

# **INVESTIGAÇÃO DE FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS E DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS PARA PREVISÃO DE SUA OCORRÊNCIA**

Mateus Vallim Martins

Relatório Final de Projeto do Programa  
Institucional de Bolsas de Iniciação  
Científica (PIBIC/CNPq), orientado pelo  
Dr. José Roberto Cecatto.



# **INVESTIGAÇÃO DE FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS E DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS PARA PREVISÃO DE SUA OCORRÊNCIA**

Mateus Vallim Martins

Relatório Final de Projeto do Programa  
Institucional de Bolsas de Iniciação  
Científica (PIBIC/CNPq), orientado pelo  
Dr. José Roberto Cecatto.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Comitê do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do INPE e ao CNPq pela bolsa concedida.

E agradeço à DIDAS/CGCEA-INPE por proporcionar as condições para a realização das tarefas e atividades deste projeto de pesquisa.

Agradecimentos também às equipes do Space Weather Prediction Center - National Oceanic and Atmospheric Administration (SWPC-NOAA) e da série de satélites Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) pela geração e disponibilização dos dados do fluxo de raios-X solares.



## RESUMO

Explosões solares são fenômenos energéticos transientes que ocorrem nos arcos magnéticos de uma região ativa existente da atmosfera solar (alta cromosfera/baixa coroa) pela liberação de grandes quantidades ( $10^{26}$  –  $10^{32}$  *erg*) de energia. De amplo espectro – rádio a raios-X e raios gama – duram de dezenas de segundos a poucas horas e ocorrem devido a uma série de episódios quase simultâneos de reconexão magnética. Essas explosões afetam o ambiente terrestre, causando desde influência e perturbações até danos, prejuízos e grandes riscos tanto a sistemas/serviços tecnológicos quanto a seres humanos. Como os detectores que registram uma explosão solar estão em solo ou órbita da Terra, seus efeitos e influências são notados praticamente simultaneamente com sua detecção. Para minimizar esses prejuízos deve-se procurar prever sua ocorrência com uma dada antecedência. Mas, não existe na literatura uma escala probabilística da porcentagem de eventos de dada classe em raios-X para uma fase específica do ciclo de atividade solar. Então, foi desenvolvida uma ferramenta computacional para auxiliar na tarefa de previsão, a partir das medidas de fluxo solar ( $W/m^2$ ) realizadas pelo satélite GOES na banda dos raios-X de 1-8 Angstrom. Apresentamos as atividades desenvolvidas no projeto, desde a procura das bases de dados de interesse (período de 2002 a 2017), captura dos dados dessas bases e criação da base de dados local, utilização da Ferramenta de Análise do Fluxo Raios-X solar (FAFRAX), desenvolvida pelo autor, até os resultados obtidos. Apresentamos também os resultados do levantamento da razão fluxos de pico de explosões por respectivo fluxo do nível base do período analisado que nos permitiram obter a estatística da ocorrência de explosões de determinada classe (A, B, C, M ou X), para uma fase específica do ciclo de atividade solar, como um subsídio para sua previsão.





## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Exemplo de interface gráfica do MatLab. ....	4
Figura 2.2 - Amostra selecionada das Tabelas contendo os dados de tempo UT e fluxo solar integrado medido em raios-X correspondente, ambos obtidos do banco de dados da SWPC-NOAA.....	6
Figura 3.1 - Trecho da lista de informações de eventos detectados.....	11
Figura 3.2 - Exemplo de análise manual do FAFRAX.....	14
Figura 4.1 - Gráfico de número de eventos detectados por mês no período de 2002 a 2017 .....	15
Figura 4.2 - Gráfico de número de manchas solares detectadas no período de 1995 a 2019 disponibilizados pela SILSO.....	16
Figura 4.3 - Gráfico de quantidade de eventos por classe por mês do período de 2002 a 2017. ....	17



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Fragmento de um arquivo de dados de fluxo integrado do disco solar medido em raios-X na banda (1-8 A) disponibilizados pela SWPC-NOAA.5	
Tabela 3.1 - Fluxo de raios-X por linha de base em 2011. ....	12
Tabela 3.2 - Número de "flares" por linha de base obtido pela análise automática do FAFRAX.....	13
Tabela 3.3 - Número de "flares" por linha de base obtido pela análise manual do FAFRAX. ....	13



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 Materiais e Metodologia.....	3
2.1 Materiais Usados .....	3
2.1.1 Máquina Utilizada.....	3
2.1.2 Plataforma Computacional.....	3
2.1.3 Base de Dados de Parâmetros de Explosões Solares .....	4
2.1.3.1 Base de Dados Existente.....	6
2.1.4 Algoritmo para Criação do Banco de Dados.....	7
2.1.5 Ferramenta de Análise do Fluxo Raios-X solar (FAFRAX).....	7
2.2 Metodologia .....	8
3 Atividades Desenvolvidas do Projeto .....	9
3.1 Banco de Dados .....	9
3.2 Lista de Eventos Capturados.....	10
3.3 Validação dos Eventos .....	14
4 Resultados.....	15
5 Conclusões .....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19



## 1 INTRODUÇÃO

Fulgurações (“flares”) solares, como esses fenômenos são conhecidos na banda do visível, são designados por explosões solares em outros comprimentos de onda. Trata-se de fenômenos energéticos transientes que correspondem à liberação de grandes quantidades ( $10^{26} - 10^{32} \text{ erg}$ ) de energia, na forma de radiação eletromagnética geralmente com amplo espectro (de ondas de rádio a raios-X e raios gama). Esses fenômenos, com duração de dezenas de segundos a poucas horas, ocorrem em arcos magnéticos existentes na atmosfera solar (alta cromosfera/baixa coroa) designados por regiões ativas, devido a uma grande quantidade de episódios de reconexão magnética que ocorrem abruptamente e quase simultaneamente, como uma avalanche, em alguma região ativa. A intensidade do campo magnético nas regiões ativas varia de centenas a poucos milhares de Gauss. Além disso, também podem ocorrer ejeções de massa coronal (CME) e/ou jatos de partículas energéticas (centenas de keV a centenas de MeV) associados às explosões.

