



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12919-TDI/1014

**ESTUDO DA ASSINATURA DAS VARIAÇÕES MAGNÉTICAS
TRANSIENTES NA REGIÃO EQUATORIAL**

Jean Carlo Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Geofísica Espacial, orientada pelos Doutores Severino Luiz Guimarães Dutra e Nalin Babulal Trivedi, aprovada em 28 de fevereiro de 2003.

INPE
São José dos Campos
2005

550.3

SANTOS, J. C.

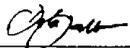
Estudo da assinatura das variações magnéticas
transientes na região equatorial / J. C. Santos. – São José dos
Campos: INPE, 2003.

227p. – (INPE-12919-TDI/1014).

1.Vórtices de convecção em movimento. 2.Eletrojato
equatorial. 3.Eventos magnéticos impulsivos.
4.Acoplamento magnetosfera-ionosfera. 5.Acoplamento
magnetosfera-vento solar. I.Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Geofísica Espacial**.

Dr. Delano Gobbi



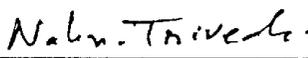
Presidente/INPE, SJCampos-SP

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra



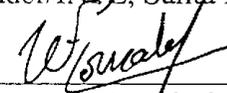
Orientador/INPE, SJCampos-SP

Dr. Nalin Babulal Trivedi



Orientador/INPE, Santa Maria-RS

Dr. Walter Demetrio Gonzalez Alarcon



Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr^a Liliana Rizzo Piazza



Membro da Banca
Convidada CRAAE, São Paulo-SP

Candidato: Jean Carlo Santos

São José dos Campos, 28 de fevereiro de 2003.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, Dr. Severino L. G. Dutra e Dr. Nalin B. Trivedi, por terem compartilhado comigo parte de seu valioso conhecimento e pela experiência proporcionada durante esses dois anos.

Agradeço ao Dr. David G. Sibeck e Dra. Eftyhia Zesta pela introdução ao assunto dos eventos TCV e por fornecer a lista de eventos estudados neste trabalho.

Ao Téc. José Carlos de Andrade pelo auxílio na instalação e manutenção das estações magnéticas e no desenvolvimento e testes do "software" de aquisição de dados, à Enga. Maria José F. Barbosa pela compilação dos arquivos de dados, ao Dr. Fernando Luiz Cardoso e Dr. Antônio Ocimar Manzi (este último no INPE/SP) e colaboradores, em Ji-Paraná, ao Dr. Nelson J. Schuch e colaboradores, em São Martinho da Serra, ao Dr. José Teotônio Ferreira, em Belém/Tatuoca, ao Engo. Acácio Cunha Neto, em São Luiz, e ao Engo. Avicena Filho, em Eusébio, pelo monitoramento dos sistemas de aquisição de dados e coleta das observações.

Um agradecimento ao Msc. Cristiano M. Wrasse pela valiosa contribuição na parte de desenvolvimento dos programas necessários para análise e visualização dos dados e pelo constante apoio.

Um agradecimento aos mestres Alisson Dal Lago, Ezequiel Echer, Fernando Guarnieri e ao Dr. Luis Eduardo Vieira por compartilharem seu conhecimento, experiência e pelas sugestões durante o trabalho.

Um agradecimento ao Dr. Nelson J. Schuch pelo suporte, apoio, incentivo e pelos conselhos dados durante os primeiros anos de formação.

Um agradecimento ao grupo de pesquisa sobre Magnetosfera e Heliosfera, na pessoa do Dr. Walter D. Gonzáles e da Dra. Alicia L. Clúa de Gonzáles.

Um agradecimento a meus avós, Alfredo e Layne, e a minha mãe, Valda, pelo constante apoio e pelo carinho, os quais foram de fundamental importância para conclusão deste trabalho.

Agradeço a minha namorada, Andréia, pelo carinho, compreensão e pelo incentivo dado durante o decorrer desses dois anos.

Agradeço a todos os colegas e amigos do INPE pela amizade e pelo companheirismo ao longo dessa jornada.

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE - São José dos Campos (SP) e INPE - Santa Maria (RS), pela infra-estrutura disponibilizada para a realização desta dissertação.

Um agradecimento ao CNPq pela bolsa que foi dada durante o curso de mestrado.

RESUMO

Variações transientes na componente horizontal dos magnetogramas de altas latitudes são comuns. Elas estão associadas a processos de interação entre vento solar e o campo geomagnético. Mudanças abruptas no vento solar ao atingirem o campo geomagnético geram ondas nos modos Alfvén e rápido. As ondas no modo Alfvén não se propagam na direção perpendicular ao campo geomagnético, logo, as assinaturas equatoriais são geradas provavelmente por ondas no modo rápido. Por outro lado, assinaturas complexas observadas em altas latitudes representam uma composição dos modos Alfvén e rápido. Um segundo mecanismo de propagação sugerido para baixas latitudes é o guia de onda Terra-Ionosfera. Neste trabalho, dados geomagnéticos das estações geomagnéticas em Belém/Tatuoca (BLM), Ji-Paraná (JIP), São Luis (SLZ) e São Martinho da Serra (SMS) foram utilizados para procurar assinaturas equatoriais de eventos magnéticos transientes. Foram identificadas as características morfológicas e a distribuição temporal de ocorrência para os eventos com “presença mais clara”. Dados de satélites (ACE e GOES) foram utilizados para procurar as assinaturas dos eventos na magnetosfera e as condições do vento solar e do campo magnético interplanetário que favorecem sua ocorrência na região equatorial. Esse trabalho é a continuação e ao mesmo tempo complemento do trabalho de Trivedi et al. (2002a), o qual apresenta evidências de assinaturas correspondentes em Belém, São Luis, e Teresina, além de outras estações sob ou próximas ao eletrojato equatorial, para eventos TCV descritos na literatura. Em seu trabalho Trivedi et al. (2002a) concluem que as assinaturas equatoriais diferem de evento para evento; quando os eventos transientes em altas latitudes apresentam assinatura clara, intensa e isolada, geralmente observa-se uma assinatura bipolar e compressional em órbita geossíncrona e impulsos transientes nos magnetogramas equatoriais; quando os eventos em altas latitudes são quase-periódicos, fracos, espacialmente limitados ou não exibem assinatura clara de TCV as assinaturas equatoriais são difíceis de identificar; as assinaturas equatoriais não são o resultado de observações remotas das correntes alinhadas ao campo que geram as variações em altas latitudes; e as amplitudes são maiores para as estações localizadas sob a ionosfera equatorial do lado diurno do que para aquelas em médias latitudes ou no lado noturno.

