



Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Astrofísica

Solar burst analysis using a 3D magnetic loop model

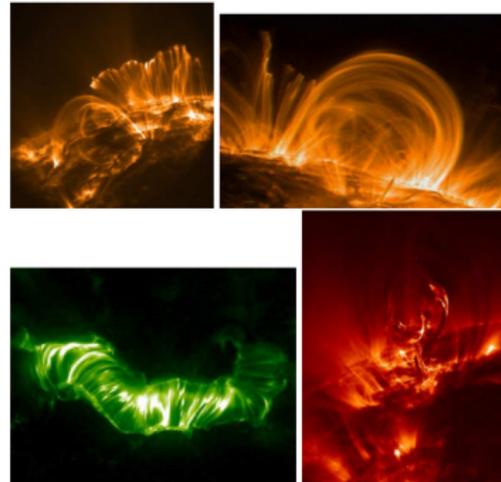
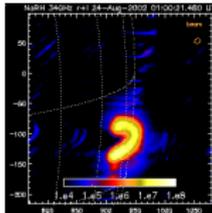
Valente A. Cuambe
Dr. Joaquim E.R. Costa

Outline

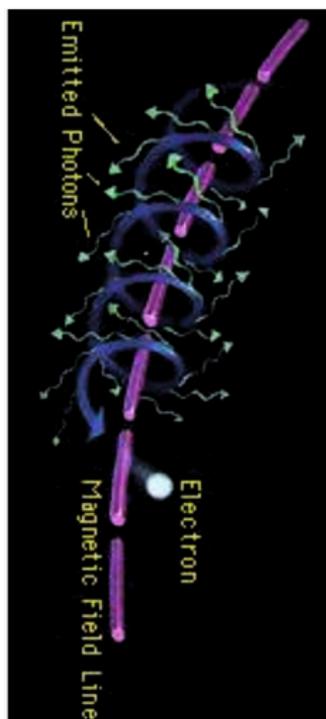
- 1 **Introdução**
 - Mecanismo de emissão
 - Modelo de dipolo magnético em 3D
- 2 **Descrição do modelo**
 - Geometria do campo magnético do dipolo
 - Distribuição espacial de partículas
 - Transferência radiativa
- 3 **Validade do banco**
 - Foward- Fitting Methods
 - Simulation Statistics (136)
 - Resultados preliminares
- 4 **Considerações finais**
 - Final remarks

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



- Energia na ordem de 511 KeV, a emissão é vista em todos harmônicos.
- Contribuição majoritária de elétrons não térmicos, tornando complexa a definição de j_ν e k_ν .

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

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

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

Porquê dos modelos em 3D?

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-fitting") 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.

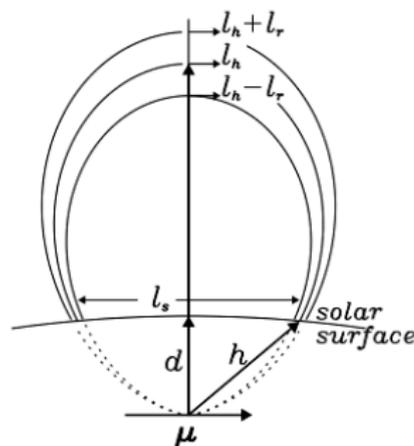
1. Campo magnético do dipolo

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

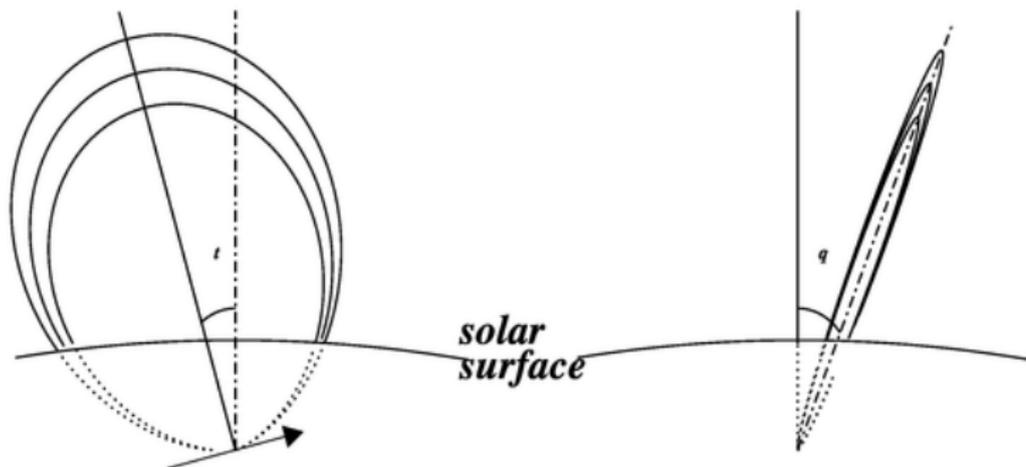
Modificações (2014)

