

Estudo dos Raios Cósmicos que Chegam na Terra

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

Giuliano Damião (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: giuliano.damiao@hotmail.com

Nivaor Rodolfo Rigozo (DGE/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: rodolfo@dge.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/INPE/MCTI, Co-Orientador)

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 137412/2012-6. Agradeço juntamente o trabalho e ajuda do meu orientador Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo e co-orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, além do apoio e companheirismo de todos os meus colegas de laboratório.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo dos raios cósmicos que chegam à Terra através do uso de séries temporais, para se entender melhor a interação dos fenômenos entre raios cósmicos – Sol – Terra. Foram utilizados dados do número de manchas solares, dos raios cósmicos secundários de nêutrons, para três estações diferentes, e dos cosmonuclídeos atmosféricos. Utilizando esses dados foi feita uma análise a respeito do comportamento das curvas dos gráficos gerados.

STUDY OF COSMIC RAYS ARRIVING THE EARTH

ABSTRACT

The present work has the objective study the cosmic rays that reach the Earth through use of time series, to better understand the interaction phenomena between cosmic rays – Sun – Earth. Where used data from sunspot numbers, secondary cosmic ray neutron data, for three different stations, and atmospheric cosmonuclides data. Using this data an analysis was made regarding the behavior of the curves generates in the graphics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Imagem de uma Mancha Solar.....	03
Figura 2-Diagrama indicando pares de manchas com polaridade oposta em ambos os hemisférios.....	03
Figura 3-Exemplo de arquivo retirado do SPIDR.....	08
Figura 4-Gráfico anual do Número de Manchas Solares.....	11
Figura 5-Gráfico da contagem de Raios Cósmicos em Hermanus.....	11
Figura 6-Gráfico da contagem de Raios Cósmicos em Mawson.....	12
Figura 7-Gráfico da contagem de Raios Cósmicos em Yakutsk.....	12
Figura 8-Relação Manchas-Hermanus.....	13
Figura 9-Relação Manchas-Mawson.....	13
Figura 10-Relação Manchas-Yakutsk.....	14
Figura 11-Comparação entre medidas de Raios Cósmicos para as três estações.....	14
Figura 12-Gráfico Manchas Solares X C-14.....	15
Figura 13-Gráfico Manchas Solares X Be-10.....	15
Figura 14-Gráfico Mancha comparando todas estações.....	16

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	01
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	02
2.1- O Sol	02
2.2- Vento Solar.....	02
2.3- Manchas Solares.....	02
2.4- Raios Cósmicos.....	04
2.4.1- Raios Cósmicos Galácticos.....	04
2.4.2- Raios Cósmicos Solares.....	05
2.5- Produção de Radionuclídeos Cosmogênicos.....	05
2.5.1- Intensidade dos Raios Cósmicos Primários.....	05
2.5.2- Modulação Solar.....	06
2.5.3- Modulação Geomagnética.....	06
2.6- Carbono 14 (C-14).....	06
2.6.1- Efeito Suess.....	07
2.7- Berílio 10 (Be-10).....	07
3- MATERIAIS E MÉTODOS.....	08
3.1- Dados.....	08
3.2- Técnica.....	09
4- RESULTADOS.....	11
5- ETAPAS A SEGUIR.....	17
REFERÊNCIAS.....	18

1- INTRODUÇÃO

A busca por respostas quanto aos acontecimentos na região exterior ao planeta Terra vem intrigando a sociedade desde tempos remotos. Que tipo de eventos acontecem “acima do céu” e quais as influências desses eventos em nossas vidas, são perguntas típicas do ser humano. E é com esse mesmo tipo de curiosidade que o presente trabalho tem por objetivo o estudo dos raios cósmicos que chegam na Terra através de séries temporais, para que se possa entender melhor a interação dos fenômenos raios cósmicos – Sol – Terra.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O interesse de estudo no presente trabalho são os raios cósmicos, do inglês Cosmic Rays (CR). Porém, para se ter um melhor entendimento deste assunto é necessário entender melhor o Sol e as relações Sol-Terra. Diversos fatores que derivam do Sol interferem diretamente o fluxo de raios cósmicos, por isso daremos ênfase em certos pontos da atividade solar e por fim, descreveremos certos elementos que são gerado pelos raios cósmicos que podem nos ajudar nesse estudo.

2.1- O Sol

O Sol é uma estrela, e tem idade aproximada de 4,5 bilhões de anos. A distância média entre a Terra e o Sol, definida como uma unidade astronômica (1 U.A.), é de cerca de 150 milhões de quilômetros. Sua composição é de cerca de 90% de Hidrogênio (H), ~10% de Hélio (He) e aproximadamente 0,1% de elementos mais pesados: Carbono (C), Nitrogênio (N) e Oxigênio (O) (Echer et al., 2003). A Temperatura superficial do Sol é de cerca de 5780K, que equivale a aproximadamente 5500°C, e é essa grande temperatura da superfície solar que faz com que os gases nessa região sejam quase totalmente ionizados, formando um plasma.

2.2- Vento Solar

O vento solar, como o próprio nome sugere, tem origem no Sol. Ele pode ser considerado como um fluxo contínuo de plasma que sai do Sol. De acordo com Tsurutani e Gonzalez (1998) à uma distância de 1 U.A., a velocidade do vento solar é de aproximadamente 400km/s e possui aproximadamente uma densidade de 7 partículas/cm³. O plasma é constituído primariamente por elétrons e por prótons, possuindo uma fração menor, entre 3% e 5%, de íons de Hélio (He). E este plasma está embutido em um campo magnético com intensidade de aproximadamente $5nT$ (cinco nano Tesla). Próximo ao período de máxima atividade solar, esse vento solar pode atingir velocidades superiores a 600km/s, onde pode, ocasionalmente, atingir velocidades superiores a 1000km/s.

2.3- Manchas Solares

De acordo com Stuvier e Quay (1980), as características mais claras da variabilidade solar são as mudanças com o tempo no número de manchas solares vistas na metade visível do Sol. As manchas solares são regiões mais frias e mais escuras do que a fotosfera

circunvizinha, e emitem menos energia que a fotosfera em geral porque possuem intensos campos magnéticos que bloqueiam a energia transmitida para cima pelas células de convecção na região sub-fotosférica (Echer et al., 2003; Eddy, 1976; Schöve, 1983; Kivelson e Russel, 1995). As manchas são formadas por campos magnéticos toroidais, que são trazidos à superfície solar por efeito de empuxo (Echer et al., 2003).