STUDY OF MAGNETIC TRANSIENT VARIATIONS SIGNATURE AT EQUATORIAL REGION

ABSTRACT

Transient variations in the H magnetic field component of magnetograms at high latitude are a common feature. They are associated with interaction process between solar wind and Earth's magnetic field. Abrupt changes in the solar wind interacting with Earth's magnetic field generate Alfvén and fast mode waves. The Alfvén wave doesn't propagate in the direction perpendicular to the geomagnetic field, so equatorial signatures are probably caused by fast mode waves. On the other hand, complex signatures observed at high latitudes represent a composition of Alfvén and fast mode waves. A second suggested propagation mechanism to low latitudes is the Earth-ionosphere wave-guide. In this work, geomagnetic data from the Brazilian magnetic stations at Belém/Tatuoca (BLM), Eusébio (EUS), Ji-Paraná (JIP), São Luis (SLZ) and São Martinho da Serra (SMS) were used to look for equatorial signatures of magnetic transient events. We identified their morphological characteristics and time occurrence distribution. Satellite data (ACE and GOES) were used to see magnetosphere signatures and solar wind and interplanetary magnetic field conditions that increase the probability of occurrence for the equatorial events. This work is an update of Trivedi et al. (2002a) paper, which present evidence for corresponding signatures of TCV at Belém, São Luis, and Terezina and other stations under or nearby the equatorial electrojet. The conclusions of Trivedi et al. (2002a) are that equatorial signatures differ greatly from event to event; when the high-latitude transient events exhibited clear, strong, isolated signatures corresponding to TCVs, they generally detected isolated bipolar compressional signatures at geosynchronous orbit and transient impulses in equatorial ground magnetograms; when high-latitude events were quasiperiodic, weaker, spatially limited, or did not exhibit clear TCV signatures the equatorial signatures are difficult to identify; the equatorial signatures cannot be simply result from remote observations of the field aligned currents that generate the high-latitude signatures; signatures always reached greater amplitudes at stations under the dayside equatorial ionosphere than at midlatitude stations or on the nightside.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO - 1 INTRODUÇÃO	29
CAPÍTULO - 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	33
2.1. O Vento Solar e o Campo Magnético Interplanetário	33
2.2. Descontinuidades e Choques	36
2.3. Variações na pressão do vento solar	40
2.4. Impulso súbito e início súbito de tempestades – SI e SSC	42
2.5. Evento TCV	44
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA	57
3.1. As Estações Magnéticas Brasileiras	58
3.2. Medidas em altas latitudes e órbita geossíncrona	63
3.3. Medidas no vento solar – Parâmetros de Plasma e Campo Magnético Interplanetário	65
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1. Evento de 9 de novembro de 1993, 1715 UT	77
4.2. Evento de 18 de setembro de 2000, 1445 UT	80
4.3. Evento de 8 de novembro de 2000, 1630 UT	84
4.4. Conjunto de Eventos	88
4.5. Correlação entre os Eventos	104
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
APÊNDICE A - OS EVENTOS TCV DE JULHO A DEZEMBRO DE 2000	117
APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS EVENTOS	121
ANEXO C - ARTIGO SIGNATURES OF TRAVELING CONVECTION VORTICES IN GROUND MAGNETOGRAMS UNDER THE EQUATORIAL ELECTROJET	227

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Nova visão da origem do vento solar, sugerindo que ele emana radialmente de todas as partes do Sol.....	6
2.2 - Correntes de grande escala presentes na magnetosfera terrestre.....	9
2.3 - Concepção artística da lâmina de corrente heliosférica	11
2.4 - Variações do tipo pulso e degrau na pressão do vento solar.....	13
2.5 - Ação de uma mudança na pressão do vento solar sobre a magnetosfera terrestre.	14
2.6 - Velocidade da onda de Alfvén na magnetosfera em condições relativamente não perturbadas da magnetosfera.	16
2.7 - Variação temporal da componente H do campo geomagnético medido pela cadeia de magnetômetros da Groenlândia, para o período de 0700 UT até 1300 UT, no dia 28 de Junho de 1986.	18
2.8 - Mapa da Groenlândia mostrando as estações de magnetômetros utilizadas para estudar o evento do dia 28 de Junho de 1986.	19
2.9 - Dados filtrados utilizando um filtro passa alta com frequência de corte correspondendo a um período de 30 minutos.	20
2.10 - Deriva de plasma para o evento do dia 28 de junho de 1986 e sistema de correntes equivalentes para o evento do dia 24 de dezembro de 1978.....	22
2.11 - Esquema da configuração das correntes alinhadas ao campo (field aligned currents, FAC), ascendentes e descendentes, usada para o cálculo da distribuição de potencial	24
2.12 - Distribuição da corrente equivalente obtida pelo modelo desenvolvido por Lühr and Blawert (1994).	26

3.1 - Resposta do núcleo saturável a um campo de excitação com amplitude A e período de oscilação T , na presença de um campo externo H_0	33
3.2 - Exemplo da remoção das variações com período maior que uma hora.	34
3.3 – Representação artística da órbita do satélite ACE em torno do ponto L_1 , sobre o eixo Terra-Sol.	38
3.4 - Sistema de coordenadas GSM (Solar-Magnetospheric) utilizado no trabalho com os dados do meio interplanetário medidos pelo satélite ACE.	40
3.5 - Exemplo da saída gráfica da rotina, desenvolvida em IDL, para o cálculo do horário aproximado de ocorrência do evento no ponto lagrangeano para os parâmetros de plasma.....	43
3.6 - Exemplo da saída gráfica da rotina, desenvolvida em IDL, para o cálculo do horário aproximado de ocorrência do evento no ponto lagrangeano, aplicada aos dados de campo magnético	44
3.7 - Representação fora de escala das distâncias utilizadas no cálculo do tempo de propagação entre o ponto lagrangeano L_1 e o arco de choque (bow shock)	45
3.8 - Cálculo do horário de ocorrência do evento a partir da integral da velocidade no tempo.	46
3.9 - Representação gráfica da correção utilizando a proporcionalidade entre triângulos para encontrar o instante exato em que o tamanho da integral é igual à distância do ponto lagrangeano L_1 até o arco de choque.	47
4.1 - Observações dos satélites GOES 6 e 7, medidas da componente H realizadas pelas estações localizadas na Groenlândia e a componente X medida pela rede de magnetômetros MACCS para o intervalo entre 1600 e 1800 UT do dia 9 de novembro de 1993.	51

4.2 - Componente H do campo geomagnético medida em Ancon (ANC), Guam (GUA), Mokolo (MOK), Peradenia (PRD), Belém (BLM), São Luis (SLZ), Santa Maria (SMA) e Teresina (TER), para o intervalo entre 1600 UT e 1800 UT do dia 9 de novembro de 1993.	52
4.3 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo entre 1400 e 1600 UT do dia 18 de setembro de 2000.	53
4.4 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT.	54
4.5 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT.	55
4.6 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT.	56
4.7 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo entre 1530 e 1730 UT do dia 8 de novembro de 2000.	57
4.8 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1630 UT.	58
4.9 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1630 UT.	59
4.10 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 8 de novembro de 2000.	60
4.11 - Distribuição dos valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes para os eventos com presença muito clara.	66

4.12 - Distribuição dos valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes para os eventos com presença pouco clara.	67
4.13 - Distribuição dos eventos com presença muito clara e pouco clara em relação à hora de ocorrência, em tempo universal.	68
4.14 - Amplitude dos eventos nas estações brasileiras.	71
4.15 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em SMS e nas demais estações brasileiras.	73
4.16 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em VSS e nas demais estações brasileiras.	74
4.17 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em SMS e VSS.	75
4.18 - Comparação da amplitude máxima entre as estações canadenses e brasileiras. ..	77
B.1 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 4 de setembro de 2000, 1340UT.	95
B.2 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 4 de setembro de 2000, 1340UT.	96
B.3 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 4 de setembro de 2000, 1340UT.	97
B.4 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 4 de setembro de 2000, 1340UT.	98
B.5 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 4 de setembro de 2000, 1340UT.	99

B.6 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 6 de setembro de 2000, 1705UT.	100
B.7 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 6 de setembro de 2000, 1705UT.	101
B.8 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 6 de setembro de 2000, 1705UT.	102
B.9 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 6 de setembro de 2000, 1705UT.	103
B.10 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 6 de setembro de 2000, 1705UT.	104
B.11 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT.	105
B.12 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT.	106
B.13 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT.	107
B.14 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT.	108

