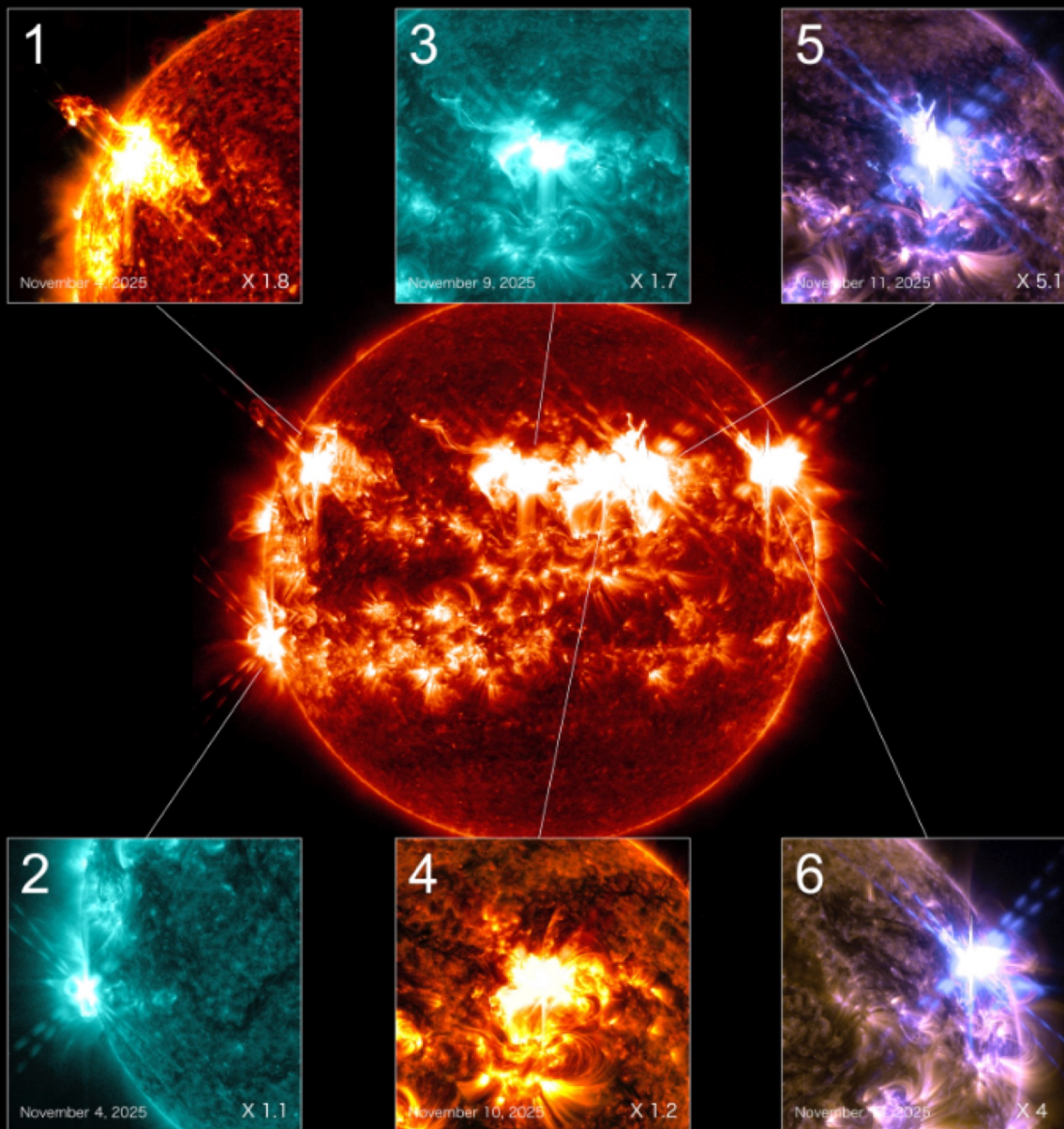
Ejeção Coronal de Massa na Terra em 20 março 2026



