

ão16



Estudo dos Raios Cósmicos que Chegam na Terra

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

Processo CNPq N° 127547/2014-2

Ana Luiza Dors Wilke - (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: analuizadors@hotmail.com

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

Ronald Buss de Souza - (CRS/INPE, Co-Orientador)
E-mail: ronald@dsr.inpe.br

Santa Maria
15 de Julho de 2015

Agradecimentos

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro, ao INPE/CRS e ao meu co-orientador Ronald Buss de Souza por disponibilizarem o local para o desenvolvimento da pesquisa, ao meu orientador Nivaor Rodolfo Rigozo pelo auxílio e paciência, e aos meus colegas de laboratório pelo companheirismo.

Resumo

Raios C3smicos s3o part3culas energ3ticas provenientes do espaço que chegam 3 superf3cie do nosso planeta constantemente, elas s3o divididas em part3culas prim3rias e secund3rias. Os m3ons s3o exemplos de part3culas secund3rias, e s3o fortemente influenciados por par3metros meteorol3gicos (tais como press3o, temperatura, massas de ar, frentes, etc.) que causam variaç3es nas medidas do seu fluxo e energia na superf3cie da Terra (no n3vel do mar). Em funç3o disto, o objetivo deste trabalho 3 correlacionar dados de m3ons com dados de entradas de frentes frias no Sul do Brasil, e averiguar se a entrada desses sistemas influencia na contagem final dessas part3culas em superf3cie. Os dados de M3ons foram obtidos do Observat3rio Espacial do Sul (OES/CRS/CCR/INPE-MCT), localizado em S3o Martinho da Serra no Rio Grande do Sul, Brasil, e os dados de entrada de frentes frias foram obtidos atrav3s do Boletim Climan3lise dispon3vel na p3gina do CPTEC/INPE (<http://climanalise.cptec.inpe.br/rcliman1/boletim/>).

Abstract

Cosmic rays are energetic particles from space that reach the surface of our planet constantly, they are divided into primary and secondary particles. The múons are examples of the secondary particles, and they are strogly influenced by meteorological parameters (such as pressure, temperature, air mass, fronts, etc.), causing variations in their flux and energy measurements on the Earth's surface (sea level). Because of this, the objective of this study is correlate muon data with data from cold fronts inputs in southern Brazil, and investigate if the input these systems influence the final count these particles in surface. The muon data were obtained from The Southern Spatial Observatory (OES/CRS/CCR/INPE-MCT), located in São Martinho da Serra in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, and the inputs cold fronts data were obtained by the Newsletter Climanálise available in CPTEC/INPE webpage (<http://climanalise.cptec.inpe.br/rclimanl/boletim/>).

Sumário

1	Introdução	4
2	Objetivo	5
3	Revisão Bibliográfica	6
3.1	O Sol	6
3.2	Vento Solar	7
3.3	Raios C3smicos (RC)	8
3.3.1	Raios C3smicos Solares (RCS)	8
3.3.2	Raios C3smicos Gal3cticos (RCG)	8
3.4	M3ions	9
3.5	Massas de ar	9
3.6	Frentes frias	9
4	Materias e m3todos	11
4.1	Obten33o dos dados	11
5	Resultados e conclus3es	13

Lista de Figuras

3.1 O Sol	7
---------------------	---

Lista de Tabelas

4.1	Número mensal de entradas de frente frias no Sul do Brasil	12
-----	--	----

Capítulo 1

Introdução

O estudo dos Raios Cósmicos Galácticos e Extra Galácticos e o entendimento de como eles se relacionam com a atmosfera terrestre e como interferem no clima do nosso planeta, são questões relevantes a serem estudadas. Existem muitas incógnitas sobre esse assunto a serem respondidas (como de onde os raios Cósmicos Extragalácticos são provenientes), são importantes também estudos sobre como raios cósmicos ultraenergéticos de segunda ordem (múons) se relacionam com elementos atmosféricos como a pressão atmosférica, e também com fenômenos atmosféricos como entrada de frentes frias em determinadas regiões do nosso planeta. O uso de métodos matemáticos e estatísticos podem ser feitos para estabelecer uma relação entre esta radiação proveniente do Sol e do espaço extragaláctico, com a nossa atmosfera.