O fato mais importante é que as explosões solares afetam o ambiente terrestre, causando desde influência e perturbações até danos, prejuízos e grandes riscos tanto a sistemas/serviços tecnológicos quanto a seres humanos. Isso porque a radiação eletromagnética emitida da explosão solar atinge a Terra após cerca de 8 minutos de sua ocorrência no Sol.

Como os detectores que monitoram e registram uma explosão solar encontram-se em solo ou órbita da Terra, seus efeitos e influências são notados praticamente ao mesmo tempo com sua detecção. Então, atualmente no caso das explosões não existe tempo hábil para alertas ou ações de prevenção. Sendo assim, a única forma de alertar ou executar ações preventivas é a capacidade de prever, com a devida antecedência, a ocorrência, as características e os efeitos que o fenômeno deve causar no ambiente terrestre.

Devido a tudo o que foi exposto acima, foi criada esta proposta de participação de um aluno de iniciação científica no projeto de aplicação de uma ferramenta computacional desenvolvida previamente para auxiliar na tarefa de previsão da ocorrência de explosões solares. Como etapa inicial, foi criada e utilizada uma ferramenta computacional para realizar a análise das bases de dados de explosões solares, fazendo uma listagem de suas informações o que permitiu um levantamento estatístico, a partir das medidas de fluxo solar realizadas pelo satélite GOES na banda dos raios-X de 1 – 8 Angstrom, da razão entre os valores de pico medidos para as explosões solares registradas e o nível base do fluxo integrado sobre todo o disco solar medido para os respectivos dias.

Neste relatório apresentamos as atividades do projeto desenvolvidas, desde consulta das bases de dados remotas de interesse, captura dos dados dessas bases e criação da base de dados local, utilização da Ferramenta de Análise do Fluxo Raios-X solar (FAFRAX), desenvolvida pelo autor, até os resultados obtidos. Como resultados do trabalho, foram criados um banco de dados de explosões solares extenso, do período de 2002 a 2017 - excetuando-se um período de mais de um ano com ausência de dados - e um software de tratamento e análise e uma estatística de níveis de fluxo tanto da linha base quanto do pico (máximo) de explosões (“flares”) para auxiliar na tarefa de previsão da ocorrência de eventos futuros.



## **2 MATERIAIS E METODOLOGIA**

### **2.1 Materiais Usados**

#### **2.1.1 Máquina Utilizada**

Para realizar o projeto foi utilizado um notebook Acer modelo Nitro 5 (ou Nitro AN515-51) para desenvolver e executar o programa final. O notebook possui o sistema operacional Windows 10 (64-bit) e o seguinte hardware: processador Intel® Core™ i5-7300HQ CPU @ 2.50GHz, 8Gb de memória RAM DDR4 e NVIDIA® GeForce® GTX1050 com 4GB.

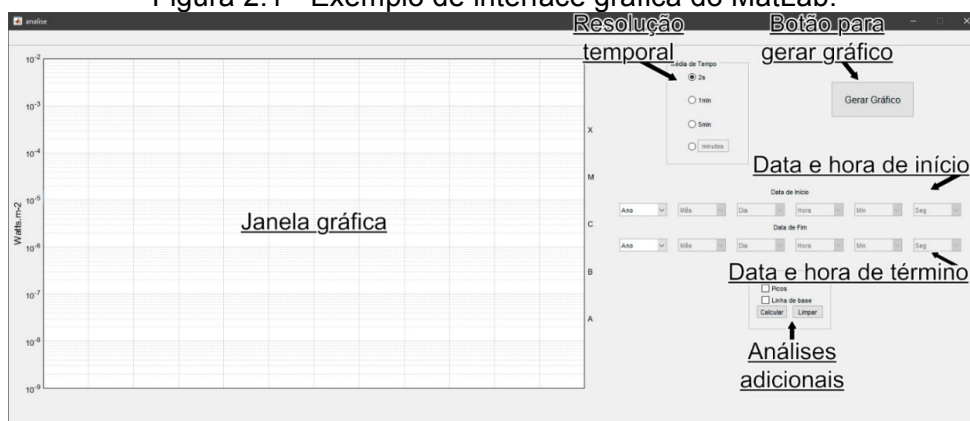
#### **2.1.2 Plataforma Computacional**

O software utilizado se baseia na plataforma MatLab, programa com linguagem própria direcionado para análise de dados e cálculo numérico. O MatLab possui um ambiente de fácil uso a fim de apresentar um resultado excelente de forma prática. A escolha da plataforma MatLab foi feita devido à sua disponibilidade de uso na máquina de trabalho, familiaridade do bolsista com a plataforma e pela facilidade que ela oferece para montar uma interface gráfica.