Uma mancha solar grande pode cobrir uma área de cerca de 700 vezes a área superficial da Terra, tendo $20 \times 10^6 m$ de diâmetro (Hoyt e Schatten, 1997). A figura abaixo mostra uma imagem de uma mancha solar com duas partes distintas bem visíveis.

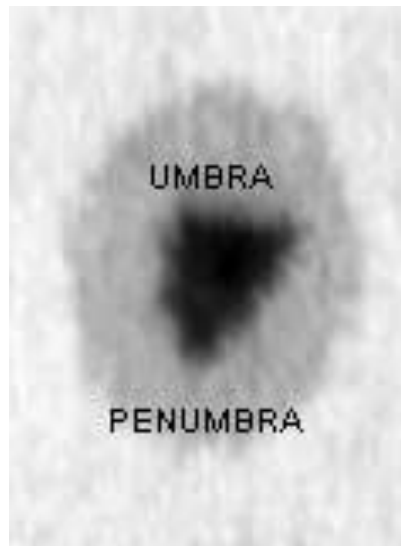


Figura 1 Imagem de uma mancha solar.

Fonte: Echer et al., 2003

Na Figura 1, temos a imagem de uma mancha solar com duas partes visíveis e distintas, a Umbra e a Penumbra. A Umbra é a região mais escura da mancha solar e possui uma temperatura de cerca de 4100K. A Penumbra é representada pela região acinzentada e tem, em geral, cerca de 2,5 vezes o diâmetro da Umbra. Apesar de existirem essas duas partes em algumas manchas, apenas metades das manchas solares formadas possuem Penumbras (Echer et al., 2003). O campo magnéticos na Umbra é quase vertical e é mais horizontal na Penumbra.

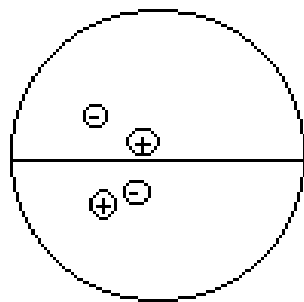


Figura 2 Diagrama indicando pares de manchas com polaridade oposta em ambos os hemisférios solares.

Fonte: Echer et al., 2003.

Quanto ao surgimento das manchas, temos que elas tendem a ocorrerem em pares de polaridade oposta, como mostra a Figura 2. A mancha mais a oeste em um determinado grupo é a mancha líder ou precedente, e as mais a leste são as manchas seguidoras. Geralmente a primeira mancha a se formar e a última a desaparecer é a mancha líder, também é ela a primeira a formar uma penumbra e a última a perde-la, além de ser a maior mancha na vida de um grupo, de acordo com Echer et al. (2003). Os grupos de mancha de um dado hemisfério solar tendem a ter líderes da mesma polaridade magnética.

O ciclo solar de Hale, tem duração de vinte e dois anos. A polaridade magnética do Sol alterna a cada onze anos, isso faz com que as manchas líderes de cada hemisfério tenham polaridade oposta em cada fase do ciclo de Hale. Próximo ao máximo solar parece não existir polaridade dominante em nenhum polo, e uma reversão da polaridade solar começa a tornar-se aparente cerca de dois anos após o máximo solar (Echer et al., 2003; Kivelson e Russel, 1995; Hoyt e Schatten, 1957).

2.4- Raios Cósmicos

Os raios cósmicos são a principal fonte de estudo do presente trabalho, e de acordo com Jokipii (1998) eles são partículas energéticas, principalmente íons, com energia cinética se estendendo de pouco mais do que energias térmicas até energias com mais de $10^{20} eV$. Os raios cósmicos bombardeiam a Terra constantemente de todas as direções, com mais de 10^{18} partículas, tendo energia superior a $1MeV$ atingindo o topo da atmosfera terrestre a cada segundo.

Acredita-se que os raios cósmicos são produzidos naturalmente em plasmas astrofísicos. De acordo com Rigozo (1994), os raios cósmicos provocam diversos tipos de reações nucleares, as quais resultam na formação de radionuclídeos cosmogênicos. Os raios cósmicos são divididos, essencialmente, em dois grupos: Raios Cósmicos Galáctico (RCG) e os Raios Cósmicos Solares (RCS).

2.4.1- Raios Cósmicos Galácticos

Os RCG são formados fora do sistema solar (Rigozo, 1994). Quanto ao seu processo de formação, Jokipii (1998) diz que os RCG são acelerados primariamente por ondas da explosão de uma supernova. O raio cósmico é então confinado na galáxia pelo campo magnético galáctico por algumas dezenas de milhões de anos.

O tempo médio de confinamento desse raio cósmico “primário” na galáxia é obtido do raios cósmico “secundário”, o qual resulta de raras colisões de raios cósmicos primários energéticos com partículas de gás interestelar. O número de secundários depende da

quantidade de matéria atravessada pelos raios cósmicos primários desde sua criação. Isso, por sua vez depende da idade do raio cósmico e da densidade média de matéria onde ele se propaga. Além disso, alguns desses raios cósmicos secundários possuem núcleos instáveis que decaem com sua propagação ao redor da galáxia (Jokipii, 1998).

2.4.2- Raios Cósmicos Solares

Os RCS são formados no Sol e possuem energia inferior a energia dos raios cósmicos galácticos.

2.5- Produção de Radionuclídeos Cosmogênicos

Isótopos cosmogênicos são núcleos formados por reações nucleares induzidas, direta ou indiretamente, pelos raios cósmicos (Rigozo, 1994). Parte da radiação desses nuclídeos cosmogênicos é produzida por nêutrons secundários (Raisbeck e Yiou, 1984).

Ao incidir na atmosfera da Terra, os raios cósmicos produzem radionuclídeos cosmogênicos atmosféricos. Por esta razão, a maior parte da produção de nuclídeos cosmogênicos ocorre na parte superior da atmosfera. Aproximadamente 70% acontece na estratosfera e 30% na troposfera (Rigozo, 1994; McHargue e Damon, 1991).