Capítulo 2

Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar o estudo dos Raios Cósmicos que chegam na Terra e entender sua interação com entradas de frentes frias e como a pressão atmosférica da Terra afeta essas partículas, podendo utilizar metodologias de análise matemática como a correlação linear.

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica

3.1 O Sol

O Sol é uma esfera incandescente de gases quentes e flutuantes, localizado no centro do nosso sistema solar. A sua influência se estende além do longínquo planeta Netuno e de Plutão, e sem a energia e calor intensos da nossa estrela não seria possível a vida no planeta Terra. Seu período de rotação pelo Equador é de aproximadamente 27 dias, pelos Pólos é de aproximadamente 36 dias e sua composição é de Hidrogênio e Hélio (NASA, 2015). Ele detém aproximadamente 98% de toda a massa do Sistema Solar e está dividido em camadas. Sua primeira camada é a fotosfera, sua temperatura é de 6000°C e ela possui uma aparência turbulenta em função das erupções ocorridas nela. Logo acima da fotosfera está a cromosfera, e é nela que se originam as manchas (faculae) e explosões (flares) solares, a temperatura nas regiões dessas manchas chega a 4000°C . A parte mais externa da atmosfera solar é a coroa, e é nela que as proeminências (nuvens de gás aquecido e brilhante que explodem da alta cromosfera) aparecem. A idade do Sol é de 4,6 bilhões de anos, e estima-se que ele possua combustível suficiente para sustentar-se por aproximadamente mais 5 bilhões de anos (Hamilton, 1997).

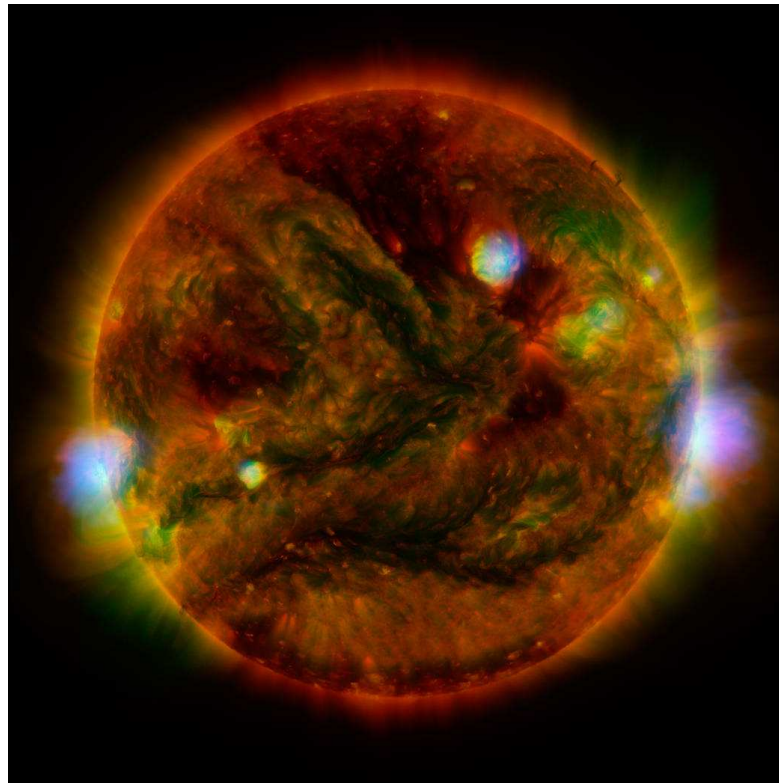


Figura 3.1: Imagem do Sol, retirada de <http://www.nasa.gov/jpl/pia19821/nustar-stares-at-the-sun>.