B.15 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT.	109
B.16 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550UT.	110
B.17 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550UT.	111
B.18 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550UT.	112
B.19 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550UT.	113
B.20 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550UT.	114
B.21 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720UT.	115
B.22 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720UT.	116
B.23 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720UT.	117
B.24 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720UT.	118

B.25 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720UT.	119
B.26 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925UT.	120
B.27 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925UT.	121
B.28 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925UT.	122
B.29 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925UT.	123
B.30 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925UT.	124
B.31 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000UT.	125
B.32 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000UT.	126
B.33 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000UT.	127
B.34 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000UT.	128

B.35 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000UT.	129
B.36 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445UT.	130
B.37 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445UT.	131
B.38 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445UT.	132
B.39 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445UT.	133
B.40 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445UT.	134
B.41 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630UT.	135
B.42 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630UT.	136
B.43 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630UT.	137
B.44 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630UT.	138

B.45 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630UT.....	139
B.46 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400UT.....	140
B.47 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400UT.....	141
B.48 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400UT.....	142
B.49 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400UT.....	143
B.50 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400UT.....	144
B.51 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000UT.....	145
B.52 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000UT.....	146
B.53 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000UT.....	147
B.54 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000UT.....	148

B.55 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000UT.....	149
B.56 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130UT.	150
B.57 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130UT.....	151
B.58 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130UT.	152
B.59 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130UT.	153
B.60 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130UT.....	154
B.61 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830UT.	155
B.62 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830UT.....	156
B.63 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830UT.	157
B.64 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830UT.....	158

B.65 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830UT.....	159
B.66 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915UT.....	160
B.67 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915UT.....	161
B.68 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915UT.....	162
B.69 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915UT.....	163
B.70 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915UT.....	164
B.71 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025UT.....	165
B.72 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025UT.....	166
B.73 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025UT.....	167
B.74 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025UT.....	168

B.75 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025UT.....	169
B.76 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040UT.....	170
B.77 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040UT.....	171
B.78 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040UT.....	172
B.79 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040UT.....	173
B.80 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040UT.....	174
B.81 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100UT.....	175
B.82 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100UT.....	176
B.83 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100UT.....	177
B.84 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100UT.....	178

B.85 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100UT.....	179
B.86 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630UT.....	180
B.87 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630UT.....	181
B.88 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630UT.....	182
B.89 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630UT.....	183
B.90 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630UT.....	184
B.91 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205UT.....	185
B.92 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205UT.....	186
B.93 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205UT.....	187
B.94 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205UT.....	188

B.95 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205UT.....	189
B.96 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930UT.....	190
B.97 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930UT.....	191
B.98 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930UT.....	192
B.99 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930UT.....	193
B.100 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930UT.....	194
B.101 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético medida nas estações brasileiras e a distribuição da amplitude, para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1930UT.....	195
B.102 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1930UT.....	196
B.103 - Variação da componente Hp do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10 para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1930UT.....	197
B.104 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1930UT.....	198

B.105 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1930UT.	199
C.1 – Localização das estações geomagneticas de superfície e do equador magnético	203
C.2 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagneticas de superfície pertencentes a redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 9 de novembro de 1993	203
C.3 – Dados das estações geomagneticas de superfície, ANK, GUA, MOK, PRD, BLM, SLZ, SMA e TER, para o evento TCV de 9 de novembro de 1993	204
C.4 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagneticas de superfície pertencentes as redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 18 de dezembro de 1993	204
C.5 – Dados das estações geomagneticas de superfície, ANK, ALK, MOK, PRD, e GUA, para o evento TCV de 18 de dezembro de 1993	205
C.6 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagneticas de superfície pertencentes as redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 14 de outubro de 1993.....	205
C.7 – Dados das estações geomagneticas de superfície, ANK, ALK, MOK, PRD, e GUA, para o evento TCV de 14 de outubro de 1993	206
C.8 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagneticas de superfície pertencentes as redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 6 de novembro de 1993	206
C.9 – Dados das estações geomagneticas de superfície ALK, MOK, PRD, e GUA, para o evento TCV de 6 de novembro de 1993	207

C.10 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagnéticas de superfície pertencentes as redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 7 de novembro de 1993	207
C.11 – Dados das estações geomagnéticas de superfície ALK, MOK, PRD, e GUA, para o evento TCV de 7 de novembro de 1993	208
C.12 – Dados dos satélites GOES 6 e 7 e das estações geomagnéticas de superfície pertencentes as redes de magnetômetros da Groenlândia e MACCS, para o evento TCV de 5 de novembro de 1993	208
C.13 – Dados das estações geomagnéticas de superfície ALK, MOK, PRD, e GUA, para o evento TCV de 5 de novembro de 1993	209

LISTA DE TABELAS

3.1 - Coordenadas Geográficas e Geomagnéticas das estações brasileiras	30
3.2 - Coordenadas geográficas das estações da rede de magnetômetros canadense.....	36
4.1 - Data e hora de ocorrência dos eventos com assinatura muito clara, juntamente com os valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes	60
4.2 - Data e hora de ocorrência dos eventos com assinatura pouco clara, juntamente com os valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes.	63
4.3 - Associação dos eventos com assinatura muito clara a variações abruptas na pressão do vento solar.....	69
4.4 - Defasagem, em segundos, encontrada entre JIP e as demais estações.....	78
4.5 - Velocidade de propagação dos eventos, em relação a JIP.....	79
C.1 – Lista das estações com as coordenadas e o código da estação.....	203
C.2 – Pesquisa realizada por Luhr et al. [1998] sobre o padrão de ocorrência dos eventos	209
C.3 – Descrição das características da assinatura equatorial dos eventos TCV	209

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Variações transientes na componente horizontal do campo geomagnético observado em altas latitudes são comuns. Elas podem estar associadas principalmente a pulsos de pressão no vento solar comprimindo a magnetosfera (Friis-Christensen et al., 1988). Outros mecanismos de geração alternativos incluem fusão explosiva (*bursty merging*) na magnetopausa (Glassmeier et al., 1984), instabilidade *Kelvin-Helmholtz* (McHenry et al., 1988), penetração impulsiva (Heikkila et al., 1989), eventos de transferência de fluxo (Lanzerotti et al., 1986) e reconexão (Glassmeier, 1989).

A maioria dos eventos transientes em altas latitudes, que apresentam grandes amplitudes, coincidem com variações abruptas ou assinaturas¹ impulsivas no campo geomagnético da região equatorial e em medidas realizadas em órbita geossíncrona (Matsushita, 1957; Sibeck, 1993). Tamao (1964) interpretou a diferença entre as respostas geomagnéticas no equador e em altas latitudes em termos das diferentes ondas magnetohidrodinâmicas (MHD) que atingem estes dois locais. Mudanças abruptas no vento solar geram ondas nos modos Alfvén e rápido, que se propagam através da magnetosfera. Como as ondas no modo Alfvén não se propagam perpendicular às linhas de campo, a assinatura equatorial deveria ser produzida somente por ondas no modo rápido. Por sua vez, as assinaturas mais complicadas observadas em latitudes mais altas representam uma composição do modo rápido e Alfvén.