Porém, a produção de radionuclídeos na Terra sujeita a três fatores variáveis, que são a intensidade de raios cósmicos primários, a modulação solar e a modulação geomagnética (Rigozo, 1994; Raisbeck e Yiou, 1984; O'Brien, 1979).

2.5.1- Intensidade dos Raios Cósmicos Primários

A radiação primária dos raios cósmicos refere-se ao fluxo de partículas de altas energias, a maioria composta por prótons (~90%), partículas alfa (~10%) e núcleos pesados (cerca de 1%), que chegam no sistema solar oriundos do espaço interestelar (Rigozo, 1994).

A origem dessas partículas é, em partes, desconhecida, mas a maioria das numerosas teorias sobre seus processos de aceleração estão associadas às supernovas remanescentes. Algumas dessas teorias permitem prever que os fluxos de raios cósmicos que encontram o sistema solar mostram variações com o tempo. Acredita-se que essas variações sejam devidas,

principalmente, à sua origem e às influências do meio interestelar que são desconhecidas (Rigozo, 1994; Raisbeck e Yiou, 1984).

2.5.2- Modulação Solar

O vento solar tende a repelir os raios cósmicos galácticos para fora da heliosfera, por causa do seu campo magnético, causando mudanças no espectro de energia dos raios cósmicos que alcançam a órbita da Terra, este fenômeno é chamado de Modulação Solar (Rigozo, 1994; Stuvier e Braziunas, 1989).

Esta modulação é mais intensa no máximo do ciclo solar de 11 anos, quando a atividade do Sol é máxima. Assim a magnitude dessa modulação está relacionada à atividade solar, que por sua vez pode ser medida pelo número de manchas solares. Desta modulação resulta a redução do fluxo de raios cósmicos na região de produção dos cosmonuclídeos atmosféricos torne-se aproximadamente 30% menor durante o máximo do ciclo solar (Rigozo, 1994; Beer, et al., 1984).

2.5.3- Modulação Geomagnética

Devido ao fato de os raios cósmicos serem partículas eletricamente carregadas, eles sofrem desvios devido à presença do campo magnético terrestre. O vento solar contribui com a diminuição do fluxo de raios cósmicos na Terra pela compressão das linhas de força e intensificação do campo geomagnético, e com isso dificulta a entrada dos raios cósmicos (Rigozo, 1994). Pelo fato de o campo geomagnético se assemelhar ao campo de um dipolo, a produção de cosmonuclídeos é mais intensa próxima dos polos e menos intensa próxima do equador (Haymes, 1971).

2.6- Carbono 14 (C-14)

O cosmonuclídeo atmosférico Carbono 14 é produzido por raios cósmicos galácticos de média energia chocando-se constantemente no topo da atmosfera. São os nêutrons secundários dos raios cósmicos galácticos que formam o Carbono 14 (Rigozo, 1994). A reação de formação do Carbono 14 é dada pela fórmula $n + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{14}\text{C} + p$.

De acordo com Rigozo (1994) a razão do C-14 no topo da atmosfera varia em função do tempo, por causa da modulação do fluxo de raios cósmicos galácticos pelas interações magnéticas do vento solar. Um quarto elemento influencia na variação do C-14 na atmosfera, esse é o efeito Suess.

2.6.1- Efeito Suess

A partir do ano de 1950 houveram muitas explosões termonucleares que geraram a produção artificial de C-14 em quantidades elevadas. Além disso, após o início da revolução industrial, houve a produção atmosférica de dióxido de carbono industrial, que está em estado crescente. Toda essa produção de CO_2 faz com que haja a diluição do CO_2 radioativo na atmosfera, e esse é o chamado Efeito Suess.

2.7- Berílio 10 (Be-10)

A produção de Be-10 na atmosfera é largamente devida ao espalhamento nuclear do oxigênio e nitrogênio, induzido por nêutrons secundários formados pela interação dos raios cósmicos galácticos com a atmosfera terrestre. O Be-10 é produzido primeiramente na atmosfera e na troposfera; aproximadamente 70% da produção de cosmonúclídeos atmosféricos ocorre na estratosfera e cerca de 30% da produção é feita na troposfera (Rigozo, 1994; McHargue e Damon, 1991). A reação de formação do berílio 10 pode ser dada por $^{14}N(n,p\alpha)^{10}Be$.

O Be-10 difere do C-14 por alguns aspectos-chave como a sua meia-vida ser mais longa, e seu curto tempo de residência no reservatório que troca com a atmosfera, permitindo seu uso como monitor de processos de curto período (Rigozo, 1994; Morris, 1991).

O Be-10 chega à superfície da Terra primeiramente por precipitação, sendo transportado à Terra pela água da chuva na qual ele incorpora-se no processo de condensação nas nuvens. O Be-10 não é depositado na Terra somente pelas chuvas, mas também pela neve das montanhas e regiões polares (Rigozo, 1994; McHargue e Damon, 1991).

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Dados

Para o estudo do presente trabalho foram utilizados dados de séries temporais de extraídos do site <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>. Os dados utilizados foram o número de manchas solares e o número de raios cósmicos contados por detectores de nêutrons.

Os dados de raios cósmicos foram obtidos de três estações diferentes:

- a) Estação de Hermanus: Informações sobre esta estação estão disponíveis no link: http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidrvo/viewdata.do?docname=CriStationsHRMS#Identification_Information <Acesso em: 20/06/2013>;
- b) Estação de Mawson: Informações sobre esta estação estão disponíveis no link: http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidrvo/viewdata.do?docname=CriStations_MWSN#Identification_Information <Acesso em: 20/06/2013>;
- c) Estação de Yakutsk: Informações sobre esta estação estão disponíveis no link: http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidrvo/viewdata.do?docname=CriStationsYKTK#Identification_Information <Acesso em: 20/06/2013>.

