

DETERMINAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DAS EJEÇÕES DE MASSA CORONAL

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

Angélica Baumann Cardoso (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: angelicacardosdp@gmail.com

Nivaor Rodolfo Rigozo (CRS/INPE, Orientador)
E-mail: nivaor.rigozo@crs.inpe.br

Julho de 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelos recursos financeiros e a possibilidade de exercer essa tarefa de pesquisa, sendo meu processo o número [136550/2012-6](#).

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2012, teve como objetivo determinar e estudar o comportamento das Flares com o aumento e diminuição da atividade solar. Para isto, os dados foram obtidos através do banco de dados da NASA. Com a utilização dos dados coletados, foram determinadas séries temporais mensais e anuais das Flares.

Foram construídos gráficos para análise da relação entre as Flares e as Ejeções de Massa Coronal, que tem relação direta com a atividade solar, estes gráficos mostram o coeficiente de correlação entre as duas séries, se este coeficiente for entre 0,5 e 1, significa que existe uma relação considerável entre estas séries, portanto, quando o número de Flares aumenta o número de Ejeções também aumenta e vice-versa.

Utilizando as séries determinadas na fase anterior do projeto no período de janeiro de 2012 à julho de 2012 para as Ejeções de Massa Coronal, que mostrou a relação destas com a atividade solar, fez-se um estudo da relação da atividade solar, considerando os fenômenos mencionados, com a atividade geomagnética utilizando o índice geomagnético aa para o período de 1996-2009.

DETERMINATION OF TIME SERIES OF CORONAL MASS EJECTIONS

ABSTRACT

This work started in August 2012, aimed to determine and study the behavior of Flares with increases and decreases in solar activity. For this, the data were obtained from the NASA database. With the use of the collected data, were determined monthly and annual time series of flares.

Plots were constructed to analyze the relationship between flares and Coronal Mass Ejection, which is directly related to solar activity, these graphs show the correlation coefficient between the two series, if this ratio is between 0.5 and 1 means that there is a considerable difference between these series, so when the number of flares increases the number of ejections also increases and vice versa.

Using the series determined in the previous phase of the project from January 2012 to July 2012 for the Coronal Mass Ejection, which showed their relation to solar activity, made a study of the relationship of solar activity, considering the phenomena mentioned with geomagnetic activity using the geomagnetic index aa for the period of 1996-2009.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Esquema do sistema Sol-Vento Solar-Magnetosfera Terrestre, mostrando o acoplamento meio interplanetário – magnetosfera através do processo de reconexão magnética..... | 04 |
| Figura 4.1 – EMCs X Tempo (Meses) X Flares..... | 08 |
| Figura 4.2 – EMCs X Tempo (Anos) X Flares..... | 09 |
| Figura 4.3- Índice normalizado aa (em azul) e o número de manchas solares (em verde) em função do tempo..... | 10 |
| Figura 4.4 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e o número de manchas solares, para valores anuais..... | 10 |
| Figura 4.5 – Índice normalizado aa (em azul) e flares (em verde) em função do tempo..... | 11 |
| Figura 4.6 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as flares, para valores anuais..... | 11 |
| Figura 4.7 - Índice normalizado aa (em azul) e EMCs (em verde) em função do tempo..... | 12 |
| Figura 4.8 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as EMCs, para valores anuais..... | 13 |
| Figura 4.9- Índice normalizado aa (em azul) e EMCs Halo (em verde) em função do tempo..... | 13 |
| Figura 4.10 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as EMCs Halo, para valores anuais..... | 14 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 01 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 02 |
| | <i>2.1 Atividade Solar.....</i> | <i>02</i> |
| | <i>2.2 Atividade Geomagnética.....</i> | <i>04</i> |
| | <i>2.3 Índices Geomagnéticos.....</i> | <i>05</i> |
| | <i>2.3.1 Índice aa.....</i> | <i>06</i> |
| 3 | MÉTODOS | 07 |
| 4 | RESULTADOS..... | 08 |
| 5 | ETAPAS A SEGUIR..... | 15 |
| | REFERÊNCIAS..... | 16 |

1 – Introdução

As atividades solar e geomagnética são perturbações causadas por alterações nos campos magnéticos do Sol e da Terra, respectivamente. Estas atividades estão ligadas através do meio interplanetário, que é definido como sendo a região que se estende do Sol até o meio interestelar, e nele se encontra o vento solar e o campo magnético a ele associado (SUESS e TSURUTANI, 1998; GOSLING, 1993).

A atividade geomagnética é um conjunto de perturbações no campo magnético da Terra, causada por sistemas de correntes existentes na Magnetosfera e Ionosfera. A origem dessas perturbações deve-se a interação de partículas carregadas do vento solar e do campo magnético interplanetário, com o campo magnético da Terra. (KIVELSON e RUSSEL, 1995). As perturbações que geram um grande decréscimo na componente horizontal do campo da Terra são denominadas de tempestades geomagnéticas. (KAMIDE ET AL., 1998).

A atividade solar é responsável por diversas perturbações no campo geomagnético que podem ser recorrentes ou transientes (SUESS e TSURUTANI, 1998). As características mais claras da variabilidade solar são as mudanças com o tempo no número de manchas solares vistas na metade visível do Sol (STUIVER e QUAY, 1980), estas manchas são mais frias e mais escuras que a fotosfera normal por possuírem intensos campos magnéticos, e apresentam um ciclo em torno de 11 anos, definindo o ciclo de atividade solar. (EDDY, 1976; SCHOVE, 1983).

Outros fenômenos característicos da atividade solar são: 1) As flares, regiões brilhantes, de intensas energias, que representam violenta instabilidade de parte do campo da região ativa, resultando na liberação e emissão de grande quantidade de energia, radiação e partículas carregadas de alta energia (PRIEST, 1987); 2) As Ejeções de Massa Coronal (EMC/EMC) que são umas das maiores causadoras de tempestades geomagnéticas intensas (GOSLING et al., 1990,1991). Estas ejeções lançam grande quantidade de matéria da coroa solar para o meio interplanetário (HUNDHAUSEN et al., 1997). As CMEs do tipo Halo são aquelas que se expandem em todas as direções do meio interplanetário, conseqüentemente atingindo a Terra (WEBB, 2000).

