



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.10.16.57-TDI

**ESTUDO DO ACOPLAMENTO VENTO
SOLAR-MAGNETOSFERA DURANTE EVENTOS
HILDCAAS UTILIZANDO ANÁLISE POR WAVELETS**

Adriane Marques de Souza

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial/Ciências do Ambiente Solar-Terrestre, orientada pelos Drs. Ezequiel Echer, e Maurício José Alves Bolzam, aprovada em 25 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HTNTA2>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.10.16.57-TDI

**ESTUDO DO ACOPLAMENTO VENTO
SOLAR-MAGNETOSFERA DURANTE EVENTOS
HILDCAAS UTILIZANDO ANÁLISE POR WAVELETS**

Adriane Marques de Souza

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial/Ciências do Ambiente Solar-Terrestre, orientada pelos Drs. Ezequiel Echer, e Maurício José Alves Bolzam, aprovada em 25 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HTNTA2>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Souza, Adriane Marques de.

So89e Estudo do acoplamento vento solar-magnetosfera durante eventos HILDCAAs utilizando análise por wavelets / Adriane Marques de Souza. – São José dos Campos : INPE, 2015.
xxxii + 158 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.10.16.57-TDI)

Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial/Ciências do Ambiente Solar-Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientadores : Drs. Ezequiel Echer, e Maurício José Alves Bolzam.

1. HILDCAAs. 2. Acoplamento vento solar-magnetosfera.
3. Wavelets. 4. Índice AE. 5. Atividades geomagnéticas. I.Título.

CDU 52-854:517.44

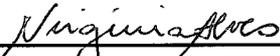


Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
**Geofísica Espacial/Ciências do Ambiente
Solar-Terrestre**

Dra. Maria Virgínia Alves



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Ezequiel Echer



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Maurício José Alves Bolzam



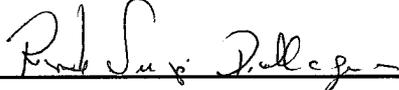
Orientador(a) / UFG / Jataí - GO

Dr. Odim Mendes Junior



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Renato Sérgio Dallaqua



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Alan Prestes



Convidado(a) / UNIVAP / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Adriane Marques de Souza**

São José dos Campos, 25 de Fevereiro de 2015

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Dedico a meus pais Edézio Martins de Souza e Maria Marques de Souza, e a meu noivo pelo apoio e por acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus ter me dado força e vontade de seguir em frente nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus orientadores Dr. Ezequiel Echer e Dr. Maurício José Alves Bolzam a orientação dada para realização deste trabalho, que permitiu que o mesmo se concretizasse.

Agradeço novamente ao Dr. Maurício a paciência, ter me incentivado e acreditado em mim desde a iniciação científica na faculdade.

Aos professores do INPE o conhecimento transmitido.

Aos meus colegas Anna Karina, German Fariñas e Jenny Marcela pela atenção, carinho e contribuições dadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha família que sempre me apoiou nessa batalha. A meus avós Joaquim e Sebastiana o apoio e a atenção que sempre me deram. Aos meus pais as palavras certas nas horas que mais precisei. Às minhas irmãs Daiane e Laura as conversas no Skype que me motivavam e me ajudavam resistir à saudade. À minha sobrinha Geovana que apesar de tão pequenina me fez rir e me sentir renovada com suas frases curtas e meigas.

Aos meus amigos, Daniele Guimarães, Jaqueline Vieira, Mayra Carrijo e Maurício Vieira a amizade, que, apesar da distância estiveram sempre presentes em minha vida.

Agradeço ao meu noivo o companheirismo, o afeto e a compreensão.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a oportunidade e o suporte em minha formação.

RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo do acoplamento vento solar-magnetosfera durante eventos de contínua, prolongada e elevada atividade do índice AE, (HILDCAAs, do inglês *High Intensity Long Duration Continuous AE Activity*). O objetivo do trabalho é encontrar as principais frequências nos eventos HILDCAAs, bem como as frequências às quais a magnetosfera responde ao vento solar durante esses eventos. Para isso foi utilizada a técnica de análise por wavelets. A Transformada Wavelet de Morlet foi utilizada para os dados do índice AE (do inglês *Auroral Electrojet*) para todos os eventos HILDCAAs ocorridos entre 1975 e 2011. Também foi analisada a componente Bz do campo magnético do meio interplanetário (IMF, do inglês *Interplanetary Magnetic Field*) dos eventos HILDCAAs a partir de 1995 e também a componente Bx geomagnética na magnetocauda para 9 eventos HILDCAAs em que os satélites da constelação Cluster cruzaram esta região. A wavelet de Morlet foi escolhida devido à mesma fornecer boa localização em frequência. A técnica de análise por Wavelet Cruzada também foi usada para esse estudo, com a finalidade de encontrar a correlação entre a componente Bz do IMF com o índice AE, bem como a correlação entre Bz do IMF e a componente Bx do campo geomagnético e também entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE. A correlação cruzada clássica também foi usada para complementar essa análise e determinar a defasagem entre as séries estudadas. A componente Bz do IMF foi analisada usando os sistemas de coordenadas GSE e GSM. As análises do índice AE mostram que os eventos HILDCAAs apresentam períodos característicos entre 4 e 12 horas. A componente Bz do meio interplanetário apresenta períodos entre 0 e 8 hora, independente do sistema de coordenadas utilizado. Além disso, constatou-se que o acoplamento vento solar- magnetosfera é mais eficiente em períodos entre 0 e 8 horas. Pela correlação cruzada clássica observou-se correlação moderada entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE, com defasagem de 20 a 30 minutos.

STUDY OF SOLAR WIND MAGNETOSPHERE COUPLING DURING HILDCAA EVENTS USING WAVELET ANALYSIS

ABSTRACT

In this work a solar wind magnetosphere coupling study during HILDCAA events was conducted. The aim of this study was to search the main frequencies of HILDCAA, both in AE index and in the interplanetary magnetic field Bz component, as well as the main frequencies with which the magnetosphere responds to the solar wind during these events. In order to conduct this analysis the wavelet transform was employed. The Morlet Wavelet Transform was applied in the AE index, IMF Bz and geomagnetic tail Bx data. The Morlet wavelet was chosen because it provides good location in frequency. The cross wavelet analysis technique was also used for the development of this study, aiming to find the correlation between the Bz component of IMF and the AE index and the correlation between Bz and Bx, and between Bx and AE. The classic cross-correlation was also used to complement this analysis and determine the lag between the time series studied. The IMF Bz component was analyzed in both GSE and GSM coordinate systems. It was observed that the periods of the index AE during HILDCAAs lie between 4 and 12 hours. In the interplanetary medium, characteristics periods are ≤ 8 hours, regardless of the coordinate system used. Further, it was found that the solar wind - magnetosphere coupling is more efficient at periods shorter than ≤ 8 hours. The correlation between the IMF BZ (GSM) and AE index was moderate, with lag of 20 to 30 minutes.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1- Ilustração da magnetosfera.....	9
Figura 2.2- Os dois primeiros painéis apresentam o espectrograma de energia de H ⁺ e a componente Bx do Campo geomagnético coletados pelo Cluster, e os painéis abaixo informações do vento solar (Temperatura, densidade, IMF, e suas componentes Bx, By e Bz) coletado do ACE, entre 14 e 28 de setembro de 2003.....	12
Figura 2.3- Localização dos observatórios utilizados para obtenção do índice AE.	15
Figura 2.4- O painel superior apresenta os envelopes superior e inferior dos dados da componente H do campo geomagnético, que representam os índices AU e AL, respectivamente. O segundo painel apresenta o índice AE na parte superior e o índice AO, usando dados do dia 8 de maio de 1974.	16
Figura 2.5- Eletrojatos aurorais na direção leste (EEJ) e na direção oeste (WEJ), os círculos pontilhados representam a oval auroral. Fonte:(http://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/26/auroral_electroject_indices).....	17
Figura 2.6- Intensidade do índice Dst para a tempestade geomagnética que ocorreu entre 12 e 16 de julho de 1982; o eixo y representa a intensidade do índice Dst(nT) e o eixo x os dias.	19
Figura 2.7-índices AU e AL durante uma subtempestade, e a indicação de cada fase de um evento de subtempestade magnética.	21
Figura 2.8- Esquema das características visíveis nos índices AE, Dst e componente Bz do IMF para eventos de subtempestades e eventos HILDCAAs.	27

Figura 2.9- Comparação entre o comportamento da componente Bz do IMF e do índice AE durante subtempestades magnéticas e HILDCAAs. A componente Bz do IMF é apresentada no painel superior durante a subtempestade magnética (à esquerda), e durante um evento HILDCAA (à direita). O índice AE é apresentado no painel inferior durante a subtempestade magnética (à esquerda) e durante o evento HILDCAA (à direita).....	27
Figura 2.10- Comparação entre a localização das auroras formadas por subtempestades magnética (à esquerda) que ocorreu em Janeiro de 2000 e HILDCAA (à direita) de Julho de 1998.	29
Figura 3.1- Relação entre os sistemas de coordenadas GSE e GSM, sendo que D representa o dipolo magnético terrestre.	37
Figura 3.2-Parte real da wavelet de Morlet, para $\xi_0 = 5$	42
Figura 3.3-a) Séries temporais da componente Bz do IMF (GSM) e índice AE. b) Wavelet cruzada entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 14:15 UT do dia 28 e 16:27 UT do dia 30 de outubro de 2006. c) Espectro de wavelet global.	45
Figura 3.4- Correlação cruzada clássica entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE para o evento HILDCAA que ocorreu entre 14:15 UT do dia 28 e 16:27 UT do dia 30 de outubro de 2006.	47
Figura 4.1- a)Série temporal do índice AE. b) Gráfico da TW para o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003. c) Espectro de Wavelet Global (GWS).	51
Figura 4.2- Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia do índice AE durante os eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011.....	53

Figura 4.3-	Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia dos 133 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011, utilizando apenas o pico principal.	54
Figura 4.4-a)	Série temporal da componente Bz do IMF em coordenadas GSE .	
b)	TW para Bz do IMF (GSE) durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003.	
c)	Espectro de Wavelet Global.....	56
Figura 4.5-	Histograma com frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia durante eventos HILDCAAs no meio interplanetário usando coordenadas GSE.....	58
Figura 4.6- a)	Série temporal da componente Bz do IMF em coordenadas GSM .	
b)	Gráfico da transformada wavelet para Bz do IMF (GSM) durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003.	
c)	Espectro de Wavelet Global.....	59
Figura 4.7-	Histograma do período versus percentual de períodos de maior energia dos eventos HILDCAAs no meio interplanetário usando coordenadas GSM.	61
Figura 4.8- a)	Série temporal da componente Bx do campo geomagnético.	
b)	TW durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007.	
c)	GWS.....	67
Figura 4.9- a)	Série temporal da componente Bx do campo geomagnético com corte de 5 horas no início.	
b)	TW durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007.	
c)	GWS.....	68
Figura 4.10-a)	Série temporal da componente Bx do campo geomagnético .	
b)	Gráfico da TW para Bx durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 19:49 UT do dia 15 e 5:39 UT do dia 18 do mês de setembro de 2004.	
c)	Espectro de Wavelet Global.	69

Figura 4.11- Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos da componente Bx do campo geomagnético na cauda magnetosférica durante eventos HILDCAAs.....	71
Figura 4.12- a) Série temporal do índice AE. b) Gráfico da TW do índice AE durante o vento HILDCAA que ocorreu entre as 13:14 UT do dia 22 e 14:42 UT do mês de dezembro de 1986.	72
Figura 4.13- Histograma das características de distribuição de energia do índice AE durante HILDCAAs.	73
Figura 4.14- Histograma das características de distribuição de energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSE durante HILDCAAs.	77
Figura 4.15- Histograma das características dos sinais dos períodos de maior energia da componente Bz do IMF em coordenadas GSM durante HILDCAAs.	79
Figura 4.16- Histograma com as formas de distribuição de energia da componente Bx durante HILDCAAs.	80
Figura 4.17- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSE e componente Bx do campo geomagnético. b) TWC para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.....	82
Figura 4.18- Histograma dos períodos de maior correlação entre a componente Bz do IMF (GSE) e a componente Bx do campo geomagnético. ...	84
Figura 4.19- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSM e componente Bx do campo geomagnético. b) Wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.	85

Figura 4.20- Histograma dos períodos de maior correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e a componente Bx do campo geomagnético...	88
Figura 4.21- Histograma da classificação da distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e a componente Bx do campo geomagnético.	90
Figura 4.22- Histograma da classificação da distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e a componente Bx do campo geomagnético.	91
Figura 4.23- a) Séries temporais da componente Bx do campo geomagnético e do índice AE; b) TWC para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.	93
Figura 4.24- Histograma dos períodos de maior correlação entre Bx do campo geomagnético e o índice AE.....	95
Figura 4.25- Histograma com as formas de distribuição de correlação entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE durante HILDCAAs.	96
Figura 4.26- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSE e do índice AE, b) wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:48 UT do dia 12 e 21:05 UT do dia 14 do mês de fevereiro de 1995. c) Espectro de Wavelet Global.	97
Figura 4.27- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSM e do índice AE, b) wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:48 UT do dia 12 e 21:05 UT do dia 14 do mês de fevereiro de 1995. c) Espectro de Wavelet Global.	98
Figura 4.28- Frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior potência cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE durante eventos HILDCAAs.....	99

Figura 4.29- Frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior potência cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e o índice AE durante eventos HILDCAAs.	100
Figura 4.30- Classificação da forma de distribuição de correlação entre Bz IMF em coordenadas GSE e o índice AE.....	103
Figura 4.31- Classificação da forma de distribuição de correlação entre Bz IMF em coordenadas GSM e índice AE.	103
Figura 4.32- Correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSE) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 17:11UT do dia 24 e as 16:46 UT do dia 27 de abril de 1998.	105
Figura 4.33- Correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 17:11 UT do dia 24 e as 16:46 UT do dia 27 de abril de 1998.	105
Figura 4.34- Histograma da defasagem entre a componente Bz do IMF (GSE) e o índice AE durante eventos HILDCAAs.	109
Figura 4.35- Histograma da defasagem entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante eventos HILDCAAs.	113
Figura 4.36- Dispersão da duração e dos períodos do índice AE durante HILDCAAs.	114
Figura 4.37- Dispersão da duração e dos períodos da componente Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs.....	115
Figura 4.38- Dispersão da duração e dos períodos da componente Bz do IMF (GSM) durante HILDCAAs.	116
Figura 4.39- Dispersão dos períodos e densidade de energia do índice AE durante HILDCAAs.....	117
Figura 4.40- Dispersão dos períodos e densidade de energia da componente Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs.....	118

Figura 4.41- Dispersão dos períodos e densidade de energia da componente
Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs..... 119

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1- Lista de eventos HILDCAAs entre 1975-2011.....	31
Tabela 4.1- Número de períodos de maior energia identificados e percentagens por intervalo de período para o índice AE durante os 133 eventos HILDCAAs.....	52
Tabela 4.2- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenada GSE durante os eventos HILDCAAs.....	57
Tabela 4.3- Informações sobre os períodos da componente BZ do IMF em coordenada GSM durante os eventos HILDCAAs.....	60
Tabela 4.4- Informações sobre os dados da componente Bx do campo geomagnético usados para análise dos efeitos dos HILDCAAs na magnetocauda terrestre.....	63
Tabela 4.5- Informações sobre os períodos da componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados. ...	70
Tabela 4.6- Número de períodos de maior energia e percentual correspondente a cada classificação.....	73
Tabela 4.7- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para o índice AE.....	75
Tabela 4.8- Características da forma dos sinais dos períodos de maior energia da componente Bz do IMF em coordenadas GSE.....	76
Tabela 4.9- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para a componente Bz do IMF (GSE).....	78
Tabela 4.10- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para a componente Bz do IMF (GSM).....	79
Tabela 4.11- Classificação da distribuição de energia da componente Bx do campo geomagnético durante eventos HILDCAAs.....	80

Tabela 4.12- Períodos de maior correlação e suas respectivas correlações entre a componente Bz do IMF (GSE) e a componente Bx do campo geomagnético.	83
Tabela 4.13- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSE) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.....	84
Tabela 4.14- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.....	86
Tabela 4.15- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.....	87
Tabela 4.16- Características de distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e a componente Bx do campo geomagnético durante HILDCAAS.....	89
Tabela 4.17- Características de distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e a componente Bx do campo geomagnético durante HILDCAAS.....	91
Tabela 4.18- Períodos e correlação entre o Bx do campo geomagnético e o índice AE.....	94
Tabela 4.19- Classificação da forma de correlação entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE durante eventos HILDCAAs.	95
Tabela 4.20- Período com maior potência cruzada entre o índice AE e Bx do IMF em coordenadas GSM e GSE com seu respectivo percentual, relativos aos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.	101
Tabela 4.21- Classificação da forma em que o índice AE e a componente Bz do IMF (em coordenadas GSM e GSE) estão correlacionados durante os 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.....	102

Tabela 4.22- Tabela com a correlação e a defasagem entre Bz do IMF (GSE) e o índice AE dos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.	106
Tabela 4.23- Classificação da correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSE) dos eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.	108
Tabela 4.24- Os intervalos de defasagem entre a componente Bz do IMF (GSE) e o índice AE, com número de eventos em cada intervalo e seu respectivo percentual.	109
Tabela 4.25- Tabela com a correlação e a defasagem entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE dos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011	110
Tabela 4.26- Classificação da correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSM) dos eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.	111
Tabela 4.27- Os intervalos de defasagem entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE, com número de eventos em cada intervalo e seu respectivo percentual.....	112
Tabela A.2- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenadas GSE.	146
Tabela A.3- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenadas GSM.	153

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1. Vento Solar.....	5
2.2. Magnetosfera Terrestre	8
2.2.1. Magnetopausa.....	9
2.2.2. Cúspides polares.....	10
2.2.3. Plasmasfera	10
2.2.4. Cauda da magnetosfera	10
2.2.5. Lâmina de plasma da magnetocauda	11
2.2.6. Magnetosfera aberta e Magnetosfera fechada.....	12
2.3. Índices geomagnéticos.....	13
2.3.1. Índices do Eletrojato Auroral	14
2.4. Tipos de Atividades Geomagnéticas	17
2.4.1. Tempestades Geomagnéticas.....	18
2.4.2. Subtempestades Geomagnéticas	20
2.4.3. Eventos HILDCAAs	22
2.4.4. HILDCAAs X Subtempestades Magnéticas.....	26
2.4.5. Auroras.....	28
3. MÉTODOS DE ANÁLISE E DADOS UTILIZADOS	31
3.1. Lista de eventos	31
3.2. Dados.....	35
3.3. Metodologia.....	38

3.3.1.	Transformada de Fourier	38
3.3.2.	Transformada Wavelet	40
3.3.3.	Espectro de Wavelet Global	44
3.3.4.	Estudo de correlação	44
3.3.4.1.	Transformada Wavelet Cruzada (Cross-Wavelet)	44
3.3.4.2.	Correlação Cruzada Clássica	46
3.3.5.	Aplicação da metodologia	47
4.	RESULTADOS	49
4.1.	Estudo da identificação dos Principais Períodos nos Eventos HILDCAAs	49
4.1.1.	Identificação dos períodos característicos do índice AE durante eventos HILDCAAs	50
4.1.1.1.	Análise usando todos os picos de energia	51
4.1.1.2.	Análise usando apenas o período com maior energia de cada evento	53
4.2.	Períodos Característicos da Componente Bz do IMF Durante Eventos HILDCAAs	55
4.2.1.	TW para Bz do IMF em coordenadas GSE	55
4.2.2.	TW para Bz do IMF em coordenadas GSM	58
4.3.	Identificação dos Períodos Característicos durante os HILDCAAs na Cauda Magnetosférica.	62
4.4.	Classificação da Variação Temporal da Energia nos Principais Períodos Durante os Eventos HILDCAAs	71
4.4.1.	Classificação da distribuição de energia para o índice AE	73
4.4.2.	Classificação da distribuição de energia para a componente Bz do IMF	76

4.4.2.1.	Classificação da distribuição de energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSE	76
4.4.2.2.	Classificação da característica dos sinais dos períodos de maior energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSM.....	78
4.4.3.	Classificação da característica dos períodos de maior energia do Bx na cauda durante HILDCAAs	80
4.5.	Estudo correlação entre a componente Bz do IMF e a componente Bx do campo geomagnético na cauda durante eventos HILDCAAs	81
4.5.1.	Transformada Wavelet Cruzada entre Bz do IMF (GSE) e Componente Bx do Campo Geomagnético	81
4.5.2.	Transformada Wavelet Cruzada entre Bz do IMF (GSM) e Componente Bx do Campo Geomagnético	85
4.5.3.	Classificação da forma do sinal de distribuição da correlação	89
4.5.3.1.	Classificação da forma de distribuição da correlação usando Bz do IMF em coordenadas GSE	89
4.5.3.2.	Classificação da forma de distribuição da correlação usando Bz do IMF em coordenadas GSM	90
4.6.	Transferência de energia da cauda magnetosférica para região auroral durante eventos HILDCAAS.....	92
4.6.1.	Análise usando a Transformada Wavelet Cruzada	92
4.6.1.1.	Classificação da forma de distribuição da correlação	95
4.7.	Acoplamento Vento Solar-Magnetosfera.....	96
4.7.1.	Análise do acoplamento vento solar-magnetosfera através da TWC	96
4.7.1.1.	Análise estatística da transformada wavelet cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE	98

4.7.1.2.	Análise estatística da wavelet cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e o índice AE	99
4.7.1.3.	Classificação da forma de distribuição da correlação entre AE e Bz durante os eventos HILDCAAs.....	102
4.7.2.	Análise do acoplamento vento solar-magnetosfera através da correlação clássica.....	104
4.7.2.1.	Correlação Cruzada Clássica entre Bz do IMF (GSE) e índice AE	106
4.7.2.2.	Correlação Cruzada Clássica entre Bz do IMF (GSM) e índice AE	110
4.8.	Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia	114
4.8.1.	Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia para o índice AE	114
4.8.2.	Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia para a componente Bz do IMF	115
4.8.2.1.	Usando coordenadas GSE.....	115
4.8.2.2.	Usando coordenadas GSM	115
4.9.	Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia dos eventos HILDCAAs.....	116
4.9.1.	Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia do índice AE	116
4.9.2.	Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia da componente Bz do IMF	117
4.9.2.1.	Usando coordenadas GSE.....	117
4.9.2.2.	Usando coordenadas GSM	118
5.	CONCLUSÕES	121

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICE A – Tabelas com informações do índice AE e Componente Bz do IMF.....	135

1. INTRODUÇÃO

O nosso Sol é uma estrela amarela do tipo G e possui um intenso campo magnético, o qual é rapidamente variável no tempo. Sua atmosfera se constitui de 3 camadas: fotosfera, cromosfera e coroa. A fotosfera é a camada mais interna da atmosfera solar, onde é emitida a radiação na frequência da luz visível, tendo espessura de aproximadamente 500 km e apresentando temperaturas em torno de 5800 K. É na fotosfera que as manchas solares se encontram. A cromosfera é a segunda camada solar, com temperatura média de 15000 K e espessura de cerca de 1500 km. A coroa é a camada solar mais externa, não apresentando um limite exterior bem definido e com temperatura bem superior às demais regiões. Como a coroa é extremamente quente, ela se encontra em expansão contínua e supersônica (supermagnetossônica) pelo espaço interplanetário. Devido ao fato do plasma da coroa solar ser altamente condutor, o mesmo “arrasta” consigo o campo magnético solar, fenômeno o qual é chamado de congelamento das linhas de campo. Este plasma altamente condutor, supermagnetossônico e magnetizado preenche o espaço interplanetário do sistema solar e é chamado de vento solar (KIVELSON; RUSSELL, 1995).

A interação do vento solar magnetizado com os campos magnéticos e as atmosferas ionizadas dos planetas cria uma região especial em volta dos corpos planetários, denominada de magnetosfera. As magnetosferas planetárias podem ser intrínsecas ou induzidas. Chama-se de magnetosfera intrínseca aquelas que são formadas por planetas magnetizados, onde o tamanho da escala espacial é obtido através do balanço de pressão entre a pressão do campo magnético planetário e a pressão que o plasma exerce na magnetosfera. A magnetosfera induzida é consequência da condutividade elétrica da atmosfera do planeta. As correntes que fluem através do planeta e do vento solar formam uma região onde o vento solar flui ao redor da mesma devido à sua desaceleração por forças criadas por essas correntes elétricas (KIVELSON; BAGENAL, 2007; ECHER, 2010a). A variabilidade nas

características da magnetosfera é devida às condições variáveis do vento solar.

Na órbita da Terra, a uma distância do Sol definida como uma unidade astronômica (1 UA, distância Sol-Terra $\sim 150 \times 10^6 \text{ Km}$), o vento solar apresenta condições típicas de velocidade em torno de 400 km/s, densidade de 5 cm^{-3} , intensidade do campo de 5 nT, orientação do campo de $\sim 45^\circ$ em relação à direção radial (espiral de Arquimedes-Parker) (BURLAGA, 1995). No entanto, o vento solar apresenta variações em função do tempo devido a presença de fontes de plasma, oriundas de diversas regiões do Sol, tais como feixes rápidos de buracos coronais, remanescentes interplanetários de ejeções coronais de massa, vento solar comprimido por choques, regiões de interação corrotantes, cruzamentos da lâmina de plasma heliosférica da lâmina de corrente heliosférica (KIVELSON; RUSSELL, 1995; BURLAGA, 1995). Estas variações constituem o vento solar perturbado e causam variações na magnetosfera, registradas como atividade geomagnética (GONZALEZ et al., 1994).

O estudo de eventos que perturbam o campo magnético terrestre é de grande importância pelo fato que o mundo atual depende cada vez mais de tecnologias que são sensíveis a estes distúrbios geomagnéticos. Os processos eletromagnéticos que ocorrem no ambiente do espaço entre o Sol e a Terra (conhecido como geoespaço) e que podem afetar nossas tecnologias, como espaçonaves, redes de telecomunicação, redes elétricas e de navegação, entre outras, e são fonte de estudo do clima espacial. Sendo assim, o clima espacial é o termo usado para o estudo do ambiente do geoespaço, onde busca-se entender as condições do mesmo de forma teórica e prática, visando viabilizar os procedimentos para que atividades tecnológicas e humanas se tornem seguras (ECHER et al., 2005).

Vários estudos desde os anos 1960 foram feitos a respeito de tempestades e subtempestades magnéticas. Em 1987 um novo tipo de atividade magnética foi descoberto por Tsurutani e Gonzalez (1987), os eventos de contínua,

prolongada e elevada atividade do índice AE, conhecidas pelo termo, em inglês, de *High-intensity long-duration continuous AE Activity* (HILDCAAs).

O objetivo geral dessa dissertação consistiu em estudar o acoplamento vento solar-magnetosfera durante evento HILDCAAs utilizando análise por wavelets. Procurou-se determinar os principais períodos/frequências caraterísticos nos eventos HILDCAAs contabilizados entre 1975 e 2011 para o índice AE, para a componente Bz do IMF (para os eventos que ocorreram a partir de 1995), e para a componente Bx do campo geomagnético na cauda magnetosférica (para 9 eventos em que o Cluster cruzou a lâmina de plasma durante sua ocorrência), e também, identificar a forma do sinal dos mesmos. Objetiva-se também identificar as principais frequências em que ocorreram o acoplamento vento solar-magnetosfera, bem como analisar os efeitos dos eventos HILDCAAs na lâmina de plasma, e a transferência de energia da cauda magnetosférica para a região auroral durante a ocorrência desse tipo de evento.

O trabalho se divide em 5 capítulos, sendo este, a introdução, o primeiro. No capítulo 2 foi realizada uma revisão teórica sobre o vento solar, características e configuração da magnetosfera terrestre, índices geomagnéticos, com ênfase no índice AE, e atividades geomagnéticas. O capítulo 3 aborda os dados e a metodologia utilizadas neste trabalho, trazendo uma descrição da Transformada Wavelet, Wavelet Cruzada e da correlação cruzada clássica. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, onde para análise dos resultados foram usados histogramas. E, por fim, a conclusão se encontra no capítulo 5, no qual os principais resultados da dissertação são reapresentados e discutidos de forma sucinta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita uma revisão teórica de conceitos importantes para o desenvolvimento deste trabalho. Na seção 2.1 são abordados conceitos e descrições do vento solar. Na seção 2.2 são apresentadas as características e a configuração da magnetosfera terrestre. A seção 2.3 aborda os índices geomagnéticos com foco no índice AE e, por último, na seção 2.4, as atividades geomagnéticas são apresentadas, dando maior ênfase aos eventos HILDCAAs.

2.1. Vento Solar

Em 1943, o astrônomo alemão Cuno Hoffmeister notou que a cauda dos cometas não apresentava uma disposição totalmente oposta ao seu movimento, apresentando um leve desvio com orientação oposta ao Sol, o que não era justificado por efeitos puramente devidos a pressão da radiação solar (HOFFMEISTER, 1943). Posteriormente, em 1963, tal desvio foi explicado devido à interação da cauda do cometa com o vento solar por L. Biermann (BIERMANN, 1963).

O pesquisador americano Parker previu a existência do vento solar teoricamente em 1958, supondo sua origem como devida ao desequilíbrio entre a pressão na coroa solar e a pressão do meio interplanetário, sendo que tal desequilíbrio levaria à expansão da coroa em um vento solar supersônico (PARKER, 1958, 1965). Posteriormente o físico de plasma sueco Hannes Alfvén propôs um modelo tridimensional para o vento solar, que se assemelha com a saia de uma bailarina e, por isso, é chamado de *Ballerina mode* (ALFVÉN, 1977). A teoria de Parker para o modelo do vento solar foi confirmado em 1959 pela primeira observação do vento solar pela sonda soviética Luna, quando foi detectado um fluxo de plasma no espaço interplanetário nas proximidades da magnetosfera terrestre (SHELTON, 1969). Fluxos de plasma também foram observados em 1962 pela sonda Mariner-2 da

NASA (NEUGEBAUER; SNYDER, 1966), que foi a primeira nave interplanetária bem sucedida.

O vento solar pode ser descrito como um plasma magnetizado altamente condutor, continuamente emitido da coroa solar, que se propaga no espaço interplanetário com velocidade supersônica e que é embebido do campo magnético solar com intensidade típica da ordem de 5 à 10 nT nas proximidades da Terra (BAUMJOHANN; NAKAMURA, 2007).

O vento solar é classificado em duas categorias: o vento solar rápido (que apresenta velocidades entre 400 e 700 km/s, ou mais), e o vento solar lento (com velocidades que variam entre 250 e 400 km/s), que se origina de regiões solares mais ativas (SCHWENN, 2006). O vento solar rápido emitido dos buracos coronais, regiões da coroa solar de baixa densidade e baixa temperatura (comparada com as demais regiões da coroa solar), apresenta linhas de campo magnético “abertas”, favorecendo a ejeção do plasma solar (KRIEGER et al., 1973; BOHLIN, 1976 ; SHELEY et al., 1976). Durante a fase descendente do ciclo solar, as manchas solares se tornam menos frequentes e os buracos coronais começam a migrar para o equador solar, o que aumenta a geofetividade dos mesmos. Quando os buracos coronais estão localizados em baixas latitudes, o vento solar rápido pode atingir mais diretamente a Terra, explicando o maior número de feixes rápidos na fase descendente. Como os buracos coronais têm longa vida, podendo durar mais que uma rotação solar (aproximadamente 27 dias), os mesmos apresentam efeitos recorrentes que podem ser vistos da Terra (TSURUTANI et al., 1999, 2006).

Quando feixes de vento solar de alta velocidade ultrapassam feixes de vento solar mais lentos gera-se uma região de plasma e campo magnético comprimido e flutuante, chamada de regiões de interação corrotantes (do inglês *Corotating Interaction Regions*, CIR) (ALVES et al., 2006). Nas CIRs há compressão e aceleração de plasma de ventos lentos no sentido contrário ao Sol, e compressão e desaceleração dos feixes rápidos no sentido ao Sol. Os feixes rápidos de buracos coronais apresentam grandes flutuações Alfvênicas

(BELCHER, 1971). Sua geofetividade pode ser intensificada com a passagem por choques ou ondas, já que esses aumentam a amplitudes das ondas Alfvénicas (TSURUTANI et al., 2011). A 1UA, as CIRs em geral não apresentam choques bem desenvolvidos e as mesmas podem levar a ocorrência de tempestades geomagnéticas, principalmente de intensidade moderada (com índice que mede a atividade geomagnética na região equatorial entre -50 nT e -100 nT) (ALVES et al., 2006).

Os feixes de vento solar de alta velocidade estão embebidos com ondas de Alfvén (BELCHER; DAVIS, 1971; TSURUTANI et al. 1995, 2006; BOLZAN, et al., 2012). As ondas de Alfvén são ondas magneto-hidrodinâmicas (MHD) que se propagam ao longo das linhas de campo magnético (ALFVÉN, 1942; BITTENCOURT, 2004). Elas se propagam no meio interplanetário com uma velocidade dada pela razão entre a tensão magnética $\left(\frac{B_0^2}{\mu_0}\right)$ e a densidade de massa do plasma ρ_m . Sua velocidade é conhecida como velocidade de Alfvén, expressada como: $V_A = \sqrt{\left(\frac{B_0^2}{\mu_0 \rho_m}\right)}$, em que B_0 é o campo magnético e μ_0 é a permissividade magnética no vácuo. Em um fluido condutor que esteja mergulhado em um campo magnético, tais ondas podem se manifestar como flutuações nas componentes do campo magnético (LEE et al., 2006; BITTENCOURT, 2004). As oscilações ocorrem nas componentes do campo magnético, mas não há variação de densidade e magnitude do campo magnético.

Ao se propagar pelo espaço interplanetário, o vento solar pode encontrar alguns obstáculos, tais como planetas e seus ambientes de plasma. Planetas que possuem campo magnético ou atmosferas ionizadas podem interagir com o vento solar. A interação do vento solar com o campo magnético planetário cria uma cavidade magnética, chamada de magnetosfera (CRAVENS, 1997).

Além dos feixes de vento solar lentos e rápidos, também se observam perturbações no vento solar devido às ejeções de massa coronal interplanetárias, ICMEs (do inglês, *Interplanetary Coronal Mass Ejections*), que

se tratam de remanescentes ejeções de massa coronal, CME (do inglês, *Interplanetary Coronal Mass Ejections*). Essas estruturas viajam no meio interplanetário com altas velocidades, chegando a 1000 km/s (SCHWENN, 2006).

2.2. Magnetosfera Terrestre

Como foi dito anteriormente, chama-se magnetosfera a região de interação do vento solar com o campo magnético de um astro (objeto planetário), no caso de magnetosfera intrínseca, ou a região de interação com atmosferas ionizadas, no caso de magnetosfera induzida. Pode-se determinar o tamanho da magnetosfera por meio do balanço da pressão ou equilíbrio de forças ao longo da linha Terra-Sol, onde a soma da pressão do campo geomagnético e a pressão exercida por um plasma confinado dentro do campo magnético planetário, equilibrando a pressão exercida pelo vento solar (WOLF, 1995; KIVELSON; BAGENAL, 2007; ECHER, 2010a).

Ao longo da linha Sol-Terra, entre 14 e 16 raios terrestres (RT) da posição da Terra, forma-se uma região conhecida como frente de choque. Como o vento solar é “supermagnetossônico”, ao interagir com obstáculos planetários o mesmo deve ser freado. Uma frente de choque é gerada pela desaceleração do vento solar com a magnetosfera (ECHER, 2005). Tal impacto faz com que o plasma seja freado, fazendo com que o vento solar passe de uma velocidade supersônica para subsônica. Parte da energia cinética do vento solar é convertida em energia térmica. Assim, o plasma é desacelerado, aquecido, defletido e comprimido em uma região denominada bainha magnética (LECKBAND et al., 1995). A bainha se encontra entre a magnetopausa e a frente de choque, onde há alta densidade de prótons e temperaturas elevadas devido ao aquecimento e a compressão do plasma (ECHER, 2010a).

A magnetosfera terrestre apresenta várias regiões, tais como a magnetopausa, as cúspides polares, a cauda da magnetosfera, entre outras, como ilustra a Figura 2.1. Tais regiões serão descritas a seguir em detalhes.

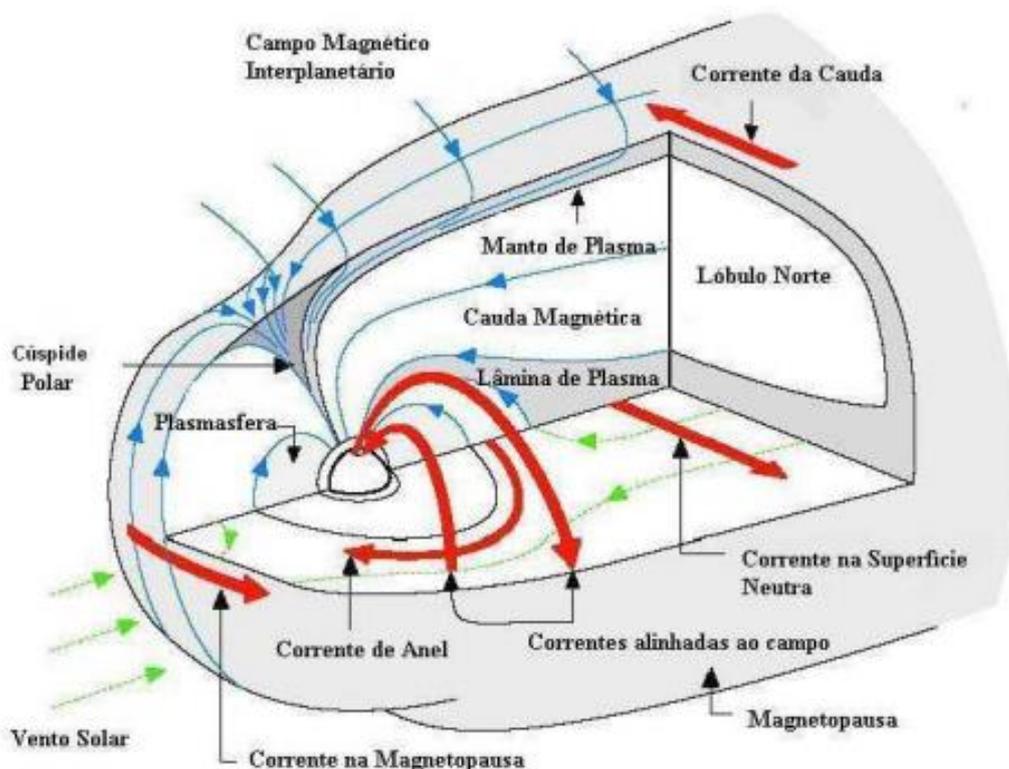


Figura 2.1- Ilustração da magnetosfera.
 Fonte: Adaptada de Russell (2000).

2.2.1. Magnetopausa

A magnetopausa é uma interface que separa o plasma da magnetosfera do plasma do vento solar. Para a magnetosfera fechada a magnetopausa é uma descontinuidade tangencial devido ao equilíbrio entre a pressão do campo magnético e a pressão dinâmica do vento solar existente nessa região de fronteira (SPREITER; ALKSNE, 1969). Em tal região flui uma corrente, que é chamada de corrente de Chapman-Ferraro (CHAPMAN; FERRARO, 1931; KIVELSON; RUSSELLI, 1995; OLIVEIRA, 2014). A magnetopausa se encontra

a uma distância geocêntrica média de $10 R_T$ no “nariz” da magnetopausa, no lado diurno e apresenta espessura de aproximadamente 100 km (PARKER, 1967).

2.2.2. Cúspides polares

As cúspides polares são duas regiões localizadas em hemisférios opostos da magnetosfera onde a entrada de plasma da bainha magnética é facilitada pela geometria do campo magnético em forma de “funil” (CRAVENS, 1997). A forma de “funil” que as cúspides apresentam é devida à divergência das linhas de campo na região polar. Em geral, o campo geomagnético é praticamente tangencial à superfície da magnetopausa, o que inibe a entrada do vento solar. Entretanto na região das cúspides, as linhas de campo são perpendiculares, favorecendo a entrada do vento solar. A localização dos pontos onde as linhas de campo começam a divergir depende da configuração da magnetopausa, bem como da distribuição de plasma na magnetosfera (RUSSELL, 2000; KORTH et al., 2011).

2.2.3. Plasmasfera

A plasmasfera está situada entre 5 e 6 R_T no interior da magnetosfera. É uma região preenchida por um plasma de temperaturas baixas, e de densidade elevada; tal plasma é composto principalmente por íons de hélio e hidrogênio de origem da alta ionosfera. Este plasma está aprisionado nas linhas de campo magnético fechadas, que tendem a corrotacionar com a Terra (HARGREAVES, 1992; CRAVENS, 1997).

2.2.4. Cauda da magnetosfera

Na região noturna da magnetosfera as linhas de campo magnético se estendem até cerca de $100 R_T$ (NESS, 1969). A cauda magnetosférica funciona como uma região de acúmulo de energia oriunda do vento solar, sendo tal energia posteriormente dissipada na região auroral (CRAVENS,

1997). A cauda da magnetosfera é formada devido ao arraste das linhas de campo pelo vento solar, e a mesma é de grande importância para a magnetosfera, já que ela conecta a magnetosfera interna com o vento solar (HUGHES, 1995).

2.2.5. Lâmina de plasma da magnetocauda

A lâmina de plasma é a região da cauda da magnetosfera que funciona como um grande reservatório de partículas de plasma. As quais se compõem principalmente de íons H^+ oriundos do Sol e da alta ionosfera, e de O^+ de origem ionosférica (WORF, 1995). A lâmina de plasma divide a cauda da magnetosfera em dois lóbulos, o norte e o sul, os quais apresentam direções de campo magnético opostas. No lóbulo norte o campo magnético possui sentido Terra-Sol e, no lóbulo sul, o sentido torna-se Sol-Terra (anti-solar). Na lâmina de plasma se encontra a lâmina de corrente onde o campo magnético sofre uma rápida reversão (NESS, 1969; HUGHES, 1995).