3.2 Vento Solar

O vento solar é um fluxo de plasma ionizado que se desenvolve devido à diferença de pressão entre a coroa solar e o meio interplanetário e que consegue se deslocar para este meio através de linhas localmente abertas do campo magnético. Devido as suas interações com os planetas do sistema solar, seu estudo é muito importante para entender como seu material é expandido da região solar (extremamente quente) para regiões frias. Ele é constituído de prótons, elétrons e íons, essas partículas conseguem escapar do Sol, em direção ao espaço interplanetário devido à alta energia cinética contida no mesmo, e à alta temperatura da coroa solar; o vento solar é um elemento importante no estudo do clima espacial, pois interage com outros fenômenos solares como um objeto imerso em um fluido Murcia (2013). Amador (2010) define vento solar um plasma magnetizado inconstante e em expansão, que tem comportamento relativamente cíclico (dependente da atividade solar) e causa uma desaceleração nas partículas energéticas, excluindo as de menor energia (menores que 10^9 eV).

3.3 Raios Cósmicos (RC)

Raios cósmicos são definidos por Jokipii (1998) como sendo partículas energéticas (em sua maioria íons) com energia cinética altíssima que podem ultrapassar o valor de 10^{20} eV. Estes raios estão constantemente bombardeando o topo da atmosfera vindos de todas as direções, a cada segundo até a superfície. Os raios cósmicos são divididos em duas componentes: raios cósmicos galácticos (RCG) que se originam fora do sistema solar, e os raios cósmicos solares (RCS) produzidos no próprio Sol com energias bem menores do que as dos RCG's (Rigozo, 1994). Seu fluxo energético varia entre 10^9 eV e acima de 10^{20} eV, sua interação com a atmosfera da Terra gera partículas secundárias como múons e píons e já verificou-se que os raios cósmicos sofrem deflexão da atmosfera terrestre, passando a serem consideradas partículas carregadas (Lago, 2007).

3.3.1 Raios Cósmicos Solares (RCS)

Os RCS são partículas menos energéticas do que os RCG, eles se originam no Sol e sofrem variações espectrais e de densidade em função dos eventos solares. O aumento na quantidade dos RCS é inversamente proporcional ao dos RCG, pois o vento solar é que carrega os RCS até a atmosfera da Terra, e este vento é responsável pela diminuição na quantidade dos RCG. Em períodos de máximo solar (que é quando o Sol está em atividade máxima) essas partículas super energéticas atingem a Terra em poucos minutos, elas possuem baixa energia (igual ou menor que 1 GeV) e são ejetadas da nossa estrela através de tempestades solares, estas por sua vez, liberam matéria acumulada da superfície do Sol, no campo magnético solar. Essa matéria ejetada é constituída de prótons, elétrons, íons e plasma quente (comciencia, 2003)

3.3.2 Raios Cósmicos Galácticos (RCG)

A radiação cósmica galáctica pode se originar direta, ou indiretamente de explosões de supernovas e chegam até nós através de campos magnéticos de grande intensidade e muito velozes, que são responsáveis pela alteração da direção e movimento dessas partículas. Sobre a radiação cósmica de intensidade mais alta, acredita-se que é originária de fora do nosso sistema solar ou até mesmo de nossa galáxia, sendo sua origem e modo de transporte praticamente desconhecidos. A obtenção do tempo médio de confinamento destes raios cósmicos primários é obtida através dos raios cósmicos secundários, o número destes raios secundários depende de quanta matéria eles atravessam desde sua criação, o que depende da densidade desta matéria onde os raios primários são propagados desde o seu princípio (Jokipii, 1998).