Através de instrumentos denominados magnetômetros é possível medir o campo magnético da Terra. Medidas magnéticas de várias localizações distribuídas sobre o globo terrestre de como a atividade geomagnética varia, são complexas e volumosas para serem manipuladas facilmente. Índices geomagnéticos foram desenvolvidos para substituíres estes dados (KIVELSON e RUSSEL, 1995).

Assim, o objetivo deste projeto de pesquisa é estudar o comportamento das flares em relação a atividade Solar e após, utilizando dados obtidos em etapas anteriores do projeto determinar a relação entre a atividade solar e a atividade geomagnética. No decorrer desse trabalho será feita uma revisão bibliográfica acerca dos fenômenos em questão analisados (Ejeções de Massa Coronal, Manchas Solares, Flares, Tempestades Geomagnéticas e índices Geomagnéticos). Em seguida são apresentados em detalhes os métodos utilizados no projeto. Após isso serão relatados os e, por fim, as considerações finais sobre o trabalho e os passos que devem ser tomados para dar continuidade a este projeto de pesquisa.

2 –Revisão Bibliográfica

2.1 Atividade Solar

A emissão de energia do Sol em todas as suas formas não é constante, ela varia tanto no tempo (segundos a séculos) quanto com a posição do Sol. Quando se observa o Sol em alta resolução, em comprimentos de onda em H α ou raio-x, a fotosfera e também a atmosfera solar revelam estruturas que mudam dinamicamente de muitas maneiras. Estas estruturas são observadas em todas as latitudes no disco e em todos os níveis na atmosfera, e elas se manifestam em todas as regiões do espectro eletromagnético. A atividade solar tem influência sobre a distribuição dos campos magnéticos e partículas carregadas no meio interplanetário e tem importantes consequências no estado físico da atmosfera superior da Terra e para a atividade geomagnética (PRIEST, 1987).

A camada de convecção completa o transporte de energia e de sua irradiação do centro do Sol para o espaço pela fotosfera, e mais importante para o vento solar, ela determina as escalas temporais e espaciais da estrutura do campo magnético coronal que controla as propriedades do vento solar (“Russell, Tutoriais na Internet”).

O campo magnético é gerado pelo processo de dínamo na zona convectiva. Deste campo resultam as manchas solares, “solar flares”, ejeção de massa coronal (Coronal Mass Ejections - CME) e outros tipos de atividade magnética, bem como o ciclo solar. Os ciclos solares são variações periódicas na atividade, com uma duração dentro de um período médio de 11 anos. Estas características resultam quando o campo magnético na superfície do Sol ganham intensidade suficiente para inibir o fluxo de calor convectivo do interior do Sol (HOYT eSCHATTEN, 1997).

As regiões ativas são altamente dinâmicas, com atividade contínua e com um amplo intervalo de fluxos eletromagnéticos e de partículas. Elas aparecem como regiões claras de emissão no cinturão equatorial dentro de $\pm 30^\circ$ de latitude do equador solar e representam concentrações moderadas de fluxo magnético com campo médio de 10-2T ou mais. Dentro de regiões ativas se encontram regiões mais escuras de intenso campo magnético, as manchas solares. A presença na fotosfera de manchas solares caracteriza a fase mais intensa de uma região ativa (PRIEST, 1987).

As manchas solares são manchas negras vistas na fotosfera do Sol, porque elas são mais frias, em contraste com as regiões vizinhas que as rodeiam, tipicamente ocorrendo em grupos. O resfriamento ocorre localmente, porque o campo magnético inibe a convecção e assim permite a temperatura da manchas tornar-se mais baixa. As manchas solares apresentam uma região central escura conhecida por umbra, que apresenta um campo magnético vertical com intensidade de 0.2 a 0.3 T, e às vezes estão rodeadas por uma região mais clara chamada de penumbra (ZIRIN, 1988; KIVELSON e RUSSELL, 1995).

Próximo às manchas solares existe ocasionalmente uma região brilhante de intensa emissão de energia, as explosões solares (“solar flares”), que representam violenta instabilidade de parte do campo magnético da região ativa, resultando na liberação e emissão de grande quantidade de energia, radiação e partículas carregadas de alta energia.

A distribuição das manchas solares varia com periodicidade média de 11 anos. Um grande grupo de manchas pode durar cerca de 100 dias e “Solar Flares” duram minutos a horas. Estas mudanças estão relacionadas ao ciclo de atividade solar o qual é tradicionalmente medido pelo número de manchas solares (e.g., PRIEST, 1987; PARKS, 1991; KIVELSON; RUSSELL, 1995; BURLAGA, 1995; HOYT; SCHATTEN, 1997).

Em função de a atividade solar variar com o período de 11 anos, as estruturas do meio interplanetário e o campo magnético interplanetário também variam sistematicamente com este mesmo período. Com o congelamento das linhas de campo ao plasma, devido ao fato do vento solar ser altamente condutor, o campo magnético do Sol é arrastado com o vento solar ao longo do meio interplanetário, cuja intensidade próxima a Terra é da ordem de 5 nT. O vento solar e o campo magnético interplanetário (Interplanetary magnetic field - IMF) interagem com o campo magnético terrestre configurando uma região chamada magnetosfera. Perturbações no campo magnético interplanetário podem ser causadas por fenômenos solares como explosões solares e ejeções de massa coronal, e assim propiciar alterações no campo magnético terrestre. As explosões solares e as ejeções de massa coronal são formas de atividade solar de pequena duração, mas cujas frequências seguem o ciclo de atividade solar (PARKS, 1991; KIVELSON e RUSSELL, 1995).