A plataforma permite tanto escrever comandos diretamente, para execução de forma sequenciada quanto por meio de um “Script”, com uma relação de funções, na ordem desejada de execução.

O programa também permite a criação de interfaces gráficas ligadas a funções para que se torne mais intuitivo para qualquer usuário. A Figura 2.1 apresenta um exemplo de interface do MatLab criada para o software que foi desenvolvido neste trabalho.

Figura 2.1 - Exemplo de interface gráfica do MatLab.



Fonte: produção do autor.

As indicações apresentadas na Figura 2.1 serão descritas no item 2.1.4.

A plataforma – MatLab – também foi escolhida pois contém ferramentas dedicadas a simplificar o procedimento de criação de GUIs (“Graphical User Interfaces”). Essas mesmas ferramentas também utilizam a linguagem do programa para seus cálculos e análises.

### 2.1.3 Base de Dados de Parâmetros de Explosões Solares

O banco de dados do sensor de raios-X que se encontra a bordo dos satélites GOES-10, GOES-12, GOES-14 e GOES-15 está no site da Space Weather Prediction Center (SWPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Os dados são disponibilizados online pelo SWPC no formato de arquivo “Comma-Separated Values” (.csv) diariamente em forma de tabelas como mostra o exemplo da Tabela 2.1, com medições estabelecidas aproximadamente a cada 2 ou 3 segundos, dependendo do ano e do satélite que registrou os dados, e apresentados na coluna B\_FLUX.

Tabela 2.1 - Fragmento de um arquivo de dados de fluxo integrado do disco solar medido em raios-X na banda (1-8 A) disponibilizados pela SWPC-NOAA.

data:						
time_tag	A_QUAL_FLAG	A_COUNT	A_FLUX	B_QUAL_FLAG	B_COUNT	B_FLUX
2011-01-01 00:00:01.703	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,83E+08	1,8084E-03
2011-01-01 00:00:03.750	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:05.797	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7822E-03
2011-01-01 00:00:07.847	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:09.893	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:11.943	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03

Fonte: banco de dados online da SWPC-NOAA<sup>1</sup>.

O fluxo é dado em Watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ) na banda de  $1,0 \times 10^{-10} m$  até  $8,0 \times 10^{-10} m$ , com lacunas e erros nos dados apresentados na forma do número -99999. Como a quantidade de dados é elevada para o período de interesse (um ciclo solar completo de 11 anos), contendo cerca de 42000 medições diárias, para 2 s de resolução temporal, e cerca de 28000 para resolução de 3 s, todos os dados úteis (emissão em raios-X e tempo) foram capturados e separados em bancos de dados distintos, um para tempo e outro para fluxo de raios-X, que foram criados numa máquina local, com o objetivo de agilizar o processo de consulta pelo software FAFRAX. Uma amostra dos bancos locais criados pode ser vista nas tabelas da Figura 2.2.

Segundo o arquivo de leitura para informações sobre o sensor raios-X dos satélites GOES disponível no site da NOAA<sup>2</sup> a obtenção dos valores reais de fluxo da banda de 1,0 – 8,0 A é feita ao dividir todos os valores por 0,7. Este valor é utilizado para normalizar o fluxo com os dados obtidos pelos sensores dos satélites anteriores ao GOES 8. A base de dados que serviu de validação do software não contém a normalização dos dados, portanto o FAFRAX também não a utiliza.

---

<sup>1</sup> Disponível em:

[https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full/2011/01/goes15/csv/g15\\_xrs\\_2s\\_20110101\\_20110101.csv](https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full/2011/01/goes15/csv/g15_xrs_2s_20110101_20110101.csv) Acesso em jan. 2020.

<sup>2</sup> Disponível em: [https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES\\_XRS\\_readme.pdf](https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES_XRS_readme.pdf) Acesso em jun. 2020

Figura 2.2 - Amostra selecionada das Tabelas contendo os dados de tempo UT e fluxo solar integrado medido em raios-X correspondente, ambos obtidos do banco de dados da SWPC-NOAA.

	1	2
1	7.345040000197106e+05	
2	7.345040000434028e+05	
3	7.345040000670949e+05	
4	7.345040000908218e+05	
5	7.345040001145023e+05	
6	7.345040001382292e+05	

	1	2	3
1	1.8084e-07		
2	1.7559e-07		
3	1.7822e-07		
4	1.7559e-07		
5	1.7559e-07		
6	1.7559e-07		

Fonte: produção do autor.

As notações de tempo foram alteradas para notações em número com formato de potência de 10 para minimizar o seu tamanho de forma que a linguagem de programação ainda o reconheça como um banco de dados de datas sem perder nenhum tipo de informação, pois o formato de data pode ser recuperado facilmente fazendo a operação inversa. Essa informação de tempo – Ano, Mês, Dia, Hora, Minuto, Segundo e Milésimo de Segundo - é transformada em números de dias, seguindo uma sequência que se inicia às 00:00:00.000 UT do dia 1 de janeiro do ano 0 A.D. – seguindo o processo interno do MatLab no qual existe o ano 0 A.D. e este participa da contagem de dias – quando o valor utilizado é  $1,0E + 00$ . Deve ser ressaltado que o número de dígitos após a vírgula corresponde à representação do respectivo dia de interesse até a casa do milésimo de segundo. Enquanto isso, os dados de fluxo continuam no mesmo formato sendo convertidos para o seu valor real com a multiplicação pelo fator de correção de  $10^{-4}$ .