As partículas presas na magnetocauda geram um campo elétrico conhecido como campo elétrico do anoitecer-amanhecer. Esse campo se forma sobre a lâmina de plasma, onde as partículas capturadas por ele sofrem uma deriva $\vec{E} \times \vec{B}$. As partículas se movimentam em torno do planeta, em direção que depende do sinal das mesmas, assim, elétrons e íons derivam ao redor da Terra em direções opostas. Tal movimento gera a conhecida corrente de anel, que flui no sentido horário, quando é vista pelo hemisfério norte (DAGLIS et al., 1999). A corrente de anel tem grande importância para o estudo de perturbações no campo geomagnético, já que a mesma se intensifica durante a ocorrência desses eventos (CRAVENS, 1997).

A Figura 2.2 apresenta dados do vento solar (ACE), tais como velocidade, densidade, campo magnético e suas componentes. Na Figura 2.2, observamos também a série temporal componente Bx do campo geomagnético obtido pelo Cluster (SC4), e o espectrograma de energia de H^+ (Cluster SC4). Na Figura 2.2, os intervalos em que o Cluster (SC4) cruza a lâmina de plasma/lâmina de

corrente apresentam-se em coloração amarelada e limitados por linhas pretas. Observa-se no painel da temperatura que a lâmina de plasma está mais quente após a chegada de feixes rápidos.

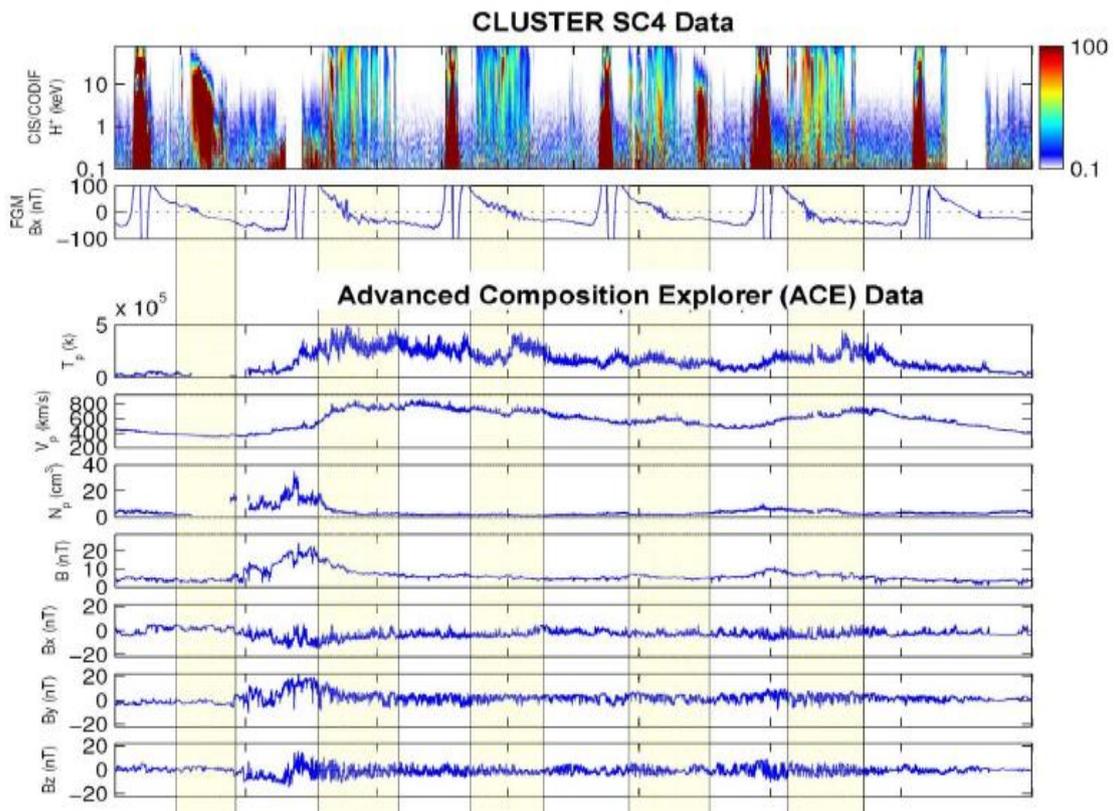


Figura 2.2- Os dois primeiros painéis apresentam o espectrograma de energia de H+ e a componente Bx do Campo geomagnético coletados pelo Cluster, e os painéis abaixo informações do vento solar (Temperatura, densidade, IMF, e suas componentes Bx, By e Bz) coletado do ACE, entre 14 e 28 de setembro de 2003.

Fonte: adaptado de Korth et al.(2006).

2.2.6. Magnetosfera aberta e Magnetosfera fechada

Os modelos de magnetosfera fechada e de magnetosfera aberta descrevem como o momento e a energia do vento solar podem ser transportados para dentro da magnetosfera devido à tensão magnética exercida pelo vento solar magnetizado e sua pressão dinâmica, o que provocaria alterações na forma da magnetosfera (CRAVENS, 1997). Pelo modelo de Dungey sabe-se que a

configuração da magnetosfera aberta ou fechada depende da orientação do campo magnético do meio interplanetário (do inglês, *Interplanetary magnetic field*, IMF) (CRAVENS, 1997). Quando as linhas do IMF estão orientadas para o norte, os campos interplanetário e magnetosférico não se misturam, temos assim a magnetosfera fechada (constitui uma descontinuidade tangencial). Já no modelo da magnetosfera aberta (descontinuidade rotacional), o IMF se encontra com orientação sul, ou seja, as linhas de campo apresentam direção antiparalela às linhas do campo geomagnético. Assim, em uma pequena região da magnetopausa, a condição de congelamento do plasma é quebrada (DUNGEY, 1995). Com a condição de congelamento quebrada, as linhas de campo do vento solar e do campo geomagnético se conectam nessa pequena região, chamada de região de difusão. Depois de conectadas, as linhas de campo são arrastadas para a posição da cauda da magnetosfera onde se reconectam novamente; este processo é chamado de reconexão magnética (DUNGEY, 1961). Esta reconexão possibilita a penetração do fluxo de plasma do vento solar para as regiões internas da magnetosfera (COWLEY, 1995).

Axford e Hines (1961) criaram um modelo de interação por forças viscosas entre o vento solar e o campo geomagnético, gerando convecção magnetosférica durante a configuração de magnetosfera fechada. Naquele modelo é proposto que o momento do vento solar seja transferido para a magnetosfera através da magnetopausa devido à difusão de partículas em baixas latitudes, sendo essa interação viscosa gerada por instabilidades. Conseqüentemente, um potencial é criado na magnetosfera, provocando convecção na magnetosfera, causando movimento do plasma magnetosférico para a direção solar. Evidências mostram que a eficiência de interações viscosas para gerar tempestades geomagnéticas corresponde a menos de 1% (GONZALEZ et al., 1994).

2.3. Índices geomagnéticos

Os índices geomagnéticos são usados para fornecer uma medida quantitativa do nível de atividade da magnetosfera terrestre, o que facilita o estudo da

dissipação de energia na magnetosfera (ROSTOKER, 1972). A medida é feita a partir de observatórios espalhados no globo, e a combinação de vários observatórios proporciona uma estimativa da perturbação geomagnética. Os índices de atividade geomagnética mais utilizados são os índices Kp (índice global) e seu equivalente linear Ap (latitudes médias), e os índices Dst (baixas latitudes) e AE (altas latitudes).

O índice Kp é obtido a partir de 13 observatórios padrões, e seus dados são obtidos a cada 3 horas, tendo início à zero hora. Sendo assim, a cada dia são fornecidos 8 valores de Kp (McPHERRON,1995). O índice Kp varia de 0 a 9 (na forma: 0, -1, 1, -2, 2, -3, 3...), nos fornecendo um número correspondente ao grau de perturbação global do campo geomagnético. Intervalos perturbados são considerados para Kp maior ou igual a 4 (RANGARAJAN; IYEMORI, 1997; ROSTOKER, 1972). Atividades geomagnéticas em latitudes médias são medidas pelo índice Ap, que é obtido a partir da média de 8 valores diários de outro índice, o índice ap, esse que é obtido a cada 3 horas, em estações localizadas à aproximadamente 50° de latitude dipolar. O índice ap é o equivalente linear do Kp (McPHERRON,1995).

O índice Dst (do inglês, *Disturbance storm time*) é usado para medir a intensidade da corrente anelar (Sugiura, 1964), que causa perturbações da componente H do campo geomagnético (McPHERRON,1995). O índice Dst é obtido a partir de dados de 4 observatórios localizados na região equatorial terrestre com resolução de um minuto, sendo subtraídos desses dados as variações secular e diurna (ROSTOKER, 1972; LOVE; REMICK, 2007). Esse índice é usado para definir e classificar tempestades geomagnéticas (GONZALEZ et al., 1991) (Ver seção 2.4.1).

2.3.1. Índices do Eletrojato Auroral

O índice AE será mais bem explicado nesse trabalho, devido ao mesmo ser de suma importância para a compreensão da definição dos eventos HILDCAAs

seja, a intensidade medida da componente H desses 5 dias calmos é subtraída a cada minuto de dado (LOVE; REMICK, 2007).

Estas variações da componente H na região auroral são medidas a partir de uma linha de base determinada para cada um dos observatórios, em intervalos de um minuto. Os índices AU e AL são definidos a partir de valores de máximos e mínimos, respectivamente, das observações superpostas das componentes H de vários observatórios, tendo como base o valor de normalização, representados pela superposição dos dados de todos os observatórios em funcionamento. A média entre AU e AL define outro índice, o índice AO, que fornece a média da corrente zonal equivalente (ALLAN; MORRIS, 1976). Os índices AU, AL, AE são apresentados na Figura 2.4.

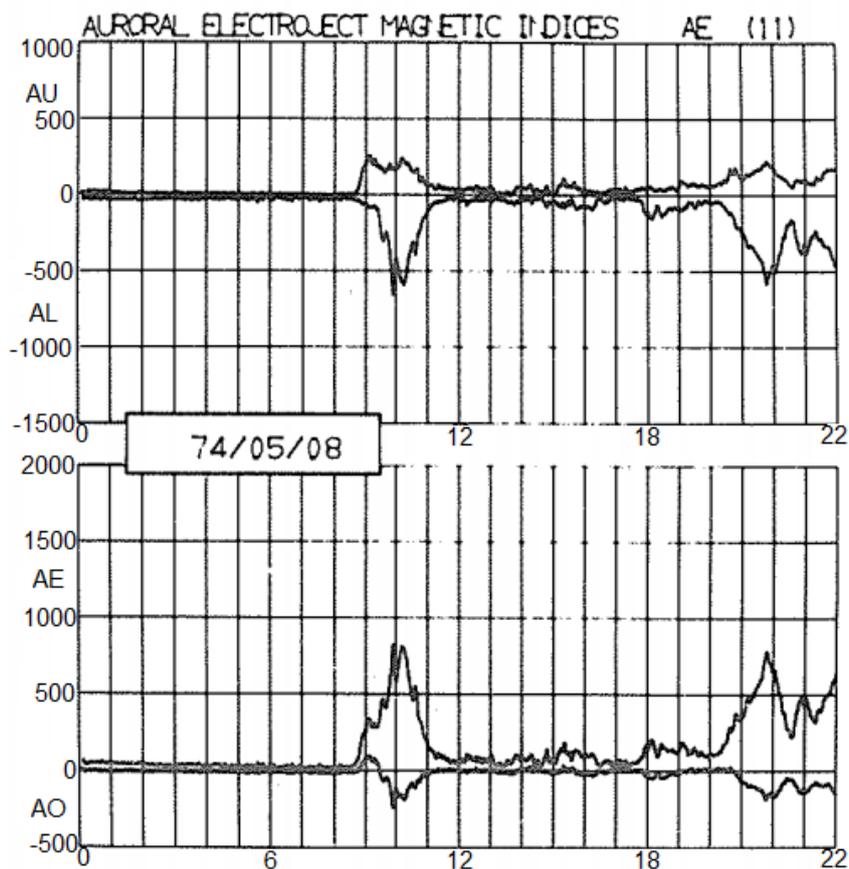


Figura 2.4- O painel superior apresenta os envelopes superior e inferior dos dados da componente H do campo geomagnético, que representam os índices AU e AL, respectivamente. O segundo painel apresenta o índice AE na parte superior e o índice AO, usando dados do dia 8 de maio de 1974. Fonte: Allan e Morris (1976).

O índice AU representa a densidade máxima da corrente do eletrojato auroral para leste, e o AL a densidade de corrente do eletrojato para o oeste, e o índice AE representa uma medida global da atividade do eletrojato auroral, como ilustrado pela Figura 2.5.

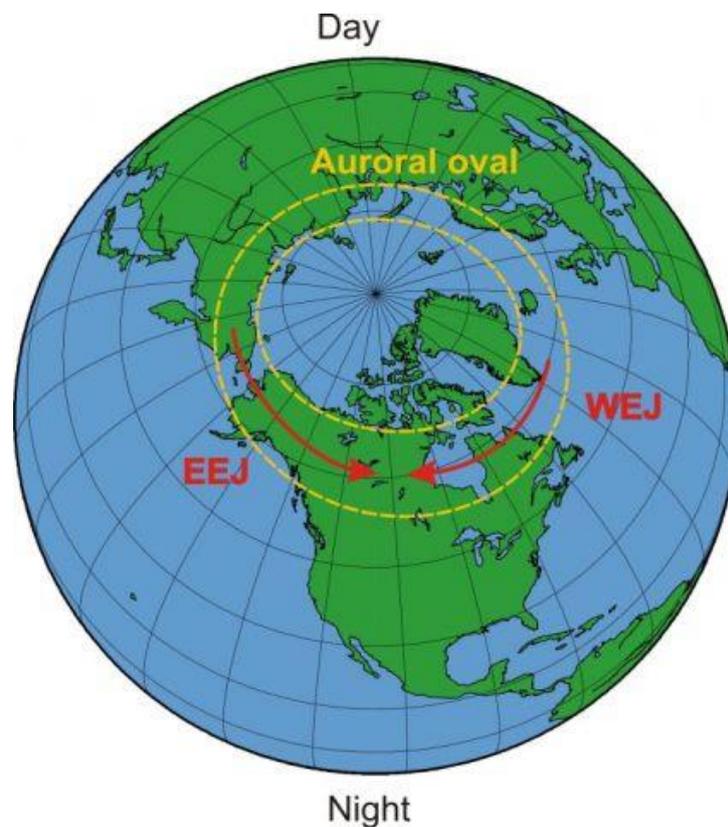


Figura 2.5- Eletrojatos aurorais na direção leste (EEJ) e na direção oeste (WEJ), os círculos pontilhados representam a oval auroral. Fonte:(http://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/26/auroral_electroject_indices).

2.4. Tipos de Atividades Geomagnéticas

As perturbações que ocorrem no campo magnético da Terra, devido à sua interação com o vento solar, são conhecidas como atividade geomagnética. As tempestades e subtempestades magnéticas são os tipos de atividades mais conhecidas que vêm sendo estudadas há muitos anos (GONZALEZ et al., 1994). Outra atividade conhecida são os eventos HILDCAAs que foram

descobertos posteriormente, em 1987 (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987). Algumas condições podem favorecer a ocorrência desses tipos de atividade geomagnética, tais como a orientação do IMF, a pressão e a velocidade do vento solar (McPHERRON, 1995). Nessa seção os tipos de atividade geomagnética serão brevemente discutidos.

2.4.1. Tempestades Geomagnéticas

As principais causas das tempestades geomagnéticas são ICMEs, as quais são oriundas de regiões solares ativas e CIR (GONZALEZ et al., 1999). Durante tempestades geomagnéticas parte da energia do vento solar é transferida para a magnetosfera terrestre por meio da reconexão magnética (DUNGEY, 1995; GONZALEZ et al., 1994; TSURUTANI et al., 2006). Isto provoca uma intensificação da corrente anelar devido à precipitação de partículas, produzindo uma perturbação no campo magnético, que é contrária à orientação do dipolo do campo magnético terrestre na região equatorial (McPHERRON, 1995), resultando no decaimento da componente H do campo geomagnético como é detectado por meio do índice Dst, provocando a ocorrência de uma tempestade geomagnética.

Uma tempestade geomagnética pode ser caracterizada por três fases, a primeira conhecida como fase inicial, quando ocorre um acréscimo no índice Dst, justificado pelos aumentos repentinos da pressão dinâmica do vento solar (RUSSELLI et al., 1974), seguida pela fase principal, quando se observa um decréscimo acentuado de Dst, com duração de algumas horas. Esse decréscimo pode ser justificado pelo aumento de partículas ionizadas que ficam “presas” nas linhas do campo magnético para, posteriormente, serem depositadas nos polos terrestres. E, por fim, se inicia a fase de recuperação da intensidade do índice Dst, que pode levar vários dias, dependendo da intensidade da tempestade (McPHERRON, 1995). Nem todas as tempestades geomagnéticas apresentam fase inicial. Na Figura 2.6 as três fases típicas de uma tempestade geomagnética foram marcadas na tempestade geomagnética que ocorreu entre 12 e 16 de julho de 1982 (GONZALEZ et al., 1994).

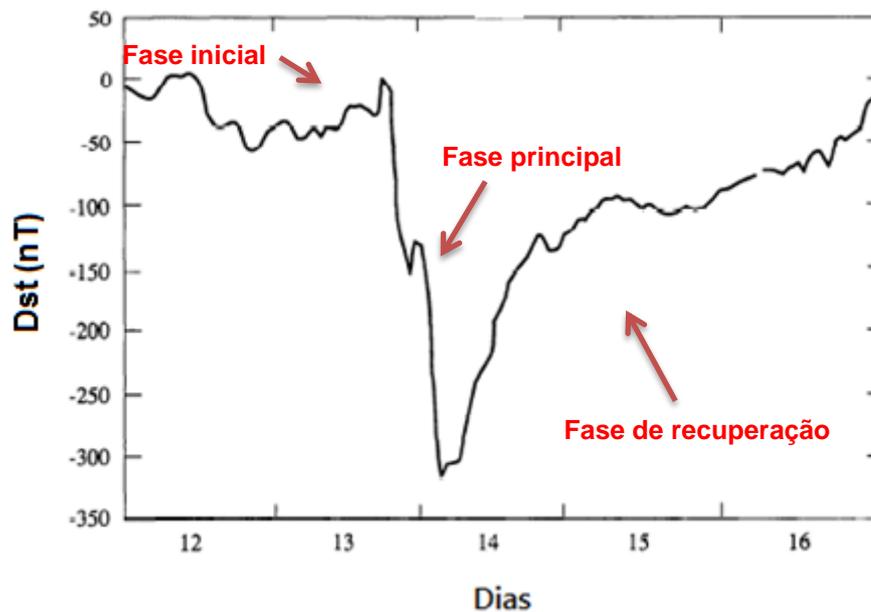


Figura 2.6- Intensidade do índice Dst para a tempestade geomagnética que ocorreu entre 12 e 16 de julho de 1982; o eixo y representa a intensidade do índice Dst(nT) e o eixo x os dias.
 Fonte: Gonzalez et al. (1999).

As tempestades geomagnéticas são classificadas de acordo com sua intensidade. Tempestades em que o índice Dst tem valores de pico entre -30 nT e -50 nT são consideradas tempestades fracas, entre -50 nT e -100 nT são classificadas como moderadas, e abaixo de -100 nT são caracterizadas como tempestades intensas (GONZALEZ et al., 1994).

Gonzalez e Tsurutani (1987) observaram que a intensidade da tempestade depende não só da orientação do IMF para o sul, mas também de sua intensidade e do tempo em que o campo fica orientado para tal sentido (duração). Esses autores apresentaram condições consideradas favoráveis para a ocorrência de uma tempestade geomagnética intensa, como sendo a duração da orientação do IMF para o sul por pelo menos 3 horas, e com uma intensidade maior ou igual a 10 nT. Já para tempestades magnéticas de intensidade moderada a duração da orientação do IMF para o sul é de pelo menos 2 horas e a intensidade superior ou igual a 5 nT.

2.4.2. Subtempestades Geomagnéticas

As subtempestades geomagnéticas podem ser descritas como uma sequência de eventos transientes que se inicia no lado noturno da Terra, quando ocorre depósito de energia na magnetosfera e na ionosfera auroral devido à interação do vento solar com a magnetosfera (ROSTOKER et al.,1980). Para a ocorrência de uma subtempestade geomagnética, a intensidade do IMF deve ser inferior à necessária para uma tempestade geomagnética, geralmente < -3 nT e a duração do IMF na direção sul em torno de uma hora (GONZALEZ et al., 1994).

A princípio, pensava-se que subtempestades seriam pequenas tempestades magnéticas, e a soma de varias subtempestades magnéticas resultaria em uma tempestade geomagnética. Tal crença surgiu devido ao fato de que sempre se observavam subtempestades durante a fase principal de uma tempestade geomagnética. Posteriormente, notou-se a ocorrência de subtempestades magnéticas na fase de recuperação de tempestades geomagnéticas, ou mesmo na ausência de uma (McPHERRON, 1997).

Subtempestades mais intensas podem ser observadas durante a fase principal de uma tempestade geomagnética, mas subtempestades também ocorrem quando a tempestade geomagnética ainda está em progresso. Durante uma subtempestade geomagnética, ocorre penetração de energia na magnetosfera causada pela reconexão na cauda magnetosférica, que ocorre após reconexão na magnetopausa devido à orientação do IMF para o sul. Durante subtempestades a corrente de anel não é energizada o suficiente para provocar uma tempestade geomagnética (GONZALEZ et al., 1994).

As subtempestades são o tipo de atividade geomagnética mais frequente. Nessas ocorre dissipação de energia no lado noturno da ionosfera auroral, devido à aceleração de partículas da cauda que são arrastadas para o interior da magnetosfera (McPHERRON, 1997). A principal forma de identificar a ocorrência de uma subtempestade magnética são as auroras; as auroras

causadas por subtempestades se concentram na região noturna, em torno de meia noite, e duram algumas horas (McPHERRON, 1995).

As subtempestades também apresentam três fases de desenvolvimento: a fase de crescimento, em que grande parte da energia do vento solar transferida para a magnetosfera é armazenada na cauda, ocorrendo apenas pequenas dissipações na ionosfera e na corrente de anel; a fase de expansão, na qual ocorre a liberação da energia armazenada, provocando um rápido aumento das correntes na região auroral dando origem aos eletrojetos na ionosfera e a ocorrência de auroras; a fase de recuperação, na qual ocorre a estabilização das auroras e correntes da ionosfera, e campo magnético (McPHERRON, 1995; 1997).

A Figura 2.7 apresenta a configuração das fases de uma subtempestade em função dos índices AU e AL.

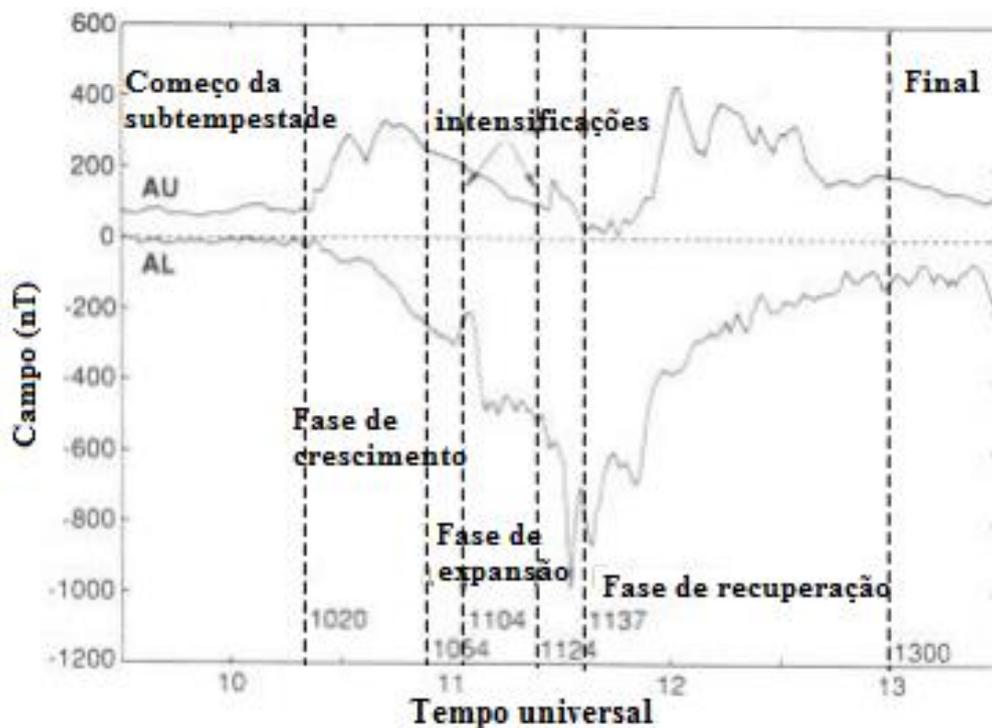


Figura 2.7-índices AU e AL durante uma subtempestade, e a indicação de cada fase de um evento de subtempestade magnética.

Fonte: Adaptado de Kivelson e Russell (1995, Cap.13, pg. 428).

Pela Figura 2.7 observam-se as fases de uma subtempestade através dos índices AU e AL. Na fase de crescimento ocorre um pequeno aumento nesses índices. Na fase de expansão ocorrem intensificações no índice AL devido à formação de novas subtempestades, e na fase de recuperação os índices voltam a atingir valores de períodos calmos. As subtempestades duram em média de 1 a 3 horas e o índice AE pode variar entre 200 e 2000 nT (McPHERRON, 1995).

2.4.3. Eventos HILDCAAs

Em 1987, estudando tempestades magnéticas com duração de fase de recuperação maior que o normal, Tsurutani e Gonzalez identificaram um novo tipo de atividade geomagnética, nomeados por eles de eventos HILDCAAs (do inglês *High-intensity long-duration continuous AE Activity*), os quais são eventos de atividade do índice AE elevada, contínua e prolongada, que podem durar vários dias, e até semanas (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987).

Esses eventos podem ocorrer após tempestades causadas por CIRs, bem como após tempestades causadas por ICMEs, ou mesmo sem qualquer ocorrência de tempestade geomagnética (GUARNIERI et al., 2006; HAJRA et al., 2013). No entanto, a maioria destes eventos ocorre após tempestades causadas por CIRs, quando a ocorrência de ondas de Alfvén é mais frequente (nos feixes rápidos oriundos de buracos coronais). As mesmas foram apontadas como favorecedoras a ocorrência desses eventos (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987; HAJRA et al., 2013). A componente Bz do campo magnético do meio interplanetário, apontando na direção sul e variam devido à ondas Alfvén periódicas, esta correlacionada com aumentos do índice AE. Portanto, acredita-se que a reconexão entre o campo magnético interplanetário direcionando para o sul destas ondas e o campo magnético terrestre é a causa dessa atividade geomagnética (TSURUTANI et al., 1990a; GUARNIERI et al., 2005).

Os eventos HILDCAAs podem ocorrer em qualquer fase da atividade solar, tanto na fase principal, ascendente, descendente ou no mínimo solar, mas são cerca de três vezes mais frequentes na fase descendente do ciclo solar (HAJRA et al., 2013). Esse fato se justifica devido aos feixes rápidos associados às ondas de Alfvén oriundos dos buracos coronais serem mais frequentes nesse período de atividade solar, já que os buracos coronais são mais geofetivos na fase descendente (TSURUTANI et al., 1995; 1999; 2006).

Como foi dito anteriormente, esses eventos foram observados/definidos por Tsurutani e Gonzalez em 1987, os quais estabeleceram 4 critérios para que uma atividade geomagnética auroral seja considerada um evento HILDCAAs:

- O índice AE deve atingir intensidade igual ou superior a 1.000 nT em algum momento durante o evento;
- O evento deve durar pelo menos 2 dias;
- A atividade auroral deve ser quase contínua, isto é, o índice AE nunca deve cair abaixo de 200 nT durante mais de 2 horas de cada vez;
- A atividade auroral deve ocorrer fora da fase principal de tempestades geomagnéticas.

Ao estabelecer os critérios em 1987, Tsurutani e Gonzalez ressaltaram que os mesmos foram definidos rigorosamente com a finalidade de reduzir o número de eventos a serem estudados. Logo, isso não significa que os processos físicos presentes nesses eventos não possam ocorrer caso um ou mais desses critérios não sejam atendidos. Vale ressaltar que os eventos HILDCAAs não são definidos em termos de atividade auroral, e sim em termos da variabilidade do índice AE (TSURUTANI et al., 2004).

A partir de sua descoberta, os eventos HILDCAAs foram estudados com mais detalhes, buscando descobrir seu impacto no clima espacial e suas causas, se

esses eventos são algum tipo de subtempestade magnética contínua, entre outras questões que foram levantadas (TSURUTANI et al., 1990a, 1990b, 1995, 2004, 2005, 2006; GUARNIERI 2006; GUARNIERI et al., 2006, 2007; GONZALEZ et al., 2006; SORAAS et al., 2004; KOGA et al., 2011; HAJRA et al., 2013, 2014a, 2014b).

A longa duração da fase de recuperação observada por Tsurutani e Gonzalez foi explicada posteriormente por Soraas et al. (2004), como sendo devido à precipitação de partículas na corrente anelar durante os eventos HILDCAAs. Tal precipitação impede o decaimento natural da corrente de anel, consequentemente retardando a recuperação do índice Dst.

Os eventos HILDCAAs também são apontados como responsáveis pela injeção de elétrons relativísticos de 10-100 keV na magnetosfera. Foi observado que há maior fluxo desses elétrons em eventos que correm na fase descendente do que na fase ascendente do ciclo solar (TSURUTANI et al., 1990a, 2004). A justificativa para tal fato não é clara ainda, mas acredita-se que isso possa ocorrer devido às taxas de perdas dos elétrons relativísticos serem maior durante a fase que antecede o máximo solar, ou ao fato que o processo de aceleração apresenta maior eficiência durante a fase descendente e no mínimo solar (HAJRA et al., 2014a).

Em 2006, Guarnieri, a partir de um determinado número de eventos HILDCAAs, comparou a intensidade de energia que entra para a magnetosfera interna durante HILDCAAs e durante tempestades geomagnéticas, e indicou o quão efetivo podem ser esses eventos em termos da entrada da energia na magnetosfera interna. Naquele estudo foi demonstrado que esses eventos podem ser mais geofetivos que algumas tempestades magnéticas, já que, apesar de serem eventos de baixa intensidade, são de longa duração, podendo causar sérios danos em sistemas de satélites (GUARNIERI, 2006).

Através de modelo global de simulação MHD, Gonzalez et al. (2006) estudaram como a magnetosfera interna responde aos eventos HILDCAAs. Observou-se naquele estudo que, por meio de reconexão magnética, a energia integrada

resultante foi de $1,8 \times 10^{21}$ ergs, que é transferida para a magnetosfera durante intervalos de 10 minutos. Observou-se também que a lâmina de plasma é fortemente modulada, apresentando alterações de pressão, velocidade, convecção e campo elétrico. Em períodos de 40 minutos, tal modulação pode ser interpretada como uma resposta da magnetosfera para a variabilidade de Bz do IMF.

Os tipos de auroras causados por HILDCAAs também foram estudados e comparados com aqueles causados por outros tipos de atividade geomagnética (GUARNIERI, 2006; GUARNIERI et al., 2007). Constatou-se que as auroras causadas por HILDCAAs são diferentes das auroras formadas durante subtempestades geomagnéticas, sendo mais um indício de que se tratam de atividades magnéticas distintas.

Quanto à origem dos eventos HILDCAAs, acredita-se que os mesmos estejam relacionados com flutuações alfvénicas em feixes rápidos oriundos de buracos coronais (TSURUTANI; GONZALEZ, 1987), já que a maioria dos eventos estudados ocorreu devido a CIRs (HAJRA et al., 2013). As CIRs apresentam grandes flutuações alfvénicas, assim sua geofetividade pode ser intensificada, já que essas aumentam a amplitudes das ondas Alfvénicas presentes nos feixes rápidos de buracos coronais (SMITH; WOLF, 1976; PIZZO, 1985; BALOGH et al., 1998; ALVES et al., 2006).

Os efeitos ionosféricos dos eventos HILDCAAs foram estudados por Koga et al. (2011). Foram estudados 5 eventos, visando obter a altura do pico da camada F da ionosfera durante esses eventos, correlacionando o campo elétrico do meio interplanetário (em inglês, *interplanetary electric field*, IEF) e a variação da altura do pico da camada F2 em São Luís- MA. Koga (2011) observou a penetração do IEF durante os eventos estudados, bem como picos em torno de 02h às 04 h, e também de 10 às 12 h, horário local.

O balanço de entrada de energia no sistema magnetosfera-ionosfera durante HILDCAAs foi investigado por Hajra et al. (2014b). Naquele trabalho encontraram indícios de que o aquecimento Joule é a forma dominante de

dissipação de energia durante eventos HILDCAAs. Por meio de análise estatística, observou-se que cerca de 67% de um total de energia de $\sim 6,3 \times 10^{16} \text{ J}$ do vento solar entra na magnetosfera durante eventos HILDCAAs (energia média durante os eventos estudados), e é dissipado na ionosfera auroral por efeito Joule. A energia que entrou na corrente anelar correspondeu a apenas 11% do total (HAJRA et al., 2014b).

Durante os eventos HILDCAAs, íons são (re) injetados na corrente anelar, o que interrompe o decaimento da mesma, impedindo que o índice Dst se recupere e prolongando a fase de recuperação comumente observada após uma tempestade geomagnética. Isto mostra que os efeitos observados durante HILDCAAs não estão relacionados com a capacidade de dissipação de energia das tempestades causadas por CIRs (SORAAS et al., 2004).

2.4.4. HILDCAAs X Subtempestades Magnéticas

Nas primeiras pesquisas feitas sobre esses eventos, indagou-se se os eventos HILDCAAs não poderiam ser subtempestades contínuas. Posteriormente, se constatou que se tratavam de eventos distintos, pois, subtempestades magnéticas não apresentam relação com o índice AE elevado, o que é observado durante eventos HILDCAAs (TSURUTANI et al., 2004).

A Figura 2.8 mostra as diferenças existentes no comportamento do índice AE e da componente Bz do IMF para HILDCAAs e subtempestades magnéticas.

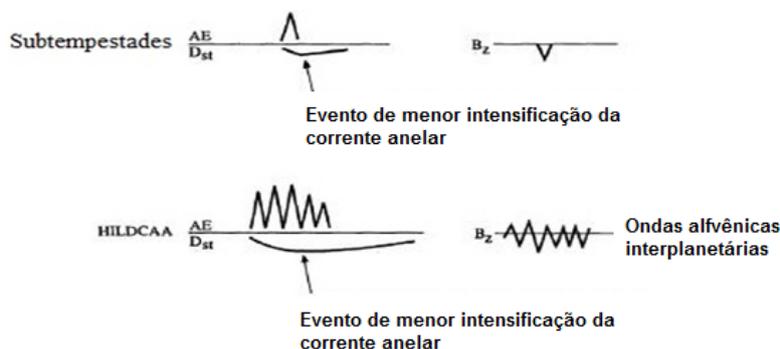


Figura 2.8- Esquema das características visíveis nos índices AE, Dst e componente Bz do IMF para eventos de subtempestades e eventos HILDCAAs.

Fonte: Adaptado de Gonzalez et al. (1994).

Um exemplo real do comportamento do IMF e do índice AE durante HILDCAAs e subtempestades magnéticas é apresentado na Figura 2.9. Foram usados dados do índice AE e do IMF durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 4:31 UT do dia 13 e 3:50 UT do dia 16 de maio de 2003, e para a subtempestade magnética que ocorreu no dia 22 de dezembro de 1996, que ocorreu entre 22:00 UT e aproximadamente 23:30 UT (YERMOLAEV et al., 1999).

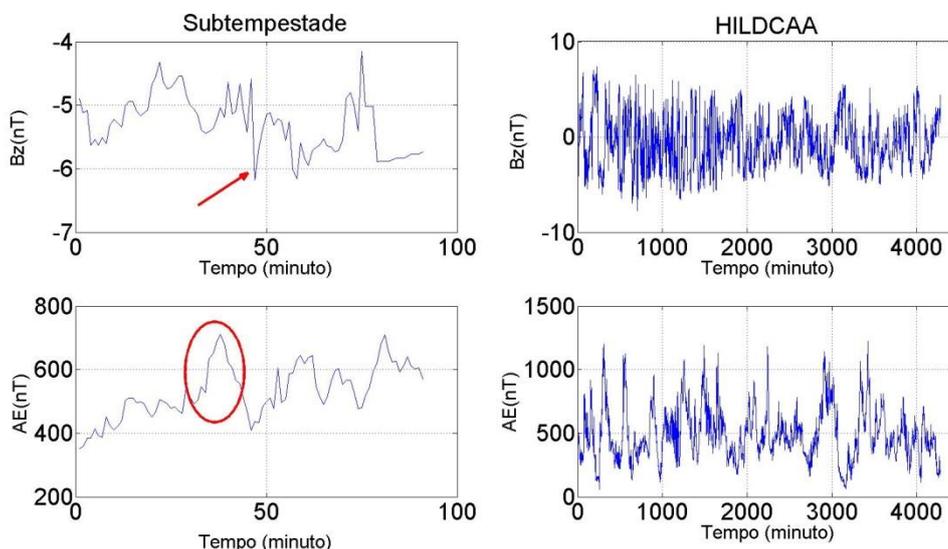


Figura 2.9- Comparação entre o comportamento da componente Bz do IMF e do índice AE durante subtempestades magnéticas e HILDCAAs. A componente Bz do IMF é apresentada no painel superior durante a subtempestade magnética (à esquerda), e durante um evento HILDCAA (à direita). O índice AE é apresentado no painel inferior durante a subtempestade magnética (à esquerda) e durante o evento HILDCAA (à direita).

Observando os gráficos da Figura 2.9 pode-se identificar o comportamento da componente Bz do IMF e do índice AE durante as duas atividades geomagnéticas apresentadas no esquema da Figura 2.8. No primeiro painel da Figura 2.9 podemos identificar um pico negativo da componente Bz do IMF (indicado com uma seta vermelha) durante a subtempestade, similar ao que foi apresentado no esquema de Gonzalez et al. (1994). O comportamento da componente Bz do IMF durante o evento HILDCAA também equivale ao do esquema, e pelo segundo painel observamos as flutuações. O pico no índice AE durante a subtempestade foi marcado com um círculo vermelho, e o mesmo pode ser associado ao pico do esquema da Figura 2.8, assim como os vários picos observados no índice AE durante o evento HILDCAA apresentado no quarto painel.

2.4.5. Auroras

Durante os eventos HILDCAAs, as auroras são fracas ou moderadas, mas distribuídas em toda a região da oval auroral. Além disso, nota-se a presença de auroras mesmo na região do lado diurno (GUARNIERI, 2006). Já as auroras formadas pelas subtempestades magnéticas estão confinadas a uma pequena região, geralmente localizadas no setor de meia-noite, que duram de 15 minutos a várias horas, enquanto que as auroras formadas por HILDCAAs podem durar vários dias, e até semanas (GUARNIERI et. al, 2006).

Na Figura 2.10 pode-se observar a abrangência da aurora formada por um evento HILDCAA que ocorreu em julho de 1998, assim como a pequena região ocupada pela aurora formada pela subtempestade que ocorreu em janeiro de 2000. Esta apresenta uma pequena região de maior intensidade, enquanto que a aurora formada pelo evento HILDCAA apresenta intensidades inferiores, porém mais abrangentes em hora local.

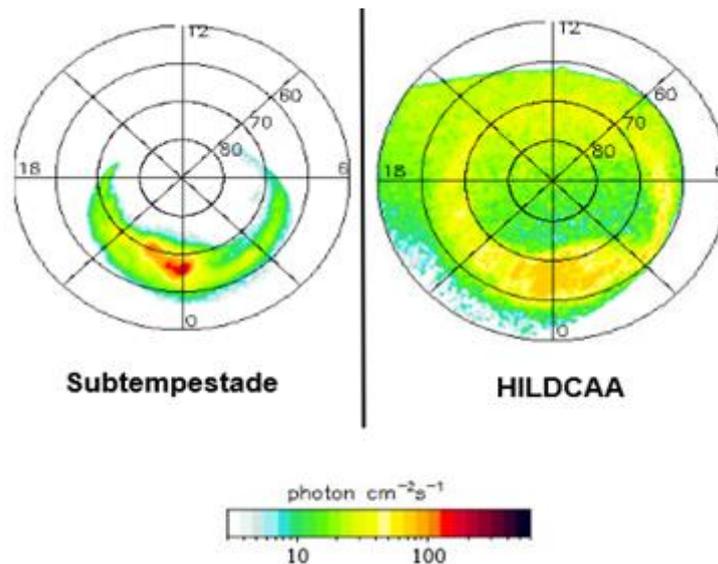


Figura 2.10- Comparação entre a localização das auroras formadas por subtempestades magnética (à esquerda) que ocorreu em Janeiro de 2000 e HILDCAA (à direita) de Julho de 1998.
 Fonte: Adaptado de Guarneri (2005).

Os eventos HILDCAAs são eventos de baixa intensidade, comparados à tempestades geomagnéticas. No entanto, se integramos a energia durante todos os dias de um evento HILDCAA, a energia total é maior que a energia de uma tempestade geomagnética, desde que essa não seja de alta intensidade (GUARNIERI, 2005).