Dentre os fenômenos acima relacionados à atividade solar e que estão ligados as principais variações no meio interplanetário e conseqüentemente com as variações no geoespaço são as ejeções de massa coronal (Coronal mass ejections - CMEs) (GONZALEZ et al., 1992; RICHARDSON et al , 2000; VENNERSTROEM, 2001).

Uma ejeção de massa coronal é um fluxo de plasma para fora da coroa solar ou através dela. Elas estão frequentemente, mas nem sempre, associadas com proeminências eruptivas, desaparecimento de filamento solar e “flares” (SUESS e TSURUTANI, 1998). As CMEs ao serem liberadas levam consigo grande quantidade de plasma e campo magnético apresentando diferentes.

Foi documentado por Gosling et al. (1991) que ejeções de massa coronal interplanetárias rápidas são a causa de quase todas as grandes tempestades não recorrentes, mas também que somente um sexto de todas as CMEs interplanetárias direcionadas para a Terra produz grandes tempestades, em virtude destas não gerarem campos magnéticos interplanetários para o sul de grande intensidade e longa duração (GONZALEZ et al., 1999; VENNERSTROEM, 2001).

2.2 Atividade Geomagnética

O campo magnético medido na superfície da Terra é a superposição de vários campos, cada qual com origem e variações temporais diversas. A principal contribuição provém do interior da Terra, originada pelo movimento de metais líquidos que através do mecanismo de dínamo geram correntes elétricas no núcleo. Também contribuem, porém com menor intensidade, as correntes formadas no plasma que, acima da atmosfera neutra, na ionosfera e magnetosfera, circundam a Terra, além das correntes induzidas e do material existente na crosta terrestre (MERRIL e MCELHINNY, 1983; PARKINSON, 1983).

O vento solar interage com o campo magnético terrestre, originando a magnetosfera, e transfere para ela energia que controla as correntes formadas no plasma e conseqüentemente as perturbações magnetosféricas, aurorais e ionosféricas (BAKER, 2000). Essas perturbações podem ser manifestadas por mudanças na luminosidade da aurora e pela miríade de fenômenos que recebem o termo de atividade magnética (GONZALEZ et al., 1994; BAKER, 2000). A Figura 2.1 apresenta um esquema do sistema Sol-Meio Interplanetário-Magnetosfera Terrestre, indicando os principais eventos responsáveis pelo mecanismo de acoplamento de energia vento solar-magnetosfera. À esquerda tem-se uma representação do Sol emitindo uma estrutura – uma ejeção de massa coronal –, injetando um pulso transiente de material com campo magnético e plasma perturbado no vento solar. O esquema do meio representa a estrutura propagando-se no vento solar, com o qual interage, sofrendo efeito de arraste e perturbando o campo magnético interplanetário de fundo (background). À direita tem-se a magnetosfera da Terra.

No caso do campo magnético interplanetário apresentar um componente para o sul intenso e de longa duração, a reconexão magnética com o campo geomagnético da magnetopausa é facilitada (DUNGEY, 1961; KIVELSON e RUSSELL, 1995; SUESS e TSURUTANI, 1998; Gonzalez et al., 1999), e uma maior quantidade de plasma solar entra na magnetosfera terrestre, intensificando a convecção magnetosférica de plasma e provocando o surgimento de sub-tempestades e de tempestades magnéticas. A reconexão magnética é a conexão das linhas do campo magnético terrestre com as linhas do campo magnético interplanetário.

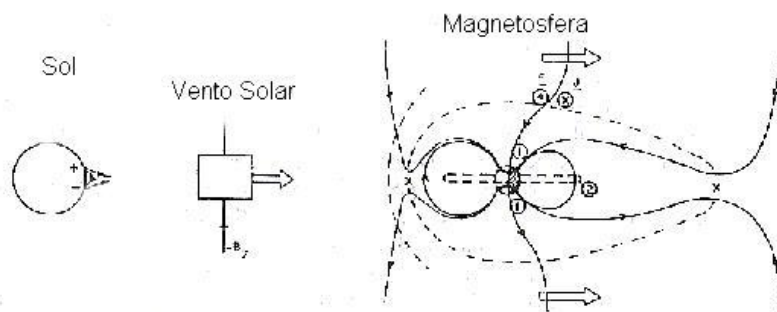


Figura 2.1: Esquema do sistema Sol-Vento Solar-Magnetosfera Terrestre, mostrando o acoplamento meio interplanetário – magnetosfera através do processo de reconexão magnética.

Fonte: Gonzalez et al. (1999, p. 531).

Dentre as atividades geomagnéticas, as que mais se destacam são as Tempestades e Subtempestades magnéticas. As tempestades magnéticas ou geomagnéticas foram denominadas como as perturbações que apresentavam grande decréscimo da componente horizontal do campo da Terra, em baixas latitudes (KAMIDE et al., 1998). O sinal característico de uma tempestade magnética é a depressão da componente H do campo geomagnético durando por várias dezenas de horas. Esta depressão é causada pela corrente de anel circulando a Terra na direção para oeste e pode ser monitorada por índices geomagnéticos (SUGIURA, 1964). O quadro de uma tempestade envolve um repentino aumento positivo na componente H do campo (começo súbito de tempestade) seguido de um período arbitrário durante o qual o campo elevado não muda substancialmente (fase inicial). A seguir tem-se uma redução da componente H do campo magnético (a fase principal) durante algumas horas e culminando com uma lenta fase de recuperação que pode durar várias dezenas de horas. A fase inicial e o começo súbito não estão sempre presentes em tempestades magnéticas, as quais são caracterizadas sempre pela presença da fase principal e de recuperação (GONZALEZ et al., 1994; KAMIDE et al., 1998).

