

Emissão em EUV e configuração do campo magnético da região ativa associada a uma explosão solar classe X8.2 que ocorreu no dia 10 de Setembro de 2017.

EUV emissions and magnetic field configuration of an active region associated to a flare class X8.2 occurred on 2017 September 10.

RESUMO

Breytner Maciel Nascimento
breytner.nascimento@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Jean Carlo Santos
jeansantos@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Tallyta Layanne de Almeida Santos
tallyta.fisica@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



Explosões solares são caracterizadas pelo aumento abrupto da emissão eletromagnética em diferentes comprimentos de onda, podendo durar de minutos até horas. Esses eventos estão associados a regiões na superfície do Sol onde o campo magnético é bastante intenso, chamadas regiões ativas. Explosões solares intensas geralmente estão associadas a regiões ativas complexas com presença de manchas solares apresentando polaridades diferentes do campo magnético. Neste trabalho, observamos a evolução da emissão na faixa do EUV durante a ocorrência de uma explosão solar, e analisamos a estrutura do campo magnético associado a região ativa que deu origem a esta explosão. Utilizamos os dados de observação do Sol obtidos pelo satélite SDO, acrônimo do inglês *Solar Dynamic Observatory*, e o pacote Sunpy desenvolvido em linguagem Python para uso de pesquisadores que trabalham na área de astronomia, mais especificamente física solar. A região ativa NOAA 12673 apresentou um conjunto complexo de manchas solares associado a uma estrutura de campo magnético bastante complicada, resultando numa classificação beta-gama. A emissão EUV em comprimento de onda de 171 angstrom apresenta um aumento gradativo cerca de oitenta minutos antes do início da explosão. Após o início da explosão ocorrem três aumentos abruptos da emissão em EUV, sendo que a partir do terceiro os valores de emissão iniciam um lento e gradativo retorno aos valores anteriores a explosão.

PALAVRAS-CHAVE: Explosão solar, Manchas solares, Região ativa.

INTRODUÇÃO

Como descrito em Benz (2008), explosões solares são caracterizadas pelo aumento abrupto da emissão eletromagnética em diferentes comprimentos de onda, podendo durar de minutos até horas. Esses eventos estão associados a regiões na superfície do Sol onde o campo magnético é bastante intenso, chamadas regiões ativas. As explosões solares mais intensas, denominadas classes M e X, geralmente estão associadas a regiões ativas complexas com presença de manchas solares apresentando polaridades diferentes do campo magnético. A energia magnética armazenada nessas regiões é liberada através de um fenômeno conhecido como reconexão magnética. Durante esse fenômeno, partículas (elétrons e prótons) são aceleradas na atmosfera do Sol e se deslocam ao longo das linhas de campo magnético em direção a superfície do Sol (fotosfera). Ao atingir as regiões mais baixas da atmosfera solar, devido ao aumento da densidade, as partículas são desaceleradas e acabam depositando sua energia nessas regiões, aumentando a temperatura do plasma. O plasma quente se expande preenchendo as estruturas de campo magnético, num processo conhecido como evaporação cromosférica. Durante esse processo ocorre o aumento da emissão eletromagnética na faixa do ultravioleta (UV), extremo ultravioleta (EUV) e raios X.

Neste trabalho, observamos a evolução da emissão na faixa do EUV durante a ocorrência de uma explosão solar, e a estrutura do campo magnético associado a região ativa que deu origem a esta explosão.

DADOS E METODOLOGIA

Utilizamos neste trabalho os dados de observação do Sol obtidos pelo satélite SDO (Pesnel et al., 2012), acrônimo do inglês *Solar Dynamic Observatory*. Esse satélite foi lançado no em 2010 e possui 3 instrumentos, a saber:

- a) Atmospheric Image Assembly (AIA): este instrumento é composto por três telescópios os quais utilizam 10 filtros na faixa do UV e EUV para observar a atmosfera do Sol com alta resolução espacial (0.6 arcsec) e temporal (10s);
- b) Helioseismic and Magnetic Imager (HMI): este instrumento produz imagens no continuum e obtém informações sobre a velocidade doppler e o campo magnético na superfície do Sol;
- c) Extreme Ultraviolet Variability Experiment (EVE): este instrumento mede a irradiância solar na faixa do extremo

ultravioleta com alta resolução espectral, cadência temporal e precisão.

