UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

SILVIO LEITE SERRA

### VALORES TÍPICOS DE CAMPO MAGNÉTICO E PLASMA DO VENTO SOLAR RELACIONADO A EVENTOS HILDCAAS/QUASE-HILDCAAS

São José dos Campos, SP 2012 Silvio Leite Serra

### Valores típicos de campo magnético e plasma do vento solar relacionado a eventos HILDCAAS/QUASE-HILDCAAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, como complementação dos créditos necessários para a obtenção do título de Mestre em Física e Astronomia.

Orientadores: Prof. Dr. Alan Prestes Prof. Dr. Fernando Luis Guarnieri

São José dos Campos, SP 2012

#### S497v

Serra, Silvio Leite

Valores típicos de campo magnético e plasma do vento solar relacionado a eventos HILDCAAS/QUASE-HILDCAAS / Silvio Leite Serra ; orientador, prof. Dr. Alan Prestes ; coorientador, Prof. Dr. Fernando Luis Guarnieri. - São José dos Campos, 2012. 298 p., 1 disco laser: Color

-Universidade do Vale do Paraíba, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. Programa de Pós-Graduação em Física e astronomia.

Inclui referências

1. Física. 2. Magnetismo terrestre. 3. Atividade solar. 4. Eventos geomagnéticos. I. Prestes, Alan. II. Guarnieri, Fernando Luis. III. Universidade do Vale do Paraíba, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. Programa de Pós-Graduação em Física e astronomia. IV. Título.

CDU: 52

Autorizo exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Dissertação de Mestrado, por processos fotocopiadores ou transmissão eletrônica, desde que citada a fonte.

Assinatura do aluno:

Data: 18 de dezembro de 2012.

### SILVIO LEITE SERRA

### "VALORES TÍPICOS DE CAMPO MAGNÉTICO E PLASMA DO VENTO SOLAR RELACIONADO A EVENTOS HILDCAAS/QUASE-HILDCAAS"

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Física e Astronomia, do Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, pela seguinte banca examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dra. ALESSANDRA ABE PACINI (UNIVAP). Prof. Dr. ALAN PRESTES (UNIVAP) ADD Phalo Prof. Dr. LUÍS EDUARDO ANTUNES VIEIRA (INPE) Prof. Dr. FERNANDO LUÍS GUARNIERI (VALE/VSE)

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sandra Maria Fonseca da Costa Diretor do IP&D – UniVap São José dos Campos, 18 de dezembro de 2012.

A meu pai: Francisco Borges Serra; e a meu irmão: José Francisco Leite Serra; in memorium.

#### AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela luz a qual nos concede todos os dias e pela disposição física e psicológica dada para realização de mais este sonho.

Ao esforço, dedicação e compreensão de minha mãe: Maria José Leite Serra.

Ao incentivo e a grande perseverança de minha esposa: Maria Nilza da Silva Serra.

Esta conquista não teria sido tão completa e gratificante se não tivesse a oportunidade de encontrar pelo caminho a presença de pessoas especiais e fantásticas, as quais não mediram esforços para que as coisas acontecessem: como o Prof. Dr. José Ricardo Abalde Guede e os orientadores: Prof. Dr. Alan Prestes e Prof. Dr. Fernando Luis Guarnieri.

Este trabalho finda a realização de mais um grande sonho e uma nova fase de muita importância em minha vida. Gostaria de compartilhar a alegria dessa vitória com aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente nessa jornada.

Aos demais professores, os quais participaram em parte ao longo de todo este evento, uns muito obrigados!

Agradeço também a CAPES pelo financiamento do curso, sem o qual nada disso seria possível.

### VALORES TÍPICOS DE CAMPO MAGNÉTICO E PLASMA DO VENTO SOLAR RELACIONADO A EVENTOS HILDCAAS/QUASE-HILDCAAS

### **RESUMO**

Este trabalho teve a finalidade de estudar eventos geomagnéticos relacionados à atividade AE contínua de longa duração e alta intensidade (High Intensity Long Duration Continuous AE Activity - HILDCAA) com os critérios que os definem flexibilizados, relacionando-os a perturbações no meio interplanetário, ocorridos no período de 1998 a 2007, por meio da análise estatística dos parâmetros interplanetários e magnetosféricos. Considerando a rigidez dos critérios originais pertencentes aos eventos HILDCAAs identificou-se poucos eventos, não permitindo uma análise estatisticamente significativa. Relacionada a essa rigidez foi considerada a flexibilização de alguns dos critérios de identificação, possibilitando aumentar significativamente o número de eventos encontrados, e assim, verificar quais as condições típicas no meio interplanetário que são as mais propícias para geração destes eventos. Assim sendo, realizou-se uma análise dos quatro critérios de identificação de eventos HILDCAAs a fim de se checar qual foi o mais importante para que esta "nova classe" de eventos, aqui denominados "Eventos quase-HILDCAAs", obtenha o maior número de candidatos em relação aos candidatos a eventos HILDCAAs originais. A análise dos critérios flexibilizados foi realizada no intervalo entre os anos de 1998 a 2001. A partir destas análises foram determinados os eventos que ocorreram durante o período de 1998 a 2007. Dos quatro critérios relacionados ao índice AE e utilizados para se caracterizar os eventos HILDCAAs, apenas o critério que considera a "Atividade AE Contínua" foi modificado. Segundo a definição de eventos HILDCAAs o valor do índice AE não deve atingir valores abaixo de 200 nT por períodos mais longos que duas horas durante a ocorrência do evento. Com a elaboração deste novo critério ficou estabelecido que: "Não devem ocorrer quedas no índice AE abaixo de 200 nT por períodos maiores que quatro horas durante o intervalo analisado". A partir deste novo critério foram encontrados 150 eventos quase-HILDCAAS no período. Posteriormente a análise dos dados destes eventos, verificou-se que os valores típicos dos parâmetros do meio interplanetário para ocorrência de eventos quase-HILDCAAs apresentaram os seguintes valores: densidade de prótons menor que o valor médio (6,1 cm<sup>-3</sup>), módulo da velocidade maior que 500 km/s, temperatura de prótons maior 1,1 x 10<sup>5</sup> K, módulo do campo magnético menor que o valor médio (7 nT). Estas são características típicas de feixes rápidos. Isto confirma o que já era indicado por alguns autores, que estes eventos têm uma forte dependência da ocorrência de feixes rápidos. E observou-se que os eventos quase-HILDCAAs ocorrem principalmente na fase descendente do ciclo solar quando feixes rápidos têm um aumento significativo de ocorrência, além de apresentarem uma variação sazonal.

**Palavras chave:** Eventos quase-HILDCAAs, Meio interplanetário, Meio geomagnético, Atividade solar.

### TYPICAL VALUES OF MAGNETIC FIELD AND PLASMA OF THE SOLAR WIND RELATED TO QUASI-HILDCAA EVENTS

### ABSTRACT

This work studied the geomagnetic events related to High Intensity Long Duration Continuous AE Activity (HILDCAA) with criteria that define them more flexible, relating them to disturbances in the interplanetary medium, which occurred from 1998 to 2007, through statistical analysis of interplanetary and magnetospheric parameters. The rigidity of the original criteria pertaining to HILDCAA events permitted few events to be identified and did not allow a statistically significant analysis. The relaxation of some criteria for identification enabled a significant increase in the number of events found, and thus verifying what are the typical conditions in the interplanetary medium that are most conducive to generate these events. Four criteria were examined to identify HILDCAA events to check which were the most important for this "new class" of event, here called "Quasi-HILDCAA Events". A larger number of candidates in relation to the original HILDCAA events were obtained. The analysis of the most flexible criteria was performed in the interval between the years 1998 and 2001. From these analyzes, certain events were determined that occurred during the period from 1998 to 2007. Of the four criteria related to the AE index and used to characterize the HILDCAA events, the only criterion that considers the "Continuous AE Activity" was modified. According to the definition of HILDCAA events, AE index value must not reach values below 200 nT for longer than two hours during the occurrence of the event. This new criterion established that: "the AE values never dropped below 200 nT for more than 4 h at a time." From this new criterion, 150 HILDCAA events were found in this period. Subsequent data analysis of those events found that the typical values of the parameters of the interplanetary medium in one astronomical unit for the occurrence of quasi-HILDCAAs. These had the following values: proton density was lower than the mean value (6.1 cm<sup>-3</sup>), solar wind speed higher than 500 km/s, proton temperature higher than  $1.1 \times 10^{5}$ K, and the magnetic field lower than the mean value (7 nT). These are typical characteristics of high-speed streams. This confirms what some authors have already stated that these events are strongly dependent on the occurrence of high-speed streams. In addition, we found that the quasi-HILDCAA events occur mainly in the descending phase of the solar cycle when high-speed streams have a significant increase in occurrence, and they have a seasonal variation.

Words key: quasi-HILDCAA events, Interplanetary medium, Geomagnetic medium, Solar activity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ura 2.1- Evolução do ciclo solar. A figura mostra uma seqüência de imagens em s-X do Sol do máximo ao mínimo solar.	
	20
Figura 2.2 - Série temporal do número de manchas solares de 1700 a 2010.	22
Figura 2.3 - Diagrama Esquemático de uma Ejeção de Massa Coronal (CME)	23
Figura 2.4 - Taxa de ocorrência de CMEs durante o período de 1973 a 1989	24
Figura 2.5 - Imagem em raios-x acima da atmosfera da Terra mostrando um grande buraco coronal (área escura no centro da imagem)	25
Figura 2.6 - Número anual dos buracos coronais de baixas latitudes: dentro de $\pm 30^{\circ}$ (barras), para o ciclo solar 21 junto com a curva suavizada do número de manchas Solares	26
Figura 2.7 - Ilustração de um feixe rápido do vento solar fluindo de um buraco coronal solar	27
Figura 2.8 - Diagrama esquemático de uma Região de Interação Corrotante e os choques formados em suas interfaces	28
Figura 2.17- Ilustração da interação entre o plasma do vento solar e a magnetosfera.	29
Figura 2.9 - Histograma da velocidade do vento solar derivado de 18 meses de observações da ISEE-3. Quartis da velocidade são: 348, 397 e 459 km/s	30
Figura 2.10 - Histograma do logaritmo da densidade do vento solar derivado de 18 meses de observações da ISEE-3. Quartis da densidade são: 3,2; 5,2 e 8,4 cm <sup>-3</sup>	31
Figura 2.11 - Variação da densidade do vento solar com a velocidade. A mediana, quartis e o valor médio são mostrados	31
Figura 2.12 - Variação da temperatura de prótons do vento solar com a velocidade do vento solar. A mediana e os quartis são mostrados	32
Figura 2.13 - Histograma da ocorrência da magnitude do campo em dados de 10 minutos da Pionner Vênus e de dados de 5 minutos da IMP-8, separados por níveis da atividade solar.	32
Figura 2.14 - Histograma do componente radial ou Bx do campo magnético interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar.	33
Figura 2.15 - Histograma do componente azimutal ou By do campo magnético	

interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar.	33
Figura 2.16 - Histograma do componente norte-sul ou Bz do campo magnético interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar.	34
Figura 2.18 - Esquema do sistema Sol-Vento Solar-Magnetosfera Terrestre, mostrando o acoplamento meio interplanetário – magnetosfera através do processo de reconexão magnética	36
Figura 2.19 - Representação esquemática de vários sistemas de correntes ligando as correntes magnetosféricas e ionosféricas, responsáveis pela atividade magnética	37
Figura 2.20 - Os índices AU e AL para uma subtempestade particular, onde se observam as três fases de uma subtempestade	38
Figura 2.21 - Representação gráfica de uma tempestade geomagnética com indicação das fases	40
Figura 2.22 - Intervalo de quatro dias (15-18 maio, 1974) durante a fase de recuperação de uma tempestade magnética. Cada evento de IMF Bs é acompanhado por um aumento no AE e um decréscimo no Dst	42
Figura 3.1 - Representação esquemática do Satélite ACE e sua órbita estável em torno do ponto lagrangeano L1	44
Figura 3.2 - Mapa da região polar norte mostrando as estações geomagnéticas utilizadas no processamento do índice AE	46
Figura 3.3 - Observatórios magnéticos utilizados na derivação do índice Dst	47
Figura 3.4 - Candidatos a eventos HILDCAAs e a eventos quase-HILDCAAs	49
Figura 3.5 – Comparação entre o número de Eventos HILDCAAs e Eventos quase- HILDCAAs	51
Figura 4.1 – Histograma da distribuição dos 150 eventos quase-HILDCAAs ao longo de cada ano	54
Figura 4.2 – Índice Dst em função do tempo para o evento HILDCAA: ev 4_1999	57
Figura 4.3 – Índice Dst em função do tempo para o evento quase-HILDCAA: ev 10_1999	57
Figura 4.4 - Gráfico apresentando os valores do vento solar relacionados à velocidade, à densidade, à pressão do vento solar, ao módulo do campo magnético, ao campo magnético nas direções x, y e z; ao índice Dst e aos índices aurorais AE, AU e AL	59

Figura 4.5 - Histograma dos valores médios do índice AE para os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.	61
Figura 4.5 - Histograma dos valores médios do índice AE ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase- HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	62
Figura 4.6 - Histograma dos valores médios do índice AU para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase- HILDCAAs de 1998 a 2007	61
Figura 4.7 - Histograma dos valores médios do índice AU ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	64
Figura 4.8 - Histograma dos valores médios do índice AL para todos os 150 eventos HILDCAAs/ quase- HILDCAAs de 1998 a 2007	65
Figura 4.9 - Histograma dos valores médios do índice AL ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	66
Figura 4.10 - Histograma dos valores médios da densidade média de prótons do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	67
Figura 4.11 - Histograma dos valores médios da densidade de prótons do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	67
Figura 4.12 - Histograma dos valores médios da temperatura de prótons do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	68
Figura 4.13 - Histograma dos valores médios da Temperatura de prótons do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	69
Figura 4.14 - Histograma dos valores médios da componente Vx da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	69
Figura 4.15 - Histograma dos valores médios da componente Vx da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	70
Figura 4.16 - Histograma dos valores médios da componente Vy da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	71
Figura 4.17 - Histograma dos valores médios da componente Vy da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	71

Figura 4.16 - Histograma dos valores médios da componente Vy da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	71
Figura 4.17 - Histograma dos valores médios da componente Vy da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	71
Figura 4.18 - Histograma dos valores médios da componente Vz da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	72
Figura 4.19 - Histograma dos valores médios da componente Vz da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	73
Figura 4.20 - Histograma dos valores médios do módulo da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	74
Figura 4.21 - Histograma dos valores médios do módulo da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	74
Figura 4.22 - Histograma dos valores médios da componente Bx do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	75
Figura 4.23 - Histograma dos valores médios da componente Bx do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	76
Figura 4.24 - Histograma dos valores médios da componente By do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	77
Figura 4.25 - Histograma dos valores médios da componente By do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	77
Figura 4.26 - Histograma dos valores médios da componente Bz do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	78
Figura 4.27 - Histograma dos valores médios da componente Bz do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	79
Figura 4.28 - Histograma dos valores médios do módulo do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	80
Figura 4.29 - Histograma dos valores médios do módulo do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs	81

(barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	
Figura 4.30 - Histograma dos valores médios da Pressão Dinâmica do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007	82
Figura 4.31 - Histograma dos valores médios da Pressão dinâmica do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	83
Figura 4.32 - Histograma dos valores médios do Fator Beta do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs entre 1998 a 2007	84
Figura 4.33 - Histograma dos valores médios do Fator Beta do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	85
Figura 4.34 - Histograma dos valores médios do índice Dst do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs entre 1998 a 2007	86
Figura 4.35 - Histograma dos valores médio do índice Dst do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007	86
Figura 4.36 - Números de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs associados a tempestades geomagnéticas ano- a-ano de 1998 a 2007	87
Figura 4.37 - Número de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs por mês para os anos de 1998 a 2007	88

### LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Parâmetros típicos do vento solar lento em 1 UA		
Tabela 3.1 - Candidatos a eventos HILDCAAs e quase-HILDCAAs para o período de 1998 a 2001	49	
Tabela 4.1 – Eventos quase-HILDCAAs encontrados entre 1998 a 2007		
Tabela 4.2 - Dados do início e do fim de um candidato a evento HILDCAA como um quase-HILDCAA com a presença de uma tempestade		
Tabela 4.3 - Dados do início e do fim de um evento classificado como HILDCAA ecomo um quase-HILDCAAsem a presença da tempestade	57	
Tabela 4.4 - Valores médios da velocidade (km/s), da densidade de prótons (cm <sup>-3</sup> ), temperatura de prótons (K), do módulo de B (nT) e o valor médio de AE (nT), para todo o período de 1998 a 2007	60	
Tabela 4.5 - Valores médios e desvio padrão do índice AE (nT), de 1998 a 2007	62	
Tabela 5.1 - Valores médios dos parâmetros registrado dentre todos os 150 eventos HILDCAAs/quase- HILDCAAs		
Tabela 5.2 - Parâmetros médios do vento solar em 1 UA, para período em torno da atividade solar mínima	93	
Tabela 5.3 - Propriedades médias de Ejeções de Massa Coronal	93	
Tabela 5.4 - Médias dos valores de pico do Dst e de alguns parâmetros interplanetários associados com supertempestades	94	
Tabela 5.5 - Valores de alguns parâmetros de plasma e campo do meio interplanetário relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs comparados com diferentes níveis de atividade geomagnética	94	

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 ATIVIDADE SOLAR E AS CONDIÇÕES DO MEIO INTERPLANETÁRIO NO	
DECORRER DO CICLO SOLAR (SOL-VENTO SOLAR-MAGNETOSFERA)	19
2.1.1 PROPRIEDADES ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS DO VENTO	
SOLAR	30
2.2 ATIVIDADE GEOMAGNÉTICA 2.2.1 Subtempestades Geomagnéticas	34 37
2.2.2 Tempestades Geomagnéticas	39
2.2.3 Eventos HILDCAAs	40
3 DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA	43
3.1 DADOS DE CAMPO MAGNÉTICO E PLASMA NO MEIO	
INTERPLANETÁRIO	42
3.2 DADOS DE ATIVIDADE GEOMAGNÉTICA	44
Índices Aurorais AE, AU e AL	44
Índice Dst	46
3.3 METODOLOGIA	48
3.4 CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS QUASE-HILDCAAS	48
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
4 RESULTADOS	51
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS QUASE-HILDCAAS	51
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DO VENTO SOLAR E DOS	
ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS RELACIONADOS AOS EVENTOS HILDCAAS/	
QUASE-HILDCAAS DE 1998 A 2007	58
4.2.1 Índice AE durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs	59
4.2.2 Índice AU durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs	64
4.2.3 Índice AL durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs	62
4.2.4 Densidade de prótons do vento solar	64
4.2.5 Temperatura de prótons do vento solar	66
4.2.6 Componente Vx da Velocidade do vento solar	67
4.2.7 Componente Vy da Velocidade do vento solar	69
4.2.8 Componente Vz da Velocidade do vento solar	70

### SUMÁRIO

4.2.9 Média do Módulo da Velocidade do vento solar	71
4.2.10 Componente Bx do Campo Magnético do vento solar	73
4.2.11 Componente By do Campo Magnético do vento solar	74
4.2.12 Componente Bz do Campo Magnético do vento solar	75
4.2.13 Média do Módulo do Campo Magnético do vento solar	77
4.2.14 Pressão Dinâmica do vento solar	78
4.2.15 Fator Beta do vento solar	80
4.2.16 Índice Dst durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs	82
4.3 VARIAÇÃO SAZONAL	84
5 DISCUSSÕES	87
6 CONCLUSÕES	96
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE A: GRÁFICOS DOS PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO E ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS PARA OS EVENTOS QUASE-HILDCAAS SELECIONADOS	103

### 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa estudar eventos geomagnéticos relacionados à atividade contínua de longa duração e alta intensidade do eletrojato auroral AE (High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity - HILDCAA) flexibilizando os critérios que os definem e relacionando-os à perturbações no meio interplanetário e no Sol, no período de 1998 a 2007, por meio de análise estatística de parâmetros interplanetários e magnetosféricos.

A rigidez dos critérios originais para a identificação de eventos HILDCAAs possibilitou a identificação de poucos eventos, não permitindo uma análise estatisticamente significativa. Isso nos levou a considerar a flexibilização de alguns dos critérios de identificação, possibilitando aumentar significativamente o número de eventos encontrados anteriormente, e assim, verificar quais as condições típicas no meio interplanetário que são mais propicias para gerar estes eventos.

Assim sendo, foi realizada uma análise dos quatro critérios de identificação dos eventos HILDCAAs a fim de se observar qual deles foi o mais importante para que esta "nova classe" de eventos, aqui denominados "Eventos quase-HILDCAAs", obtenha o maior número de candidatos em relação aos candidatos a eventos HILDCAAs originais. A análise de flexibilização dos critérios foi realizada em relação aos anos de 1998 a 2001. Após esta análise ficou definido qual dos critérios seria modificado e, portanto, com base neste novo critério foram determinados os eventos que ocorreram durante o período de 1998 a 2007.

Para que um evento seja considerado um evento HILDCAA ele deve obedecer a quatro critérios definidos pelos autores em seu primeiro artigo sobre o assunto (TSURUTANI; GONZALEZ,1987; TSURUTANI et al., 2004; TSURUTANI et al., 2006):

- 1º O evento deve atingir mais de 1000 nT no índice AE pelo menos uma vez durante o evento;
- $2^{\circ}$  O evento deve durar pelo menos dois dias;
- 3º Não devem ocorrer quedas no AE abaixo de 200 nT por períodos maiores que duas horas de cada vez; e
- 4° O evento deve ocorrer fora da fase principal de tempestades geomagnéticas.