Foram selecionados os dados corrigidos dos raios cósmicos para cada uma destas estações, sendo que estes dados eram salvos em uma planilha de formato “.txt” na qual constava informações segundo a Figura 3.

```
|#Spidr data output file in ASCII format created at 2012-12-27
16:48
#GMT time is used
#
#-----
#>
#Element: cri_c
#Description: Corrected CRI
#Measure units: count
#Origin:
#Station code: HRMS
#Station name: HERMANUS
#Sampling: 1 hour
#Missing value: 0.0
#>
#yyyy-MM-dd HH:mm value qualifier description
1957-06-01 00:00 0.0 "" ""
1957-06-01 01:00 0.0 "" ""
1957-06-01 02:00 0.0 "" ""
1957-06-01 03:00 0.0 "" ""
1957-06-01 04:00 0.0 "" ""
1957-06-01 05:00 0.0 "" ""
1957-06-01 06:00 0.0 "" ""
1957-06-01 07:00 0.0 "" ""
1957-06-01 08:00 4240.0 "" ""
1957-06-01 09:00 4240.0 "" ""
1957-06-01 10:00 4297.0 "" ""
1957-06-01 11:00 4297.0 "" ""
1957-06-01 12:00 4294.0 "" ""
```

Figura 3 Exemplo arquivo retirado do SPIDR

A imagem da Figura 3 mostra exatamente como saem, originalmente, os dados do site SPIDR. Nele temos um cabeçalho que indica a data e hora em que o arquivo foi gerado pelo sistema e mostra informações como de qual estação ele foi retirado, a descrição de que tipo de dado está sendo analisado e o intervalo de tempo de cada medida.

Para prosseguir o trabalho, foram feitas cópias destes arquivos e foram retirados os “excessos de informação” de forma que o arquivo contivesse apenas as datas e os valores medidos. Como os dados apresentados nos arquivos estavam com a contagem por horas, foi feita a média para que tivéssemos os dados por dia. Uma nova média foi feita para se obter os resultados por mês, e uma última média foi feita para que se obtivesse a média anual dos dados. Com os dados das manchas solares foi feito o mesmo processo, de forma que tivéssemos as médias anuais. Apesar do fato que para as manchas solares tínhamos a resolução diária no arquivo de origem, e não a horária.

Além dos dados de manchas solares e de contagem de raios cósmicos, foram utilizadas séries temporais da quantidade de carbono 14 e berílio 10 na Terra. Os dados de carbono 14 foram retirados do site <http://depts.washington.edu/qil/datasets/> (último acesso em 30/06/2013) pertencente a universidade de Washington. Os dados de berílio 10 utilizados foram retirados do site <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/current.html> (último acesso em 30/06/2013), onde os dados utilizados foram os de berílio do Dome Fuji.

Com esses dados em mãos, foram montados gráficos dos eventos, de forma que, através de suas análises, pudéssemos entender mais sobre o comportamento dos raios cósmicos, que é o objetivo do presente trabalho.

3.2- Técnica

Para a análise dos dados de manchas solares e contagem de raios cósmicos foi feito um processo de correlação linear. Considerando a existência de duas variáveis distintas x_i e y_i , buscamos saber se existe alguma relação nos valores observados, ou seja, gostaríamos de saber se há ou não algum tipo de correlação entre as variáveis x e y . A correlação expressa o grau de relação entre essas duas variáveis, isto é, qual a tendência da variação conjunta das duas variáveis consideradas de se colocarem segundo uma reta. Uma medida do grau de correlação linear é dada pelo coeficiente de correlação linear r .

$$r(n) \equiv \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

O coeficiente de correlação r é adimensional e varia entre +1 e -1, onde +1 mostra perfeita correlação e -1 mostra exatamente o oposto. O valor zero indica que não há correlação. Podemos considerar um valor com $|r| \geq 0,6$ como sendo de uma boa correlação. Caso o resultado possua sinal positivo teremos x e y crescendo e decrescendo juntas, enquanto que com o sinal negativo teremos uma crescendo enquanto uma diminui e vice-versa.

4- RESULTADOS

Utilizando os métodos descritos no capítulo 3, obtivemos os gráficos abaixo para o número de manchas solares e para os raios cósmicos em cada uma das estações.