3.4 Múons

Uma das componentes secundárias dos raios cósmicos são os Múons. Múons são partículas elementares semi-estáveis que possuem massa muito maior do que neutrinos e elétrons, e decaem em elétrons e pósitrons, ao mesmo tempo do que os neutrinos e antineutrinos (Amador, 2010). Sua formação e propagação na atmosfera dependem da pressão e temperatura atmosférica. Segundo Pomerantz and Duggal (1971) as variações diárias da radiação cósmica são causadas pelas variações atmosféricas. Assim, os efeitos da pressão e temperatura representam a principal interferência no estudo das variações de intensidade da radiação cósmica primária. Isso faz com que variações das massas de ar produzam variações no fluxo de raios cósmicos que entram nos detectores (Simpson et al., 1953; Dorman and Yanke, 1975). Os múons mais energéticos podem ser captados ao nível do mar, e fornecem informações sobre a composição química dos raios cósmicos primários, sendo de grande importância fazer medidas diretas destas componentes (Vale & Souza, 2012).

3.5 Massas de ar

A expressão massa de ar é utilizada em Meteorologia para determinar uma porção da atmosfera que cobre milhares de quilômetros da superfície da Terra, com uma distribuição vertical aproximadamente uniforme de umidade e temperatura. Sendo assim, em certa altitude em qualquer ponto dentro dessa massa de ar, a temperatura tem aproximadamente o mesmo valor, e os gradientes de temperatura e de umidade pouca variação com as coordenadas horizontais (Varejão-Silva, 2005). De acordo com Comim (2010) Frentes frias são parcelas de ar atmosférico que carregam consigo certas propriedades e características que servem como informações sobre as condições gerais do tempo e de locais onde estas se originaram. Sistemas de alta e baixa pressão estão associados a elas, e seu deslocamento acontece devido a diferenças na pressão e temperatura em áreas da superfície. Áreas de baixas pressão são instáveis e receptoras de ventos e as de alta pressão são estáveis e dispersoras de vento.

3.6 Frentes frias

Uma frente fria é caracterizada quando uma massa de ar passa por um determinado local, e o ar quente contido nela é substituído pelo ar frio. Assim, a massa de ar pré-frontal é quente e a pós-frontal é fria. Sendo o ar frio de maior densidade do que o ar quente, a superfície frontal fria se estende para a parte de trás desta frente, se sobrepondo sobre a superfície terrestre.

As frentes frias tendem a se deslocar no sentido pólo-equador (Varejão-Silva (2005)). Quando uma massa de ar tem temperatura menor do que a da região por onde está passando, esta é denominada uma massa de ar frio. O aquecimento da camada de em contato direto com o solo se dá através de condução, provocando uma instabilidade. A parcela de ar aquecida é elevada a níveis mais altos da atmosfera por convecção. As massas de ar frio que chegam a América do Sul são originadas da região subantártica, fazendo um caminho pelo sul do continente indo pelo Chile, pela Argentina, pelo Uruguai e pelo Paraguai, chegando ao Brasil durando o outono e inverno (Comin, 2010).

Capítulo 4

Materias e métodos

Com a expansão da área de clima espacial no mundo inteiro, a busca pelo entendimento sobre fenômenos físicos gerados no Sol, bem como dos Raios Cósmiticos Galácticos e Extragalácticos e de seus eventuais efeitos no meio interplanetário e na atmosfera terrestre são cada vez mais pesquisados. A variação do fluxo de partículas provenientes do Sol e do meio extragaláctico e suas interferências no clima da Terra, e fenômenos como a interação do vento solar com o campo magnético da Terra são alguns exemplos de estudos feitos nessa área (Hoyt and Schatten, 1997). Séries temporais representativas da radiação cósmicas que chegam na Terra (dados de muons) e dados climáticos (Souza Echet et al., 2008) que possam interferir nas medidas dos raios cósmicos serão utilizados nesse trabalho. Estes dados serão obtidos em forma de séries temporais com resoluções temporais de dias, meses ou até anos. No estudo das séries temporais será adotado método de análise matemática denominado correlação linear (Rigozo, 1994; Rigozo et al., 2005; Nordemann et al., 2008), a fim de determinar se há alguma relação entre entrada de frentes frias com dados direcionais de múons.