Neste trabalho analisou-se a atividade solar e as condições do meio interplanetário (plasma e campo magnético interplanetário) relacionadas aos principais distúrbios geomagnéticos, e os processos pelos quais a energia é transferida do vento solar para dentro da magnetosfera.

Perturbações geradas no Sol produzem variações no meio interplanetário e estas por sua vez, geram perturbações no campo magnético terrestre (SUESS; TSURUTANI, 1998).

A atividade solar é um conjunto de perturbações transientes da atmosfera solar cuja ocorrência varia em função do chamado ciclo de atividade solar de aproximadamente 11 anos, medido pelo número de manchas solares, que são regiões mais escuras que a superfície visível solar e de intenso campo magnético. O número das manchas indica a escala temporal do surgimento através da superfície solar de áreas de forte fluxo magnético que é gerado pelo mecanismo de dínamo na zona de convecção. Associados a este forte fluxo estão às regiões ativas que mudam dinamicamente, onde ocasionalmente ocorrem explosões solares e proeminências. Estas perturbações estão relacionadas ao ciclo de atividade solar (PRIEST, 1987; HOYT; SCHATTEN, 1997).

A atividade geomagnética é um conjunto de perturbações no campo magnético da Terra, causada pela dinâmica do sistema de correntes existentes na Magnetosfera e Ionosfera. A origem destas perturbações deve-se à interação de partículas carregadas do vento solar e do campo magnético interplanetário, com o campo magnético da Terra. A atividade magnética apresenta-se de várias maneiras, entre elas estão a variação solar quieta que é gerada pelo dínamo ionosférico, as subtempestades, que são geradas devido à injeção de partículas na cauda da magnetosfera e a subsequente deriva das mesmas para regiões aurorais intensificando os eletrojatos aurorais e as tempestades magnéticas, geradas pela energização da corrente de anel (KIVELSON; RUSSELL, 1995).

O meio interplanetário é definido como sendo a região que se estende do Sol até o meio interestelar. Perturbações de origem solar causam variações no meio interplanetário, tais como variações na densidade, na velocidade etc., do vento solar e no campo magnético interplanetário. Essas variações por sua vez, ao atingirem a magnetosfera terrestre, geram perturbações nas correntes magnetosféricas e ionosféricas, alterando o campo geomagnético. A atividade solar é responsável por diversas perturbações no campo geomagnético que podem ser recorrentes ou transientes (GOSLING, 1993; GONZALEZ et. al., 1994; SUESS; TSURUTANI, 1998; RICHARDSON et. al., 2000).

No Capítulo 2 é apresentada a base teórica relacionada ao trabalho desenvolvido, por meio de uma revisão bibliográfica da atividade solar, do meio interplanetário e da atividade geomagnética.

No Capítulo 3 é feita uma descrição da metodologia empregada para a análise dos dados.

No Capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos. Finalmente, nos Capítulos 5 e 6, são apresentadas respectivamente as discussões e as conclusões deste trabalho.

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma abordagem da teoria que está relacionada com os estudos que foram desenvolvidos para a elaboração deste trabalho. Descreve-se a atividade solar e as condições do meio interplanetário no decorrer do ciclo solar, bem como a atividade geomagnética e seus fenômenos e como estas estão relacionadas entre si.

# 2.1 Atividade solar e as condições do meio interplanetário no decorrer do ciclo solar (Sol-vento solar-magnetosfera)

O sol é uma estrela ordinária da sequência principal e tem idade estimada de 4,5 bilhões de anos. Sua composição é de 92,1% de Hidrogênio (H), 7,8% de Hélio (He) e 0,1% de elementos mais pesados: Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O), etc.

A energia solar gerada no núcleo é proveniente das reações nucleares devido às elevadíssimas pressões e temperaturas. Esta reação é responsável para que quatro prótons ou núcleos de hidrogênio se fundam para formar uma partícula alfa ou núcleo de Hélio. A partícula alfa é aproximadamente 0,7% menos massiva do que quatro prótons, essa diferença em massa é expelida como energia. A camada de convecção completa o transporte de energia e de radiação do centro do Sol até a fotosfera e através dela para o vento solar. O transporte dessa energia do núcleo solar para a superfície é feito através de três mecanismos: condução, radiação e convecção. Condução: ela está presente numa pequena parte ao longo do Sol, mas não parece ser dominante em nenhuma das camadas solares. Radiação: é a energia transportada por prótons e ela domina a região de alta densidade do núcleo. Convecção: é o processo dominante na região de envelope solar, o qual circunda o núcleo.

Na região conhecida por zona de radiação, o material solar é quente e denso o suficiente para permitir a transferência de calor do centro para fora via radiação térmica: íons de hidrogênio e hélio emitem fótons, que viajam apenas uma pequena distância antes de serem reabsorvidos por outros íons.

Na região conhecida por zona de convecção, o plasma solar não é denso ou quente o bastante para transferir o calor do interior do Sol para fora via radiação. Como resultado, a convecção térmica ocorre na medida em que colunas térmicas carregam material quente para a superfície solar. Quando a temperatura desse material atinge o valor da temperatura da superfície, o material retorna em direção a base da zona de convecção, onde recebe calor do

topo da zona de radiação, recomeçando o ciclo novamente. O topo da célula de convecção recebe o nome de grânulo.

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 diferentes comprimentos de onda (no visível, ultravioleta ou extremo-ultravioleta, raios-X, etc.), a atmosfera solar revela estruturas que mudam dinamicamente de muitas maneiras. Estas estruturas são observadas em todas as latitudes no disco e em todos os níveis na atmosfera solar. 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, PRESTES, 2009). A figura 2.1 mostra a evolução da atividade solar do máximo ao mínimo por meio de uma sequência de 5 anos de imagens em raios-X do Sol.

Figura 2.1- Evolução do ciclo solar. A figura mostra uma seqüência de imagens em raios-X do Sol do máximo ao mínimo solar.



Fonte: Sol (2012)

Entre a zona de radiação e a zona de convecção existe uma tensão de cisalhamento provocada pela mudança súbita das condições entre a rotação uniforme da zona radiativa e a rotação diferencial da zona de convecção. A rotação diferencial na superfície solar é caracterizada pelo fato do material, na região equatorial, completar uma revolução em menos de 25 dias, enquanto que próximo aos pólos a rotação completa pode demorar até 34 dias. O mesmo ocorre nas camadas interiores do envelope convectivo, onde a velocidade de rotação varia não só com o raio, mas também com a latitude. Este comportamento tem origem na convecção, pois é esta que regula o transporte de momento angular, isto é, que determina a

velocidade angular para cada distância ao centro e para cada latitude. A rotação do Sol, sendo diferencial (a região equatorial gira mais depressa que as regiões restantes), converte um campo magnético poloidal (transição de um pólo ao outro) pouco intenso, num campo magnético toroidal (paralelo ao equador) muito intenso: a rápida rotação no equador vai misturar as linhas força, formando cordas magnéticas de elevada intensidade de campo. É este campo magnético que origina as manchas solares, inibindo a convecção e ocasionando o surgimento de zonas mais frias na superfície solar.

Acredita-se que o campo magnético solar seja gerado pelo processo de dínamo na zona convectiva, e esta determina as escalas temporais e espaciais da estrutura do campo magnético coronal que controla as propriedades do vento solar (RUSSELL, 2011). Deste campo resultam as manchas solares, as explosões solares (*solar flares*), as ejeções de massa coronal (CMEs - *Coronal Mass Ejections*) e outros tipos de manifestações da atividade magnética, bem como o ciclo solar medido pelo número de manchas solares.

As manchas solares são manchas escuras vistas na fotosfera do Sol, pelo fato de serem mais frias (~ 2000 K), em contraste com as regiões vizinhas que as rodeiam (~ 5780 K), tipicamente ocorrendo em grupos. O resfriamento ocorre localmente, porque o campo magnético nesta superfície ganha intensidade suficiente para inibir o fluxo de calor convectivo do interior do Sol e assim permitir que a temperatura das manchas torne-se mais baixa (HOYT; SCHATTEN, 1997). 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; RUSSELL, 1995).

Os ciclos solares são variações periódicas na atividade, com um período médio de 11 anos, como observado na Figura 2.2, que apresenta a série temporal do número de manchas solares de 1700 a 2010. Dados de número de manchas solares podem ser obtidos a partir do *National Geophysical Data Center*, Boulder, Colorado, <u>http://www.ngdc.noaa.gov/</u>.



Figura 2.2 - Série temporal do número de manchas solares de 1700 a 2010.

Alguns fatos observantes intrínsecos sobre grupos de manchas bipolares são que a polaridade das manchas é a mesma, para todo um ciclo de 11 anos, revertendo seu sentido no início do novo ciclo. Esta regra da polaridade das manchas solares foi proposta por Hale e Nicholson em 1925 e foi mostrado que ela é obedecida por 97% dos grupos de manchas solares. Dois ciclos de manchas solares são necessários para o Sol retornar ao mesmo estado de polaridade, resultando numa periodicidade de 22 anos que é conhecido como ciclo de Hale (PRIEST, 1987).

Em função da atividade solar variar com o período de aproximadamente 11 anos, as estruturas do meio interplanetário e o campo magnético interplanetário (IMF - *Interplanetary Magnetic Field*) 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 pelo vento solar ao longo do meio interplanetário. O vento solar e o campo magnético interplanetário interagem com o campo magnético terrestre configurando uma região chamada Magnetosfera. Perturbações no campo magnético interplanetário podem ser causadas por fenômenos de atividade solar transiente e de pequena duração como: buracos coronais, explosões solares e CMEs, cujas frequências seguem o ciclo de atividade solar (PARKS, 1991; KIVELSON; RUSSELL, 1995).

Dentre os fenômenos relacionados à atividade solar e que estão ligados as principais variações no meio interplanetário e consequentemente com as variações no geoespaço são as

CMEs e os buracos coronais (GONZALEZ et al., 1992; RICHARDSON et al., 2000, VENNERSTROEN, 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 do filamento solar (SUESS; TSURUTANI, 1998). As CMEs ao serem liberadas levam consigo grande quantidade de plasma e campo magnético apresentando diferentes configurações (WEBB et al. 2001). Essas ejeções têm forte impacto sobre as condições geomagnéticas, principalmente quando possuem a configuração de campo adequada e atingem a Terra (GUARNIERI et al., 2006b). Por possuírem campos magnéticos de grande amplitude e por serem estruturas de grandes dimensões e que, portanto, requerem um tempo considerável para passar pela Terra, esses eventos reúnem as condições necessárias para produzirem grandes tempestades geomagnéticas. Esta região de plasma e campo magnético tem uma configuração que pode ser assemelhada a um tubo de fluxo. A Figura 2.3 mostra um diagrama esquemático de uma CME, onde pode ser visto a região do tubo de fluxo (ou nuvem magnética), que apresenta um campo magnético intenso e pouco variante, com beta (razão entre a pressão térmica do gás e a pressão magnética) de plasma e temperatura de prótons muito baixos (BURLAGA, 1995). Este campo magnético frequentemente apresenta uma rotação de direção, e forma um gigantesco tubo de fluxo formado por correntes alinhadas ao campo. Esta região se desloca a grande velocidade e apresenta uma região de plasma comprimido e aquecido na sua frente, que é também conhecida como bainha e cujo campo magnético e plasma possuem um comportamento altamente turbulento.



Figura 2.3 - Diagrama Esquemático de uma Ejeção de Massa Coronal (CME).

Fonte: Adaptado de Gonzalez, Tsurutani e Clúa de Gonzalez (1999).

Inicialmente, pensava-se que a cada explosão ocorrida, ocorria também a liberação de uma CME. No entanto, tem sido mostrado que esta associação não é verdadeira. Observações têm indicado um grande número de explosões que não apresentaram posterior CME. O inverso também tem sido observado, com a ocorrência de algumas CMEs sem que tenha sido observado um explosão em sua origem (Gosling, 1993).

A Figura 2.4 apresenta a frequência de ocorrência de CMEs sobre o ciclo solar XXI e XXII, entre 1973 a 1989. Estes eventos transientes de breve duração e com amplitude maior do que a atividade quieta segue o número de manchas solares.

Figura 2.4 - Taxa de ocorrência de CMEs durante o período de 1973 a 1989. Dados correspondem a coronógrafos na *Skylab* e *SMM* (circulos), e satélite *Solwind* (quadrados), e fotômetros no *Helios* 1 e 2 (triângulos). Duas taxas do Solwind são dadas, para todas as CMEs e uma mais baixa somente para CMEs maior (quadrados).



Os buracos coronais são amplas regiões da coroa solar, caracterizadas pela densidade excepcionalmente baixa do plasma e um campo magnético fotosférico, tendo topologia de campo magnético aberto. Os buracos coronais são grandes e muito estáveis próximos aos pólos solares, e são fontes do vento solar de alta velocidade, de 700 a 800 km/s, (Sheeley, Harvey e Feldman, 1976). Os buracos coronais são visíveis em vários comprimentos de onda, mais notáveis em raios-X solares, visíveis somente do espaço, mas também na linha espectral 1083 nm do He, que é detectável na superfície da Terra. Em imagem de raios-X moles (energia do fóton de aproximadamente 0,1 - 1,0 keV ou um comprimento de onda de 10 - 100 Å) estas regiões são escuras, originando assim o nome "*buracos*" (SUESS;

TSURUTANI, 1998). A Figura 2.5 mostra um exemplo de um grande buraco coronal polar representado pela área mais escura no centro da imagem.



Figura 2.5 - Imagem em raios-x acima da atmosfera da Terra mostrando um grande buraco coronal (área escura no centro da imagem).

Fonte: Correio do Estado (2012)

O tamanho e a posição dos buracos coronais mudam durante todo o ciclo solar. Durante o mínimo existem grandes buracos coronais concentrados sobre os pólos do Sol, possivelmente com uma extensão em baixas latitudes. Com o progresso do ciclo da atividade solar, os buracos coronais polares crescem menos e buracos coronais de média e baixa latitude começam a aparecer, entrando na zona das regiões ativas (BRAVO et al., 1998). Na Figura 2.6 é mostrada a distribuição da ocorrência de buracos coronais de baixas latitudes no decorrer do ciclo solar 21, onde se observa a existência de dois picos, um antes do máximo do ciclo das manchas solares e outro depois. Um fato aceito é que buracos coronais coincidem com feixes de altas velocidades no vento solar e distúrbios geomagnéticos recorrentes produzidos por eles. A conexão direta das linhas de campo magnético dessas regiões no vento solar permite estas altas velocidades (ZIRIN, 1988). É comum que os buracos coronais persistam por mais de uma rotação solar e, portanto, seus efeitos recorrentes podem ser vistos na Terra com períodos de aproximadamente 27 dias (SMITH; WOLF, 1976).



Figura 2.6 - Número anual dos buracos coronais de baixas latitudes: dentro de ±30° (barras), para o ciclo solar 21 junto com a curva suavizada do número de manchas Solares.

Grandes buracos coronais, que se estendem ao equador solar e persistem por muitas rotações solares, são geralmente observados durante a fase de declínio dos ciclos solares. Tais buracos coronais são fontes feixes recorrentes de vento solar de alta velocidade, que existem por longo tempo e resultam em acentuados, mas não muito fortes distúrbios geomagnéticos recorrentes que são registrados durante vários dias ou mesmo semanas (até uma rotação solar inteira, especialmente em latitudes elevadas). Esses feixes de alta velocidade são caracterizados pela presença de ondas de Alfvén propagando-se do Sol com amplitudes médias e grandes (SHUGAI et al., 2009).

Os feixes rápidos, devido a sua maior velocidade, fluem mais radialmente das regiões de buracos coronais que o vento solar lento que flui de outras regiões (GUARNIERI et al., 2006a). Portanto, é de se esperar que esses feixes se colidam em suas trajetórias. A interação entre os feixes de diferentes velocidades dá origem a choques, formando uma estrutura que foi denominada CIR (*Corotanting Interaction Region*) ou Região de Interação Corrotante. Na

Fonte: Gonzalez et al., (1996).

região da órbita da Terra estes choques ainda não estão completamente desenvolvidos. A Figura 2.7 ilustra esta região, onde em amarelo representa um feixe rápido fluindo de um buraco coronal solar, formando uma região de compressão à sua frente de plasma lento, ilustrada pela região de cor vermelha.



Figura 2.7 - Ilustração de um feixe rápido do vento solar fluindo de um buraco coronal solar.

Fonte: Tsurutani et al. (2006).

Um diagrama esquemático de uma Região de Interação Corrotante e os choques formados nas interfaces de uma CIR é mostrado na Figura 2.8, onde os choques resultantes são as interações dos feixes de diferentes velocidades. Em frente ao feixe rápido, onde ele interage com o fluxo lento (A) mais distorcido, ocorre a formação do choque frontal. Atrás da região de interação, na interface com o fluxo de alta velocidade (B), ocorre o choque reverso. Esses choques, que numa CIR não se encontram completamente desenvolvidos em 1 UA (Unidade Astronômica)<sup>1</sup>, podem levar a ocorrência de tempestades magnéticas moderadas ou subtempestades (SMITH; WOLF, 1976; TSURUTANI et al., 1995a; TSURUTANI et al., 1995b).

<sup>&</sup>lt;sup>1 1</sup>Unidade Astronômica é a medida que corresponde a distância do Sol à Terra e que é igual a 149603500 km.



Figura 2.8 - Diagrama esquemático de uma Região de Interação Corrotante e os choques formados em suas interfaces.

Fonte: Adaptado de Tsurutani et al. (1995b).

O vento solar na órbita da Terra flui com uma velocidade de cerca de 400 km/s e uma densidade de 5 cm<sup>-3</sup>. Ele carrega um campo magnético em torno de 5 nT, que se situa perto do plano da eclíptica em um padrão espiral de Arquimedes e é altamente variável (PARKS, 1991; KIVELSON; RUSSELL, 1995). A interação do vento solar com o campo magnético da Terra é muito importante. O vento solar controla tanto o tamanho da cavidade geomagnética através de seu fluxo de momento (pressão dinâmica) e o fluxo de energia para dentro da magnetosfera, acoplada a partir do fluxo de energia mecânica do vento solar pela reconexão do campo magnético interplanetário com o campo terrestre. Este acoplamento é fortemente controlado pela direção do campo magnético interplanetário, sendo mais intenso quando o campo magnético interplanetário está na direção sul. Assim, os parâmetros mais interessantes são: a velocidade do vento solar, a densidade de massa e a intensidade e a orientação do campo magnético interplanetário. No entanto, a interação com a Terra é complexa e outros parâmetros como temperatura, também são importantes. (RUSSELL, 2001).

O tamanho da magnetosfera terrestre é determinado pelo equilíbrio entre a pressão dinâmica do vento solar e a pressão exercida pela magnetosfera, principalmente por seu campo magnético. A forma da magnetosfera é adicionalmente influenciada pelo arraste do vento solar, ou tensão tangencial, sobre a magnetosfera. Este arraste é predominantemente causado pelo mecanismo conhecido como reconexão em que o campo magnético do vento solar conecta-se com o campo magnético da magnetosfera. Os fatores que controlam a taxa de reconexão dos dois campos não são compreendidos completamente, mas a existência de um campo interplanetário na direção sul é crítica para permitir a reconexão com a magnetosfera no lado diurno em baixa latitude, resultando em transferência de fluxo magnético para a cauda magnética. Enquanto as propriedades do vento solar controlam a interação, as propriedades do plasma que faz contato direto com a magnetosfera são diferentes daqueles do vento solar, tendo sido alterada por ondas de choque em frente da magnetosfera (Bow Shock). Este choque ocorre pelo fato de que a velocidade de fluxo do vento solar excede em muito a velocidade da onda de compressão que desvia o vento solar ao redor da Terra. A atmosfera superior é o destino final de toda energia e momento que entra na magnetosfera. O acoplamento ocorre ao longo das linhas do campo magnético, principalmente na região polar e auroral via sistemas de correntes que se fecham através do campo magnético tanto em altitudes e flui paralelo ao campo magnético entre altas e baixas baixas e altas altitudes. (RUSSELL, 2011). A interação entre o plasma do vento solar e o da magnetosfera está ilustrada pela Figura 2.17. Nesta Figura pode ser observada também a representação esquemática do vento solar pelas linhas brancas, a linha roxa é a fronteira de choque que recebe o nome de Bow Shock. Imediatamente no interior do Bow Shock está a magnetopausa a qual forma a fronteira física entre o plasma do vento solar e o da magnetosfera. A magnetopausa possui a forma de um elipsóide de revolução, ocupando o interior da Terra um de seus focos (ZHUANG et al., 1981).



Figura 2.17- Ilustração da interação entre o plasma do vento solar e a magnetosfera.

Fonte: DIGITAL Sun (2012)

#### 2.1.1 Propriedades estatísticas dos parâmetros do vento solar

Alguns parâmetros típicos do vento solar medidos na órbita da Terra em 1 UA são dados na Tabela 2.1 que apresenta os valores dos parâmetros do vento solar lento (SCHWENN, 2001).

Velocidade de fluxo V <sub>p</sub>	350 km s <sup>-1</sup>
Densidade de próton n <sub>p</sub>	$9 \text{ cm}^{-3}$
Densidade de fluxo de próton $n_pV_p$	$3 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Composição	96 % de prótons, 4 % de íons He <sup>+</sup> , componentes secundários, mais um número adequado de elétrons para manter quase perfeito a neutralidade da carga.
Temperatura de próton T <sub>p</sub>	4 x 10 <sup>4</sup> K
Temperatura de elétron T <sub>e</sub>	1,5 x 10 <sup>5</sup> K
Campo Magnético B	4 nT
Eanta: Sahwann (2001)	

Tabela 2.1: Parâmetros típicos do vento solar lento em 1 UA.

Fonte: Schwenn, (2001).

No entanto, na órbita da Terra o vento solar é altamente variável. A velocidade pode ser tão baixa quanto 260 km/s e mais rápida que 750 km/s, mas tipicamente fica em torno de 400 km/s, como se pode observar na Figura 2.9.