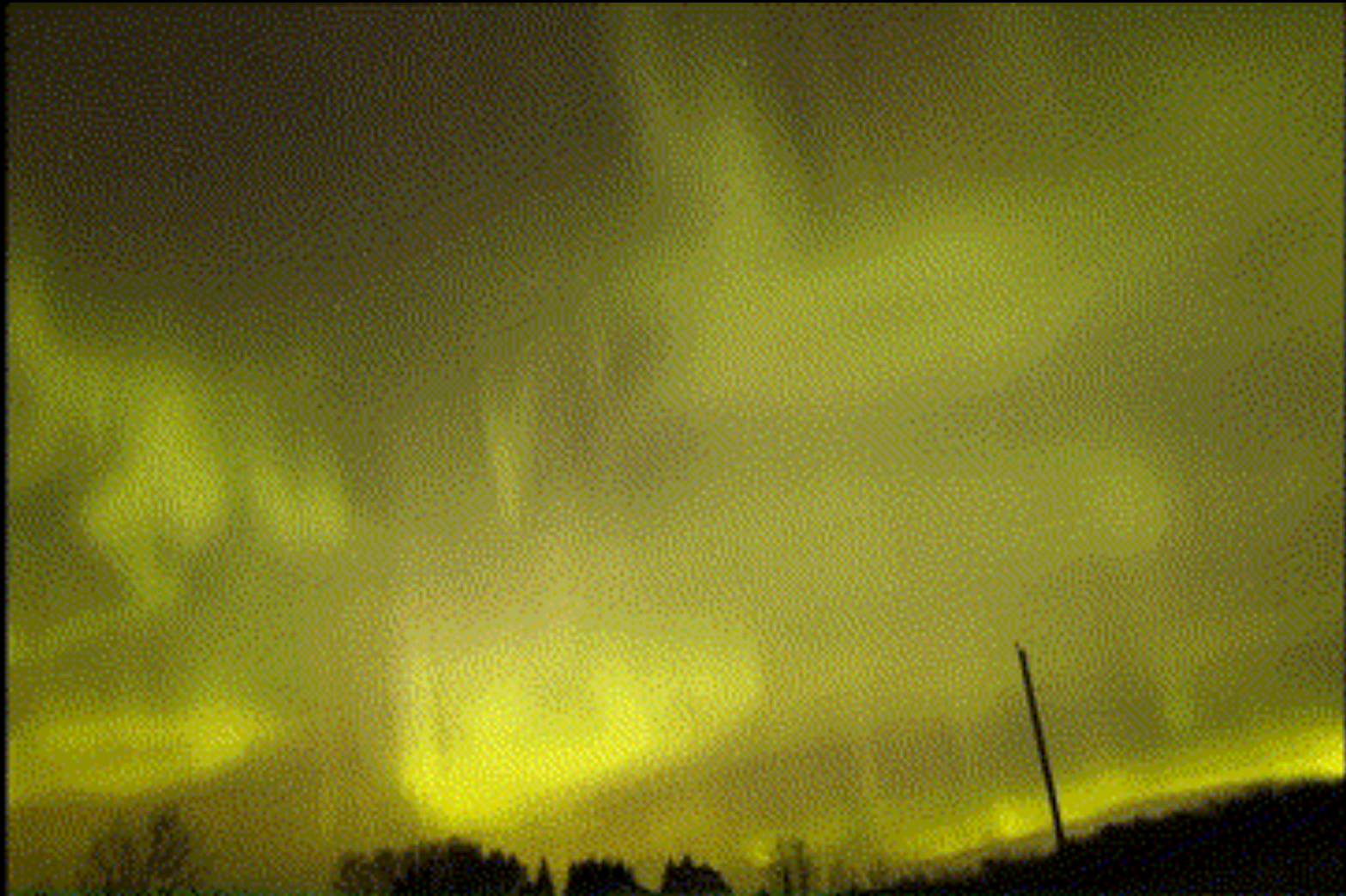
Finlândia

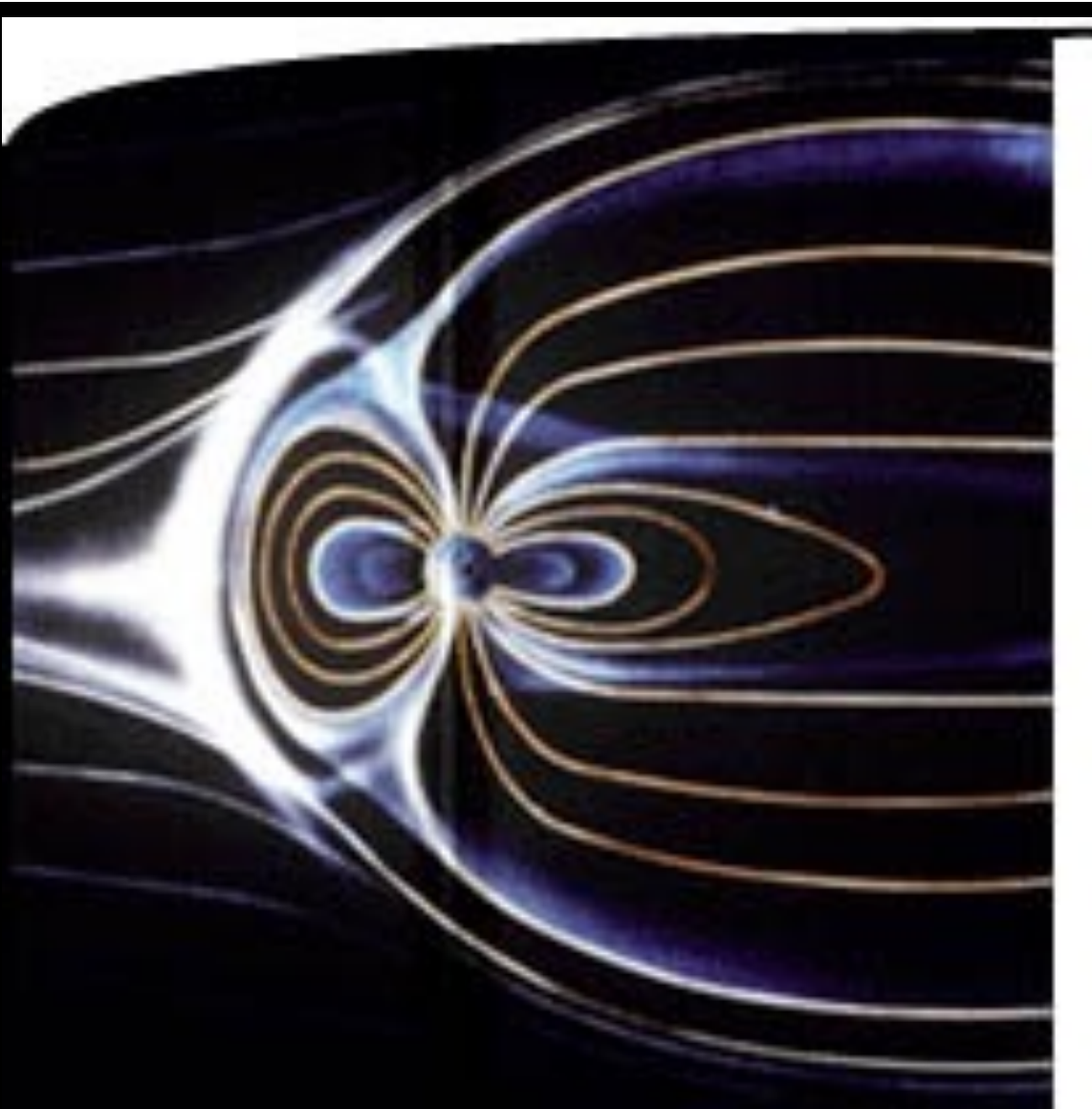


6 flares de raio-X em
Novembro/25

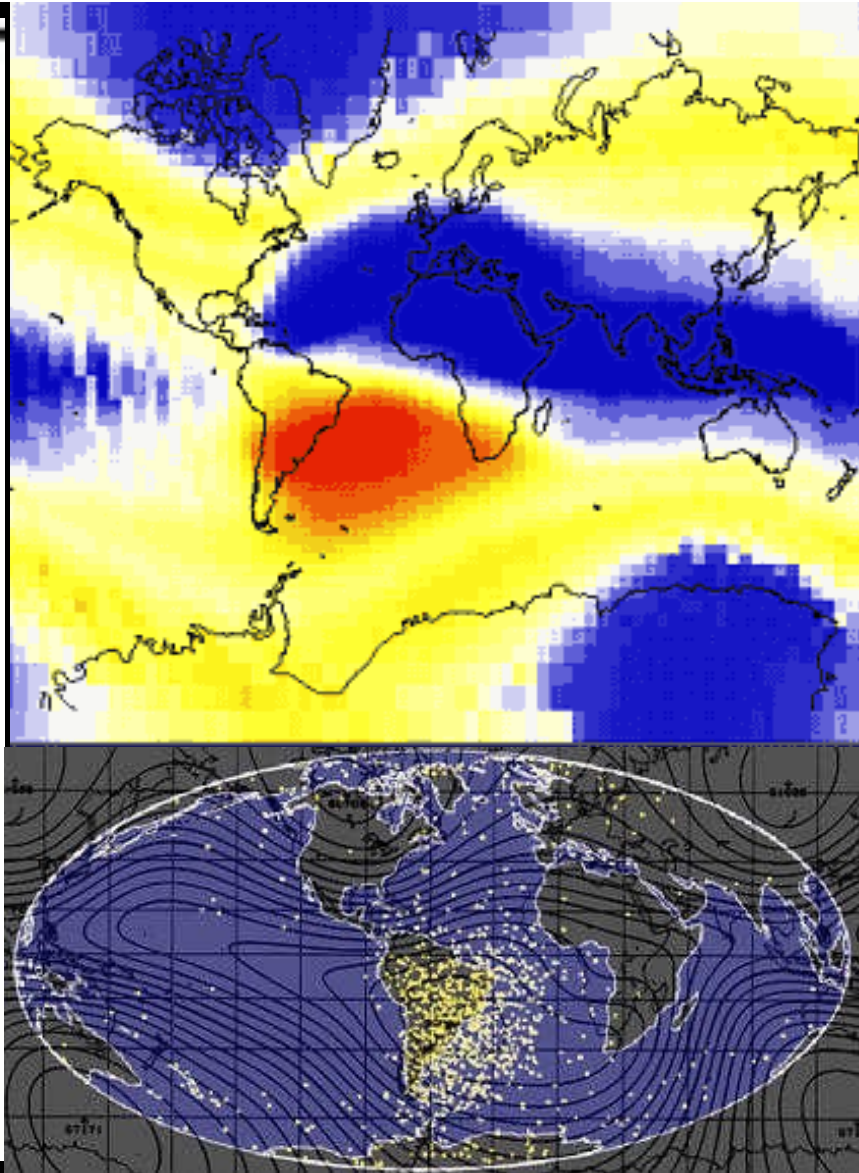


Auroras



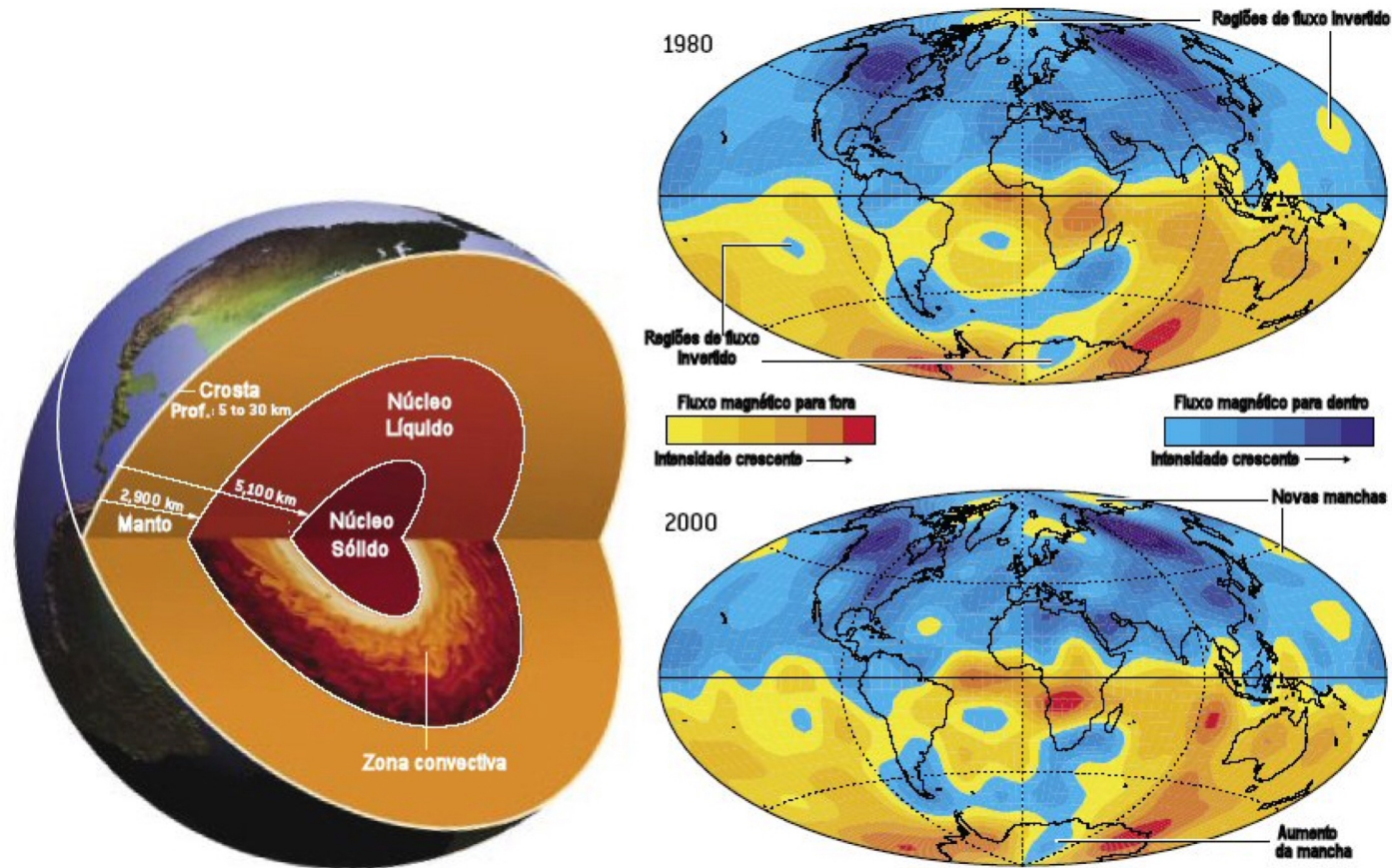


Cinturão de Van Allen



Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul

A Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul é uma mancha de fluxo invertido, isto é, uma mancha com fluxo magnético direcionado para dentro no hemisfério de fluxo direcionado para fora. Existem outras manchas menores, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul, de acordo com as medições de campo magnético pelos satélites [Magsat](#) em 1980 e [Ørsted](#) em 2000.



Tempestades Solares na Terra

Data	Hora (UT)	Índice K _p
21 jan 2026	6 hr	7
21 jan 2026	3 hr	7
21 jan 2026	0 hr	7.33
20 jan 2026	21 hr	7.7
20 jan 2026	9 hr	7.7
20 jan 2026	6 hr	7.7
19 jan 2026	21 hr	8.67
19 jan 2026	18 hr	8.33
13 nov 2025	3 hr	7.33
12 nov 2025	9 hr	7.7
12 nov 2025	6 hr	8.67
12 nov 2025	3 hr	7
12 nov 2025	0 hr	8.67
06 nov 2025	3 hr	7
30 set 2025	3 hr	7
03 jun 2025	3 hr	7