4.1 Obtenção dos dados

Os dados históricos de entrada de frentes frias no Sul do Brasil foram obtidos a partir do Banco de Dados Climatológicos "Boletim Climanálise" do CPTEC, e os dados de múons foram obtidos através do Detector Multidirecional de Múons (MMD), instalado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE) localizado em São Martinho da Serra, RS, Brasil. Para correlacionar os dados de Múons com o dados de entrada de Frentes Frias, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r), que consiste na equação abaixo:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4.1)$$

onde x é a variável independente (frentes frias) e y é a variável dependente (dados de múons). Esse coeficiente pode variar entre ± 1 , sendo uma correlação positiva perfeita quando o coeficiente for $+1$, uma correlação negativa perfeita quando este for -1 , quando o mesmo for 0 (zero) a correlação é nula, quando ele variar entre ± 0.8 e ± 1 a correlação será forte a, quando variar entre ± 0.5 e ± 0.8 ela será moderada, quando for entre ± 0.1 e ± 0.5 a correlação será fraca, e finalmente quando o coeficiente de Pearson ficar ente 0 e ± 0.1 a correlação será muito fraca. (Santos, 2011)

Foram analisadas as correlações das médias diárias de dados direcionais de múons nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E e W com dados de entrada de frentes frias no Sul do Brasil do período de Dezembro de 2006 até Setembro de 2010.

Tabela 4.1: Número mensal de entradas de frente frias no Sul do Brasil

2006	Entrada de Frentes Frias	2007	Entrada de Frentes Frias	2008	Entrada de Frentes Frias	2009	Entrada de Frentes Frias	2010	Entrada de Frentes Frias
-	-	Jan	5	Jan	4	Jan	3	Jan	5
-	-	Fev	5	Fev	4	Fev	3	Fev	5
-	-	Mar	5	Mar	4	Mar	3	Mar	5
-	-	Abr	5	Abr	4	Abr	3	Abr	5
-	-	Mai	5	Mai	4	Mai	3	Mai	5
-	-	Jun	5	Jun	4	Jun	3	Jun	5
-	-	Jul	5	Jul	4	Jul	3	Jul	5
-	-	Ago	5	Ago	4	Ago	3	Ago	5
-	-	Set	5	Set	4	Set	3	Set	5
-	-	Out	5	Out	4	Out	3	-	-
-	-	Nov	5	Nov	4	Nov	3	-	-
Dez	3	Dez	5	Dez	4	Dez	3	-	-

Capítulo 5

Resultados e conclusões

Foram encontradas correlações moderadas (positivas), fracas (positivas e negativas), e muito fracas (positivas e negativas) em todas as direções.

Encontramos correlações moderadas positivas para os meses de Dezembro de 2006 nas direções NE (Nordeste), NW (Noroeste), SE (Sudeste), SW (Sudoeste), N (Norte), S (Sul), E (Leste) e W (Oeste), quando atuaram 3 frentes frias; Janeiro de 2007 nas direções E, NW, SE, N, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Março de 2007 nas direções NE, NW, N, quando atuaram 5 frentes frias; Abril de 2007 nas direções NW e SW, quando atuaram 5 frentes frias; Julho de 2007 nas direções NE, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 5 frentes frias; Abril de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 5 frentes frias; Junho de 2008 na direção W, quando atuaram 6 frentes frias; Junho de 2009 nas direções NE, NW, SE, N, E, quando atuaram 5 frentes frias; e em Setembro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias.