As oscilações na componente Bz do IMF relacionadas a ondas de Alfvén durante HILDCAAs tendem a ser mais geofetivas em termos da resposta do índice AE, quando a amplitude média de Bz apresenta valores negativos dominantes. Isso pode está relacionado com uma maior eficiência na reconexão magnética durante eventos HILDCAAs. As reconexões magnéticas que ocorrem durante subtempestades magnéticas apresentam níveis de energia mais rápido que durante os eventos HILDCAAs, em que a amplitude média de flutuação da componente Bz do IMF não é tão negativa ou próxima de zero (GONZALEZ et al., 2006) .

Devido à longa duração dos eventos HILDCAAs, os mesmos podem produzir fluxos de elétrons acumulados, o que resulta em uma injeção contínua de elétrons relativísticos em órbitas entre 2L e 4L de distância da Terra, onde L

representa a distância do centro da Terra à linha de campo magnético. Esses elétrons apresentam energias superiores a 100 keV e podem causar rápida degradação de semicondutores e sensores de satélites em órbitas nessa região (GUARNIERI, 2005; HAJRA et al., 2014b).

3. MÉTODOS DE ANÁLISE E DADOS UTILIZADOS

Esta seção é destinada a apresentação dos dados e da metodologia que foram utilizados para o desenvolvimento dessa dissertação.

3.1. Lista de eventos

A escolha dos dados foi baseada nos eventos HILDCAAs, apresentados na Tabela 3.1 e que exibe a lista dos 133 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011 identificados por R. Hajra. A tabela mostra a data e hora de início e de fim de cada evento (HAJRA et al., 2013).

Tabela 3.1- Lista de eventos HILDCAAs entre 1975-2011

Evento	Início do Evento		Final do evento		Duração
	Data (ano-mês-dia)	UT (hora:min)	Data (ano-mês-dia)	UT (hora:min)	Horas
1	1975-01-03	12:43	1975-01-06	0:56	60 hs 13 min.
2	1975-01-13	1:23	1975-01-15	5:26	52 hs e 3 min.
3	1975-01-31	16:34	1975-02-02	21:25	52 hs 51 min.
4	1975-02-10	8:00	1975-02-17	0:44	160 hs e 44 min
5	1975-03-11	11:00	1975-03-14	0:18	61 hs e 18 min.
6	1975-03-14	3:07	1975-03-16	17:44	62 hs e 37 min.
7	1975-05-04	16:42	1975-05-07	19:29	74 hs e 47 min.
8	1975-06-01	10:06	1975-06-05	4:58	89 hs e 52 min.
9	1975-09-08	21:24	1975-09-12	18:06	92 hs e 42 min.
10	1975-10-06	3:46	1975-10-10	9:57	102 hs e 11min.
11	1975-11-29	6:18	1975-12-02	4:47	70 hs e 39 min.
12	1978-03-16	11:41	1978-03-19	6:55	67 hs e 24 min.
13	1978-05-10	20:19	1978-05-13	3:20	55 hs e 1 min.
14	1979-01-25	7:58	1979-01-27	10:36	50 hs e 38 min.
15	1979-05-23	18:40	1979-05-26	7:02	60 hs e 22 min.
16	1979-06-22	10:58	1979-06-24	12:34	49 hs 36 min.
17	1981-04-20	9:47	1981-04-23	22:58	85 hs e 11 min.
18	1982-01-21	23:43	1982-01-25	0:27	72 hs e 44min.
19	1982-02-17	6:09	1982-02-21	2:00	91 hs e 51 min.
20	1982-02-23	10:11	1982-02-25	22:49	60 hs e 38 min.
21	1982-06-19	4:02	1982-06-21	15:02	59 hs
22	1982-08-25	0:59	1982-08-27	1:21	48 hs e 22 min.

Continua

Tabela 3.1- Continuação

23	1982-12-27	20:18	1982-12-30	12:09	63 hs e 51 min.
24	1983-03-18	15:57	1983-03-21	6:57	63 hs
25	1983-03-31	8:06	1983-04-03	13:18	77 hs e 12 min.
26	1983-04-05	23:55	1983-04-11	8:55	129 hs
27	1983-06-17	11:44	1983-06-20	17:19	77 hs e 35 min.
28	1983-07-16	17:34	1983-07-19	22:25	76 hs e 51 min.
29	1983-08-23	9:00	1983-08-26	21:39	84 hs e 39 min.
30	1983-08-29	9:11	1983-09-01	5:38	68 hs e 27 min.
31	1983-12-05	2:39	1983-12-07	4:31	49 hs e 52 min.
32	1983-12-13	8:53	1983-12-15	18:45	57 hs e 52 min.
33	1983-12-30	3:49	1984-01-01	23:59	68 hs e 10 min.
34	1984-05-28	7:22	1984-05-31	2:13	66 hs e 51 min.
35	1984-06-18	8:06	1984-06-20	17:59	57 hs e 53 min.
36	1984-07-16	18:28	1984-07-19	15:11	68 hs e 43 min.
37	1984-08-28	5:34	1984-08-31	3:32	69 hs e 58 min.
38	1984-10-09	14:37	1984-10-13	4:08	85 hs e 31 min.
39	1984-11-19	14:13	1984-11-21	22:58	56 hs e 45 min.
40	1984-12-15	20:03	1984-12-18	19:00	70 hs e 57 min.
41	1984-12-28	6:34	1984-12-31	23:29	88 hs e 55 min.
42	1985-06-06	11:11	1985-06-08	13:06	49 hs e 55 min.
43	1985-06-27	6:45	1985-06-30	0:41	65 hs 56 min.
44	1985-07-03	22:59	1985-07-07	16:44	88 hs e 45 min.
45	1986-01-27	2:35	1986-01-31	6:01	99 hs e 26 min.
46	1986-02-21	16:23	1986-02-25	22:18	101 hs e 55 min.
47	1986-05-30	17:34	1986-06-02	9:34	64 hs
48	1986-08-21	7:45	1986-08-24	9:59	74 hs e 14 min.
49	1986-08-28	23:24	1986-08-31	7:05	55 hs e 41 min.
50	1986-12-22	13:14	1986-12-24	14:42	49 hs e 28 min.
51	1987-08-30	15:24	1987-09-02	14:07	70 hs e 43 min.
52	1987-09-13	20:58	1987-09-17	10:25	85 hs e 27 min.
53	1987-10-13	5:18	1987-10-15	23:11	67 hs e 53 min.
54	1987-10-26	23:30	1987-10-30	14:33	87 hs e 3 min.
55	1988-03-27	15:18	1988-03-30	8:19	65 hs e 1 min.
56	1990-02-28	2:02	1990-03-02	23:11	69 hs e 9 min.
57	1990-10-10	23:20	1990-10-13	9:37	58 hs e 17 min.
58	1991-06-01	19:33	1991-06-04	1:22	53 hs e 49 min.
59	1991-07-18	11:26	1991-07-23	19:36	128 hs e 10 min.
60	1991-08-31	3:06	1991-09-02	18:19	63 hs e 13 min.
61	1991-09-03	3:49	1991-09-06	18:54	87 hs e 5 min.
62	1992-07-12	4:25	1992-07-14	19:24	62 hs e 59 min.
63	1992-09-06	12:10	1992-09-08	18:50	54 hs e 40 min.

Continua

Tabela 3.1 – Continuação

64	1992-10-27	23:05	1992-10-29	23:11	48 hs e 6 min.
65	1992-12-07	20:40	1992-12-10	1:31	52 hs e 51 min.
66	1993-01-01	22:02	1993-01-05	13:42	87 hs e 40 min.
67	1993-04-20	1:41	1993-04-22	7:52	54 hs e 11 min.
68	1993-06-23	18:51	1993-06-26	4:41	56 hs e 50 min.
69	1993-11-04	20:58	1993-11-09	5:10	104 hs e 12 min.
70	1993-12-16	9:24	1993-12-18	19:07	59 hs e 43 min.
71	1994-01-11	15:19	1994-01-15	8:59	89 hs e 40 min.
72	1994-01-15	11:39	1994-01-20	0:46	109 hs e 7 min.
73	1994-02-07	1:39	1994-02-16	5:58	220 hs e 19 min,
74	1994-03-07	23:24	1994-03-18	8:45	248 hs e 21 min.
75	1994-04-04	8:15	1994-04-15	19:17	296 hs e 59 min.
76	1994-05-14	20:47	1994-05-17	14:02	65 hs e 15 min.
77	1994-07-15	19:41	1994-07-18	15:12	67 hs e 31 min.
78	1994-09-08	15:29	1994-09-12	0:43	81 hs e 14 min.
79	1994-10-09	23:45	1994-10-12	13:50	62 hs e 5 min.
80	1994-10-30	2:38	1994-11-02	22:53	92 hs e 15 min.
81	1994-12-23	23:24	1994-12-26	6:54	56 hs 10 min.
82	1995-01-02	14:13	1995-01-06	0:11	105 hs e 58 min.
83	1995-02-02	0:49	1995-02-04	20:29	67 hs e 40 min.
84	1995-02-12	15:48	1995-02-14	21:05	53 hs e 17 min.
85	1995-05-30	2:53	1995-06-04	1:48	118 hs e 55 min.
86	1995-10-06	2:23	1995-10-08	22:59	68 hs e 36 min.
87	1996-03-12	2:04	1996-03-14	12:58	58 hs e 54 min.
88	1996-04-18	19:34	1996-04-21	5:01	57 hs e 27 min.
89	1996-08-28	3:54	1996-08-30	9:02	53 hs e 8 min.
90	1996-09-19	15:57	1996-09-22	18:27	74 hs e 30 min.
91	1998-04-24	17:11	1998-04-27	16:46	70 hs e 45 min.
92	1998-07-22	20:56	1998-07-25	12:32	63 hs e 36 min.
93	1999-03-30	6:32	1999-04-01	6:58	48 hs e 26 min.
94	1999-04-29	9:48	1999-05-03	19:35	115 hs e 47 min.
95	1999-08-31	15:30	1999-09-02	20:10	52 hs e 40 min.
96	1999-10-23	13:20	1999-10-25	19:08	53 hs e 48 min.
97	1999-12-03	9:59	1999-12-05	23:58	61 hs e 59 min.
98	1999-12-30	20:01	2000-01-03	4:04	52 hs e 4 min.
99	2000-01-27	18:06	2000-01-31	3:02	80 hs e 56 min.
100	2000-02-05	15:53	2000-02-08	5:26	61 hs 33 min.
101	2000-02-24	2:42	2000-02-26	2:53	48 hs e 11 min.
102	2001-07-15	6:19	2001-07-17	6:50	48 hs e 31 min.
103	2002-07-22	1:35	2002-07-24	2:20	48 hs e 45 min.

Continua

Tabela 3.1- Conclusão

104	2002-09-11	5:22	2002-09-13	13:16	55 hs e 54 min.
105	2002-11-29	12:05	2002-12-02	1:34	61 hs e 29 min.
106	2003-04-20	15:45	2003-04-23	2:01	58 hs e 16 min.
107	2003-04-24	5:06	2003-04-28	11:05	101 hs e 59 min.
108	2003-05-05	8:50	2003-05-09	16:59	104 hs e 9 min.
109	2003-05-13	4:31	2003-05-16	3:50	71 hs e 19 min.
110	2003-06-26	21:14	2003-06-30	22:16	97 hs e 2 min.
111	2003-07-03	8:47	2003-07-06	6:00	68 hs e 13 min.
112	2003-08-20	15:11	2003-08-24	15:43	96 hs e 32 min.
113	2003-09-15	21:02	2003-09-20	22:03	121 hs e 1 min.
114	2003-09-23	23:31	2003-09-26	2:36	51 hs e 5 min.
115	2003-10-15	3:28	2003-10-22	18:35	183 hs e 7 min.
116	2003-12-09	2:48	2003-12-16	4:02	169 hs e 14 min.
117	2004-01-02	8:24	2004-01-06	11:11	98 hs e 47 min.
118	2004-02-12	1:35	2004-02-15	11:36	82 hs e 1 min.
119	2004-09-15	19:49	2004-09-18	5:39	57 hs 50 min.
120	2005-05-15	17:08	2005-05-18	16:03	70 hs e 55 min.
121	2005-08-05	22:19	2005-08-07	22:54	48 hs e 35 min.
122	2005-11-03	10:33	2005-11-05	11:58	49 hs e 25 min.
123	2006-03-18	5:25	2006-03-20	11:19	53 hs e 54 min.
124	2006-06-06	6:02	2006-06-10	6:28	56 hs e 59 min.
125	2006-10-13	15:17	2006-10-16	0:16	50 hs e 12 min.
126	2006-10-28	14:15	2006-10-30	16:27	96 hs e 26 min.
127	2006-12-06	0:00	2006-12-08	21:49	69 hs e 49 min.
128	2007-01-29	14:02	2007-01-31	14:14	48 hs e 12 min.
129	2007-02-27	15:31	2007-03-01	17:07	49 hs e 36 min.
130	2007-09-01	16:31	2007-09-03	17:10	48 hs e 41 min.
131	2008-02-28	9:23	2008-03-01	23:42	62 hs e 19 min.
132	2011-04-30	18:04	2011-05-03	4:56	58 hs e 52 min.
133	2011-09-11	12:17	2011-09-13	12:42	48 hs e 25 min.

Fonte: Adaptado de Hajra, 2013.

Os eventos HILDCAAs apresentada na Tabela 3.1 foram o objeto de estudo deste trabalho. A duração média dos eventos é de 76,2 horas, com desvio padrão igual a 36,5 horas. O menor evento estudado durou 48,1 horas (~ 2 dias) (evento 64), e o maior durou quase 297 horas (> 12 dias) (evento 75). Para obter as respostas das questões propostas foram usadas medidas de alguns parâmetros relevantes durante os eventos listados acima.

3.2. Dados

Neste trabalho foram utilizados os índices AE para os 133 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011. Esses dados foram obtidos através do site: *WDC Center for Geomagnetism* (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/>). Também foram utilizados dados das componentes sul (Bz) do IMF, obtidos através do seguinte site: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>. É importante salientar que estes dados do IMF foram adquiridos com data somente a partir de 1995, e também que esses dados apresentaram *gaps*. Para usá-los nesse trabalho, os mesmos foram completados por meio de interpolação linear. Os dados do meio interplanetário do site do GSFC/NASA são uma compilação de observações de vários satélites nas proximidades da Terra, desde o ano de 1963. A partir de 1997 os dados são oriundos principalmente dos satélites Wind e ACE (Explorador de Composição Avançada, do inglês *Advanced Composition Explorer*) disponíveis através do seguinte sítio: <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>.

Os dados do vento solar são propagados dos pontos de observação até a posição do “nariz” da frente de choque da Terra. Dentre esses eventos, observaram-se que 9 eventos que ocorreram após o lançamento do Cluster, em 2000, coincidiram com o Cluster passando pela cauda da magnetosfera (um em agosto de 2003, dois em setembro de 2003, um em outubro de 2003, um em setembro de 2004, um em agosto de 2005, dois em outubro de 2006 e um em setembro de 2007). Para esses eventos também foram usados dados as componentes Bx do campo geomagnético na magnetocauda adquiridos pelo satélite Cluster através do site: <http://caa.estec.esa.int>.

3.2.1. Espaçonaves da missão Cluster

A missão Cluster foi lançada em 2000 pela Agência Espacial Europeia e iniciou a coleta de dados em 2001. Seu objetivo é estudar os efeitos do vento solar na Terra, em três dimensões, visando determinar os processos físicos envolvidos na interação vento solar-magnetosfera. Tal missão é formada por uma constelação de quatro naves espaciais com separação variável, as quais

transitam em formação em torno da Terra, medindo seu campo magnético e ambiente de plasma (ESCOUBET et al., 1997; BALOGH, 2001).

A missão Cluster também possibilita o estudo de processos físicos que ocorrem em diferentes regiões da magnetosfera, em diferentes escalas espaciais/temporais. Os processos associados à reconexão magnética na região da magnetopausa, fenômenos de plasma na frente de choque, e na bainha podem ser observados no lado diurno da magnetosfera, tanto nas cúspides polares quanto em latitudes médias. No lado noturno, na cauda da magnetosfera, o Cluster possibilita estudar a reconfiguração do campo magnético durante tempestades e subtempestades magnéticas, processos na lâmina de plasma, entre outros (BALOGH, 2001).

Os dados utilizados nesse trabalho estão nos sistemas GSE (do inglês, *Geocentric Solar Ecliptic*) e no sistema de coordenadas GSM (do inglês, *Geocentric Solar Magnetospheric*). O sistema GSE está centrado no Sol, com o eixo x na direção Terra-Sol, o eixo y no plano da eclíptica na direção do anoitecer e o eixo z está paralelo ao polo da eclíptica. O sistema GSM está centrado na Terra, tendo seu eixo x apontado na direção Terra-Sol, o eixo y perpendicular ao dipolo terrestre, e o eixo Z sendo a projeção do dipolo, sendo este positivo para o norte. A diferença entre esses dois sistemas de coordenadas é uma rotação em torno do eixo X. Um esquema com os sistemas de coordenadas GSE e GSM é apresentado na Figura 3.1.

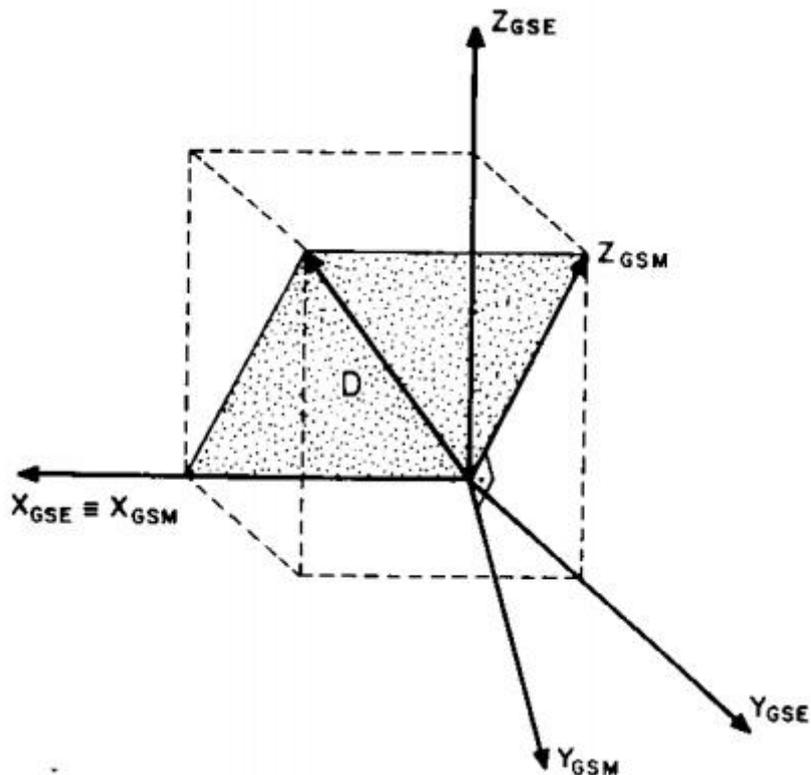


Figura 3.1- Relação entre os sistemas de coordenadas GSE e GSM, sendo que D representa o dipolo magnético terrestre.
 Fonte: Mendes Junior (1992).

Para os dados da componente B_z do IMF serão usados os dois sistemas de coordenadas. Importante mencionar que os dados fornecidos pelo Cluster encontram-se no sistema GSE e foram utilizados apenas os dados obtidos pelo satélite durante sua passagem pela cauda magnética e não durante todo o evento HILDCAA correspondente. Observe que no eixo X os sistemas de coordenadas GSE e GSM são equivalentes, logo B_x é o mesmo em coordenadas GSE e em GSM.

Korth et al. (2006) realizaram um trabalho a respeito da atividade na lâmina de plasma através de dados do Cluster durante eventos CIRs/feixes de alta velocidade e tempestades geomagnéticas. Eles observaram a ocorrência de subtempestades com periodicidade entre 2 e 3 horas, bem como atividades recorrentes que sofrem grande influência de ondas alfvénicas do vento solar, mostrando que a componente B_z do IMF negativo e de longa duração pode

levar a energização da lâmina de plasma e ao desenvolvimento de subtempestade.

Bolzam et al. (2012) também obtiveram resultados semelhantes em um estudo das principais frequências de acoplamento entre a magnetosfera e o vento solar. Eles utilizaram análise de wavelet cruzada durante tempestades geomagnéticas causadas por regiões de interação corrotantes. Foi observado que o acoplamento vento solar- magnetosfera ocorre em 2 períodos: Um período principal de $253,6 \pm 79$ minutos e um secundário de $139,5 \pm 41$ minutos. O período secundário de aproximadamente 2,3 horas corrobora com resultados de Korth et al. (2006) para períodos de subtempestade cíclicas. No presente trabalho, estudos similares foram feitos, para identificar os períodos de acoplamento vento-solar magnetosfera, mas para eventos HILDCAAs.

3.3. Metodologia

Para realizar a análise de séries temporais, várias técnicas podem ser utilizadas como, por exemplo, a Transformada de Fourier (TF) e a análise dada pela Transformada Wavelet (TW). Cada uma destas técnicas possui sua aplicabilidade bem específica e, por isso, foi utilizada a TW para análise do espectro dinâmico de energia dos eventos aqui estudados, pois estes dados possuem características de não estacionaridade, o que motiva o uso desta técnica. É importante salientar que o espectro de energia dinâmico informa como a energia de um sinal é distribuída entre as frequências e, também, como esta varia no tempo. Para maior compreensão desse estudo, primeiramente será apresentada uma abordagem a respeito dessas técnicas de análise de sinais.

3.3.1. Transformada de Fourier

Normalmente, a análise do espectro de energia pode ser realizada pela tradicional análise espectral usando a TF, que aproxima uma função $f(t)$ por uma combinação linear de componentes senoidais, cada uma com uma dada

frequência. Assim, obtém-se boa localização em frequência, mas isso não ocorre no tempo, já que não apresentam suporte compacto, ou seja, a função não tende a zero no infinito (CASTILHO et al.; 2012).

A base para a análise de Fourier é um conjunto de funções *ortogonais*, senos e cossenos de período 2π (BOLZAM, 2004). O que realmente ocorre é que a dilatação da função e^{ix} gera esse conjunto de senos e cossenos, ou melhor, e^{inx} para qualquer n inteiro. A análise de Fourier é feita usando um algoritmo FFT (do inglês *Fast Fourier Transform*) que fornece informações da energia associada a cada frequência presente no sinal, sendo este resultado chamado de espectro de energia. Para o caso de séries temporais não-estacionárias, ou seja, em que há uma variação nos momentos estatísticos no tempo, a TF não é apropriada (BOLZAM, 2004).

Com o intuito de obter localização temporal das frequências presentes em séries temporais não-estacionárias, Dennis Gabor introduziu uma janela na análise de Fourier que se move ao longo do tempo (GAO E YAN, 2011). Esta janela era centrada no tempo e, para cada intervalo que a janela varresse, uma TF era calculada. Este processo foi o nascimento da chamada Transformada de Fourier Janelada (TFJ).

Apesar do grande passo que foi dado com a TFJ, a mesma ainda não era a mais adequada para o estudo de séries temporais não-estacionárias, pois a janela tinha o tamanho fixo. Além disso, a janela também não conseguia identificar frequências grandes e pequenas ao mesmo tempo, já que para notar frequências pequenas seria necessária uma longa observação no tempo, ou seja, uma janela grande, mas para observar altas frequências é necessário o uso de uma janela pequena (BOLZAM, 2006). A partir das dificuldades ainda presentes na TFJ, houve a necessidade de se desenvolver funções matemáticas que superassem essa problemática da janela fixa. Por isso, a seguir será dada uma introdução dessas funções matemáticas que culminaram no surgimento da Transformada Wavelet.

3.3.2. Transformada Wavelet

A ideia básica da TW foi introduzir uma janela variável capaz de se contrair e se dilatar dependendo da escala de análise, num comportamento tal como sanfona. Para isso, tais funções matemáticas teriam que ter a forma de pequenas ondas que pudessem se dilatar ou se contrair em um período limitado de tempo (DOMINGUES et al., 2005; CASTILHO et al., 2012). Isso foi feito por Morlet nos anos 1980 e, posteriormente, Yves Meyer demonstrou as condições de ortogonalidade dessa nova ferramenta matemática, fornecendo boas condições para o uso da mesma. Grossmann e Morlet mostraram que se a função wavelet for ortogonal, esta tem aplicabilidade real, o que significa que uma combinação linear desta wavelet pode representar um sinal de energia finita (MEYER, 1990).

As funções wavelets, representadas por $\psi(t)$, são funções matemáticas de suporte compacto, pois as mesmas são localizadas nos domínios de tempo (espaço) e escala, ao contrário do que acontece com as funções trigonométricas (BOLZAN, 2004). Isso explica a possibilidade de usá-las para analisar sinais não-estacionários, já que ela permite mapear alterações nas propriedades de séries temporais não-estacionárias. Para um aprofundamento sobre não estacionaridade indica-se o livro de Morettin (1992).

Como se trata de um conjunto de funções com forma de pequenas ondas, as wavelets são geradas por dilatações, $\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$, e translações, $\psi(t) \rightarrow \psi(t+1)$, de uma função geradora simples $\psi(t)$, a *wavelet-mãe* dada pela Equação 3.1:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad \text{para } a, b \in Z, \text{ e } a \neq 0; \quad (3.1)$$

sendo a a escala, associada a dilatação e contração da wavelet, e b uma localização temporal que está relacionada com o deslocamento no tempo. Para

cada valor de a e b obtêm-se um conjunto de funções wavelets, $\psi_{a,b}(t)$, denominadas de wavelet-filhas. Para o parâmetro de escala a com grandes valores, caracterizam-se as baixas frequências, da mesma forma, valores pequenos de a correspondem a altas frequências (DAUBECHIES, 1992).

Para ser considerada uma função wavelet, essa deve possuir propriedades específicas apontadas por Morettin (1992). Algumas dessas propriedades são:

P1. Todas as derivadas de ordem superior de $\psi(x)$ existem, ou seja, $\psi(x)$ deve ser regular;

P2. A função $\psi(x)$ e todas as suas derivadas de ordem superior decaem rapidamente para $x \rightarrow \pm\infty$, condição para que a função seja localizada;

P3. Todos os momentos de ordem r , com $r \in N$, de $\psi(x)$ devem ser nulos, ou seja, a condição para que a função tenha um caráter oscilatório. Matematicamente, esta propriedade é expressa da seguinte forma:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^r \psi(x) dx = 0.$$

Existem dois tipos de funções wavelets, as contínuas e as discretas (DAUBECHIES, 1992). As funções wavelets discretas são utilizadas para a decomposição de séries temporais em frequências. Esse procedimento é muito útil para processos de filtragem. Dentre essas funções a mais conhecida é a função wavelet de Haar (GRINSTED et al., 2004). Entretanto esse tipo de funções wavelets não foi utilizado nesse trabalho e, portanto, esse assunto não será aprofundado. As funções wavelets contínuas mais conhecidas são: a função wavelet Chapéu Mexicano, usada principalmente para análise de sinais sísmicos; e a função wavelet de Morlet que foi usada neste trabalho.

A função de Morlet é uma função complexa e contínua que pode ser descrita como uma onda plana envolvida em um envelope de Gauss (TORRENCE; COMPO, 1998). Esta função wavelet pode ser descrita pela Equação 3.2 (BOLZAN, 2006):

$$\psi(t) = e^{i\xi_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (3.2)$$

onde ξ_0 é uma frequência não-dimensional que controla o número de oscilações no pacote de onda. A Figura 3.2 apresenta a forma da parte real da wavelet de Morlet.

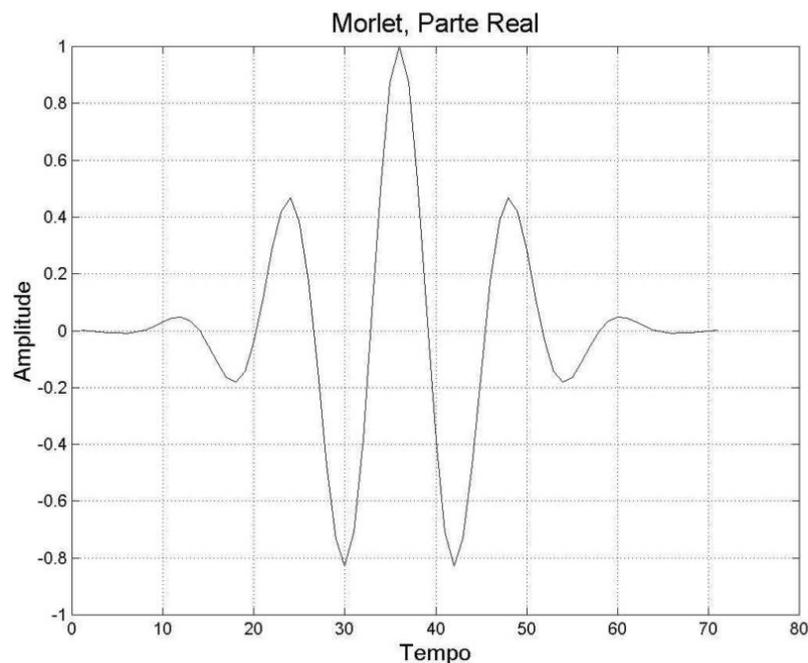


Figura 3.2-Parte real da wavelet de Morlet, para $\xi_0 = 5$.
Fonte: Bolzam (2006).

A função wavelet de Morlet vem sendo usada com frequência na geofísica (KUMAR; GEORGIU, 1994; BOLZAM, 2004; ECHER, 2010b; BOLZAM; ECHER, 2014). Justifica-se a escolha da wavelet de Morlet por apresentar boa localização em frequência, permitindo assim obter os períodos característicos dos eventos HILDCAAs, bem como os principais períodos do acoplamento vento solar-magnetosfera.

Depois de ter definido algumas das principais funções wavelets é possível agora definir a TW. A TW para uma função $f(t)$ na sua forma contínua (SILVA et al., 2005), é apresentada na Equação 3.3:

$$TW(a, b) = \int f(t)\psi_{a,b}(t)^* dt, \quad (3.3)$$

onde a é a escala, b se refere ao parâmetro de translação, $\psi_{a,b}(t)$ é a função wavelet-mãe, e $\psi_{a,b}(t)^*$ representa seu complexo conjugado.

Devido à presença de descontinuidades nas extremidades do espectro wavelet causadas pelo preenchimento do final da série temporal com zeros para aproximar os dados a próxima potência de dois (já que a TF supõe que os dados são cíclicos), um cone de influência (COI) é introduzido. O COI representa a região onde os efeitos de borda causados pelos zeros inseridos nos dados tornam-se relevantes (TORRENCE; COMPO, 1998). Assim, o que é observado na região fora do COI deve ser desconsiderado das análises.

A reconstrução do sinal (no caso a função $f(t)$) é feita pela Transformada Wavelet Contínua Inversa (TWCI) usando as funções wavelets-filhas e os coeficientes wavelet (YOUNG, 1993). A TWCI é dada pela Equação 3.4:

$$TWCI(t) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{a^2} TW(a, b)\psi_{a,b}^*(t) da db, \quad (3.4)$$

onde c_ψ vem da condição de admissibilidade que garante a inversibilidade da função.

A TW é capaz de extrair informações de localização no plano tempo-escala de estruturas características de um sinal (WALKER, 2008). Essa seria uma característica ideal para o estudo dos eventos HILDCAAs cujos períodos são de poucas horas.

3.3.3. Espectro de Wavelet Global

O espectro de wavelet global (em inglês, *Global Wavelet Spectrum*, GWS) é usado para identificar os períodos/frequências mais energéticos presentes em uma série temporal, e é dado pela Equação 3.5.

$$GWS = \int |TW(a, b)|^2 db . \quad (3.5)$$

A justificativa do uso da TW em relação a TF é devido à boa localização em frequência, e tempo.

3.3.4. Estudo de correlação

O estudo da correlação entre as séries estudadas será feito usando dois métodos, a transformada Wavelet cruzada e a correlação cruzada clássica, as quais serão abordadas a seguir.

3.3.4.1. Transformada Wavelet Cruzada (Cross-Wavelet)

A Transformada Wavelet Cruzada (*Cross-Wavelet*) (TWC) é uma ferramenta que permite analisar a correlação entre duas séries temporais em função do período do sinal e da sua evolução temporal (BOLZAN et al., 2012). A *Cross-Wavelet* é constituída a partir de duas transformadas wavelets contínuas (usando a função wavelet de Morlet, por exemplo) de duas séries temporais, identificando suas potências em comum (GRINSTEDD et al., 2004).

A TWC de duas séries é dada pela Equação 3.6.

$$W^{yx}(a, b) = W^x(a, b)W^y(a, b)^* , \quad (3.6)$$

onde W^x e W^y representam a aplicação da TW nas séries temporais $x(t)$ e $y(t)$, respectivamente, e $(*)$ representa o complexo conjugado.

Para estudar os principais períodos onde a correlação entre duas séries temporais é maior, utiliza-se a Cross Wavelet Global (Equação 3.7), que pode ser obtida reescrevendo a Equação 3.5 como:

$$GWS = \frac{\sigma^x \sigma^y}{\sigma^x + \sigma^y} \int |W^{xy}(a, b)|^2 db, \quad (3.7)$$

onde σ^x e σ^y representam as variâncias de $x(t)$ e $y(t)$ respectivamente.

A vantagem do uso da wavelet cruzada é que a mesma fornece a correlação dinâmica da energia entre as duas séries. Assim é possível observar os momentos em que houve maior transferência de energia de um sistema para o outro, juntamente com as características dessa transferência.

Na Figura 3.3 é apresentado um exemplo do uso da transformada wavelet cruzada entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante um evento HILDCAA que ocorreu em outubro de 2006 (evento 126 da Tabela 3.1). Na mesma, pode-se ver como a correlação entre as duas séries varia no tempo (Figura 3.3-b)), assim como pode-se identificar os períodos onde a correlação é maior (Figura 3.3-c)).

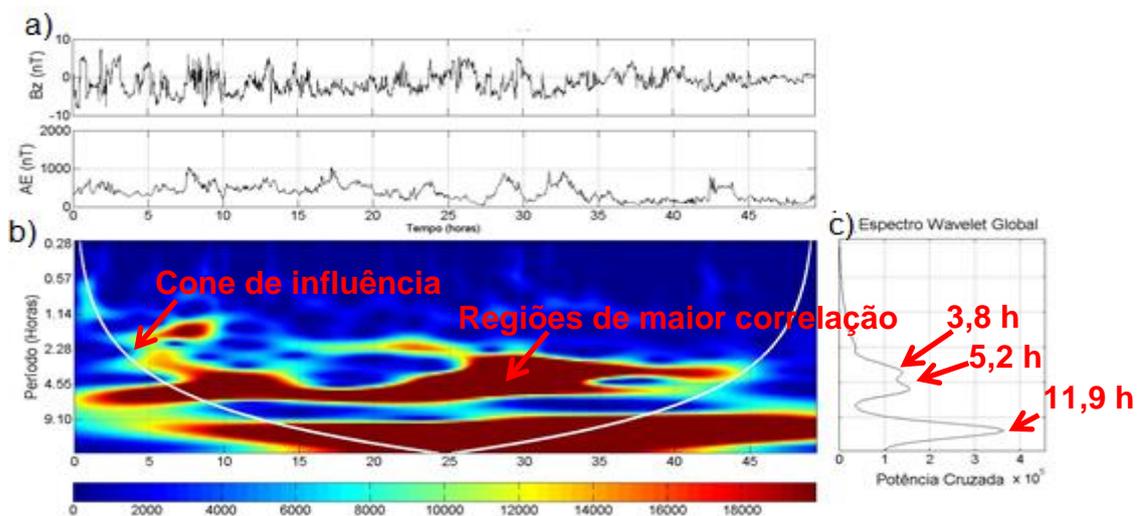


Figura 3.3-a) Séries temporais da componente Bz do IMF (GSM) e índice AE. b) Wavelet cruzada entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 14:15 UT do dia 28 e 16:27 UT do dia 30 de outubro de 2006. c) Espectro de wavelet global.

As regiões de maior correlação entre as séries são identificadas pela intensidade da cor, apresentadas pela barra de cores. Na Figura 3.3-b) há uma seta indicando as regiões de maior correlação, que apresentam coloração avermelhada, o cone de influência citado na subseção 3.3.2 é indicado por uma seta vermelha e curva branca, o mesmo delimita a região onde os efeitos de borda passam a ser relevantes. Na Figura 3.3-c) observam-se 3 períodos em que a correlação entre as séries é maior; o primeiro em 3,8 h, o segundo com período igual a 5,2 h e o último igual a 11,9 h.

3.3.4.2. Correlação Cruzada Clássica

A correlação cruzada entre duas séries fornece o grau de similaridade entre elas, juntamente com o deslocamento entre elas no tempo (defasagem ou *lag*). A correlação entre duas séries X e Y é dada pela Equação 3.8:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (3.8)$$

onde r é o coeficiente de correlação.

O coeficiente de correlação define quão bem correlacionadas as séries estão, variando de -1 a 1. Quando o coeficiente de correlação é menor que zero significa que a correlação é negativa, sendo -1 o valor de correlação negativa máxima, conhecida como correlação negativa perfeita. Quando o coeficiente de correlação é maior que zero, tem-se a correlação positiva, sendo 1 a correlação positiva perfeita. Quando o coeficiente de correlação é zero, significa que não há correlação entre as duas séries.

A correlação clássica é calculada com o deslocamento de uma série em relação à outra por unidades de tempo (t), o que fornece a defasagem da correlação entre elas (*lag*).

A Figura 3.4 apresenta a correlação cruzada clássica entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante o mesmo evento HILDCAA que foi aplicada a wavelet cruzada na Figura 3.3. Por meio da mesma, obtém-se a correlação entre as séries, de -0,65 e defasagem igual a - 40 minutos.

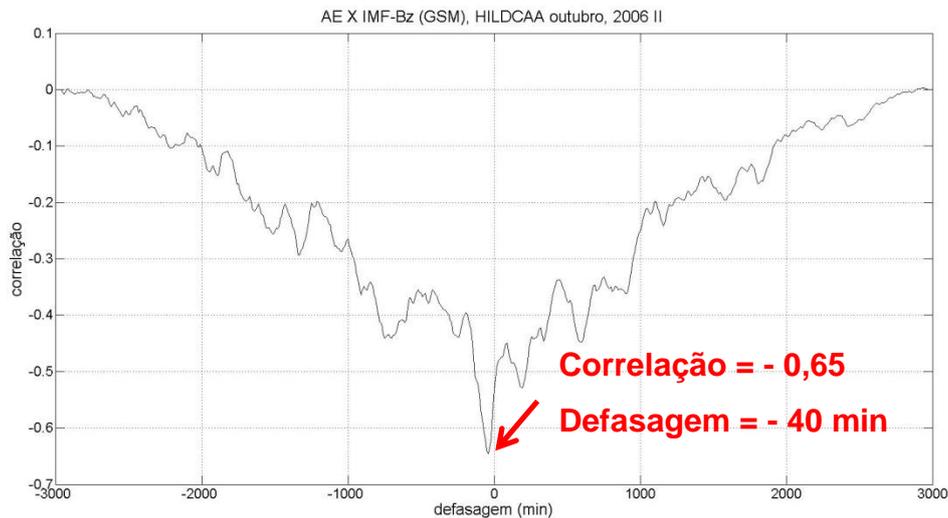


Figura 3.4- Correlação cruzada clássica entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE para o evento HILDCAA que ocorreu entre 14:15 UT do dia 28 e 16:27 UT do dia 30 de outubro de 2006.

3.3.5. Aplicação da metodologia

Tendo em vista o objetivo geral desse trabalho, apresentado na introdução, realizam-se as aplicações da metodologia para a obtenção dos resultados de interesse. Essas aplicações são:

- Realizar análise por wavelets do índice AE para todos os eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011, buscando determinar os períodos característicos desses eventos no índice AE.
- Obter os períodos característicos da componente Bz do IMF para os eventos HILDCAAs que ocorreram a partir de 1995, usando a análise por wavelets.

- Usar a análise por wavelets para a componente Bx do campo geomagnético na magnetocauda com dados obtidos através do satélite SC4 da missão Cluster para os 9 eventos em que o mesmo cruzou a lâmina de plasma da magnetosfera durante suas ocorrências, com a finalidade de obter os períodos dos HILDCAAs na cauda da magnetosfera.
- Utilizar a wavelet cruzada e a correlação cruzada clássica nos dados do índice AE e da componente Bz do IMF, para eventos que ocorreram a partir de 1995, para identificar o quão correlacionados os mesmos estão, bem como os períodos em que correlação entre eles é maior.
- Identificar os períodos de maior correlação entre a componente Bz do IMF com o componente Bx do campo magnético da cauda magnetosférica através da wavelet cruzada, para os eventos que ocorreram após o lançamento do Cluster, em eventos que o mesmo passou pela lâmina de plasma na cauda da magnetosfera.
- Utilizar wavelet cruzada para identificar os períodos de maior correlação entre a componente Bx do campo geomagnético da cauda e o índice AE para os eventos em que o Cluster cruzou a lâmina de plasma.
- Classificar e analisar a forma de distribuição de energia dos principais períodos encontrados com a análise por wavelets do índice AE, componente Bz do IMF, e componente Bx do campo geomagnético da magnetocauda.
- Classificar e analisar a forma de distribuição de correlação entre o índice AE e a componente Bz do IMF, entre a componente Bz do IMF e a componente Bx do campo geomagnético, e também entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE.

4. RESULTADOS

Este capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos no desenvolvimento dessa dissertação de mestrado. Entre eles estão a determinação dos principais períodos no meio interplanetário (Bz), bem como no índice AE, durante eventos HILDCAAs, as características da distribuição de frequência durante estas atividades, os efeitos dos eventos HILDCAAs na cauda magnetosférica e períodos característicos do acoplamento vento solar-magnetosfera na ocorrência de um evento HILDCAA.