### 2.1.3.1 Base de Dados Existente

Como este trabalho é a continuidade do trabalho realizado no ano anterior pelo autor e disponível na literatura (MARTINS; CECATTO, 2019), existia um banco de dados que foi criado para a validação do software FAFRAX que contava com todos os dias do ano de 2011. No último ano de bolsa, esse banco foi complementado com dados de outros anos contemplando o período de 2002 a

2017. Deve ser ressaltado que existe uma lacuna de mais de um ano – parte de 2007, o ano de 2008 e parte de 2009 - nos dados disponíveis na base do SWPC, a qual ficará evidente adiante.

#### **2.1.4 Algoritmo para Criação do Banco de Dados**

Para realizar a captura dos dados fornecidos pelo SWPC foi utilizado um algoritmo, também desenvolvido previamente por Martins e Cecatto (2019), que trabalha em conjunto com o software descrito no item 2.1.5. Este algoritmo reconhece qual é o satélite mais atual em operação a cada mês, seguindo a ordem cronológica de data de lançamento, necessitando somente da indicação do usuário para ano que deseja acrescentar ao banco de dados local.

O algoritmo captura todos os dados e faz as devidas conversões indicadas no item 2.1.3 para que a plataforma do MatLab compreenda todos os dados de maneira correta, inclua no banco de dados já existente e atue em conjunto com o software.

#### **2.1.5 Ferramenta de Análise do Fluxo Raios-X solar (FAFRAX)**

A ferramenta computacional foi criada e seu funcionamento está descrito por Martins e Cecatto (2019), sendo elaborada no programa de Iniciação Científica do ano anterior. Neste relatório ela foi utilizada para realizar a análise do banco de dados de outros anos capturados, contemplando o período de 2002 a 2017.

O FAFRAX, apresentado na Figura 2.1, opera com a inserção de uma data de início e de fim do período que se deseja analisar, identificar e capturar informações dos eventos que são apresentados. Este período é mostrado em forma de um gráfico com o eixo y na escala logarítmica, com o mínimo de  $1,0E - 9 \text{ W.m}^{-2}$  e máximo de  $1,0E - 2 \text{ W.m}^{-2}$ , para que seja possível fazer a identificação tradicional da classe de cada “flare” como explicado na documentação oficial da NOAA<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-flares/x-rays/documentation/miscellaneous/xray.fmt.REVISED> Acesso em jun. 2020

Após a geração do gráfico, o algoritmo identifica a linha de base do fluxo e os picos dos eventos registrados para o dia de interesse, os quais vão permitir a análise. Há também a opção de realizar uma análise parcial de forma manual, na qual o usuário pode escolher diretamente no gráfico por meio de uma ferramenta de seleção quais serão os dados utilizados para calcular a linha de base e, por consequência, os dados que não deverão ser levados em conta para identificação dos picos. Desta forma o algoritmo consegue ter uma maior qualidade nos dados, mas o tempo de análise chega a ser 10 vezes maior por não depender somente da máquina local e do algoritmo.

Com os dados das explosões agrupadas, o programa analisa e separa por faixa de fluxo e monta uma tabela com a quantidade de explosões detectadas naquele período por fluxo da linha de base. Assim, também é possível monitorar a quantidade de explosões por intervalo de tempo.

## **2.2 Metodologia**

Para realizar o trabalho proposto de estender a análise feita previamente sobre o ano de 2011, o primeiro preparativo foi estender o banco de dados local para que o software conseguisse trabalhar sem que houvesse uma mudança em seu algoritmo. O algoritmo descrito no item 2.1.4 foi utilizado para capturar todos os dados do período de 2002 até 2017, assim modificando o banco de dados original com o acréscimo de 15 anos. Como a quantidade de dados é muito extensa, para agilizar o procedimento inicial de análise foi utilizada a análise automática do FAFRAX mês a mês – tempo determinado por testes para verificar a melhor razão entre tempo a ser analisado e a medida de tempo que o software demora realizar os cálculos –, retornando tabelas que foram organizadas posteriormente para obter visualizações mensais, anuais e do período completo.

### **3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DO PROJETO**

#### **3.1 Banco de Dados**

A primeira etapa do último ano de projeto foi complementar os dados para dar início ao procedimento estabelecido pelo projeto de análise dos dados do fluxo de raios-X emitidos pela atividade solar. Para isso foi pesquisado e consultado o banco de dados online da SWPC-NOAA que gerencia os satélites GOES-10, GOES-12, GOES-14 e GOES-15 que fazem medidas com sensores na banda de raios-X requerida de 1,0 – 8,0 Å.

Por conta da quantidade de dados a serem adquiridos ser muito grande (cerca de ~1GB de dados anuais), um primeiro algoritmo, feito na linguagem de MatLab, foi utilizado somente para capturar os dados e armazená-los na máquina local, junto com o banco de dados do ano de 2011 já existente, para que pudesse ser feita uma busca mais rápida pelo software FAFRAX. Esse armazenamento foi feito por meio de dois bancos de dados criados na máquina local.