02 jun 2025	9 hr	7
01 jun 2025	9 hr	7.3
01 jun 2025	6 hr	7.7 (G4)
16 abr 2025	12 hr	7.3
16 abr 2025	19 hr	7.7 (G4) CME, corrente elétrica, aurora
01 jan 2025	15 hr	8 (G4)
11 out 2024	6 hr	8
10 out 2024	15 hr	9 (G5)
8 out 2024	3 hr	7
17 set 2024	0 hr	7
12 ago 2024	15 hr	8
11 mai 2024	12 hr	9
10 mai 2024	18 hr	9
24 mar 2024	15 hr	8,33

Efeitos na Terra das Ejeções Coronais de Massa

As ejeções coronais de massa viajam a 1 milhão km/hora e levam entre 1 e 4 dias para chegar à Terra.

Em 1859, interrupção dos telégrafos por fulguração solar – evento de Carrington.

- Danos a satélites diretos e causados por fricção por expansão da atmosfera
- Erro no posicionamento de navios e aviões por vários quilômetros, tanto GPS quanto Loran e (rádio). Normalmente duram 10 minutos mas já duraram até 13 horas.
- Danos às redes elétricas, induzindo voltagens de milhares de volts e queimando transformadores.
- Danos às tubulações metálicas de gaseodutos e oleodutos, por corrosão
- Aumento na radiação ionizante nas pessoas, principalmente em vôos de alta altitude, supersônicos e astronáuticos.