4.1. Estudo da identificação dos Principais Períodos nos Eventos HILDCAAs

Com a finalidade de obter os principais períodos nos eventos HILDCAAs, a TW foi aplicada aos dados dos eventos estudados. Em seguida, foi feita a análise de distribuição de frequências com maior energia que ocorreram em largura de banda de período com 4 horas de duração. Estes foram identificados através da transformada wavelet global que, para fins de nomenclatura, será usada a sigla GWS, do inglês *Global Wavelet Spectrum*. O objetivo foi calcular o percentual do número de períodos de maior energia que ocorreram em cada intervalo de período/frequência e, em seguida, obter os períodos predominantes nos eventos HILDCAAs tanto na magnetosfera (através do índice AE), quanto no meio interplanetário (através da componente Bz do IMF). A seguir serão mostradas as análises realizadas seguindo a metodologia descrita no capítulo 3, tanto para o índice AE em todos os 133 eventos, como para a componente Bz do IMF para 52 eventos identificados através do índice AE que ocorreram a partir de 1995 e para a componente Bx do campo geomagnético correspondente ao período dos 9 eventos HILDCAAs em que o Cluster cruzou a lâmina de plasma da magnetocauda.

4.1.1. Identificação dos períodos característicos do índice AE durante eventos HILDCAAs

Para o índice AE a TW foi aplicada aos 133 eventos estudados e, a partir dos gráficos obtidos, uma tabela com os principais períodos, densidade de energia (obtida pelo espectro wavelet global), e classificação da distribuição de energia em cada período de maior energia foi construída. Esta tabela se encontra no Apêndice A (Tabela A.1).

Por motivo de brevidade, apenas um exemplo da aplicação da TW nos 133 eventos estudados será mostrado, pois, as características gerais de seus resultados foram semelhantes para todos os eventos. A Figura 4.1 apresenta: a série temporal do índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu em outubro de 2003 (evento 115 da Tabela 3.1) (4.1-a). Na Figura 4.1-b) tem-se a TW do índice AE; o eixo y representa os períodos em escala logarítmica de base 2, e o eixo x representa o tempo de duração do evento. A GWS é apresentada na Figura 4.1-c), a mesma apresenta a energia integrada de cada período durante o evento observada na Figura 4.1-b), o eixo y da Figura 4.1-c) corresponde aos mesmos períodos da Figura 4.1-b), e o eixo x representa a densidade de energia. Observam-se na Figura 4.1-b) várias frequências com maior valor de energia, sendo duas delas predominantes em quase todo o evento: os períodos de 27 e 53 horas, aproximadamente.

Na Figura 4.1-c) na GWS podem-se observar três períodos de maior energia, os quais estão marcados em vermelho. O primeiro ocorre em 15,2 horas, com densidade de energia igual à $3,3 \times 10^{12} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$, o segundo em 27,5 horas, apresentando densidade de energia de $5,7 \times 10^{12} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ e, o último, mais intenso com $8,5 \times 10^{12} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ em 53,4 horas.

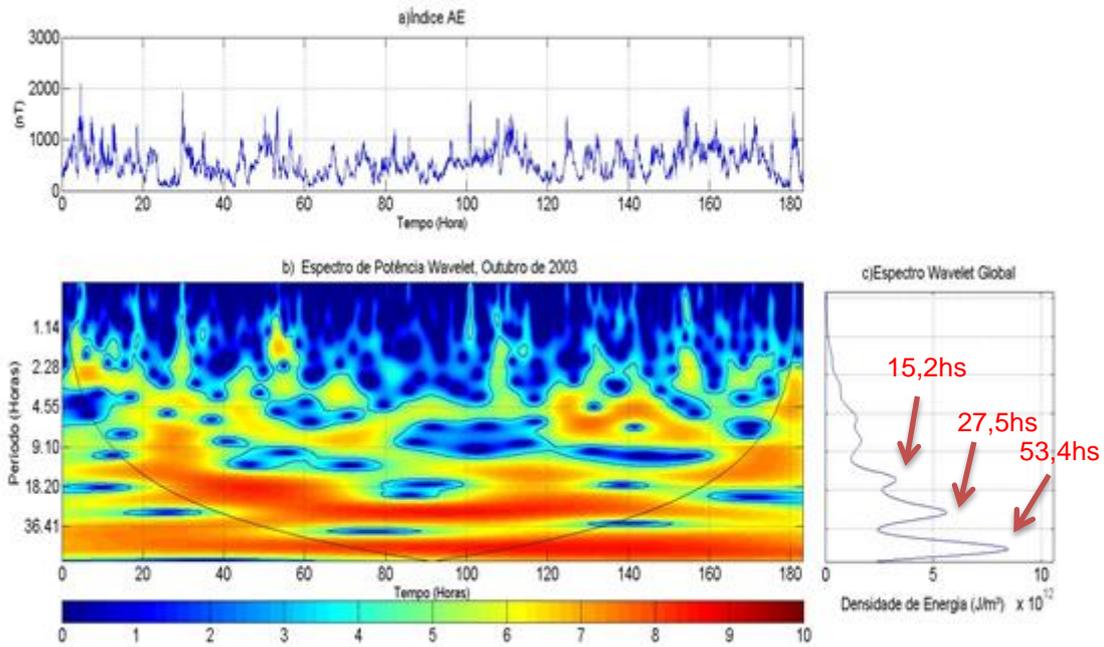


Figura 4.1- a) Série temporal do índice AE. b) Gráfico da TW para o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003. c) Espectro de Wavelet Global (GWS).

A análise dos períodos correspondentes aos picos de energia foi dividida em duas etapas, a primeira usando todos os períodos com maior energia dos eventos, e a segunda utilizando apenas o período mais energético de cada evento.

4.1.1.1. Análise usando todos os picos de energia

Foi observado que o número de períodos de maior energia variou de evento para evento, por exemplo, para o índice AE foram observados entre 1 a 5 períodos de maior energia por evento. Ao todo foram registrados 318 períodos de maior energia.

A Tabela 4.1 mostra o resultado para os intervalos de períodos que foram usados para realizar a contagem dos períodos de maior energia (sendo o primeiro intervalo entre 0 e 4 horas, e o último entre 76 e 80 horas), o número de períodos de maior energia em cada intervalo e o percentual de períodos de

maior energia. É importante salientar que os intervalos em que períodos de maior energia não foram registrados não foram incluídos na tabela.

Ao todo foram obtidos 13 intervalos de frequência em que ocorreram períodos de maior energia. Pela Tabela 4.1 nota-se que o maior número de períodos com maior energia ocorreram entre 4 e 8 horas, o que representa 31,45% dos mesmos.

Tabela 4.1- Número de períodos de maior energia identificados e percentagens por intervalo de período para o índice AE durante os 133 eventos HILDCAAs.

Intervalo de períodos (horas)	Número de períodos de maior energia	Percentual (%)
$0 < T \leq 4$	37	11,6
$4 < T \leq 8$	100	31,5
$8 < T \leq 12$	59	18,5
$12 < T \leq 16$	34	10,7
$16 < T \leq 20$	31	9,8
$20 < T \leq 24$	25	7,9
$24 < T \leq 28$	19	6,0
$28 < T \leq 32$	5	1,6
$32 < T \leq 36$	3	0,9
$44 < T \leq 48$	2	0,6
$52 < T \leq 56$	1	0,3
$56 < T \leq 60$	1	0,3
$76 < T \leq 80$	1	0,3

A partir dessa tabela foi elaborado um histograma que permite uma melhor visualização do percentual dos períodos de maior energia em cada intervalo (Figura 4.2).

No histograma da Figura 4.2 pode-se observar que o intervalo entre 4 a 8 horas apresentou maior frequência de ocorrência, correspondendo a 31,5% dos

eventos. Se forem consideradas as duas barras principais, entre 4 e 12 horas, tem-se 50% dos períodos com maior energia registrados durante os 133 eventos HILDCAAs. Com isso chega-se a um dos resultados buscados por esse trabalho, os períodos característicos do índice AE durante HILDCAAs se encontram entre 4 e 12 horas. Também, observa-se que 72,3% dos casos de períodos de maior energia apresentam valores menores ou iguais a 16 horas.

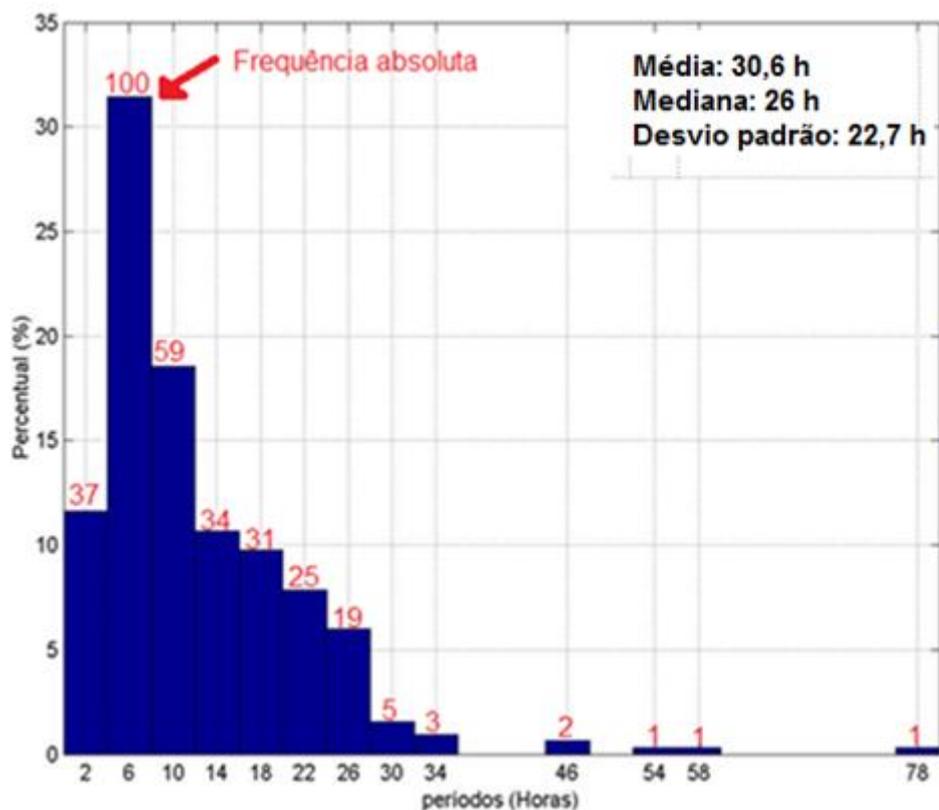


Figura 4.2- Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia do índice AE durante os eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011.

4.1.1.2. Análise usando apenas o período com maior energia de cada evento

A mesma análise foi realizada, mas considerando apenas o período de maior energia do índice AE de cada evento. Constatou-se que 22,5% dos 133 períodos principais apresentaram períodos entre 8 e 12 horas como pode ser observado na Figura 4.3.

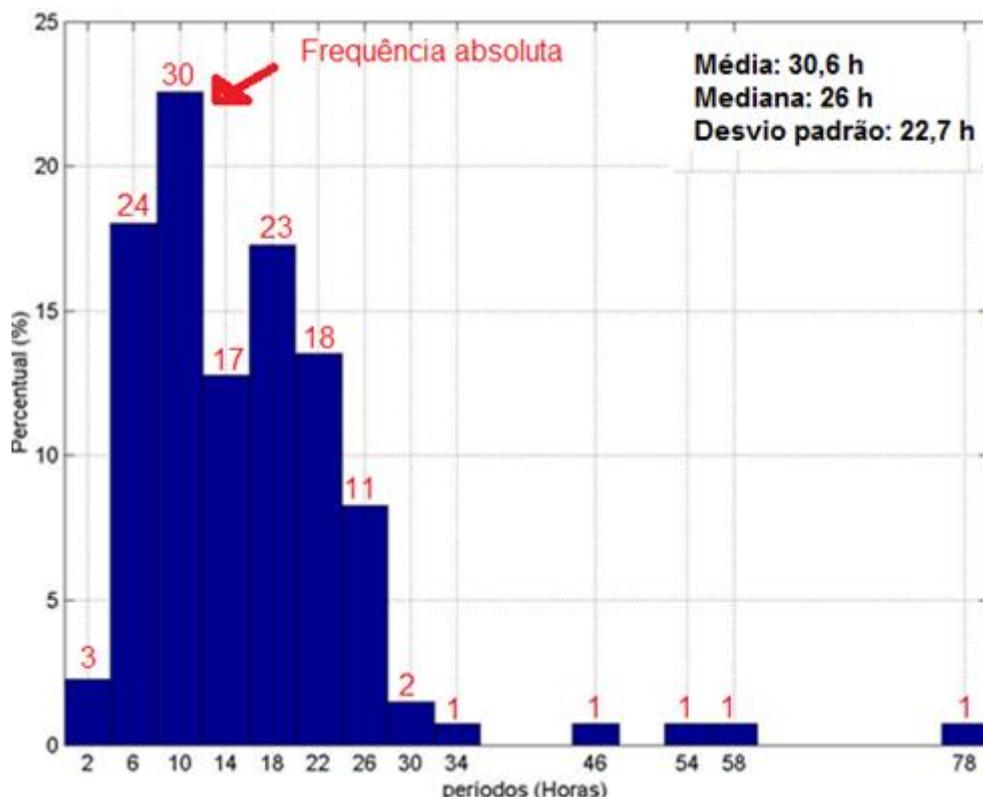


Figura 4.3- Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia dos 133 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011, utilizando apenas o pico principal.

Considerando as duas barras que apresentaram maior frequência de ocorrência de intervalos de períodos com maior energia, como foi feito para o estudo anterior, observa-se que os principais de maior energia também são mais frequentes entre 4 e 12 horas, já que 40,6% dos períodos de maior energia ocorreram nesse intervalo.

A média, mediana e o desvio padrão do percentual de períodos encontrados foram calculados a fim de comparar o estudo usando todos os períodos encontrados nos eventos, com apenas o período mais energético de cada um. Os valores da média e do desvio padrão encontrados foram iguais a 30,6 h (média) e 22,7 h (desvio padrão), independentemente de se usar todos os períodos de maior energia ou apenas o mais energético de cada evento, o que ressalta que não há diferença significativa entre usar todos os períodos ou apenas o período de maior energia de cada evento.

4.2. Períodos Característicos da Componente Bz do IMF Durante Eventos HILDCAAs

De forma análoga ao utilizado na análise dos dados do índice AE, os principais períodos durante os eventos HILDCAAs também foram estudados através da componente Bz do IMF a partir de 1995, resultando na análise de 52 eventos. Esta análise da componente Bz do IMF foi realizada usando dados tanto em coordenadas GSE e GSM, para verificar se há diferenças significativas nos dois sistemas.

4.2.1. TW para Bz do IMF em coordenadas GSE

A TW foi aplicada nos dados da componente Bz do IMF (GSE) durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003. O resultado é apresentado na Figura 4.4.

Assim, como foi visto na TW da Figura 4.1 para o índice AE, observa-se que a densidade de energia dos períodos mais energéticos da componente Bz do IMF (GSE) durante esse evento HILDCAA que ocorreu em outubro de 2003 (evento 115), também está distribuída em várias regiões e bandas de frequência, sendo que alguns deles são dominantes em quase todo o evento, como mostram as Figuras 4.4-b) e 4.4-c) respectivamente.

Na Figura 4.4-c) observam-se os 6 períodos de maior concentração de energia, indicados em vermelho. O primeiro período foi observado em aproximadamente 5,9 horas, com densidade de energia de $1,4 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$, seguido pelo período de densidade de energia equivalente a $2,1 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$, em torno de 9,3 horas, o terceiro, com período igual a 11,9 horas e densidade de energia igual a $5 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$, o quarto período foi observado em aproximadamente 19,9 horas com densidade de energia igual a $5 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$. O período mais energético ocorreu em períodos de aproximadamente 28,9 horas, com densidade de energia

atingindo $6,5 \times 10^8 \frac{J}{m^3}$ e o último com período igual a 49,07 horas e densidade de energia de aproximadamente $5,6 \times 10^8 \frac{J}{m^3}$.

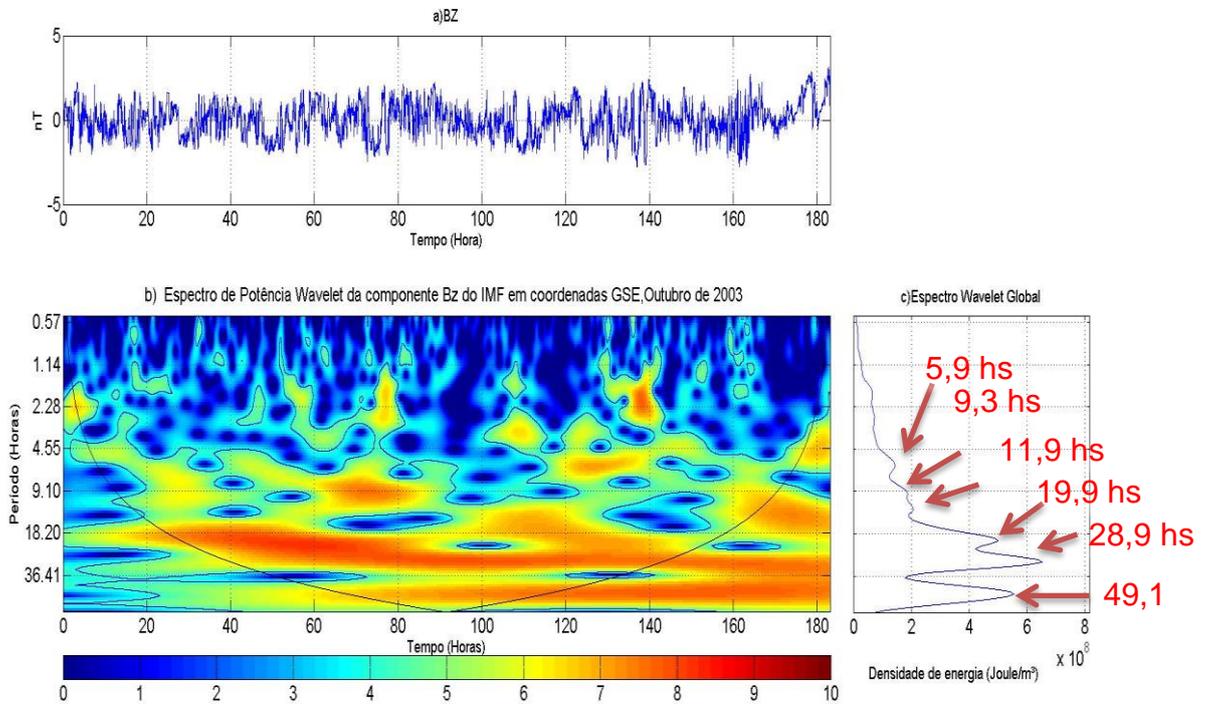


Figura 4.4-a) Série temporal da componente Bz do IMF em coordenadas GSE . b) TW para Bz do IMF (GSE) durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.

A partir dos períodos de maior energia na componente Bz do IMF (GSE) observados durante os eventos HILDCAAs, que ocorreram, entre 1995 e 2011, foi gerada uma tabela com esses valores, que é apresentada no APÊNDICE A, (Tabela A2). Também foi feita uma tabela com o percentual de períodos de maior energia que ocorrem em intervalos de 4 horas, da mesma forma como foi feito para o índice AE. A Tabela 4.2 apresenta as bandas com o número de períodos de maior energia que ocorreram em cada intervalo e o percentual obtido através do Espectro de Wavelet da componente Bz do IMF, em coordenadas GSE.

Tabela 4.2- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenada GSE durante os eventos HILDCAAs.

Banda de períodos (h)	Número de períodos de maior energia	Percentual (%)
$0 < T \leq 4$	42	25
$4 < T \leq 8$	49	29,2
$8 < T \leq 12$	27	16,1
$12 < T \leq 16$	21	12,5
$16 < T \leq 20$	14	8,3
$20 < T \leq 24$	6	3,6
$24 < T \leq 28$	1	0,6
$28 < T \leq 32$	4	2,4
$32 < T \leq 36$	1	0,6
$36 < T \leq 40$	1	0,6
$48 < T \leq 52$	1	0,6
$52 < T \leq 56$	1	0,6

Pela Tabela 4.2 nota-se que o intervalo com maior ocorrência de períodos mais energéticos também se encontra entre 4 e 8 horas, representando 29,2% de todos os 168 picos observados. O histograma feito a partir da Tabela 4.2 é apresentado na Figura 4.5. Nesta figura pode-se observar o percentual de períodos de maior energia correspondente a cada intervalo de períodos.

Nota-se que, considerando apenas os dois intervalos com maior ocorrência de períodos de maior energia, obtém-se 54,2% dos períodos entre 0 e 8 horas. Os períodos de maior energia são dominantes entre 0 e 16 horas, com 82,4% dos períodos identificados.

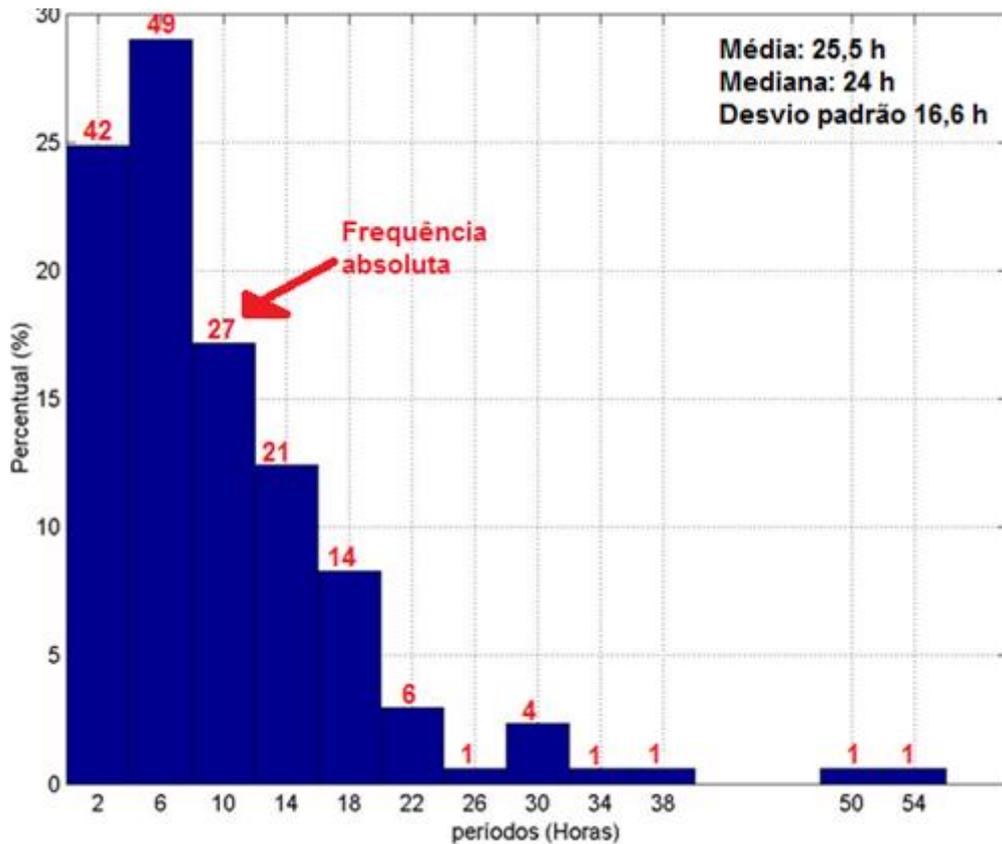


Figura 4.5- Histograma com frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior energia durante eventos HILDCAAs no meio interplanetário usando coordenadas GSE.

Esta análise também foi realizada usando apenas o período de maior energia de cada evento. Os períodos característicos encontrados foram registrados entre 4 e 12 horas, representando 50% dos 52 períodos de maior energia estudados. Esse intervalo de período também foi condizente com os períodos encontrados na magnetosfera através da análise do índice AE.

4.2.2. TW para Bz do IMF em coordenadas GSM

Foi aplicada a TW para Bz do IMF em GSM em todas as séries temporais estudadas. A tabela com as informações de todos os eventos se encontra no Apêndice A (Tabela A3). Entretanto, por questão de espaço será mostrado apenas uma dessas aplicações. A Figura 4.6 apresenta a TW que foi aplicada

para a componente Bz do IMF em coordenadas GSM para o mesmo evento (entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003, evento 115) que foi feita a TW para Bz do IMF usando o sistema de coordenadas GSE, já apresentada na Figura 4.4. A Figura 4.6-a) apresenta a série temporal da componente Bz do IMF(GSM), (4.6-b)) a TW e (4.6-c)) GWS.

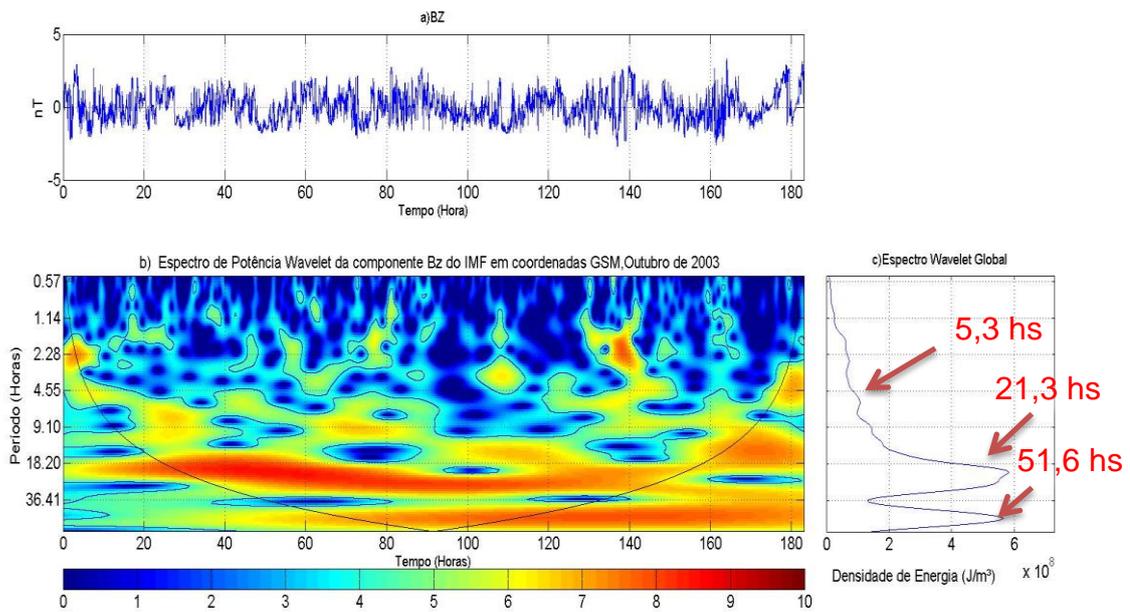


Figura 4.6- a) Série temporal da componente Bz do IMF em coordenadas GSM . b) Gráfico da transformada wavelet para Bz do IMF (GSM) durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 3:28 UT do dia 15 e 18:35 UT do dia 22 do mês de outubro de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.

Os períodos de maior energia, marcados com seta vermelha na Figura 4.6-c), foram eles: o primeiro em torno de 5,3 horas com densidade de energia igual a $1,1 \times 10^8 \frac{J}{m^3}$, o segundo, mais intenso, $5,9 \times 10^8 \frac{J}{m^3}$ em torno de 21,3 horas e, o último, em 51,6 horas com densidade de energia equivalente a $5,7 \times 10^8 \frac{J}{m^3}$.

Através da Tabela 4.3 e do histograma da Figura 4.7 nota-se que os períodos com maior energia, no meio interplanetário durante HILDCAAs, são ≤ 8 horas, correspondendo a 56,1% dos 155 períodos de maior energia observados. Assim observa-se que os períodos característicos durante os eventos

HILDCAAs, obtidos para o meio interplanetário usando a componente Bz do IMF no sistema de coordenadas GSM, são bem similares aos períodos encontrados usando Bz do IMF em coordenadas GSE. Esse resultado pode ser relacionado com as ondas de Alfvén, que apresentam período entre 1 e 10 horas, nas regiões polares do Sol, devido à presença de buracos coronais, onde conseqüentemente ocorre maior emissão de feixes rápidos (SMITH et al., 1995).

Tabela 4.3- Informações sobre os períodos da componente BZ do IMF em coordenada GSM durante os eventos HILDCAAs.

Banda de períodos (h)	Número de períodos de maior energia	Percentual (%)
$0 < T \leq 4$	41	26,5
$4 < T \leq 8$	46	29,7
$8 < T \leq 12$	23	14,8
$12 < T \leq 16$	21	13,6
$16 < T \leq 20$	10	6,4
$20 < T \leq 24$	6	3,9
$24 < T \leq 28$	3	1,9
$28 < T \leq 32$	2	1,3
$32 < T \leq 36$	1	0,6
$48 < T \leq 52$	2	1,3

A Figura 4.7, apresenta o histograma com os períodos da componente Bz do IMF em coordenadas GSM durante eventos HILDCAAs.

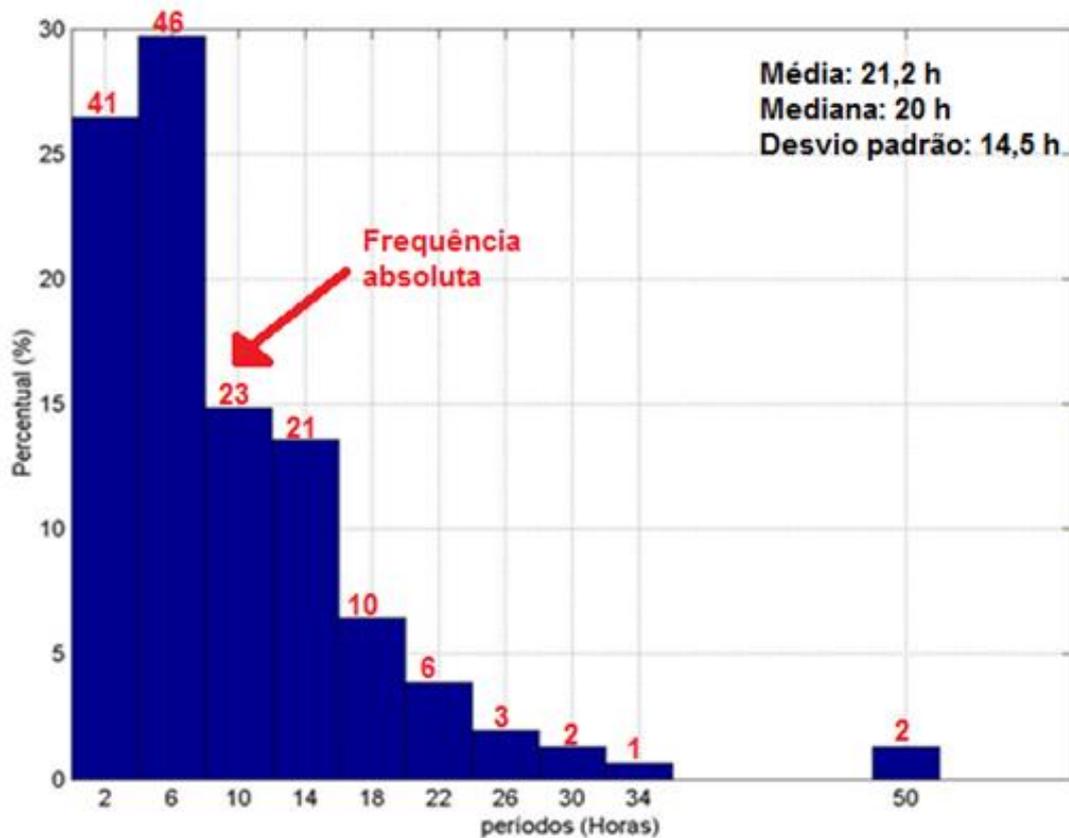


Figura 4.7- Histograma do período versus percentual de períodos de maior energia dos eventos HILDCAAs no meio interplanetário usando coordenadas GSM.

A média, mediana e o desvio padrão dos períodos encontrados foram calculados a fim de comparar o estudo realizado usando os sistemas de coordenadas GSE e GSM. A média encontrada usando o sistema de coordenadas GSE foi igual a 25,3 h e o desvio padrão de 16,6 h. E usando o sistema de coordenadas GSM a média obtida foi igual a 21,2 h e o desvio padrão equivalente a 14,5 h. Pelos valores encontrados nota-se que há um grande intervalo de dispersão comum da média dos períodos encontrada entre ambos os sistemas de coordenadas, o que reafirma que não há uma diferença significativa em usar um sistema de coordenadas ou outro.

4.3. Identificação dos Períodos Característicos durante os HILDCAAs na Cauda Magnetosférica.

Para esse estudo foram utilizados dados da componente Bx do campo geomagnético, obtidos do satélite SC4 da constelação Cluster. Foram selecionados apenas 9 eventos, sendo que estes corresponderam a eventos em que o Cluster cruzou a lâmina de plasma durante a ocorrência dos HILDCAAs. Assim como foi feito para o índice AE e a componente Bz do IMF, a análise por wavelets do espectro de todos os eventos foi feita por meio de um histograma criado por intervalos de períodos com 4 horas. A Tabela 4.4 apresenta informações da componente Bx do campo geomagnético dos nove (09) eventos selecionados, tais como horário selecionado do Cluster na magnetocauda, após o início do evento HILDCAA, o tempo de permanência do Cluster na mesma, as coordenadas de entrada e saída em raios terrestres, períodos com maior energia, e energia correspondente. Além disso, também são apresentadas informações sobre ajustes lineares e cortes nas séries temporais de Bx que foram necessários para remover a longa tendência de Bx.

Tabela 4.4- Informações sobre os dados da componente Bx do campo geomagnético usados para análise dos efeitos dos HILDCAAs na magnetocauda terrestre.

Evento	Início selecionado / tempo depois do início do evento	Final selecionado	Duração (horas e min)	Coord. de entrada (Raio terrestre)	Coord. de saída (Raio terrestre)	Obs.	Períodos principais (horas)	Densidade de energia ($\frac{J}{m^3}$)
1/112	31 hs e 19 min	72 hs e 19 min.	41 h	(-5,7)	(-5, -9.5)	Ajuste linear	3	1,36E+10
							5,75	1,36E+13
							9,85	6,96E+13
							13,17	7,19E+13
2/ 113	37 hs e 49 min	79 hs e 49 min	42h	(-5, 6.5)	(-5, -9.5)	Ajuste linear	2,58	2,09E+13
							3,67	1,65E+13
							6,57	4,20E+13
							9,28	5,36E+13
3/114	4 hs e 30 min	46 hs	41.5h	(-5, 7)	(-5, -10)	Ajuste linear	3,95	2,49E+13
							6,18	5,01E+13

Continua

Tabela 4.4- Continuação

4/115	10 hs e 7 min	48 hs e 32 min	38 h e 25 min	(-5, 6.5)	(-5, -10)	Ajuste linear	0,47	2,27E+12		
							1,4	3,71E+12		
							2,8	1,77E+13		
							5,42	4,57E+12		
5/119	23 hs	57hs 50 min	34 h e 50 min	(-5, 6.5)	(-12.5,-10)	Ajuste linear	2,91	1,48E+13		
							10,75	6,93E+13		
6/121	25 h e 40 min	48h e 35 min	22h e 54 min	(-5, 7)	(-16.5, -6)	Ajuste linear	1,66	1,81E+12		
							2,96	2,34E+12		
							4,02	3,41E+12		
							6,46	1,27E+13		
7/125	8h e 43min	50h e 43 min	42h	(-5,5.5)	(-5, -11.2)	Conte no inicio da série em 18.7hs, e no final em 41hs	1,69	1,00E+12		
			corde 22he 17 min				corde (-2.8, 1.2)	corde (-11, -10)	3,46	8,61E+11
									6,04	2,09E+12

Continua

Tabela 4.4- Conclusão

8/ 126	Já estava na cauda	30 hs	30 hs	(-10.8,2.5)	(-5,-11)		2,29	4,38E+12
							5,12	1,12E+13
							9,89	1,16E+13
9/130	22h	48 h 41 min	26 hs e 41 min	(-11, 1)	(-18,-9.2)	Corte de 5 horas no inicio	1,48	1,16E+12
			Corte 21 hs e 41 min	Corte (-15,0,5)			4,64	4,38E+12

A Figura 4.8 apresenta um exemplo da TW aplicada à componente Bx do campo geomagnético na magnetocauda durante o evento HILDCAA (evento 9/130 da Tabela 4.4) que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007 sem o corte de 5 horas no início de sua série temporal realizado com a finalidade de remover os efeitos de longa variação.

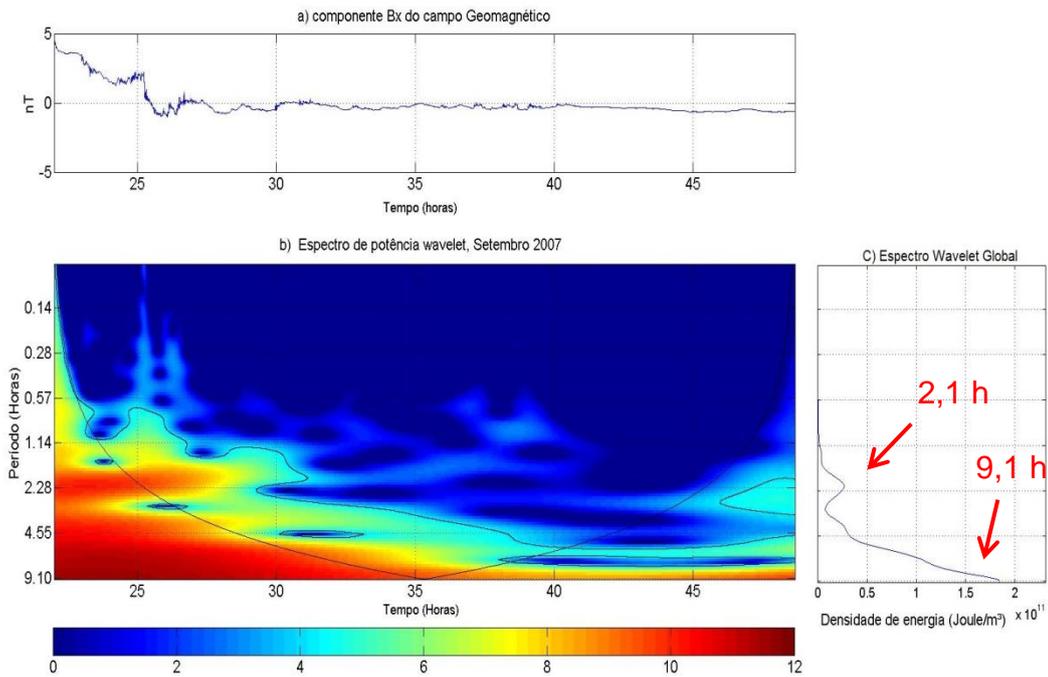


Figura 4.8- a) Série temporal da componente Bx do campo geomagnético. b) TW durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007. c) GWS.

Pela Figura 4.8 observa-se que as perturbações no início da série são muito maiores que as demais, o que impede que essas sejam analisadas. Assim, para que das demais frequências presentes na série temporal da componente Bx do campo geomagnético possam ser analisadas, um corte em 27 horas após o início do evento HILDCAA (5 horas depois do início selecionado na Tabela 4.4) faz-se necessário. A Figura 4.9 apresenta a TW do evento HILDCAA que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007 apresentado na Figura 4.8 com o corte de 5 horas no início da série.

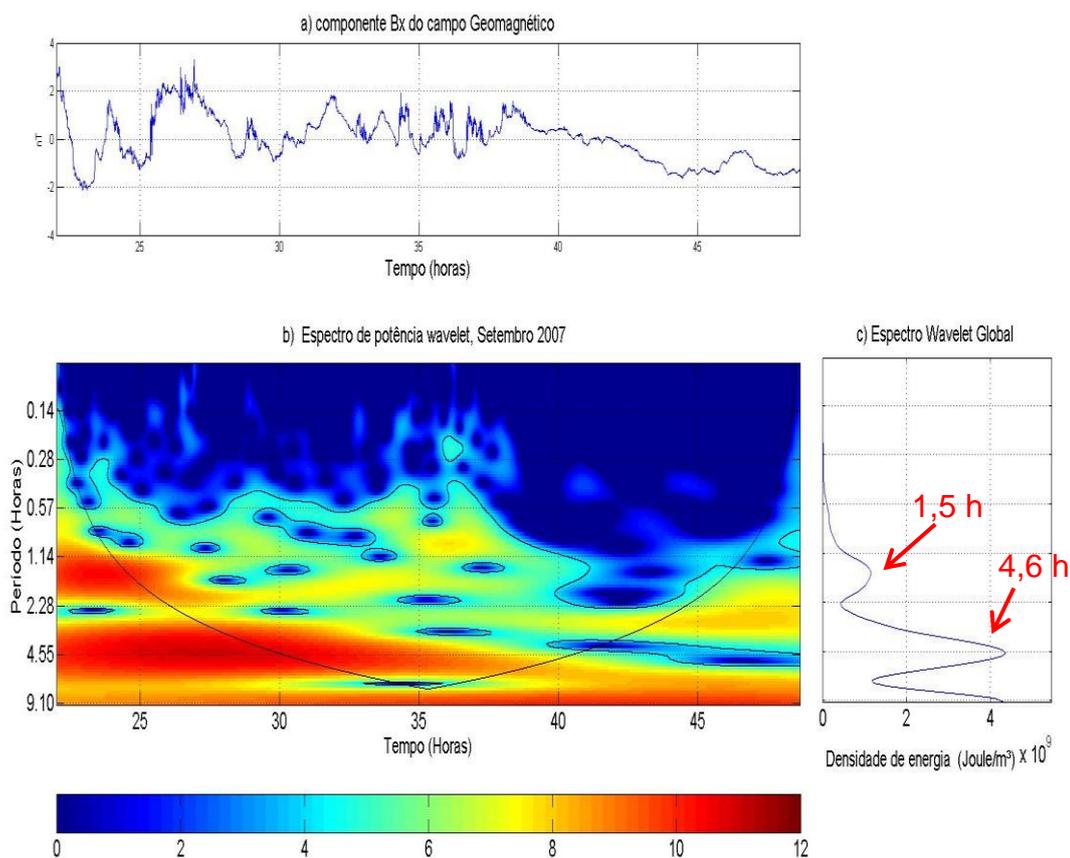


Figura 4.9- a) Série temporal da componente Bx do campo geomagnético com corte de 5 horas no início. b) TW durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 16:31 UT do dia 01 e 17:10 UT do dia 03 de setembro de 2007. c) GWS.