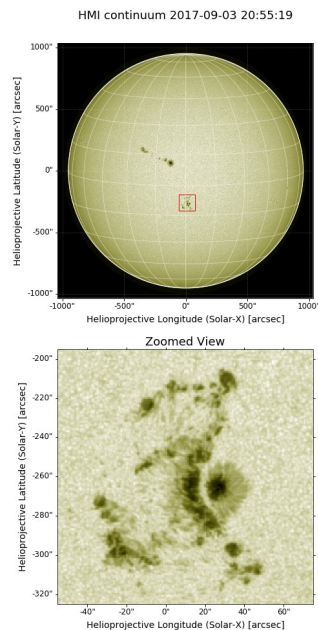
Os dados foram obtidos e processados utilizando-se o pacote em Python chamado SunPy (Mumford et al., 2015). Esse pacote foi desenvolvido em linguagem Python para uso de pesquisadores que trabalham na área de astronomia, mais especificamente física solar. Esse pacote tem como objetivo prover um ambiente que permite a análise de dados de maneira simples e rápida, permitindo que os pesquisadores desenvolvam suas atividades com o mínimo de esforço possível. O pacote é distribuído gratuitamente e foi construído para ser utilizado em conjunto com outros pacotes como Numpy, Scipy, Matplotlib e Pandas. Como o Sunpy trabalha com conceitos astrofísicos, ele foi desenvolvido em conjunto com o pacote Astropy, o qual é fundamental para análise de dados astronômicos no ambiente Python.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A explosão solar investigada estava associada a região ativa NOAA 12673 e teve início às 15:35 UT do dia 10 de Setembro de 2017. Sua classificação de acordo com o fluxo de raios X medido pelo satélite GOES foi de X8.2.

Observações na faixa do contínuo realizadas às 22:05 UT do dia 3 de Setembro de 2017 mostram que a região ativa NOAA 12673 estava associada a um grupo complexo de manchas solares (Figura 1).

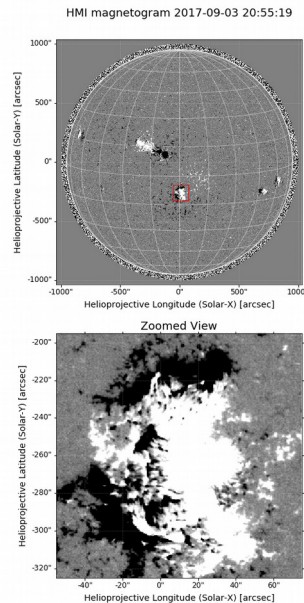
Figura 1 - O painel superior mostra uma imagem do disco solar na faixa do contínuo construída utilizando os dados observados pelo instrumento HMI, a bordo do satélite SDO, às 22:05 UT do dia 3 de Setembro. O painel inferior mostra uma ampliação da área ao redor da região ativa NOAA 12673.



Fonte: autoria própria (2020).

Observações da componente de linha de visada do campo magnético na superfície do Sol, realizadas no mesmo período, mostram que essa região ativa apresenta uma estrutura de campo magnético bastante complicada, com polaridades positivas (branco) e negativas (preto) bastante próximas (Figura 2).

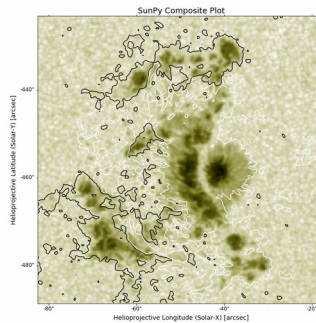
Figura 2 - O painel superior mostra o campo magnético na fotosfera medido as 22:05 UT do dia 3 de Setembro. O painel inferior mostra uma ampliação da área ao redor da região ativa NOAA 12673.



Fonte: autoria própria (2020).

Observam-se manchas solares de diferentes tamanhos e formas onde alguns grupos de manchas apresentam uma estrutura magnética mais complexa que outros, e portanto são mais propícios a dar origem a explosões solares. A Figura 3 mostra uma imagem composta, onde sobreposto a imagem do continuum das manchas aparecem linhas de contorno indicando regiões onde o campo é igual a +1000 G (linhas em branco) ou -1000 G (linhas em preto). A partir desta imagem podemos ver que o grupo de manchas esta associado a regiões intensas de campo magnético positivo e negativo distribuídas irregularmente, mas que cada mancha apresenta uma única polaridade. Assim, utilizando a classificação do Observatório de Mount Wilson, podemos classificar essas manchas solares como Beta-Gama, o qual apresenta uma alta probabilidade de gerar explosões solares.