Event Type	Event Counts	Number of Flights	Cancelled Flights	Cancellation Rate (%)
QTPs	-	3,409,175	78,582	2.30 Mínimo
SFs	52	400,583	18,255	4.56
ICMEs	43	347,479	14,982	4.33
SPEs	8	62,864	3,425	5.46
SWEs	103	810,926	36,658	4.53

Space Weather Events (SWEs)

Solar Flares (SFs)

Interplanetary Coronal Mass Ejections (ICMEs)

Solar Proton Events (SPEs)

2015-2019

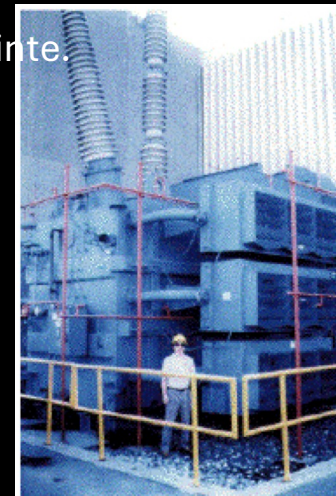
Danos das correntes elétricas

- Em 1994, os satélites de comunicação Anik E1 e E2, AT&T Telstar 1, em 1998 o Galaxy 4, de pagers, cada um de 100 milhões de dólares, foram queimados por tempestades solares.

Em 1992 uma flutuação de 2500 volts na rede elétrica do Wiscosin, UA, e queima de um transformador de 230 000 volts na British Columbia, no valor de 100 milhões de dólares.

Em 1 de de março de 1989, uma ejeção coronal de massa queimou este transformador de 100 milhões de dólares em Quebec, Canadá, deixando 6 milhões de pessoas sem energia elétrica por 9 horas e em algumas províncias por duas semanas.

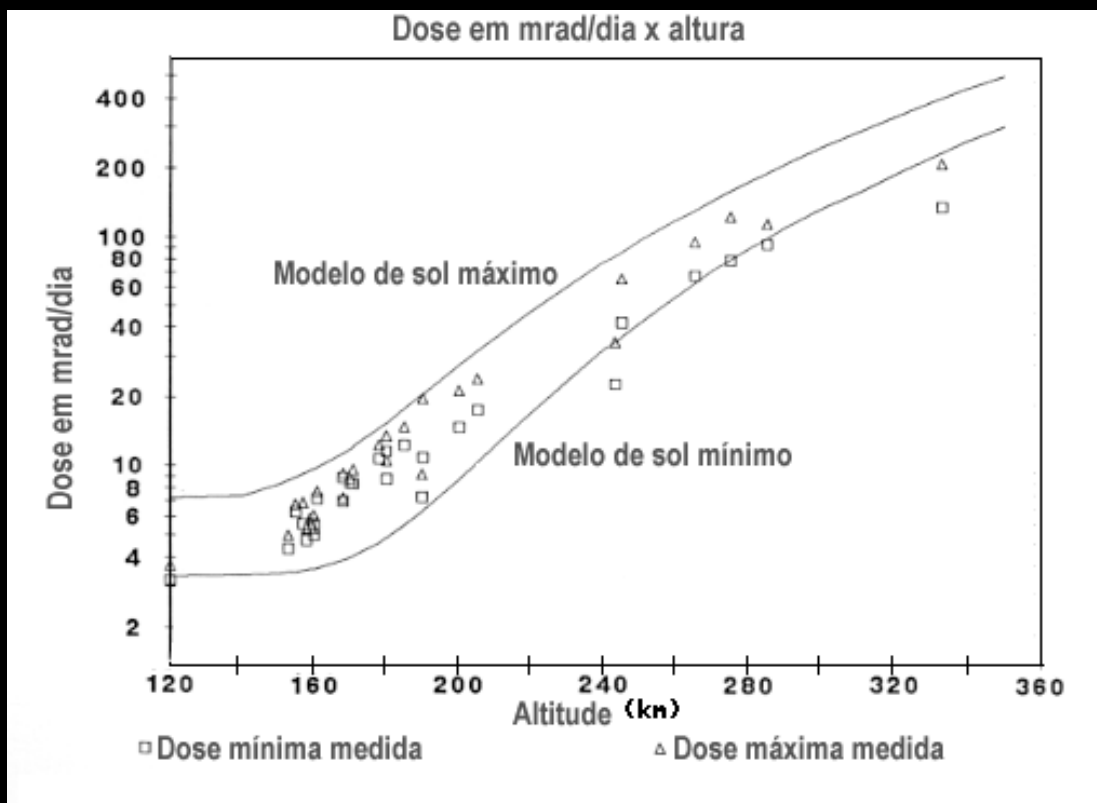
Em 12 de março de 1999, apagão de Bauru, deixou 76 milhões de brasileiros em 10 estados no escuro, das 22h às 3:39h do dia seguinte.



Transformador

queimado em 13 de março de 1989
por tempestade solar.

Efeitos da Radiação



Exposição = dose x qualidade

Qualidade = 1 para radiação eletromagnética

5 para elétrons

20 para alfas

Os sobreviventes da bomba de Hiroshima, no Japão, tiveram uma exposição média de 230 mSy (4 Sy a 1000 metros do local da explosão).