Outros períodos passam a ser observados nas Figuras 4.9-b) e 4.9-c) após a remoção das 5 horas no início da série temporal, logo os efeitos causados pela longa tendência são praticamente removidos da análise.

A TW da componente Bx do campo geomagnético durante o evento HILDCAA, que ocorreu em setembro de 2004 (evento 5/119 da Tabela 4.4), está apresentada na Figura 4.10. A Figura 4.10-a) apresenta a série temporal de Bx. A sua TW é apresentada na Figura 4.10-b) onde pode-se observar as regiões de maior concentração de energia, principalmente entre 25 e 45 horas após o início do evento. A GWS é apresentada em 4.10-c) onde pode-se identificar dois períodos mais energéticos, sendo o primeiro com período igual a 2,9 horas e densidade de energia equivalente a $1,5 \times 10^{13} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$, e, o último, bem mais

intenso com energia $6,9 \times 10^{13} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$ em torno de 10,8 horas, ambos indicados por setas vermelhas na Figura 4.10.

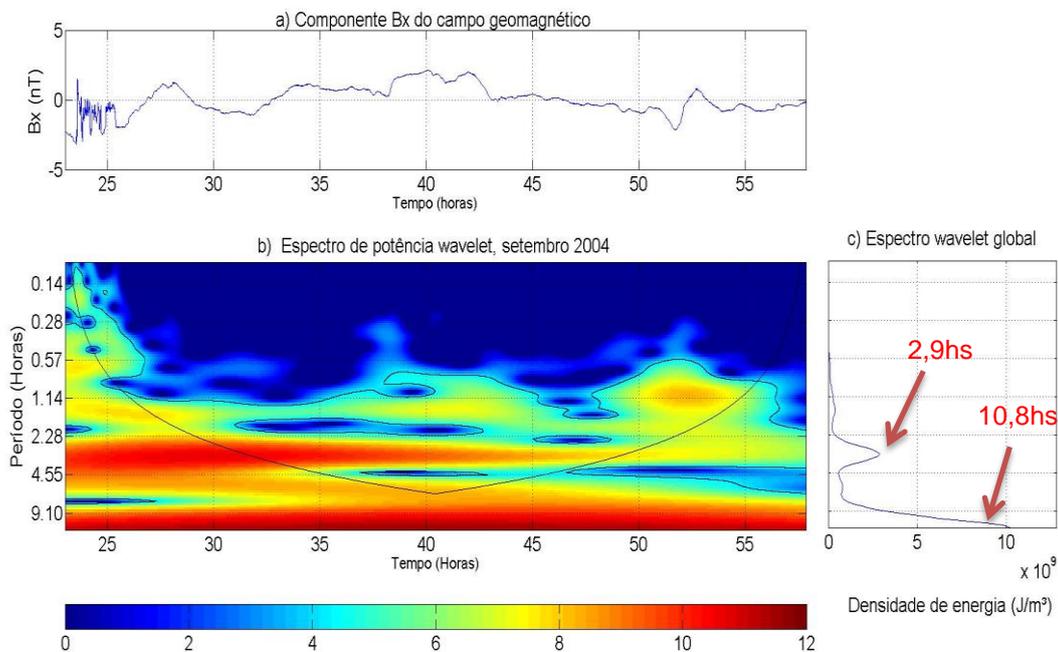


Figura 4.10-a) Série temporal da componente Bx do campo geomagnético . b) Gráfico da TW para Bx durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 19:49 UT do dia 15 e 5:39 UT do dia 18 do mês de setembro de 2004. c) Espectro de Wavelet Global.

Na Tabela 4.5 são mostrados os números e os percentuais dos períodos de maior energia que ocorreram em cada intervalo de 4 horas. Ao todo, foram observados 28 períodos de maior energia dos quais 50% ocorreram no primeiro intervalo, ≤ 4 horas. Considerando apenas os dois intervalos com maior percentual de ocorrência de períodos de maior energia, obtém-se que quase 82,1% dos períodos são ≤ 8 horas, assim como foi observado para as componentes Bz do IMF, tanto em coordenadas GSE quanto em coordenadas GSM.

Tabela 4.5- Informações sobre os períodos da componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.

Banda de períodos (h)	Número de picos	Percentual (%)
$0 < T \leq 4$	14	50
$4 < T \leq 8$	9	32,1
$8 < T \leq 12$	4	14,3
$12 < T \leq 16$	1	3,6

Os períodos de maior frequência de ocorrência podem ser observados na Figura 4.11. Pelo histograma nota-se que os períodos de maior energia ocorreram em altas frequências, já que todos os períodos observados foram inferiores ou iguais a 16 horas. Embora tenham sido usado poucos eventos para a realização desse estudo, vale lembrar que o mesmo está de acordo com os períodos obtidos por Korth et al. em 2006 no estudo de eventos de feixes de alta velocidade do vento solar, em que se observou subtempestades com períodos entre aproximadamente 2 a 4 horas. E também com o trabalho de Bolzam et al. (2012) que obtiveram períodos semelhantes, 2,3 horas usando regiões de interação corrotante.

Da Tabela 4.4 nota-se que o tempo de cruzamento do Cluster na cauda magnetosférica durante os 9 eventos estudados varia de aproximadamente 22 horas a 42 horas. Comparando a duração do evento com os períodos observados na Figura 4.11, observa-se que o maior valor de período de maior energia observado para componente Bx do campo geomagnético na magnetocauda é de aproximadamente um terço da duração máxima das séries estudadas.

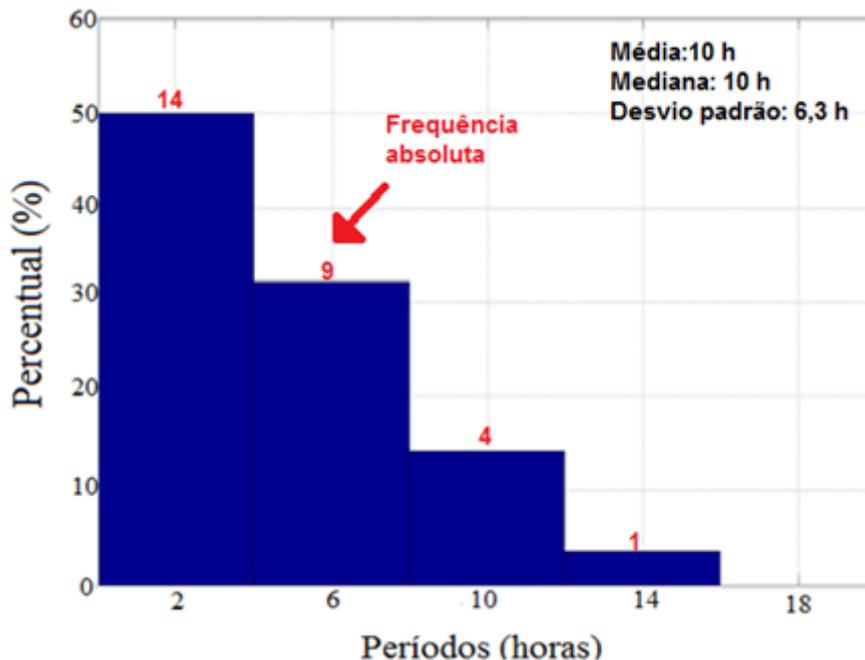


Figura 4.11- Histograma da frequência relativa e frequência absoluta dos períodos da componente Bx do campo geomagnético na cauda magnetosférica durante eventos HILDCAAs.

4.4. Classificação da Variação Temporal da Energia nos Principais Períodos Durante os Eventos HILDCAAs

Para aproveitar a capacidade das wavelets de analisar como o sinal varia em função do tempo, a TW também foi utilizada para analisar a variação temporal da energia nos principais períodos durante os eventos HILDCAAs. Para isso, foram utilizados quatro tipos de classificações quanto a característica não-estacionária do sinal, são elas: Intermitente, Contínua, Quase Contínua e Local. A seguir será feita uma breve descrição de cada tipo destas classificações utilizadas. Classifica-se como uma distribuição de energia intermitente a presença de energia em pequenas regiões localizadas no tempo, mas espalhadas em vários momentos durante o evento. A classificação de um sinal contínuo ocorre quando uma faixa mais energética pode ser observada durante todo evento.

A classificação quase contínua foi usada quando a faixa energética foi observada durante quase todo o evento e, finalmente, a classificação local foi usada para caracterizar a distribuição de energia que ocorreu em uma única região mais intensa durante evento. É importante salientar que os períodos nos quais estas regiões de energia foram observadas fora do cone de influência no periodograma TW não foram avaliados. O método de classificação usado foi a identificação visual de três observadores, a autora e dois orientadores.

A Figura 4.12 apresenta a TW do índice AE do evento HILDCAA que ocorreu em dezembro de 1986 (evento 50 da Tabela 3.1). Notam-se duas faixas de períodos que correspondem aos períodos mais energéticos (marcados em vermelho), sendo a primeira classificada como uma distribuição local e a segunda como quase contínua.

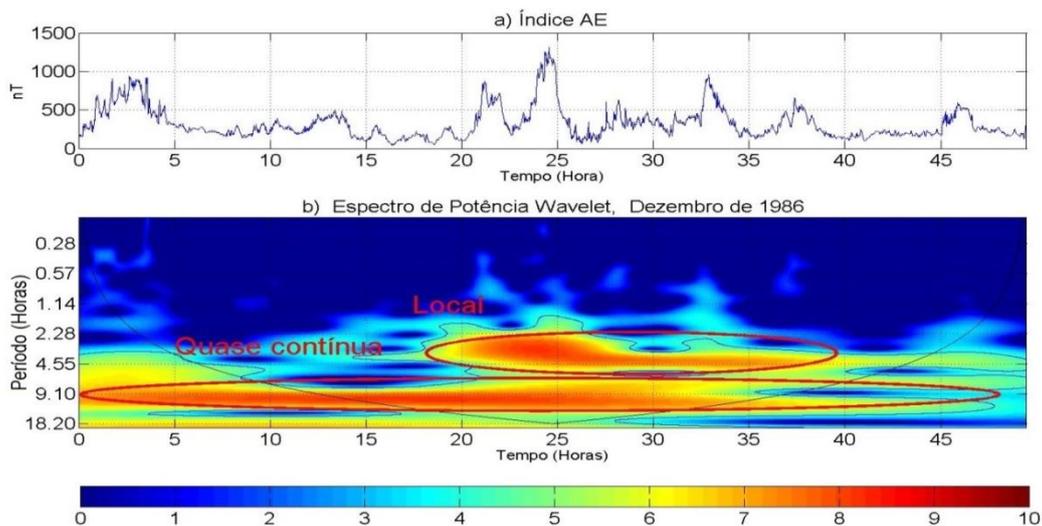


Figura 4.12- a) Série temporal do índice AE. b) Gráfico da TW do índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre as 13:14 UT do dia 22 e 14:42 UT do mês de dezembro de 1986.

Para o estudo do comportamento da distribuição de energia também foi realizada a contagem do número de períodos de maior energia que se enquadrou em cada classificação e, posteriormente, foi gerado um histograma com o percentual de cada comportamento.

4.4.1. Classificação da distribuição de energia para o índice AE

A classificação do sinal para os 318 períodos de maior energia, observados nos 133 eventos, foi realizada, sendo que dentre eles 35 se encontravam fora do cone de influência e, conseqüentemente, não foram usados. O resultado obtido, correspondendo aos 283 picos restantes, é mostrado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6-Número de períodos de maior energia e percentual correspondente a cada classificação.

Classificação	Número de picos	Percentual (%)
Contínua	75	26,5
Quase contínua	49	17,3
Intermitente	132	46,7
Local	27	9,5
Fora do cone (não avaliados)	35	

A Figura 4.13 mostra um histograma com o percentual de cada forma de distribuição de energia para o índice AE. Pela Tabela 4.6 e a Figura 4.13 observa-se que a distribuição de energia do índice AE, durante eventos HILDCAAs, ocorreu na maioria das vezes de forma intermitente (46,7%), ou seja, estava espalhada em vários momentos do evento.

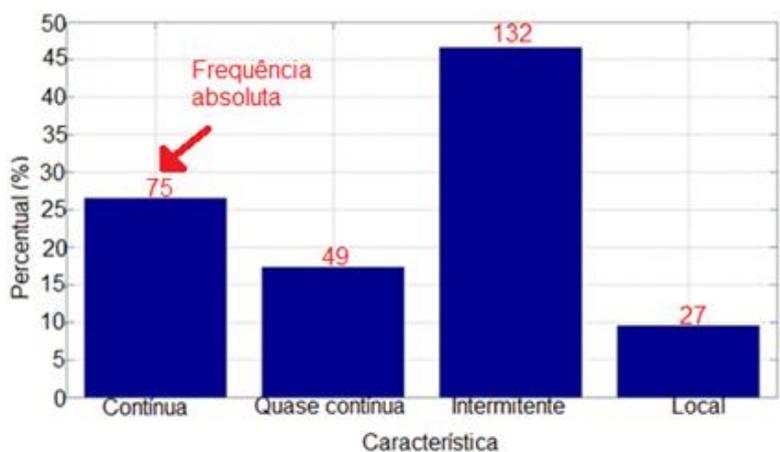


Figura 4.13- Histograma das características de distribuição de energia do índice AE durante HILDCAAs.

Esse resultado é interessante porque indica que em quase 50% dos períodos de maior energia, a liberação de energia ocorre durante eventos curtos, isolados e bastantes energéticos. Essa propriedade, a liberação de uma considerável quantidade de energia em um curto período de tempo, é uma característica de sistemas físicos criticamente auto-organizados ou, do inglês *Self Organized Criticality* (SOC). Como já mencionado por Chang et al. (2006), desde que este conceito foi proposto no trabalho de Bak et al. (1987), o mesmo já foi observado em diversos sistemas físicos diferentes. Embora este conceito já tenha sido observado em Física de Plasma e Espacial desde a década de 1990 (CHANG et al., 2006 e referências internas), ainda foi pouco explorado, principalmente na relação meio interplanetário-magnetosfera terrestre. Neste sentido, Sitnov et al. (2001) modelaram a dinâmica da magnetosfera utilizando o SOC como abordagem. Seus resultados indicaram que a magnetosfera está sempre em uma transição de fase fora do equilíbrio e, por isso, pequenas perturbações neste sistema podem levá-la a regimes onde a liberação de energia desta ocorre de maneira muito intensa. Recentemente, Meirelles et al. (2010) desenvolveram um modelo SOC bidimensional para a principal fonte de distúrbios geomagnéticos, os solar flares. Estes autores encontraram conexões estatísticas entre estes eventos de flares e distúrbios geomagnéticos, indicando a influência de eventos de flares no campo geomagnético.

Dentro do contexto descrito acima é possível entender a magnetosfera terrestre como um sistema físico constantemente fora do equilíbrio devido ao fluxo constante de radiação e partículas ionizadas. Este fluxo faria com que o sistema magnetosférico acumulasse energia até um determinado valor que, após superado, se descarregaria de maneira bastante energética, em curtos intervalos de tempo e de maneira intermitente, conforme está sendo mostrado nos resultados.

A conjectura feita acima, associando eventos HILDCAAS como fenômenos SOC ainda é bastante preliminar, necessitando de outras abordagens para corroborar esta associação de fato. Entretanto, é a primeira vez que tal

associação é feita, mostrando um caminho interessante ainda a ser explorado, mas que foge do escopo deste trabalho.

Analisando as classificações do sinal do índice AE para cada intervalo de período de quatro horas determinado anteriormente, notou-se que a característica intermitente é dominante em períodos menores, principalmente em períodos ≤ 8 horas. Em períodos maiores a característica intermitente vai deixando de ser observada e as características contínua e quase contínua são mais frequentes (Tabela 4.7).

Tabela 4.7- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para o índice AE.

Períodos (horas)	Característica				
	Contínua (%)	Quase contínua (%)	Intermitente (%)	Local(%)	Fora do cone (número de períodos)
≤ 4	0	8,1	86,5	5,4	0
$4 < T \leq 8$	10	12	62	16	0
$8 < T \leq 12$	37,3	37,3	23,7	1,7	0
$12 < T \leq 16$	42,4	21,2	21,2	23,8	1 (não avaliado)
$16 < T \leq 20$	45,8	33,3	8,3	12,5	7 (não avaliado)
$20 < T \leq 24$	81,8	9,1	9,1	0	14 (não avaliado)
$24 < T \leq 28$	58,3	16,7	25	0	6 (não avaliado)

A Tabela 4.7 apresenta o percentual de cada tipo de classificação estabelecidos para o sinal em cada intervalo de período avaliado. Observa-se que 86,5% dos períodos mais energéticos são ≤ 4 horas. O sinal é classificado como intermitente, e em nenhum deles a forma contínua esteve presente. Para períodos maiores como entre 20 e 24 horas, observa-se o contrário, 81,8% dos períodos de maior energia presentes nesse intervalo apresentaram forma contínua, e nem um de forma intermitente. Intervalos de maiores períodos, cujo número de períodos de maior energia é muito pequeno não foram inclusos

nessa análise. Os mesmos também foram desprezados nas demais análises envolvendo a forma do sinal, realizadas nesse trabalho.

4.4.2. Classificação da distribuição de energia para a componente Bz do IMF

O mesmo processo utilizado para analisar a característica dos sinais dos períodos de maior energia para o índice AE também foi realizado para os dados da componente Bz do IMF.

4.4.2.1. Classificação da distribuição de energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSE

As classificações das características do sinal da componente Bz do IMF em coordenadas GSE são apresentados na Tabela 4.8 e na Figura 4.14.

Nota-se que, diferente do observado para o índice AE, a forma de característica dos sinais dos períodos de maior energia mais comum para Bz IMF (GSE) foi a quase contínua, representando 43,6% dos 165 períodos de maior energia dos 52 eventos HILDCAAs analisados.

Tabela 4.8- Características da forma dos sinais dos períodos de maior energia da componente Bz do IMF em coordenadas GSE.

Característica	Nº de picos	Percentual (%)
Contínua	21	12,7
Quase contínua	72	43,6
Intermitente	48	29,1
Local	24	14,6
Fora do cone (não considerado)	3	

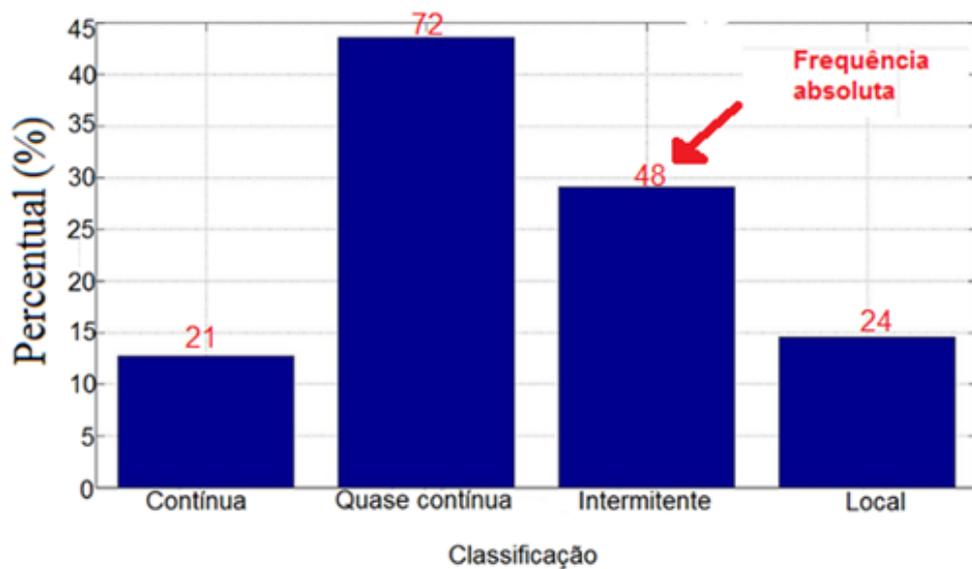


Figura 4.14- Histograma das características de distribuição de energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSE durante HILDCAAs.

A característica quase contínua observada tanto em coordenadas GSE quanto GSM pode ser associada as ondas de Alfvén no meio interplanetário que tem aparência quase periódica no meio interplanetário (TSURUTANI et. al., 1990b). Também foi feita a análise da classificação do sinal em cada intervalo de períodos mais energéticos. O resultado é apresentado na Tabela 4.9.

Na Tabela 4.9 nota-se um comportamento semelhante do observado na análise do índice AE. Para períodos menores (≤ 4 horas) a forma intermitente é mais frequente, sendo esta observada em 66,7% dos períodos de maior energia desse intervalo. A medida que os períodos aumentam, a forma intermitente diminui e a forma contínua e quase contínua passam a serem observadas com maior frequência. A partir do intervalo entre 4 e 8 horas, a forma quase contínua foi a mais observada em todos os intervalos de período, chegando a representar 64,3% no último intervalo considerado (entre 16 e 20 horas).

Tabela 4.9- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para a componente Bz do IMF (GSE).

Período	Classificação				
	Contínua (%)	Quase contínua (%)	Intermitente (%)	Local (%)	Fora do cone (número de períodos)
≤ 4	0	9,5	66,7	23,8	0
$4 < T \leq 8$	2,0	46,9	34,7	16,3	0
$8 < T \leq 12$	29,6	59,3	3,7	7,4	2 (não avaliado)
$12 < T \leq 16$	20	55	10	15	1 (não avaliado)
$16 < T \leq 20$	35,7	64,3	0	0	0

4.4.2.2. Classificação da característica dos sinais dos períodos de maior energia para a componente Bz do IMF em coordenadas GSM

A Figura 4.15 apresenta o histograma da classificação de energia para a componente Bz do IMF, mas em coordenadas GSM. Foram usados 153 períodos de maior energia, já que em dois dos 155 períodos a distribuição de energia foi observada fora do cone de influência. Assim como ocorreu para o sistema de coordenadas GSE, observou-se também que a distribuição de energia nos períodos mais energéticos ocorreu principalmente de forma quase contínua, ou seja, a frequência pôde ser observada durante quase todo evento, presente em 41,2% dos picos estudados.

Outro resultado interessante foi que, em ambos os sistemas de coordenadas GSE e GSM, a segunda característica mais comum dos sinais dos períodos de maior energia foi a intermitente, sendo 29,1% em coordenadas GSE e 31,4% em coordenadas GSM. A característica quase contínua observada tanto em coordenadas GSE quanto GSM pode ser associada as ondas de Alfvén que

tem aparência quase periódica no meio interplanetário (TSURUTANI et. al., 1990b).

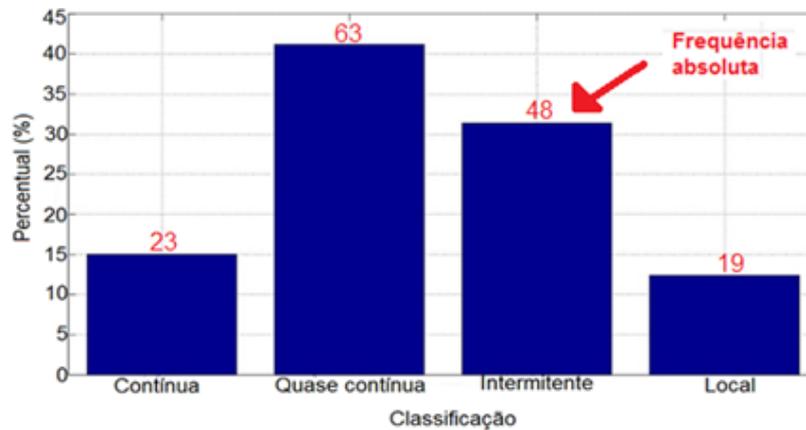


Figura 4.15- Histograma das características dos sinais dos períodos de maior energia da componente Bz do IMF em coordenadas GSM durante HILDCAAs.

Quanto à forma de classificação do sinal em cada intervalo de períodos, nota-se novamente que em curtos períodos a característica intermitente é a mais observada (71,4% são ≤ 4 horas), e em períodos maiores a característica quase contínua juntamente com a contínua passa a ser a mais observada. Tanto para o intervalo entre 12 e 16 horas e para o intervalo entre 16 e 20 horas, a soma da classificação contínua e quase contínua representa aproximadamente 90% dos períodos de maior energia (Tabela 4.10).

Tabela 4.10- Percentual da classificação do sinal em cada intervalo de períodos para a componente Bz do IMF (GSM).

Períodos	Classificação				Fora do cone (número de períodos)
	Contínua (%)	Quase contínua (%)	Intermitente (%)	Local (%)	
$0 < T \leq 4$	0	14,3	71,4	14,3	0
$4 < T \leq 8$	4,4	45,7	34,8	15,2	0
$8 < T \leq 12$	21,7	52,2	0	26,1	0
$12 < T \leq 16$	26,3	63,2	5,3	5,3	2 (não avaliado)
$16 < T \leq 20$	50	40	10	0	0

4.4.3. Classificação da característica dos períodos de maior energia do Bx na cauda durante HILDCAAs

A mesma análise foi realizada para a componente Bx do campo geomagnético. Os resultados indicaram que a energia foi distribuída de forma quase contínua durante os eventos, presente em 64% dos 25 períodos de maior energia analisados, conforme é mostrado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11-Classificação da distribuição de energia da componente Bx do campo geomagnético durante eventos HILDCAAs.

Classificação	Número de períodos de maior energia	Percentual (%)
Contínua	8	32
Quase Contínua	16	64
Intermitente	1	4
Local	0	0

A partir dos resultados da Tabela 4.11 foi feito um histograma com a classificação da característica dos sinais dos períodos de maior energia de Bx durante os nove eventos HILDCAAs aqui estudados. O resultado é apresentado na Figura 4.16.

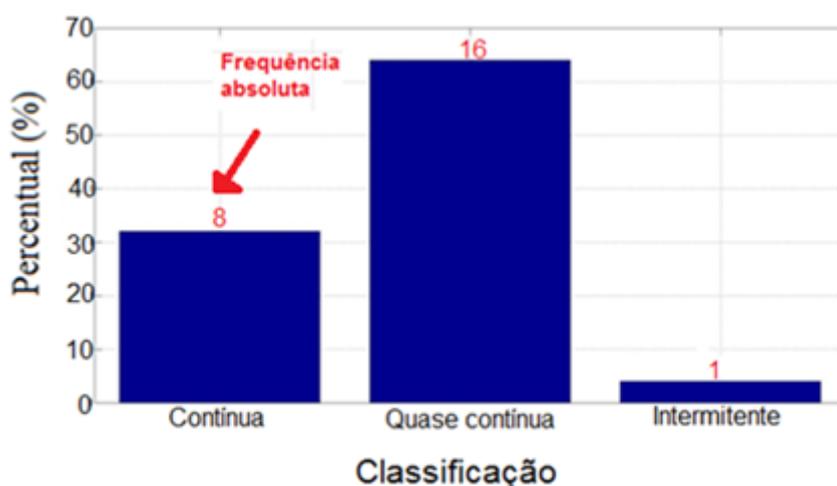


Figura 4.16- Histograma com as formas de distribuição de energia da componente Bx durante HILDCAAs.

4.5. Estudo correlação entre a componente Bz do IMF e a componente Bx do campo geomagnético na cauda durante eventos HILDCAAs

A Transformada Wavelet Cruzada (TWC) foi aplicada para dados da componente Bz do IMF e a componente Bx do campo geomagnético buscando obter os períodos em que houve maior correlação entre essas duas séries. Obter esses períodos é importante para identificar frequências em que o acoplamento de energia é mais forte, assim como a modulação da magnetosfera pelo vento solar (KORTH et al., 2006; BOLZAM et al., 2012). Também foi feita a classificação da forma de característica dos sinais dos períodos de maior correlação obtida pela TWC. Esta mesma análise da correlação também foi realizada através da correlação cruzada clássica, mas os resultados obtidos não apresentaram valores significativos e por isso não foram incluídos.

Primeiramente a TWC entre Bz do IMF e Bx do campo geomagnético foi aplicada usando Bz do IMF em coordenadas GSE e, em seguida, usando o sistema de coordenadas GSM. É importante lembrar que neste trabalho, estudos envolvendo a componente Bx do campo geomagnético foram feitos usando apenas os 9 eventos HILDCAAs em que o Cluster cruzou a lâmina de plasma, descritos na seção anterior.

4.5.1. Transformada Wavelet Cruzada entre Bz do IMF (GSE) e Componente Bx do Campo Geomagnético

A TWC para o evento HILDCAA, que ocorreu em agosto de 2003 (evento 1/112 da Tabela 4.4), é apresentado na Figura 4.17. As séries temporais da componente Bz do IMF e da componente Bx do campo geomagnético estão na Figura 4.17-a), a TWC é mostrada na Figura 4.17-b), e o espectro cruzado de wavelet global é mostrado na Figura 4.17-c).

Pela Figura 4.17-b) observam-se 3 intervalos de maior correlação, são eles: o primeiro entre aproximadamente 40 e 46 horas, depois do início do evento, com

períodos entre 1,5 horas e 3 horas; o segundo no intervalo de períodos entre 4 e 8,5 horas, localizada entre 44 e 66 horas após o início do evento e o último predominante em quase todo o intervalo em que o Cluster permaneceu na cauda, com períodos superiores a 9 horas. Na Figura 4.17-c) podem-se notar 3 picos de correlação correspondente as regiões observadas na Figura 4.17-b), o primeiro pico em 2,9 horas com potência cruzada igual a $4,1 \times 10^3$, o segundo em 5,6 horas e com potência cruzada igual a $8,6 \times 10^3$, e por fim, o terceiro em 12 horas apresentando a maior potência cruzada do evento igual a $1,9 \times 10^4$.

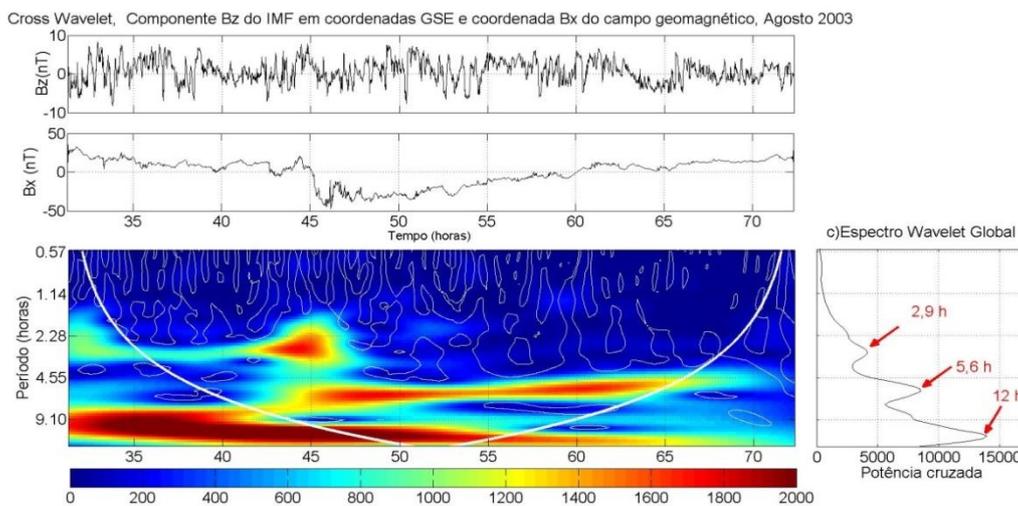


Figura 4.17- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSE e componente Bx do campo geomagnético. b) TWC para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.

A Tabela 4.12 apresenta todos os períodos de maior correlação observados em todos os nove eventos HILDCAAs estudados nessa seção, com suas respectivas potências cruzadas. Observa-se que a correlação entre as séries foi, na maioria dos períodos de maior energia (60,7%), da ordem de 10^3 , sendo que os demais apresentaram correlação na ordem de grandeza maior ou inferior a essa.

Tabela 4.12- Períodos de maior correlação e suas respectivas correlações entre a componente Bz do IMF (GSE) e a componente Bx do campo geomagnético.

Evento	Períodos (h)	Potência Cruzada
1/112	3	4,0758E3
	5,6	8,6045E3
	12	1,3944E4
2/113	1,9	1,0947E4
	2,6	1,3046E4
	6,9	2,1144E4
	8,8	2,5342E4
3/114	1,1	1,9636E3
	3,6	8,7964E3
	6,3	7,5831E3
4/115	1,7	1,4143E3
	3,0	2,3317E3
	5,6	4,9311E3
	11,7	1,1276E4
5/119	3,9	6,4124E3
	11	4,4589E4
6/121	0,12	691
	0,4	1,4645E3
	0,7	1,0237E3
7/125	1,7	532
	5,3	2,5717E3
8/126	0,6	334
	1,2	712
	2,5	1,9621E3
	4,5	4,2876E3
	5,6	4,2876E3
9/130	2,1	1,9388E3
	5,9	3,0176E3

A análise dos períodos de maior correlação foi feita por meio de histogramas usando intervalos de 4 horas, assim como as demais análises de períodos desenvolvidos neste trabalho. A Tabela 4.13 apresenta o número de picos e o percentual correspondente aos intervalos observados.

Tabela 4.13- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSE) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.

Bandas de período (horas)	Número de picos	Percentual (%)
≤ 4	16	57,1
$4 < T \leq 8$	8	28,6
$8 < T \leq 12$	3	10,7
$12 < T \leq 16$	1	3,6

A Figura 4.18 expõe o histograma construído a partir da Tabela 4.13, através do mesmo verifica-se que a transferência de energia é mais eficiente em períodos ≤ 4 horas, que apresentou 57,1% dos períodos de maior correlação observados. É importante lembrar que esse intervalo corresponde a faixa de períodos de subtempestade magnéticas que foi observado por Bolzan et al. (2012) de 2,3 horas. Também se observa-se que para períodos maiores, o número de picos de períodos de maior correlação diminui.

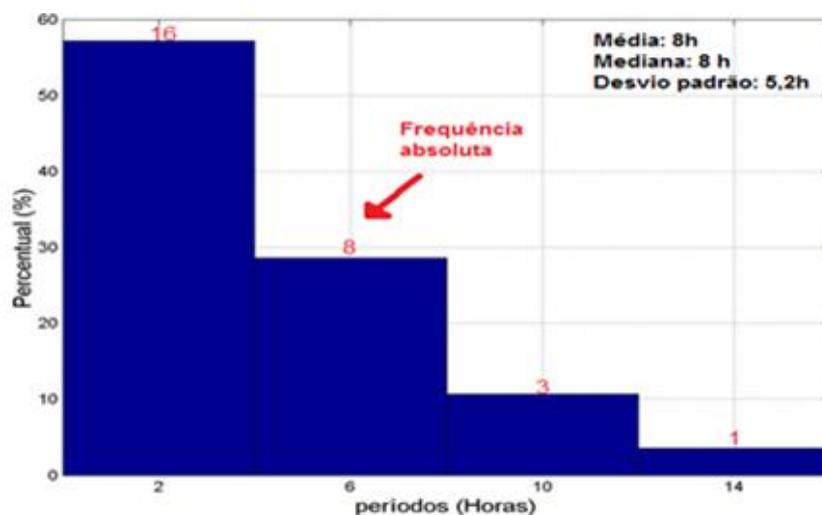


Figura 4.18- Histograma dos períodos de maior correlação entre a componente Bz do IMF (GSE) e a componente Bx do campo geomagnético.

4.5.2. Transformada Wavelet Cruzada entre Bz do IMF (GSM) e Componente Bx do Campo Geomagnético

A Figura 4.19 apresenta a TWC do mesmo evento HILDCAA que foi mostrado na Figura 4.17(evento 1/112 da Tabela 4.4), mas agora em coordenadas GSM. Na Figura 4.19 as séries temporais da componente Bz do IMF (GSM) e da componente Bx do campo geomagnético (4.19-a)), a TWC entre as séries (4.19-b), e o espectro wavelet global (4.19-c)).

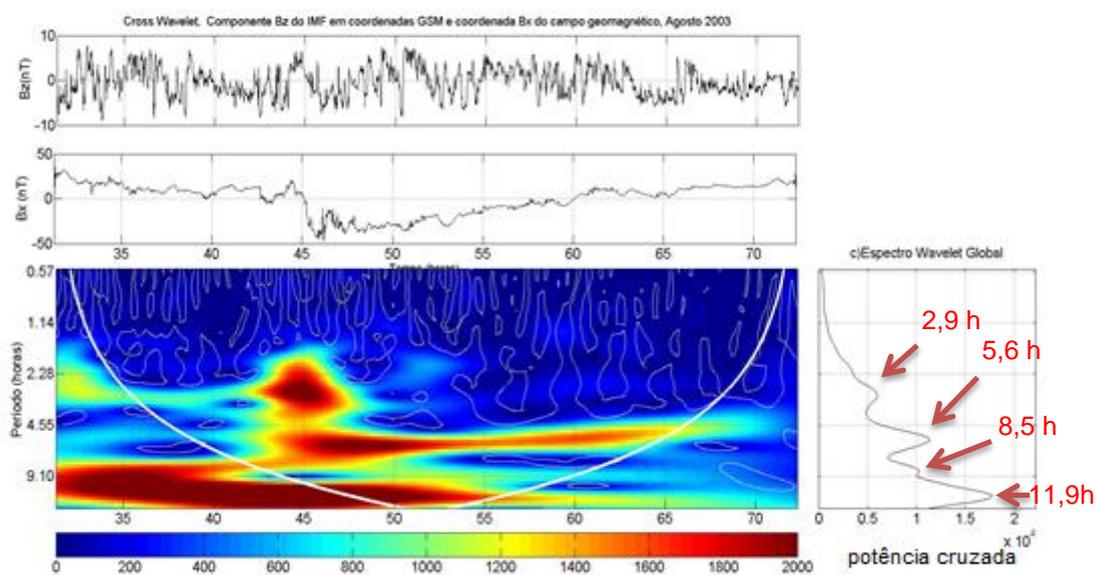


Figura 4.19- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSM e componente Bx do campo geomagnético. b) Wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.

Na Figura 4.19-b) são apresentadas as localizações temporais dos 3 intervalos de maior correlação: o primeiro entre aproximadamente 43 e 47 horas depois do início do evento; o segundo entre 43 e 65 horas, e o último predominante em quase todo o intervalo do evento analisado. Note que a Figura 4.19-b) é muito parecida com a Figura 4.17-b), apresentando estruturas semelhantes as que foram observadas em tal figura, o que indica que para esse estudo não há uma diferença significativa em relação a localização temporal, ao usar o sistema de coordenadas GSE ou GSM.

Como esperado, os períodos de maior correlação apresentados na Figura 4.19-c) também se assemelham aos da Figura 4.17-c), mas na Figura 4.19-c) temos um período a mais. O primeiro período se encontra em 2,9 horas, o segundo em 5,6 horas, o terceiro em 8,5 horas, e por fim o último em 11,9 horas. Os 3 períodos de maior correlação que foram identificados pelos dois sistemas de coordenadas apresentaram valores muito próximos, sendo o primeiro igual em ambos os sistemas.

Tabela 4.14- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.

Evento	Períodos (h)	Potência Cruzada
1/112	2,9	5,9844E3
	5,6	1,1392E4
	8,5	1,0237E4
	11,9	1,7771E4
2/113	1,9	9,2638E3
	2,8	1,0017E4
	9,1	1,7303E4
3/114	1,1	1,2050E3
	2,7	3,4400E3
	3,6	4,3278E3
	6,2	7,0650E3
4/115	1,7	1,6257E3
	2,8	2,3126E3
	5,9	5,1976E3
	9,5	1,2662E4

Continua

Tabela 4.14- Conclusão

5/119	4	5,0759E3
	1	3,4654E4
6/121	1,9	746
	4,3	1,5174E3
7/125	1,9	473
	2,7	448
	5,5	2,2753E3
8/126	0,6	367
	1,2	726
	2,4	1,9983E3
	5,6	4,9913E3
9/130	2,1	1,7944E3
	4,21	1,4463E3
	5,9	2,2504E3

A Tabela 4.14 apresenta todos os períodos de maior correlação identificados entre a componente Bz do IMF (GSM) e a componente Bx do campo geomagnético. O número de períodos de maior correlação obtido em cada intervalo de 4 horas, usado para identificar as frequências de maior acoplamento, é apresentado na Tabela 4.15, juntamente com seu percentual.

Tabela 4.15- Informações sobre os períodos de correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e componente Bx do campo geomagnético durante os 9 eventos HILDCAAs selecionados.

Períodos	Número de períodos de maior correlação	Percentual (%)
≤ 4	16	55,2
$4 < T \leq 8$	8	27,6
$8 < T \leq 12$	5	17,2

Nota-se que a maioria dos períodos com maior correlação foram ≤ 4 horas, com 55,2% dos períodos identificados. Este intervalo foi o mesmo para os resultados em coordenadas GSE, inclusive o percentual de picos nesse intervalo foi muito próximo do observado em coordenadas GSE, que teve 55,1% dos períodos observados em tal intervalo. O histograma com os períodos de cada intervalo apresentados na Tabela 4.15 é exibido na Figura 4.20.