Já a densidade do vento solar é muito mais variável do que a velocidade, como se pode observar no histograma da Figura 2.10, variando de aproximadamente 0,1 cm<sup>-3</sup> a 100 cm<sup>-3</sup>. Assim, variações na pressão dinâmica com a qual o vento solar sopra contra a magnetosfera e o tamanho dela são controladas principalmente por flutuações da densidade.



Quando altas densidades e velocidades elevadas ocorrem em conjunto o tamanho da magnetosfera pode ser reduzida para metade, mas em geral a densidade do vento solar e a velocidade são inversamente correlacionadas como mostrada na Figura 2.11.

Figura 2.11 - Variação da densidade do vento solar com a velocidade. A mediana, quartis e o valor médio são mostrados.



Fonte: Russell, (2001).

Em contraste, a temperatura de íon é positivamente correlacionada com a velocidade do vento solar como é mostrada na Figura 2.12 (Russell, 2001).



Figura 2.12 - Variação da temperatura de prótons do vento solar com a velocidade do vento solar. A mediana e os quartis são mostrados.

A magnitude do campo magnético do vento solar também é bastante variável conforme ilustrado na Figura 2.13 para dois raios heliocêntricos e três níveis de condições solares. É evidente que a distribuição não é gaussiana, mas que tem uma longa cauda com amplitude elevada, especialmente em período de alta atividade. Este comportamento reflete-se nas três componentes do campo: Bx, By e Bz mostrados nas Figuras 2.14, 2.15 e 2.16, respectivamente. As medições em 0,72 UA para as três componentes foram ajustadas para 1 UA para ser mais facilmente comparada com as da IMP-8.

Figura 2.13 - Histograma da ocorrência da magnitude do campo em dados de 10 minutos da Pionner Vênus e de dados de 5 minutos da IMP-8, separados por níveis da atividade solar.



Fonte: Russell, (2001).

Figura 2.14 - Histograma do componente radial ou Bx do campo magnético interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar. O tamanho do gráfico dos dados da IMP-8 foi escalonado para 0,72 UA por um fator r<sup>-2</sup> para tornar os gráficos facilmente comparáveis. A linha vertical pontilhada indica que os dados da IMP-8 têm um valor máximo de 32 nT.



Figura 2.15 - Histograma do componente azimutal ou By do campo magnético interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar. O tamanho do gráfico dos dados da IMP-8 foi escalonado para 0,72 UA por um fator r<sup>-1</sup>. A linha vertical pontilhada indica que os dados da IMP-8 têm um valor máximo de 32 nT.



Fonte: Russell, (2001).

Figura 2.16 - Histograma do componente norte-sul ou Bz do campo magnético interplanetário da IMP-8 e Pioneer Vênus para três níveis de atividade solar. O tamanho do gráfico dos dados da IMP-8 foi escalonado para 0.72 UA por um fator r<sup>-1</sup>. A linha vertical pontilhada indica que os dados da IMP-8 têm um valor máximo de 32 nT.



Fonte: Russell, (2001).

Pode-se ver que os campos mais intensos ocorrem no máximo solar quando há uma cauda com campo elevado nas distribuições. Estes campos elevados são quase exclusivamente devido a ejeções de massa coronal interplanetárias. Nota-se que as formas das distribuições das componentes Bx e By diferem da forma da distribuição de Bz próximo à intensidade zero. Isto ocorre porque o padrão de setor faz com que as componentes Bx e By sejam distribuídos em torno de dois valores modais, um negativo e um positivo, enquanto o componente Bz é distribuído em torno de zero. Além disso, há uma evolução nas distribuições quando o campo magnético é carregado de 0,7 para 1,0 UA. O aparecimento de campos intensos em 1 UA que na distribuição de 0,72 UA ajustada é atribuída como sendo devido à interação de fluxos rápidos e lentos quando o vento solar move-se da órbita de Vênus à da Terra (RUSSELL, 2001).

### 2.2 ATIVIDADE GEOMAGNÉTICA

O ambiente que cerca a Terra é constituído de partículas, plasmas e configurações de campos que são controlados pelo campo magnético terrestre. 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; MCELHINNY, 1983; PARKINSON, 1983).

O vento solar interage com o campo magnético terrestre, originando a magnetosfera que tem a forma distorcida como a de um cometa, e transfere para ela energia que controla as correntes formadas no plasma e consequentemente as perturbações magnetosféricas, aurorais e ionosféricas (BAKER, 2000). Essas perturbações podem ser manifestadas por mudanças na luminosidade da ocorrência de aurora e pela miríade de fenômenos que recebem o termo de atividade magnética (GONZALEZ et al., 1994; BAKER, 2000).

O campo magnético terrestre age como um escudo, protegendo a Terra dos efeitos diretos do vento solar. No entanto, sob características especiais, a interação entre os dois plasmas e campos magnéticos propicia a penetração de partículas e campos para dentro da magnetosfera. O vento solar perturbado que se origina de regiões solares ativas, interage com a magnetosfera terrestre provocando efeitos de penetração de partículas, indução de correntes, alterações do campo magnético, etc. (GONZALEZ et al., 2006).

O processo pelo qual a energia é transferida do vento solar para dentro da magnetosfera é chamado de reconexão. Se a componente na direção do eixo *z* do campo magnético do meio interplanetário for orientada para o sul, as linhas do campo magnético interplanetário se interconectam com as linhas do campo geomagnético no lado diurno. A linha reconectada é arrastada sobre a calota polar na direção da cauda da magnetosfera. Na cauda ocorre nova reconexão, e com isso partículas são injetadas em órbitas mais próximas a Terra. A Figura 2.18 mostra um diagrama esquemático do processo de reconexão, através do qual energia e partículas são transferidas do vento solar para dentro da magnetosfera (GONZALEZ et al., 1994).

Figura 2.18 - Esquema do sistema Sol-Vento Solar-Magnetosfera Terrestre, mostrando o acoplamento meio interplanetário – magnetosfera através do processo de reconexão magnética.



### MAGNETOSFERA DA TERRA

Fonte: Gonzalez e Tsurutani, 1992.

Todas as correntes acima da ionosfera são controladas pelo vento solar. Dois parâmetros importantes de controle são a pressão dinâmica, que depende da velocidade e densidade de vento solar, e o componente amanhecer-anoitecer do campo elétrico (Ey), que depende da velocidade do plasma e do campo magnético norte–sul. Quando qualquer destas variáveis muda, correspondentes mudanças na intensidade, localização e distribuição das correntes acontecem. Mudanças nas correntes são refletidas por mudanças no campo magnético na superfície da Terra. Tais mudanças são chamadas de atividade geomagnética (Kivelson e Russell, 1995). A Figura 2.19 mostra alguns sistemas de correntes de larga escala que fluem na magnetosfera.


Figura 2.19 - Representação esquemática de vários sistemas de correntes ligando as correntes magnetosféricas e ionosféricas, responsáveis pela atividade magnética.

Fonte: Kivelson e Russell, (1995).

Dentre os principais distúrbios geomagnéticos causados pela atividade solar e pelas perturbações no meio interplanetário estão: as subtempestades geomagnéticas, as tempestades geomagnéticas e os eventos HILDCAAs. Existem várias razões para se acreditar que as causas da atividade geomagnética sejam consideravelmente diferentes no decorrer do ciclo solar, em funções das diferentes estruturas solares no máximo e no mínimo.

#### 2.2.1 Subtempestades Geomagnética

O mais frequente tipo de atividade geomagnética é a subtempestade magnetosférica. Uma subtempestade é uma sequência ordenada de eventos transientes que ocorrem na magnetosfera e ionosfera quando o campo magnético interplanetário se torna apontado para o sul e aumenta o fluxo de energia do vento solar para dentro da magnetosfera (KIVELSON; RUSSELL, 1995).

Há muito tempo acreditava-se que as tempestades fossem umas superposições de várias subtempestades, no entanto, tem sido mostrado que os processos físicos envolvidos nas subtempestades são bastante diferentes daqueles que ocorrem durante as tempestades (GUARNIERI, 2005a).

As subtempestades possuem três fases distintas durante sua ocorrência: Fase de Crescimento, Fase de Expansão e Fase de Recuperação. A fase de crescimento é aquela em que a energia extraída do vento solar é primariamente armazenada na cauda da magnetosfera enquanto pequenas quantidades são dissipadas na corrente de anel e ionosfera. A fase de expansão é a fase de liberação explosiva de energia, em que partículas são injetadas em órbitas síncronas, o campo em forma de cauda se torna mais dipolar, e ocorre o desenvolvimento das auroras e dos eletrojatos na ionosfera. A duração da fase de expansão é tipicamente menor que uma hora. A fase de recuperação é aquela na qual a configuração de períodos calmos de campo, partículas, auroras e correntes ionosféricas são restabelecidas. A duração da fase de recuperação é de aproximadamente 90 minutos (Kivelson e Russell, 1995; Guarnieri, 2005a). A Figura 2.20 ilustra os três estágios de uma subtempestade em termos dos índices AU e AL. Os índices AU e AL significam os envelopes superiores (*upper*) e inferiores (*lower*) respectivamente, dos gráficos superpostos de todos os dados de todas as estações em função da hora universal (UT).

Figura 2.20 - Os índices AU e AL para uma subtempestade particular, onde se observam as três fases de uma subtempestade.



Fonte: Adaptada de Kivelson e Russell, (1995).

## 2.2.2 Tempestades Geomagnéticas

As tempestades geomagnéticas são um dos efeitos mais marcantes da interação Sol-Terra. As tempestades 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 pelo índice Dst (SUGIURA, 1964).

O índice Dst (*Disturbance Storm Time*) representa o campo perturbado axialmente simétrico no equador do dipolo na superfície da Terra. Os principais distúrbios no Dst são negativos, chamados de decréscimos no campo geomagnético. Estes decréscimos no campo são produzidos principalmente pelo sistema de corrente equatorial na magnetosfera, geralmente referido como corrente anelar (ou corrente de anel).

A magnitude da tempestade magnética pode ser definida pelo valor mínimo do índice Dst. Para que uma tempestade intensa se desenvolva (Dst < -100 nT), faz-se necessário um campo magnético Bz de, no mínimo, -10 nT mantido por um intervalo de pelo menos 3 horas. Já para uma tempestade moderada (Dst entre -50 e -100 nT) as condições são um campo magnético de pelo menos -5 nT mantido por 2 horas (GONZALEZ et al., 1994).

Durante as tempestades geomagnéticas, partículas da cauda são aceleradas na direção da Terra, e através de correntes alinhadas ao campo, essas partículas penetram fundo na mesosfera e ionosfera. Na ionosfera, região de maior densidade de partículas, elas acabam colidindo com partículas locais, liberando energia e dando origem às auroras (AKASOFU; CHAPMAN, 1972).

A Figura 2.21 mostra um gráfico do índice Dst indicando as diversas fases de uma tempestade geomagnética. Neste gráfico estão bem visíveis as três fases de uma tempestade geomagnética: o início súbito (*Storm Sudden Commencement* - SSC), a fase principal e a posterior fase de recuperação. O início súbito não é uma condição necessária para a ocorrência de uma tempestade e, portanto, a fase inicial não é uma característica essencial (AKASOFU; CHAPMAN, 1965)





Fonte: Suess e Tsurutani (1998).

#### 2.2.3 Eventos HILDCAAs

Tsurutani e Gonzalez (1987) analisando tempestades magnéticas observaram que algumas apresentavam um tempo de recuperação muito mais longo que o usual, podendo passar de uma semana. Durante estes períodos, o índice AE apresentava uma intensa e contínua atividade. Assim, caracterizaram um novo tipo de atividade geomagnética: os HILDCAAs (*High Intensity, Long Duration Continuous AE Activity*) ou Atividade Contínua do Índice AE, de Grande Intensidade e Longa Duração. A definição de evento HILDCAA se dá principalmente em função do índice AE, que descreve a atividade geomagnética na região auroral, representando as atividades dos eletrojatos aurorais (GUARNIERI, 2005b).

Os eventos HILDCAAs podem ocorrer após tempestades de CMEs bem como após tempestades de CIRs, ou mesmo na ausência de tempestades. No entanto, estudos (Guarnieri, 2005a) mostraram que a maioria desses eventos ocorre após as tempestades de CIRs, quando a ocorrência das ondas de Alfvén é mais frequente. Portanto a ocorrência de eventos HILDCAAs é maior na fase descendente e mínima do ciclo solar.

A longa fase de recuperação observada nas tempestades se deve a contínuas injeções de íons na parte externa da corrente de anel causadas pelos HILDCAAs, interrompendo o processo clássico do decaimento da corrente de anel por trocas de cargas e interações ondapartícula. Se as injeções ocorrerem durante a fase de recuperação de uma tempestade, elas irão prolongar a fase de recuperação do índice Dst mantendo valores referentes a dias calmos, e se ocorrer durante períodos com ausência de tempestade, esta injeção pode manter o índice Dst quase constante para valores negativos durante dias (SORAAS et al, 2004). Estas injeções são bem correlacionadas com as flutuações alfvénicas presentes no campo magnético do vento solar, originadas em feixes rápidos provenientes de buracos coronais, a sua ocorrência é mais comum na fase descendente e no mínimo solar. Durante a fase do máximo solar, os feixes rápidos são transientes (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987; TSURUTANI; HO, 1999; SANDANGER et al., 2004).

Ondas de Alfvén são ondas hidromagnéticas cujos períodos de oscilação são da ordem de muitos minutos. As linhas de campo magnético ressonam similarmente a uma corda esticada vibrando, tal qual a corda de um violino. A frequência de oscilação é relacionada ao comprimento da linha de campo magnético e também à quantidade de plasma que está sendo movida durante a oscilação. As ondas de mais longo período dentro da magnetosfera são associadas com as mais longas linhas de campo, ou seja, aquelas que se estendem até a magnetopausa, que se acredita que sejam excitadas por instabilidades de Kelvin-Helmholtz na magnetopausa, que por sua vez são induzidas pelo vento solar. Ondas de curto período são ligadas a intensas correntes elétricas, os eletrojatos aurorais, no setor da meia noite e, possivelmente, em outras horas locais (GUARNIERI, 2005a).

Segundo Hollweg (1978), as ondas de Alfvén no vento solar do meio interplanetário são remanescentes dos processos de aquecimento ocorrendo na coroa solar.

Nas ondas de Alfvén, enquanto a magnitude da onda varia, o campo magnético total e a densidade de plasma permanecem constantes. Além disso, as variações nas componentes do campo magnético são bem correlacionadas com as componentes da velocidade do vento solar (PARKS, 1991).

As ondas de Alfvén são frequentemente (mas não sempre) detectadas por vários dias após eventos interplanetários maiores, tais como choques e aumentos na densidade do vento solar. Pressupõe-se que a reconexão magnética entre a componente na direção sul do campo magnético das ondas de Alfvén e o campo magnetosférico é um mecanismo de transferência de energia do vento solar para a magnetosfera. Sugere-se que a maioria da atividade auroral pode ser causada pela reconexão associada com ondas de Alfvén no meio interplanetário. (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987). A Figura 2.22 mostra um exemplo de evento HILDCAA ocorrido no ano de 1974.

Figura 2.22 - Intervalo de quatro dias (15-18 maio, 1974) durante a fase de recuperação de uma tempestade magnética. Cada evento de IMF Bs é acompanhado por um aumento no AE e um decréscimo no Dst.



Fonte: Tsurutani et al. (2004).

A atividade auroral durante os eventos HILDCAAs difere da atividade auroral que ocorre durante subtempestades. Ao contrário das subtempestades, que tem uma deposição de energia em uma região pequena e bem definida no lado noturno, durante os eventos HILDCAAs a atividade auroral é mais moderada e distribuída ao longo de quase toda (senão toda) a oval auroral, chegando a cobrir, em alguns eventos, todo o polo (GUARNIERi et al., 2004; GUARNIERI, 2005a; 2005b).

## **3 DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA**

Neste capítulo será feita uma descrição da metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa e dos dados utilizados nas análises. Para a realização desta dissertação foram utilizadas rotinas computacionais para obtenção, redução e análise de dados de diversos instrumentos e sensores. Estas rotinas foram desenvolvidas pelo Dr. Fernando Luis Guarnieri durante seu trabalho de doutorado para aplicações em estudos da área de clima espacial (para mais detalhes sobre as rotinas consultar Guarnieri (2005a).

# 3.1 DADOS DE CAMPO MAGNÉTICO E PLASMA NO MEIO INTERPLANETÁRIO

Os dados coletados por satélites em geral são diferenciados em dados de campo magnético e em dados de plasma, pois eles provêm de diferentes instrumentos. Os dados de campo magnético possuem, em geral, maior resolução temporal e constitui-se do vetor campo magnético fornecido em suas componentes vetoriais. Foram utilizados dados no sistema de coordenadas GSM (*Geocentric Solar Magnetospheric*), centrado na Terra e o vetor *x* apontando na linha Terra-Sol. O vetor *z* está orientado na direção do eixo do dipolo da Terra e o vetor *y* completa o sistema de coordenadas. Os dados de plasma compreendem medidas de velocidade (em componentes vetoriais), densidade, temperatura e pressão. Geralmente os dados de plasma, devido a limitações técnicas, possuem menor resolução temporal. Os dados do meio interplanetário são essenciais para a identificação das causas dos eventos.

Nesta dissertação foram utilizados dados do satélite ACE (*Advance Composition Explorer*) durante o período de 1998 a 2007. Este satélite está em uma órbita estável em torno do ponto lagrangeano L1, localizado a aproximadamente 1.500.000 km da Terra, na linha entre o Sol e o nosso planeta. Este ponto é exatamente a região onde as forças gravitacionais do Sol e da Terra se compensam.

Os dados do satélite ACE foram obtidos do *website* na Caltech, universidade onde ele foi desenvolvido. Além de fornecer os dados de todos os instrumentos separadamente, a Caltech também disponibiliza um conjunto de dados compilados com vários instrumentos na mesma resolução temporal e mesmo nível de processamento. Para esta dissertação, foram utilizados dados com nível 2 de processamento (processamento final) com 1 minuto de resolução temporal. Uma representação esquemática do Satélite ACE e sua órbita estável em torno do ponto lagrangeano L 1 é apresentada na Figura 3.1.



Figura 3.1 - Representação esquemática do Satélite ACE e sua órbita estável em torno do ponto lagrangeano L1.

Fonte: Advanced Composition Explorer (ACE), 2012

# 3.2 DADOS DE ATIVIDADE GEOMAGNÉTICA

Podem-se averiguar os efeitos das interações entre o vento solar e a magnetosfera usando índices geomagnéticos, concebidos para representar o nível de perturbação da magnetosfera da Terra.

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 em 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).

## Índices Aurorais AE, AU e AL

O índice do eletrojato auroral AE (*Auroral Electrojet*), foi introduzido originalmente por Davis e Sugiura (1966), como uma medida da atividade do eletrojato na zona auroral. Atualmente, o índice AE é amplamente utilizado por pesquisadores em geomagnetismo, aeronomia e física solar terrestre.

O índice AE é calculado a partir das variações na componente horizontal do campo geomagnético medido por 10 a 13 observatórios localizados ao longo da zona auroral do

hemisfério norte. Para normalizar os dados, um valor base é calculado para cada estação sobre os cinco dias mais quietos do ano. Este valor base é subtraído de cada valor de dado de 1 minuto. Com este valor, dentre todas as estações, é tomado para cada hora universal, o maior e o menor valor. Os índices AU e AL são respectivamente definidos como o maior e o menor valor selecionado. Os índices AU e AL significam os envelopes superiores (*upper*) e inferiores (*lower*) respectivamente, dos gráficos superpostos de todos os dados de todas as estações em função da hora universal (UT). A diferença AU menos AL define o índice AE. O índice AE possui resolução temporal de 1 minuto e é responsabilidade do *World Data Center for Geomagnetism and Space Magnetism* (WDC-C2), Faculdade de Ciências da Universidade de Kyoto, a incumbência do processamento, onde o índice é calculado e disponibilizado.

Apesar dos esforços dos responsáveis pelo processamento do índice AE, são várias as críticas quanto ao significado físico do AE. Existem dois grandes problemas. O primeiro é devido à distribuição irregular das estações, que faz com que um lado seja mais amostrado que outro. Outra grande consideração é que boa parte da atividade auroral pode ocorrer localizada sobre uma região sem cobertura e, portanto, ser completamente ignorada pelos índices AE.

Mesmo com estes problemas e apesar da falta de dados de algumas estações, os responsáveis pelo processamento do AE acreditam que os dados provisionais calculados a partir de 12 estações são confiáveis o suficiente para serem usados em análises científicas (KAMEI; SUGIURA; ARAKI. 2010).

A Figura 3.2 mostra a distribuição das principais estações geomagnéticas usadas para o processamento do índice AE na região auroral do hemisfério norte.





Fonte: Kamei, Sugiura e Araki (2010).

## Índice Dst

O índice Dst monitora a variação da corrente de anel, que é uma corrente que circula a Terra próxima ao equador magnético fluindo na direção oeste, no cinturão de radiação de Van Allen na magnetosfera (DAGLIS, 1999). Entre todos os índices, o índice Dst é provavelmente aquele que melhor monitora e registra o fenômeno para o qual foi designado. Supondo que variações transitórias regulares ou irregulares são eliminadas na derivação, obtém-se um índice que já não é uma informação sumarizada, mas um registro puro do fenômeno a qualquer taxa de amostragem. No entanto, várias dificuldades são encontradas na eliminação das variações transitórias e principalmente das variações seculares que, ao longo dos anos, varia de observatório para observatório. Como o campo produzido pela corrente de anel equatorial é quase paralelo ao eixo do dipolo, seu efeito é predominante na componente H e mais forte em baixas latitudes. Nessa região, é menor a amplitude das variações irregulares originadas em latitude aurorais, porém é grande a influência das variações regulares Sq (solar quiet), variação magnética de período calmo governada pelo Sol, e do eletrojato equatorial que devem ser eliminadas no cálculo do Dst. Na derivação do índice Dst são utilizados quatro observatórios magnéticos: 1 - Honolulu, 2 - San Juan, 3 - Hermanus e 4 - Kakioka, apresentado pela Figura 3.3.