Embora o Sol seja a causa original de quase toda a atividade geomagnética, o principal meio pelo qual ele exerce sua influência é o vento solar e o campo magnético interplanetário. A interação do vento solar com o campo magnético da Terra causa perturbações nas correntes, causando variações no campo geomagnético. Para se prever as tempestades geomagnéticas, é de vital importância conhecer suas causas no Sol e no vento solar.

Apesar da relação entre a atividade solar e a atividade geomagnética não ser simples, pode-se observar que a atividade geomagnética se intensifica com a intensificação da atividade solar (e.g., CLÚA DE GONZALEZ et. al., 1993; KIVELSON e RUSSELL, 1995; SUESS e TSURUTANI, 1998; GONZALEZ et. al., 1999; RICHARDSON et. al., 2001; GONZALEZ et. al., 2000; ECHER et. al., 2001).

2.3 Índices de Atividade Geomagnética

O estudo da relação da atividade geomagnética devido as variações ocorridas no Sol utiliza medidas do campo magnético da Terra feita por instrumentos chamados magnetômetros. Medidas magnéticas de várias localizações distribuídas sobre o globo terrestre de como a atividade magnética varia, são complexas e volumosas para serem manipuladas facilmente. Índices magnéticos foram desenvolvidos para substituir esses dados (KIVELSON e RUSSELL, 1995).

Basicamente, o objetivo de um índice é fornecer informações de uma maneira contínua a respeito de fenômenos mais ou menos complexos que variam com o tempo; isto significa que um índice é constituído por um conjunto de valores discretos, e cada um deles caracteriza o fenômeno sobre consideração para um intervalo de tempo constante.

Um dado índice pode ser utilizado para duas finalidades: para estudar o próprio fenômeno, ou como referência para o estudo de um fenômeno associado. E ainda, se a série de índices for homogênea no tempo e representa significativamente o fenômeno, ela torna-se uma ferramenta para estudos estatísticos com respeito às variações temporais do fenômeno ou suas relações com outros fenômenos (MAYAUD, 1980).

2.3.1 Índice aa

O índice aa é uma medida da atividade geomagnética global equivalente ao índice Ap, a não ser pelo fato que ele é derivado usando dados de somente dois observatórios aproximadamente antipodais. Os dados estão disponíveis desde 1868. Para cada intervalo de 3 horas, o índice K é medido nas duas estações e convertido em amplitude; um índice aa individual é a média dos valores do norte e do sul, multiplicado por um peso para explicar pequenas diferenças em latitude das duas estações, e para pequenas mudanças em muitos lugares no observatório. O intervalo da escala de aa é 2-600 e os seus valores estão em unidades de 1nT (MAYAUD, 1980; COFFEY e ERWIN, 2000; RANGARAJAN, 1989).

3 – Métodos

Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre as EMCs e suas classes, atividade solar – o que inclui as manchas solares, que são consideradas o mais antigo índice de atividade solar – e sobre índices geomagnéticos que são importantes pois determinam a intensidade de perturbações na magnetosfera terrestre, nos permitindo identificar se possivelmente houve ou não uma tempestade geomagnética. Esses estudos foram realizados para que houvesse um maior domínio sobre o que estaria sendo tratado nas etapas seguintes e até mesmo para saber que tipo de comportamento se esperar das análises realizadas baseando-se em publicações semelhantes.

Após esse levantamento, no primeiro ano do projeto já foram obtidas as séries temporais das EMCs, das EMCs do tipo Halo e também das Manchas solares, tanto séries mensais como anuais e estabeleceu-se a correlação entre elas, observando-se que as EMCs se comportam de maneira semelhante às Manchas obedecendo então ao ciclo solar de 11 anos fazendo parte da atividade solar. Neste segundo momento foi realizada a obtenção de séries temporais anuais e mensais para as Flares – outro fenômeno solar, são erupções na superfície do Sol relativas à atividade solar – comparando então estas séries com as séries das EMCs já obtidas anteriormente, para observar a relação entre elas.

Em uma última etapa deste processo, obtiveram-se os dados referentes ao índice geomagnético aa, que tem relação com a atividade geomagnética, e estabeleceu-se a correlação existente entre a série do índice aa e as séries anuais da atividade solar (EMCs, Manchas Solares, Flares).

O estudo da correlação linear entre duas séries temporais de mesmo tamanho nos informa se as alterações sofridas por uma série temporal são acompanhadas por alterações na outra (Figueiredo, 2007). Os pares de valores das duas variáveis foram colocados num diagrama cartesiano chamado “diagrama de dispersão”. O coeficiente de correlação linear (r) é determinado por:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\left[\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right] \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{S_{xy}}{(S_{xx} \cdot S_{yy})^{\frac{1}{2}}} = \frac{\sqrt{S_{xy} \cdot S_{xy}}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}} = \sqrt{\frac{b \cdot S_{xy}}{S_{yy}}} \quad (1)$$

Onde

n = n° de observações

O coeficiente de correlação linear varia de -1 a +1 e sua interpretação dependerá do valor numérico e do sinal, como segue (Figueiredo,2007):

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| r = -1 correlação perfeita negativa | r = 1 correlação perfeita positiva |
| 0,7 < r < 1 correlação forte | -1 < r < 0 correlação negativa |
| 0,2 < r < 0,4 correlação fraca | r = 0 correlação nula |
| 0,4 < r < 0,7 correlação moderada | |

4 – Resultados

Com os estudos realizados foi possível obter domínio sobre o tema que seria tratado, possibilitando assim saber quais dados coletar e de que maneira tratá-los para se obter um resultado consistente. Com a construção das séries das flares tanto anuais como mensais, foi possível, através de análise gráfica, observar o comportamento desse fenômeno relacionado com o comportamento das EMCs. Abaixo, podemos visualizar na figura 1 a relação entre EMCs X Flares para o período mensal e na figura 2 para o período anual.