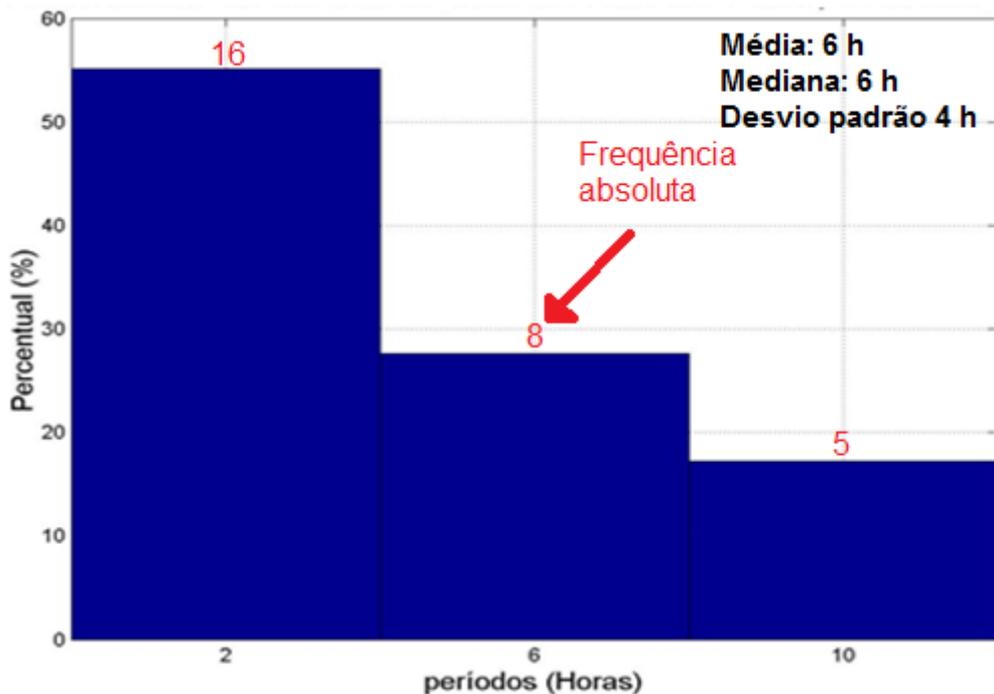


Figura 4.20- Histograma dos períodos de maior correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e a componente Bx do campo geomagnético.

Um resultado geral que já pode ser observado refere-se ao fato que, independente do sistema de coordenadas utilizada (GSM ou GSE) para a componente Bz do IMF, a maioria dos períodos de maior correlação entre esta variável e a componente Bx do campo geomagnético são ≤ 4 horas. Em ambos os sistemas de coordenadas nota-se que a grande maioria dos períodos de maior correlação se encontrados são ≤ 8 horas, com 83,7% em coordenadas GSE e 82,8% em coordenadas GSM.

4.5.3. Classificação da forma do sinal de distribuição da correlação

De mesmo modo como foi realizado para o estudo da distribuição de energia do índice AE, foi feito o mesmo procedimento para os resultados da TWC entre as componentes Bz do IMF e Bx do campo geomagnético. Estas análises foram realizadas para os dois sistemas de coordenadas, GSE e GSM.

4.5.3.1. Classificação da forma de distribuição da correlação usando Bz do IMF em coordenadas GSE

A Tabela 4.16 apresenta o número e percentual de períodos de maior energia que apresentou cada tipo de classificação. Com estes resultados foi elaborado um histograma para exibir o resultado obtido (Figura 4.21).

Tabela 4.16- Características de distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e a componente Bx do campo geomagnético durante HILDCAAS.

Classificação	Numero de períodos de maior correlação	Percentual (%)
Contínua	8	28,6
Quase contínua	4	14,3
Intermitente	2	7,1
Local	14	50

Dos 28 picos de correlação observados, em 50% a correlação foi classificada como local, ou seja, na maioria dos picos a correlação ocorreu em um pequeno intervalo durante o evento, conforme pode ser observado na Figura 4.21.

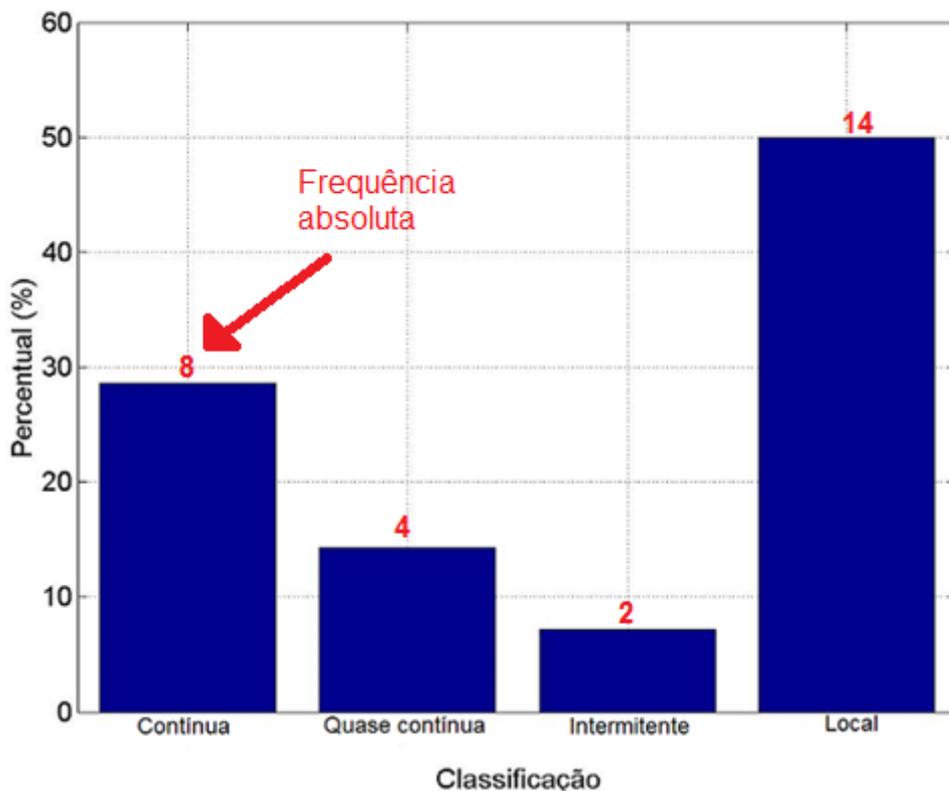


Figura 4.21- Histograma da classificação da distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e a componente Bx do campo geomagnético.

4.5.3.2. Classificação da forma de distribuição da correlação usando Bz do IMF em coordenadas GSM

De mesmo modo como foi observado nas correlações entre Bx e a componente Bz do IMF, usando coordenadas GSE, a classificação da distribuição de correlação entre a componente Bx do campo geomagnético e Bz do IMF em coordenada GSM também foi da forma local na maioria dos picos de correlação, com 42,9% dos períodos de maior correlação analisados. A Tabela 4.17 apresenta o número de períodos de maior correlação correspondente a cada classificação e seu percentual. A Figura 4.22 apresenta o histograma gerado a partir da Tabela 4.17.

Tabela 4.17- Características de distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e a componente Bx do campo geomagnético durante HILDCAAS.

Classificação	Número de períodos de maior potência cruzada	Percentual (%)
Contínua	7	25
Quase contínua	9	32,1
Intermitente	0	0
Local	12	42,9
Fora do cone (não avaliado)	1	

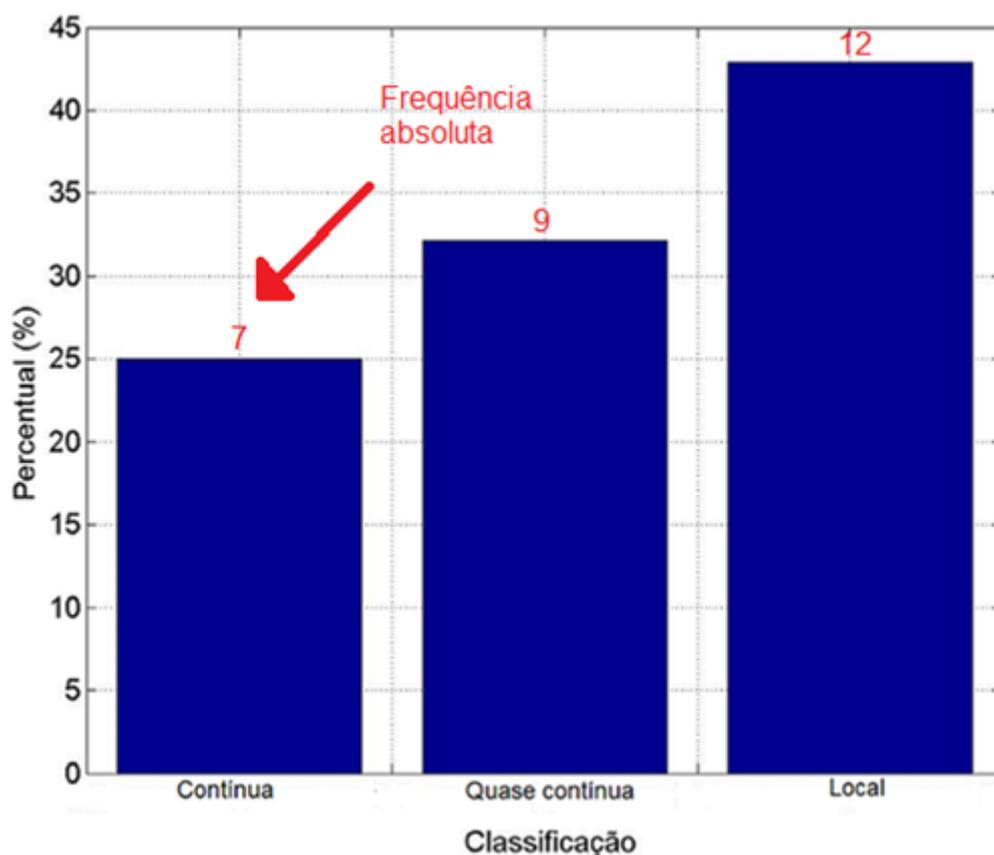


Figura 4.22- Histograma da classificação da distribuição de correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e a componente Bx do campo geomagnético.

Note que apenas um dos períodos de maior correlação não foi avaliado, pois o mesmo foi observado fora do cone de influência. Também, não foi observado nem um período de maior correlação apresentando forma de correlação intermitente. A segunda forma mais comum de correlação foi a quase contínua, que esteve presente em 32,1% dos períodos de maior correlação.

4.6. Transferência de energia da cauda magnetosférica para região auroral durante eventos HILDCAAS.

Com a finalidade de verificar se ocorreu transferência de energia armazenada na cauda da magnetosfera para a região auroral durante eventos HILDCAAs, como já foi observado em outras atividades geomagnéticas como em subtempestades magnéticas (HARGREAVES, 1992), a TWC foi aplicada entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE, usando os 9 eventos HILDCAAs estudados neste trabalho para averiguar os efeitos desse tipo de evento na cauda magnetosférica.

4.6.1. Análise usando a Transformada Wavelet Cruzada

A Figura 4.23 apresenta o gráfico de um dos 9 eventos estudados, sendo este o primeiro evento que ocorreu em agosto de 2003 (evento 1/112 da Tabela 4.4). Observam-se as séries temporais de Bx e de AE na Figura 4.23-a), a TWC apresentada na Figura 4.23-b) e o espectro de correlação global na Figura 4.23-c). Note que, no gráfico da Figura 4.23-b), há grande intensidade da correlação entre essas duas séries, que podem ser observadas em vários períodos, sendo que algumas destas prevalecem em todo o evento. Portanto, são observados 4 períodos de maior correlação mostrados na Figura 4.23-c), são eles: o primeiro com período em 3 horas e potência cruzada igual a $1,9 \times 10^7$; o segundo com período de 5,5 horas com a maior valor de potência cruzada, de aproximadamente $4,3 \times 10^7$; o terceiro com período de 8,7 horas e com potência cruzada igual a $3,1 \times 10^7$ e, finalmente, o último com 11,8 horas e com potencia cruzada equivalente a $3,2 \times 10^7$.

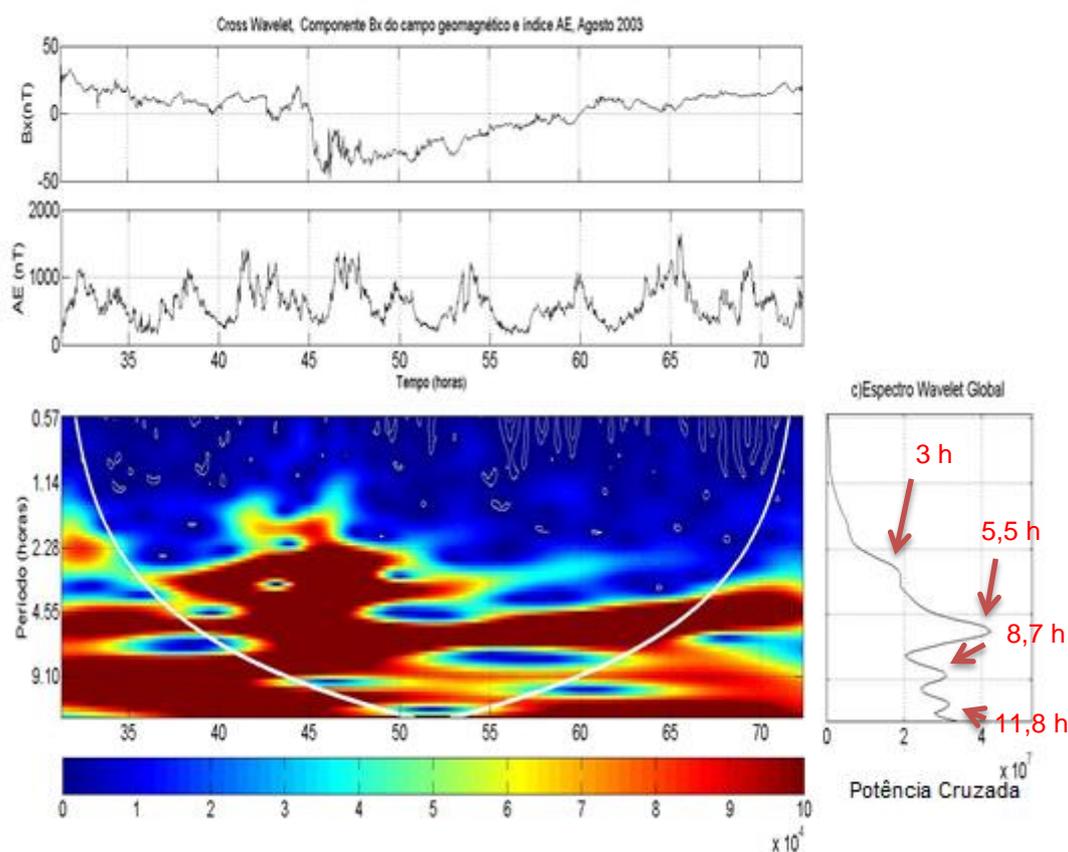


Figura 4.23- a) Séries temporais da componente Bx do campo geomagnético e do índice AE; b) TWC para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:11 UT do dia 20 e 15:43 UT do dia 24 do mês de agosto de 2003. c) Espectro de Wavelet Global.

Esta análise foi também feita para todo o conjunto de dados onde foi possível construir um histograma para os períodos de maior correlação, como é apresentado na Figura 4.24. Através dele pode-se observar que os períodos de correlação são ≤ 12 horas, divididos em 3 intervalos com 4 horas cada. Dentre eles, nota-se que a maior correlação ocorreu entre 4 e 8 horas já que 40.8% dos 27 períodos de maior correlação analisados ocorreram dentro desse intervalo. Este intervalo corresponde ao mesmo intervalo nos quais foram encontrados períodos mais energéticos para o índice AE e o segundo mais energético para Bx do campo geomagnético. Esse resultado é interessante, pois implica que ocorre transferência de energia da cauda para a região auroral principalmente em períodos entre 4 e 8 horas. A Tabela 4.18 apresenta os períodos mais bem correlacionados com seus respectivos valores obtidos através da GWS.

Tabela 4.18- Períodos e correlação entre o Bx do campo geomagnético e o índice AE.

Evento	Períodos (h)	Potência Cruzada
1/112	3	1,9045E7
	5,5	4,2450E7
	8,7	3,0977E7
	11,9	3,1589E7
2/113	2,8	5,1914E7
	3,7	6,4129E7
	7	6,6350E7
	9,3	9,3556E7
3/114	2,7	1,9537E7
	4,0	3,6127E7
	6,6	4,0275E7
	9,4	4,2240E7
4/115	3	1,3533E7
	4,4	1,6639E7
	5,9	1,8414E7
	11,2	6,5446E7
5/119	3	1,3614E7
	7,5	1,4061E7
	11,4	6,6733E7
6/121	1,9	1,7890E7
	4,5	6,3523E7
7/125	1,8	1,0193E5
	5,6	9,7001E5
8/126	2,4	5,2964E5
	5,5	2,4200E6
9/130	2,3	8,9805E6
	4,1	1,1180E7

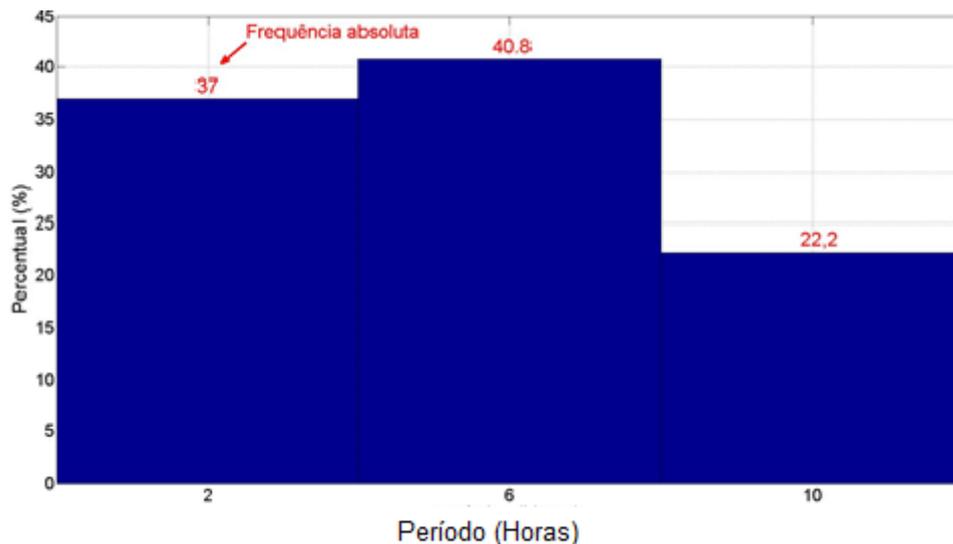


Figura 4.24- Histograma dos períodos de maior correlação entre Bx do campo geomagnético e o índice AE.

4.6.1.1. Classificação da forma de distribuição da correlação

A classificação da distribuição de correlação foi feita seguindo os passos desse tipo de análise já descritos anteriormente. Obteve-se que a forma mais comum da distribuição da correlação encontrada foi a contínua, a qual representou 40,8% dos períodos de correlação. Esse resultado pode ser visto na Tabela 4.19 e na Figura 4.25.

Tabela 4.19- Classificação da forma de correlação entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE durante eventos HILDCAAs.

Classificação	Número de períodos de maior correlação	Percentual (%)
Contínua	11	40,8
Quase contínua	8	29,6
Intermitente	3	11,1
Local	5	18,5

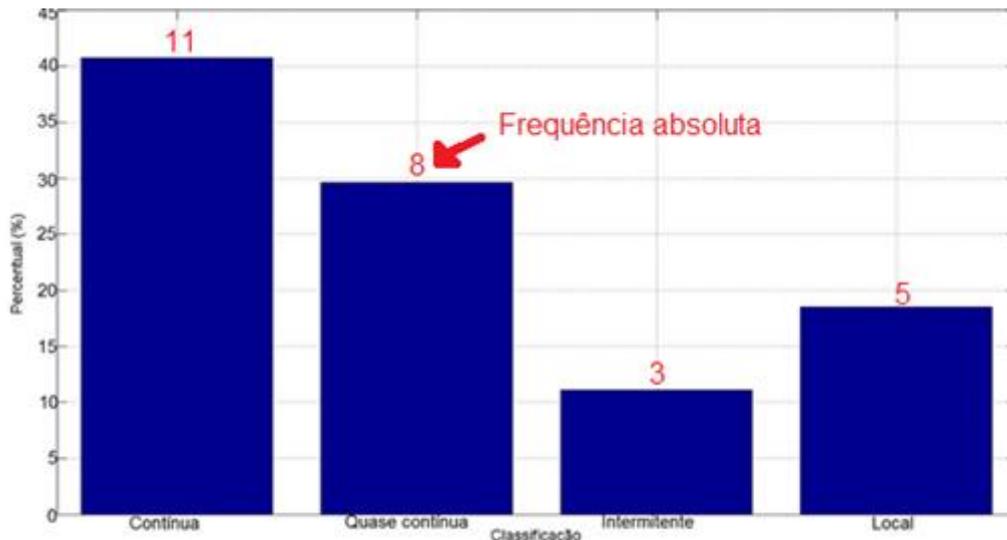


Figura 4.25- Histograma com as formas de distribuição de correlação entre a componente Bx do campo geomagnético e o índice AE durante HILDCAAs.

4.7. Acoplamento Vento Solar-Magnetosfera

Para estudar o acoplamento vento solar-magnetosfera durante os eventos HILDCAAs foi aplicada a TWC (cross wavelet) na componente Bz do IMF (considerada a causa dos eventos HILDCCAs) e o índice AE (consequência). A partir dos resultados da GWS foi também estudada a forma de distribuição da correlação entre estas duas variáveis. Além da (TWC) cross wavelet, a correlação clássica também foi aplicada para, além de analisar a correlação entre essas séries, obter também a defasagem (*lag*) entre elas.

4.7.1. Análise do acoplamento vento solar-magnetosfera através da TWC

Assim como foi feito para obter os períodos característicos no meio interplanetário relacionados aos eventos HILDCAAs, a transformada wavelet cruzada foi aplicada nos dados dos 52 eventos que ocorreram entre 1995 e 2011, usando a componente Bz do IMF nas coordenadas GSE e GSM. Seus respectivos resultados são apresentados nas subseções seguintes.

A Figura 4.26-a) apresenta as séries temporais da componente Bz do IMF, em coordenadas GSE, a do índice AE, 4.26b) a wavelet cruzada entre estas duas séries, e 4.26-c) o GWS para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:48 UT do dia 12 e 21:05 UT do dia 14 do mês de fevereiro de 1995 (evento 84 da Tabela 3.1).

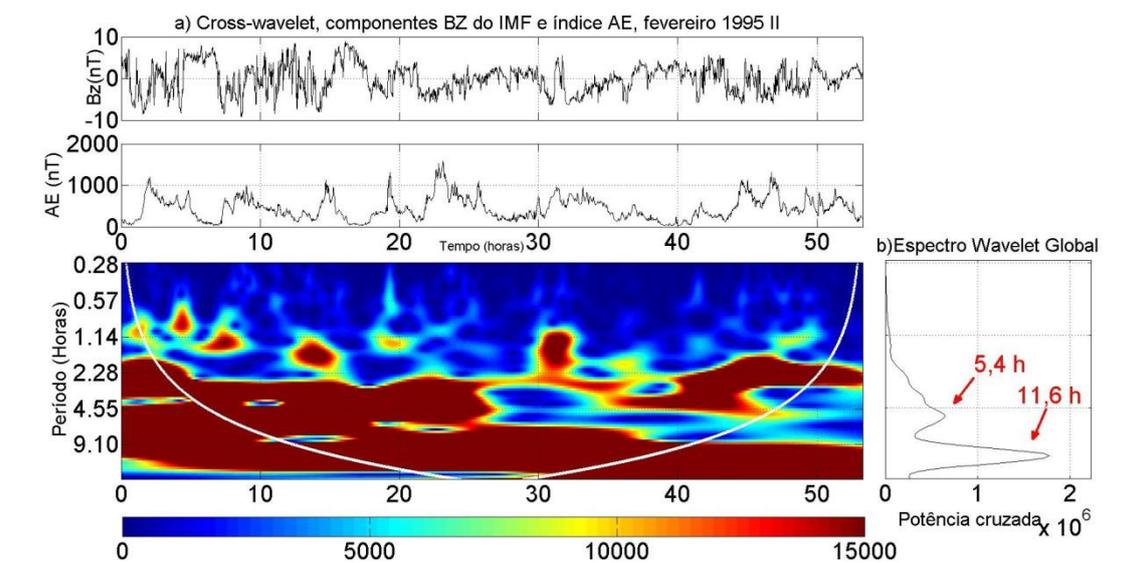


Figura 4.26- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSE e do índice AE, b) wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:48 UT do dia 12 e 21:05 UT do dia 14 do mês de fevereiro de 1995. c) Espectro de Wavelet Global.

Na Figura 4.26-b) observa-se que as regiões de maior correlação entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE ocorreram em períodos aproximadamente entre 2 e 12 horas. Nota-se que nesses períodos a correlação predomina praticamente em todo o evento, mas pequenas estruturas (correlações) são observadas em períodos menores também. Pela Figura 4.26-c) observa-se dois períodos de maior valor da potência cruzada: o primeiro em 5,4 horas apresentando potência cruzada igual a $6,4 \times 10^5$ e, o segundo em 11,6 horas com potência cruzada ainda maior, de $1,8 \times 10^6$.

A Figura 4.27 mostra a TWC aplicada para o mesmo evento da Figura 4.26, mas usando a componente Bz do IMF em coordenadas GSM.

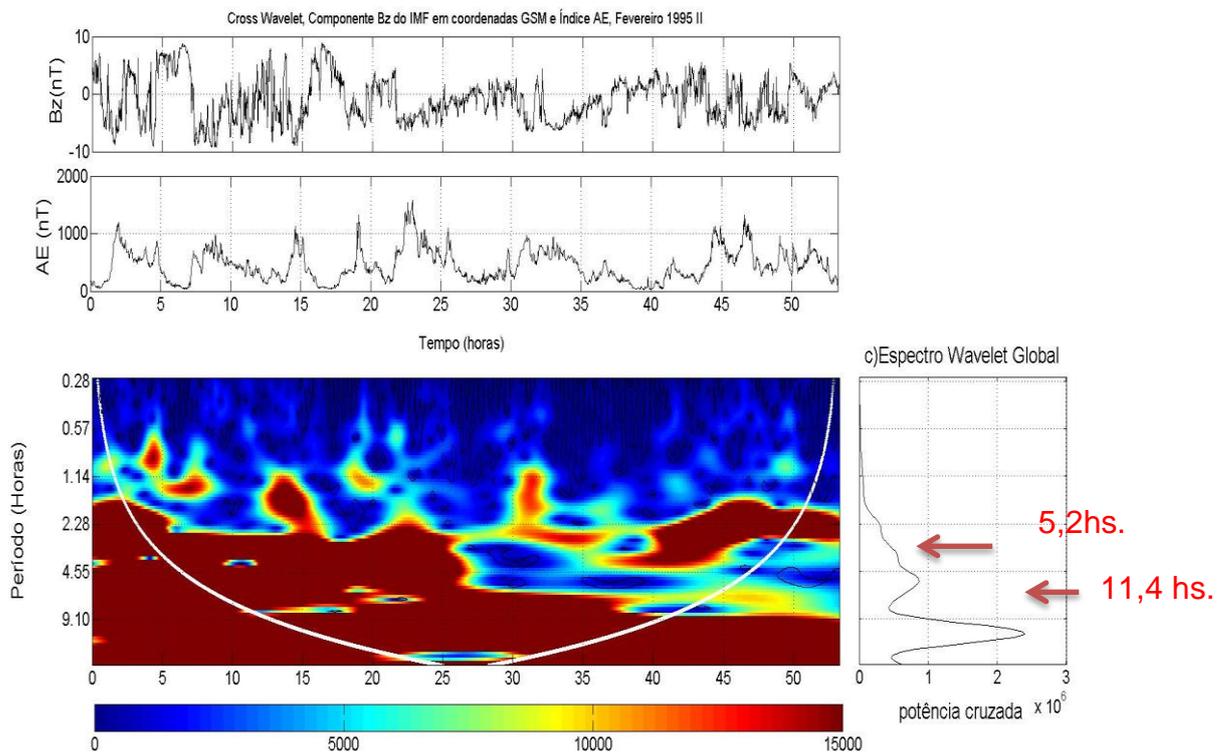


Figura 4.27- a) Séries temporais da componente Bz do IMF em coordenadas GSM e do índice AE, b) wavelet Cruzada para o evento HILDCAA que ocorreu entre as 15:48 UT do dia 12 e 21:05 UT do dia 14 do mês de fevereiro de 1995. c) Espectro de Wavelet Global.

Pela Figura 4.27-b) observa-se que a correlação também ocorreu principalmente em períodos maiores, ou seja, menores frequências, e que também permaneceu praticamente durante todo o evento. A Figura 4.27-c) indica dois períodos de maior potência cruzada, indicados em vermelho, o primeiro entorno de 5,18 horas, e o segundo em 11,35 horas. Note que esses períodos são bem próximos aos períodos encontrados usando coordenadas GSE.

4.7.1.1. Análise estatística da transformada wavelet cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE

A análise dos períodos que apresentaram maior correlação entre as duas séries temporais também foi realizada por meio do uso de um histograma, conforme é mostrado na Figura 4.28.

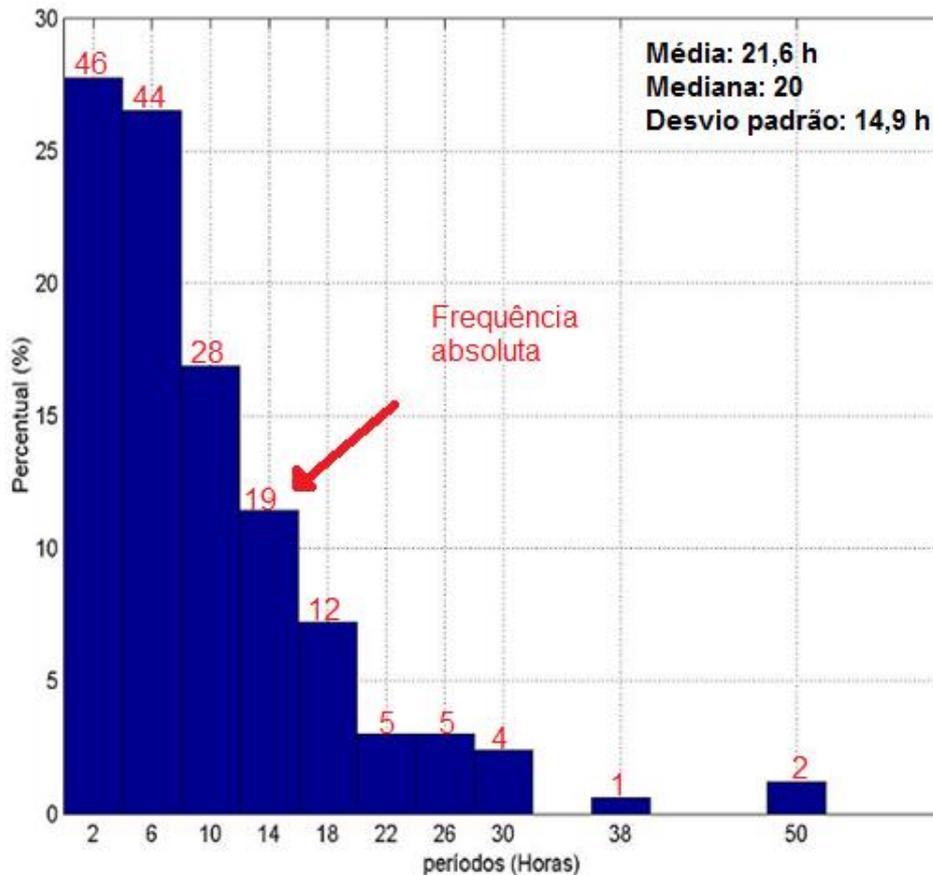


Figura 4.28- Frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior potência cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE durante eventos HILDCAAs.

Pela Figura 4.28 observa-se que a maioria dos períodos em que houve maior correlação entre as séries são ≤ 4 horas, representando 27,7% dos 166 períodos mais correlacionados. Considerando os dois intervalos com maior correlação, tem-se o total de 54,2% ≤ 8 horas. Isso indica, que mais da metade dos picos de correlação observados, entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSE e o índice AE, são ≤ 8 horas.

4.7.1.2. Análise estatística da wavelet cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e o índice AE

O histograma da correlação entre a componente Bz do IMF, em coordenadas GSM, e o índice AE é apresentado na Figura 4.29. Pode-se observar que, assim como ocorreu para a correlação usando dados da componente Bz do

IMF em coordenadas GSE, os períodos com maior correlação observados também foram menores ≤ 8 horas, com 53,4% dos períodos de maior correlação estudados. O intervalo entre 4 e 8 horas representou a maior parte dos períodos de maior correlação, com 27,3%, diferente do que foi observado na análise usando dados da componente Bz do IMF em coordenadas GSM, que maior ocorrência de picos com maior correlação em períodos ≤ 4 com 27,7%. Mas nota-se que a diferença é muito pequena, que pode ser desprezada.

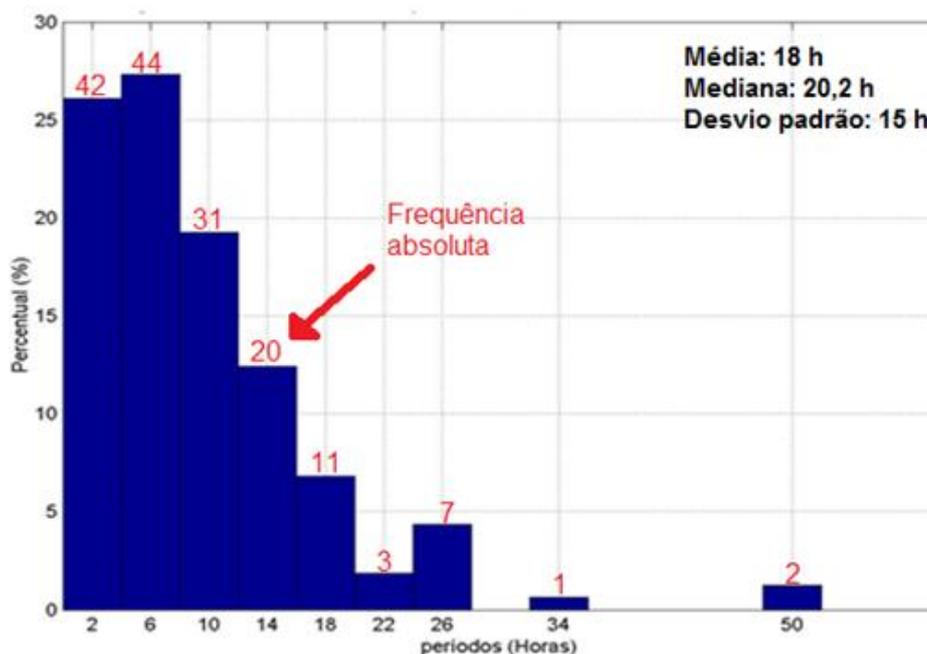


Figura 4.29- Frequência relativa e frequência absoluta dos períodos de maior potência cruzada entre a componente Bz do IMF em coordenadas GSM e o índice AE durante eventos HILDCAAs.

Nota-se que os períodos que apresentaram maior intensidade de energia nas séries temporais do índice AE (Figura 4.2) e da componente Bz do IMF em coordenadas GSM (Figura 4.7), correspondem aos períodos de maior correlação entre elas. A Tabela 4.20 apresenta os períodos com maior potência cruzada e percentual, entre Bz do IMF e o Índice AE, sendo Bz apresentado nos dois sistemas de coordenadas GSM e GSE.

Tabela 4.20- Período com maior potência cruzada entre o índice AE e Bz do IMF em coordenadas GSM e GSE com seu respectivo percentual, relativos aos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.

Intervalo de períodos (h)	Potência Cruzada AE x Bz (GSM)		Potência Cruzada AE x Bz (GSE)	
	Número de períodos de correlação	Percentual (%)	Número de períodos de correlação	Percentual (%)
≤ 4	42	26,1	46	27,7
$4 < T \leq 8$	44	27,3	44	26,5
$8 < T \leq 12$	31	19,3	28	16,9
$12 < T \leq 16$	20	12,4	19	11,5
$16 < T \leq 20$	11	6,8	12	7,2
$20 < T \leq 24$	3	1,7	5	3
$24 < T \leq 28$	7	4,4	5	3
$28 < T \leq 32$	0	0	4	2,4
$32 < T \leq 36$	1	0,6	0	0
$36 < T \leq 40$	0	0	1	0,6
$48 < T \leq 52$	2	1,2	2	1,2
	Total: 161		Total: 166	

Calculando a média e o desvio padrão dos períodos de maior potência cruzada encontrados entre o índice AE e a componente Bz do IMF usando os sistemas de coordenadas GSE e GSM observou que: usando Bz no sistema de coordenadas GSE a média e o desvio padrão encontrado foram iguais a 21,6 horas e 15 horas respectivamente. Já usando Bz em coordenadas GSM a média obtida foi igual a 18 horas e o desvio padrão igual a 14,9 horas. Do mesmo modo que foi visto na análise comparando os histogramas da componente Bz do IMF, nota-se que há um grande intervalo de períodos em comum entre os dois sistemas de coordenadas, o que ressalta que não há uma

diferença significativa em usar o sistema de coordenadas GSE ou GSM para os estudos aqui desenvolvidos.

4.7.1.3. Classificação da forma de distribuição da correlação entre AE e Bz durante os eventos HILDCAAs

A classificação da forma de distribuição de correlação é apresentada na Tabela 4.21. Nesta estão representados os resultados tanto para a TWC aplicada entre AE e Bz do IMF em coordenadas GSE, quanto para coordenadas GSM.

Tabela 4.21- Classificação da forma em que o índice AE e a componente Bz do IMF (em coordenadas GSM e GSE) estão correlacionados durante os 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.

Classificação	AE x Bz (GSM)		AE x Bz (GSE)	
	Número de períodos	Percentual (%)	Número de períodos	Percentual(%)
Continua	33	20,6	32	19,5
Quase contínua	77	48,1	75	45,7
Intermitente	41	25,6	47	28,7
Local	9	5,6	10	6,1
Fora do cone (não avaliado)	1		2	
	Total: 160 (desconsiderando o pico fora do cone)		Total: 164 (desconsiderando os picos fora do cone)	

Os histogramas, gerados a partir da Tabela 4.21, estão apresentados nas Figuras 4.30 e 4.31. Nelas pode-se notar que, independentemente de usar coordenadas GSE ou GSM para estudar forma de correlação, a distribuição de

correlação mais comum foi a quase contínua, com 45,73% usando GSE (Figura 4.30) e 48,12% usando o sistema de coordenadas GSM (Figura 4.31).

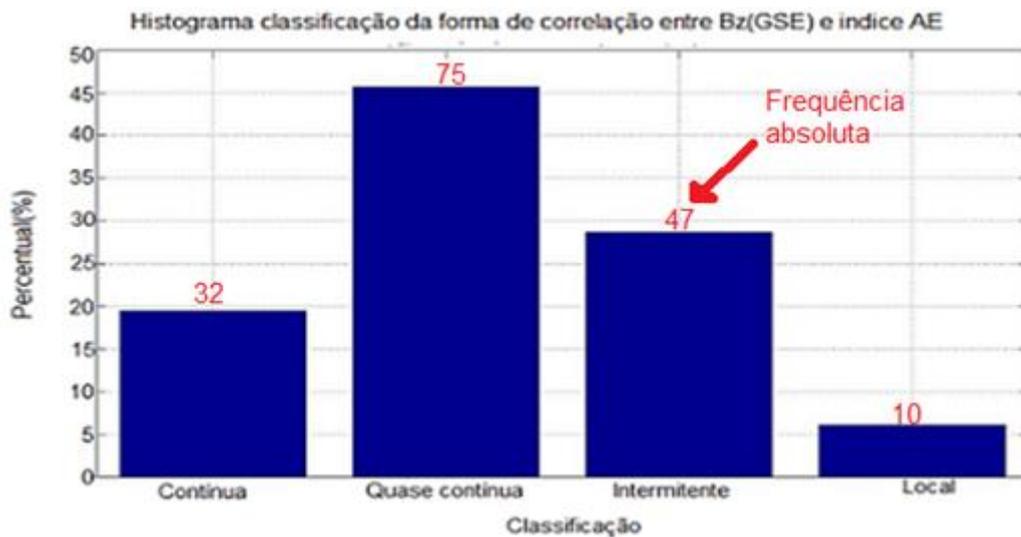


Figura 4.30- Classificação da forma de distribuição de correlação entre Bz IMF em coordenadas GSE e o índice AE.

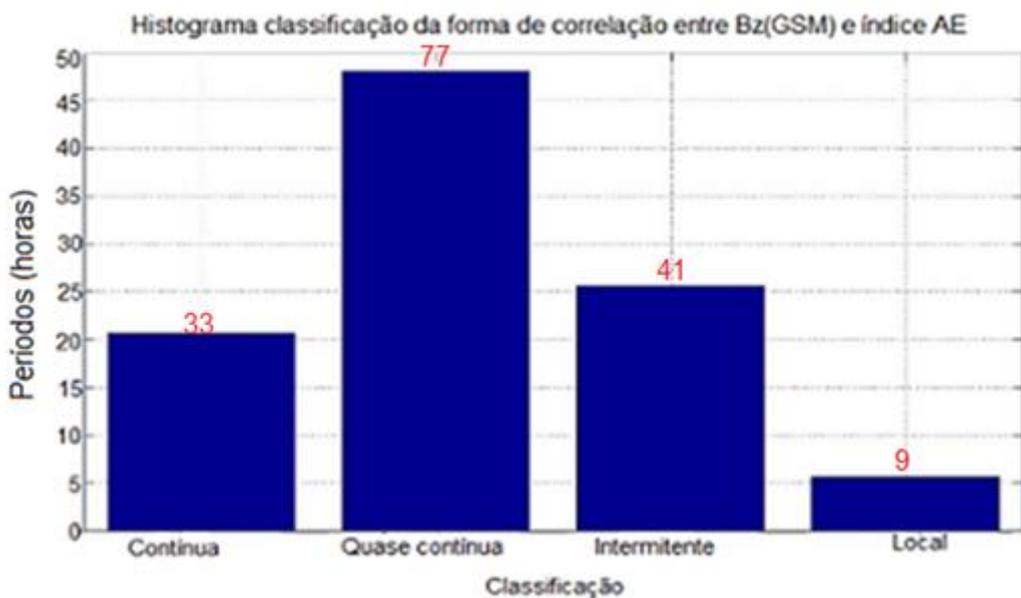


Figura 4.31- Classificação da forma de distribuição de correlação entre Bz IMF em coordenadas GSM e índice AE.