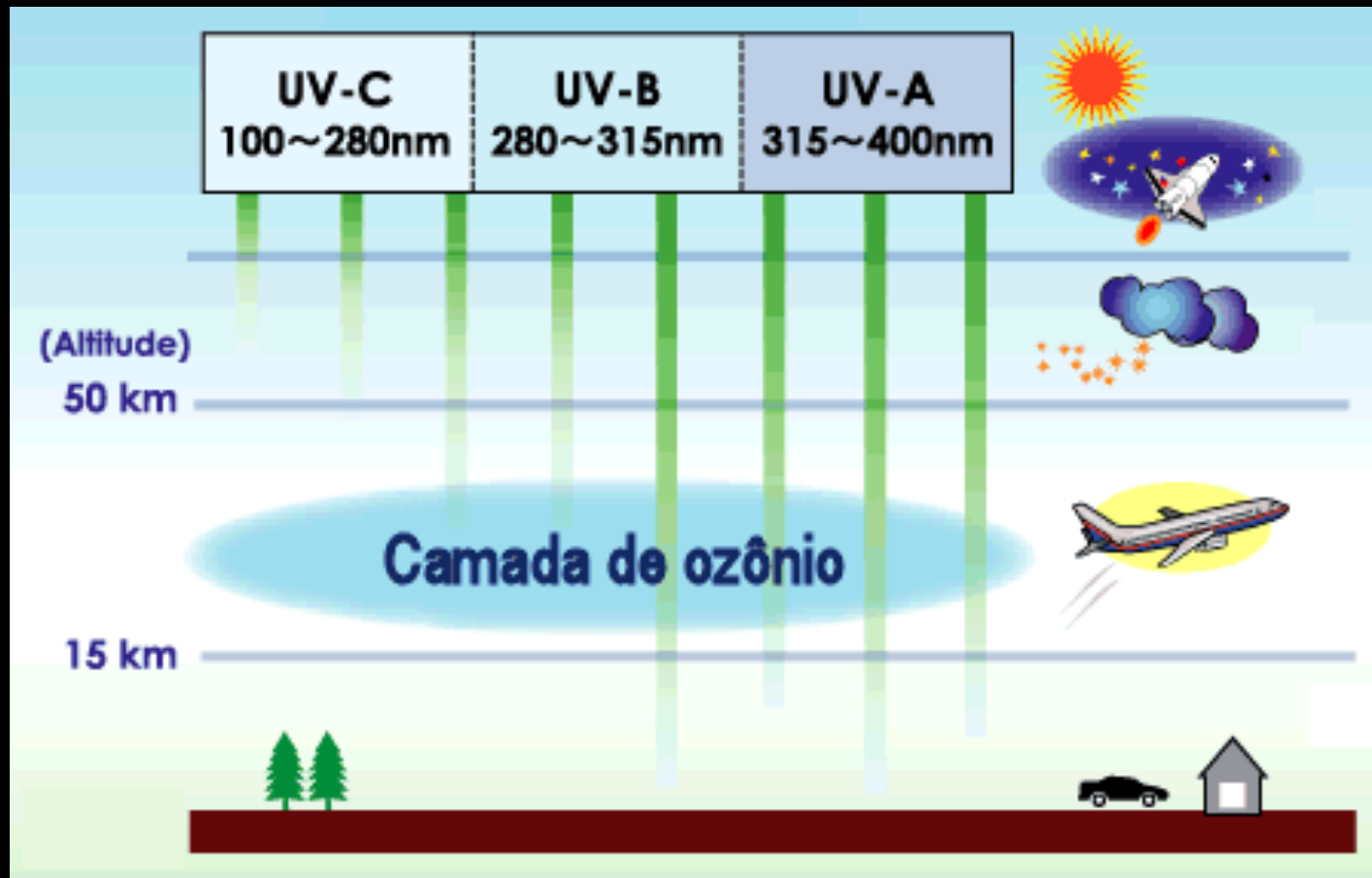
Exposições acima de 2 Sv já causam danos sérios, e acima de 6 Sv causam a morte em menos de 2 meses em 80% dos casos.

Uma exposição de um 1 Sivert resulta em uma probabilidade de desenvolver câncer fatal em 5,5%. A exposição recomendada é 1 mSy/ano.

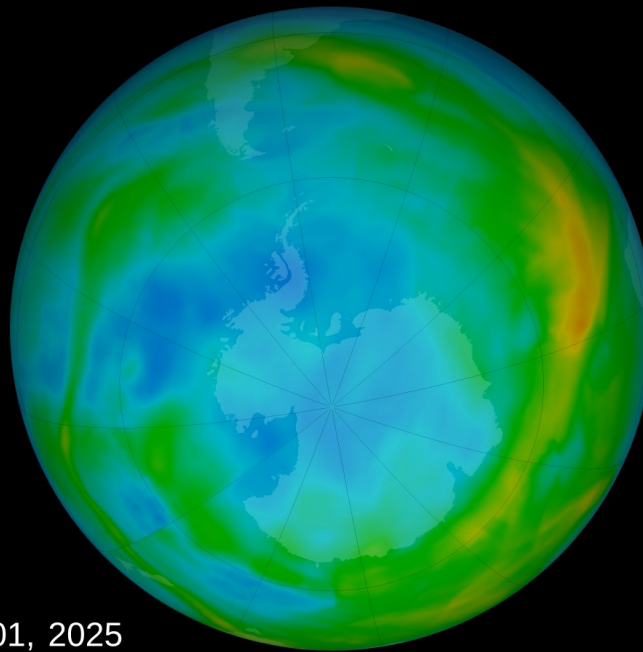
Na estação espacial a exposição média é 60 mSy/ano.

Durante uma ejeção coronal de massa atinge 70 Sy/m na superfície da Lua, o que é fatal!