Como a leitura destas informações era feita pelo MatLab e a quantidade de dados era muito grande, para que o software conseguisse fazer a leitura a cada vez que a busca fosse solicitada, os bancos de dados foram armazenados num formato de arquivo adequado para a plataforma, somente com as informações a serem utilizadas, de forma a agilizar todo o seu processo de leitura. O formato de arquivo utilizado foi o “.mat” (próprio da linguagem do MatLab), que é carregado mais rapidamente pelo software ao invés do formato Comma-Separated Values (.csv) utilizado para armazenar os dados da SWPC-NOAA. A segunda medida tomada para agilizar este processo foi a de disponibilizar o banco de dados criado toda vez que o software fosse executado utilizando uma função do MatLab de criar uma variável em formato de tabela. Com o intuito de agilizar o procedimento de leitura, os dados foram manipulados para que o MatLab conseguisse utilizá-los em sua própria linguagem. Desta maneira, os dados estiveram sempre de fácil acesso e não necessitaram que o software atuasse no sistema operacional toda vez que fizesse uma busca de dados.

Os dados do fluxo de raios-X também foram editados pelo próprio algoritmo para que o gráfico futuramente gerado não mostre nenhum dos números característicos de erro do sensor que se apresentaram como -99999. Estes números foram trocados pelo termo “NaN” (Not A Number) para que o MatLab conseguisse identificá-lo mais facilmente como uma medida inválida.

A captura dos dados feita pelo algoritmo levou em conta o(s) ano(s) que se deseja realizando uma busca para encontrar dia por dia, primeiramente, a existência de tais dados e em seguida a captura e o armazenamento dos dados fornecidos pelo satélite mais atual, já que mais de um dos satélites utilizados coletaram dados de mesmos períodos.

O período de anos selecionados para a realização da expansão do banco de dados foi de 1 de janeiro de 2002 até 31 de dezembro de 2017. Ao final do procedimento de captura, todos os dados foram unidos em dois únicos arquivos como mostrado na Figura 2.2 para facilitar o funcionamento do software.

### **3.2 Lista de Eventos Capturados**

Após a captura dos dados, foi realizada a primeira análise dos dados de fluxo de raios-X solares para que pudesse ser feita uma primeira observação dos dados coletados em forma de quantidade de picos do fluxo por linha de base. Esta análise foi executada pelo software FAFRAX no seu primeiro modo descrito no item 2.1.5 em que consegue obter os valores de fluxo da linha de base a cada 8 horas estabelece um limiar de evento com 3 vezes o valor do desvio padrão ( $3\sigma$ ), a partir do qual se consideram os picos dos eventos observados do mesmo período de horas, e a medida do nível de fluxo dos picos dos eventos, como descrito por Martins e Cecatto (2019).

Estes dados de eventos são retornados para um arquivo que reúne nas colunas de uma tabela as informações de horário de início do evento (coluna 1); horário de pico do evento (coluna 2); horário de término do evento (coluna 3); fluxo de pico do evento (coluna 4); fluxo da linha de base no trecho de 8 (oito) horas correspondente ao horário de pico (coluna 5); e limiar de evento do respectivo trecho (coluna 6) assim como mostra o exemplo da



Figura 3.1. Os valores da coluna 1 à 3 são valores de tempo convertidos para o formato de número como exemplificado no item 2.1.3. Com estes dados é possível se obter a relação de fluxo máximo atingido com sua respectiva linha de base, se obtendo também informação da quantidade de eventos ocorridos num determinado período. Esta análise é mostrada na

Tabela 3.1. Na Tabela pode-se ver claramente a quantidade de eventos registrados de cada classe para cada nível de fluxo da linha de base (classes de A até X, correspondendo às colunas de 2 a 6; para determinados valores do nível de fluxo da linha base, correspondendo às linhas de 2 a 28).

Figura 3.1 - Trecho da lista de informações de eventos detectados.

The screenshot shows a software window titled 'Variables - data'. It features a menu bar with 'PLOTS', 'VARIABLE', and 'VIEW'. Below the menu bar is a toolbar with icons for 'New from Selection', 'Open', 'Print', 'Rows', 'Columns', 'Insert', 'Delete', 'Transpose', and 'Sort'. The main area displays a data table with 8 rows and 6 columns. The values are in scientific notation, with the first three columns showing values around 7.3487e+05 and the last three columns showing values around 5e-07 to 1e-06.

	1	2	3	4	5	6
1	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.1924e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
2	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.3498e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
3	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	6.1630e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
4	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.5859e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
5	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	6.1368e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
6	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	7.4222e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
7	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	8.5239e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
8	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	1.1488e-06	4.0965e-07	4.6946e-08

Fonte: Produção do autor.

Tabela 3.1 - Fluxo de raios-X por linha de base em 2011.

	A	B	C	M	X	
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	27	1	0	0	0	0
A4	52	13	0	0	0	0
A5	82	43	0	0	0	0
A6	59	77	2	0	0	0
A7	73	124	2	0	0	0
A8	6	134	2	0	0	0
A9	0	105	2	0	0	0
B1	0	1340	35	3	0	0
B2	0	1381	108	3	0	0
B3	0	1110	159	7	0	0
B4	0	1063	344	14	1	1
B5	0	581	345	11	1	1
B6	0	269	330	8	1	1
B7	0	107	244	4	0	0
B8	0	23	239	7	1	1
B9	0	2	266	10	0	0
C1	0	0	400	49	3	3
C2	0	0	39	15	1	1
C3	0	0	4	11	0	0
C4	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>6373</b>	<b>2521</b>	<b>142</b>	<b>8</b>	<b>9343</b>

Fonte: Produção do autor.