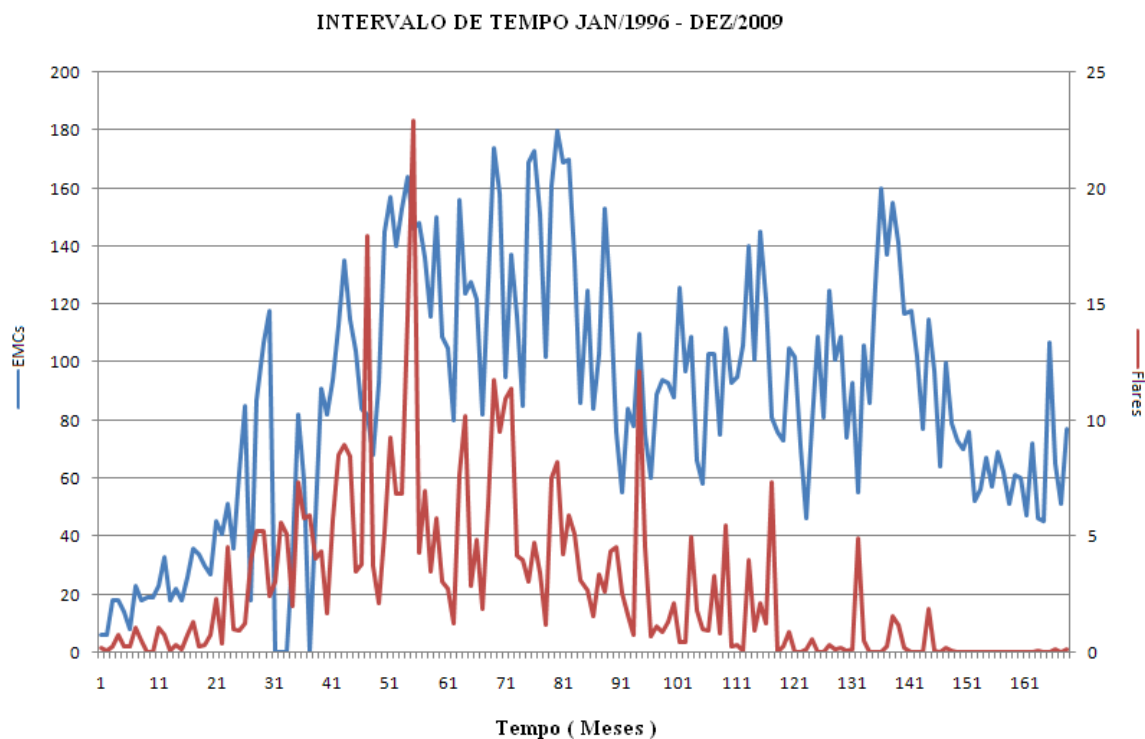


Figura 1 – EMCs X Tempo (Meses) X Flares

Podemos observar que conforme o número de Ejeções aumenta, assim também aumenta o número de flares, o mesmo comportamento ocorre para quando há uma diminuição, tanto de uma quanto de outra, deixando visível que os dois fenômenos estão relacionados entre si. Conforme a etapa anterior do trabalho, as EMCs estão totalmente ligadas a atividade solar, quando a atividade solar esta em alta o número de EMCs aumenta, quando a atividade solar esta em baixa o numero de EMCs diminui, portanto pelo comportamento semelhante das EMCs em relação às flares, podemos afirmar que as flares seguem o ciclo da atividade solar, isto também pode ser observado na figura 2, onde a relação entre os fenômenos fica ainda mais clara.

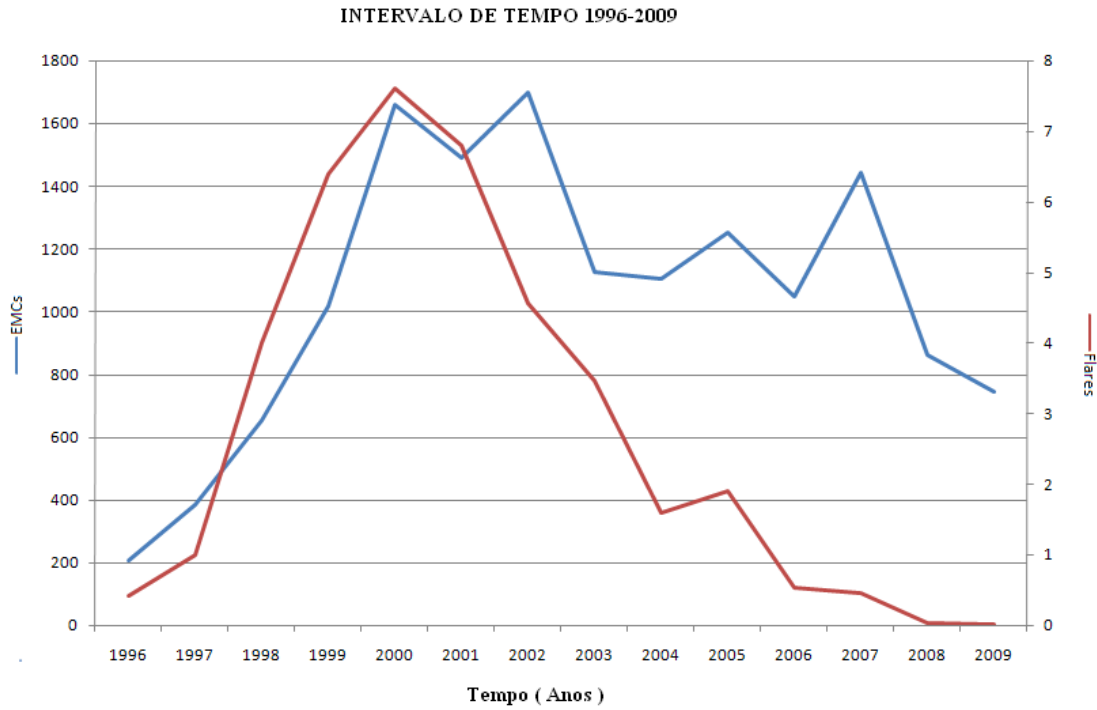


Figura 2 – EMCs X Tempo (Anos) X Flares

Com este resultado fica clara a relação entre eles, demonstrando então que as Flares também estão relacionadas à atividade Solar, o que será utilizado para comparação com a atividade geomagnética.