Kikuchi e Araki (1979) estudaram um modelo de propagação bidimensional do campo elétrico, de altas para baixas latitudes, composto pela superfície condutora da Terra e pela ionosfera, com uma região isolante entre elas. Neste modelo as correntes alinhadas ao campo (*Field Aligned Currents*, FAC) depositariam cargas elétricas na ionosfera de altas latitudes, as quais seriam transportadas para a base da ionosfera por difusão. Esse

¹ O Webster's Third New International Dictionary (1976) traz o termo *signature*, entre outros significados, como : "*a distinguishing or identifying mark, feature, or quality*". Outros dicionário da língua inglesa têm definições similares. Na língua portuguesa, o Houaiss (2001) e o Aurélio (1986) têm

excesso de cargas na base da ionosfera induziria um acúmulo de cargas com sinal oposto na superfície da Terra. Um potencial elétrico entre as cargas seria criado e propagar-se-ia horizontalmente com a velocidade da luz, através da região isolante entre as duas placas condutoras, até a região equatorial. Entretanto, há dificuldades nesse modelo e seu papel na propagação dos eventos magnéticos transientes de altas para baixas latitudes ainda é pouco conhecido.

Os Vórtices de Convecção Viajantes (*Traveling Convection Vortices*, TCV) são um tipo de evento transiente claramente definido para regiões de alta latitude. Eles se manifestam como uma série de vórtices de corrente ionosférica que se propagam em direção à cauda da magnetosfera. Correntes alinhadas ao campo, no centro de cada vórtice, acoplam as perturbações na ionosfera com perturbações da magnetosfera. Outros eventos transientes amplamente estudados e que aparecem coerentemente em todo o globo são o impulso súbito (*sudden impulse*, IS) e o início súbito de tempestade (*storm sudden commencement*, SSC). Eles são caracterizados por um aumento abrupto na intensidade da componente horizontal do campo geomagnético, associado a uma compressão da magnetosfera. Fisicamente IS e SSC representam o mesmo evento, diferindo apenas no fato de que o SSC apresenta valores negativos na componente Z do campo magnético interplanetário (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF), o que dá origem à sub-tempestades magnéticas.

Neste trabalho realizou-se um estudo da assinatura de eventos transientes, partindo de uma lista de eventos TCV identificados em altas latitudes, para a região equatorial e baixas latitudes. Para tal foram utilizadas cinco estações geomagnéticas brasileiras, localizadas sob o eletrojato equatorial e em baixas latitudes, e estações geomagnéticas em altas latitudes. Concomitantemente, foram utilizados dados de satélites no meio interplanetário e na magnetosfera para caracterizar as condições do vento solar e do campo magnético interplanetário que favorecem a ocorrência de tais eventos na região equatorial e para estudar as características morfológicas dos eventos na magnetosfera.

uma conotação relacionada, para “assinatura”: “marca, desenho ou modelo próprio de alguém”. É com acepção similar, própria do evento TCV, que o termo “assinatura” será empregado neste trabalho.

O satélite utilizado para caracterizar as condições do vento solar e do IMF orbita em torno do ponto lagrangeano, um ponto de equilíbrio localizado a aproximadamente 235 raios terrestres sobre o eixo Terra-Sol. Sua posição é de certa forma privilegiada, pois intercepta as estruturas que se propagam a partir do Sol em direção a Terra, no meio interplanetário. O tempo de propagação do vento solar desde o satélite ACE até a Terra é da ordem de dezenas de minutos. A utilização de satélites cuja órbita está próxima a magnetopausa (WIND e IMP8) serve como complemento as medidas realizadas no ponto lagrangeano, principalmente se as estruturas tiverem suas características alteradas no caminho entre o ponto lagrangeano e a Terra. Entretanto, a órbita destes satélites é geralmente complexa e apresenta-se parte no vento solar e parte no interior da magnetosfera.

No Capítulo 2 são dados os fundamentos teóricos para o entendimento dos processos envolvendo a interação entre o vento solar e magnetosfera, capazes de gerar assinaturas transientes nas componentes do campo geomagnético. Também se discute um tipo especial de variação transiente, amplamente estudado em altas latitudes, chamada de vórtice de convecção viajante. O Capítulo 3 trata dos dados e da metodologia utilizada na análise dos eventos. O Capítulo 4 apresenta os principais resultados e a discussão destes, a qual é finalizada no Capítulo 5, através da conclusão.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. O Vento Solar e o Campo Magnético Interplanetário

O vento solar é um plasma macroscopicamente neutro, completamente ionizado, que carrega consigo um campo magnético e flui ininterruptamente a partir da coroa solar interna (Figura 2.1). Ele é altamente variável no espaço e no tempo, e preenche toda a região interestelar nas vizinhanças do Sol.

O plasma do vento solar consiste de prótons, íons de hélio duplamente carregados, uma pequena quantidade de outras partículas positivamente carregadas e um número suficiente de elétrons, de modo que o plasma seja macroscopicamente neutro. Desde que normalmente 95% das partículas positivamente carregadas no plasma do vento solar são prótons, são exatamente os prótons que são referenciados quando se fala sobre as propriedades de volume do vento solar, tais como: velocidade, densidade e temperatura (Jursa, 1985).

As propriedades de volume do vento solar não variam de maneira aleatória numa escala de tempo de horas. O vento solar é organizado principalmente em períodos de plasma lento e plasma rápido, com as regiões lenta e rápida interagindo. A direção do fluxo é quase sempre para fora do Sol, sendo que uma das principais causas do fluxo não radial é a interação das estruturas rápidas e lentas no vento solar. A densidade de prótons também é ordenada pelos feixes rápidos e lentos, com um valor médio de $8,7$ partículas/cm³ (Jursa, 1985). A maioria dos valores extremos da densidade é devido a rarefações e compressões que surgem através da interação de feixes ou devido a perturbações associadas a ejeções de massa coronal (*Coronal Mass Ejections*, CME).

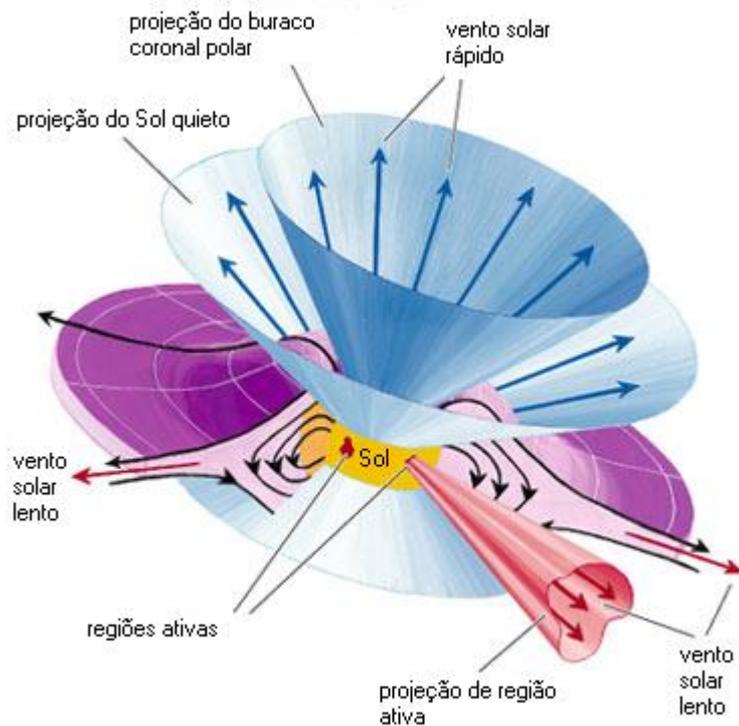


FIGURA 2.1 - Nova visão da origem do vento solar, sugerindo que ele emana radialmente de todas as partes do Sol. O vento solar rápido se origina dos buracos, enquanto que o vento solar lento se origina nos feixes coronais. Regiões ativas também são fonte do vento solar lento (Imagem de Tom Dunne).