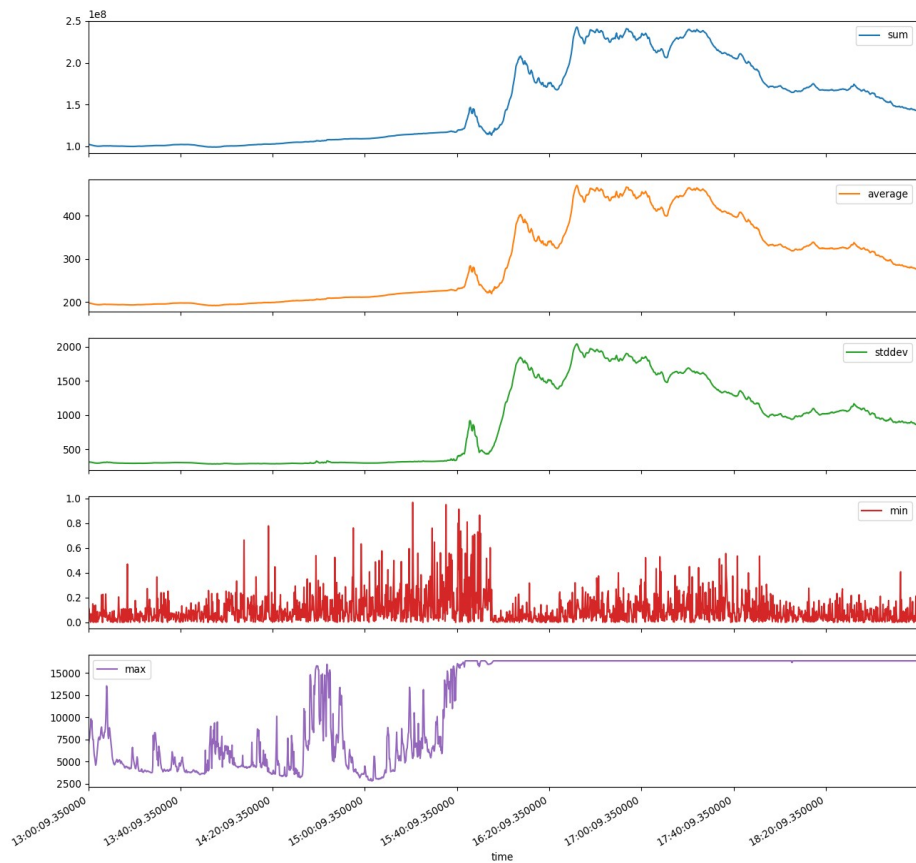
Figura 3 - Figura composta mostrando as manchas solares e linhas de contorno indicando as regiões onde o campo magnético assume um valor de +1000 G (branca) e -1000 G (preta).



Fonte: autoria própria (2020).

A região ativa NOAA 12673 deu origem a diversas explosões e ejeções de massa coronal. O painel superior da Figura 4 mostra a curva de luz em 171 Angstroms, para um período de 6 horas iniciando as 13:00 UT do dia 10 de Setembro de 2017. A partir das 14:20 UT é possível identificar na imagem um aumento gradativo da emissão em EUV. A aproximadamente 15h40 UT inicia uma série de 3 aumentos abruptos na emissão, o que caracteriza o início da explosão solar. O máximo da emissão ocorre logo após as 16h20, sendo seguido por um período de recuperação envolvendo o decréscimo gradual da emissão. Um comportamento semelhante é observado no valor médio e no desvio padrão calculado para a emissão. Essa variação observada no valor médio e no desvio padrão indicam que os valores de emissão na imagem tem um aumento no pico e no espalhamento que estão correlacionados durante a ocorrência da explosão.

Figura 4 - Soma, média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para a emissão em extremo ultravioleta centrada em 171 Angstroms durante um intervalo de 6 horas ao redor do horário de pico da explosão solar.



Fonte: autoria própria (2020).

Entretanto, esses dois valores são sensíveis a máximos e portanto não são confiáveis ao analisar-se o comportamento do conjunto como um todo.

CONCLUSÕES

A região ativa NOAA 12673 apresentou um conjunto complexo de manchas solares associado a uma estrutura de campo magnético bastante complicada, resultando numa classificação beta-gama. A energia magnética armazenada na região ativa, juntamente com a complexidade do campo, foi responsável pela ocorrência de diversas explosões solares e ejeções de massa coronal. As 15:35 UT do dia 10 de Setembro de 2017 ocorreu uma explosão solar classe X8.2. A emissão EUV em comprimento de onda de 171 angstrom apresentou um aumento gradativo cerca de oitenta minutos antes do início da explosão. Após o início da explosão ocorreram três aumentos abruptos da emissão em EUV, sendo que a partir do terceiro os valores de emissão iniciam um lento e gradativo retorno aos valores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao time do satélite SDO por disponibilizarem os dados e pelos responsáveis pelo pacote Sunpy por fornecerem as rotinas necessárias para a análise dos dados.

REFERÊNCIAS

BENZ, A. O. Flare Observations. **Living Reviews in Solar Physics**, 5 , Article number: 1 (2008). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.12942%2Flrsp-2008-1>. Acesso em: 04 set. 2020.

MUMFORD, S. J. et al. **Computational Science & Discovery**, Volume 8, Number 1 (2015). Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1749-4699/8/1/014009>. Acesso em: 04 set. 2020.

PESNELL, W. D.; B. J. THOMPSON; CHAMBERLIN, P. C., *The Solar Dynamics Observatory (SDO)*. **Solar Physics**, 275, pages 3-15 (2012). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-011-9841-3>. Acesso em: 04 set. 2020.