A Figura 3 mostra a representação gráfica das séries das Manchas Solares (Verde) com o Índice aa (Azul) em função do tempo (Anos). Este índice determina a intensidade da atividade magnética global.

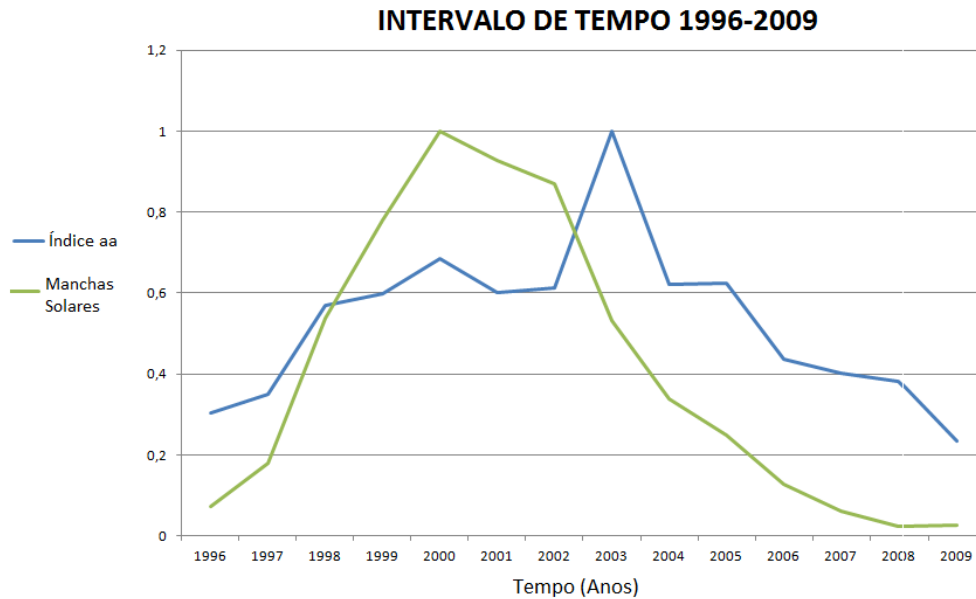


Figura 3- Índice normalizado aa (em azul) e o número de manchas solares (em verde) em função do tempo.

Observa-se na Figura 3 que os dois fenômenos possuem uma característica em comum, no início seus valores são crescentes, chegando a um pico e depois seus valores decaem, no entanto eles se encontram defasados um em relação ao outro. As Manchas possuem a característica de um crescimento mais rápido e um declínio mais lento, ao passo que a variação da intensidade do campo magnético terrestre mantém um comportamento equilibrado quanto a esta característica.

A Figura 4 apresenta o diagrama de dispersão e o coeficiente de correlação linear entre os dois fenômenos.

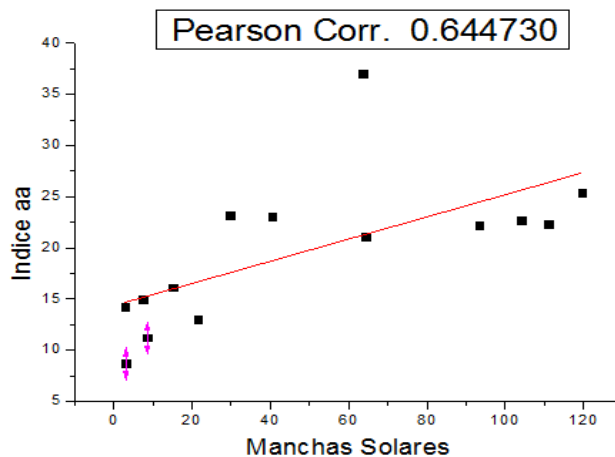


Figura 4 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e o número de manchas solares, para valores anuais.

O valor do coeficiente de correlação encontrado foi de aproximadamente 0,64, o que demonstra que existe uma correlação moderada entre a ocorrência das manchas e a perturbação causada na magnetosfera.

Na Figura 5 mostra a ocorrência de Flares (Verde) e a variação do Índice aa (Azul) em função do tempo (em anos) dentro do período estudado.

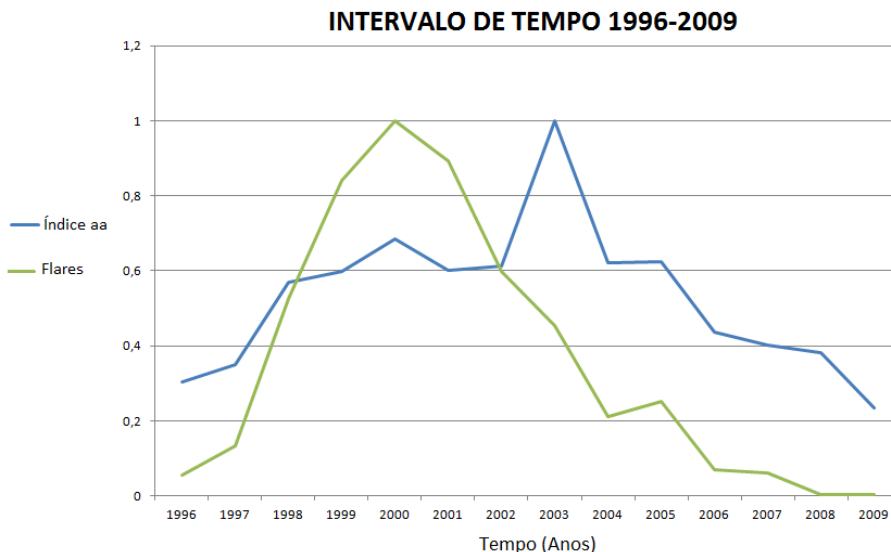


Figura 5 – Índice normalizado aa (em azul) e flares (em verde) em função do tempo.

