



Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Astrofísica

Solar burst analysis using a 3D magnetic loop model

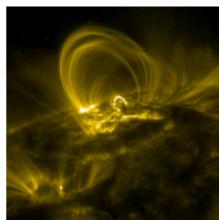
Valente A. Cuambe
Dr. Joaquim E.R. Costa

Outline

- 1 Introdução
 - Solar flares
- 2 Pesquisa
- 3 Descrição do modelo
 - Geometria do campo magnético do dipolo
 - Distribuição espacial do elétron
 - Transferência radiativa
- 4 Exemplo de análises em 3D

Introdução

- Observações em rádio fornecem diagnósticos poderosos de análise na atmosfera solar.
- Explosões solares são emissões rápidas e intensas da radiação eletromagnética que ocorrem nas regiões ativas.
- Física na coroa solar, incluindo **explosões solares** depende do campo magnético nessa região.
- Partículas aceleradas movem-se ao longo dos campos magnéticos e podem ser capturadas devido ao espelhamento magnético emitindo em μ -ondas, ou precipitadas na cromosfera emitindo em raios-X.



Emissão Girossincrotrônica

- Em energia na ordem de 511 KeV, a emissão é vista nos harmônicos $10 < s < 100$.
- Contribuição majoritária de elétrons não térmicos, tornando complexa a definição de j_ν e k_ν .

$$j_\pm(\nu, \theta) = \frac{BN}{V} \frac{e^2}{mc^2} G_\pm\left(\frac{\nu}{\nu_B}, \theta\right) \quad (1)$$

$$K_\pm(\nu, \theta) = \frac{N}{BV} (2\pi)^2 e H_\pm\left(\frac{\nu}{\nu_B}, \theta\right) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} G \\ H \end{bmatrix} = 2\pi n \int_1^\infty d\gamma \int_{-1}^1 d\mu \gamma u(\gamma) g(\mu) \Phi_s^2 \begin{bmatrix} \frac{\nu}{\nu_B} \\ \frac{k}{n^2} H \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \alpha(r)\mathbf{B} \quad (4)$$

Our research target

Análise de explosões solares

Construção de um cenário de ambiente e sua dinâmica, onde o espectro e imagens observados são bem representados pelos calculados.

Problema

As ETR da emissão que descrevem os espectros assim como as imagens não são inversíveis, e portanto somente os métodos de tentativa e erro (ou "forward") serem possíveis de descrevê-los.

Objetivo

Propor um método rápido de cálculo das imagens de explosões solares em μ -ondas com base em metadados criado a partir do banco de modelos em 3D.

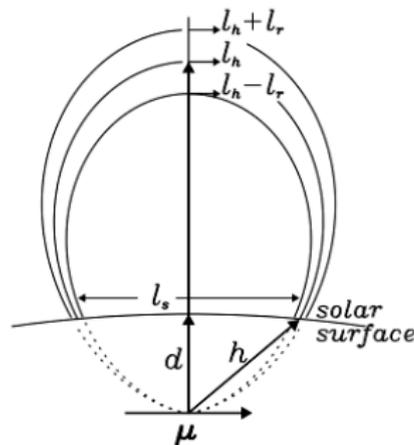
1. Campo magnético do dipolo

O código foi desenvolvido por Simões e Costa (2003), baseado em IDL e C++, implementando o código de Ramaty (1969).

Modificações (2014)

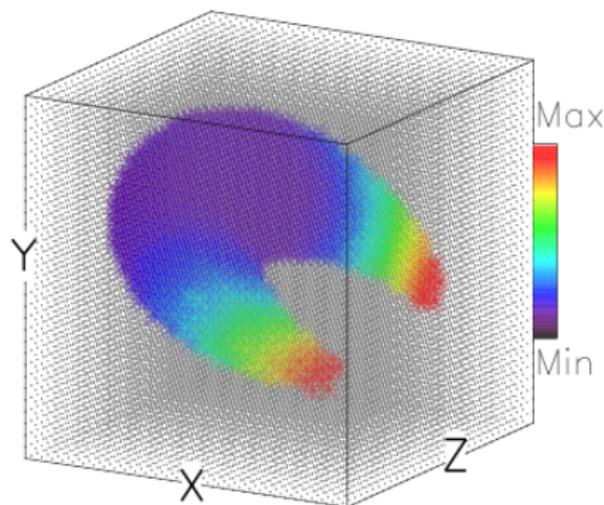
- **Inclinação do arco** : ângulo entre o eixo de simetria e a vertical local.
- **Assimetria do arco**: variação em profundidade nos pés do arco