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

$$B = \frac{3(\mu r)r - \mu r^2}{r^5} \quad (4)$$



2. Novas implementações no código



Assimetria do arco

Varição angular no plano do dipolo

Inclinação do arco

Varição angular em relação ao eixo central do arco

3. Distribuição espacial do elétron

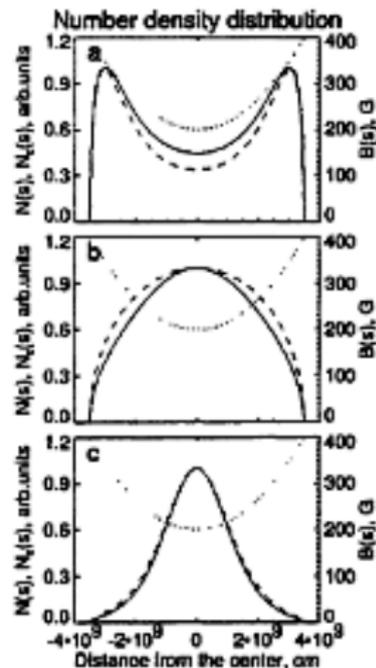
Densidade do ambiente

$$N(h) = N_0 e^{-\frac{h}{H}} \quad (5)$$

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

$$S(E, \mu, s, t) = S_1(E) S_2(\mu) S_3(s) S_4(t) \quad (6)$$

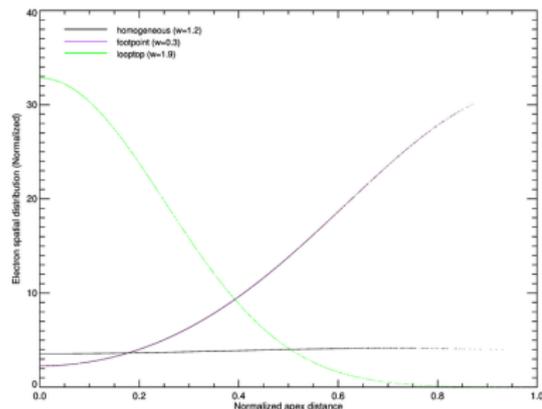
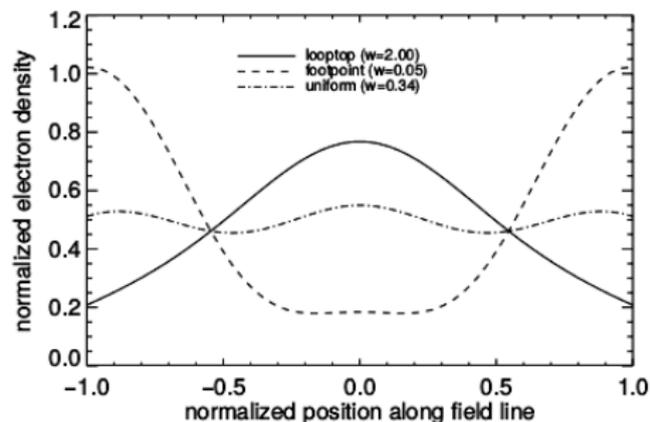
- Distribuição do ângulo de passo:
- *Beam-like*
- *Isotrópico*
- *Pancake-like*