Da mesma maneira que para as Manchas Solares, podemos verificar uma defasagem entre os dois fenômenos, mas fica claro que os dois passam por um processo de aumento e em seguida de diminuição. Nota-se que os períodos iniciais e finais se comportam de maneira muito semelhante, quando há o aumento de um, há também do outro, da mesma forma, no período final, a partir de 2004 aproximadamente, os dois decaem proporcionalmente. Na Figura 6 encontra-se o diagrama de dispersão das flares em relação ao Índice aa.

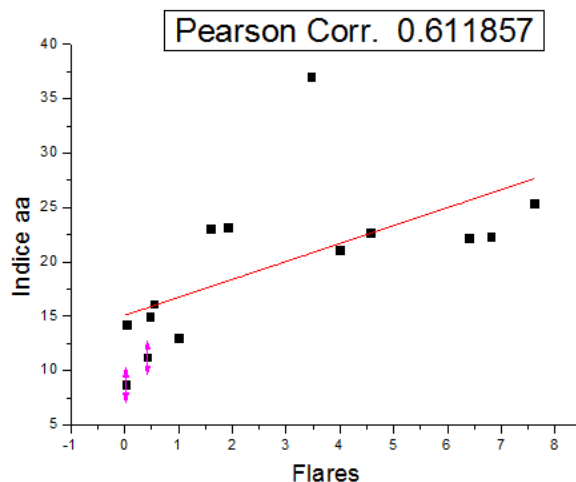


Figura 6 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as flares, para valores anuais.

O valor obtido para o coeficiente de correlação foi de 0,61, também é um coeficiente moderado, e muito aproximado ao das manchas solares. Demonstrando assim a existência de uma relação.

A Figura 7 mostra as EMCs (Verde) e o índice aa (azul). Observa-se que o comportamento das EMCs em relação ao índice aa é diferente dos casos anteriores. No início os dois fenômenos começam a crescer proporcionalmente, no entanto a partir do ano 2000, aproximadamente, os comportamentos mudam. o comportamento é semelhante até 2003, e só volta a coincidir em 2008. Este fato se deve ao comportamento diferenciado das EMCs no período de 2004 à 2008, período de decaimento da atividade solar – como observado nos casos anteriores. Novamente é observado (como nas manchas solares e nas flares) uma defasagem no tempo com o índice geomagnético aa.

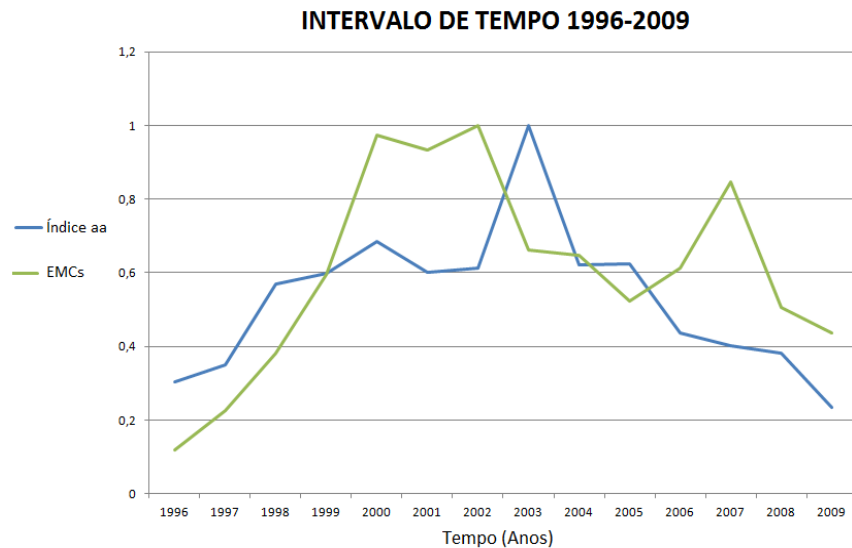


Figura 7 - Índice normalizado aa (em azul) e EMCs (em verde) em função do tempo.

Na Figura 8 encontra-se o gráfico de dispersão para as EMCs e o índice aa. O valor do coeficiente de correlação encontrado foi de 0,50, apresentando uma correlação moderada entre as perturbações no campo geomagnético. Isto se deve provavelmente ao período de 2004-2008. Neste estudo estamos levando em consideração a atividade solar, no entanto, ao correlacionar EMCs com Índices geomagnéticos, devemos levar em consideração que nem todas as ejeções estão na direção Sol-Terra, o que pode causar variação no coeficiente.

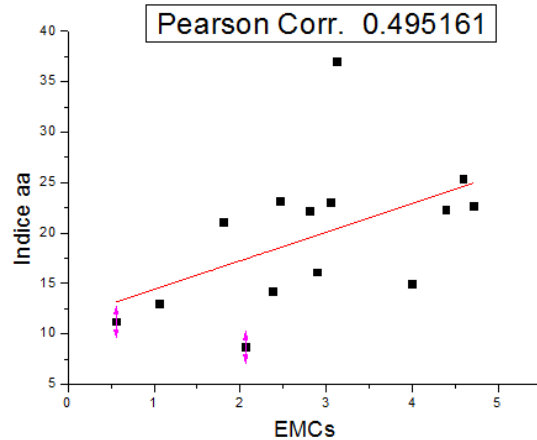


Figura 8 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as EMCs, para valores anuais.

Na Figura 9 encontra-se o gráfico das EMCs (Verde) e o índice aa (Azul) em função do tempo. Mais uma vez se observa que o comportamento, principalmente no período de aumento, é semelhante nos dois fenômenos, que também apresenta uma defasagem em função do tempo entre os dois fenômenos.