FONTE: <http://www.americanscientist.org/articles/02articles/02-11woocap3.html>

A partir da densidade e velocidade do vento solar podemos definir a grandeza chamada pressão dinâmica, a qual é muito importante no estudo da interação entre o vento solar e a magnetosfera (Siscoe et al., 1968)

$$P_{din} = 1,02mNV^2 \quad (2.1)$$

onde m é a massa do próton, N a densidade de próton no vento solar e V a velocidade. O fator 1,02 refere-se ao fato de que o plasma do vento solar apresenta uma certa quantidade de íons de He e seu fluxo é defletido em torno da magnetosfera.

O modelo mais simples de interação vento solar–magnetosfera diz que a pressão dinâmica do vento solar é contrabalançada pela pressão magnética, associada ao campo magnético terrestre, B ,

$$1,02mNV^2 = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (2.2)$$

Assim, aumentos na velocidade ou densidade do vento solar provocam aumentos na pressão dinâmica fazendo com que a magnetosfera seja comprimida. Como resultado do maior fluxo de partículas carregadas eletricamente que chegam na magnetosfera, todas as correntes de grande escala aumentam de modo a sustentar o aumento da pressão dinâmica do vento solar, através do aumento da pressão magnética (Figura 2.2). Do mesmo modo, quedas na pressão dinâmica provocam a relaxação da magnetosfera e a conseqüente redução da pressão magnética. Falando de outra maneira, o aumento (redução) da pressão dinâmica do vento solar provoca um aumento (redução) do campo geomagnético quando medido em pontos no interior da magnetosfera. Desde que a pressão dinâmica é a pressão que nos interessa no vento solar, vamos chamá-la simplesmente de pressão do vento solar neste trabalho, sem medo de causar maiores confusões.

Como foi dito antes, o vento solar carrega consigo um campo magnético devido ao fenômeno de congelamento das linhas de campo. Esse campo magnético é conhecido como campo magnético interplanetário, e suas linhas têm uma forma espiral. O ângulo que o campo faz com o eixo Terra-Sol é uma função da velocidade do vento solar, de modo que baixas velocidades resultam numa espiral mais apertada enquanto que velocidades altas resultam num campo mais radialmente alinhado. Esse ângulo aumenta com o aumento da distância em relação ao Sol. A componente radial do campo aponta ou para o Sol ou na direção contrária. O campo tipicamente mantém uma dessas orientações por muitos dias, e então rapidamente muda para outra, quando observado da Terra. A região do espaço em que uma dessas direções é mantida é chamada de setor. Transições de um setor para outro acontecem em períodos de minutos ou horas. Durante as transições a direção do *IMF* muda de sinal rapidamente, enquanto mantém mais ou menos a mesma magnitude. As estruturas de setor e os feixes de alta velocidade aparentemente controlam a quantidade de fenômenos presentes no vento solar (Jursa, 1985). A orientação da componente radial dá origem a uma corrente na superfície em que o campo muda de direção, conhecida como lâmina de corrente heliosférica (Figura

2.3). O sistema de coordenadas utilizado no estudo dos dados do meio interplanetário é o sistema geomagnético solar-magnetosférico (*Geomagnetic Solar-Magnetospheric*, GSM). O GSM é um sistema cartesiano destrógiro com o eixo X positivo em direção ao Sol e o eixo Z definido no plano contendo o eixo X e o eixo do dipolo geomagnético. Um importante parâmetro do campo magnético é a componente do campo perpendicular ao plano XY . Esta componente, B_z , tem um papel central no acoplamento do campo magnético do vento solar e do campo magnético terrestre, de modo que grandes perturbações geomagnéticas ocorrem quando B_z aponta para o sul e tem um grande valor.

2.2. Descontinuidades e Choques

Choques são regiões onde o plasma sofre mudanças bruscas na densidade, temperatura, intensidade do campo magnético e velocidade de fluxo. Se não existe fluxo de plasma através da superfície que define a fronteira do choque estamos falando de descontinuidades. Abaixo estão listadas as condições dos parâmetros de plasma e do campo que definem os diferentes tipos de choques e descontinuidades presentes na teoria MHD (Oulu Space Physics textbook). As componentes V , N , P e B são a velocidade, densidade, pressão e intensidade do campo magnético, respectivamente, num sistema de referência em repouso com respeito à descontinuidade. Os subscritos n e t representam, respectivamente, as componentes normal e tangencial a superfície que define a descontinuidade/choque.

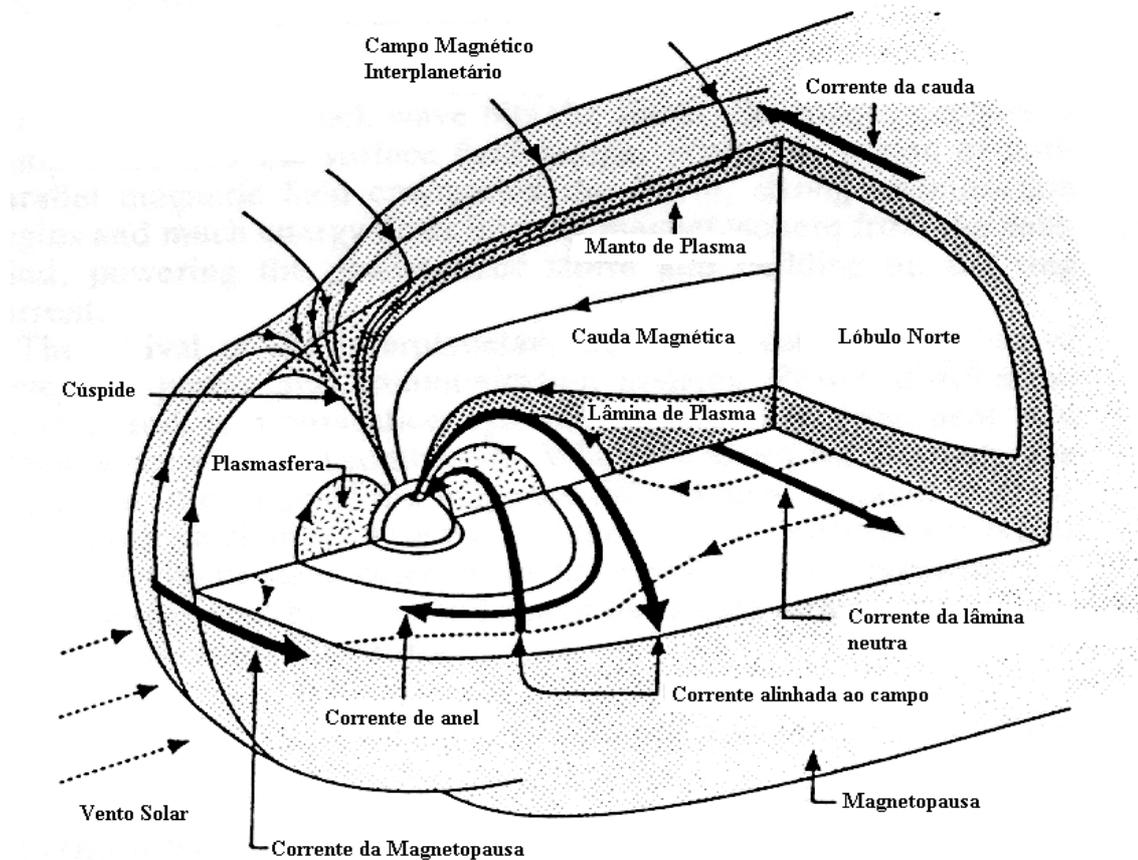


FIGURA 2.2 - Correntes de grande escala presentes na magnetosfera terrestre.