Distribuição espacial do elétron

Densidade numérica dos electrons não térmicos

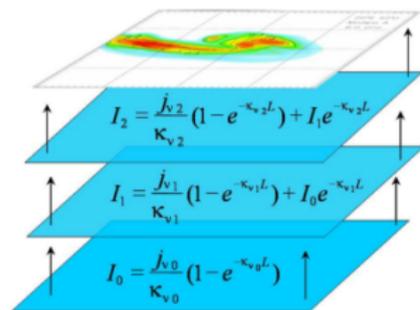
$$N(s) = N_{el} \frac{(2s^4 + w)e^{-2s^2}}{a + bw} \quad (7)$$



4. Transferência radiativa

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

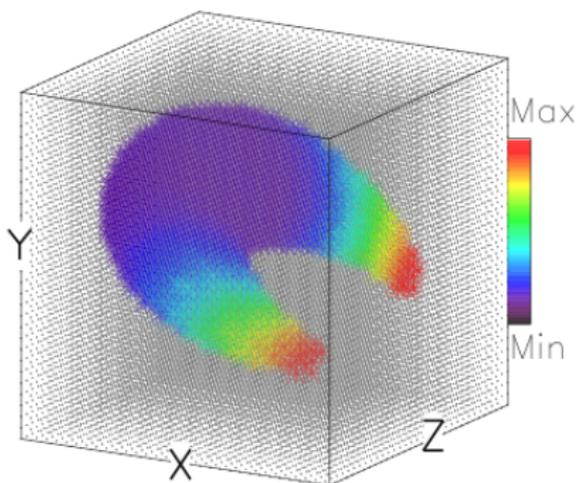
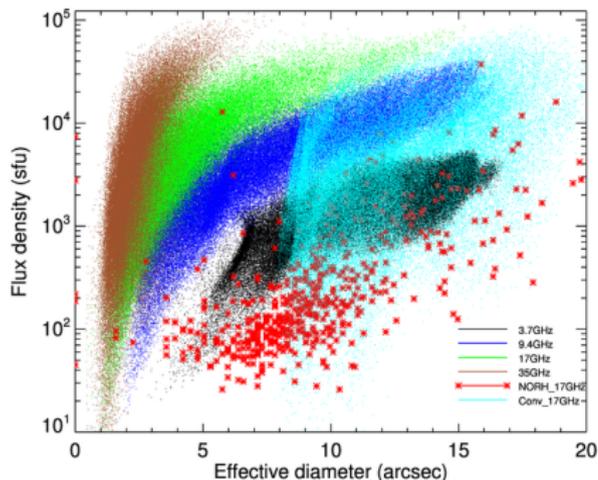
Os voxels são infinitesimais tal que as variáveis físicas são uniformes e considerados fontes homogêneas.



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

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

Base de dados & Cubo de dados



X: East – West (11)

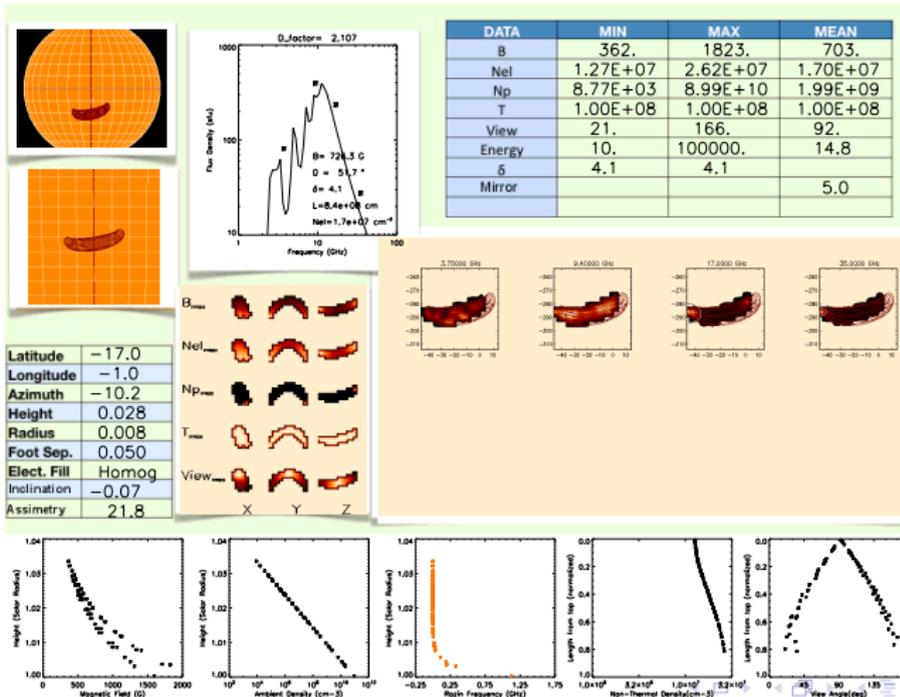
Y: North – South (12)