A classificação quase contínua observada na forma de correlação entre a componente Bz do IMF e o índice AE pode ser associada à reconexões quase periódicas do IMF e o campo geomagnético (SMITH et al, 1995).

4.7.2. Análise do acoplamento vento solar-magnetosfera através da correlação clássica.

Como mencionado anteriormente, a correlação clássica permite determinar a correlação e defasagem entre duas séries temporais. Por isso, a mesma foi aplicada para as séries temporais da componente Bz do IMF (em coordenadas GSE e GSM) e o índice AE para os 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011. Tanto o Bz do IMF quanto o índice AE apresentam média de 1 minuto, mas foram usadas médias de 10 minutos para o cálculo da correlação cruzada clássica, devido a presença de ruído observada usando média de 1 minuto.

A correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSE) e o índice AE durante o evento HILDCAA, que ocorreu entre 17:11 UT do dia 24 e as 16:46 UT do dia 27 de abril de 1998 (evento 91 da Tabela 3.1), é apresentada na Figura 4.32. Na mesma pode-se observar o pico de correlação de -0,53, o que pode ser considerada como uma correlação moderada. Note que a correlação é negativa (anticorrelação) porque a componente Bz do IMF é negativo, o que aumenta a atividade na região auroral.

O eixo horizontal da Figura 4.32 apresenta a defasagem entre as séries temporais de BZ do IMF e do índice AE. Nota-se que a defasagem observada também é negativa, isso ocorre porque no algoritmo computacional usado para o cálculo da correlação entre as séries temporais, o índice AE foi fornecido primeiro que a componente Bz do IMF.

Note que a defasagem entre as séries, para este evento em particular, foi de -30 minutos. Esta pode ser interpretada como o tempo de resposta do índice AE em relação às perturbações que ocorrem na componente Bz do IMF.

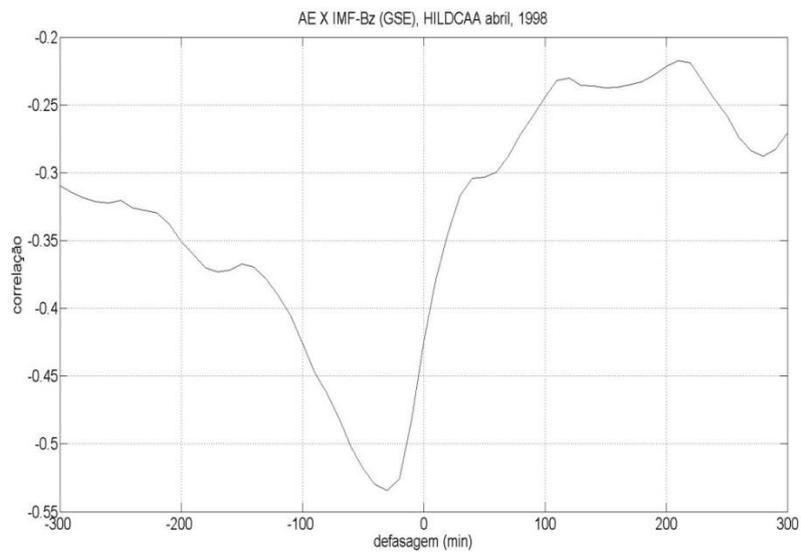


Figura 4.32- Correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSE) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 17:11UT do dia 24 e as 16:46 UT do dia 27 de abril de 1998.

O gráfico da correlação cruzada clássica para o mesmo evento da Figura 4.32 é apresentado na Figura 4.33, mas usando a componente Bz do IMF em coordenadas GSM.

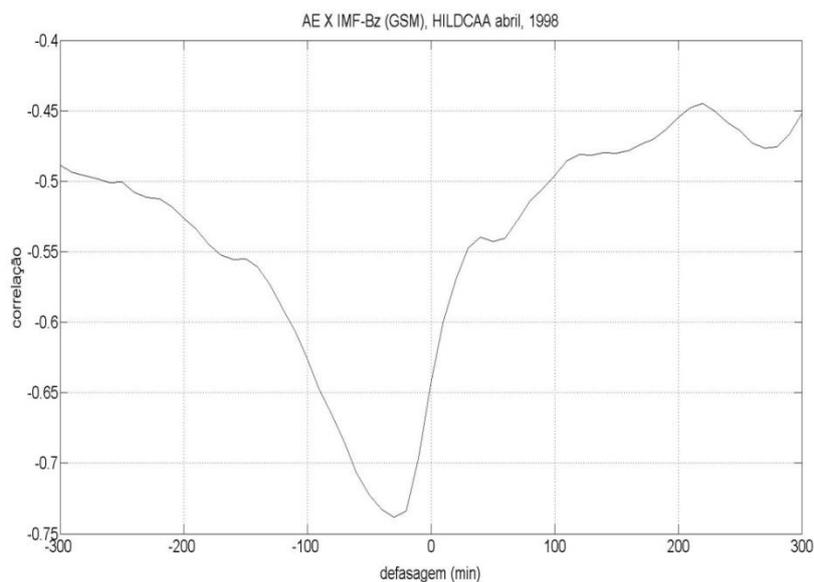


Figura 4.33- Correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante o evento HILDCAA que ocorreu entre 17:11 UT do dia 24 e as 16:46 UT do dia 27 de abril de 1998.

Na Figura 4.33 observa-se que a correlação foi consideravelmente alta, -0,74, e a defasagem foi de -30 minutos. É importante salientar que a correlação entre as duas séries, usando coordenadas GSM para esse evento, foi significativamente maior que usando coordenadas GSE. A seguir será apresentado o estudo da correlação cruzada clássica para todos os 52 eventos HILDCAAs que ocorreram a partir de 1995.

4.7.2.1. Correlação Cruzada Clássica entre Bz do IMF (GSE) e índice AE

A Tabela 4.22 apresenta os valores de correlação e defasagem obtidos após aplicar a correlação cruzada clássica em todos os 52 eventos HILDCAA aqui estudados.

Tabela 4.22- Tabela com a correlação e a defasagem entre Bz do IMF (GSE) e o índice AE dos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.

Evento	Correlação	Defasagem (min)
82	-0,27	-30
83	-0,58	-20
84	-0,40	-30
85	0,41	-30
86	-0,34	-20
87	-0,48	-30
88	-0,37	-30
89	-0,45	-30
90	-0,48	-20
91	-0,53	-30
92	-0,26	-30
93	-0,22	-40
94	-0,29	-30
95	-0,73	-30
96	-0,28	-20
97	0,08	-30
98	-0,21	-20
99	-0,31	-30

Continua

Tabela 4.22- Continuação

100	-0,19	-40
101	-0,17	-20
102	-0,49	-30
103	-0,65	-30
104	-0,27	-40
105	-0,37	-20
106	-0,47	-50
107	-0,52	-40
108	-0,37	-30
109	-0,42	-20
110	-0,18	-20
111	-0,19	-20
112	-0,04	-20
113	-0,22	-30
114	-0,06	-30
115	-0,17	-30
116	-0,28	-20
117	-0,38	-20
118	-0,26	-20
119	-0,24	-20
120	-0,72	460
121	-0,60	-30
122	-0,18	-30
123	-0,19	-50
124	-0,50	-20
125	-0,26	-30
126	-0,33	-40
127	-0,35	-30
128	-0,32	-30
129	-0,27	-30
130	-0,21	-30

Continua

Tabela 4.22- Conclusão

131	-0,28	-30
132	-0,44	-30
133	-0,49	-20

Note que os valores em que a correlação ou a defasagem foram positivos estão marcados em vermelho, já que como explicado anteriormente esses resultados não tem nem um significado físico, assim esses valores devem ser desconsiderados. A Tabela 4.23 apresenta as classificações com respectivos números e percentuais dos eventos que tiveram correlação em seus intervalos. Lembrando que serão considerados apenas 50 eventos, já que ocorreram 2 eventos onde a correlação foi positiva e, conseqüentemente, desconsiderados.

Pela Tabela 4.23 observamos que a correlação entre a componente Bz do IMF (GSE) e o índice AE foi, na maioria dos casos, fraca, com 64% dos eventos. Apenas 6% dos eventos apresentaram correlação forte.

Tabela 4.23- Classificação da correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSE) dos eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.

Classificação	Número de eventos	Percentual (%)
Fraca ($0 \leq r \leq -0,39$)	32	64
Moderada ($-0,4 \leq r \leq -0,69$)	15	30
Forte ($-0,7 \leq r \leq -1,0$)	3	6

Para a defasagem foram estabelecidos intervalos de 10 minutos, esse intervalo é o valor mínimo que podemos obter de defasagem entre as séries, já que foi usada média de 10 minutos dos dados para essa análise. A Figura 4.34 apresenta o histograma da defasagem entre as duas séries, pela mesma notamos que em 52,9 % dos 51 eventos analisados apresentam defasagem de - 30 minutos.

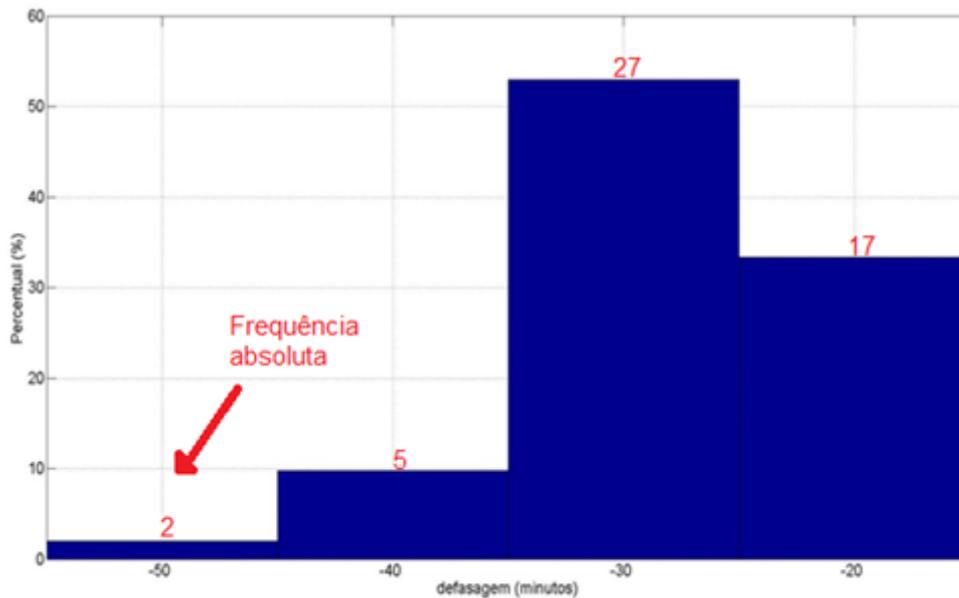


Figura 4.34- Histograma da defasagem entre a componente Bz do IMF (GSE) e o índice AE durante eventos HILDCAAs.

As demais defasagens observadas nos eventos são apresentadas na Tabela 4.24, com seus respectivos percentuais.

Tabela 4.24- Os intervalos de defasagem entre a componente Bz do IMF (GSE) e o índice AE, com número de eventos em cada intervalo e seu respectivo percentual.

Defasagem (minutos)	Número de eventos	Percentual (%)
-20	17	33,3
-30	27	52,9
-40	5	9,8
-50	2	3,9
Não avaliado	1	

Pela Tabela 4.24 observa-se que em 86,2% dos eventos a defasagem observada é de -20 a -30 minutos.

4.7.2.2. Correlação Cruzada Clássica entre Bz do IMF (GSM) e índice AE

Usando o sistema de coordenadas GSM foi observado um evento com correlação positiva, e o mesmo será desconsiderado das análises, a correlação e a defasagem de todos os eventos são apresentadas na Tabela 4.25, através dela também se observa que um evento apresentou defasagem positiva, logo o mesmo será desconsiderado da análise da defasagem.

Tabela 4.25- Tabela com a correlação e a defasagem entre Bz do IMF (GSM) e o índice AE dos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011

Evento	Correlação	Defasagem (min)
82	-0,38	-30
83	-0,68	-20
84	-0,33	168
85	-0,47	-30
86	-0,71	-20
87	-0,69	-20
88	-0,61	-20
89	-0,63	-30
90	-0,67	-30
91	-0,74	-30
92	-0,43	-30
93	-0,70	-40
94	-0,5	-30
95	-0,93	-30
96	-0,61	-20
97	-0,30	-30
98	-0,11	-20
99	-0,03	-30
100	-0,49	-30
101	-0,18	-20
102	-0,63	-30
103	-0,76	-30
104	-0,71	-40
105	-0,49	-30
106	-0,79	-30
107	-0,72	-40
108	-0,16	-30
109	-0,29	-20
110	-0,25	-20
111	-0,26	-20

Continua

Tabela 4.25- Conclusão

112	-0,34	-20
113	-0,57	-30
114	-0,47	-20
115	-0,55	-30
116	-0,38	-20
117	-0,29	-20
118	-0,55	-10
119	-0,54	-20
120	-0,84	-10
121	-0,77	-40
122	0,087	-30
123	-0,55	-50
124	-0,59	-20
125	-0,54	-30
126	-0,65	-40
127	-0,43	-30
128	-0,13	-30
129	-0,18	-30
130	-0,51	-30
131	-0,58	-30
132	-0,66	-30
133	-0,36	-20

A Tabela 4.26 apresenta a classificação da correlação obtida dos eventos HILDCAAs. Observa-se que, diferente do que foi visto para a correlação clássica usando a componente Bz do IMF em coordenadas GSE, a correlação entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE pode ser considerada moderada, com 33,3% dos 51 eventos analisados. Nota-se que, usando esse sistema de coordenadas, o número de eventos com correlação considerada forte aumentou significativamente de 6% para 19,6%.

Tabela 4.26- Classificação da correlação cruzada clássica entre Bz do IMF (GSM) dos eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011.

Classificação	Número de eventos	Percentual (%)
Fraca ($0 \leq r \leq -0,39$)	17	33,3
Moderada ($-0,4 \leq r \leq -0,69$)	24	47,1
Forte ($-0,7 \leq r \leq -1,0$)	10	19,6

A defasagem observada nos eventos analisados é apresentada na Tabela 4.27, com número e o percentual de eventos que corresponde a cada valor da defasagem. Nota-se que valores de defasagens maiores são observados usando Bz do IMF em coordenadas GSM, mas assim como usando coordenadas GSE a defasagem presente na maior parte dos eventos é de -30 minutos, com 51% dos 51 eventos analisados.

Tabela 4.27- Os intervalos de defasagem entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE, com número de eventos em cada intervalo e seu respectivo percentual.

Defasagem (minutos)	Número de eventos	Percentual (%)
-10	2	3,9
-20	17	33,3
-30	26	51
-40	5	9,8
-50	1	2

A Figura 4.35 apresenta o histograma que foi gerado a partir dos valores da Tabela 4.27. Por ele nota-se os 5 valores da defasagem que os 51 eventos HILDCAAs analisados apresentaram, entre -50 e -10 minutos, com o maior percentual de eventos com defasagem igual a -30 minutos. Pela Tabela 4.27 observa-se também que em 84, 3% dos 51 eventos HILDCAAs analisados a defasagem se encontra entre -20 e -30 minutos.

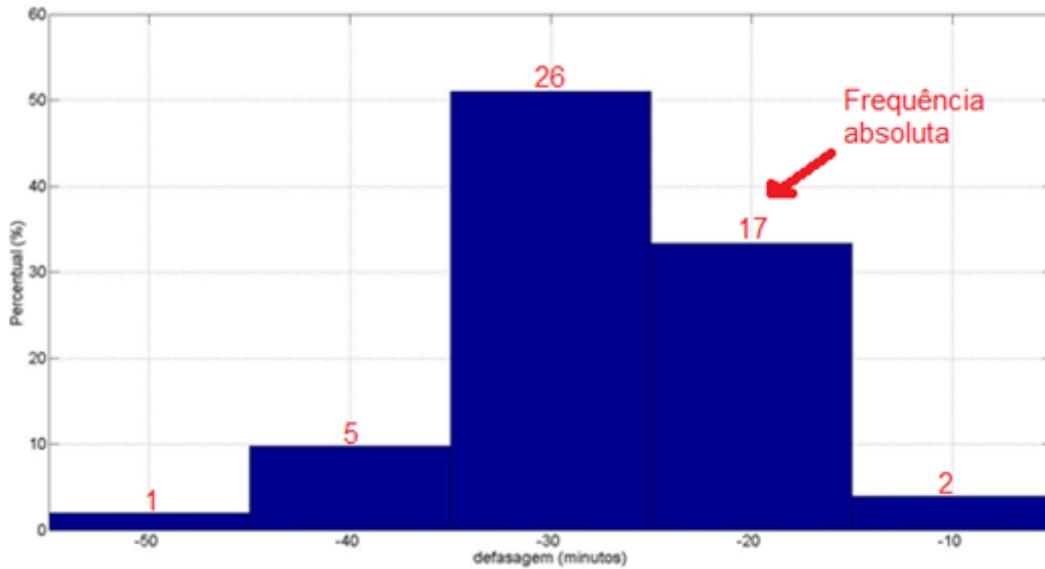


Figura 4.35- Histograma da defasagem entre a componente Bz do IMF (GSM) e o índice AE durante eventos HILDCAAs.

Observou-se que o acoplamento entre o vento solar e a magnetosfera é maior nos períodos ≤ 8 horas, sendo que a principal forma da distribuição da correlação foi a quase contínua, o que implica que há transferência de energia do vento solar para magnetosfera durante quase todo evento. Assim pode-se dizer que, independentemente do sistema de coordenadas adotados para Bz do IMF, os períodos em que o acoplamento vento solar-magnetosfera foi mais eficiente se encontrou em períodos ≤ 8 horas, e apresentaram distribuição de correlação quase contínua. Através da correlação clássica vê-se que no estudo da correlação o índice AE responde melhor a componente Bz do IMF em coordenadas GSM, onde a correlação entre as séries é considerada moderada. A defasagem entre elas é na maioria das vezes de -30 minutos, independente do sistema de coordenadas utilizado. O valor da defasagem encontrada é próximo a 20-25 minutos, observado por Tsurutani et al. (1990a). A correlação observada também condiz com o resultado dos mesmos, que apresentou valor de 0,62, o que se enquadra na classificação moderada apresentada nesse trabalho de dissertação de mestrado.

4.8. Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia

Visando verificar se há alguma correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia, foi plotada a dispersão da duração juntamente com o período de maior energia de todos os eventos HILDCAAs aqui estudados, em seguida foi usada uma reta de ajuste linear para obter a correlação. Esse processo foi feito para o índice AE, e para a componente Bz do IMF (Coordenadas GSE e GSM).

4.8.1. Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia para o índice AE

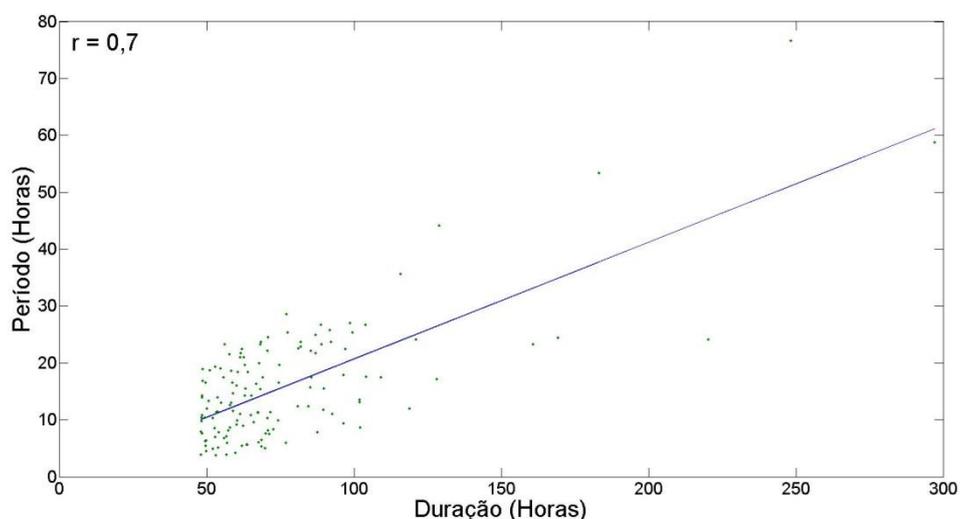


Figura 4.36- Dispersão da duração e dos períodos do índice AE durante HILDCAAs.

Pela Figura 4.36 observa-se a dependência da duração dos eventos em relação aos períodos do índice AE dos 133 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1975 e 2011, pela mesma nota-se que a correlação é forte, comparando com as classificações de correlação utilizada neste trabalho, sendo que esta foi igual a 0,7.

4.8.2. Correlação entre a duração dos eventos HILDCAAs e os períodos de maior energia para a componente Bz do IMF

Nessa subseção será apresentado o mesmo estudo feito para o índice AE na subseção anterior, mas agora para a componente Bz do IMF usando os sistemas de coordenadas GSE e GSM.

4.8.2.1. Usando coordenadas GSE

Em coordenadas GSE a correlação observada foi 0,6, que pode ser considerada moderada. A Figura 4.37 apresenta a dependência da duração dos 52 eventos HILDCAAs que ocorreram entre 1995 e 2011 com o principal período de maior energia de cada evento.

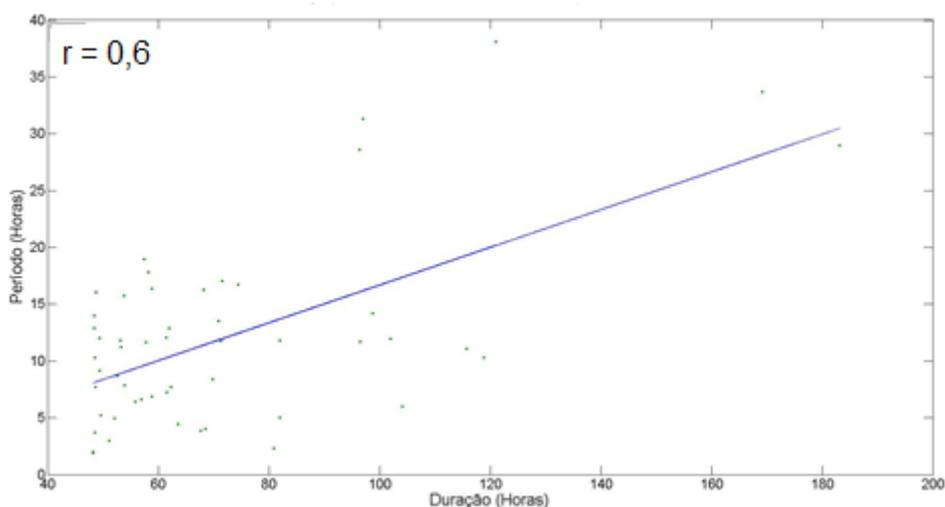


Figura 4.37- Dispersão da duração e dos períodos da componente Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs.

4.8.2.2. Usando coordenadas GSM

Usando coordenadas GSM a correlação observada também foi igual a 0,6. A dispersão com a reta de ajuste é apresentada na Figura 4.38.

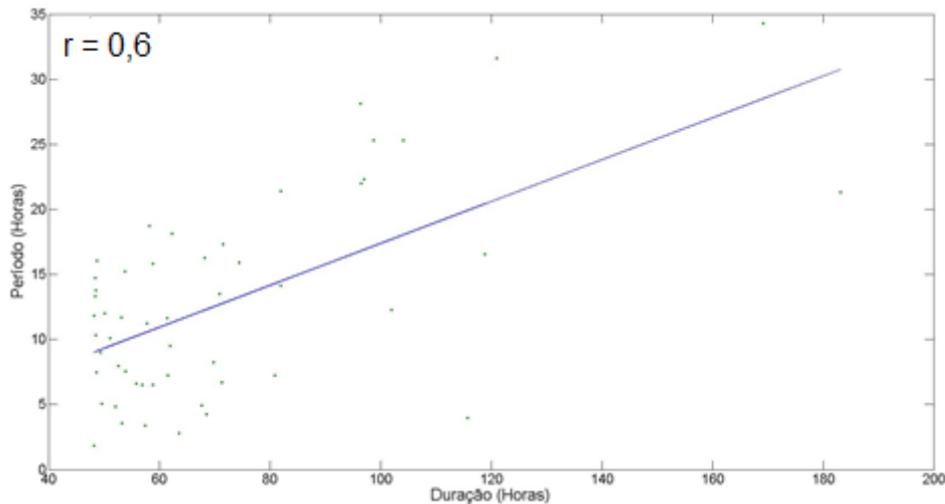


Figura 4.38- Dispersão da duração e dos períodos da componente Bz do IMF (GSM) durante HILDCAAs.

Através das Figuras 4.36, 4.37 e 4.38 observamos correlação forte e moderada, o que indica que quanto maior a duração do evento, maior os períodos de maior energia observados nos mesmos. Como foi visto que em períodos maiores a forma de distribuição de energia tende a ser contínua ou quase contínua, assim, como esperado, quanto maior o evento, mais energia é transferida do vento solar para a magnetosfera.

4.9. Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia dos eventos HILDCAAs.

A correlação entre os períodos e a densidade de energia foi feita do mesmo modo realizado para obter a correlação entre os períodos de maior energia e a duração do evento. Sendo essa análise aplicada para o índice AE e a componente Bz do IMF, tanto no sistema de coordenada GSE quanto no sistema GSM.

4.9.1. Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia do índice AE

A correlação entre o período e a densidade de energia do índice AE foi obtido através do período mais energético de cada evento. O Resultado é apresentado na Figura 4.39.

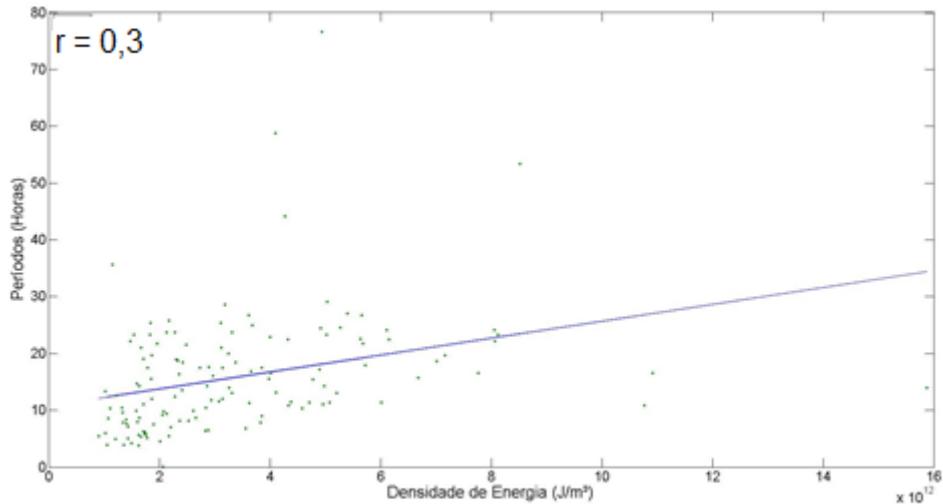


Figura 4.39- Dispersão dos períodos e densidade de energia do índice AE durante HILDCAAs.

A correlação observada foi de 0,3, o que é considerada baixa. Sendo assim, quanto ao índice AE não se pode fazer nem uma relação entre os períodos de maior energia e a densidade dos mesmos.

4.9.2. Correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia da componente Bz do IMF

Nas subseções seguintes temos a mesma análise de estudar a correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia realizada para o índice AE, mas agora para componente Bz do IMF em coordenadas GSE e GSM.

4.9.2.1. Usando coordenadas GSE

A Figura 4.40 apresenta a dispersão e a reta de ajuste entre os períodos e suas respectivas densidades de energia da componente Bz do IMF em

coordenadas GSE durante HILDCAAs. Através da mesma é extraída a inclinação da reta, que nos fornece a correlação entre os períodos e a densidade de energia, essa que é 0,4.

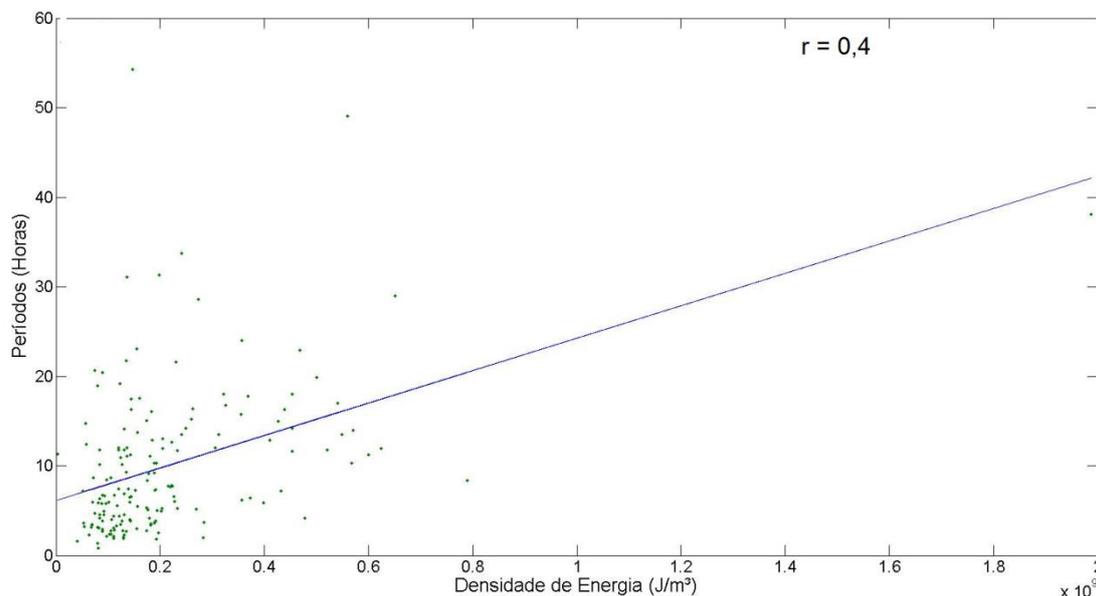


Figura 4.40- Dispersão dos períodos e densidade de energia da componente Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs.

4.9.2.2. Usando coordenadas GSM

Usando coordenadas GSM a correlação entre os períodos e suas respectivas densidades de energia foi de 0,5, e a dispersão entre eles é apresentada na Figura 4.41.

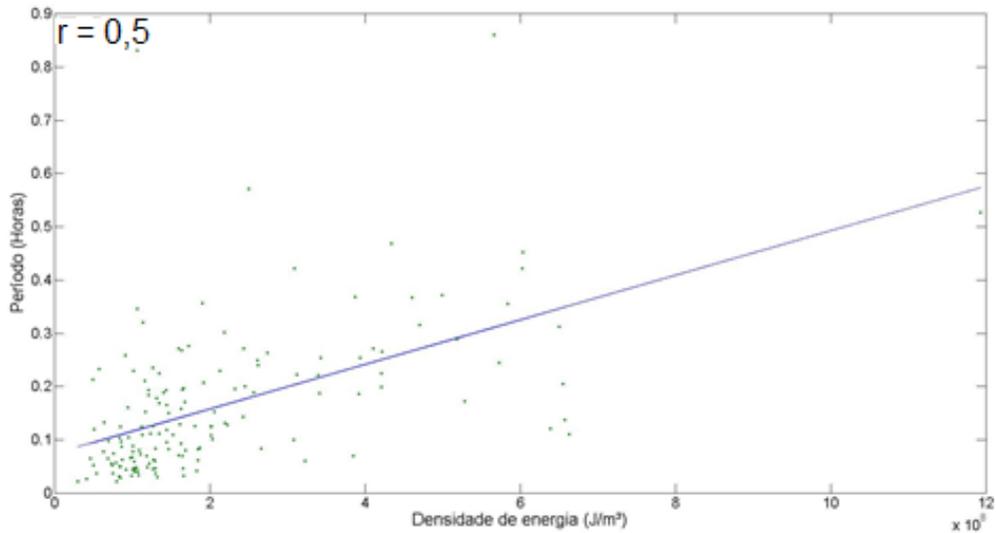


Figura 4.41- Dispersão dos períodos e densidade de energia da componente Bz do IMF (GSE) durante HILDCAAs.

Tanto em coordenadas GSE quanto GSM a correlação observada foi moderada, assim, não se pode chegar a uma conclusão da dependência dos períodos com suas respectivas densidades de energia, mas observamos que há alguma relação.

5. CONCLUSÕES

Essa dissertação de mestrado teve como objetivo principal identificar os principais períodos dos eventos HILDCAAs e, também, os períodos onde houve maior acoplamento vento solar- magnetosfera durante esses eventos. Os principais resultados aqui obtidos foram:

- Os períodos característicos do índice AE durante HILDCAAs foram identificados. Observou-se que os períodos mais significativos se localizam entre 4 e 12 horas, pois 50% dos períodos de maior energia dos 133 eventos estudados estavam nesse intervalo.
- No meio interplanetário, independente do sistema de coordenadas usado (GSE ou GSM), os períodos mais comuns encontrados na componente Bz do campo interplanetário são principalmente ≤ 12 horas. Esses períodos podem estar associados com ondas de Alfvén que apresentam períodos entre 1 e 10 horas (SMITH et al., 1995).
- Na cauda da magnetocauda, de mesmo modo que foi visto no meio interplanetário, os períodos mais frequentes encontrados no componente Bx ficaram entre 0 e 8 horas, intervalo que apresentou 82,1% dos períodos de maior energia. Esse resultado é coincidente com os períodos de subtempestades cíclicas encontrados por Korth et al, 2006.
- 46,6% dos períodos de maior energia do índice AE, se apresentaram na forma intermitente. Esta pode estar associada ao acúmulo e liberação de energia na cauda magnetosférica durante eventos HILDCAAs.
- Para a componente Bz do IMF o comportamento quase contínuo foi o mais observado em, 43,6% dos eventos usando coordenadas GSE, e

41,2% usando o sistema de coordenadas GSM. O mesmo comportamento também foi observado na magnetocauda, em 64%.

- Os períodos característicos de transferência de energia do vento solar para a cauda magnetosférica oriundos da TWC observados foram principalmente ≤ 4 horas, com 57,2% dos períodos identificados.
- O processo de transferência de energia da cauda para a região auroral durante eventos HILDCAAs pode ser considerado mais eficiente em períodos entre 4 e 8 horas com 40,8% do períodos identificados através da TWC.
- Os períodos característicos da transferência de energia do vento solar para a magnetosfera terrestre foram na maioria dos casos ≤ 8 horas, observado em mais de 43% dos casos. Quanto à forma de correlação, a mais observada foi a quase contínua, que pode ser justificada devido à reconexões quase periódicas do IMF e o campo geomagnético. A correlação entre a componente Bz do IMF e o índice AE apresentou variação entre os sistemas de coordenadas GSE e GSM. Usando o sistema de coordenadas GSE a correlação foi considerada fraca em 64% dos eventos e, usando coordenadas GSM, em 47,1% a correlação observada foi moderada, tal variação pode ser justificada devido ao sistema de coordenadas GSM ser centrado na Terra. Já a defasagem foi observada entre -20 e -30 minutos em ambos os sistemas.
- Foi observada uma alta correlação entre a duração dos eventos e os períodos de maior energia, sendo que quanto maior o evento, períodos maiores são observados, o que era esperado. A correlação entre os períodos de maior energia e a densidade de energia para o índice AE foi fraca, já para a componente Bz do IMF foi moderada. Esses resultados podem ser relacionados com o fato que para períodos menores, a forma

intermitente do sinal é a mais observada, e a medida que os períodos aumentam a forma contínua e quase contínua é mais observada.

Embora várias perguntas tenham sido respondidas nesse trabalho e em trabalhos anteriores, há ainda muito que se descobrir a respeito dos eventos HILDCAAs. Uma sugestão seria verificar se há variação nos períodos entre eventos que foram precedidos por tempestades geomagnéticas e os que ocorreram sem a ocorrência das mesmas. Outro estudo a ser realizado é comparar os períodos encontrados durante HILDCAAs com períodos predominantes durante intervalos geomagneticamente calmos ou em presença de tempestades geomagnéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFVÉN, H. Existence of electromagnetic-hydrodynamic waves. **Nature**, v. 150, p. 405-406, 1942.
- ALFVÉN, H. Electric currents in cosmic plasmas. **Reviews of Geophysics and Space Physics**. v. 15, p. 271-283, 1977.
- ALLAN, J. H.; ABSTON, C. C.; MORRIS, L. D. **Auroral electrojet magnetic activity indices AE (11) for 1974**. Boulder, Colorado : World Data Center a for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, 1976.
- ALVES, M. V.; ECHER, E.; GONZALEZ, W. D. Geoeffectiveness of corotating interaction regions as measured by Dst index. **Journal of Geophysical Research**. v. 111, p. 1-9, 2006.
- AXFORD, W.I.; HINES, C.O. A unifying theory of high latitude geophysical phenomena and geomagnetic storms. **Canadian Journal of Physics**, v. 39, n. 10, p. 1433-1464, 1961.
- BALOGH, M L.; SCHADE, D.; MORRIS, S. L.; YEE, H. K. C.; CARLBERG, R. G.; ELLINGSON, E. The dependence of Cluster galaxy star formation rates on the global environment. **The Astrophysical Journal**, V. 504, p. L75-L78, 1998.
- BALOGH, A.; CARR C. M.; ACUÑA, M. H.; DUNLOP, M. W.; BEEK, T. J.; BROWN, P.; FORNACON, K. H.; GEORGESCU E.; GLASSMEIER K.-H.; HARRIS J.; MUSMANN, G.; ODDY, T.; SCHWINGENSCHUH, K. The Cluster magnetic field investigation: overview of in-flight performance and initial **result**. **Annales Geophysicae**, Vol. 19, p. 1207–1217, 2001.
- BAK, P.; TANG, C.; WIESENFELD, K. Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise. **Physical Review Letters**, v. 59, p. 381-384, 1987.
- BAUMJOHANN, W.; NAKAMURA, R. **Magnetospheric contributions to the terrestrial magnetic field**. Graz, Austria: Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, 2007. p. 77-91.
- BELCHER, J. W. Alfvénic wave pressures and the solar wind. **The Astrophysical Journal**. v. 168, p. 509-524, 1971.
- BELCHER, J. W.; DAVIS Jr., L. Large-amplitude Alfvén waves in the interplanetary medium,2. **Journal of Geophysical Research**, v. 76, p. 3534-3563, 1971.
- BIERMANN, L. the plasma tails of comets and the interplanetary plasma. **Space Science Reviews**. v.1, p. 1961-1962, 1963.

BITTENCOURT, J. A. **Fundamentals of plasma physics: an introduction** - São José dos Campos, SP: INPE, 1979.

BOHLIN, J. D. The physical properties of coronal holes. **Physics of solar planetary environments: proceedings of the international symposium on solar-terrestrial physics**. Boulder, Colorado. v. 7, p. 114-128, 1976.

BOLZAM, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, p. 37-41, 2004.

BOLZAM, M. J. A.; ECHER, E.; KORTH, A. Cross-wavelet analysis on the interplanetary and magnetospheric tail magnetic field data. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 34., 2012, Águas de Lindóia. **Proceedings...** São Carlos: SBMAC, 2012. ISSN 1984-8218

BOLZAM, M. J. A.; ECHER, E. A multifractal approach applied to the magnetic field turbulence in Jupiter's magnetosheath. **Planetary and Space Science**.v. 91, p. 77-82, 2014.

BOLZAM, M. J. A.; VIERIA, P. C. Wavelet analysis of the wind velocity and temperature variability in the amazon forest. **Brazilian Journal of Physics**, v. 36, p. 1217-1222, 2006.

BURLAGA, L. F. **Interplanetary magnetohydrodynamics**. Nova York: oxford university press, 1995.

CASTILHO, J. E.; DOMINGUES, M. O.; PAGAMISSE, A.; JUNIOR, O. M. Introdução ao mundo das wavelets. . In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 34., 2012, Águas de Lindóia. **Proceedings...** São Carlos: SBMAC, 2012. E-ISSN 2236-5915.

CHANG, T.; TAN, S. W. Y.; WU, C.-C. Complexity in space plasmas – a brief review. **Space Science Reviews**. v. 122, p. 281-291, 2006.

CHAPMAN, S., FERRARO, V. C. A. A new theory of magnetic storms. **Terr. Magnetism**. v. 36, p. 77-97, 1931.

COWLEY, S. W. H. The Earth's magnetosphere: a brief beginner's guide. **American Geophysical Union**. v. 76, nº. 51, p. 525-532, 1995.

CRAVENS, T. E. **Physics of solar system plasmas**. Cambridge: England Cambridge University. 477306552 (Cambridge Atmospheric and Space Science Series), p. 343-356, 1997.

DAGLIS, I. A., THORNE, R. M., BAUMJOHANN, W., ORSINI, S.: The terrestrial ring current: origin, formation, and decay. **Rev. Geophys**. v. 37, p. 407–438, 1999.