Figura 3.3 - Observatórios magnéticos utilizados na derivação do índice Dst.

Durante forte atividade magnética, a assinatura da corrente de anel pode ser vista em registros do campo magnético na superfície da Terra em todo o mundo como uma depressão, abaixo do nível de tempo quieto, da intensidade da componente horizontal do campo, também chamada de fase principal. O aumento da energia na corrente de anel, que resulta na típica depressão de mais de 100nT esta relacionada ao processo de reconexão do campo magnético interplanetário e o campo magnético da Terra (MAYAUD, 1980; RANGARAJAN, 1989; KIVELSON; RUSSELL, 1995; ROSTOKER, 1972; MCPHERRON, 1997).

Variações positivas no Dst são principalmente causadas pela compressão em frente à magnetosfera devido aos aumentos na pressão ocasionados pela variação na velocidade do vento solar. Sabe-se também que o campo perturbado em geral não é simétrico. Em particular, na fase de desenvolvimento de uma tempestade magnética o campo perturbado assimétrico pode ser até maior que a parte simétrica (SUGIURA; CHAPMAN, 1960; AKASOFU; CHAPMAN, 1964).

O índice Dst com resolução temporal de uma hora esta disponível no *World Data Center for Geomagnetism*, em Kyoto.

## **3.3 METODOLOGIA**

Foi adotada a idéia de fazer uma análise entre os eventos HILDCAAs com os critérios que os definem flexibilizados, eventos quase-HILDCAAs, a fim de se obter o maior número de eventos possíveis desde o Sol até a Terra, ou seja, analisar estes eventos desde sua origem, propagação no meio interplanetário, penetração na magnetosfera da Terra e deposição de energia na ionosfera auroral.

Foi utilizada a mesma rotina computacional, apenas com algumas alterações, para efetuar uma varredura nos dados do meio interplanetário e índices geomagnéticos buscando por períodos que seguissem os critérios de eventos HILDCAAs e quase-HILDCAAs.

Após a decisão do critério a ser flexibilizado e posteriormente a determinação dos eventos. O período correspondente a cada um dos eventos foi relacionado com o mesmo período em relação ao meio interplanetário, tendo sido usado para isso dados do satélite ACE. Com esses dados foram gerados os histogramas, que compõe cada um dos itens relacionados ao vento solar, para explicar quais são as condições típicas no meio interplanetário que são as mais favoráveis à formação destes eventos.

# 3.4 CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS QUASE-HILDCAAS

Para classificação destes eventos foi utilizada uma rotina computacional, elaborada no MATLAB pelo Dr Fernando Luis Guarnieri, para efetuar uma varredura nos dados do meio interplanetário e índices geomagnéticos, buscando por candidatos a eventos que seguissem períodos relacionados aos critérios de eventos HILDCAAs.

Para a determinação de eventos quase-HILDCAAs foi utilizado a mesma rotina anterior, flexibilizando apenas os critérios que classificam os candidatos a eventos HILDCAAs para ver em qual destas alterações poderíamos encontrar o maior número de candidatos possíveis, e assim, melhorar a análise estatística. Candidatos a eventos determinados a partir da alteração de um ou mais critérios em relação aos critérios originais dos candidatos a eventos HILDCAAs foram classificados como candidatos a eventos quase-HILDCAAs.

O período analisado para a classificação desses candidatos a eventos HILDCAAs bem como candidato a eventos quase-HILDCAAs foi de 1998 a 2001. Este período de quatro anos também foi analisado por Guarnieri (2005a) durante sua tese de doutorado sobre os eventos HILDCAAs.

Os critérios em relação aos candidatos a eventos HILDCAAs definidos por Tsurutani e Gonzalez (1987) assim como os critérios flexibilizados e o número de candidatos em relação a cada ano estão dispostos na Tabela 3.1.

TIPOS DE EVENTOS	N° EVENTOS 1998	N° EVENTOS 1999	N° EVENTOS 2000	N° EVENTOS 2001
CANDIDATOS A EVENTOS HILDCAAs	6	10	12	4
CANDIDATOS A EVENTOS QUASE- HILDCAAs: AE>800nT	6	10	13	4
CANDIDATOS A EVENTOS QUASE- HILDCAAs: AE<200nT por 3H	8	15	21	11
CANDIDATOS A EVENTOS QUASE- HILDCAAs: AE<200nT por 4H	13	20	33	18
CANDIDATOS A EVENTOS QUASE- HILDCAAs: AE<200nT por 4H E AE>800nT	14	20	34	19

Tabela 3.1 - Candidatos a eventos HILDCAAs e quase-HILDCAAs para o período de 1998 a 2001.

A Figura 3.4 foi gerada a partir dos dados da Tabela 3.1 para uma melhor visualização dos candidatos a eventos HILDCAAs e a eventos quase-HILDCAAs.

Figura 3.4 - Candidatos a eventos HILDCAAs e a eventos quase-HILDCAAs.



Como mostrado na Figura 3.4, utilizando a relaxação de diferentes critérios, observou-se que o de maior restrição foi o 3º critério: aquele que não permite quedas do AE abaixo de 200 nT por períodos maiores que duas horas. A flexibilidade deste critério para períodos mais longos, como quatro horas, levou a um aumento significante o número de eventos

anteriormente ocorridos. O 2° critério não mostrou grandes diferenças quanto a mudança. O 1° e o 4° critério não foram modificados. Portanto ficou estabelecida apenas a mudança no 3° critério: que altera o valor de duas para **quatro** horas a atividade do índice AE abaixo de 200 nT e que corresponde à cor azul escuro (Candidatos a Eventos quase HILDCAAs 4h) dada pelo histograma da Figura 3.4. Este 3° critério foi o mais restritivo e o que serviu de base para esta dissertação, classificando assim, os eventos "quase-HILDCAAs".

Após ter sido gerada a lista de eventos candidatos, realizou-se uma verificação manual em todos os candidatos com a finalidade de se encontrar tempestade associada aos eventos. Para os eventos associados à tempestade, foi eliminada a fase principal desta tempestade. Em seguida foi usada uma rotina computacional pertencente ao ORIGIN para verificar se os eventos continuavam seguindo o restante dos critérios, mesmo com a eliminação de parte do evento (fase principal da tempestade). Considerou-se para a determinação de evento quase-HILDCAA flutuações na fase de recuperação das tempestades com amplitudes de até 50 nT.

Com o novo critério definido, o evento somente passará a ser considerado evento quase-HILDCAA se obedecer aos seguintes critérios:

- 1º O evento deve atingir mais de 1000 nT no índice AE pelo menos uma vez durante o evento;
- 2° O evento deve durar pelo menos dois dias;
- 3º Não devem ocorrer quedas no AE abaixo de 200 nT por períodos maiores que <u>quatro</u> horas de cada vez; e
- 4° O evento deve ocorrer fora da fase principal de tempestades geomagnéticas.

Uma comparação entre o número de eventos HILDCAAs e o número de eventos quase-HILDCAAs entre o período de 1998 a 2001 é mostrado no histograma da Figura 3.4.



Figura 3.5 – Comparação entre o número de Eventos HILDCAAs e Eventos quase-HILDCAAs.

Mediante a análise da Figura 3.5, observamos que o número de eventos quase-HILDCAAs foi muito maior que os eventos HILDCAAs com as respectivas proporções: dois eventos HILDCAAs contra oito quase-HILDCAAs para o ano de 1998; sete eventos HILDCAAs contra doze quase-HILDCAAs para o ano de 1999; quatro eventos HILDCAAs contra quinze quase-HILDCAAs para o ano de 2000; um evento HILDCAA contra nove quase-HILDCAAs para o ano de 2001.

# 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O programa computacional ORIGIN foi aplicado a fim de se determinar os diversos valores estatísticos durante a ocorrência dos eventos quase-HILDCAAs, bem como a plotagem dos gráficos. As variáveis estatísticas envolvidas nestes cálculos foram: número total de pontos, média, desvio padrão, valores mínimos e máximos, etc. Todas estas variáveis foram calculadas para os seguintes parâmetros relacionados ao vento solar: densidade de próton, temperatura de próton, componentes da velocidade (Vx, Vy, Vz), módulo da velocidade, componentes do campo magnético (Bx, By, Bz), módulo do campo magnético, pressão e fator beta; e para o parâmetro relacionado ao índice geomagnético equatorial Dst bem como os índices geomagnéticos aurorais AE, AU, AL. Com as variáveis estatísticas calculadas foram montados histogramas dos valores médios dos parâmetros relacionados ao vento solar e aos índices geomagnéticos, para os dez anos consecutivos de atividade solar e

ano-a-ano entre o período de 1998 a 2007, durante a ocorrência dos eventos quase-HILDCAAs, a fim de se verificar quais são os valores característicos para sua ocorrência.

### **4 RESULTADOS**

## 4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS QUASE-HILDCAAS

A identificação de eventos HILDCAAs e quase-HILDCAAs depende da análise de vários dados e parâmetros do meio interplanetário e da magnetosfera terrestre. Foram utilizadas as rotinas computacionais elaboradas pelo Fernando Luis Guarnieri no programa MATLAB para procurar em todo o conjunto de dados entre os anos de 1998 a 2007 eventos que seguissem estritamente os critérios de eventos quase-HILDCAAs sugeridos nesta dissertação. O programa realiza uma varredura nos dados verificando os três primeiros critérios:

- (1) Eventos que tiveram no mínimo dois dias de duração;
- (2) Eventos que durante esses dois dias atingiram um pico de no mínimo 1000 nT no índice AE;
- (3) Eventos que não apresentassem quedas no valor do índice AE, valores menores que 200 nT, por períodos maiores que quatro horas durante a ocorrência do evento.

Após ter sido gerada a lista de candidatos a eventos quase-HILDCAAs partiu-se para identificação do quarto critério. Foi realizada uma verificação manual em todos os candidatos a eventos quase-HILDCAAs a fim de que se excluísse a fase principal da tempestade geomagnética onde a mesma se fizesse presente no candidato, caso nenhuma tempestade estivesse contida no candidato ele já poderia ser considerado um evento quase-HILDCAA. Para os candidatos agregados a tempestade foi eliminado o período correspondente a fase principal pertencente à tempestade e ao candidato e posteriormente examinado se o candidato ainda permanecia com um intervalo de pelos menos dois dias. Caso afirmativo, prosseguiu-se com uma rotina estatística pertencente ao programa ORIGIN para verificar se os candidatos continuavam a ter o valor mínimo de ao menos um pico de 1000 nT relativo ao índice AE, pois este pico poderia estar presente somente no intervalo eliminado e consequentemente o candidato seria excluído, e para que fosse finalizado o processo de identificação dos eventos.

Utilizando esses critérios restritivos, foram localizados no conjunto de dados um total de 150 eventos quase-HILDCAAs, entre os anos de 1998 a 2007, com a seguinte distribuição em relação a cada ano: oito eventos ocorridos em 1998, doze eventos em 1999, quinze eventos em 2000, nove eventos em 2001, dezenove eventos em 2002, trinta e três eventos em 2003, vinte e dois eventos em 2004, onze eventos em 2005, treze eventos em 2006 e oito eventos em 2007. Essa distribuição está apresentada no histograma da Figura 4.1.



Figura 4.1 - Histograma da distribuição dos 150 eventos quase-HILDCAAs ao longo de cada ano.

A relação destes eventos pode ser encontrada na Tabela 4.1, a qual indica o início, o fim e o período de ocorrência de cada evento. É bom ressaltar que os eventos HILDCAAs são um subgrupo dos eventos quase-HILDCAAs. É um caso similar a classificação de tempestades geomagnéticas, quando se consideram os diferentes níveis de tempestades (fraca, média e intensa).

Ano	Evente		Ir	nício		Fim				Duração
Allo	Evento	Mês	Dia	Hora	Minuto	Mês	Dia	Hora	Minuto	(min)
1998	1_1998	4	24	8	0	4	26	13	0	3181
	2_1998	5	7	22	59	5	10	0	0	2982
	3_1998	5	10	5	52	5	13	2	31	4120
	4_1998	7	22	21	9	7	25	18	49	4181
	5_1998	8	27	15	0	9	1	5	55	6656
	6_1998	9	22	14	59	9	25	1	0	3482
	7_1998	9	30	15	44	10	3	14	15	4232
	8_1998	10	22	1	13	10	25	19	14	5402
1999	1_1999	3	3	3	28	3	5	20	13	3875
	2_1999	3	29	15	0	4	1	6	43	3824
	3_1999	4	29	11	19	5	3	18	42	6186
	4_1999	8	6	10	50	8	9	17	3	4665
	5_1999	8	16	6	39	8	21	0	11	6807
	6_1999	8	22	12	7	8	25	2	42	3739
	7_1999	8	27	13	6	9	3	0	21	9297
	8_1999	9	3	4	32	9	5	12	31	3311
	9_1999	9	27	21	0	10	5	6	26	10620
	10_1999	10	10	19	0	10	17	17	54	10014
	11_1999	10	22	12	0	10	25	20	57	4854
	12_1999	12	3	10	0	12	11	0	1	10916
2000	1_2000	1	1	0	0	1	3	21	5	4143
	2_2000	1	4	6	48	1	8	1	45	5456
	3_2000	1	28	2	0	2	1	0	41	5667
	4_2000	2	5	23	0	2	8	5	33	3274
	5_2000	2	24	0	3	2	29	0	32	7218
	6_2000	3	6	5	13	3	9	2	13	4135
	7_2000	4	1	16	30	4	3	16	47	2898
	8_2000	4	30	14	55	5	3	8	22	3913
	9_2000	5	24	10	0	5	26	18	7	3350
	10_2000	7	9	20	6	7	12	8	31	3626

Tabela 4.1 – Eventos quase-HILDCAAs encontrados entre 1998 a 2007.

Ano	Evente	Início		Fim				Duração		
Allo	Evento	Mês	Dia	Hora	Minuto	Mês	Dia	Hora	Minuto	(min)
2000	11_2000	7	31	2	16	8	2	12	37	3500
	12_2000	8	4 27	23	21 47	8	30	6 14	28 42	3248 3766
	14_2000	8	30	20	42	9	2	17	56	4155
	15_2000	9	6	15	43	9	9	0	27	3405
2001	1_2001	2	22	15	36	2	24	17	29	2994
	2_2001 3_2001	5	10	4	0	5	10	18	47	7668
	4_2001	6	9	4	1	6	11	19	33	3813
	5_2001	7	15	7	7	7	17	18	46	3580
	6_2001 7_2001	8	12	0 15	43	8	26	5	40	3178
	8_2001	9	2	11	29	9	5	3	33	3845
	9_2001	9	11	14	31	9	13	19	13	3163
2002	1_2002	3	4	20	20	3	7	1	6	3165
	3 2002	6	8	12	13	6	17	5	25	5353
	4_2002	6	18	10	4	6	20	11	33	2954
	5_2002	7	22	1	37	7	24	6	18	3160
	6_2002 7_2002	8	11	10	40	8	15	12	42	3003 4092
	8_2002	8	17	3	41	8	19	5	0	2960
	9_2002	8	25	22	20	8	28	2	22	3123
	10_2002	8	31 12	0	48	9	2	12	59 39	3192 4059
	12_2002	10	6	16	40	10	13	13	8	9869
	13_2002	10	24	21	0	10	29	15	46	6887
	14_2002	10	29	20	31	11	1	8	39	4209
	15_2002 16 2002	11	21	11	47	11	26	22	0	7860
	17_2002	11	29	14	12	12	3	20	30	6139
	18_2002	12	26	8	33	12	28	18	6	3454
2003	1 2003	12	18	5	50	12	23	4	46	7136
2005	2_2003	1	24	8	13	1	27	1	30	3918
	3_2003	2	3	0	0	2	11	21	4	12784
	4_2003	23	13	21	46	23	21	15	42	6226
	6_2003	3	14	3	1	3	19	21	35	8315
	7_2003	4	1	10	21	4	6	10	23	7203
	8_2003 9_2003	4	10	2	37 37	4	12	7	9 53	3153 4875
	10_2003	4	20	15	45	4	28	14	31	11447
	11_2003	4	29	13	4	5	4	17	44	7480
	12_2003	5	5	7	2	5	9	8	0	5818 8551
	14_2003	5	22	2	-12	5	26	14	52	6533
	15_2003	5	26	19	27	5	29	12	0	3874
	16_2003	5	31	23	24	6	12	18	4	16925
	17_2003	6	13	10	0	6	22	11	45	5866
	19_2003	6	22	16	41	7	6	17	29	20209
	20_2003	7	12	6	0	7	15	12	8	4689
	21_2003	7	27	8	0	8	4	10	47	11687
	23_2003	8	7	11	47	8	10	12	23	4357
	24_2003	8	11	8	39	8	14	11	10	4472
	25_2003	8	18	0	0	8	26	20	12 6	6913 6967
	27_2003	9	23	1	55	9	27	1	43	5748
	28_2003	10	14	23	0	10	22	18	41	11262
	29_2003	11	8	10	0	11	3 19	10	39 52	3400 16372
	31_2003	12	4	19	14	12	7	2	28	3315
	32_2003	12	7	8	11	12	17	6	35	14305
2004	33_2003	12	20	9	28	12	23	2	33	3906
2004	$1_{2004}$ 2 2004	1	8	8 11	20 24	1	0 10	20	2	3928 3399
	3_2004	1	15	14	6	1	22	3	0	9414
	4_2004	1	25	4	0	1	27	4	54	2935

Continuação da TABELA 4.1 – Eventos quase-HILDCAAs analisados de 1998 a 2007.

Ano	Evento	Início		Fim				Duração		
Allo	Lvento	Mês	Dia	Hora	Minuto	Mês	Dia	Hora	Minuto	(min)
2004	5_2004	2	5	17	11	2	7	21	1	3111
	6_2004	2	12	12	0	2	16	1	0	5101
	7_2004	2	22	9	2	2	25	5	6	4085
	8_2004	2	28	3	50	3	3	2	48	5699
	9_2004	3	10	9	0	3	16	5	23	8424
	10_2004	3	26	12	51	3	30	15	37	5927
	11_2004	5	3	15	8	5	6	12	52	4184
	12_2004	5	30 12	21	14	0	3 16	14	51	2012
	13_2004	6	13	18	4J 53	0	3	2	37	6223
	$14_{2004}$	9	6	5	43	9	8	16	43	3540
	$15_{2004}$	9	13	20	43	9	18	12	37	6754
	$10_{2004}$ 17 2004	10	3	5	29	10	5	8	36	3068
	18 2004	10	12	21	56	10	16	2	28	4593
	19 2004	11	24	9	55	11	27	1	19	3805
	20 2004	11	27	6	25	12	1	12	1	6097
	21 2004	12	6	4	54	12	9	1	24	4111
	22_2004	12	27	16	51	12	31	0	41	4791
2005	1_2005	1	2	10	0	1	5	23	16	5117
	2_2005	2	7	22	0	2	12	5	24	6205
	3_2005	3	6	17	0	3	10	17	40	5801
	4_2005	3	25	4	26	3	27	23	53	4048
	5_2005	4	12	6	0	4	16	6	16	5777
	6_2005	4	29	6	14	5	4	6	2	7189
	7_2005	5	11	7	4	5	13	18	3	3540
	8_2005	7	26	23	50	.7	30	9	32	4903
	9_2005	8	5	11	53	8	8	15	1	4509
	10_2005	9	3	10	32	9	6	3	58 27	3207
2006	1 2005	2	10	19	30	2	22	10	0	4410
2000	2 2006	2	19	6	40	2	22	0	58	5958
	3 2006	4	14	10	0	4	17	1	49	3830
	4 2006	6	6	2	18	6	11	17	47	8130
	5 2006	6	14	21	46	6	17	19	6	4161
	6 2006	7	4	10	39	7	6	11	33	2935
	7 2006	8	20	14	59	8	23	7	26	3868
	8_2006	10	12	23	10	10	16	0	17	4388
	9_2006	10	28	5	0	10	30	16	28	3569
	10_2006	11	9	19	7	11	12	14	13	4027
	11_2006	11	23	6	31	11	26	14	30	4800
	12_2006	12	6	0	0	12	9	4	28	4589
	13_2006	12	19	23	29	12	24	0	42	5834
2007	1_2007	1	1	23	7	1	5	16	7	5341
	2_2007	1	16	9	39	1	20	1	58	5300
	3_2007	1	29	14	2	2	1	0	50	3529
	4_2007	2	27	8	45	3		17	8	3384
	5_2007	3	12	11	23	3	14	17	0	5218
	6_2007	4	1	9	0	4	3	11	15	3016
	/_2007	4	21	9	50	4	27	20	10	4/31
	8_2007	3	23	14	0	3	27	20	19	0140

Continuação da TABELA 4.1 - Eventos quase-HILDCAAs analisados de 1998 a 2007.

Será apresentado a seguir, em caráter de exemplificação, a determinação de eventos HILDCAAs e quase-HILDCAAs. Os candidatos a eventos foram obtidos pelas rotinas computacionais no MATLAB, onde, para a determinação do candidato a evento HILDCAA considerou-se quedas, no valor do índice AE menores que 200 nT, com duração de até **duas** horas; e para o candidato a evento quase-HILDCAA, até **quatro** horas. Ambos os candidatos designados a eventos apresentaram a inclusão de uma tempestade no intervalo existente entre o início ao fim de cada candidato a evento. O período considerado para cada candidato a evento pode ser encontrado na Tabela 4.2.