Z: Observer_line_of_sight (13)

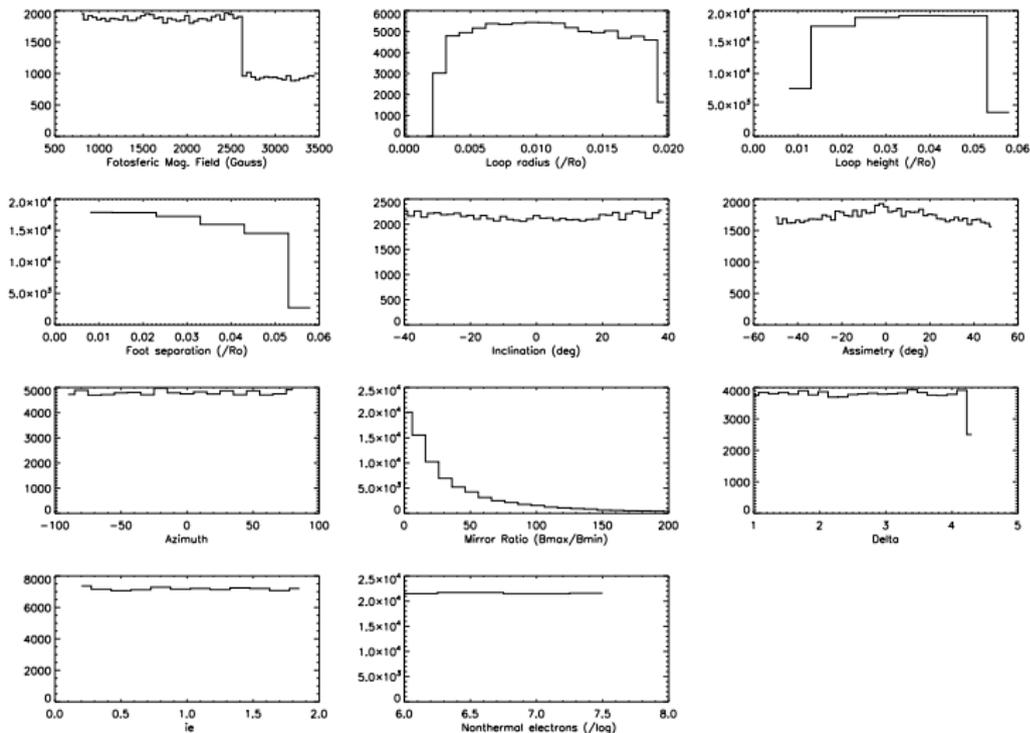
Exemplo de um elemento do banco

nn016ph-011a-17az-10in-00as021ie068ip1c007fs050h027In723Inp109It800en010-100d040m0B1497X1fr37941735.sav

REPORT



Distribuição de parametros no banco



Forward- Fitting Methods (χ^2 & YY)

Table: The minimum and maximum parameters in the model database

No.	Parameter	min	max	Symbols
1	Electron fill	0.2	2	ie
2	Delta	1.	4.4	δ
3	Nonthermal electrons	1×10^6	1×10^8	Nel
4	Asymmetry	-50	50	As
5	Azimuth	-90	90	Az
6	Apex radii	0.002	0.02	R_{arc}
7	Foot separation	0.008	0.06	F_{oot_s}
8	Loop height	0.008	0.06	H_{arc}
9	Loop inclination	-40	40	Inc
10	Magnetic field	800	3500	B