Como há muitas variáveis que definem os eventos de “flares”, desde a sua duração, amplitude, até o modo como ocorre a sua ascensão, o algoritmo de reconhecimento automático do FAFRAX não é aprimorado o suficiente para compreender todos aqueles mais relevantes, assim sendo necessária uma verificação manual dos dados para que sejam validados pelo usuário, já que há um grande número de picos reconhecidos que não são registrados pela listagem de eventos no site do SWPC. Deve ser ressaltado que o SWPC considera um evento apenas quando existe um aumento do nível de fluxo durante de no mínimo 5 minutos contínuos de dados. Um critério semelhante foi usado no software criado e uma quantidade muito maior de picos foi detectada em relação àqueles considerados pelo SWPC.

Para exemplificar este fator, foi utilizado o período de janeiro a fevereiro de 2013 para construir as Tabelas Tabela 3.2 e Tabela 3.3 que representam a quantidade de “flares” de cada classe (linhas) por suas respectivas linhas de base (colunas).

Tabela 3.2 - Número de "flares" por linha de base obtido pela análise automática do FAFRAX para o mês de janeiro de 2013.

Automático	A	B	C	M	X
A9	0	11	0	0	0
B1	0	458	8	0	0
B2	0	488	23	1	0
B3	0	368	32	2	0
B4	0	104	40	1	0
B5	0	49	14	0	0
B6	0	11	24	0	0
B7	0	22	45	1	0
B8	0	5	50	3	0
B9	0	0	42	1	0
C1	0	0	28	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>1516</b>	<b>306</b>	<b>9</b>	<b>0</b>

Fonte: Produção do autor.

Tabela 3.3 - Número de "flares" por linha de base obtido pela análise manual do FAFRAX para o mês de fevereiro de 2013.

Manual	A	B	C	M	X
A9	0	0	0	0	0
B1	0	180	9	0	0
B2	0	252	19	1	0
B3	0	292	43	3	0
B4	0	49	25	0	0
B5	0	54	30	2	0
B6	0	9	17	0	0
B7	0	5	48	1	0
B8	0	4	40	3	0
B9	0	0	31	0	0
C1	0	0	27	1	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>845</b>	<b>289</b>	<b>11</b>	<b>0</b>

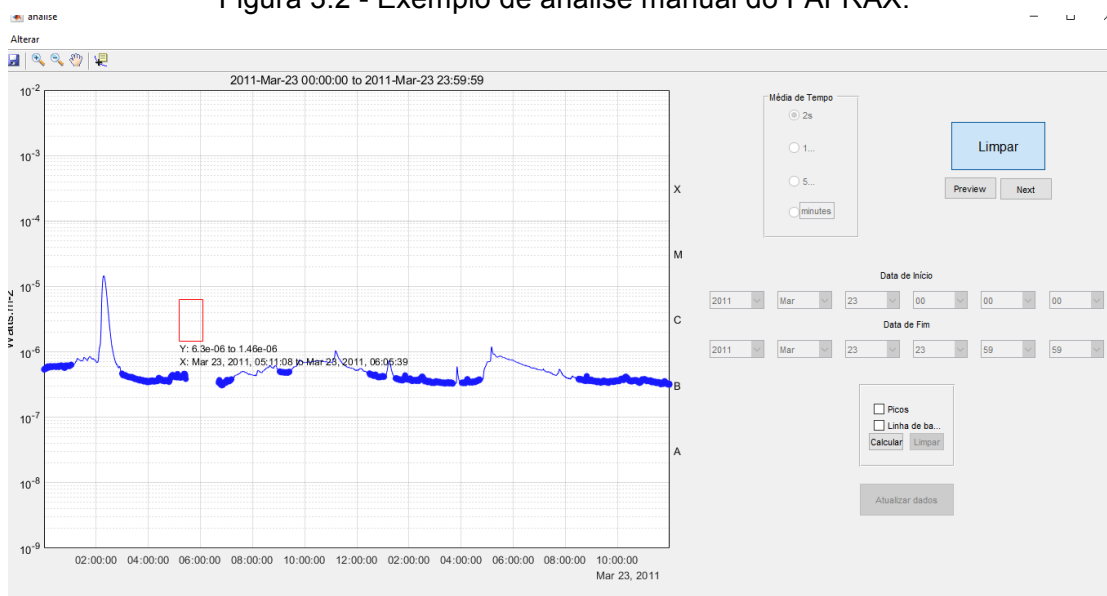
Fonte: Produção do autor.

Podemos notar que na análise automática reconhece muitos eventos de classes B1, B2 e B3 quando a respectiva linha de base está na faixa B. Isso se deve ao fato de que muitos "flares" de baixa amplitude são notados e contabilizados pelo algoritmo, principalmente quando o desvio padrão dos dados é muito menor (menor que 1 ordem de grandeza) do que o nível de fluxo da linha base. De modo geral, neste período de 3 meses, o algoritmo que faz a primeira busca dos eventos solares reconhece cerca 59,91% a mais de eventos identificados pelo SWPC se tornando necessária a análise manual do período para validação destes "flares".

### 3.3 Validação dos Eventos

A análise manual é feita para a validação dos dados obtidos de “flares” para que o resultado possa ser o mais próximo àquele indicado no site do SWPC. Para realizar esta análise, o software indica que é necessária uma verificação diária, assim mostrando o gráfico com o período desejado e indicando para que o usuário selecione com a ferramenta de seleção os períodos em que devem ser considerados para o cálculo da linha de base como mostra na Figura 3.2. E então a linha de base e o limiar de evento são calculadas e, após, o reconhecimento dos picos é feito com os períodos não selecionados, trazendo uma maior fidelidade nessa identificação.