As correlações Fracas positivas encontramos nos meses de Janeiro de 2007 na direção SW, quando atuaram 5 frentes frias; Março de 2007 nas direções SE, SW, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Abril de 2007 nas direções SE, NE, N, E, S, W, quando atuaram 5 frentes frias; Julho de 2007 nas direções NW e W, quando atuaram 5 frentes frias; Agosto de 2007 nas direções NE, NW, SE, SW, N, quando atuaram 8 frentes frias; Setembro de 2007 nas direções NE, NW, SW, N, E, quando atuaram 4 frentes frias; Novembro de 2007 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Dezembro de 2007 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 9 frentes frias; Fevereiro de 2008 nas direções NE, NW, SW, N, S, E, quando atuaram 4 frentes frias; Março de 2008 nas direções NE, NW, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Abril de 2008 na direção W, quando atuaram 5 frentes frias; Maio de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 4 frentes frias; Junho de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Julho

de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 7 frentes frias; Outubro de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 7 frentes frias; Dezembro de 2008 na direção NW, quando atuaram 5 frentes frias; Janeiro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 3 frentes frias; Fevereiro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 6 frentes frias; Abril de 2009 nas direções NE, NW, N, S, E, quando atuaram 7 frentes frias; Maio de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 6 frentes frias; Junho de 2009 nas direções SW, S, W, quando atuaram 5 frentes frias; Julho de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 8 frentes frias; Agosto de 2009 na direção de W, quando atuaram 6 frentes frias; Setembro de 2009 na direção W, quando atuaram 6 frentes frias; Outubro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Novembro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Dezembro de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Janeiro de 2010 nas direções NW, SW, W, quando atuaram 5 frentes frias; Fevereiro de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 2 frentes frias; Março de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 4 frentes frias; Abril de 2010 nas direções NE, NW, SE, N, S, E, quando atuaram 4 frentes frias; Junho de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 6 frentes frias; Julho de 2010 na direção de W, quando atuaram 6 frentes frias; Agosto de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 5 frentes frias; Setembro de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias.

As muito fracas positivas foram encontradas para os meses de Maio de 2007 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Junho de 2007 nas direções N e S, Agosto de 2007 nas direções S e E, quando atuaram 8 frentes frias; Setembro de 2007 na direção SE, quando atuaram 4 frentes frias; Janeiro de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 4 frentes frias; Fevereiro de 2008 nas direções SE e W, quando atuaram 4 frentes frias; Março de 2008 nas direções SE e W, quando atuaram 6 frentes frias; Dezembro de 2008 nas direções NE, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Março de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, E, quando atuaram 3 frentes frias; Abril de 2009 nas direções SE, SW, W, quando atuaram 5 frentes frias; Agosto de 2009 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 6 frentes frias; Novembro de 2009 na direção W, quando atuaram 6 frentes frias; Janeiro de 2010 nas direções NE, SE, N, S, E, quando atuaram 5 frentes frias; Abril de 2010 nas direções SW e W, quando atuaram 4 frentes frias; Agosto de 2010 na direção W, quando atuaram 5 frentes frias; Setembro de 2010 na direção W quando atuaram 6 frentes frias.

As fracas negativas foram encontradas nos meses de Fevereiro de 2007 nas direções NW, N, E, quando atuaram 2 frentes frias; Outubro de 2007 nas direções NE e W, quando atuaram 7

frentes frias; Agosto de 2008 nas direções SE e W, quando atuaram 7 frentes frias; Setembro de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 3 frentes frias; Novembro de 2008 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 5 frentes frias; Maio de 2010 nas direções NE, NW, SE, SW, N, S, E, W, quando atuaram 7 frentes frias.