Note: All the distances values are multiplied by solar radii (R_{\odot})

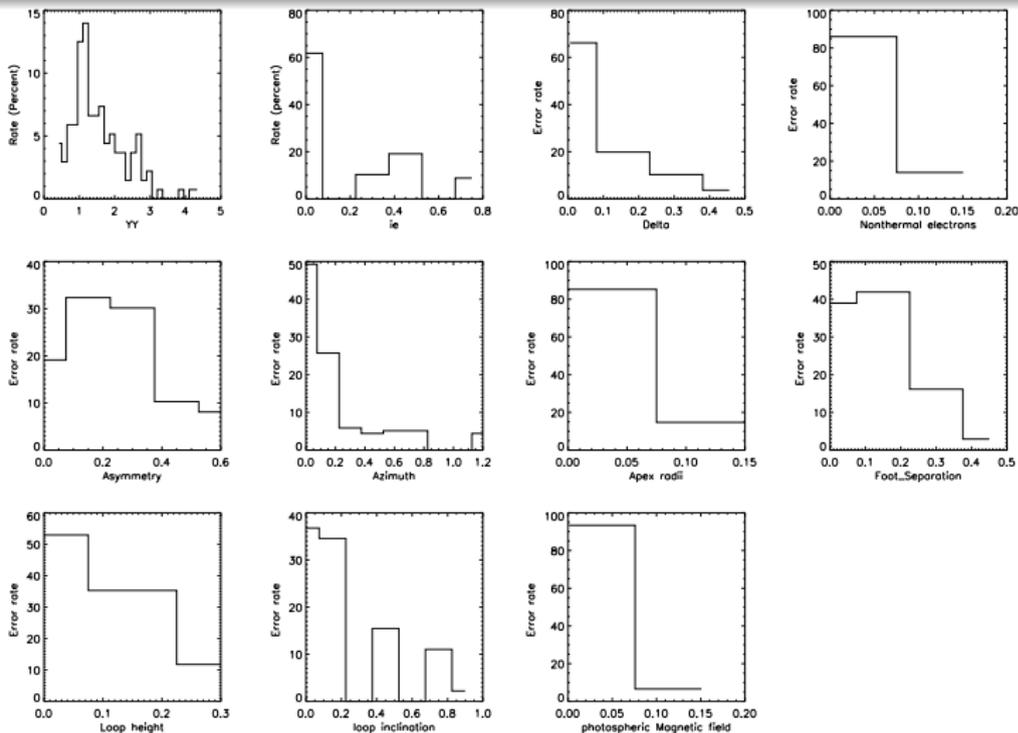
χ^2 Calculation

$$\chi^2 = \chi_{17}^2 + \chi_{34}^2 + \chi_S^2 + \chi_o^2 \quad (14)$$

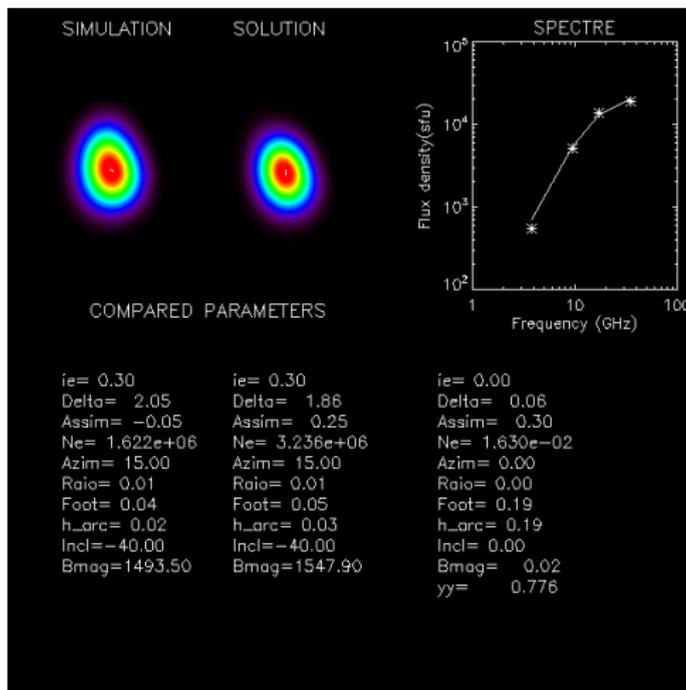
YY Calculation

$$YY = \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{Par_i^{sim} - Par_i^{obs}}{Par_i^{max} - Par_i^{min}} \right) \quad (15)$$