FONTE: http://www.ias.fr/cdp/site_aurores/magnetosphere_nouv.gif

- **Descontinuidade tangencial**

$$V_n = B_n = 0$$

A pressão e o campo mudam, mantendo o balanço de pressão estático.

- **Descontinuidade de contato**

$$V_n = 0$$

$$B_n \neq 0$$

Densidade aumenta arbitrariamente, mas a pressão e todas as outras quantidades são contínuas.

- **Descontinuidade rotacional**

$$V_n = \pm B_n / (\mu_0 N)^{0.5}$$

Campo e fluxo mudam em direção, mas não em magnitude.

- **Choque paralelo**

$$B_t = 0$$

Campo magnético mantém-se inalterado pelo choque.

- **Choque perpendicular**

$$B_n = 0$$

Pressão do plasma e intensidade do campo aumentam no choque.

- **Choque oblíquo**

$$B_t \neq 0$$

$$B_n \neq 0$$

Os choques oblíquos podem ainda ser divididos em:

Choque rápido: pressão do plasma aumenta, campo magnético aumenta e é inclinado em relação a normal.

Choque lento: pressão do plasma aumenta, campo magnético decresce e é inclinado em direção a normal.

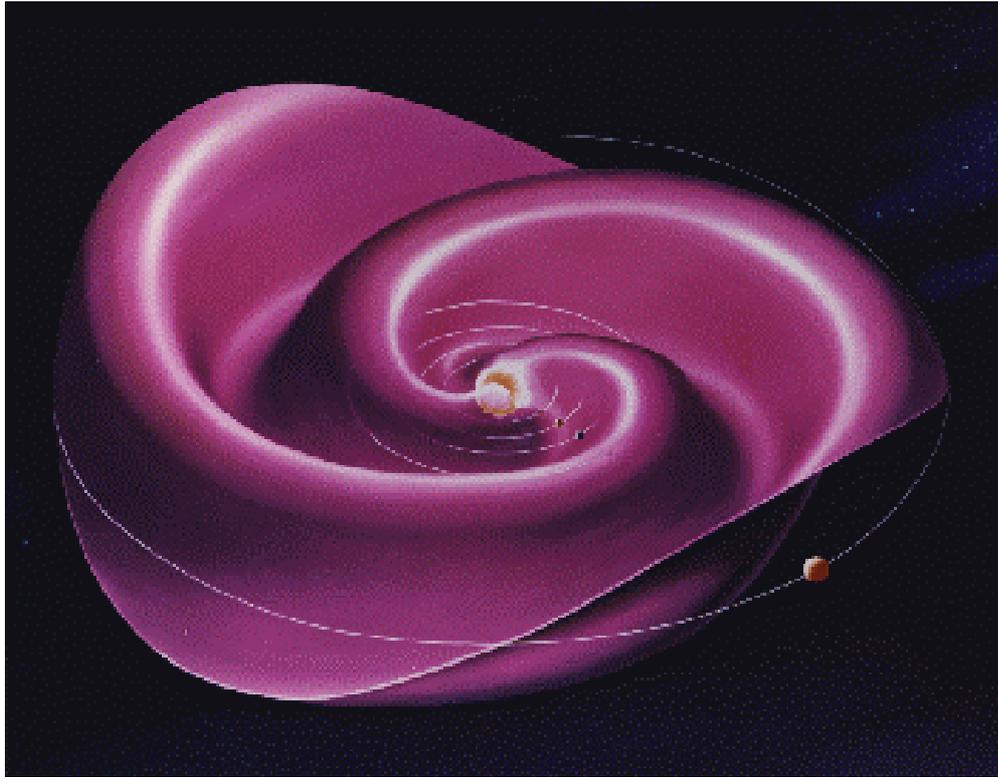


FIGURA 2.3 - Concepção artística da lâmina de corrente heliosférica.

FONTE: <http://quake.stanford.edu/~wso/gifs/HCS.html>

Choque intermediário (Alfvén): rotação de 180° do campo magnético no plano do choque.

Em pontos situados a 1 unidade astronômica, distância entre a Terra e o Sol, são comuns choques rápidos e descontinuidades rotacionais e tangenciais (Jursa, 1985). No meio interplanetário, choques são formados no vento solar pelo aumento abrupto da região de interação entre o vento solar rápido e lento. O vento solar rápido proveniente, por exemplo, de um buraco coronal, acelera o plasma que está a sua frente. Se a diferença na velocidade entre o vento solar rápido e o plasma ambiente, mais lento, for maior que a velocidade de uma onda MHD rápida, um choque irá se formar bem em frente da fronteira entre o vento solar rápido e o plasma ambiente. Esse choque é conhecido como choque frontal (*forward shock*). À medida que o plasma rápido acelera o plasma ambiente, a conservação de energia e momento requer que o plasma rápido desacelere. Se a desaceleração é abrupta, outro choque, chamado choque reverso, forma-se dentro do plasma rápido. Quando um detector passa através de um choque

frontal vê um aumento abrupto no campo magnético, densidade, temperatura e um decréscimo na velocidade. A passagem através de um choque reverso aparece como um decréscimo no campo magnético, densidade, temperatura e um aumento na velocidade.

2.3. Variações na Pressão do Vento Solar

Variações na pressão do vento solar na frente da magnetosfera estão associadas com ambos, choques ou descontinuidades tangenciais, e também com pulsos de pressão gerados no arco de choque (*bow shock*) ou onda de choque, pois se trata de uma estrutura tri-dimensional. Basicamente podemos distinguir dois tipos de perturbações na pressão do vento solar, a saber: pulsos e mudanças do tipo função degrau (Figura 2.4). Para os pulsos de pressão, as grandezas de interesse são o tempo de subida, dt , a duração, Δt , e a amplitude da variação, Δp . Para um dt pequeno a magnetosfera não tem tempo de continuar em equilíbrio enquanto estabelece a nova localização da magnetopausa. A duração do pulso determina se a perturbação será localizada e propagante ou global e quase instantânea. Geralmente um pulso com duração menor do que 30 minutos vai gerar uma perturbação localizada e propagante, enquanto um pulso com duração entre 30 minutos e 1 hora vai ter um efeito semelhante ao da função degrau (Zesta, 2000). Para as mudanças do tipo função degrau, o que importa é o tempo de subida e a amplitude da variação. A Figura 2.5 ilustra o efeito de um aumento do tipo função degrau e de um pulso de pressão na posição da magnetopausa.

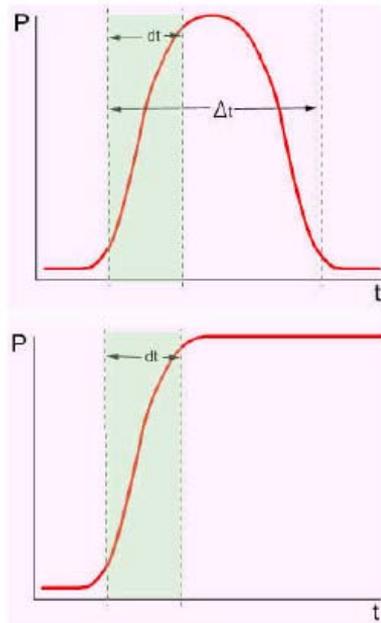


FIGURA 2.4 - Variações do tipo pulso e degrau na pressão do vento solar.