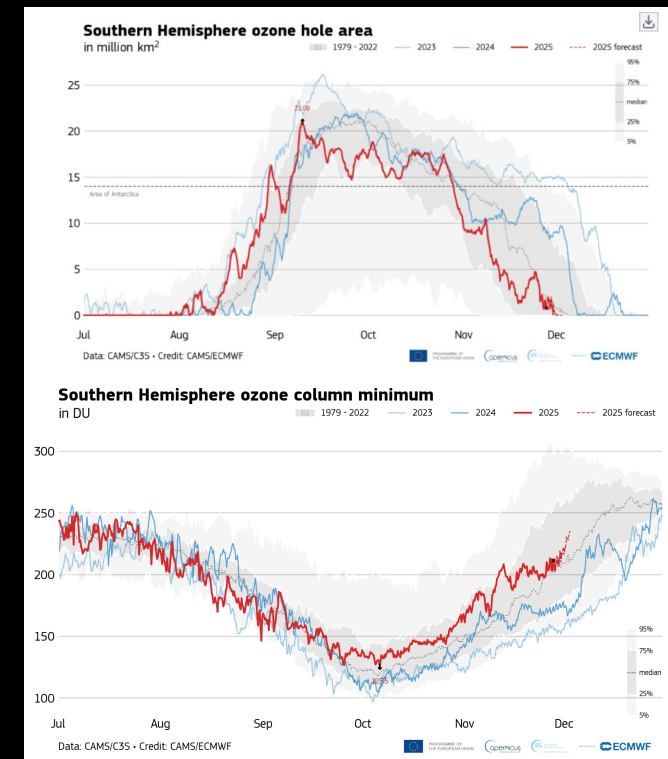
Camada de Ozônio



Buraco de Ozônio cresce no inverno, desde 1979



Jul 01 Dec 31





Maximum yearly extent of the ozone hole



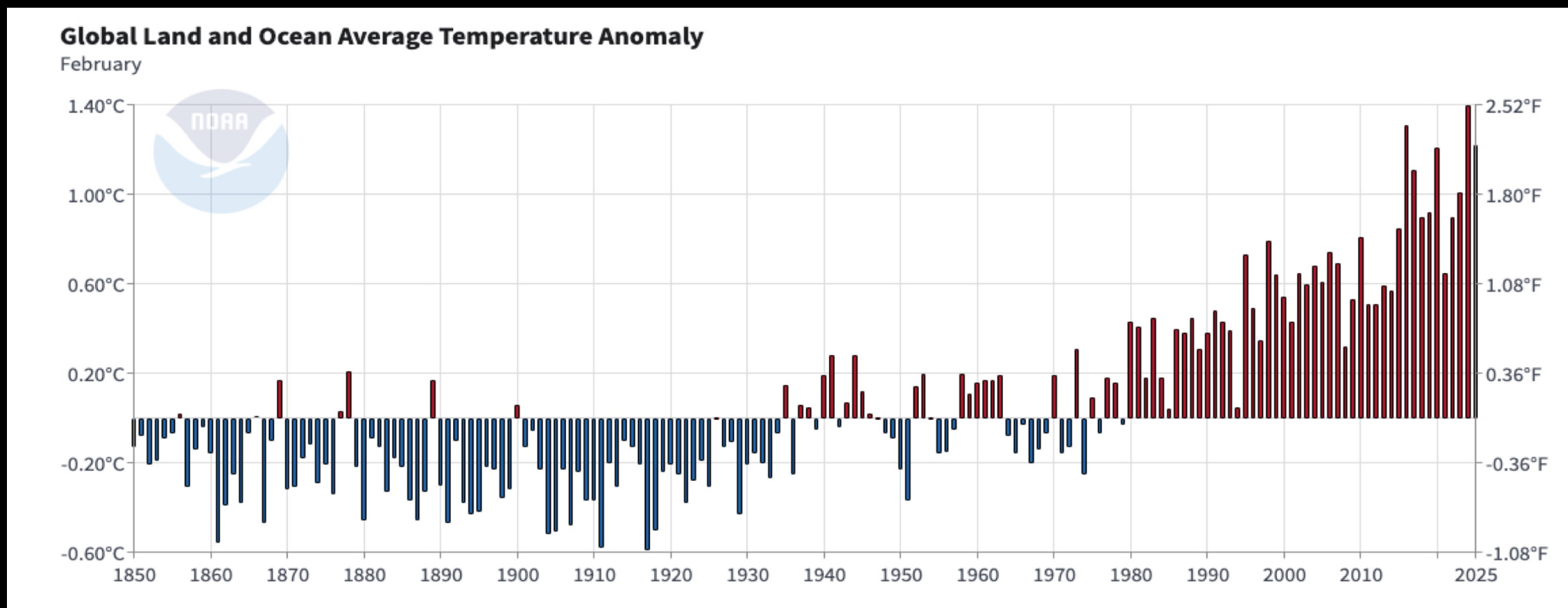
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