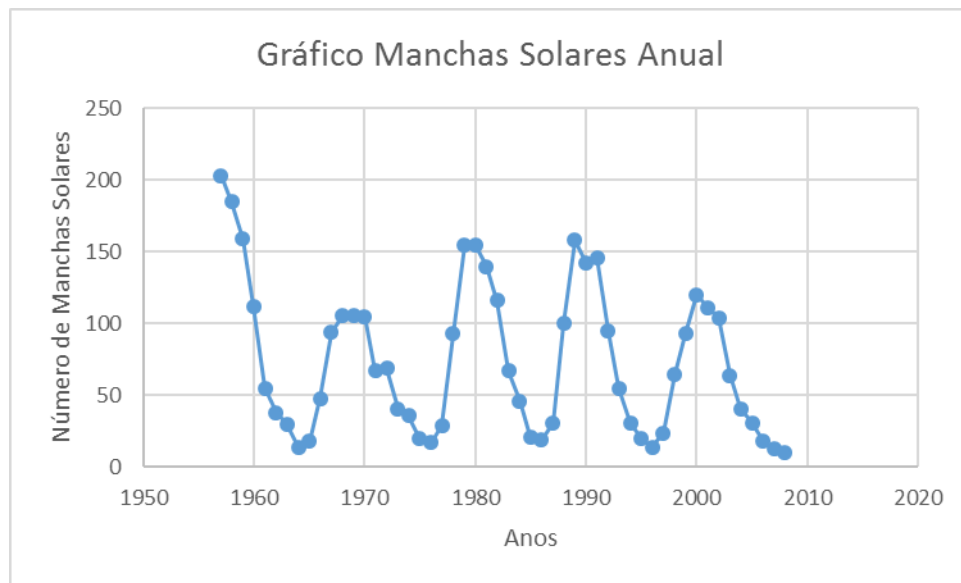


Figura 4 Gráfico Anual do Número de Manchas Solares

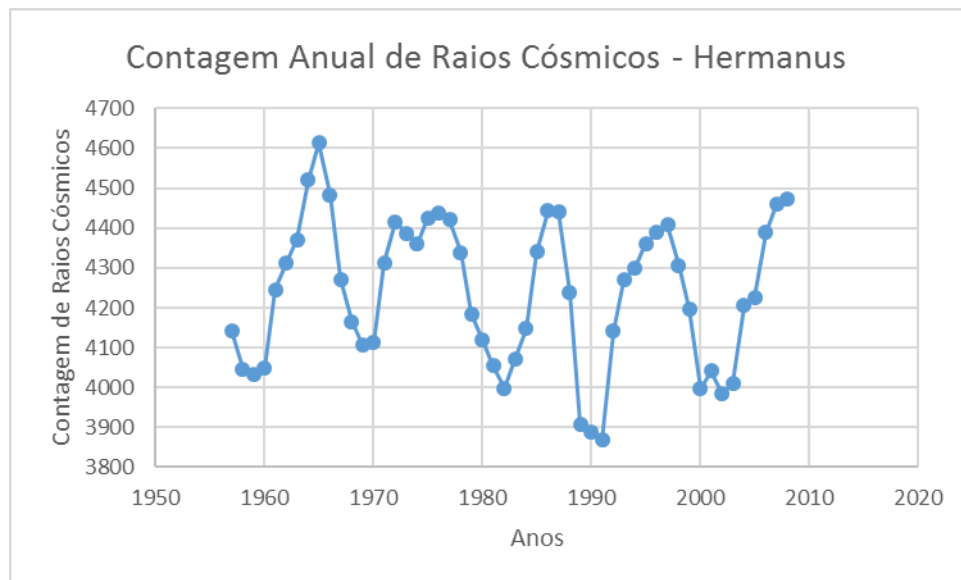


Figura 5 Gráfico da contagem de Raios Cósmicos em Hermanus

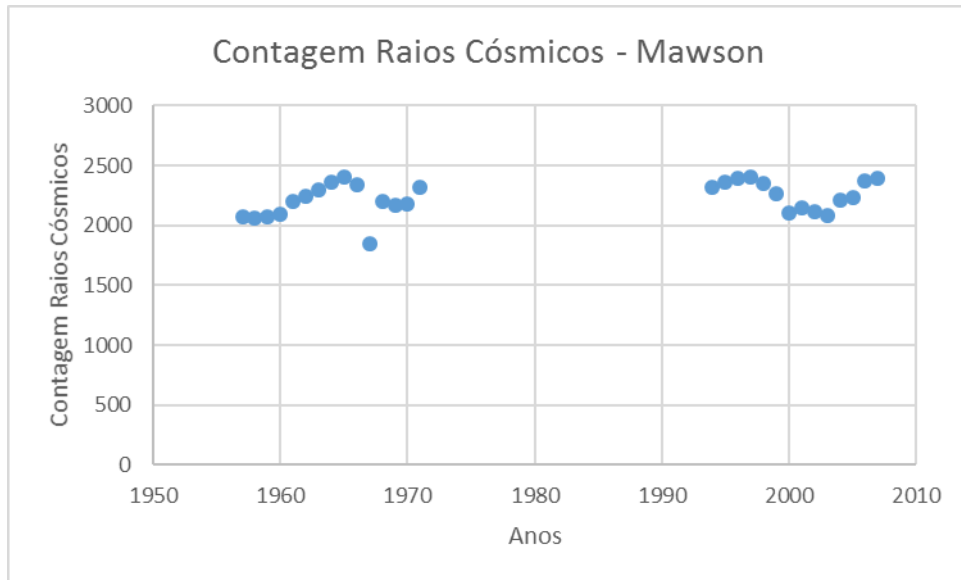


Figura 6 Gr3fico da contagem de Raios C3smicos em Mawson

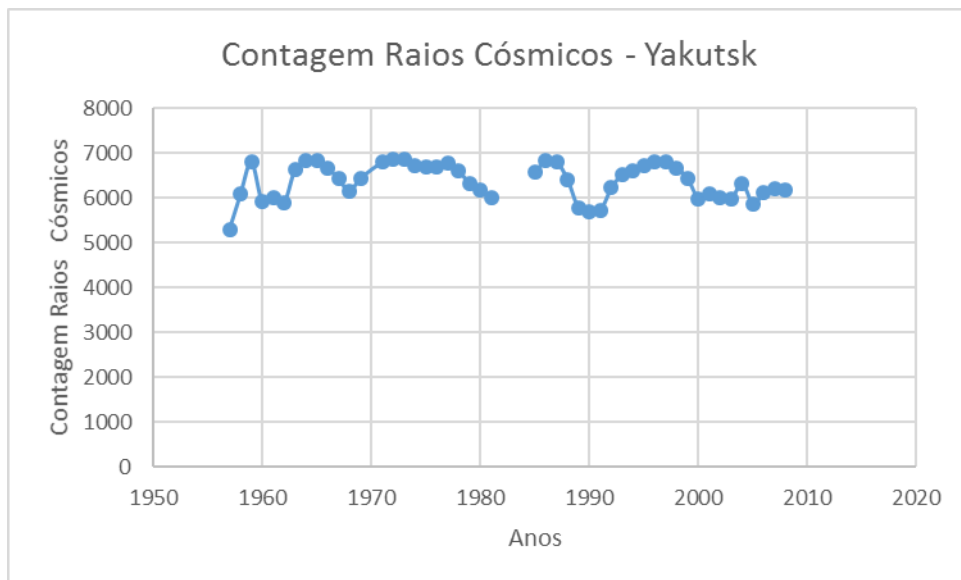


Figura 7 Gr3fico da contagem de Raios C3smicos em Yakutsk

Os gr3ficos das Figuras 6 e 7 possuem espaços em branco para alguns anos. Isso se dá pelo fato de que em certas ocasi3es os detectores n3o estavam registrando a entrada de dados, seja qual for o motivo. Quando n3o havia a entrada de dados as tabelas retiradas do SPIDR registravam o valor como sendo zero, dessa forma quando foram feitas as m3dias esses valores foram desconsiderados, mas como mostram os dois 3ltimos gr3ficos, houveram casos em que n3o foram registrados dados por um longo per3odo de tempo, o que nos leva a essas lacunas em branco.