Tino	Candidato		I	nício		Fim			
11po	a Evento	Mês	Dia	Hora	Minuto	Mês	Dia	Hora	Minuto
HILDCAA	4_1999	10	10	2	20	10	14	17	38
quase-HILDCAA	10_1999	10	9	21	24	10	17	17	54

Tabela 4.2 - Dados do início e do fim de um candidato a evento HILDCAA como um quase-HILDCAA com a presença de uma tempestade.

Na Tabela 4.3 os candidatos passam a serem apresentados como eventos, já que foi eliminada a fase principal da tempestade durante sua ocorrência, pois um dos critérios para que um evento seja considerado um evento HILDCAA ou um quase-HILDCAA é que após a eliminação da fase principal da tempestade ele continue ainda obedecendo aos outros critérios. Se for usado o critério de 2 horas de queda no AE o evento seria um HILDCAA e teria duração de 5678 minutos, já se for considerado 4 horas queda o evento será um quase-HILDCAA e terá duração de 10014 minutos. Estes eventos foram descritos pelos intervalos correspondentes entre as retas B e C mostradas nas Figuras 4.2 e 4.3 pelo índice Dst. Nestas figuras o intervalo entre as retas A e B determinam a fase principal da tempestade que foi eliminada do evento.

Tabela 4.3 - Dados do início e do fim de um evento classificado como HILDCAA e como um quase-HILDCAA sem a presença da tempestade.

Tino	Evento	Início			Fim				Duração	
Tipo		Mês	Dia	Hora	Minuto	Mês	Dia	Hora	Minuto	(min)
HILDCAA	4_1999	10	10	19	0	10	14	17	38	5678
quase- HILDCAA	10_1999	10	10	19	0	10	17	17	54	10014

Figura 4.2 – Índice Dst em função do tempo para o evento HILDCAA: ev 4\_1999 (Ele se inicia às 19:00 h do dia 10/10 e termina às 17:38 h do dia 14/10).







A Figura 4.4 mostra dois eventos selecionados, o evento HILDCAA 4\_1999 e o evento quase-HILDCAA 10\_1999, ambos os eventos encontram-se marcados com setas vermelhas na parte inferior da figura, onde a diferença predominante entre eles se dá apenas na duração do evento. Em se tratando de um evento HILDCAA a atividade do índice Dst abaixo de 200 nT pode chegar até o limite de duas horas, já para um evento quase-HILDCAA este limite estende-se para um período mais prolongado chegando até a um intervalo de quatro horas. Nesta figura tem-se o primeiro painel mostrando a velocidade do vento solar (km/s), que é um parâmetro muito importante durante estes eventos, seguido por painéis com a densidade de prótons (cm<sup>-3</sup>) e pressão do vento solar (nPa). Em seguida, tem-se a magnitude do campo magnético e as componentes vetoriais do campo (todos em nT). Todos esses parâmetros do vento solar no meio interplanetário foram medidos pelo satélite ACE, com aproximadamente 1 minuto de resolução temporal e em sistema de coordenadas GSM. Os últimos três painéis contêm os índices que fornecem informação sobre a atividade geomagnética. O primeiro destes painéis é o índice Dst, que é um índice de média latitude usado para identificação da ocorrência de tempestades magnéticas. O segundo painel contém os índices AU e AL, que são os indicadores da intensidade dos eletrojatos aurorais. A soma ponto a ponto do AU e AL fornecem o AE, parâmetro utilizado para identificação de subtempestades e dos eventos HILDCAAs, mostrado no último painel.

Os gráficos para os demais eventos selecionados para análise neste trabalho podem ser encontrados no Apêndice A.

Figura 4.4 - Gráfico apresentando os valores do vento solar relacionados à velocidade, à densidade, à pressão do vento solar, ao módulo do campo magnético, ao campo magnético nas direções x, y e z; ao índice Dst e aos índices aurorais AE, AU e AL. As setas vermelhas indicam o intervalo do evento definido como HILDCAA: ev 4\_1999 (início às 19:00 do dia 10/10 e término às 17:38 do dia 14/10) e do evento definido como quase-HILDCAA: ev 10\_1999 (início às 19:00 do dia 10/10 e término às 17:54 do dia 17/10).



Deste painel (Figura 4.3) podemos observar o comportamento das componentes do vento solar e campo magnético interplanetário relacionado ao evento caracterizado como HILDCAA e quase-HILDCAA:

**Evento HILDCAA 4\_1999:** Período muito longo de atividade no índice AE (5678 min). Produzido por uma sequência de flutuações de velocidade se sobrepondo uma a outra. Componente Bz com incursões para norte e para sul, mas com pequena tendência geral para sul. Ocorrência de tempestade no início do evento. O índice AE não apresenta valor médio elevado (369 nT), mas comportamento em forma de picos. Fator beta assume o valor médio de 0,57 nT.

**Evento quase-HILDCAA 10\_1999:** Período de atividade no índice AE (10014 min) quase o dobro do evento HILDCAA. Mas como o HILDCAA, ele foi produzido pela sequência de flutuações de velocidade se sobrepondo uma a outra, com incursões da componente Bz para norte e para sul, mas com pequena tendência geral para sul e a ocorrência da tempestade no início do evento. O índice AE apresenta um valor médio de 368 nT, mas permanece em forma de picos por todo o restante do evento e com fator beta com valor médio de 0,60 nT.

# 4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DO VENTO SOLAR E DOS ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS RELACIONADOS AOS EVENTOS HILDCAAS/ QUASE-HILDCAAS DE 1998 A 2007

Com a finalidade de comparação dos valores dos principais parâmetros relacionados a ocorrência de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, calculou-se os valores médios dos parâmetros para todo o período de 1998 a 2007. A Tabela 4.4 apresenta os valores médios da velocidade (km/s), da densidade de prótons (cm<sup>-3</sup>), temperatura de prótons (K), do módulo de B (nT) e o valor médio de AE (nT).

Tabela 4.4 - Valores médios da velocidade (km/s), da densidade de prótons (cm<sup>-3</sup>), temperatura de prótons (K), do módulo de B (nT) e o valor médio de AE (nT), para todo o período de 1998 a 2007.

	Média	Desvio Padrão
Velocidade	449,28	102,38
Densidade	6,09	4,05
Temperatura	108267,34	81124,04
<b>B</b>	6,54	2,87
AE	213,75	152,81

Os valores apresentados entre parênteses no decorrer do texto denotam os valores mínimos e os máximos de cada um dos fatores do vento solar e dos índices geomagnéticos, relacionados aos 150 eventos estudados.

#### 4.2.1 Indice AE durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs

A Figura 4.4 mostra a distribuição dos valores médios do índice AE para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs encontrados no período de 1998 a 2007. Observa-se que os valores médios durante estes eventos são elevados, alcançando muitas vezes, valores mais que o dobro do valor médio para todo o período que foi de 213,75 nT, mas houve casos em que o valor médio ficou abaixo. O intervalo ficou entre o valor médio mínimo de 168 nT (4 nT) e o valor médio máximo do índice AE de 535 nT (3406 nT). Os valores médios mais prováveis para o AE durantes estes eventos ficou entre 300 a 400 nT.

Figura 4.5 - Histograma dos valores médios do índice AE para os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_60_Figure_4.jpeg)

A Figura 4.5 apresenta o histograma dos valores médios do índice AE durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Observa-se a existência de dois picos, um em torno do máximo do ciclo das manchas solares e outro muito intenso na fase descendente do ciclo. Este comportamento é semelhante ao observado na distribuição dos buracos coronais de baixas latitudes no decorrer do ciclo solar 21, como mostrado por Gonzalez et al. (1996), Figura 2.6.

![](_page_61_Figure_0.jpeg)

Figura 4.5 - Histograma dos valores médios do índice AE ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

Observa-se também que os valores médios mais prováveis ocorrem entre 300 a 400 nT independente do nível de atividade solar e que eventos mais intensos ocorrem na fase descendente, como os do ano de 2003. Neste ano ocorreram 33 eventos, praticamente um a cada 10 dias, o que contribuiu para o valor médio extremamente elevado (328,26 nT), quase 100 nT a mais se comparado aos outros anos do ciclo 23, como pode ser observado na Tabela 4.5. Os buracos coronais são uma possível explicação para esta ocorrência.

Tabela 4.5 - Valores médios e desvio padrão do índice AE (nT), de 1998 a 2007.							
Ano	Média (nT)	Sd (nT)					
1998	207,55	144,72					
1999	218,52	137,73					
2000	235,65	150,70					
2001	202,84	141,98					
2002	216,96	146,85					
2003	328,26	175,83					
2004	220,73	153,03					
2005	225,24	160,05					
2006	151,24	120,15					
2007	130,40	102,26					

Se fossem somados todos os dias com ocorrência de eventos no transcorrer de todo o ano de 2003, ter-se-ia ao final um evento que duraria aproximadamente seis meses de atividade contínua.

# 4.2.2 Índice AU durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs

A Figura 4.6 mostra um histograma dos valores médios do índice AU para os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ocorridos entre os anos de 1998 a 2007. Foi encontrado um valor médio mínimo de 41 nT (-370 nT) e um valor médio máximo de 226 nT (1646 nT), mas os valores médios mais prováveis ficaram entre 100 a 150 nT. Ahn e Moon, (2003) analisaram as variações dos índices AU, AL, AE com uma série temporal horária de 1966 a 1987 e encontraram um valor médio de AU para o período de 84,6 nT (média de todo o período: tanto calmo como perturbado). Comparado a este valor, observa-se que AU durante os eventos apresenta valores médios mais elevados, o que indica que o eletrojato para leste, do qual AU é derivado, apresenta maiores perturbações durante a ocorrência de eventos HILDCAAs.

Figura 4.6 - Histograma dos valores médios do índice AU para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_62_Figure_4.jpeg)

A Figura 4.7 apresenta o histograma dos valores médios do índice AU durante as ocorrências dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Independente ao nível da atividade solar, os valores mais prováveis do índice AU ficaram predominantemente entre 100 a 150 nT.

![](_page_63_Figure_0.jpeg)

![](_page_63_Figure_1.jpeg)

4.2.3 Índice AL durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs

Em relação ao índice AL durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs foi encontrado um valor médio mínimo do índice AL de -386 nT (-3130 nT) e um valor médio máximo de -100 nT (73 nT) para os eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007, apresentados no histograma da Figura 4.8. Verifica-se que o maior número de eventos apresentaram valores médios do índice AL entre -250 a -150 nT. Ahn and Moon, (2003) analisaram as variações do índice AL 1966 a 1987 e encontraram um valor médio para todo o período de -135,1 nT, e considerando apenas período perturbado com AL< -135 nT, eles encontram um valor médio de -295,9 nT. Se compararmos os valores médios de AL durante HILDCAAs observamos que estes são maiores do que períodos calmos e menores que períodos perturbados.

Figura 4.8 - Histograma dos valores médios do índice AL para todos os 150 eventos HILDCAAs/ quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_64_Figure_1.jpeg)

A Figura 4.9 apresenta o histograma dos valores médios do índice AL durante as ocorrências dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Com relação ao nível da atividade solar, os valores mais prováveis do índice AL ficaram predominantemente entre -250 a -150 nT, mas observa-se que há uma tendência dos eventos mais intensos ocorrerem na atividade solar descendente e baixa. Isto pode ser devido a maior ocorrência de grandes buracos coronais nestas fases em baixas latitudes (SHUGAI et. al., 2009; GUARNIERI, 2005a).

A leve diferença entre os índices AU e AL em relação ao nível de atividade solar, pode ser devido aos mecanismos que governam suas variações. As variações do índice AU têm uma forte componente da condutividade ionosférica que é resultado de duas fontes, a radiação solar EUV e a precipitação de partículas na região auroral (AHN; MOON, 2003).

Petrukovich e Rusanov, (2005) estudaram a dependência do índice AL a vários parâmetros do vento solar e IMF e encontraram que as variáveis que exercem maior influência em ordem de importância são: de primeira ordem o campo elétrico (VBs) e a velocidade por meio da interação viscosa; de segunda ordem o By, densidade do vento solar (AL sensível para baixa pressão dinâmica) e fortes flutuações de IMF.

![](_page_65_Figure_0.jpeg)

Figura 4.9 - Histograma dos valores médios do índice AL ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

Como observado nas distribuições anuais de AU e AL, Figuras 4.7 e 4.9, respectivamente, ambos os eletrojatos aurorais são perturbados durante a ocorrência dos eventos, sugerindo que os dois índices são modulados pelo mesmo mecanismo, possivelmente o campo elétrico (AHN et al., 2000; AHN; PARK, 2008), o que determina o padrão observado no índice AE, Figura 4.5.

## 4.2.4 Densidade de prótons do vento solar

Durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, para os 150 eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007, cada um apresentou valores médios da densidade de prótons do vento solar que variaram entre 2 cm<sup>-3</sup> (0,5 cm<sup>-3</sup>) a 12,8 cm<sup>-3</sup> (82,7 cm<sup>-3</sup>), como observado no histograma da Figura 4.10. Pode-se observar que a maior parte dos eventos apresentou uma densidade média menor do que o valor médio 6,1 partículas por cm<sup>3</sup> para o período, o que é condizente com feixes rápidos.

Figura 4.10 - Histograma dos valores médios da densidade média de prótons do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_66_Figure_1.jpeg)

A Figura 4.11 apresenta o histograma dos valores médios da densidade de prótons durante as ocorrências dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Com relação ao nível da atividade solar, os valores mais prováveis da densidade ficaram abaixo do valor médio do período, exceção para o ano de 2002, o qual apresentou um número significativo de eventos com valores maiores de densidade. Isto pode ser devido ao fato da maior ocorrência de CMEs, as quais ocorrem preferencialmente em torno do máximo solar.

Figura 4.11 - Histograma dos valores médios da densidade de prótons do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

![](_page_66_Figure_4.jpeg)

#### 4.2.5 Temperatura de prótons do vento solar

A temperatura de prótons do vento solar apresentou valores médios entre o mínimo de 45637 K (1858 K) e o valor máximo de 275191 K (1038600 K) para os 150 eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007, apresentados no histograma da Figura 4.12. Ele mostra que o maior número de eventos ocorreu na faixa compreendida entre os valores de 125000 a 150000 K.

Figura 4.12 - Histograma dos valores médios da temperatura de prótons do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_67_Figure_3.jpeg)

A Figura 4.13 apresenta o histograma dos valores médios da temperatura de prótons durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Com relação ao nível da atividade solar, observa-se que eventos com temperaturas médias mais baixas ocorreram em torno do máximo solar, enquanto que eventos com médias mais altas ocorreram nas fases descendente e baixa da atividade solar.

Figura 4.13 - Histograma dos valores médios da Temperatura de prótons do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

![](_page_68_Figure_1.jpeg)

### 4.2.6 Componente Vx da Velocidade do vento solar

A componente Vx da velocidade do vento solar apresentou valores médios entre o mínimo de -713 km/s (-953 km/s) e o valor médio máximo de -346 km/s (-271 km/s) para os 150 eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007 e apresentados no histograma da Figura 4.14. O fato desta componente ser negativa se deve ao sistema de coordenadas GSM (*Geocentric Solar Magnetospheric*) ser considerado centrado na Terra e possuir o vetor x apontando na linha no sentido Terra-Sol.

Figura 4.14 - Histograma dos valores médios da componente Vx da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_68_Figure_5.jpeg)

A Figura 4.15 apresenta o histograma dos valores médios da componente Vx da velocidade durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Observa-se que o ano 2001 não apresentou valores médios de Vx mais baixos que -600 km/s, e que o maior número de eventos com módulo de Vx mais baixos ocorreram em torno do máximo solar, possivelmente estes anos não tenham apresentados grandes buracos coronais de baixas latitudes.

Figura 4.15 - Histograma dos valores médios da componente Vx da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

![](_page_69_Figure_2.jpeg)

4.2.7 Componente Vy da Velocidade do vento solar

A Figura 4.16 apresenta a distribuição dos valores médios da componente Vy da velocidade do vento solar, para os eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007, e o que pode ser observado é a distribuição desses valores em torno de zero. Os valores médios de Vy ficaram entre o valor mínimo de -24 km/s (-240 km/s) e o valor máximo de 45km/s (274 km/s).

![](_page_70_Figure_0.jpeg)

![](_page_70_Figure_1.jpeg)

A Figura 4.17 apresenta o histograma dos valores médios da componente Vy da velocidade durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Observa-se que não há diferenças significativas com relação ao nível da atividade solar.

Figura 4.17 - Histograma dos valores médios da componente Vy da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.

![](_page_70_Figure_4.jpeg)

## 4.2.8 Componente Vz da Velocidade do vento solar

A Figura 4.18 apresenta a distribuição dos valores médios da componente Vz da velocidade do vento solar, para os eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007, e observase que estão distribuídos em torno de zero, mas como uma cauda mais longa no lado negativo. Os valores médios de Vz ficaram entre o valor mínimo de -41 km/s (-197 km/s) e o valor máximo de 24 km/s (259 km/s). Verifica-se uma tendência para velocidade Vz dos eventos ocorrem principalmente no intervalo entre -15 a 15 km/s.

Figura 4.18 - Histograma dos valores médios da componente Vz da Velocidade do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

![](_page_71_Figure_3.jpeg)

A Figura 4.19 apresenta o histograma dos valores médios da componente Vz da velocidade do vento solar durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Com relação ao nível da atividade solar, Vz não apresenta diferenças significativas nas distribuições.
Figura 4.19 - Histograma dos valores médios da componente Vz da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



4.2.9 Média do Módulo da Velocidade do vento solar

O módulo da velocidade do vento solar é a somatória vetorial das componentes da velocidade nas direções x, y e z, expressa em quilômetros por segundo e dado pela equação (1):

$$|V| = \left( (Vx)^2 + (Vy)^2 + (Vz)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$
(1)

Entre os 150 eventos ocorridos no período de 1998 a 2007, foram encontrados um valor médio mínimo do módulo da velocidade de 347 km/s (271 km/s) e um valor máximo de 714 km/s (962 km/s) apresentados no histograma da Figura 4.20. Observa-se que a grande maioria dos eventos apresentou valores médios maiores que o valor médio do período de ~450km/s. Se compararmos a distribuição da Figura 2.9, verificamos que a distribuição da velocidade durante a ocorrência dos eventos está completamente deslocada em relação aos valores mais prováveis, encontrando-se no nível acima dos 75% dos quartis da velocidade.





Os feixes rápidos têm um aumento significativo de ocorrência na fase descendente do ciclo solar, como mostrado na Figura 2.6 e como podemos observar no histograma 4.21, que mostra os valores médios do módulo da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007. A maior ocorrência de eventos com valores médios mais altos da velocidade ocorre na fase descendente do ciclo solar.

Figura 4.21 - Histograma dos valores médios do módulo da velocidade do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



Como já era indicado por alguns autores (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987; GUARNIERI, 2005a) estes eventos têm uma forte dependência da ocorrência de feixes rápidos. Segundo Richardson et al. (2000): na fase de mínimo solar a Terra passa aproximadamente 10% de seu tempo em estruturas de vento solar relacionadas a CMEs e 60% de seu tempo em estruturas de vento solar relacionadas a feixes corrotantes; e na fase de máximo solar a Terra passa aproximadamente 30% de seu tempo em estruturas de vento solar relacionadas a feixes corrotantes. Portanto a Terra passa a maior parte do tempo em estruturas de vento solar relacionadas a feixes corrotantes.

#### 4.2.10 Componente Bx do Campo Magnético do vento solar

A distribuição dos valores médios da componente Bx do campo magnético do vento solar para os 150 eventos encontrados entre 1998 e 2007 é apresentada na Figura 4.22. O intervalo de ocorrência dos valores médios ficou entre o mínimo de Bx de -6,2 nT (-22,8 nT) e máximo de 6,1 nT (20,7 nT). A distribuição apresenta uma forma bimodal em torno da intensidade zero, um valor máximo negativo e outro valor máximo positivo, similar ao apresentado na Figura 2.14, que é devido ao padrão de setor.





Com relação ao nível da atividade solar, Bx não apresenta diferenças significativas nas distribuições, como se pode observar na Figura 4.23 que apresenta o histograma dos valores médios da componente Bx do campo magnético interplanetário do vento solar durante a

ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período.

Figura 4.23 - Histograma dos valores médios da componente Bx do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



4.2.11 Componente By do Campo Magnético do vento solar

A componente By do campo magnético interplanetário, similarmente a componente Bx apresenta uma distribuição na forma bimodal, com um valor negativo e outro positivo, como se pode observar na Figura 4.24, que mostra a distribuição dos valores médios da componente By para os 150 eventos encontrados entre 1998 e 2007. Esta distribuição é similar ao apresentado na Figura 2.15. Os valores médios de By ficaram entre o valor mínimo de -5,5 nT (-24,8 nT) e o valor máximo de 7,6 nT (38,1 nT).





A componente By não apresenta diferenças significativas nas distribuições com relação ao nível da atividade solar, como se pode observar na Figura 4.25, que apresenta o histograma dos valores médios da componente By do campo magnético interplanetário do vento solar durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período.

Figura 4.25 - Histograma dos valores médios da componente By do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



# Média da componente By do campo magnético

## 4.2.12 Componente Bz do Campo Magnético do vento solar

A componente Bz do campo magnético interplanetário apresentou valores médios entre o mínimo de -3,4 nT (-20,7 nT) e o máximo de 2,1 nT (26,1 nT) para os 150 eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007 e apresentados no histograma da Figura 4.26. Observa-se que a distribuição de Bz difere das distribuições de Bx e By, enquanto estas últimas apresentam uma distribuição bimodal, Bz apresenta uma distribuição quase gaussiana com uma leve tendência para a esquerda, com maior frequência no intervalo entre -2 a 0 nT, diferindo da distribuição de Bz em torno de zero, mostrada na Figura 2.16. Comparando com os valores limites de Bz para a ocorrência de tempestades magnéticas de diferentes níveis, sabemos que para ocorrer uma pequena tempestade, Bz tem um valor de pelo menos -3 nT e perdurar por pelo menos 1 hora (GONZALEZ et. al., 1994).