- DAUBECHIES, I. Ten lectures on wavelets. IN: SERIES: CBMS-NSF REGIONAL CONFERENCE SERIES IN APPLIED MATHEMATICS, 61, 1992, Philadelphia. **Proceedings...** ISBN0898712742.
- DAVIS, T. N.; SUGIURA M. Auroral electrojet activity index AE and Its universal time variations. **J. Geophys. Res.** v. 71, p. 785-801, 1966.
- DOMINGUES, M. O.; MENDES Jr, O.; COSTA, A. M. On Wavelts Techniques in Atmospheric Sciences. **Advances in Space Research.** v. 35, p. 831-824, 2005.
- DUNGEY, J. W. Interplanetary magnetic field and the auroral zones. **Phys. Rev. Lett.** v. 6, p. 47-49, 1961.
- DUNGEY, J. W. Origins of the concept of reconnection and its application to the magnetopause: a historical view. **American Geophysical Union.** v.90, p. 17-19, 1995.
- ECHER, E. **Estudo de características e geofetividade de estruturas magnéticas interplanetárias simples e compostas.** 2003. 243 p. (INPE-12514-TDI/999). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.17.16.14>>. Acesso em: 20 abr. 2015.
- ECHER, E.; GONZALEZ, W. D.; GUARNIERI, F. L.; DAL LAGO, A.; VIEIRA, L. E. A. Introduction to space weather. **Advances in Space Research.** v. 35, p. 855-865, 2005.
- ECHER, E. Magnetosferas planetárias. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 32, n. 2, 230, 2010a.
- ECHER, E. wavelet analysis of ULF waves in the mercury's magnetosphere. **Revista Brasileira de Geofísica.** v. 28, p. 175-182, 2010b.
- ESCOUBET, C. P.; RUSSELL, C. T.; SCHMIDT, R. The Cluster and phoenix missions. **Space Sci. Ver.** v.79, p 7-9, 1997.
- GAO, R. X.; YAN, R. From Fourier transform to wavelet transform: a historical perspective. In: **Wavelet: theory and applications for manufacturing.** Springer, p. 17-32, 2011.
- GONZALEZ, W. D.; GUARNIERI, F. L.; ECHER, E.; ALVES, M. V., OGINO, T.; TSURUTANI, B. T. Magnetospheric energetics during HILDCAAs. **American Geophysical Union.** p. 175-182, 2006.
- GONZALEZ, W. D.; JOSELYN, J. A.; KAMIDE, Y.; KROEHL, H. W.; ROSTOKER, G.; TSURUTANI, B. T.; VASYLIUNAS, V. M. what is a

geomagnetic storm? **Journal of Geophysical Research**. v. 99, nº A4, p. 5771-5792, 1994.

Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T. Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms ($Dst < -100$ nT). **Planetary and Space Science**, v. 35, nº 9, p.1101-1109, 1987.

GRINSTED, A.; MOORE, J. C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**.v. 11, p. 561–566, 2004.

GUARNIERI, F. L. **Estudo da origem interplanetária e solar de eventos de atividade auroral contínua e de longa duração**. 2005. 316 p. (INPE-13604-TDI/1043). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1913/2005/04.28.12.15>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

GUARNIERI, F. L. The nature of auroras during high-intensity long-duration continuous AE activity (HILDCAA) events, 1998 to 2001. In: TSURUTANI, B. T., McPHERSON, R. L., GONZALEZ, W. D., LU, G., SOBRAL, J. H. A.; GOPALSWAMY, N. (eds.). **Recurrent magnetic storms: corotating solar wind streams**, geophys. monogr., Washington, DC: Am. Geophys. Univ. Press, 2006. v. 167, 235 p.

GUARNIERI, F. L.; TSURUTANI, B. T.; ECHER, E.; GONZALEZ, W. D. Geomagnetic activity and auroras caused by high-speed streams: a review. **Advances in Geosciences**. v. 8: Solar Terrestrial, p. 91-102, 2007.

GUARNIERI, F. L. ICME and CIR storms with particular emphasis on HILDCAA events. In: COPALSWAMY, N.; BHATTACHARYYA, A. (Org.). **The solar influence on the heliosphere and earth's environment: recent progress and prospects**. 1ed. Mumbai: Quest Publications, 2006. v. 1, p. 1-7

HAJRA, R.; ECHER, E.; TSURUTANI, B. T.; GONZALEZ, W.D. Solar cycle dependence of high-intensity long-duration continuous AE Activity (HILDCAA) events, relativistic electron predictors? **Journal Of Geophysical Research**, v. 118, p. 1–13, 2013.

HAJRA, R.; ECHER, E.; TSURUTANI, B. T.; GONZALEZ, W.D. Solarwind-magnetosphere energy coupling efficiency and partitioning: HILDCAAs and preceding CIR storms during solar cycle 23. **Journal of Geophysical Research**. v. 119, p. 2675-2690, 2014a.

HAJRA, R.; TSURUTANI, B. T.; ECHER, E.; GONZALEZ, W.D. Relativistic electron acceleration during high-intensity, long-duration, continuous ae activity (HILDCAa) events: solar cycle phase dependences. **Geophysical Research Letters**. v. 41, p. 1876-1881, 2014b.

HARGREAVES, J. K. **Solar-terrestrial environment** an introduction to geospace - the science of the terrestrial upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere - Cambridge, UK : Cambridge University, 1992.

HOFFMEISTER V. C. Physikalische untersuchungen an kometen. i. die beziehungen des primaren schweifstrahls zum radiusvektor. **Zeitschrift für Astrophysik**.v. 22, p. 265-287, 1943.

HUGHES, W. J. The Magnetopause, magnetotail and magnetic reconnection. In: KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. **Introduction to space physics**. Cambridge, UK: University Press, p. 227- 287, 1995.

KAMIDE, Y.; Rostoker , G. What is the physical meaning of the AE index ? **EOS Transaction**. v.85, p. 188-192, 2004.

KIVELSON, M. G.; BAGENAL, F. Planetary magnetospheres. In: MACFADDEN, L-A; WEISSMAN, P. R.; JOHNSON, T. V. (eds.) **Encyclopedia of the solar system**. San Diego , CA : Academic, 2007, p. 519-539.

KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. (Ed.) **Introduction to space physics** – Cambridge. Inlaterra: Cambridge University. 1995.

KOGA, D.; SOBRAL, J. H. A.; GONZALEZ, W. D.; ARRUDA, S. C. S.; ABDU, M. A.; CASTILHO, V. M.; MASCARENHAS, M.; GONZALEZ, A. C.; TSURUTANI, B. T.; DENARDINI, C. M.; ZAMLUTTI, C. J. Electrodynamic coupling process between the magnetosphere and the equatorial ionosphere during a 5-day HILDCAA event. 2011. **Jornal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 73, p. 148-155.

KORTH, H.; ANDERSON, B. J.; RAINES, J. M.; SLAVIN, J. A.;ZURBUCHEN, T. H.; JOHNSON, C. L.; PURUCKER, M. E.; WINSLOW, R. M.; SOLOMON, S. C.; McNUTT Jr., R. L. Plasma pressure in mercury's equatorial magnetosphere derived from MESSENGER magnetometer observations. **Geophysical Ressearch Letters**. v. 38, p. 1-6, 2011.

KORTH, A.; ECHER, E. ; GUARNIERI, F. L.; FRANZ, M. ; FRIEDEL, R.; GONZALEZ, W. D.; MOUIKIS, C. G.; REME, H. Cluster observations of plasma sheet activity during the September 14-28, 2003 corotating high speed stream event. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUBSTORMS (ICS-8), 8., 2006, Alberta. **Proceedings...** Alberta: Syrjäsuo, and E. Donovan, University of Calgary, 2006. p. 133-138.

KRIEGER, A. S.; TIMOTHY, A. F.; ROELOF, E. C. A coronal hole and its identification as the source of a high velocity solar winde stream. **Sol. Phys** , v. 29, p. 505-525, 1973.

KUMAR, P., GEORGIU, E. F. Wavelet analysis in geophysics: an introduction. In: GEORGIU E. F.; KUMAR, P. (eds.). **Wavelets in Geophysics**. San Diego: Academic, 1994. p. 1–43.

LECKBAND, J.A.; BURGESS, D.; PANTELLINI, F.G.E.; SCHWARTZ, S. J. Ion distributions associated with mirror waves in the Earth's magnetosheath. **Advances in Space Research**. v. 15, p. 345-348, 1995.

LEE, D.Y.; LYONS, L. R.; KIM, K. C.; BAEK, J. H.; KIM, K. H.; KIM, H.J.; WEYGAND, I. J.; MOON, Y. J.; CHO, K.S.; PARK, Y. D.; HAN, W. Repetitive sub storms caused by Alfvénic waves of the interplanetary magnetic field during high - speed solar wind streams. **Journal of Geophysical Research**. v.111, p. 1-14, 2006.

LOVE, J. J.; REMICK, K. J. Magnetic indices. In: GUBBINS, D.; HERRERO-BERVERA, E. (ed.). **Encyclopedia of geomagnetism & paleomagnetism**. Springer, Dordrecht, Holanda. p. 509-512, 2007.

MCPHERRON, R.L. Magnetospheric dynamics. In: KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C.T. (eds.), **Introduction to space physics**. Cambridge, 1995. p. 400-450.

MCPHERRON, R. L. The role of substorms in the generation of magnetic storms. **American Geophysical Union**. p. 131-147, 1997.

MEIRELLES, M. C.; DIAS, V. H. A.; OLIVA, D.; PAPA, A. R. R. A simple 2D SOC model for one of the main sources of geomagnetic disturbances: flares. **Physics Letters A**, 374, 1024-1027, 2010.

MEYER, Y. **Ondelettes – ondelettes et opérateurs**. I. Hermann, Paris, p. 215, 1990.

MORETTIN, P. A. **Ondas e ondeletas: da análise de fourier à análise de ondeletas**. São Paulo: Edusp, 1992. 296 p.

NEUGEBAUER, M.; SNYDER, C. W. Mariner 2 observations of the solar wind: 1, average properties. **Journal of Geophysical Research**. v. 71, p. 4469-4484, 1966.

NESS, N. F. The geomagnetic tail. **Journal Space Science Reviews**, v. 10, p. 97-128, 1969.

OLIVEIRA, D. Ionosphere-magnetosphere coupling and field-aligned currents. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 36, n. 1, p. 1305, 2014.

PARKER, E. N. Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields. **Astrophysical Journal**, v. 128, p. 664-676, 1958.

PARKER, E. N. Dynamics properties of the magnetosphere. **Journal Space Science Reviews**. v. 10, p. 3-64, 1967.

PARKER, E. N. Dynamical theory of the solar wind. **Space Science Reviews**. v.4, p. 666-708, 1965.

PIZZO, V. J. Interplanetary shocks on the large scale: a retrospective on the last decade's theoretical efforts. In: TSURUTANI, B.T.; STONE, R. G. (eds.) **Collisionless shocks in the heliosphere: reviews of current research**. America Geophysics Union, v. 35, 1985.

RANGARAJAN, G. K.; IYEMORI, T. Time variations of geomagnetic activity indices Kp and Ap: an update. **Ann. Geophysicae**. v. 15, p. 1271-1290, 1997.

ROSTOKER, G. Geomagnetic indices. **Reviews of Geophysics and Space Physics**. v. 10, n. 4, p. 935-950, 1972.

ROSTOKER G.; AKASOFU, S. I.; FOSTER, J.; GREENWALD, R. A.; KAMIDE, Y.; KAWASAKI, K.; LUI, T. U.; MCPHERRON, R. L.; RUSSELL, C. T. Magnetospheric substorms definition and signatures. **Journal of Geophysical Research**. v. 85, p. 1663-1668, 1980.

RUSSELL, C. T.; MCPHERRON, R. L.; BURTON, R. K. On the cause of geomagnetic storms. **J. Geophys. Res.** v. 79, n. 7, p. 1105-1109, 1974.

RUSSELL, C. T. The polar cusp. **Advances in Space Research**. v. 25, p. 1413-1424, 2000.

RUSSELL, C. T. The solar wind interaction with the Earth's magnetosphere: a tutorial. **IEEE Transaction son Plasma Science**, v. 28, n. 6 (dec), p. 1818-1830. 2000.

SCHWENN, R. Space weather: the solar perspective. **Living Reviews in Solar Physics**. v. 3, n. 2, 2006. doi: 10.12942/lrsp-2006-2.

SHEELEY Jr., N.R.; HARVEY, J. W.; FELDMAN, W. C. Coronal holes, solar wind streams, and recurrent geomagnetic disturbances: 1973-1976. **Solar Phys.** v. 49, p. 271-278, 1976.

SHELTON, W. **Soviet space exploration - the first decade**. Londres, Inglaterra: Arthur Barker Ltd., 1969.

SITNOV, M. I.; SHARMA, A. S.; PAPADOPOULOS, K.; VASSILIADIS, D. Modeling substorm dynamics of the magnetosphere: from self-organization and self-organized criticality to nonequilibrium phase transitions. **Physical Review E**. v. 65, p. 016116, 2001.

SMITH E. J.; BALOGH, A.; NEUGEBAUER, M.; MCCOMAS, D. Ulysses observations of Alfvén waves in the southern and northern solar hemispheres. **Geophys. Res. Lett.** v. 22, p 3381-3384, 1995.

SMITH, E. J.; WOLFE, J. H. observations of interaction regions and corotating shocks. **Geophys. Res. Lett.** v. 3, p 137-140, 1976.

SORAAS, F.; AARSN, K.; OKSAVIK, K.; SANDANGER, M. I.; EVANS, D. S.; GREER, M. S. Evidence for particle injection as the cause of Dst reduction during HILDCAA events. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 66, p. 177- 186, 2004.

SPREITER, J. R.; ALKSNE A.Y. Plasma flow around the magnetosphere. In: WILLIAMS, D. J.; MEAD, G. D. (eds.). **Magnetospheric physics**. Washington, D. C.: Amer. Geophys. Union, 1969. , v. 7, p. 11-50.

SUGIURA, M., Hourly values of equatorial Dst for IGY, **Annals of the International Geophysical Year**, v. 35, p. 945-948, 1964.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 79, n. 1, p. 61-78, 1998.

TSURUTANI, B.T.; GONZALEZ, W.D. ; GONZALEZ, A.L.C. ; GUARNIERI, F.L.; GOPALSWAMY, N.; GRANDE, M. ; KAMIDE, Y. ; KASAHARA, Y.; LU, G. ; MANN, I. ; MCPHERRON, R ; SORAAS, F. ; VASYLIUNAS, V. Corotating solar wind streams and recurrent geomagnetic activity: A review. **J. Geophys.** v. 111, p. 1-25, 2006.

TSURUTANI, B.T.; GOULD, T.; GOLDSTEIN, B. E.; GONZALEZ, W. D.; SUGIURA, M. Interplanetary Alfvén waves and auroral (substorm) activity: IMP 8. **Journal of Geophysical Research**. v. 95, p. 2241-2252, 1990a.

TSURUTANI, B. T.; GOLDSTEIN, B. E.; SMITH, E. J.; GONZALEZ, W. D.; TANG, F.; ANDERSON, R. R. The interplanetary and solar causes of geomagnetic activity. **Planetary and Space Science**. v. 38, p. 109-126, 1990b.

TSURUTANI, B.T.; GONZALEZ, W. D.; GONZALEZ, A.L.C.; TANG, F.; ARBALLO, J. K.; OKADA, M. Interplanetary origin of geomagnetic activity in the declining phase of the solar cycle. **J. Geophys. Res.** v. 100, p. 21717-21733, 1995.

TSURUTANI B. T.; GONZALEZ, W. D.; GUARNIERI, F.L.; KAMIDE, Y.; ZHOU, X.; ARBALLO, J. K. Are high-intensity long-duration continuous AE activity (HILDCAA) events substorm expansion events? **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v. 66, p. 167–176, 2004.

TSURUTANI, B. T.; GONZALEZ, W. D.; KAMIDE, Y.; HOI C. M.; LAKHINA, G. S.; ARBALLO, J. K.; THORNE, R. M.; PICKET, J. S.; HOWARD, R. A. The interplanetary causes of magnetic storms, HILDCAAs and viscous interaction. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science**. v. 24, p. 1464 – 1917, 1999.

TSURUTANI, B. T.; GONZALEZ, W. D. The Cause Of High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity (Hildcaas): Interplanetary Alfvén Wave Trains. **Planet. Space Sci.**, v. 35, n. 4, p. 405-412, 1987.

TSURUTANI, B.T.; JUDGE, D.L.; GUARNIERI, F.L.; GANGOPADHYAY, P.; JONES, A. R.; NUTTALL, J.; ZAMBON, G. A.; DIDKOVSKY, L.; MANNUCCI, A. J.; IJIMA, B.; MEIER, R. R.; IMMEL, T. J.; WOODS, T. N.; PRASAD, S.; FLOYD, L.; HUBA, J.; SOLOMON, C.S.; STRAUS, P.; VIERECK, R. The October 28, 2003 extreme EUV solar flare and resultant extreme ionospheric effects: Comparison to other Halloween events and the Bastille day event. **Geophys. Res.**, v. 32, 2005.

Tsurutani, B. T., Echer, E., Guarnieri, F. L., and Gonzalez, W. D. The properties of two solar wind high speed streams and related geomagnetic activity during the declining phase of solar cycle 23. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v. 73, p. 164-177, 2011.

YERMOLAEV, Y. I.; SERGEEV, V. A.; ZELENYI, L. M.; PETRUKOVICH, J.; SAUVAUD, -A.; MUKAI, T.; KOKUBUN, S. Two spacecraft observation of plasma sheet convection jet during continuous external driving. **Geophysical Research Letter**. v. 26, n., 2, p. 177-180, 1999.

YOUNG, R.K. **Wavelet theory and its applications**. Boston: Springer, 1993.

WALKER, J. S. **Primer on wavelets and their scientific applications**. 2. ed. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC, 2008.

WOLF, R. A. Magnetospheric configuration. In: KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. (eds.). **Introduction to space physics**. Cambridge, UK: University Press, p. 288- 329, 1995.

<<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/ae2/AEObs.html>>. Acesso em 24/01/2015.

<http://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/26/auroral_electrojet_indices>. Acesso em 24/01/2015.

APÊNDICE A – Tabelas com informações do índice AE e Componente

Bz do IMF

Esse apêndice apresenta as tabelas construídas com informações do índice AE e componente Bz do IMF em coordenadas GSE e GSM. As informações apresentadas nas mesmas são referente aos principais períodos, densidade de energia e classificação do sinal em cada período de maior energia. Nas tabelas as classificações são apresentadas usando abreviações, sendo elas: Contínua (C), quase contínua (QC), intermitente (I), e local (L). Os que não foram classificados porque ficaram fora do cone de influência são representados por FC.

Tabela A.1- Informações dos períodos do índice AE.

Índice AE			
Evento	Períodos (horas)	Densidade de Energia ($\frac{J}{m^3}$)	Característica do sinal
1	4,78	1,35E+12	L
	9,13	2,06E+12	C
2	4,95	1,21E+12	I
3	6,97	2,21E+12	C
4	23,32	8,13E+12	C
5	5,48	1,28E+12	L
	11,02	1,72E+12	C
6	3,35	1,36E+12	I
	21,05	3,13E+12	C
7	19,67	7,17E+12	C
8	5,03	1,01E+12	QC
	15,50	1,85E+12	C
9	3,70	1,65E+12	I
	11,02	4,97E+12	C
10	3,58	1,50E+12	I

	8,68	2,66E+12	L
	28,60	1,77E+12	C
11	3,58	1,99E+12	I
	22,15	8,08E+12	FC
12	6,62	2,95E+12	C
	11,22	3,63E+12	C
	21,42	3,41E+12	C
13	6,07	1,53E+12	I
	13,07	3,32E+12	L
14	13,30	1,03E+12	L
15	3,58	1,50E+12	QC
	6,73	1,43E+12	QC
	9,95	1,59E+12	I
	20,70	1,05E+12	FC
16	16,58	1,09E+13	FC
17	5,67	2,72E+12	I
	15,77	6,69E+12	C
	29,58	3,87E+12	FC
18	8,40	1,40E+12	I
	13,52	9,29E+11	C
19	4,78	1,73E+12	I
	9,45	1,50E+12	I
	16,30	1,63E+12	L
	25,82	2,18E+12	FC
20	4,72	1,41E+12	I
	18,37	3,39E+12	C
21	5,97	2,09E+12	C
	11,60	3,09E+12	C
22	5,87	1,62E+12	I
	9,78	2,08E+12	QC
23	5,67	1,75E+12	L

24	4,95	2,50E+12	I
	14,23	4,99E+12	C
25	10,30	2,47E+12	I
	28,60	3,19E+12	FC
26	3,52	1,15E+12	I
	25,38	1,94E+12	FC
	44,15	4,28E+12	FC
27	4,55	1,79E+12	I
	13,75	1,17E+12	I
	25,38	1,84E+12	FC
28	5,97	1,02E+12	I
	9,30	8,48E+11	I
	17,17	7,04E+11	L
29	5,30	1,44E+12	I
	12,42	2,28E+12	L
	24,12	1,94E+12	QC
30	3,65	8,82E+11	I
	10,47	7,00E+11	I
	23,72	3,32E+12	FC
31	4,47	2,02E+12	QC
	7,70	1,20E+12	L
32	4,18	8,73E+11	I
	12,63	1,23E+12	I
33	5,67	2,40E+12	I
	8,12	2,58E+12	I
	23,32	5,03E+12	FC
34	7,08	1,43E+12	I
	16,30	2,37E+12	L
35	8,68	1,64E+12	I
	17,75	4,66E+11	C
36	5,30	1,67E+12	I

	7,85	1,31E+12	L
	12,20	1,29E+12	I
	21,05	9,54E+11	FC
37	3,70	1,17E+12	I
	5,22	1,34E+12	I
	7,58	1,42E+12	I
	13,98	9,95E+11	I
	21,78	8,73E+11	FC
38	8,25	1,44E+12	I
	17,45	1,79E+12	QC
39	7,08	1,44E+12	QC
40	3,53	8,88E+11	I
	9,78	1,31E+12	QC
	24,53	5,28E+12	C
41	4,18	1,07E+12	I
	6,40	1,06E+12	I
	15,50	1,41E+12	QC
	23,32	1,54E+12	-FC
42	3,97	1,80E+12	I
	6,40	2,84E+12	L
	13,30	1,82E+12	L
43	4,10	7,13E+11	QC
	9,62	1,34E+12	C
44	3,47	9,07E+11	I
	7,85	1,08E+12	L
	26,72	5,67E+12	FC
45	3,47	8,81E+11	I
	25,38	3,12E+12	QC
46	3,23	9,10E+11	I
	6,62	1,78E+12	QC
	13,52	2,42E+12	QC

	19,00	2,33E+12	QC
47	4,03	9,73E+11	I
	7,58	1,28E+12	L
	18,37	2,43E+12	C
48	4,18	2,11E+12	I
	9,95	2,62E+12	C
	18,68	1,37E+12	-FC
49	7,20	2,44E+12	C
	11,80	2,25E+12	I
	17,45	3,15E+12	C
50	4,10	1,30E+12	L
	10,47	2,85E+12	QC
51	10,32	4,59E+12	QC
	25,82	2,72E+12	FC
52	4,10	1,22E+12	I
	5,77	1,04E+12	I
	11,40	1,38E+12	QC
	22,15	1,48E+12	C
53	3,97	1,21E+12	I
	6,50	1,46E+12	I
	11,80	2,50E+12	C
	20,00	3,26E+12	FC
54	3,23	1,03E+12	I
	6,50	1,84E+12	I
	24,95	3,69E+12	FC
55	10,83	1,08E+13	C
56	3,97	9,67E+11	I
	8,83	1,53E+12	I
	17,45	3,85E+12	C
57	4,78	1,44E+12	I
	13,07	5,22E+12	C

58	13,98	1,59E+13	C
59	9,62	3,29E+12	I
	17,17	4,91E+12	C
60	7,58	2,32E+12	I
	15,50	3,99E+12	C
61	5,67	1,36E+12	I
	21,78	1,96E+12	C
62	4,18	8,28E+11	I
	19,67	1,87E+12	FC
63	3,18	9,65E+11	I
	5,58	7,67E+11	L
	19,00	1,72E+12	FC
64	7,98	1,61E+12	I
	14,23	1,17E+12	QC
65	3,70	7,21E+11	L
	9,30	1,14E+12	C
	193,30	2,08E+12	QC
65	3,97	9,96E+11	I
	7,85	1,35E+12	I
	11,40	1,27E+12	I
	15,50	1,24E+12	L
67	3,83	1,27E+12	L
	7,85	3,84E+12	C
68	3,90	1,36E+12	QC
	6,50	1,20E+12	L
69	12,85	3,02E+12	C
	26,72	3,62E+12	C
70	4,25	1,50E+12	I
	7,45	1,07E+12	I
	10,47	1,24E+12	QC
71	5,58	1,58E+12	I

	11,80	2,95E+12	C
	22,53	1,90E+12	QC
72	7,58	2,02E+12	I
	10,30	2,12E+12	I
	17,45	2,74E+12	I
73	5,58	2,49E+12	I
	24,12	8,07E+12	C
74	4,25	1,26E+12	I
	12,00	1,59E+12	I
	26,72	2,41E+12	I
	76,58	4,95E+12	QC
75	4,70	1,55E+12	I
	10,65	2,22E+12	I
	33,52	3,56E+12	QC
	58,78	4,11E+12	C
76	5,12	2,26E+12	I
	14,23	2,87E+12	FC
77	11,40	5,09E+12	C
78	5,77	2,39E+12	QC
	12,20	1,84E+12	I
	22,53	5,65E+12	C
79	5,48	9,15E+11	L
	11,40	5,85E+11	C
	21,05	6,02E+15	C
80	4,70	1,29E+12	I
	6,50	1,13E+12	I
	13,52	1,89E+12	C
	23,72	2,29E+12	FC
81	4,47	1,62E+12	QC
	10,83	5,85E+11	QC
	23,32	1,83E+12	FC

82	4,70	1,55E+12	I
	7,33	1,54E+12	I
	23,72	2,13E+12	C
83	6,07	1,75E+12	I
84	11,40	6,03E+12	QC
85	12,00	3,15E+12	QC
	17,17	2,31E+12	QC
	28,12	1,49E+12	FC
86	6,50	2,90E+12	I
	12,00	1,80E+12	QC
87	2,82	3,94E+11	I
	6,18	7,93E+11	L
	10,30	1,36E+12	C
	14,72	1,60E+12	C
88	3,23	1,61E+12	I
	8,12	2,54E+12	QC
89	3,83	1,64E+12	I
90	7,20	4,19E+12	I
	16,58	7,78E+12	C
91	11,33	4,72E+12	I
	19,85	3,14E+12	C
92	3,33	8,40E+11	I
	5,65	1,63E+12	I
	10,98	1,43E+12	QC
93	3,28	6,85E+11	I
	13,98	3,27E+12	C
94	3,83	8,23E+11	I
	5,67	7,67E+11	I
	10,82	1,10E+12	I
	25,33	1,05E+12	C
	35,62	1,16E+12	FC

95	3,53	5,34E+11	I
	8,57	1,08E+12	C
96	11,43	4,39E+12	C
97	4,32	1,49E+12	I
	8,38	1,65E+12	I
	22,50	4,33E+12	FC
98	5,38	8,82E+11	I
	10,30	1,11E+12	C
99	5,97	1,70E+12	I
	13,52	1,67E+12	C
	29,07	5,05E+12	FC
100	7,18	3,68E+12	C
	21,70	5,69E+12	FC
101	3,90	1,06E+12	I
	13,52	5,27E+11	QC
102	4,32	1,52E+12	I
	10,83	4,34E+12	C
103	6,30	7,87E+11	QC
	16,90	3,67E+12	FC
104	6,75	3,57E+12	L
	16,35	1,13E+12	QC
105	4,62	7,89E+11	I
	20,97	1,68E+12	FC
106	10,62	2,06E+12	I
	18,62	7,02E+12	QC
107	6,43	2,15E+12	I
	13,15	4,12E+12	QC
108	5,80	1,84E+12	I
	17,57	2,90E+12	I
109	3,38	9,07E+11	I
	7,53	1,90E+12	L

110	6,82	2,48E+12	I
	22,42	6,17E+12	I
111	5,27	1,83E+12	QC
	15,38	4,78E+12	QC
112	5,62	2,60E+12	I
	17,87	5,73E+12	C
113	3,90	1,69E+12	I
	10,28	3,15E+12	I
	24,08	6,12E+12	I
114	8,83	1,19E+12	C
	18,68	2,34E+12	QC
115	15,17	3,27E+12	I
	27,50	5,60E+12	C
	53,43	8,54E+12	FC
116	7,67	1,60E+12	I
	24,42	4,93E+12	I
	35,52	3,61E+12	I
	45,07	3,79E+12	FC
117	6,25	1,04E+12	I
	13,00	1,99E+12	I
	27,03	5,41E+12	C
118	3,22	7,87E+11	I
	22,83	4,01E+12	C
119	3,03	6,58E+11	I
	5,70	9,41E+11	I
	12,03	9,41E+11	C
	21,48	2,49E+12	FC
120	8,10	2,37E+12	QC
	22,88	7,90E+11	-FC
121	3,83	1,22E+12	QC
	14,23	1,64E+12	QC

122	3,35	6,33E+11	I
	6,28	1,72E+12	I
123	5,12	1,78E+12	I
	6,97	1,47E+12	C
124	9,35	2,14E+12	I
	27,78	1,66E+12	C
125	5,98	1,74E+12	QC
	19,07	1,32E+12	FC
126	5,30	1,00E+12	C
	12,00	1,87E+12	C
127	5,00	1,43E+12	I
	7,65	1,29E+12	I
128	3,35	1,07E+12	I
	10,47	1,33E+12	QC
129	5,48	2,18E+12	C
	15,23	9,20E+11	C
130	8,98	3,86E+12	C
131	5,47	1,39E+12	I
	8,25	1,79E+12	C
	18,93	2,31E+12	FC
132	4,17	7,69E+11	QC
	16,52	4,02E+12	C
133	3,83	9,85E+11	I
	7,58	1,42E+12	L
	16,03	2,97E+12	QC

Tabela A.2- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenadas GSE.

Componente Bz do IMF (GSE)			
Evento	Períodos (horas)	Densidade de Energia ($\frac{J}{m^3}$)	Característica do Sinal
82	2,85	1,12E+08	I
	5,00	1,94E+08	QC
	14,13	1,31E+08	I
83	3,84	1,44E+08	QC
	3,62	5,34E+07	L
84	3,52	1,82E+08	L
	5,21	2,70E+08	L
	11,21	6,01E+08	C
85	2,38	1,02E+08	I
	6,60	1,45E+08	I
	10,28	1,88E+08	C
	21,74	1,36E+08	QC
	31,08	1,37E+08	C
86	4,02	1,41E+08	I
87	6,86	1,31E+08	QC
	10,15	1,27E+08	QC
88	3,37	6,93E+07	I
	12,38	5,86E+07	QC
	18,94	8,05E+07	QC
89	3,84	1,92E+08	I
	5,48	1,57E+08	L

	11,80	5,22E+08	QC
90	2,80	1,29E+08	I
	7,28	1,90E+08	QC
	16,75	3,27E+08	C
91	5,26	2,34E+08	I
	11,32	3,63E+06	QC
	17,04	5,42E+08	QC
92	2,74	1,75E+08	I
	4,41	1,11E+08	QC
	11,25	1,43E+08	QC
	20,45	8,96E+07	QC
93	3,29	1,16E+08	I
	8,39	1,76E+08	C
	13,99	5,72E+08	C
94	3,09	8,29E+07	I
	4,13	8,37E+07	I
	5,91	8,13E+07	I
	11,09	1,36E+08	QC
95	8,68	7,17E+07	FC
96	4,71	7,45E+07	QC
	15,76	3,55E+08	C
97	5,32	1,74E+08	I
	9,33	1,35E+08	QC
	12,89	1,84E+08	L
98	4,96	2,03E+08	I

	8,70	1,05E+08	QC
	13,77	1,57E+08	L
99	0,78	8,09E+07	L
	2,33	1,31E+08	I
100	1,85	1,93E+08	L
	3,36	1,82E+08	L
	7,22	4,32E+08	QC
101	1,88	1,30E+08	I
	4,40	1,22E+08	L
102	4,18	4,79E+08	QC
	5,88	3,99E+08	QC
	10,31	5,69E+08	C
	14,99	4,27E+08	C
103	3,24	5,42E+07	I
	7,21	5,18E+07	I
	12,02	1,21E+08	QC
	16,05	1,84E+08	C
104	1,91	1,11E+08	I
	2,92	9,00E+07	L
	6,39	3,73E+08	L
	17,45	1,45E+08	QC
105	2,35	1,06E+08	I
	4,56	8,41E+07	I
	6,75	1,12E+08	I
	12,04	1,37E+08	QC

106	3,19	8,01E+07	I
	6,63	9,36E+07	QC
	11,06	1,82E+08	C
	17,81	3,69E+08	C
108	2,56	1,98E+08	I
	6,01	2,27E+08	I
107	6,16	3,58E+08	QC
	11,96	6,26E+08	C
	18	4,54E+08	QC
	24,04	3,58E+08	C
109	2,29	6,45E+07	I
	3,17	6,77E+07	I
	6,37	8,45E+07	L
	11,76	1,20E+08	QC
110	2,70	8,96E+07	I
	7,25	1,53E+08	QC
	10,90	1,25E+08	L
	15,07	1,74E+08	QC
	23,06	1,56E+08	L
	31,33	1,98E+08	QC
111	5,11	1,76E+08	I
	16,28	4,40E+08	C
112	1,35	8,05E+07	I
	3,44	1,25E+08	L
	6,46	1,42E+08	QC

	11,72	2,33E+08	L
	21,63	2,30E+08	C
113	14,20	4,54E+08	I
	38,13	1,99E+09	QC
114	2,98	1,55E+08	L
	5,80	9,64E+07	L
	10,16	8,41E+07	FC
115	5,94	1,41E+08	I
	9,25	1,90E+08	QC
	11,94	2,06E+08	QC
	19,90	5,01E+08	C
	28,95	6,52E+08	QC
	49,07	5,61E+08	QC
116	1,57	4,06E+07	I
	3,88	8,92E+07	I
	7,67	2,20E+08	QC
	19,21	1,24E+08	QC
	33,71	2,41E+08	QC
	54,30	1,47E+08	C
117	2,72	1,35E+08	I
	5,56	1,17E+08	L
	7,42	1,20E+08	I
	14,18	2,50E+08	QC
118	5,97	7,09E+07	I
	11,79	8,45E+07	I

	20,68	7,41E+07	QC
119	3,98	1,07E+08	I
	5,79	8,76E+07	L
	11,64	4,54E+08	C
120	4,54	9,24E+07	I
	7,44	1,40E+08	QC
	13,50	5,50E+08	QC
	22,88	4,69E+08	QC
121	2,12	9,76E+07	I
	3,71	2,84E+08	L
	13,54	2,41E+08	C
122	3,47	6,89E+07	QC
	5,98	1,02E+08	QC
	9,15	1,79E+08	QC
	16,33	1,45E+08	QC
123	3,64	1,89E+08	I
	7,84	2,23E+08	QC
	13,07	2,05E+08	QC
124	15,23	2,61E+08	QC
	28,60	2,75E+08	QC
125	6,61	2,26E+08	QC
	12,63	2,22E+08	QC
126	3,87	1,27E+08	QC
	12,01	3,06E+08	QC
127	4,16	1,79E+08	I

	8,36	7,91E+08	QC
	13,47	3,13E+08	L
	17,99	3,23E+08	QC
128	1,98	2,84E+08	I
129	2,73	1,05E+08	L
	5,22	2,04E+08	QC
	8,41	9,76E+07	QC
	14,74	5,78E+07	FC
130	2,05	1,30E+08	QC
	7,72	2,24E+08	QC
	11,81	1,31E+08	QC
131	2,16	1,11E+08	I
	7,73	2,16E+08	QC
	10,33	1,94E+08	QC
	17,51	1,61E+08	QC
132	3,08	1,12E+08	I
	4,97	9,20E+07	QC
	6,75	8,88E+07	QC
	16,36	2,64E+08	QC
133	4,56	1,31E+08	QC
	7,35	1,91E+08	C
	12,89	4,11E+08	QC

Tabela A.3- Informações sobre os períodos da componente Bz do IMF em coordenadas GSM.

Componente Bz do IMF (GSM)			
Evento	Períodos (horas)	Densidade de Energia ($\frac{J}{m^3}$)	Característica do Sinal
82	2,85	1,04E+08	I
	4,92	1,85E+08	QC
	14,13	1,27E+08	I
83	1,72	8,49E+07	L
	3,58	3,24E+08	QC
84	3,9	4,62E+07	L
	7,45	8,53E+07	I
	9,62	9,48E+07	QC
	16,30	1,61E+08	C
85	2,42	1,04E+08	I
	6,71	1,35E+08	I
	9,93	1,45E+08	QC
	16,55	1,73E+08	QC
86	4,23	1,60E+08	I
87	6,52	1,53E+08	QC
	12,64	1,17E+08	QC
88	3,39	7,93E+07	QC
	7,18	5,14E+07	I
	12,81	4,94E+07	FC
89	3,64	1,29E+08	I
	5,04	1,31E+08	I
	11,70	2,33E+08	QC
90	2,90	1,20E+08	I
	4,83	1,09E+08	I
	7,53	2,02E+08	C
	15,92	4,23E+12	C

91	1,92	9,96E+07	I
	2,85	1,06E+08	I
	5,09	1,88E+08	I
	11,92	4,22E+12	QC
	17,33	5,20E+12	QC
92	2,78	1,66E+08	QC
	4,41	1,11E+08	QC
	11,06	1,22E+08	QC
	20,76	1,07E+08	QC
93	2,24	1,31E+08	QC
	14,72	5,74E+12	C
94	1,30	3,07E+07	I
	3,99	9,80E+07	I
	5,81	8,61E+07	QC
	11,28	1,41E+08	QC
95	7,98	6,45E+07	C
	13,99	5,74E+07	QC
96	2,22	5,42E+07	I
	4,63	6,37E+07	QC
	15,23	3,94E+08	QC
97	5,60	1,63E+08	I
	9,49	1,64E+08	L
98	3,01	8,49E+07	I
	4,85	1,69E+08	QC
	13,47	1,35E+08	L
99	10,29	1,68E+08	L
	27,15	6,04E+12	C
100	7,22	6,40E+12	QC
101	1,82	1,33E+08	I
	4,18	1,19E+08	L
102	4,18	3,86E+08	QC

	5,98	3,09E+08	QC
	10,31	5,30E+12	C
	15,25	3,44E+08	C
103	3,13	5,06E+07	L
	11,62	1,44E+08	C
	16,05	1,64E+08	C
104	6,61	6,64E+12	L
	16,30	2,44E+08	QC
105	2,47	1,02E+08	I
	6,52	1,14E+08	QC
	11,64	1,65E+08	QC
106	9,17	2,06E+08	QC
	18,74	6,51E+12	C
107	5,08	2,91E+09	I
	12,28	6,56E+12	QC
108	2,50	1,84E+08	I
	6,05	2,04E+08	I
	8,55	2,43E+08	L
	25,29	6,03E+12	QC
109	2,18	7,53E+07	I
	3,12	7,45E+07	I
	6,70	1,24E+08	L
	11,56	1,22E+08	QC
110	2,61	9,28E+07	I
	7,12	1,45E+08	QC
	10,71	1,32E+08	L
	22,29	5,00E+12	QC
111	4,94	1,47E+08	I
	16,27	4,12E+12	C
112	1,28	8,01E+07	I
	3,32	1,22E+08	I

	5,73	1,45E+08	I
	11,33	2,57E+08	L
	22,00	4,62E+12	C
113	11,19	3,93E+08	L
	31,62	1,19E+13	QC
114	2,73	1,01E+08	L
	5,87	6,97E+07	L
	10,12	1,35E+08	C
115	5,28	1,01E+08	I
	21,31	5,85E+12	C
	51,64	5,67E+12	C
116	1,55	4,18E+07	I
	3,75	8,73E+07	I
	7,67	2,24E+08	QC
	19,22	1,14E+08	I
	34,29	2,51E+08	C
	49,87	1,07E+08	QC
117	2,74	1,30E+08	I
	7,55	1,27E+08	I
	14,42	2,63E+08	QC
	25,29	3,10E+08	C
118	6,17	8,41E+07	L
	21,39	1,91E+08	QC
119	2,23	7,53E+07	I
	4,05	1,00E+08	I
	11,24	3,42E+08	QC
120	4,46	7,61E+07	I
	7,44	1,12E+08	L
	13,50	4,22E+12	QC
	22,11	3,88E+08	QC
121	1,85	8,37E+07	I

	3,65	1,85E+08	I
	13,77	2,14E+08	C
122	3,35	7,37E+07	QC
	6,29	9,60E+07	QC
	9,00	1,47E+08	C
	15,51	9,16E+07	QC
123	3,77	1,28E+08	QC
	7,54	1,81E+08	QC
	13,75	1,02E+08	FC
124	14,98	2,62E+08	QC
	28,12	4,35E+12	C
125	6,50	2,02E+08	QC
	12,42	1,92E+08	QC
126	3,54	1,03E+08	I
	5,22	8,65E+07	QC
	12,02	2,46E+08	QC
127	4,16	1,65E+08	L
	8,22	6,58E+12	QC
	13,24	3,40E+08	QC
	18,94	4,71E+12	C
128	1,94	1,67E+08	L
	11,81	1,67E+08	QC
129	2,69	1,27E+08	I
	5,04	2,67E+08	QC
	9,15	1,17E+08	C
130	2,01	1,08E+08	I
	3,91	6,93E+07	I
	7,46	2,02E+08	QC
131	2,43	1,08E+08	I
	7,73	1,62E+08	QC
	18,12	2,20E+08	QC

132	2,98	8,41E+07	I
	15,81	2,75E+08	QC
133	4,64	1,01E+08	QC
	7,87	2,20E+08	QC
	13,33	3,13E+08	QC

3.7.