



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **ORGANIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS E ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS PARA ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL**

### **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Stephanie Anne Liles (FÍSICA/UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [tephinha\\_csdm@hotmail.com](mailto:tephinha_csdm@hotmail.com)

Dr. Reinaldo Roberto Rosa (LAC/INPE, Orientador)  
E-mail: [reinaldo@lac.inpe.br](mailto:reinaldo@lac.inpe.br)

Julho de 2010

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2 MÉTODOS DE RESULTADOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>4</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>5</b>



## RESUMO

O principal objetivo desse projeto consiste na seleção e análise de dados para estudos do clima espacial. Deste modo, inicialmente está programada a familiarização com os dados disponíveis pelo SWDP – Space Weather Prediction Center (Data & Products) (<http://www.swpc.noaa.gov/Data/>), que permitirá um estudo de fundamentos sobre Bancos de Dados Científicos, técnicas de seleção de dados (“data mining”) e utilização de ferramentas matemáticas e computacionais utilizadas para análise dos dados científicos, como cálculos básicos e avançados utilizando estatística computacional.

Com a seleção dos dados disponíveis pelo SWDP relacionados a eventos solares geofísicos, já ocorridos e definidos dentro do Programa de Clima Espacial do Inpe, trabalharemos em três estudos complementares envolvendo dados solares: caracterização da variabilidade do número de manchas solares ao longo da atividade solar, estudo de regiões ativas observadas em 17 GHz pelo radio-observatório de Nobeyama e estudo da auto-correlação de explosões solares decimétricas (1-3GHz). A principal ferramenta que será aplicada para análise dos dados selecionados é a análise Espectral Gradiente (GSA) desenvolvida pelo grupo de computação científica do LAC.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme programado, na primeira fase deste projeto selecionamos e estudamos dados relacionados às manchas solares (quantidade, posição e campo magnético) que são as principais estruturas relacionadas à atividade solar, descrita pelo chamado “Modelo Dínamo”[1,2,3]. O dínamo Solar é o processo físico que gera o ciclo magnético do sol. O sol é permeado por um campo magnético dipolar, assim como vários outros corpos celestes estelares e planetários, incluindo a Terra. O campo magnético dipolar é produzido pela corrente elétrica existente em plasmas estelares, onde se aplica a Lei de Ampère. A corrente é produzida por uma parte (volume de matéria) entre diferentes partes do sol, que rotaciona esfericamente de forma diferencial, isto é com diferentes velocidades em raio e longitude. Pelo efeito magnetohidrodinâmico conhecido como “froze-in” as linhas de campo acompanham a rotação diferencial resultando na amplificação do campo nas regiões mais próximas ao equador solar, onde emergem as manchas. Após atingir um máximo de amplificação do campo dipolar que adquire uma geometria toroidal, o dínamo reverte-se levando o Sol a um período sem manchas solares. Esse período de atividade magnética solar segue um ciclo de aproximadamente 11 anos. Dessa forma, utilizando as equações que descrevem o dínamo solar podemos formular as condições iniciais de contorno adequadas no momento quando a componente magnética toroidal é máxima, simulando a distribuição do campo magnético de onde emergem as manchas observadas. Das observações de manchas catalogadas no periódico “Solar Geophysical Data” (disponível no SWDP) podemos comparar a distribuição simulada com os dados reais. Para o trabalho inicial selecionamos valores de posição (latitude e longitude) e campo magnético para cerca de 2000 grupos de manchas solares. Esses valores entraram como condição inicial no modelo dínamo para comparação entre as distribuições do campo magnético simulado e observado [4].

## 2 MÉTODOS E RESULTADOS

De acordo com resultados previamente publicados [4], as manchas solares com campos magnéticos mais intensos estão concentradas entre as latitudes 10 e 25 graus em torno do equador (Figura 1a). Portanto é nessa faixa que a atividade solar mais geofetiva esta concentrada. Escolhemos assim, analisar uma faixa mais restrita, de apenas 200 dias em torno do pico de atividade (como mostrado na Figura 1b), para estudar o comportamento do campo magnético com a latitude, usualmente realizado considerando todas as manchas de um ciclo. Dessa froma, realizamos uma segunda seleção de dados para um pedíodo de 200 dias em torno de um numero Maximo de manchas solares do ciclo 21. Comparamos a curva dos valores de campo magnético versos a latitude (curva vermelha na Figura 1a), para o grupo de 200 dias, com os dados gerados analiticamente e com os dados para o ciclo todo publicados anteriormente [4]. Obtivemos um refinamento dos resultados mostrando que a não linearidade encontrada para o ciclo todo permanece para a faixa de 200 dias com boa correlação com o modelo.