Quando analisamos o gráfico da Figura 4, que mostra a média anual do número de manchas solares, com os outros três gráficos vemos que o primeiro está fora de fase com os demais, que representam as medidas dos raios cósmicos. As figuras a seguir mostram a relação entre cada um dos dados de contagem de raios cósmicos com o números de manchas solares.

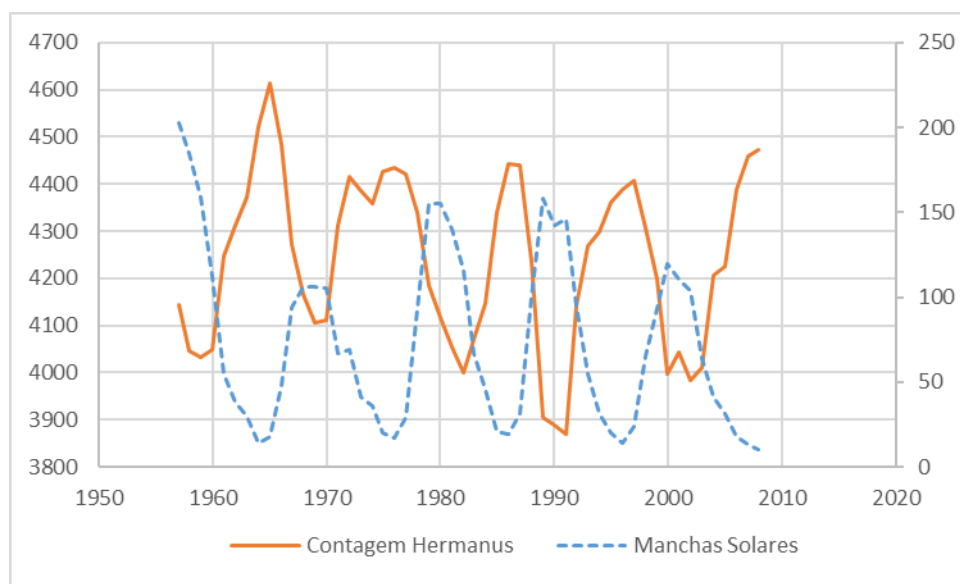


Figura 8 Relação Manchas-Hermanus

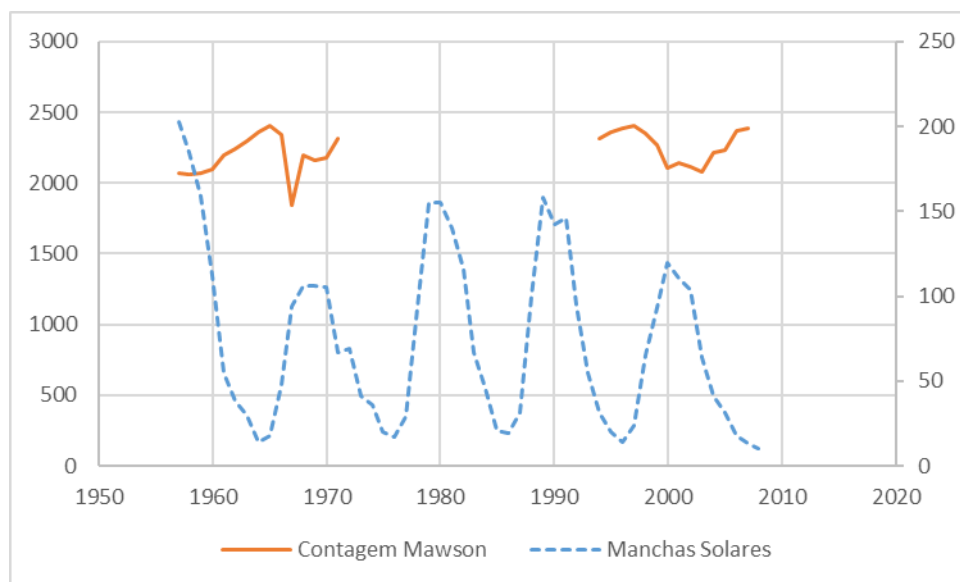


Figura 9 Relação Manchas-Mawson

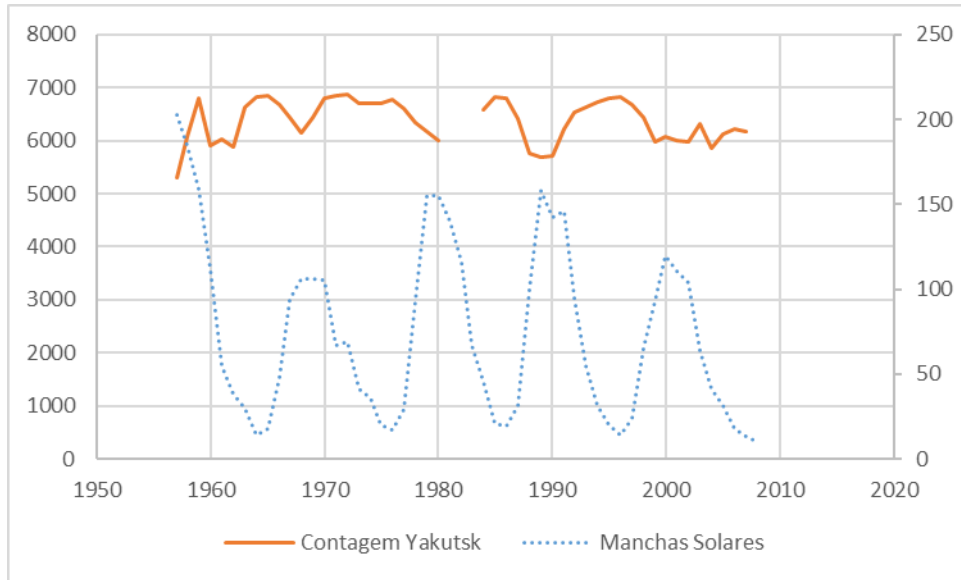


Figura 10 Relação Manchas-Yakutsk

Os gráficos das Figuras 8, 9 e 10 ilustram bem a diferença de fase entre as medidas de manchas solares e de contagem de raios cósmicos. Quando um apresenta um valor de máximo, o outro apresenta um valor de mínimo, e vice-versa. O mesmo não ocorre com os valores das contagens de raios cósmicos nas diferentes estações. A Figura 11 mostra que os pontos de máximo e mínimo nas medidas de raios cósmicos para as três estações estão em fase.