$$B = \frac{3(\mu r)r - \mu r^2}{r^5} \quad (5)$$



Data cube

X: Est-West solar direction
Y: North- South solar
Z: Observer line of sight



3. Distribuição do elétron

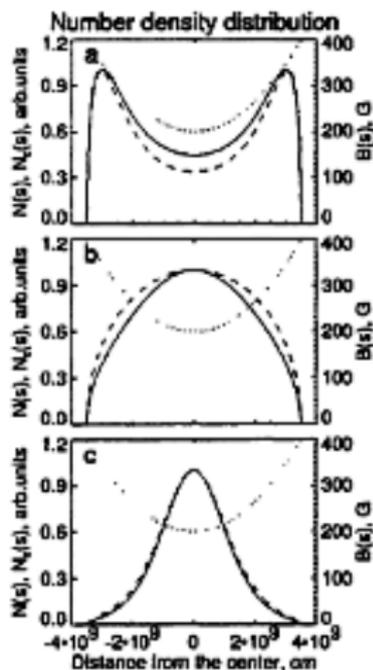
Densidade do ambiente

$$N(h) = N_0 e^{-\frac{h}{H}} \quad (6)$$

$$\bullet \frac{\partial f}{\partial t} = -\mu c \beta \frac{\partial f}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial \mu}(\dot{\mu} f) - \frac{\partial}{\partial E}(\dot{E} f)$$

$$S(E, \mu, s, t) = S_1(E) S_2(\mu) S_3(s) S_4(t) \quad (7)$$

- Distribuição do ângulo de passo:
- *Beam-like*
- *Isotrópico*
- *Pancake-like*



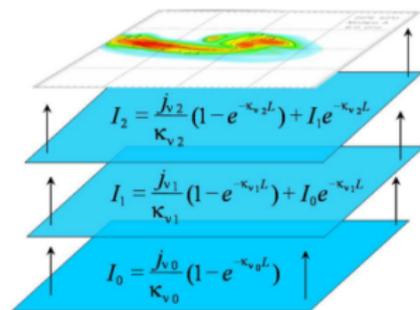
4. Transferência radiativa

$$\mu_{\pm}^2 \frac{d}{dL} \frac{I_{\pm}}{\mu_{\pm}^2} = j_{\pm} - k_{\pm} L \quad (8)$$

Os voxels são infinitesimais tal que as variáveis físicas são uniformes e considerados fontes homogêneas.

$$I_{\nu}(x, y) = \sum_{L_z}^{z=0} \frac{j_{\nu}(x, y, z)}{k_{\nu}} (1 - e^{-k_{\nu}(x, y, z)\Delta L}) + I_{\nu}(x, y, z-1) e^{-k_{\nu}(x, y, z)\Delta L} \quad (9)$$

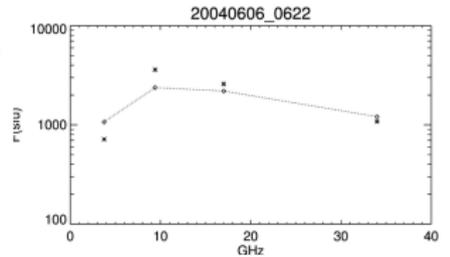
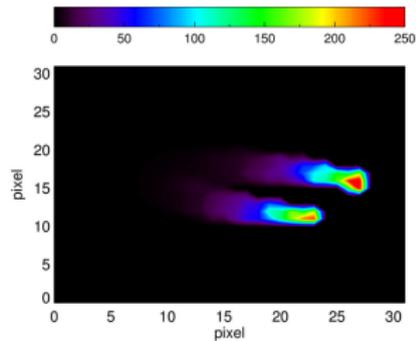
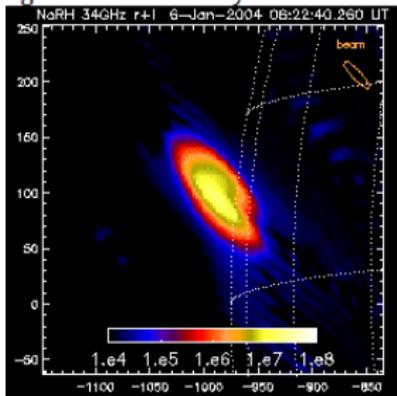
$$S_{\nu}(x, y, t) = I_{\nu}(x, y, t)\Omega \quad (10)$$



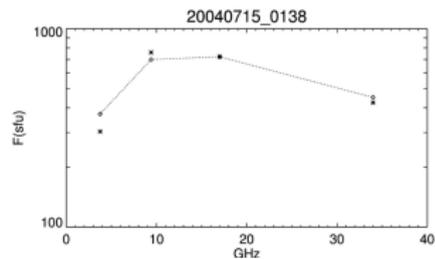
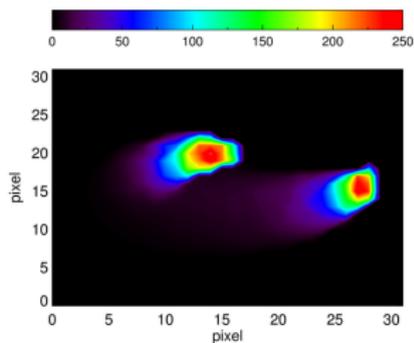
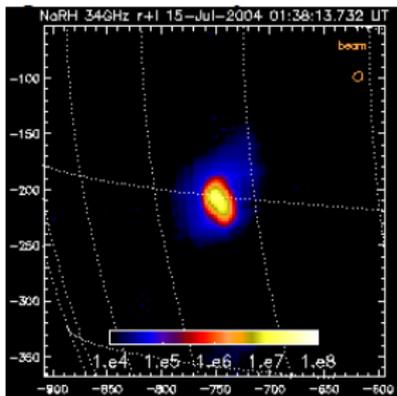
Flares analisados na literatura