### 3 RESULTADOS

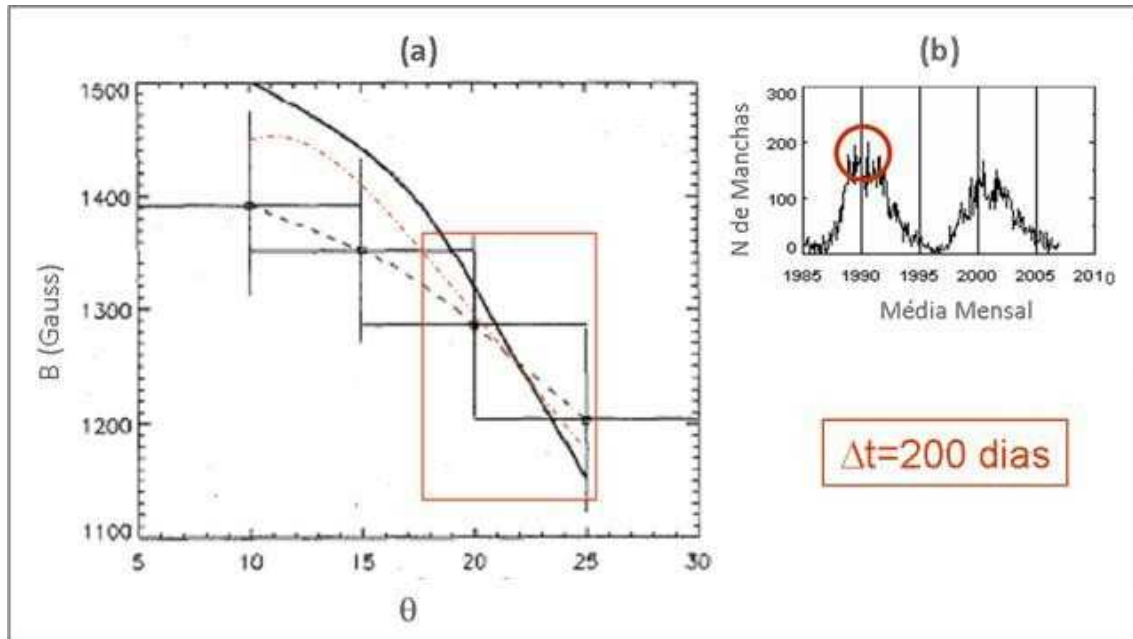


Figura 1. (a) Variação do campo magnético solar toroidal com a latitude solar. A linha cheia representa a curva obtida a partir do modelo dinâmico e as linhas pontilhadas os resultados obtidos a partir das manchas solares. Em vermelho está o resultado para um intervalo de 200 dias desenvolvido neste projeto. (b) Ciclos de atividade solar 21 e 22, mostrando a região de aproximadamente 200 dias em torno do ciclo 21.

## 4 CONCLUSÃO

Determinamos uma distribuição não-homogênea teórica para o componente toroidal do campo magnético (medido em Gauss (G)) ao longo da latitude : taxas 7 G/graus, 24 G/graus e 34 G/graus com as respectivas escalas de  $10^{\circ}$  - $15^{\circ}$ ,  $16^{\circ}$  - $18^{\circ}$ , e  $19^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ . Esta componente do campo magnético toroidal atua como uma função não-linear do campo com a latitude solar, onfirmada estatisticamente por meio da analise quiquadrado

aplicada nos dados coletados para ciclo solar 22 [4]. Os esultados obtidos, mostrados na Figura 1, foram apresentados, na forma de paínel, no X Encontro Brasileiro de Física de lasmas, realizado de 23 a 26 de novembro de 2009 pela Sociedade Brasileira de Física. Baseado neste resultado, pode-se esperar que o fenômeno eruptivo solar mais energético esteja concentrado não linearmente nas latitudes solares entre  $10^{\circ}$  e  $25^{\circ}$  nos dois hemisférios. Trata-se de uma informação importante no contexto de observações programadas para detecção de regiões ativas mais energéticas (maior campo magnético) que constituem as principais fontes de partículas e radiação que afetam o clima espacial. Como trabalho omplementar, o comportamento assinatura encontrado para a componente de 200 dias, deve ser verificada também em outras freqüências de observação, de preferência para dados de alta resolução espacial de raios X, UV e rádio.-freqüência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kivelson, M., Russell, C.T., Introduction to Space Physics, Cambridge, 1997.
- [2] Dikpati, M., Gilman, P., Astropysical Journal, 559:428, 2001.
- [3] Ruzmaikin, A.A., Solar Physics, 131:221, 1991.
- [4] Rosa, R.R. et al., Advances in Space Research, 32(6):1175, 2003.
- [5] Rosa, R.R., et al. Advances in Space Research, 42:844, 2008.