As correlações muito fracas negativas foram encontradas para os meses de Fevereiro de 2007 nas direções NE, SE, SW, S, W, quando atuaram 2 frentes frias; Maio de 2007 na direção W, quando atuaram 6 frentes frias; Junho de 2007 nas direções NE, NW, SE, SW, E, W, Agosto de 2007 na direção W, quando atuaram 8 frentes frias; Setembro de 2007 nas direções S e W, quando atuaram 4 frentes frias; Outubro de 2007 nas direções NW, SE, SW, N, S, E, quando atuaram 7 frentes frias; Janeiro de 2008 nas direções N e E, quando atuaram 4 frentes frias; Agosto de 2008 nas direções NE, NW, SW, N, S, E, quando atuaram 4 frentes frias; Dezembro de 2008 nas direções S e E, quando atuaram 5 frentes frias; Março de 2009 nas direções N, S, W, quando atuaram 3 frentes frias;

Também foi observado, que em grande maioria o coeficiente de Pearson foi de muito fraco a fraco, sendo poucos os casos de correlação moderada, levando à conclusão de que praticamente não há relação linear entre as variáveis analisadas neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Amador, Miguel 2010. Radiação Cósmica. Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica. Instituto Superior Técnico. Disponível em: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Usuario/Meus%20documentos/Downloads/Raios%20Co%CC%81smicos%20-%20Trabalho.pdf>. Acesso em 30/05/2014.
- Comciência, Raios Cósmicos. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/cosmicos/cos05.shtml> acesso em: 08/06/2015. 3 de Maio de 2003.
- Comin, Alcimoni Nelci. Estudo das séries temporais de raios cósmicos (múons e nêutrons) através da análise espectral de wavelets. Relatório final de projeto de iniciação científica (Pibic/INPE - CNPq/MCT). Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/INPE - MCT. 2010.
- CPTEC, Climanálise boletim. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/rclimanl/boletim/index0107.shtml>.
- Hamilton, Calvin J.; O SOL. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>. Acesso em: 01/06/2014. 1997.
- Jokipii, J. R.; Cosmic Rays. In: SUESS, S.T.;TSURUTANI, B.T. From the Sun. Washington. p. 123-131. 1998.
- Lira, Sachiko Araki. Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/dissertacao_sachiko.pdf
- Murcia, Miguel A. P.; Estudo da Existência das Instabilidades Kelvin-Helmholtz e Rayleigh-Taylor em uma Ejeção de Massa Coronal. Dissertação de Mestrado em Ciências, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, SP. 2013.
- NASA, The Sun. 6 de Maio de 2015. Disponível em: <http://www.nasa.gov/sun> acesso em 08/06/2015.

- Pomerantz MA and Duggal SP. The cosmic ray solar diurnal anisotropy. *Space Science Reviews*, 12: 75 -130. 1971.
- Rigozo, N. R.; Análise por Regressão Iterativa de Periodicidade nas Variações dos Cosmonuclídeos Atmosféricos Be-10 e C-14. Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial/Geofísica, INPE, São José dos Campos, SP, 1994.
- Rigozo, N. R.; Echer, Ezequiel; Nordemman, Daniel Jean Roger; Vieira, Luiz Eduardo 16 Antunes; Faria, Heloisa Helena de; Comparative Study Between Four Spectral Analysis Methods Applied Mathematics and Computation. v. 168; p.411-430, 2005.
- Simpson, J.A., Fonger, W. and Treimant, S.B. (1953) Cosmic Radiation Intensity-Time Variations and Their Origin. I. Neutron Intensity Variation Method and Meteorological Factors. *Physical Review*, 90, 934-950. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRev.90.934>
- Souza, Áurea. Coeficiente de correlação de Pearson. 2011. Disponível em: http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf
- Vale, Antônio L. do; Souza, Claudio M. G. de; A Importância do estudo dos Raios Cósmicos: O método de detecção do Observatório Pierre Auger. Curso de Física da Universidade Católica de Brasília, DF. 2012. Disponível em: <http://www.ucb.br/sites/100/118/TCC/1%C2%BA2012/AImportandiadsRaiosCosmicosOmetododedete.pdf>. Acesso em 02/06/2014.
- Varejão-Silva, M. A.; Meteorologia e Climatologia, versão digital, Recife, p. 424-430. 2005.