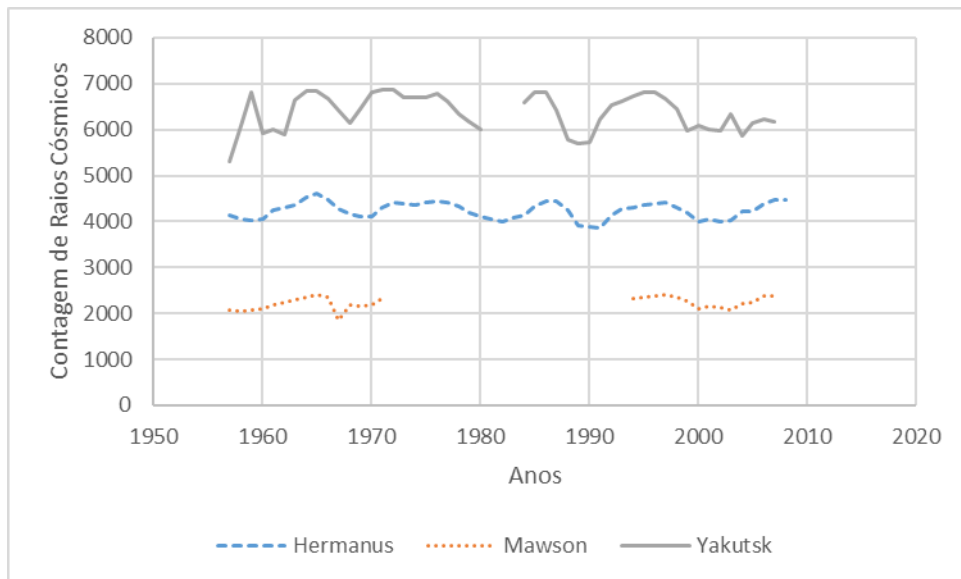


Figura 11 Comparação entre as medidas de Raios Cósmicos para as três estações

A Figura 11 mostra a comparação entre as medidas da contagem de raios cósmicos entre as três estações. Para os dados das Figuras 8, 9 e 10 foi feito o cálculo do valor das correlações, onde obtivemos, respectivamente, -0,79, -0,75 e -0,6. Levando em conta as explicações da seção 3.2 podemos inferir que todas as três medidas são boas pois seus módulos são maiores ou iguais a 0,6. Também podemos inferir que quando uma medida aumenta a outra diminui e vice-versa, esse fato fica claro quando analisamos as imagens do gráfico. Isso porque quando a linha que acompanha o valor das manchas solares está em máximo (ou próximo), a linha dos raios cósmicos está em mínimo (ou próximo).

Além disso foram traçados os gráficos dos valores de contagem de carbono 14 e berílio 10, como mostram as figuras abaixo.