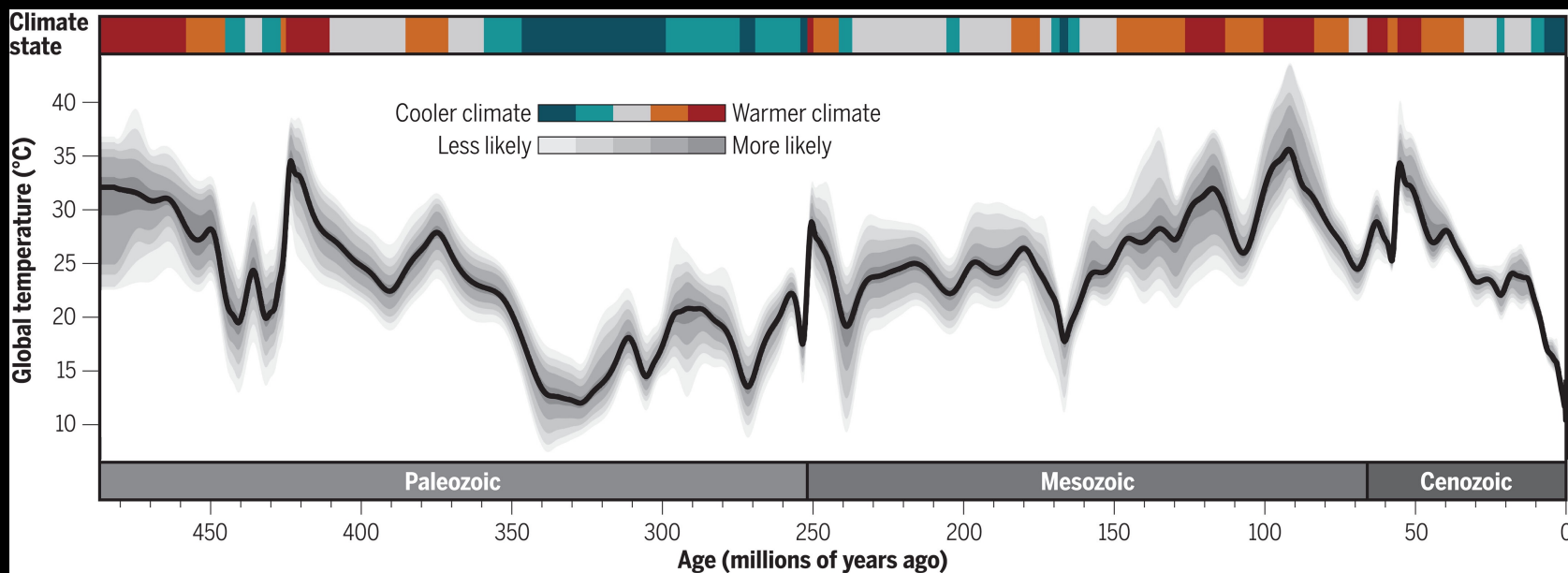
IMPLEMENTED BY



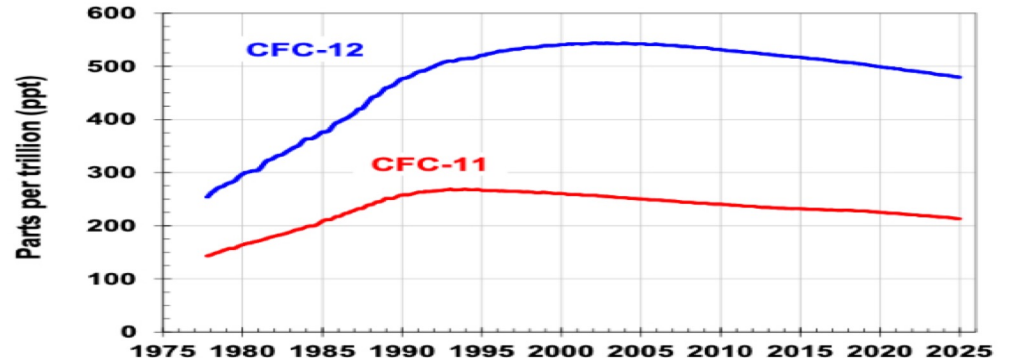
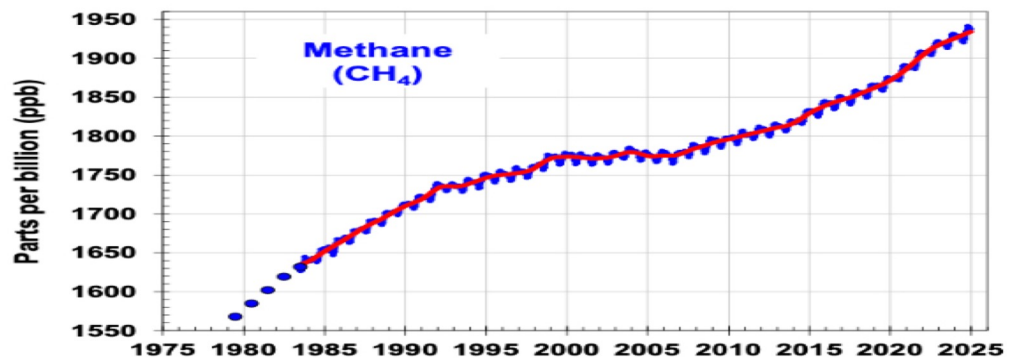
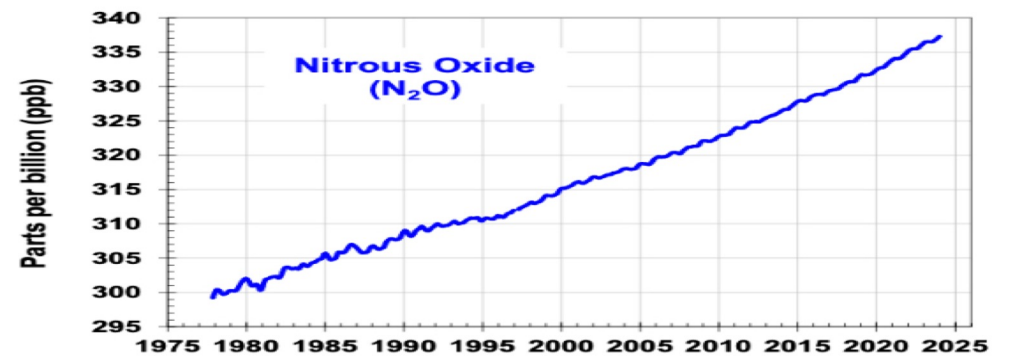
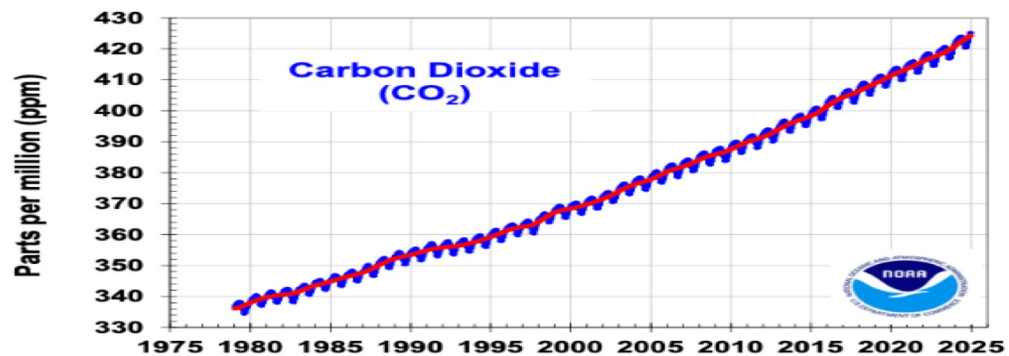
Temperatura na Terra



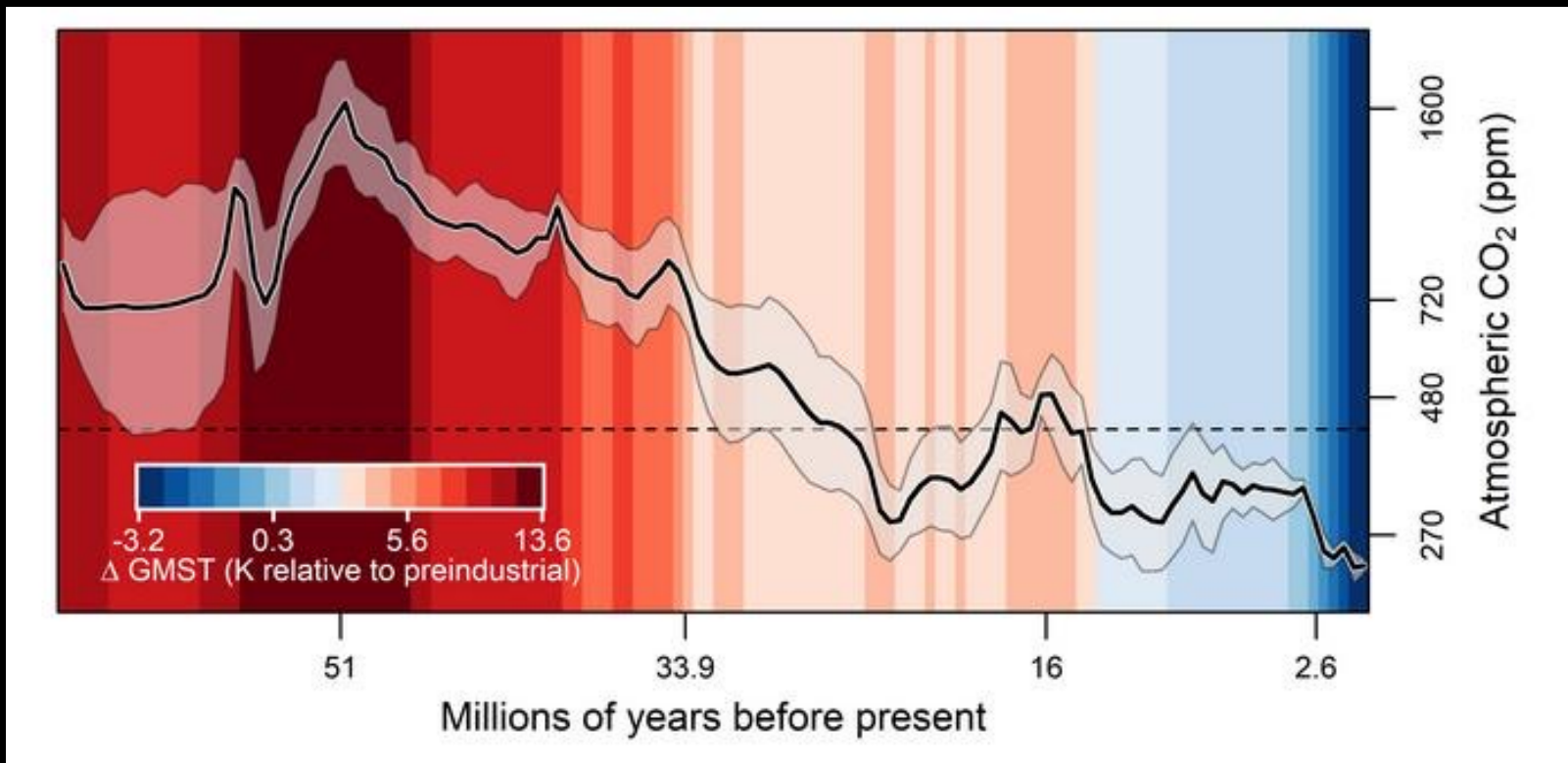
Na última era glacial, a variação de temperatura no topo da troposfera foi de apenas 0,2°.