FONTE: Zesta (2000).

As assinaturas dos pulsos de pressão observadas na superfície da Terra são divididas em dois grupos (Zesta, 2000):

- Magnetômetros em baixas latitudes, e também em altas latitudes, gravam assinaturas de impulsos súbitos (SI) e início súbito de tempestade (SSC) como aumentos ou decréscimos do tipo função degrau na componente horizontal do campo geomagnético.
- Magnetômetros em altas latitudes gravam assinaturas bipolares (TCV) na componente horizontal do campo geomagnético.

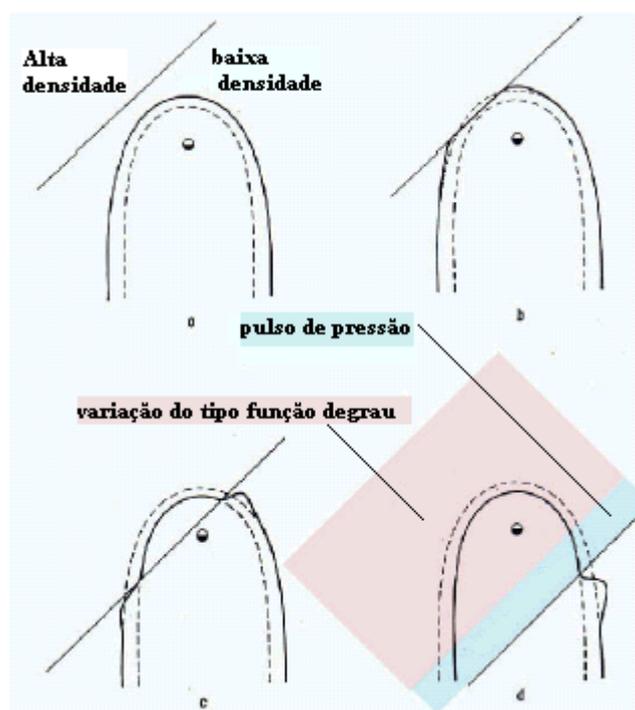


FIGURA 2.5 - Ação de uma mudança na pressão do vento solar sobre a magnetosfera terrestre.

FONTE: Zesta (2000).

2.4. Impulso Súbito e Início Súbito de Tempestades – SI e SSC

Um impulso súbito é uma mudança abrupta no campo geomagnético, cujo início é visto dentro de um minuto em todo o globo. Eles podem ser de dois tipos: impulsos súbitos positivos e negativos. Um impulso súbito positivo é caracterizado por um aumento global na componente horizontal do campo geomagnético, enquanto o impulso súbito negativo é caracterizado por um decréscimo global. O tempo de subida de um SI positivo e o tempo de queda de um SI negativo varia de um a vários minutos. Quando um SI precede um intervalo de alta atividade geomagnética ele é chamado de início súbito de tempestade. Desde que SI e SSC não apresentam diferenças morfológicas, eles geralmente são tratados indistintamente pelo termo SI.

Os SI estão associados a choques e discontinuidades no vento solar. A média sobre a hora local da magnitude I_{SI} de um impulso súbito em baixas latitudes está relacionada à mudança na pressão do vento solar por

$$I_{SI} = 1,5 \times 1,6 \times 10^5 \Delta \sqrt{10KNmV^2} \quad (2.3)$$

Onde: Nm – densidade total do vento solar.

O fator de 1,5 é incluído para levar em consideração o efeito de indução terrestre. A relação empírica obtida entre a intensidade do impulso súbito e a pressão no vento solar é dada por

$$I_{SI} = 1,14 \times 10^5 \Delta \sqrt{10NmV^2} \quad (2.4)$$

Compressões ou expansões da magnetopausa propagam-se através da magnetosfera com a velocidade de uma onda hidromagnética no modo rápido V_R . No lado diurno da magnetosfera V_R é praticamente igual à velocidade de Alfvén V_A (Nishida, 1978):

$$V_A = \frac{B_m}{\sqrt{\mu_0 N_m m_m}} \quad (2.5)$$

onde o subscrito m especifica variáveis magnetosféricas. A Figura 2.6 mostra a distribuição de V_R em relação à distância radial. Com esta velocidade a transmissão da assinatura deveria ocorrer dentro de aproximadamente um minuto.

O tempo de subida (queda) de um SI positivo (negativo), em baixas latitudes, vai de 1 a 6 minutos para a maioria dos casos (Mayaud, 1975). Diversos fatores podem contribuir para o tempo de subida e de queda de eventos SI individuais, a saber: velocidade e espessura da estrutura do vento solar correspondente ao evento, diferença no tempo de propagação da onda compressional (expansiva) chegando no ponto de observação a partir de diferentes pontos da magnetopausa (Dessler et al., 1960) e a repetição do sinal devido a múltiplas reflexões da onda entre a magnetopausa e a ionosfera.

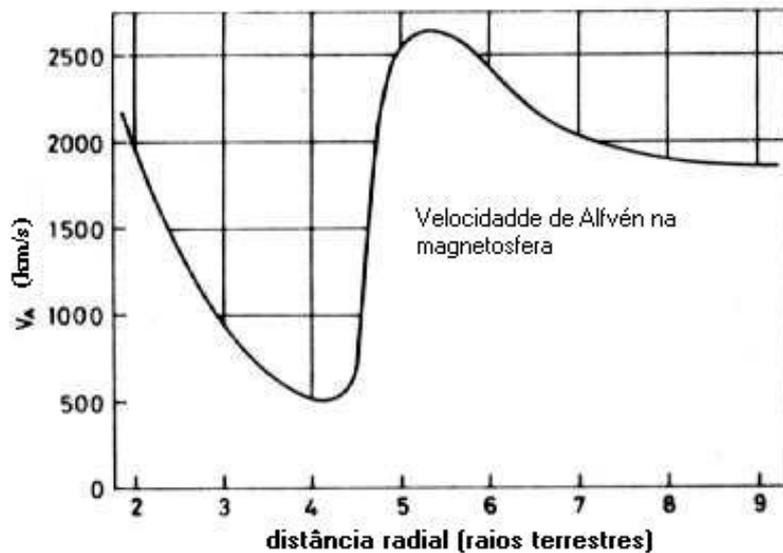


FIGURA 2.6 - Velocidade da onda de Alfvén na magnetosfera em condições relativamente não perturbadas da magnetosfera.

FONTE: Nishida (1978).

A propagação do sinal do SI é acompanhada por um pulso elétrico. Quando o sinal atinge a ionosfera esse pulso elétrico gera um fluxo transiente de corrente elétrica na ionosfera. O campo magnético resultante dessa corrente é adicionado ao campo magnético transmitido diretamente a partir da magnetosfera externa. A presença da contribuição ionosférica ao SI é mais evidente na região equatorial. A amplitude do SI aumenta para pontos em direção ao equador e esta tendência é conhecida como o aumento equatorial do SI.