Figura 4.26 - Histograma dos valores médios da componente Bz do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.



Quanto ao nível da atividade solar, observa-se que em ano de máxima atividade solar ocorre um percentual maior de eventos com valores médios de Bz mais negativos em relação a eventos com valores médios positivos, do que em ano de atividade mais baixa, como se pode observar na Figura 4.27, que apresenta o histograma dos valores médios da componente Bz do campo magnético interplanetário durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período.





#### Média da componente Bz do campo magnético

4.2.13 Média do Módulo do Campo Magnético do vento solar

O módulo do campo magnético do vento solar é a somatória vetorial das componentes do campo magnético nas direções x, y e z, expressa em nanotesla e dado pela equação (2):

$$|B| = \left( (Bx)^2 + (By)^2 + (Bz)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$
(2)

A distribuição dos valores médios da magnitude de B do campo magnético interplanetário para os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs encontrados entre 1998 e 2007 é apresentada na Figura 4.28. O intervalo de ocorrência dos valores médios ficou entre o mínimo de |B| de 4,4 nT (0,1 nT) e máximo de 12,0 nT (41,8 nT). A distribuição não é gaussiana, mas tem uma cauda, similar a Figura 2.13. Há uma tendência dos eventos ocorreram predominantemente no intervalo que varia entre 5 a 8 nT.

Figura 4.28 - Histograma dos valores médios do módulo do campo magnético interplanetário para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.



O módulo de B apresenta uma leve diferença nas distribuições com relação ao nível da atividade solar, como se pode observar na Figura 4.29, que apresenta o histograma dos valores médios do módulo de B durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Observa-se que durante o período de baixa atividade solar todos os eventos ocorreram com valores médios de |B| abaixo de 8 nT, enquanto em atividade mais alta ocorreram alguns eventos com valores médios de |B| acima de 8 nT. Isto é esperado, já que a magnitude de B é mais baixa no mínimo solar e mais alta no máximo solar.

Figura 4.29 - Histograma dos valores médios do módulo do campo magnético interplanetário ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



#### 4.2.14 Pressão Dinâmica do vento solar

A pressão dinâmica do vento solar é dada pela equação (3) em nanopascal:

$$P_{D} = 1.94 \cdot 10^{-6} \cdot N_{p} \cdot |V|^{2}$$
(3)

onde:  $N_p$  = densidade de prótons (cm<sup>-3</sup>)

V = módulo da velocidade do vento solar (km/s)

Ao longo dos anos de 1998 a 2007, durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs a pressão dinâmica apresentou valores médios entre o mínimo de 1,1 nPa (0,1 nPa) e o valor máximo, de 5,1 nPa (34,1 nPa), como apresentado no histograma da Figura 4.30. Pode se notar neste histograma que o intervalo que apresentou a maior frequência foi entre 2 a 3 nPa, que é o valor esperado da pressão dinâmica para o vento solar na órbita da Terra de 2.6 nPa em qualquer momento do ciclo (KIVELSON; RUSSELL, 1995).



Figura 4.30 - Histograma dos valores médios da Pressão Dinâmica do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs de 1998 a 2007.

Há algumas assinaturas indicando a diferença básica da natureza do vento de alta velocidade a partir de buracos coronais e fluxo de baixa velocidade na região de flâmula (*streamer belt*). Elas estão principalmente associadas a outros constituintes do que os prótons e os seus estados de ionização. Por outro lado, existem também algumas semelhanças entre os dois tipos de vento solar: a densidade de fluxo de momento e a pressão dinâmica, não diferem em mais de 5%. Usando somente esta quantidade nenhuma estrutura de feixe seria discernível. Isso significa que ambos os tipos de vento tem idêntica pressão dinâmica em qualquer obstáculo, por exemplo, magnetosferas planetárias (SCHWENN, 2001). Como se pode observar na Figura 4.31, que apresenta o histograma dos valores médios da pressão dinâmica do vento solar durante a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período, não há diferenças significativas nas distribuições com relação ao nível da atividade solar.

Figura 4.31 - Histograma dos valores médios da Pressão dinâmica do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



### 4.2.15 Fator Beta do vento solar

Com a finalidade de se verificar se a flutuação da velocidade do vento solar é um feixe rápido, foi calculado o parâmetro  $\square$  beta) adimensional. Este parâmetro é uma razão entre a pressão térmica e a pressão magnética do plasma da estrutura. Feixes rápidos apresentam valores de beta mais próximo a um. Outras estruturas, como nuvens magnéticas ou CMEs possuem o valor de beta muito menor que um. Como exemplo pode ser citado: o valor encontrado para média do fator beta durante uma tempestade qualquer, onde o valor do fator beta foi de 0,07 (dados do autor: tempestade ocorrida dia 21 de outubro de 1999 a partir das 23:00h). O parâmetro  $\square$  dado pela equação (4):

$$\beta = \frac{P_K}{P_B} \tag{4}$$

onde:  $P_K$  é a pressão térmica dada pela equação (5) em nanopascal:

$$P_{K} = 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 1,0 \cdot 10^{8} \cdot N_{p} \cdot T_{p}$$
(5)

 $P_B$  é a pressão magnética dada pela equação (6) em nanopascal:

$$P_{B} = \frac{1.0 \cdot 10^{8} \cdot (1.0 \cdot 10^{-5} \cdot |B|)^{2}}{8 \cdot \pi}$$
(6)

Sendo:  $N_p$  a densidade de prótons em cm<sup>-3</sup>;

 $T_p$  a temperatura de prótons em K;

B a magnitude do campo magnético interplanetário em nT.

Em relação ao parâmetro beta do vento solar de natureza adimensional ao longo de cada ano, foram encontrados valores entre o mínimo da média de beta de 0,15 e um valor máximo de 2,08 para os eventos ocorridos entre os anos de 1998 a 2007 e apresentados no histograma da Figura 4.32. Pode-se observar que o intervalo de valores para o qual se verifica a maior frequência de eventos ocorreu entre os limites de beta de 0,4 a 0,8.

Figura 4.32 - Histograma dos valores médios do Fator Beta do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs entre 1998 a 2007.



O fator  $\beta$  apresenta uma leve diferença nas distribuições com relação ao nível da atividade solar, como se pode observar na Figura 4.33, que apresenta o histograma dos valores médios de  $\beta$  durante a ocorrências dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ano a ano para o período de 1998 a 2007 e o número anual de manchas solares para o período. Observa-se que durante o período de baixa atividade solar ocorreu um percentual maior de eventos com valores médios de  $\beta$  mais altos, enquanto em atividade mais alta ocorreu um percentual menor com  $\beta$  mais alto.

Figura 4.33 - Histograma dos valores médios do Fator Beta do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



4.2.16 Índice Dst durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs

O valor médio do índice Dst durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs entre 1998 a 2007 alcançou valores relativamente baixos, valor médio mínimo de -64,5 nT (-166 nT), comparado as tempestades moderadas, bem como valores altos, valor médio máximo de 5,1 nT (41 nT), proporcional à fase inicial de uma tempestade, como observado na Figura 4.34. Verifica-se ainda que o maior número de eventos ocorreram entre os valores do índice Dst de -30 a -20 nT, valores esperados do índice Dst, pois não inclui a fase principal das tempestades e também, nem todos os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs estão associados a tempestades. O maior valor médio do índice Dst durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs nos dez anos de atividade solar estudado foi de 5,1 nT (Dst positivo indica compressão em frente à magnetosfera dado pela alta pressão: 5,06 nP), encontrado no evento 10\_2000, o que indica que o evento ocorreu predominantemente durante a fase de ocorrência de uma CIR.



Figura 4.34 - Histograma dos valores médios do índice Dst do vento solar para todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs entre 1998 a 2007.

A ocorrência de eventos com índice Dst médio abaixo de -30 nT mostra como os eventos HILDCAAs podem manter o valor negativo do índice Dst por um longo período, como verificado por Sooras et al., (2004), mas também se observa que podem ocorrer eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs sem que se haja resposta significativa do índice Dst.

A Figura 4.35 apresenta a distribuição dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs no decorrer do ciclo solar de 1998 a 2007. Observa-se que não há diferenças significativas dos valores médios dos eventos em relação ao nível da atividade solar, ou seja, os valores mais prováveis ficaram entre -30 a -20 nT tanto no máximo quanto no mínimo da atividade solar.

Figura 4.35 - Histograma dos valores médio do índice Dst do vento solar ano a ano de todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs (barras vermelhas) e o número anual de manchas solares (linha preta) de 1998 a 2007.



A maioria dos eventos HILDCAAs não está relacionada a tempestades, indicando que os mecanismos para ocorrência de HILDCAAs e tempestades diferem entre si. Dos 150 eventos quase-HILDCAAs que ocorreram entre 1998 e 2007, 38 (~25%) deles apresentaram-se associados a uma tempestade geomagnética. A Figura 4.36 apresenta o número de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs associados a tempestades geomagnéticas ano a ano de 1998 a 2007. Observa-se que a ocorrência destes eventos não está associada a estruturas que ocorrem predominantemente no máximo solar, como as CMEs que apresentam topologia de campo magnético fechado.

Figura 4.36 - Números de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs associados a tempestades geomagnéticas anoa-ano de 1998 a 2007.



<sup>4.3</sup> VARIAÇÃO SAZONAL

A atividade geomagnética, como um todo, é conhecida por ser caracterizada por uma típica variação sazonal em forma de onda semi-anual, com máximos em torno dos equinócios e mínimos próximos aos solstícios (RUSSELL; MCPHERRON, 1973; GONZALEZ et al., 1994; AHN et al., 2000). A Figura 4.37 mostra a distribuição dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs por mês para os anos de 1998 até 2007, onde se observa a variação semi-anual. Comparando com a ocorrência de tempestades que têm picos em março e setembro (GONZALEZ et al., 1999), os HILDCAAS apresentaram máximos em abril e agosto.



Figura 4.37 - Número de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs por mês para os anos de 1998 a 2007.

A variação semi-anual ou sazonal da atividade geomagnética é caracterizada por um maior nível da geoefetividade nos equinócios que nos solstícios. Há três hipóteses aceitas para explicar esta variação sazonal, que são: o efeito Russell-McPherron (1973), a hipótese equinocial e a hipótese axial. O mecanismo Russell-McPherron (RM) é um efeito de projeção que depende da estação. O campo magnético interplanetário (IMF), orientado no sistema de coordenadas heliosférica do Sol, projeta uma componente na direção sul no sistema de coordenada de orientação do dipolo da Terra quando ele aponta na direção do Sol no outono do hemisfério norte (pico de setembro) e para fora do Sol durante a primavera do hemisfério norte (pico de marco). Na hipótese equinocial a atividade geomagnética é máxima quando o ângulo entre a linha Sol-Terra (isto é, direção do fluxo do vento solar) e o eixo de dipolo da Terra é 90°, e menor em outras épocas do ano. Este efeito contribui para reduzir a eficiência do acoplamento da magnetosfera nos solstícios. Na hipótese axial, os picos da atividade geomagnética aparecem quando a Terra está em suas latitudes heliosféricas mais alta, onde ela está mais bem alinhada com qualquer fluxo de ICME (Ejeção de Massa Coronal Interplanetária) transiente propagando-se radialmente e feixes de alta velocidade de buracos coronais de média latitude. Clúa de Gonzalez et al. (1993) mostraram que os três efeitos trabalham juntos para produzir a variação observada na atividade geomagnética e propuseram que estes mecanismos atuam como fatores moduladores na resposta geomagnética para fontes de atividades aleatórias, ao passo que as tempestades geomagnéticas também apresentam variação sazonal. Cliver et al., (2000) sugeriram que a hipótese equinocial explica melhor as muitas modulações semi-anuais em vez dos mecanismos de Russell-McPherron e axial. Eles estimaram que o efeito equinocial é responsável por aproximadamente 65% da modulação sazonal ao passo que os outros dois mecanismos fornecem somente de 15 a 20% cada. Ahn e Moon, (2003) analisaram as variações sazonais e a hora local dos índices AU, AL, AE e Dst, e verificaram que a eficiência do acoplamento entre o vento solar e a magnetosfera aumenta durante os equinócios, mesma verificação de Cliver et. al. (2000), e também encontraram uma forte indicação que o campo elétrico é o principal modulador da variação semi-anual na atividade geomagnética.

## **5 DISCUSSÕES**

A flexibilização de um dos critérios de identificação dos eventos HILDCAAs: onde não se podiam permitir quedas do índice AE abaixo de 200 nT por períodos maiores que duas horas, para períodos mais longos, permitiu encontrar um número significativo de eventos em relação aos critérios originais, o que possibilitou uma amostragem mais significativa, possibilitando verificar os valores característicos dos parâmetros de plasma e campo magnético do meio interplanetário e que estão relacionados à ocorrência de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs.

A distribuição dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ao longo do ciclo solar segue uma distribuição similar aos dos buracos coronais de baixas latitudes, como observado por Gonzalez et al., (1996) no decorrer do ciclo solar 21 (Figura 2.6), onde se observa a existência de dois picos, um menos intenso em torno do máximo do ciclo das manchas solares e outro mais intenso na fase descendente.

A duração dos eventos analisados foi de aproximadamente 2 dias e 20 minutos a 14 dias e 1 hora. Observou-se também que durante a fase descendente do ciclo solar, além de ocorrerem mais eventos, estes perduram por mais tempo e assim mantiveram o nível da atividade auroral, medido pelo índice AE, elevado nesta fase: indicando a presença de buracos coronais que originaram feixes rápidos do vento solar de longa duração. Foram encontrados valores de pico do índice AE durante os 150 eventos entre 1001 a 2852 nT. Enquanto os valores médios observados entre todos os eventos ficaram entre os valores de 168 a 535 nT. Guarnieri (2005a), estudando 14 eventos HILDCAAs, encontrou valores de pico entre 1123 nT e 1759 nT e valores médios entre ~276 nT e ~473 nT.

A Tabela 5.1 mostra os valores médios, dentre todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, dos índices AE, AU, AL e Dst, da densidade e temperatura de prótons do vento solar, da velocidade do vento solar, da componente Bz do IMF, da intensidade do IMF, da pressão dinâmica e do fator beta; juntos com seus correspondentes desvios padrões. Como se pode observar, os valores médios de AE (344,5 nT), AU (131,0 nT) e AL (-213,7 nT) durante eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs atingem valores relativamente elevados se comparado com um período calmo, com média de 50 nT, ou com seus valores médios 213,7 nT, 84,6 nT e -135,1 nT (AHN; MOON, 2003), respectivamente.

Os valores dos parâmetros do meio interplanetário relacionados aos valores médios dos índices geomagnéticos durante eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs que atingem valores médios relativamente elevados foram: a velocidade do vento solar (538,2 km/s) e a

temperatura (151269,5 K). Já os que não apresentaram variações significativas foram |B| (6,7 nT) e a pressão dinâmica (2,6 nPa), esta última devido à densidade mais baixa (5,0 cm<sup>-3</sup>) que é o principal controle da pressão dinâmica. A componente Bz apresentou um valor médio resultante negativo (-0,71 nT), mas o valor esperado seria zero. Assim, há uma direção preferencial desta componente para o sul pela qual ocorre a reconexão magnética entre o campo magnético interplanetário e o campo geomagnético e deste modo causam maior injeção de energia para dentro da magnetosfera (demonstrado por Guarnieri, 2005a). Já o fator beta apresentou um valor médio relativamente alto de 0,66. Comparando este valor entre os valores relacionados a diferentes estruturas no meio interplanetário, observamos que ele está associado a feixes rápidos que apresentam valores de beta próximos ou maiores que um.

O parâmetro beta ajuda a identificar o tipo de estrutura causadora da flutuação de velocidade. Esta análise indica que a maior parte dos eventos são feixes de alta velocidade do vento solar que geralmente fluem de buracos coronais. Em muitos casos, estes feixes são embebidos de flutuações alfvénicas (as flutuações alfvénicas não foram verificadas nestes feixes rápidos, pois não fazia parte do escopo desta dissertação) numa vasta faixa de frequências. A alfvenicidade do vento solar já tem sido apontada por diversos autores como sendo uma possível causadora de eventos de penetração e precipitação de partículas (GARRET, DESSLER; HILL, 1974; TSURUTANI; GONZALEZ, 1987; TSURUTANI et al., 1990a; 1990b; TSURUTANI et al., 1995; TSURUTANI; LAKHINA, 1997; GUARNIERI, 2005a).

AE (nT)	$344,5 \pm 65,0$
AU (nT)	$131,0 \pm 33,0$
AL (nT)	$-213,7 \pm 51,2$
Dst (nT)	$-25,8 \pm 12,2$
Densidade (cm <sup>-3</sup> )	$5,0 \pm 1,8$
Temperatura (K)	$151269,5\pm 48907,7$
V  (km/s)	$538,2\pm83,3$
Bz (nT)	$-0,71 \pm 1,02$
<b> B  (nT)</b>	$6,7 \pm 1,4$
Pressão dinâmica (nPa)	$2,6 \pm 0,7$
Beta	$0,66 \pm 0,27$

Tabela 5.1 - Valores médios dos parâmetros registrado dentre todos os 150 eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs

Analisando as distribuições dos parâmetros relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, observamos que somente 15 (10%) dos 150 eventos tiveram velocidades médias maiores que 650 km/s, Figura 4.20. Já, 75% dos eventos apresentaram densidade média abaixo do valor médio (~6,1 cm<sup>-3</sup>) do período entre 1998 a 2007, como se pode observar no histograma da Figura 4.10. Isto faz com que, para a maior parte dos eventos, não seja observada uma grande compressão na magnetosfera, como observado pelos valores baixos da pressão dinâmica calculada para todos os eventos, que não passou de 6 nPa, mostrado na Figura 4.30.

As formas das distribuições das componentes Bx e By diferem da forma da distribuição de Bz próximo à intensidade zero. Isto ocorre porque o padrão de setor faz com que as componentes Bx e By sejam distribuídas em torno de dois valores modais, um negativo e um positivo, enquanto a componente Bz é distribuída em torno de zero.

Para a grande maioria dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, a média da componente Bz do campo magnético interplanetário apresentou uma tendência para valores negativos (Bs para o sul) e uma alta velocidade média, com isso, o campo elétrico Ey dado por VBs, tem uma componente resultante no sentido amanhecer para anoitecer. Esta configuração de campo descreve o mecanismo de transferência de energia do vento solar para dentro da magnetosfera por meio da reconexão magnética, que é o mecanismo mais eficiente de transferência (GONZALEZ et. al., 1994).

Tanto AU quanto AL apresentam distribuições semelhantes ao AE, como esperado, já que o AE é definido em função de ambos; mas tem sido mostrado (por exemplo, ROSTOKER, 1972; BAUMJOHANN, 1983; KAMIDE; KOKUBUN, 1996) que a natureza do eletrojato para leste (descrito pelo AU) é bem diferente do eletrojato para oeste (descrito pelo AL). O AE fornece a soma da máxima densidade de corrente em dois pontos que são muito distantes em hora local. Esta soma não tem significado físico.

Para uma melhor compreensão dos resultados encontrados neste trabalho, relativos aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, iremos compará-los a seguir com outros períodos em diferentes condições a fim de que se tenha uma referência quanto aos tipos de vento solar e suas estruturas no meio interplanetário.

Existem dois tipos básicos de vento solar quase-constante que diferem acentuadamente suas principais propriedades, a localização e a topologia magnética de suas fontes na coroa, e provavelmente, em seu mecanismo de aceleração (SCHWENN, 2001). Na Tabela 5.2, os valores mais específicos são apresentados separadamente para os dois tipos. Comparando estes valores às distribuições da densidade e temperatura de próton e com a velocidade do vento solar durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, observa-se que estas são características de vento solar de alta velocidade, como mostrado nas Figuras 2.11 e 2.12.

	Vento Lento	Vento Rápido
Velocidade de fluxo V <sub>p</sub>	250 - 400 km s <sup>-1</sup>	400 - 800 km s <sup>-1</sup>
Densidade de próton n <sub>p</sub>	$10,7 \text{ cm}^{-3}$	$3,0 \text{ cm}^{-3}$
Densidade de fluxo de prótons n <sub>p</sub> V <sub>p</sub>	$3,7 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$2,0 \ge 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Temperatura de prótons T <sub>p</sub>	$3,4 \ge 10^4 \text{ K}$	2,3 x 10 <sup>5</sup> K
Temperatura de elétrons T <sub>e</sub>	1,3 x 10 <sup>5</sup> K	1,0 x 10 <sup>5</sup> K
Densidade do fluxo de impulso	$2,12 \text{ x } 10^8 \text{ dyn cm}^{-2}$	$2,26 \text{ x } 10^8 \text{ dyn cm}^{-2}$
Densidade do fluxo da energia total	$1,55 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$1,43 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Conteúdo de hélio	2,5 %, variável	3,6 %, estacionário
Fonte	Região de Flâmula	Buracos Coronais

Tabela 5.2 - Parâmetros médios do vento solar em 1 UA, para período em torno da atividade solar mínima.

Fonte: Schwenn, 2001.

A Tabela 5.3 apresenta as propriedades médias das ejeções de massa coronal interplanetária (ICME) que ocorreram entre 1996 a 2002 (CANE; RICHARDSON, 2003). Os valores médios da velocidade desses eventos são menores que os valores relacionados a eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs; já o valor médio do campo magnético interplanetário é superior aos valores relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs. Pode-se observar que o número de ICMEs cresce com o nível da atividade solar, não acompanhando a ocorrência dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs. Assim, pode-se inferir que eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs não estão associados a ICMEs.