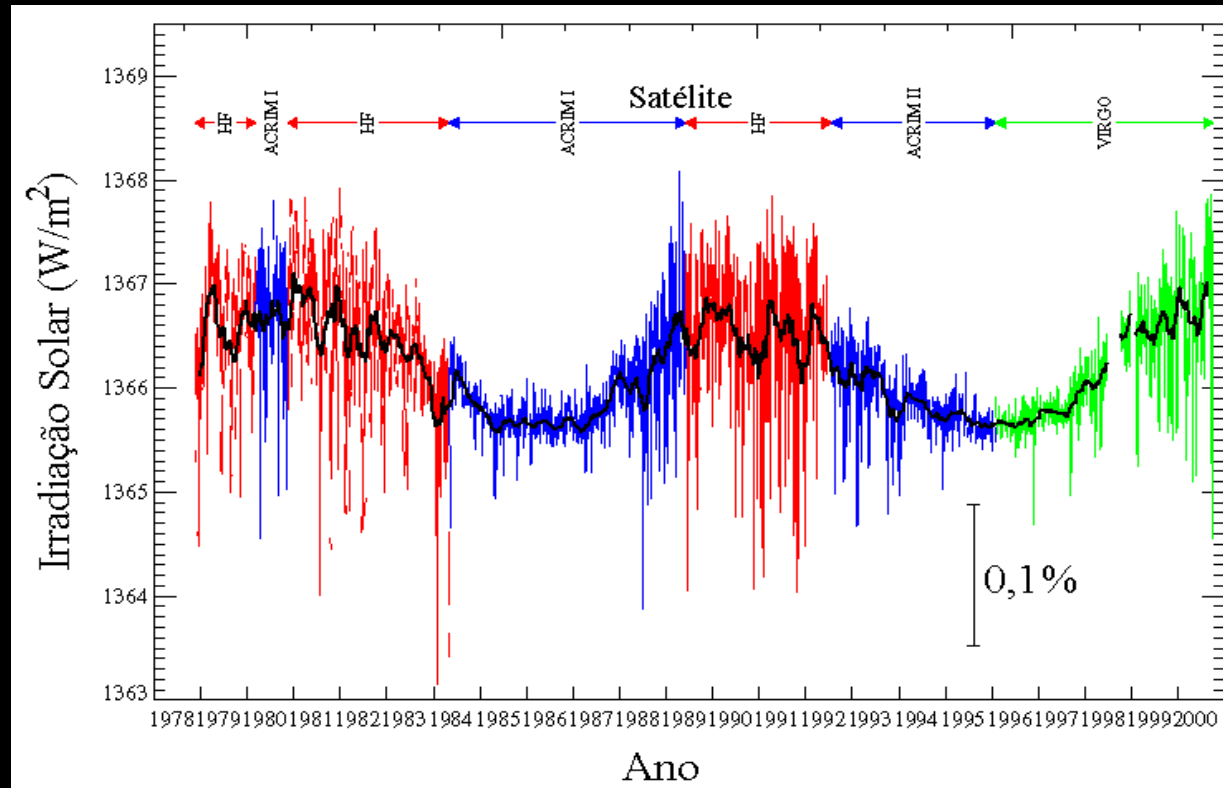
Gases do Efeito Estufa



Determinações das variações na concentração de CO₂ medidas em bolhas de ar em núcleos de gelo até 3270 m de profundidade na Antártica mostram que nos últimos 800 mil anos a concentração nunca tinha passado de 300 partes por milhão. Neste período ocorreram 8 idades glaciais.

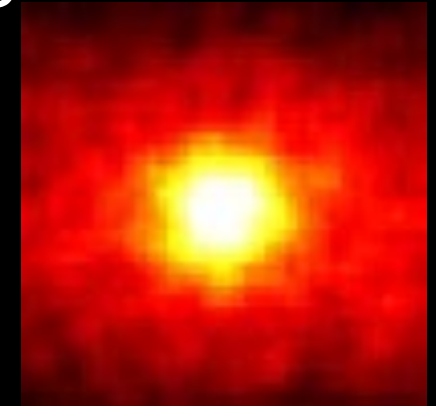
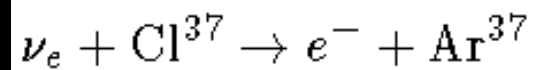
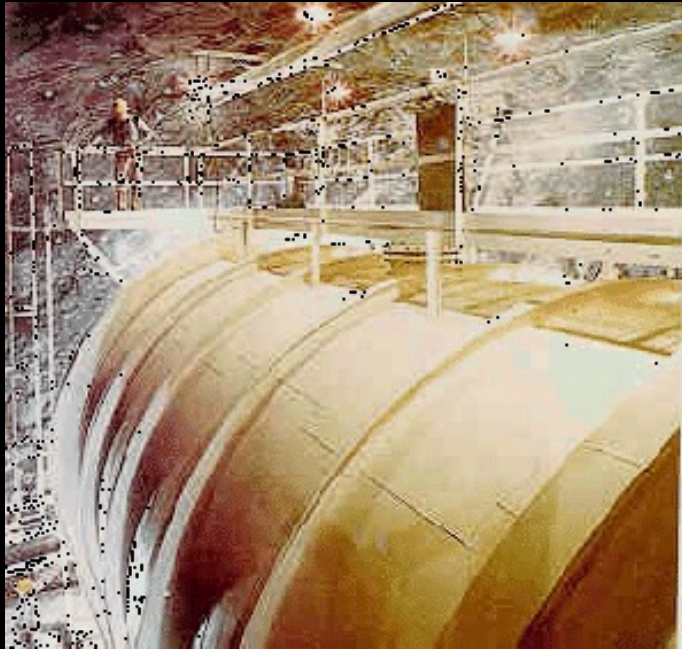


Energia do Sol 1400 watts/m²

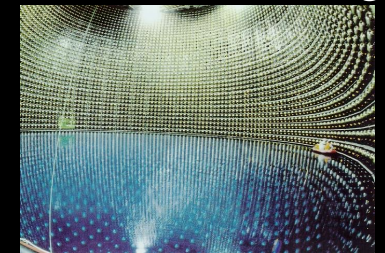


As reações nucleares transformam 600 milhões de toneladas de H em He por segundo para manter esta luminosidade. O Sol tem H suficiente por mais 5,5 bilhões de anos, mas em 1 bilhão de anos a luminosidade aumentará 10% e a T na Terra, mas só em 3,5 bilhões de anos os oceanos se evaporarão. A perda de massa do Sol fará a Terra se deslocar para a posição de Marte, com uma T de 1300 C.

Neutrinos solares: 100 bilhões por segundo



Superkamiokande: 90x90 graus



Em 1968, [Raymond Davis Jr.](#) (1914-2006) instalou um tanque com 600 toneladas (378 000 litros) de fluido de limpeza percloroetileno (C_2Cl_4), do tamanho de um vagão de trem, no fundo de uma mina de ouro a 1500 m de profundidade na cidade de Lead, na Dakota do Sul.

Como aproximadamente um quarto dos átomos de cloro está no isótopo 37, ele calculou que **dos 100 bilhões de neutrinos solares que atravessam a Terra por segundo, alguns ocasionalmente interagiriam com um átomo de cloro, transformando-o em um átomo de argônio.**

Como o argônio³⁷ produzido é radiativo, com vida média de 35 dias, é possível isolar e detectar estes poucos átomos de argônio dos mais de 10^{30} átomos de cloro no tanque.

Mensalmente o número de átomos de argônio no tanque foi medido, determinando o fluxo de neutrinos.

Só 1/3 foi detectado, provando que os neutrinos têm massa e oscilam entre neutrinos de elétrons, múons e táons.

<http://astro.if.ufrgs.br/esol/>