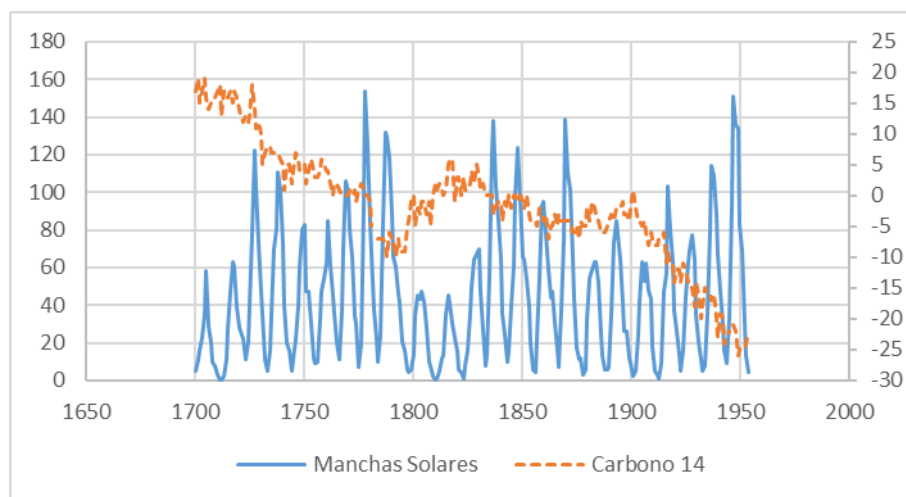


Figura 12 Gráfico Manchas Solares X C-14

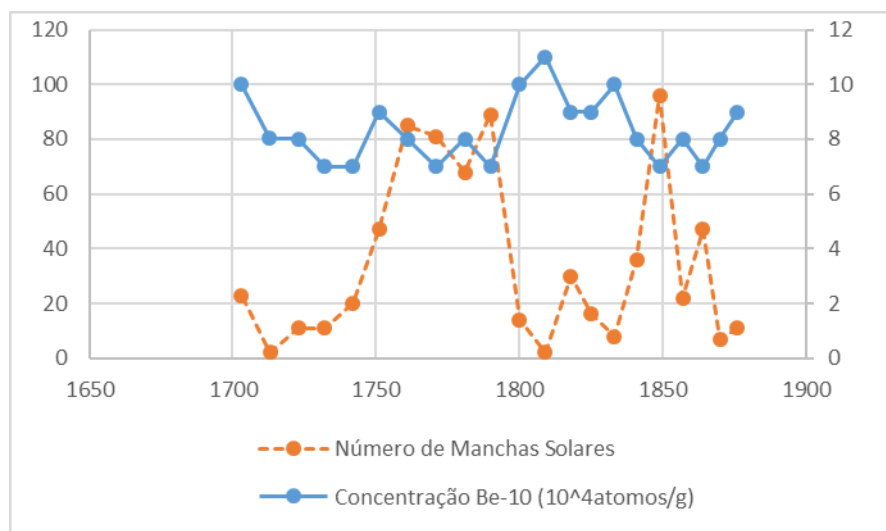


Figura 13 Gráfico Manchas Solares X Be-10

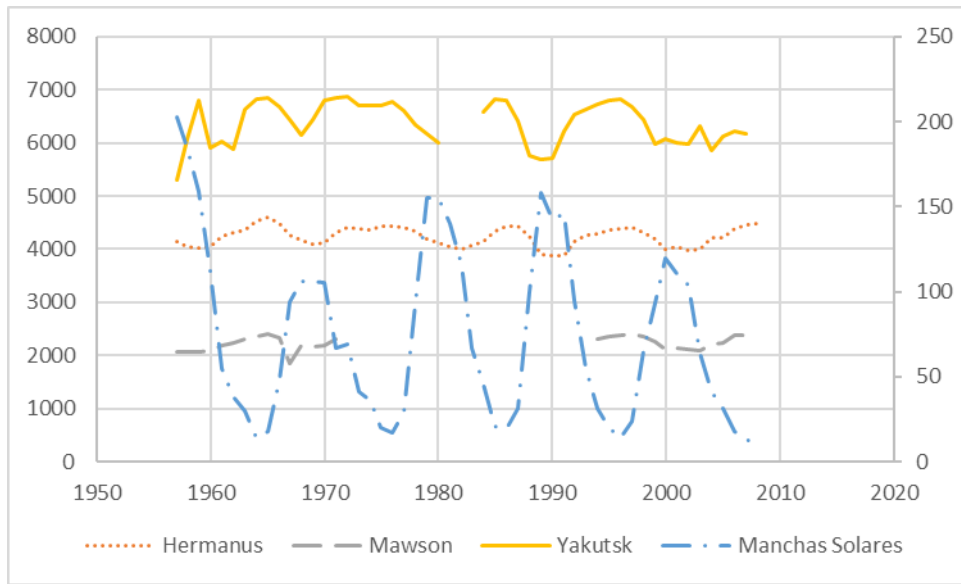


Figura 14 Gráfico Manchas comparando todas estações

Podemos inferir através da análise dos gráficos das Figuras 12 e 13 que os cosmonuclídeos tem um comportamento similar aos raios cósmicos em comparação com os dados de manchas solares, a Figura 14 mostra a relação de todas as estações com as manchas solares. Isso é devido ao fato de os cosmonuclídeos serem originários dos raios cósmicos, tendo maior incidência de cosmonuclídeos quando temos maior incidência de raios cósmicos. Os raios cósmicos aparecem em maior quantidade justamente em períodos de mínimo solar. Isso se dá pelo fato de que quando estamos em período de máximo solar, que também representa o período com maior número de manchas solares, temos maior incidência de vento solar, cujo campo magnético afasta os raios cósmicos, diminuindo sua incidência sobre a Terra.

5- ETAPAS A SEGUIR

Para dar continuidade ao projeto será necessário estudar outros fatores que estão relacionados aos raios cósmicos e às relações de interação Sol-Terra. Tais fatores podem ser os índices geomagnéticos, tais como o índice AA ou o DST, ou até mesmo aprimorar o conhecimento sobre a formação dos radionuclídeos cosmogênicos C-14 e Be-10, e utilizar métodos estatísticos mais elaborados para a descrição dos fenômenos.

Portanto, para que o projeto possa ser concluído é necessário seguir com os estudos e aumentar os conteúdos a serem estudados. Acredito que com um pouco mais de tempo para trabalhar com esse projeto seja suficiente para encerra-lo com excelência.

REFERÊNCIAS

- BEER, J.; ANDRE, M.; SIEGENTHALER, U.; BONANI, G.; FINKEL, R.C.; OESCHGER, H.; SUTER, M.; LANGWAY, C. JR. The camp Century ^{10}Be record: implications for long-term variations of the geomagnetic dipole moment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, B5(2) : 380-384, 1984.
- EDDY, J.A. *Science*, **192**, 1189 (1976).
- ECHER, E.; RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R.; VIEIRA, L. E. A.; PRESTES, A. P.; FARIA, H. H. O número de manchas solares, índice da atividade do Sol/Sunspot Number, Solar Activity Index. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 2, n. 157, (p.157-163) jun. 2003. (INPE-10244-PRE/5759).
- HAYMES, R.C. **Introduction to space science**. New York, John Wiley, 1971.
- HOYT, D.V.; SCHATTE, K.H. *The role of the Sun in Climate Change*, Oxford University Press, New York (1997).
- JOKIPII, J.R. Cosmic Rays. In: SUESS, S.T.;TSURUTANI, B.T. **From the Sun**. Washington, 1998. p.123-131.
- KIVELSON, M. G.; RUSSEL, C. T. *Introduction to Space Physics*. Los Angeles: Cambridge University Press, 1995. 568p.
- MCHAGUE, L.R.; DAMON, P.E. The global beryllium 10 cycle. **Reviews of Geophysics**, 29 (2): 141-158, 1991.
- MORRIS, J. D. Applications of cosmogenic ^{10}Be to problems in the earth sciences. **Annual Review of Earth Planetary Science**, 19:313-350, 1991.
- O'BRIEN, K. Secular variations in the production of cosmogenic isotopes in the Earth's atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, 84(A2) : 423-431, 1979.
- RAISBECK, G.M.; YIOU, F. Production of long-lived cosmogenic nuclei and their applications. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, B5 (2): 91-99, 1984.
- RIGOZO, N. R. **Análise por regressão iterativa de periodicidades nas variações dos cosmonuclídeos atmosféricos Be-10 e C-14**. 1994. 79 p. (INPE-5547-TDI/533). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.
- RIGOZO, N.R.; Detecção de CME e determinação de suas características dinâmicas por imagens digitais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – 2010(Submetido)
- SCHOVE, D.J., *Sunspot Cycles*, Hutchinson Ross Publishing Company, Strousburg, Pennsylvania (1983).
- STUVIER, M.; BRAZIUNAS, T.F. Atmospheric ^{14}C and century-scale solar oscillations. **Nature**, 338(6214) : 405-407, 1989.
- STUVIER, M.; QUAY, P.D. *Science*, **207**, 11 (1980).
- TSURUTANI, B.T.; GONZALEZ, W.D. Magnetic Storms. In: SUESS, S.T.;TSURUTANI, B.T. **From the Sun**. Washington, 1998. p.57-66.