Tabela 5.3 - Propriedades médias de Ejeções de Massa Coronal

	1996 <sup>a</sup>	1997	1998	1999	2000 <sup>b</sup>	2001	2002	All
Número de eventos	4	22	38	28	53	47	22	214
Velocidade da ICME, km s <sup>-1</sup>	$360 \pm 4$	$406 \pm 11$	$428\pm14$	$448 \pm 13$	$490\pm17$	$470 \pm 14$	$452\pm14$	$454\pm 6$
Média de B da ICME, nT	$9,0\pm0,7$	12,9 ± 1,4	$10,7 \pm 0,6$	9,4 ± 0,9	$9,5\pm0,5$	$8,8\pm0,8$	9,3 ± 0,6	9,9 ± 0,3
Fração da nuvem magnética, %	100	64	26	11	17	15	33	25
<sup>a</sup> M ínino solar.								
<sup>b</sup> M áximo solar.								

Fonte: Cane and Richardson, 2003.

A Tabela 5.4 mostra os resultados de um estudo sobre os parâmetros do vento solar associados com tempestades superintensas, onde são mostrados os valores médios de pico do

Dst, da velocidade do vento solar, da intensidade do IMF, da componente na direção sul do IMF (Bs), do campo elétrico interplanetário (Ey); juntos com seus correspondentes desvios padrões e suas medianas. Como se pode observar: a velocidade do vento solar, a densidade, a pressão dinâmica e o IMF atingem valores relativamente elevados para as supertempestades de aproximadamente 800 km/s, 25 cm<sup>-3</sup>, 26 nPa e 42 nT, respectivamente. Também os parâmetros Bs e Ey alcançam valores elevados de -34 nT e 24 mV/m, respectivamente.

sap.	internip estuates.		
Parâmetros	Média dos Valore de Pico	Desvio Padrão	Mediana
Dst (nT)	324,3	67,3	302,0
V <sub>SW</sub> (km/s)	799,1	160,6	743,0
<b>B</b> <sub>mag</sub> (n <b>T</b> )	41,7	10,8	39,1
Bs (nT)	34,3	13,5	27,2
$\mathbf{E}_{\mathbf{y}} \left( \mathbf{mV/m} \right)$	23,5	11,6	16,9
$N_p (cm^{-3})$	24,7	13,7	21,6
P <sub>dyn</sub> (nPa)	25,7	14,8	21,3

Tabela 5.4 - Médias dos valores de pico do Dst e de alguns parâmetros interplanetários associados com supertempestades.

Fonte: Gonzalez et. al., 2011

Dos resultados apresentados e comparados, observa-se que alguns parâmetros de plasma e campo magnético do meio interplanetário, relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, são valores intermediários entre períodos de baixa atividade geomagnética (valores de background) e valores de alta atividade geomagnética (valores de tempestade), como resumido na Tabela 5.5.

Parâmetros com maiores atividades geomagnéticas					
	Background	HILDCAA	Alta		
Тр (К)	~1,1×10 <sup>5</sup>	$>1,1\times10^{5}$	< 1,1×10 <sup>5</sup>		
<b>V</b> ( <b>km</b> /s)	< 400	> 450	~450		
Beta		$\approx 1$	B<< 1		
Intermediários					
Bs (nT)	0	$0 \le Bs \le -2$	<-3		
<b> B  (nT)</b>	~5	5 <  B  < 9	> 9		
Menores					
Densidade (cm <sup>-3</sup> )	~ 6.1	Dens < 6	Dens >> 6		

 Tabela 5.5 - Valores de alguns parâmetros de plasma e campo do meio interplanetário relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs comparados com diferentes níveis de atividade geomagnética.

Outros parâmetros apresentaram valores similares aos níveis de background, foram eles: as componentes do campo magnético interplanetário Bx e By (nT), a pressão dinâmica (nPa) e as componentes da velocidade Vz e Vy (km/s).

## 6 CONCLUSÕES

Dos quatro critérios do índice AE usados para caracterizar eventos HILDCAAs, o critério que considera a "Atividade AE Contínua - o valor do índice AE não deve cair abaixo de 200 nT por períodos mais longos do que duas horas" mostrou-se mais restritivo, assim sendo, somente este foi modificado, alterando de 2 para 4 horas o período em que o índice AE não pode ficar abaixo de 200 nT.

A distribuição dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs ao longo do ciclo solar apresenta um padrão de pico duplo, um menos intenso em torno do máximo do ciclo das manchas solares e outro intenso na fase descendente, distribuição similar aos dos buracos coronais de baixas latitudes.

Os valores típicos mais prováveis dos índices geomagnéticos durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs foram:

- ➢ AE maior que 250 nT;
- ➤ AU entre 100 e 150 nT;
- ➤ AL entre -250 a -150 nT;
- Dst entre -30 a -20 nT, valores menores que os limites para ocorrência de pequenas tempestades, como classificadas por Gonzalez et. al., (1994).

Os valores típicos dos parâmetros de plasma e campo magnético do meio interplanetário relacionados aos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs foram:

- Densidade de próton menor que o valor médio (6,1 cm<sup>-3</sup>). Mais que 75% dos eventos apresentaram valores médios menores que o valor médio do período.
- Módulo da velocidade maior que 450 km/s,
- > Temperatura de próton maior 1,1 x  $10^5$  K,
- Módulo de B menor que o valor médio (7 nT).

Estas são características típicas de feixes rápidos. Isto confirma o que já era indicado por alguns autores (Tsurutani e Gonzalez, 1987; Guarnieri, 2005a), que estes eventos têm uma forte dependência da ocorrência de feixes rápidos. E observou-se que os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAS ocorrem principalmente na fase descendente do ciclo solar quando feixes rápidos têm um aumento significativo de ocorrência.

De todos os parâmetros analisados os mais significantes durante a ocorrência de HILDCAAs foram: densidade, temperatura e a velocidade do vento solar, e provavelmente a componente Bs do IMF por meio do campo elétrico (VBs).

A ocorrência de eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs apresenta uma variação semianual, com máximo em torno dos equinócios e mínimo próximos aos solstícios.

Este trabalho pôde demonstrar de forma mais abrangente os dados concernentes aos valores típicos do meio interplanetário que são favoráveis ao desenvolvimento dos eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs. Fundamentado nos dias atuais, é de grande valor o estudo desses eventos, haja vista que a humanidade carece e está exclusivamente conectada no mundo virtual, e onde os satélites são "a menina dos olhos" do planeta e estes necessitam de um cuidado bastante especial, pois são susceptíveis as intempéries do clima espacial. Foi mostrado na tese de Guarnieri, (2005), que durante os eventos HILDCAAs/quase-HILDCAAs, a emissão de partículas ao longo de vários dias (duração do mais longo evento dessa dissertação: 14 dias e 1 hora) pode ser maior do que durante algumas tempestades geomagnéticas intensas. Os efeitos destas injeções de elétrons podem ser altamente danosos aos equipamentos embarcados em satélites, causando a rápida decomposição de sensores e semicondutores.

# REFERÊNCIAS

ADVANCED Composition Explorer (ACE), 2012. Disponível em: <

http://www.srl.caltech.edu/ACE/images/l1.gif: Acesso em: Dez. 2012.

AHN, B. H. et al. Seasonal and solar cyclevariations of the auroral electrojet indices. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 62, n. 14, p. 1301-1310, 2000.

AHN, B.H.; MOON, G.H. Seasonal and Universal Time Variations of the AU, AL and Dst Indices. Journal of the Korean Astronomical Society, v. 36, S1, p. S93-S99, 2003.

AHN, B.H.; PARK, Y.K. Response of the Geomagnetic Activity Indices to the Solar Wind Parameters. **Journal Astron. Space Science**, v.25, n. 2, p.129–138, 2008.

AKASOFU, S.I.; CHAPMAN, S. On the asymmetric development of magnetic storm fields in low and middle latitudes. **Planetary and Space Science**, v. 12, n. 6, p. 607- 626, 1964.

AKASOFU, S.I.; CHAPMAN, S. **Solar Terrestrial Physics**. Oxford: Clarendon, 1972. AKASOFU, S.I.; CHAPMAN, S. The polar electrojet. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v. 27, p. 1275-1305, 1965.

BAKER, D. N. Effects of the sun on the Earth's environment. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v.62, p.1669-1681, 2000.

BAUMJOHANN, W. Ionospheric and field-aligned current systems in the auroral zone. Advances in Space Research., v. 2, p. 55-62. 1983.

BRAVO, S.; CRUZ-ABEYRO, J. A. L.; ROJAS, D. The spatial relationship between active regions and coronal holes and the occurrence of intense geomagnetic storms throughout the solar activity cycle. **Annales Geophysicae**, v.16, p.49-54, 1998.

BURLAGA, L. F. Interplanetary Magnetohydrodynamics, Oxford University Press, New York, 1995.

CANE H. V.; RICHARDSON, I. G. Interplanetary coronal mass ejections in the near-Earth solar wind during 1996–2002. Journal of Geophysical Research, v.108, n.A4, p.6.1-6.13, 2003.

CLIVER, E. W.; KAMIDE, Y.; LING, A. G. Mountains versus valleys: semiannual variation of geomagnetic activity. **Journal of Geophysical Research**, v.105, p.2413, 2000.

CLÚA DE GONZALEZ, A. L. et al. Periodic variation in the geomagnetic activity: a study based on the Ap index. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, n. A6, p. 9215-9231, 1993.

CORREIO DO ESTADO. Imagem da NASA mostra 'buraco' no sol. **Correio do Estado**, Campo Grande, 7 jun. 2012. Ciência e Saúde. Disponível em: <http://www.correiodoestado.com.br/noticias/imagem-da-nasa-mostra-buraco-nosol\_151326/>. Acesso em: dez. 2012. DAGLIS, I. A. et al. The terrestrial ring current: origin, formation and decay. **Reviews of Geophysics**, v.37, n.4, p.407-438, Nov. 1999.

DAVIS, T.N.; Sugiura M. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations. Journal of Geophysical Research, v. 71, n°. 3, p. 785, 1966.

DIGITAL SUN-Earth laboratory. The solar wind an introduction, 2012. Disponível em

http://disel.ifa.hawaii.edu/Pages/Education/sun\_wind\_intro.php Acesso em : dez. 2012

GARRET, H. B.; DESSLER, A. J.; HILL, J. W. Influence of solar wind variability on geomagnetic activity. **Journal of Geophysical Research**, v. 79, p. 4603, 1974.

GONZALEZ, W. D. et al. Coronal Hole-Active Region-Current Sheet (CHARCS) association with intense interplanetary and geomagnetic activity. **Geophysical Research Letters**, v.23, n.19, p.2577-2580, 1996.

GONZALEZ, W. D. et al. Magnetospheric energetics during HILDCAAs. In : TSURUTANI, B. (ed.). **Recurrent Magnetic Storms: Corotating Solar Wind Streams**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2006. p. 175-182. (Geophysical Monograph Series, v. 167). doi:10.1029/GM167.

GONZALEZ, W. D. et al. What is a geomagnetic Storm? Journal of Geophysical Research, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.

GONZALEZ, W. D.; GONZALEZ, A. L. C.; TSURUTANI, B. T. Interplanetary magnetosphere coupling during intense geomagnetic storms at solar maximum. **Geofísica Internacional**, v.31, n.1, p.11-18, 1992.

GONZALEZ, W. D.; TSURUTANI, B. T.; CLÚA DE GONZALEZ, A. L. Interplanetary origin of geomagnetic storms. **Space Science Reviews**, v. 88, p. 529-562, 1999.

GOSLING, J. T. Coronal mass ejections: the link between solar and geomagnetic activity. **Physics Fluids B**, v.5, n.7, p. 2638, Jul. 1993.

GUARNIERI, F. L. A study of the Interplanetay and Solar Origin of High Intensity Long Duration and Continuous Auroral Activity Events. 2005. 316 p. Tese (Doutorado em Física) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005a.

GUARNIERI, F. L. et al. Geomagnetic Activity and Auroras Caused by High-Speed Streams: A Review. **Advances in Geosciences**, v. 8, Solar Terrestrial, p. 91-102, 2006a.

GUARNIERI, F. L. et al. Intense, Continuous Auroral Activity Related to High Speed Streams with Interplanetary Alfvén Wave Trains. SUBSTORMS 7., 2004. Finnish. **Proceedings...** Finnish: Finnish Meteorological Institute, 2004. v. 1, p. 67.

GUARNIERI, F. L. ICME and CIR storms with particular emphasis on HILDCAA events. In: GOPALSWAMY, N.; BHATTACHARYYA, A. (Org.). **The Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment**: Recent Progress and Prospects.. 1ed. Mumbai: Quest Publications, 2006b, v. 1, pp. 1-7.

GUARNIERI, F. L. The Nature of Auroras During High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity (HILDCAA) Events: 1998 to 2001. Washington, DC: American Geophysical Union, p. 1-10, 2005b.

HOLLWEG, J. V. Some physical processes in the solar wind. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 16, p. 689, 1978.

HOYT, D.V.; SCHATTEN, K.H. **The role of sun in climate change**. Oxford: Oxford University Press, 1997.

KAMEI, T.; SUGIURA, M.; ARAKI, T. Geomagnetic Auroral Electrojet (AE) index Home Page, 2010. Disponível em: <a href="http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/ae2/onAEindex.html">http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/aedir/ae2/onAEindex.html</a>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

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

KAMIDE. Y.; KOKUBUN, S. Two component auroral electrojet: Importance for substorm studies. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 13027, 1996.

KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. **Introduction to Space Physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

MAYAUD, P.N. **Derivation, meaning, and use of geomagnetic indices**. Washington: American Geophysical Union, 1980. (Geophysical Monograph 22).

MCPHERRON, R. L. The role of substorms in the generation of magnetic storms. In: TSURUTANI, B. et al. (eds). **Magnetic storms**. Washington: American Geophysical Union, 1997. p.131-147,

MERRIL, R. T.; MCELHINNY, M. W. The Earth's magnetic field. New York: Academic press, 1983.

PARKINSON, W. D. Introduction to geomagnetism. Edinburgh: Scotish Academic, 1983.

PARKS, G. K. Physics of space plasmas. Washington: Addison-Wesley, 1991.

PETRUKOVICH, A.A.; RUSANOV, A.A. AL index dependence on the solar wind input revisited. **Advances in Space Research**, v. 36, n.12, p. 2440-2444, 2005.

PRESTES, A. **Estudo estatístico da variabilidade dos índices geomagnéticos e sua Relação com o meio solar**. 112 p. Dissertação (Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

PRIEST, E. R. **Solar magneto-hydrodynamics**. Dordrecht, Holland ; Boston : D. Reidel Pub. Co. ; Hingham, MA : Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Academic Publishers 1987. 369p. (Geophysics and Astrophysics Monographs).

RANGARAJAN, G.K. Indices of geomagnetic activity. In: JACOBS, J.A. (ed). **Geomagnetism.** London: Academic Press1989. v.3, Cap.5, p.323-384,

RICHARDSON, I.G.; CLIVER, E.W.; CANE, H.V. Sources of geomagnetic activity over the solar cycle: relative importance of coronal mass ejections, high speed streams, and slow solar wind. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.A8, p.18/203-18/213, Aug. 2000.

ROSTOKER, G. Geomagnetic indices. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v.10, n.4, p.935-990, Nov. 1972.

RUSSELL, C. T. Solar Wind and Interplanetary Magnetic Field: A Tutorial. In: SONG, P.; SINGER, H.J.; SISCOE, G.L. (eds). **Space Weather**. Washington: American Geophysical Union, 2001.

RUSSELL, C. T. **The solar wind interaction with Earth's magnetosphere: A tutorial**. 2000. Disponível em: http://www-ssc.igpp.ucla.edu/ssc/tutorial.html. Acesso em: maio 2011.

RUSSELL, C. T.; MCPHERRON, R. L. Semiannual variation of geomagnetic activity. **Journal of Geophysical Research**, v.78, n.1, p.92-108, 1973.

SANDANGER, M. I. et al. **Proton injections into the ring current associated with Bz** variations during HILDCAA events. AGU Book Series, Physics and Modeling of the Inner Magnetosphere. Washington: AGU, 2004.

SCHWENN, R. Solar Wind: Global Properties. In: MURDIN, Paul. Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2001.

SHEELEY, N. R.; HARVEY, J. W.; FELDMAN, W. C. Coronal holes, solar wind streams and recurrent geomagnetic disturbances, 1973-1976. **Solar Physics**, v. 49, p. 271, 1976.

SHUGAI, Y. S.; VESELOVSKY I. S.; TRICHTCHENKO L. D. Studying Correlations between the Coronal Hole Area, Solar Wind Velocity, and Local Magnetic Indices in the Canadian Region during the Decline Phase of Cycle 23. **Geomagnetism and Aeronomy**, v. 49, n. 4, p. 415–424, 2009.

SMITH, E. J.; WOLF, J. H. Observations of interaction regions and corotating shocks between one and five AU: Pioneers 10 and 11. **Geophysical Research Letters**, v. 3, p. 137, 1976.

SOL, 2012 Disponível em: <

http://www.prof2000.pt/users/angelof/af16/ts\_sol/images/sol96.png> Acesso em: dez. 2012.

SORAAS, F. et al. Evidence for particle injection as the cause of Dst reduction during HILDCAA events. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics**, v. 66, p. 2, p. 177-186, 2004.

SUESS, S. T.; TSURUTANI, B. T. **From the Sun:** Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays. Washington: American Geophysical Union, 1998.

SUGIURA, M. Hourly values of equatorial Dst for the IGY. Annual International Geophysical Year, v.35, p.9, 1964.

SUGIURA, M.; CHAPMAN, S. **The average morphology of geomagnetic storms with sudden commencement**. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1960. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Gottingen, Mathematisch-physikalische Klasse. Sonderheft, n. 4).

TSURUTANI, B. T. et al. Are high- intensity long-duration continuous AE activity (HILDCAA) events substorm expansion events? Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 66, n. 2, p. 167-176. 2004.

TSURUTANI, B. T. et al. Interplanetary Alfvén waves and auroral (substorm) activity: IMP-8. Journal of Geophysical Research, v. 95, n. A3, p. 2241-2252, 1990a.

TSURUTANI, B. T. et al. Interplanetary discontinuities and Alfvén waves. Space Science Reviews, v. 72, p. 205, 1995a.

TSURUTANI, B. T. et al. Large-amplitude IMF fluctuations in corotating interaction regions: Ulysses at midlatitudes. **Geophysical Research. Letters**, v. 22, n. 23, p. 3397-3400, 1995b.

TSURUTANI, B. T. et al. **Recurrent Magnetic Storms: Corotating Solar Wind Streams**. Washington, DC: American Geophysical Union, p. 1-17, 2006.

TSURUTANI, B. T. et al. The interplanetary and solar causes of geomagnetic activity. **Planetary and Space Science**, v. 38, n. 1, p. 109-126, 1990b.

TSURUTANI, B. T.; GONZALEZ, W. D. The cause of high-intensity long-duration continuous AE activity (HILDCAAs): Interplanetary Alfvén wave trains. **Planetary and Space Science**, v. 35, n. 4, p. 405-412, 1987.

TSURUTANI, B. T.; LAKHINA, G. S. Some basic concepts of wave-particle interactions in collisionless plasmas. **Reviews of Geophysics**, v. 35, n. 4, p. 491, 1997.

TSURUTANI, B.T.; HO, C.M. A review of discontinuities and Alfvén waves in interplanetary space: Ulysses results. **Geophysics**, v. 37, p.517-541, 1999.

VENNERSTROEN, S. Interplanetary sources of magnetic storms: a statistical study. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n.A12, p. 29/175-29/184, 2001.

WEBB, D.F. et al. The solar sources of geoeffective structures. In: WEBB, D.F. (ed). **Space weather.** Washington: American Geophysical Union2001. , p.123-141,

ZHUANG, H. C.; RUSSELL, C.T.; WALKER, R. J. The Influence of the Interplanetary Magnetic Field and Thermal Pressure on the Position and Shape of the Magnetopause. **Journal of Geophysical Research**, v. 86, n. A12, p. 10009-10021, Nov.1981.

ZIRIN, H. Astrophysics of the sun. New York: Cambridge University, 433 p, 1988.

# **APÊNDICE A**

# GRÁFICOS DOS PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO E ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS PARA OS EVENTOS QUASE-HILDCAAS SELECIONADOS

Este apêndice contém os gráficos em forma de painel para os parâmetros do meio interplanetário e índices geomagnéticos ocorridos para os 150 eventos quase-HILDCAAs selecionados.

Para cada evento, tem-se, de cima para baixo, a velocidade do vento solar (magnitude) em km/s, a densidade de partículas do vento solar em cm<sup>-3</sup>, a pressão dinâmica do vento solar dada em nPa, seguido pelos painéis da magnitude e componentes x, y e z do campo magnético do meio interplanetário (nT).

Os índices geomagnéticos plotados, todos os dados estão em nT, foram: o índice Dst, que é um índice de média latitude, indicador da intensificação da corrente de anel, e consequentemente, da ocorrência de tempestades; os índices AU e AL, que são os indicativos da intensidade do eletrojato auroral (correntes ionosféricas de regiões polares) e o índice AE, sobre o qual é feita a identificação dos eventos quase-HILDCAAs.