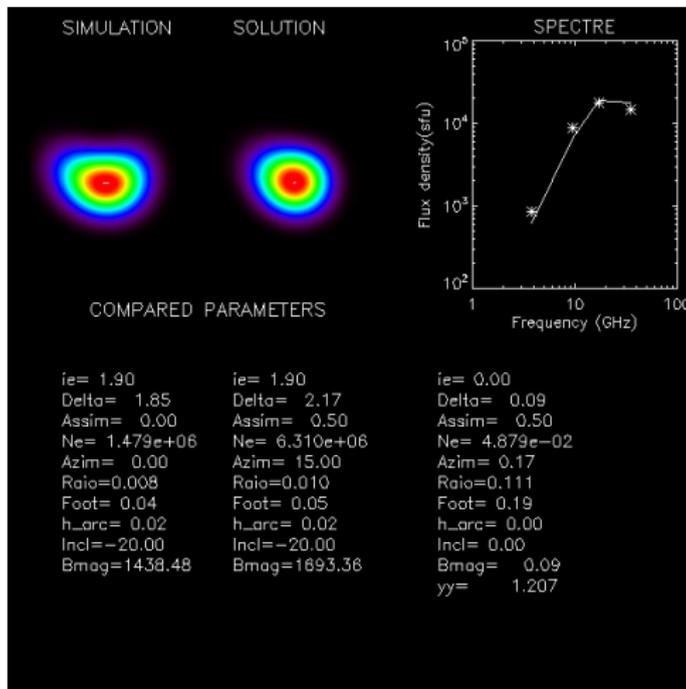
Database with hundred and fifty Thousand elements



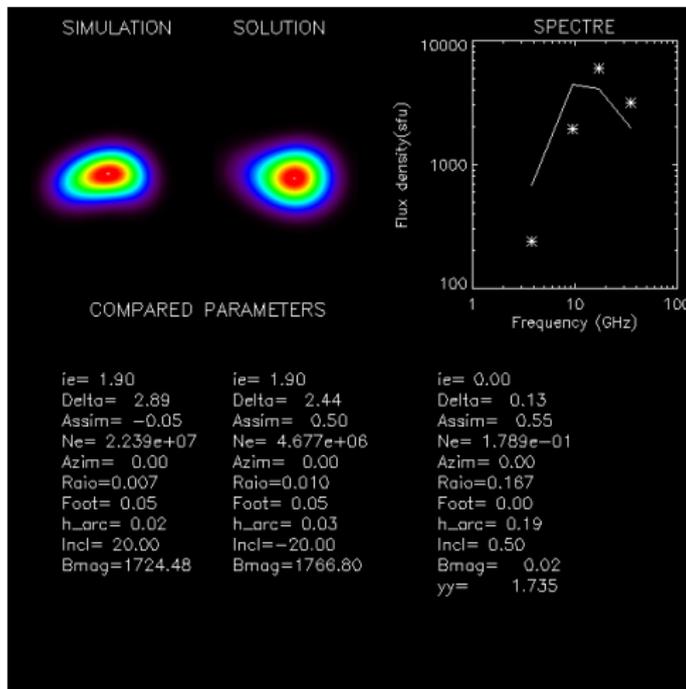
$YY < 1.2$ (YY peaks at 1.2)



$YY \approx 1.2$ (YY peaks at 1.2)



$YY > 1.2$ (YY peaks at 1.2)



Final remarks

- O modelo em 3D fornece uma melhor ferramenta de visualização para compreender os mecanismos das explosões solares.
- A hipótese de fonte homogeneia não é apropriada para a definição da geometria de um flare.
- O banco de dados de modelos em 3D aumenta a capacidade de análise das propriedades dos flares.
- Mais refinamentos devem ser implementados para maior cobertura da base de dados do NoRH e NoRP.

To be continued...