Flare n.	Peak Time (UT)	Position	Goes
1	2002 May 31 00:07:20	(-825, -481)	M2.4
2	2002 Jul 23 00:30:30	(-899, -236)	X4.3
3	2003 May 27 23:05:30	(270, -108)	X1.3
4	2003 Jun 17 22:53:30	(-805, -147)	M6.8
5	2004 Jan 6 06:22:40	(-992, -93)	M5.8
6	2004 Jul 15 01:38:30	(-751, -211)	X41.8
7	2004 Jul 16 02:03:00	(-602, -233)	X1.3
8	2005 Aug 25 04:38:10	(-943, 118)	M6.4

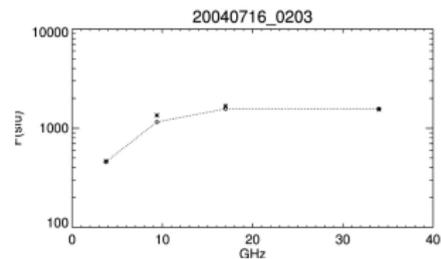
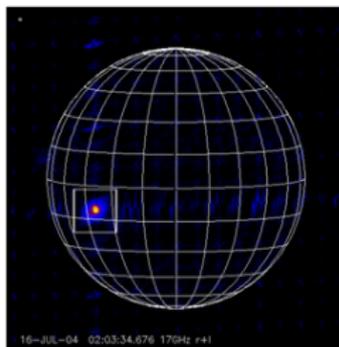
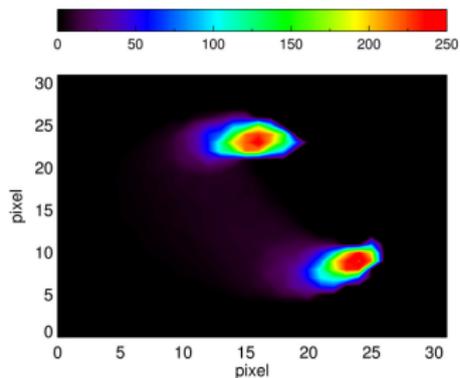
20040106..06:22



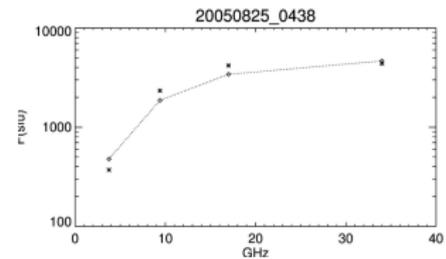
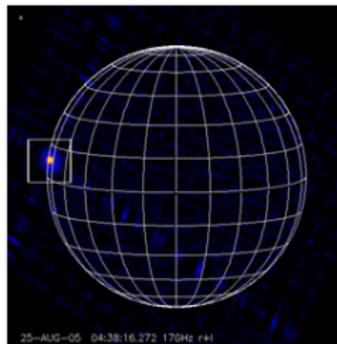
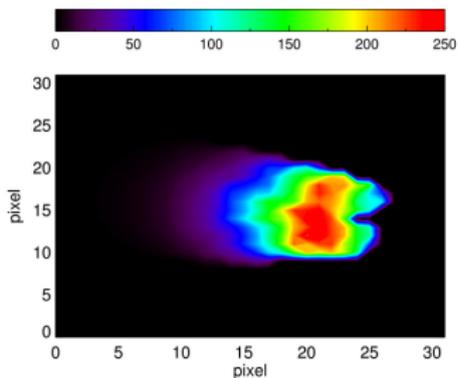
20040715..01:38



20040716..02:23



20050825..04:38



Comparison with Kawate et al.2012

n.	Goes	δ_r Kw/Sm	Depth (10^9 cm)	Area (10^{18} cm ²)	Nel (10^7 cm ⁻³)	B (100 G)
1	M2.4	3.5/2.8	1.1	1.3	0.007/1.5	250
2	X4.3	3.1/1.8	2.3	5.3	410/0.5	150
3	X1.3	2.9/2.3	1.1	1.8	190/0.4	100
4	M6.8	3.3/2.3	1.0	1.1	210/0.7	100
5	M5.8	3.4/2.3	1.9	3.8	5.6/0.4	100
6	X1.8	2.8/2.3	0.9	0.9	7190/0.3	200
7	X1.3	1.6/1.9	0.8	0.7	2750/0.5	150
8	M6.4	2.1/2.2	1.1	1.3	216/1.8	50