Figura 3.2 - Exemplo de análise manual do FAFRAX.



Fonte: Produção do autor.

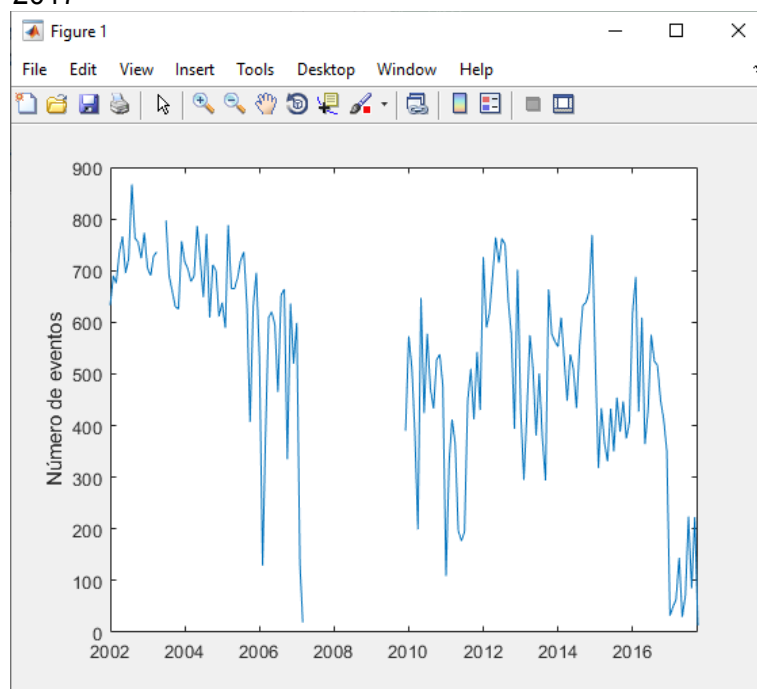
Na próxima seção mostramos os resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

Os dados obtidos ao longo dos 15 anos – considerando-se o intervalo de ausência de dados – somaram um total de 81855 eventos. Esta lista extensa foi armazenada em dois bancos de dados diferentes: o primeiro, a lista de informações completa sobre cada evento mostrada na Figura 3.1 que servirá para futuras análises pontuais sobre tais ocorrências e o desenvolvimento da ferramenta de previsão de eventos solares com base nos dados históricos; e o segundo, a lista com a quantidade de eventos solares por linha de base que serviu de base para uma validação final deste trabalho.

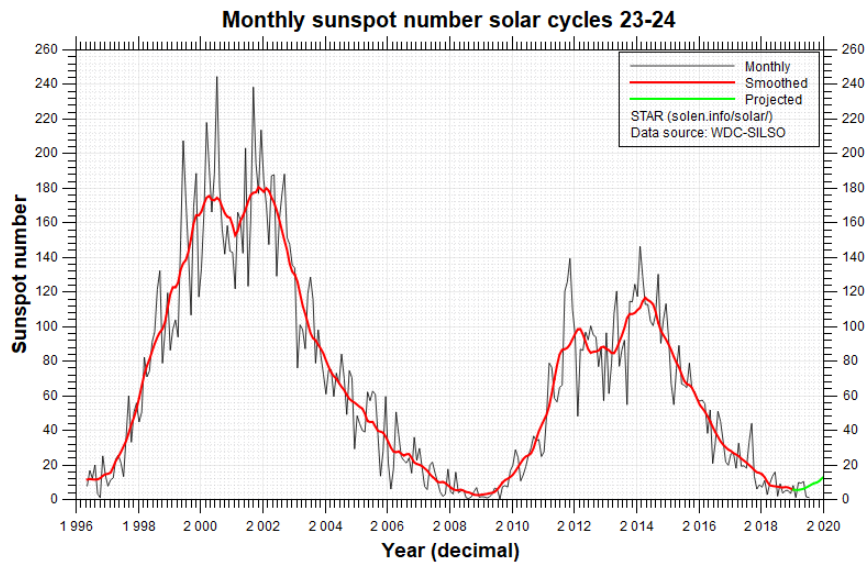
Analisando as Figuras Figura 4.1 e Figura 4.2 podemos notar que há uma certa correlação temporal entre a primeira figura com relação aos dois ciclos presentes (23 e 24) na segunda, que tem sua máxima atividade próximo aos anos 2000 e 2002 para o ciclo 23 e 2012 e 2014 para o ciclo 24. Infelizmente, no período de 2007 até 2009 um ou mais satélites não capturaram dados de fluxo de raios-X e, conseqüentemente, o software FAFRAX compreende como dados ausentes dificultando a análise da transição entre os dois ciclos estudados.

Figura 4.1 - Gráfico de número de eventos detectados por mês no período de 2002 a 2017



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.2 - Gráfico de número de manchas solares detectadas no período de 1995 a 2019 disponibilizados pela SILSO.