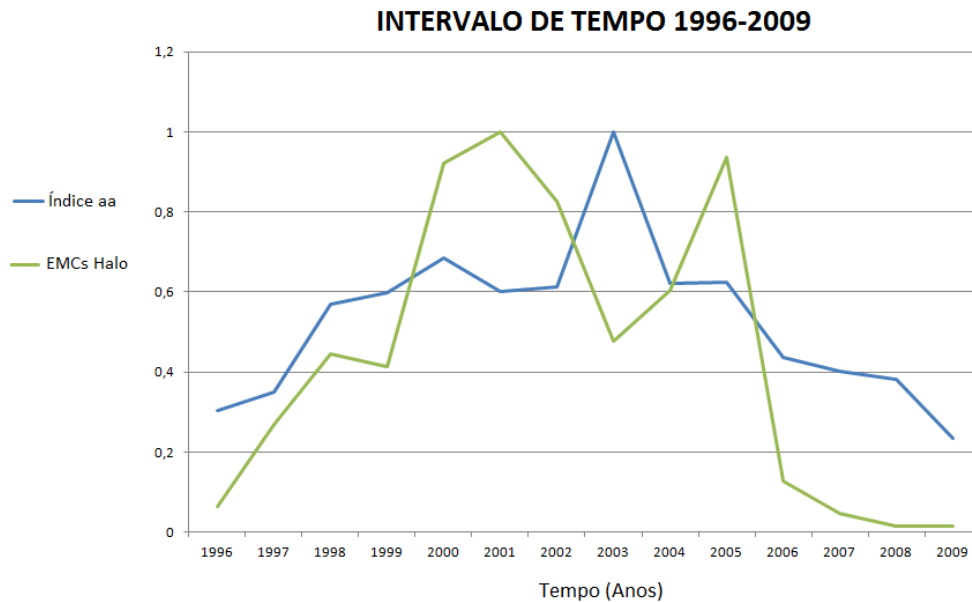


Figura 9 – Índice normalizado aa (em azul) e EMCs Halo (em verde) em função do tempo.

Na Figura 10 encontra-se o diagrama de dispersão para o caso das EMCs do Tipo Halo e o índice aa. O valor do coeficiente de correlação obtido para o caso das EMCs do tipo Halo foi de 0,65, sendo o maior encontrado nesse estudo, no entanto ainda é um valor de correlação moderada. O fato de este valor ser maior do que os outros pode estar relacionado com que as EMCs do Tipo Halo sempre irão atingir a Magnetosfera Terrestre, causando assim variações no índice aa.

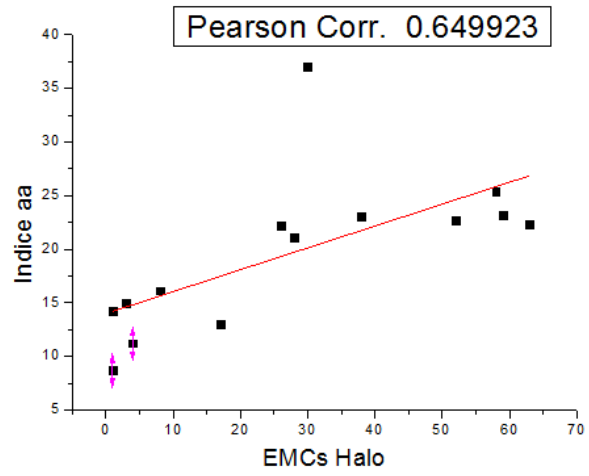


Figura 10 – Diagrama de dispersão entre o índice aa e as EMCs Halo, para valores anuais.

5 –Etapas a Seguir

Então, a partir dos resultados obtidos, verificamos que há uma grande ligação dos fenômenos solares estudados com o ciclo solar de 11 anos e deste ciclo com a atividade geomagnética. Esta relação pode ser observada apenas com a construção das séries, mas pode ser mais bem visualizada com o auxílio de diagramas de dispersão.

Para a continuação desse projeto será feita um estudo da defasagem encontrada nos gráficos entre os fenômenos solares e o índice aa, utilizando o método de lag e também serão determinadas séries de outros índices geomagnéticos para comparação.

Referências

D. J. Schove, Sunspot Cycles, Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, Pennsylvania (1983).

Gosling, J. T., D. J. McComas, J. L. Phillips, and S. J. Bame, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.*, 96, 7831-7838, 1991.

GOSLING, J.T. Coronal mass ejections: the link between solar and geomagnetic activity. *Physics Fluids B*, v.5, n.7, July 1993.

Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, and J. L. Phillips, Coronal mass ejections and large geomagnetic storms, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 901-904, 1990.

Hundhausen, A. J. An introduction. In: Crooker, N.; Joselyn J. A.; Feynman, J. ed. *Coronal mass ejections*, Washington, DC: AGU, 1997. v. 99, p.1-7.

KAMIDE, Y. et al. Current understanding of magnetic storms: Storm-substorm relationships. *Journal of Geophysical Research*, v.103, p.17705-17728, 1998.

KIVELSON, M.G.; RUSSELL, C.T. *Introduction to space physics*. Los Angeles: Cambridge University, 1995.

J. A. Eddy, *Science*, 192, 1189 (1976).

M. Stuiver e P. D. Quay, *Science*, 207, 11 (1980).

PRIEST, E.R. *Solar magneto-hydrodynamics*. Dordrecht: D. Reidel, 1987.369p. (Geophysics and Astrophysics Monographs).

SUESS, S.T.; TSURUTANI, B.T. *From the sun: auroras, magnetic storms, solar flares cosmic rays*. Washington: American Geophysical Union, 1998. p.172.

Webb, David F., "Coronal mass ejections: Origins, evolution and role in space weather", in *IEEE Transactions on Plasma Science; Special Issue on Space Plasmas*, 2000, 28, 1795-1806, 2000.