Figura A1 - Gráfico do evento 1\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:00 do dia 24/04 e termina às 13:00 do dia 26/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A2 - Gráfico do evento 2\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:59 do dia 07/05 e termina às 00:00 do dia 10/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A3 - Gráfico do evento 3\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:52 do dia 10/05 e termina às 02:31 do dia 13/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A4 - Gráfico da continuação do evento 3\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:52 do dia 10/05 e termina às 02:31 do dia 13/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A5 - Gráfico do evento 4\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:09 do dia 22/07 e termina às 18:49 do dia 25/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A6 - Gráfico do evento 5\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:00 do dia 27/08 e termina às 05:55 do dia 01/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A7 - Gráfico da continuação do evento 5\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:00 do dia 27/08 e termina às 05:55 do dia 01/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A8 - Gráfico do evento 6\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:59 do dia 22/09 e termina às 01:00 do dia 25/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A9 - Gráfico do evento 7\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:44 do dia 30/09 e termina às 14:15 do dia 03/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A10 - Gráfico do evento 8\_1998. O evento quase-HILDCAA se inicia às 01:13 do dia 22/10 e termina às 19:14 do dia 25/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A11 - Gráfico do evento 1\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:28 do dia 03/03 e termina às 20:13 do dia 05/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A12 - Gráfico do evento 2\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:00 do dia 29/03 e termina às 06:43 do dia 01/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A13 - Gráfico da continuação do evento 2\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:00 do dia 29/03 e termina às 06:43 do dia 01/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A14 - Gráfico do evento 3\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:19 do dia 29/04 e termina às 18:42 do dia 03/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A15 - Gráfico da continuação do evento 3\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:19 do dia 29/04 e termina às 18:42 do dia 03/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A16 - Gráfico do evento 4\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:50 do dia 06/08 e termina às 17:03 do dia 09/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A17 - Gráfico da continuação do evento 4\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:50 do dia 06/08 e termina às 17:03 do dia 09/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A18 - Gráfico do evento 5\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:39 do dia 16/08 e termina às 00:11 do dia 21/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A19 - Gráfico da continuação do evento 5\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:39 do dia 16/08 e termina às 00:11 do dia 21/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A20 - Gráfico do evento 6\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:07 do dia 22/08 e termina às 02:42 do dia 25/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A21 - Gráfico do evento 7\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 13:06 do dia 27/08 e termina às 00:21 do dia 03/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A22 - Gráfico da continuação do evento 7\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 13:06 do dia 27/08 e termina às 00:21 do dia 03/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A23 - Gráfico do evento 8\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:32 do dia 03/09 e termina às 12:31 do dia 05/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A24 - Gráfico do evento 8\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:00 do dia 27/09 e termina às 06:26 do dia 05/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A25 - Gráfico da continuação do evento 9\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:00 do dia 27/09 e termina às 06:26 do dia 05/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A26 - Gráfico do evento 10\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:00 do dia 10/10 e termina às 17:54 do dia 17/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A27 - Gráfico do evento 11\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:00 do dia 22/10 e termina às 20:57 do dia 25/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A28 - Gráfico do evento 11\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 03/12 e termina às 00:01 do dia 11/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A29 - Gráfico do evento 11\_1999. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 03/12 e termina às 00:01 do dia 11/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A30 - Gráfico do evento 1\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 01/01 e termina às 21:05 do dia 03/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A31 - Gráfico do evento 2\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:48 do dia 04/01 e termina às 01:45 do dia 08/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A32 - Gráfico do evento 3\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:00 do dia 28/01 e termina às 00:41 do dia 01/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A33 - Gráfico da continuação do evento 3\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:00 do dia 28/01 e termina às 00:41 do dia 01/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A34 - Gráfico do evento 4\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:00 do dia 05/02 e termina às 05:33 do dia 08/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A35 - Gráfico do evento 5\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:03 do dia 24/02 e termina às 00:32 do dia 29/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A36 - Gráfico do evento 6\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:13 do dia 06/03 e termina às 02:13 do dia 09/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A37 - Gráfico do evento 7\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:30 do dia 01/04 e termina às 16:47 do dia 03/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A38 - Gráfico do evento 8\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:55 do dia 30/04 e termina às 08:22 do dia 03/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A39 - Gráfico do evento 9\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 24/05 e termina às 18:07 do dia 26/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A40 - Gráfico do evento 10\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:06 do dia 09/07 e termina às 08:31 do dia 12/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A41 - Gráfico do evento 11\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:16 do dia 31/07 e termina às 12:37 do dia 02/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A42 - Gráfico do evento 12\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:21 do dia 04/08 e termina às 06:28 do dia 06/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A43 - Gráfico do evento 13\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:47 do dia 27/08 e termina às 14:42 do dia 30/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A44 - Gráfico do evento 14\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:42 do dia 30/08 e termina às 17:56 do dia 02/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A45 - Gráfico do evento 15\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:43 do dia 06/09 e termina às 00:27 do dia 09/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A46 - Gráfico da continuação do evento 15\_2000. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:43 do dia 06/09 e termina às 00:27 do dia 09/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A47 - Gráfico do evento 1\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:36 do dia 22/02 e termina às 17:29 do dia 24/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A48 - Gráfico do evento 2\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:36 do dia 06/04 e termina às 18:31 do dia 10/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A49 - Gráfico do evento 3\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:00 do dia 10/05 e termina às 11/47 do dia 15/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 3\_2001



Figura A50 – Gráfico da continuação do evento 3\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:00 do dia 10/05 e termina às 11/47 do dia 15/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A51 – Gráfico do evento 4\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:01 do dia 09/06 e termina às 19:33 do dia 11/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A52 – Gráfico da continuação do evento 4\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:01 do dia 09/06 e termina às 19:33 do dia 11/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A53 – Gráfico do evento 5\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:07 do dia 15/07 e termina às 18:46 do dia 17/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A54 – Gráfico do evento 6\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:43 do dia 24/07 e termina às 05:40 do dia 26/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A55 – Gráfico do evento 7\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:41 do dia 12/08 e termina às 09:19 do dia 15/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A56 – Gráfico do evento 8\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:29 do dia 02/09 e termina às 03:33 do dia 05/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A57 – Gráfico do evento 9\_2001. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:31 do dia 11/09 e termina às 19:13 do dia 13/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A58 – Gráfico do evento 1\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:20 do dia 04/03 e termina às 01:06 do dia 07/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A59 – Gráfico do evento 2\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:30 do dia 14/05 e termina às 00:32 do dia 17/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A60 – Gráfico do evento 3\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:13 do dia 08/06 e termina às 05:25 do dia 12/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 3\_2002



Figura A61 – Gráfico da continuação do evento 3\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:13 do dia 08/06 e termina às 05:25 do dia 12/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 3\_2002



Figura A62 – Gráfico do evento 4\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:04 do dia 18/06 e termina às 11:33 do dia 20/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 4\_2002



Figura A63 – Gráfico da continuação do evento 4\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:04 do dia 18/06 e termina às 11:33 do dia 20/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 4\_2002



Figura A64 – Gráfico do evento 5\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 01:37 do dia 22/07 e termina às 06:18 do dia 24/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A65 – Gráfico do evento 6\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:40 do dia 11/08 e termina às 12:42 do dia 13/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A66 – Gráfico do evento 7\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:10 do dia 13/08 e termina às 15:21 do dia 16/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A67 – Gráfico do evento 8\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:41 do dia 17/08 e termina às 05:00 do dia 19/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 8\_2002



Figura A68 – Gráfico da continuação do evento 8\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:41 do dia 17/08 e termina às 05:00 do dia 19/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A69 – Gráfico do evento 9\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:40 do dia 25/08 e termina às 02:22 do dia 28/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A70 – Gráfico do evento 10\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:48 do dia 31/08 e termina às 12:59 do dia 02/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A71 – Gráfico do evento 11\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 12/09 e termina às 19:39 do dia 14/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A72 – Gráfico do evento 12\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:40 do dia 06/10 e termina às 13:08 do dia 13/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A73 – Gráfico da continuação do evento 12\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:40 do dia 06/10 e termina às 13:08 do dia 13/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A74 – Gráfico do evento 13\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:00 do dia 24/10 e termina às 15:46 do dia 29/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A75 – Gráfico da continuação do evento 13\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:00 do dia 24/10 e termina às 15:46 do dia 29/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A76 – Gráfico do evento 14\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:31 do dia 29/10 e termina às 08:39 do dia 01/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A77 – Gráfico do evento 15\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:47 do dia 01/11 e termina às 19:01 do dia 08/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A78 – Gráfico da continuação do evento 15\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:47 do dia 01/11 e termina às 19:01 do dia 08/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A79 – Gráfico do evento 16\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:00 do dia 21/11 e termina às 22:00 do dia 26/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A80 – Gráfico do evento 17\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:12 do dia 29/11 e termina às 20:30 do dia 03/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A81 – Gráfico do evento 18\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:33 do dia 26/12 e termina às 18:06 do dia 28/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A82 – Gráfico da continuação do evento 18\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:33 do dia 26/12 e termina às 18:06 do dia 28/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 18\_2002



Figura A83 – Gráfico do evento 19\_2002. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:22 do dia 29/12 e termina às 12:27 do dia 31/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A84 – Gráfico do evento 1\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:50 do dia 18/01 e termina às 04:46 do dia 23/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 1\_2003



Figura A85 – Gráfico da continuação do evento 1\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:50 do dia 18/01 e termina às 04:46 do dia 23/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A86 – Gráfico do evento 2\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:13 do dia 24/01 e termina às 01:30 do dia 27/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A87 – Gráfico do evento 3\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 03/02 e termina às 21:04 do dia 11/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A88 - Gráfico da continuação do evento 3\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 03/02 e termina às 21:04 do dia 11/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 3\_2003



Figura A89 – Gráfico do evento 4\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:46 do dia 13/02 e termina às 21:42 do dia 21/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A90 – Gráfico da continuação do evento 4\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:46 do dia 13/02 e termina às 21:42 do dia 21/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A91 – Gráfico do evento 5\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:00 do dia 03/03 e termina às 15:45 do dia 07/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A92 – Gráfico do evento 6\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:01 do dia 14/03 e termina às 21:35 do dia 19/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A93 – Gráfico do evento 7\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:21 do dia 01/04 e termina às 10:23 do dia 06/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A94 – Gráfico do evento 8\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:37 do dia 10/04 e termina às 07:09 do dia 12/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 8\_2003



Figura A95 – Gráfico da continuação do evento 8\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:37 do dia 10/04 e termina às 07:09 do dia 12/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A96 – Gráfico do evento 9\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:37 do dia 15/04 e termina às 06:53 do dia 19/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A97 – Gráfico do evento 10\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:45 do dia 20/04 e termina às 14:31 do dia 28/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A98 – Gráfico da continuação do evento 10\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:45 do dia 20/04 e termina às 14:31 do dia 28/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A99 – Gráfico do evento 11\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 13:04 do dia 29/04 e termina às 17:44 do dia 04/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A100 – Gráfico da continuação do evento 11\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 13:04 do dia 29/04 e termina às 17:44 do dia 04/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A101 – Gráfico do evento 12\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:02 do dia 05/05 e termina às 08:00 do dia 09/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A102 – Gráfico do evento 13\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:42 do dia 10/05 e termina às 14:12 do dia 16/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A103 – Gráfico da continuação do evento 13\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:42 do dia 10/05 e termina às 14:12 do dia 16/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 13\_2003



Figura A104 – Gráfico do evento 14\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:00 do dia 22/05 e termina às 14:52 do dia 26/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A105 – Gráfico do evento 15\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:27 do dia 26/05 e termina às 12:00 do dia 29/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A106 – Gráfico do evento 16\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:24 do dia 31/05 e termina às 18:04 do dia 12/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A107 – Gráfico da continuação do evento 16\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:24 do dia 31/05 e termina às 18:04 do dia 12/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A108 – Gráfico do evento 17\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 18:58 do dia 13/06 e termina às 07:00 do dia 16/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A109 – Gráfico do evento 18\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 18/06 e termina às 11:45 do dia 22/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A110 – Gráfico da continuação do evento 18\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 18/06 e termina às 11:45 do dia 22/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A111 – Gráfico do evento 19\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:41 do dia 22/06 e termina às 17:29 do dia 06/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A112 – Gráfico da continuação do evento 19\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:41 do dia 22/06 e termina às 17:29 do dia 06/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A113 – Gráfico do evento 20\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:00 do dia 12/07 e termina às 12:08 do dia 15/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A114 – Gráfico do evento 21\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:59 do dia 18/07 e termina às 06:22 do dia 21/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A115 – Gráfico da continuação do evento 21\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:59 do dia 18/07 e termina às 06:22 do dia 21/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A116 – Gráfico do evento 22\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:00 do dia 27/07 e termina às 10:47 do dia 04/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A117 – Gráfico da continuação do evento 22\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:00 do dia 27/07 e termina às 10:47 do dia 04/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A118 – Gráfico do evento 23\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:47 do dia 07/08 e termina às 12:23 do dia 10/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A119 – Gráfico da continuação do evento 23\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:47 do dia 07/08 e termina às 12:23 do dia 10/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A120 – Gráfico do evento 24\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:39 do dia 11/08 e termina às 11:10 do dia 14/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A121 – Gráfico do evento 25\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:00 do dia 21/08 e termina às 02:12 do dia 26/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A122 – Gráfico do evento 26\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 18/09 e termina às 20:06 do dia 22/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A123 – Gráfico do evento 27\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 01:55 do dia 23/09 e termina às 01:43 do dia 27/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

226



Figura A124 – Gráfico do evento 28\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:00 do dia 14/10 e termina às 18:41 do dia 22/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A125 – Gráfico da continuação do evento 28\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:00 do dia 14/10 e termina às 18:41 do dia 22/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A126 – Gráfico do evento 29\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:00 do dia 01/11 e termina às 10:39 do dia 03/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A127 – Gráfico do evento 30\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:01 do dia 08/11 e termina às 18:52 do dia 19/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

230



Figura A128 – Gráfico da continuação do evento 30\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:01 do dia 08/11 e termina às 18:52 do dia 19/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A129 – Gráfico do evento 31\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:14 do dia 04/12 e termina às 02:28 do dia 07/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A130 – Gráfico da continuação do evento 31\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:14 do dia 04/12 e termina às 02:28 do dia 07/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 31\_2003



Figura A131 – Gráfico do evento 32\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:11 do dia 07/12 e termina às 06:35 do dia 17/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A132 – Gráfico da continuação do evento 32\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:11 do dia 07/12 e termina às 06:35 do dia 17/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A133 – Gráfico do evento 33\_2003. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:28 do dia 20/12 e termina às 02:33 do dia 23/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A134 – Gráfico do evento 1\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:26 do dia 02/01 e termina às 11:13 do dia 06/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A135 – Gráfico do evento 2\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:24 do dia 08/01 e termina às 20:02 do dia 10/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A136 – Gráfico do evento 3\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:06 do dia 15/01 e termina às 03:00 do dia 22/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A137 – Gráfico da continuação do evento 3\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:06 do dia 15/01 e termina às 03:00 do dia 22/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A138 – Gráfico do evento 4\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:00 do dia 25/01 e termina às 04:54 do dia 27/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A139 – Gráfico do evento 5\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 17:11 do dia 05/02 e termina às 21:01 do dia 07/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A140 – Gráfico do evento 6\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:00 do dia 12/02 e termina às 01:00 do dia 16/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A141 – Gráfico do evento 7\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:02 do dia 22/02 e termina às 05:06 do dia 25/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A142 – Gráfico do evento 8\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:50 do dia 28/02 e termina às 02:48 do dia 03/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A143 – Gráfico da continuação do evento 8\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 03:50 do dia 28/02 e termina às 02:48 do dia 03/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A144 – Gráfico do evento 9\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:00 do dia 10/03 e termina às 05:23 do dia 16/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 9\_2004



Figura A145 – Gráfico da continuação do evento 9\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:00 do dia 10/03 e termina às 05:23 do dia 16/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

248

Continuação do Evento 9\_2004



Figura A146 – Gráfico do evento 10\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 12:51 do dia 26/03 e termina às 15:37 do dia 30/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A147 – Gráfico do evento 11\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:08 do dia 03/05 e termina às 12:52 do dia 06/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A148 – Gráfico do evento 12\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:14 do dia 30/05 e termina às 07:31 do dia 03/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A149 – Gráfico do evento 13\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:45 do dia 13/06 e termina às 14:57 do dia 16/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A150 – Gráfico do evento 14\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 18:53 do dia 28/06 e termina às 02:35 do dia 03/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 14\_2004



Figura A151 – Gráfico da continuação do evento 14\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 18:53 do dia 28/06 e termina às 02:35 do dia 03/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 14\_2004



Figura A152 – Gráfico do evento 15\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:43 do dia 06/09 e termina às 16:43 do dia 08/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A153 – Gráfico da continuação do evento 15\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:43 do dia 06/09 e termina às 16:43 do dia 08/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A154 – Gráfico do evento 16\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:04 do dia 13/09 e termina às 12:37 do dia 18/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A155 – Gráfico da continuação do evento 16\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 20:04 do dia 13/09 e termina às 12:37 do dia 18/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A156 – Gráfico do evento 17\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:29 do dia 03/10 e termina às 08:36 do dia 05/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A157 – Gráfico do evento 18\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:56 do dia 12/10 e termina às 02:58 do dia 16/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A158 – Gráfico do evento 19\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:55 do dia 24/11 e termina às 01:19 do dia 27/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A159 – Gráfico da continuação do evento 19\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:55 do dia 24/11 e termina às 01:19 do dia 27/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A160 – Gráfico do evento 20\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:25 do dia 27/11 e termina às 12:01do dia 01/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A161 – Gráfico do evento 21\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:54 do dia 06/12 e termina às 01:24do dia 09/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A162 – Gráfico do evento 22\_2004. O evento quase-HILDCAA se inicia às 16:51 do dia 27/12 e termina às 00:41do dia 31/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A163 – Gráfico do evento 1\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:00 do dia 02/01 e termina às 23:16 do dia 05/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A164 – Gráfico do evento 2\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:00 do dia 07/02 e termina às 05:24 do dia 12/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A165 – Gráfico da continuação do evento 2\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:00 do dia 07/02 e termina às 05:24 do dia 12/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A166 – Gráfico do evento 3\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 17:00 do dia 06/03 e termina às 17:40 do dia 10/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A167 – Gráfico do evento 4\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 04:26 do dia 25/03 e termina às 23:53 do dia 27/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A168 – Gráfico do evento 5\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:00 do dia 12/04 e termina às 06:16 do dia 16/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A169 – Gráfico do evento 6\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:14 do dia 29/04 e termina às 06:02 do dia 04/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A170 – Gráfico da continuação do evento 6\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:14 do dia 29/04 e termina às 06:02 do dia 04/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A171 – Gráfico do evento 7\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 07:04 do dia 11/05 e termina às 18:03 do dia 13/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A172 – Gráfico do evento 8\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:50 do dia 26/07 e termina às 09:32 do dia 30/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A173 – Gráfico da continuação do evento 8\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:50 do dia 26/07 e termina às 09:32 do dia 30/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A174 – Gráfico do evento 9\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:53 do dia 05/08 e termina às 15:01 do dia 08/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A175 – Gráfico do evento 10\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 22:32 do dia 03/09 e termina às 03:58 do dia 06/09. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A176 – Gráfico do evento 11\_2005. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:30 do dia 02/11 e termina às 10:27 do dia 05/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A177 – Gráfico do evento 1\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:40 do dia 19/02 e termina às 17:09 do dia 22/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 1\_2006



Figura A178 – Gráfico da continuação do evento 1\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 15:40 do dia 19/02 e termina às 17:09 do dia 22/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Continuação do Evento 1\_2006



Figura A179 – Gráfico do evento 2\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:41 do dia 18/03 e termina às 09:58 do dia 22/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A180 – Gráfico da continuação do evento 2\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:41 do dia 18/03 e termina às 09:58 do dia 22/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A181 – Gráfico do evento 3\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:41 do dia 14/04 e termina às 01:49 do dia 17/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A182 – Gráfico do evento 4\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:18 do dia 06/06 e termina às 17:47 do dia 11/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A183 – Gráfico da continuação do evento 4\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 02:18 do dia 06/06 e termina às 17:47 do dia 11/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A184 – Gráfico do evento 5\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 21:46 do dia 14/06 e termina às 19:06 do dia 17/06. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A185 – Gráfico do evento 6\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 10:39 do dia 04/07 e termina às 11:33 do dia 06/07. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.


Figura A186 – Gráfico do evento 7\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:59 do dia 20/08 e termina às 07:26 do dia 23/08. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A187 – Gráfico do evento 8\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:10 do dia 12/10 e termina às 00:17 do dia 16/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A188 – Gráfico do evento 9\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 05:00 do dia 28/10 e termina às 16:28 do dia 30/10. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A189 – Gráfico do evento 10\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 19:07 do dia 09/11 e termina às 14:13 do dia 12/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A190 – Gráfico do evento 11\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 06:31 do dia 23/11 e termina às 14:30 do dia 26/11. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A191 – Gráfico do evento 12\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 06/12 e termina às 04:28 do dia 09/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A192 – Gráfico da continuação do evento 12\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 00:00 do dia 06/12 e termina às 04:28 do dia 09/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A193 – Gráfico do evento 13\_2006. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:29 do dia 19/12 e termina às 00:42 do dia 24/12. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A194 – Gráfico do evento 1\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 23:07 do dia 01/01 e termina às 16:07 do dia 05/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A195 – Gráfico do evento 2\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:39 do dia 16/01 e termina às 01:58 do dia 20/01. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A196 – Gráfico do evento 3\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:02 do dia 29/01 e termina às 00:50 do dia 01/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A197 – Gráfico da continuação do evento 3\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:02 do dia 29/01 e termina às 00:50 do dia 01/02. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A198 – Gráfico do evento 4\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 08:45 do dia 27/02 e termina às 17:08 do dia 01/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Dia do Ano (de 12/03/2007 à 22/03/2007)

Figura A199 - Gráfico do evento 5\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 11:23 do dia 12/03 e termina às 17:00 do dia 14/03. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.

Evento 5\_2007



Figura A200 – Gráfico do evento 6\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:00 do dia 01/04 e termina às 11:15 do dia 03/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A201 – Gráfico do evento 7\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 09:50 do dia 27/04 e termina às 17:00 do dia 30/04. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.



Figura A202 – Gráfico do evento 8\_2007. O evento quase-HILDCAA se inicia às 14:00 do dia 23/05 e termina às 20:19 do dia 27/05. O período do evento está marcado pela intersecção da área do retângulo com os painéis relacionados aos parâmetros do vento solar.