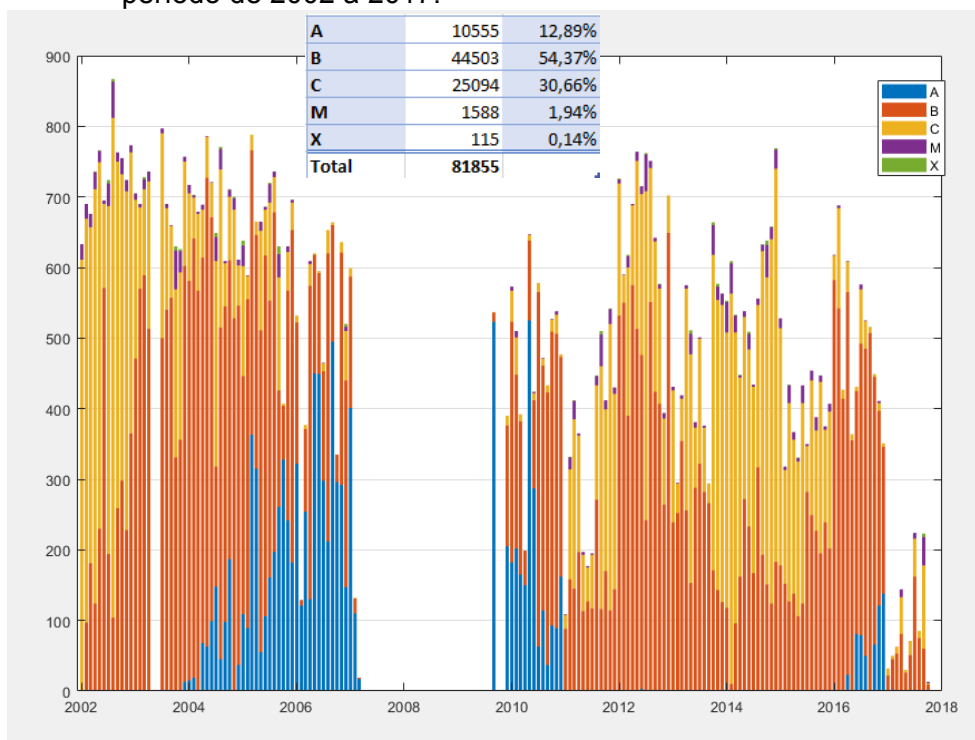
Fonte: Relatório online da WDC-SILSO<sup>4</sup>.

Como não foi possível identificar a transição entre os ciclos, podemos ainda realizar uma análise mensal deste mesmo período e separar por classes dos eventos solares, já que o Sol em sua máxima atividade aumenta o fluxo de linha de base e o número de manchas solares. Consequentemente, aumentam também os valores médios da quantidade e nível de fluxo dos eventos observados.

---

<sup>4</sup> Disponível em: [http://solen.info/solar/images/cycles23\\_24.png](http://solen.info/solar/images/cycles23_24.png) Acesso em jun. 2020

Figura 4.3 - Gráfico de quantidade acumulada de eventos por classe por mês do período de 2002 a 2017.



Fonte: Produção do autor.

Na



Figura 4.3 é possível notar nitidamente o que se observa e é amplamente apresentado pela literatura e verificado pela análise realizada neste trabalho – linha base do fluxo mais elevada no período do final da fase ascendente até o início da fase de decaimento, e eventos com média do fluxo de pico também mais elevada (maior frequência de eventos mais intensos) no mesmo período - validando os dados obtidos e os algoritmos utilizados para a criação do FAFRAX elaborado por Martins e Cecatto (2019).

## 5 CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas as seguintes atividades do plano de trabalho durante o período de bolsa: consulta das base de dados solares de interesse disponíveis em sites específicos da internet, criação da base de dados local com a captura dos dados de interesse do trabalho correspondentes ao período 2002 a 2017, planejamento, desenvolvimento e utilização do software FAFRAX para a identificação dos eventos solares, análise dos eventos listados, apresentação dos resultados obtidos e preparação dos relatórios. Os resultados obtidos até o presente mostram a efetividade do software criado e sua validação para a utilização como ferramenta auxiliar em um novo algoritmo que realizará uma previsão da ocorrência destes eventos, com base na tabela detalhada sobre cada “flare” detectado. Esta validação foi possível graças a análise da quantidade de eventos e suas respectivas linhas de base durante o período de mais de 1 ciclo completo. A quantidade de eventos registrados para cada classe de intensidade mostrou-se compatível com as fases do ciclo de atividade. Também, mostrou-se que a linha de base e o valor médio do nível de fluxo de pico dos eventos registrados apresentaram o comportamento esperado em relação ao nível de atividade solar. Desta maneira, o banco de dados criado deve servir de base histórica para subsidiar a tarefa de previsão de eventos solares conforme a variação da linha de base medida, contribuindo para minimizar os efeitos dessas explosões nos sistemas e serviços tecnológicos que servem aos seres humanos. Finalmente, o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos são plenamente favoráveis à continuidade do desenvolvimento de um algoritmo que os utiliza como auxiliar na tarefa de previsão de ocorrência de atividade solar e suas características com uma janela de antecedência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTINS, M. V.; CECATTO, J. R. **Investigação de fenômenos solares energéticos e desenvolvimento de métodos para previsão de sua ocorrência**. São José dos Campos: INPE, 2019. 35 p. Bolsa PIBIC/INPE/CNPq. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/3U388GL>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/3U388GL>>.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **GOES X-ray Sensor (XRS) Measurements**. 2016. 14 p. Disponível em: <[https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES\\_XRS\\_readme.pdf](https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES_XRS_readme.pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2020.

SPACE WEATHER PREDICTION CENTER - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Direct Access to GOES and POES Data | NCEI**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <<https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

SPACE WEATHER PREDICTION CENTER - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Historical SWPC Products and Data Displays**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <<ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse>>. Acesso em: 5 jun. 2020.