2.5. Evento TCV

Vórtices de Convecção Viajantes (TCV) é o nome dado a um tipo específico de evento magnético impulsivo observado por magnetômetros localizados em altas latitudes. Algumas das características principais dos eventos TCV, em altas latitudes, estão descritas no trabalho de Glassmeier (1992):

- Variação isolada do campo magnético com estrutura bipolar na componente H ;

- A componente D , associada às variações na componente H , apresenta variações unicamente positivas ou negativas;
- Amplitude da perturbação na componente Z varia de um ponto de observação para outro;
- Propagação em direção a cauda da magnetosfera com velocidades de 2.6 km/s e 5.5 km/s na superfície, para os eventos observados;
- Picos de ocorrência em torno de 08 e 14 MLT (hora magnética local);
- O sistema de correntes equivalente flui em direção oposta à deriva de plasma, sendo descrito por vórtices duplos de corrente com sentidos opostos de rotação;
- Os vórtices são separados por 1000 – 2000 Km;

A Figura 2.7 mostra um exemplo de evento TCV detectado por estações em altas latitudes. Nela observa-se a variação temporal da componente H obtida em várias estações magnéticas de superfície na Groenlândia (Figura 2.8), para o período que vai de 0700 UT até 1300 UT. A partir da filtragem dos dados pode-se identificar claramente uma variação magnética isolada e transiente, nas três componentes do campo geomagnético, para o período entre 1000 UT e 1015 UT (Figura 2.9).

GREENLAND CHAIN 1 MIN MAGNETIC FIELD—H COMPONENT

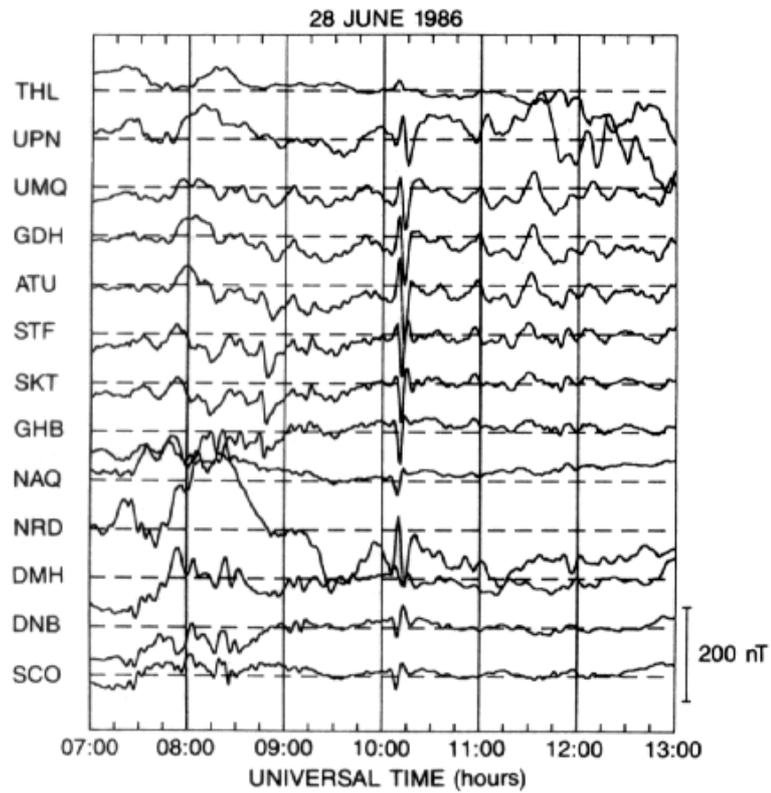


FIGURA 2.7 - Variação temporal da componente H do campo geomagnético medido pela cadeia de magnetômetros da Groenlândia, para o período de 0700 UT até 1300 UT, no dia 28 de Junho de 1986. A resolução temporal é de 1 minuto e o meio-dia local ocorre as 1400 UT.

FONTE: Friis-Christensen et al. (1988).

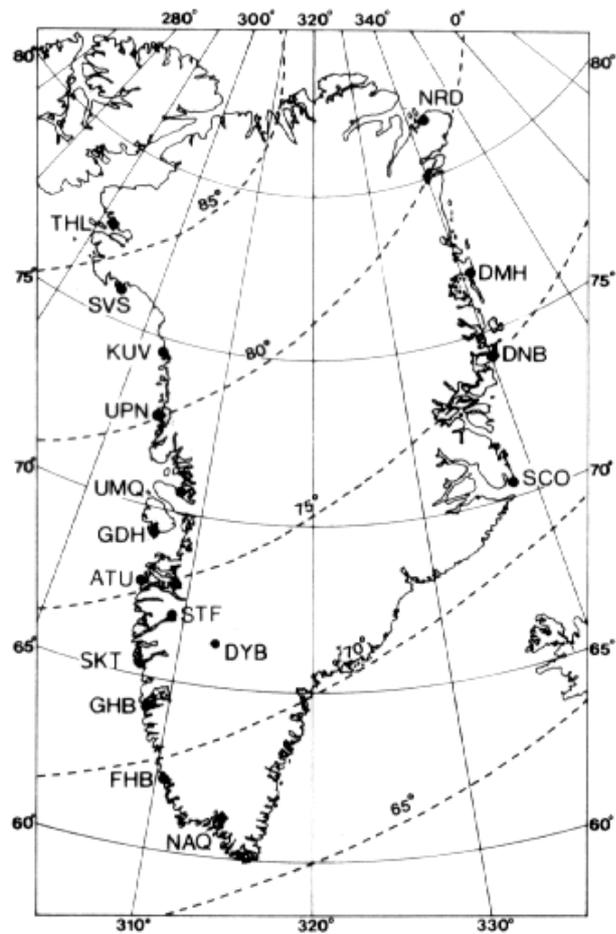
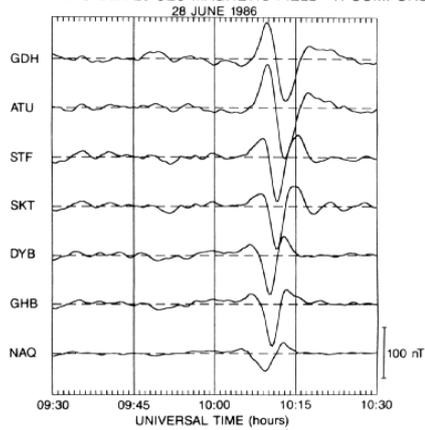


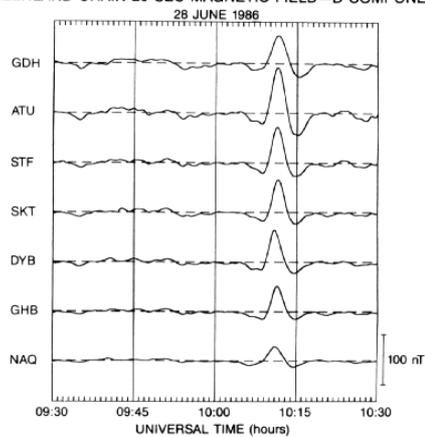
FIGURA 2.8 - Mapa da Groenlândia mostrando as estações de magnetômetros utilizadas. As estações estavam equipadas com equipamentos para gravar medidas do campo magnético com uma resolução temporal de 20 s. As linhas tracejadas indicam círculos de latitude invariante.

FONTE: Friis-Christensen et al. (1988).

GREENLAND CHAIN 20 SEC MAGNETIC FIELD—H COMPONENT



GREENLAND CHAIN 20 SEC MAGNETIC FIELD—D COMPONENT



GREENLAND CHAIN 20 SEC MAGNETIC FIELD—Z COMPONENT

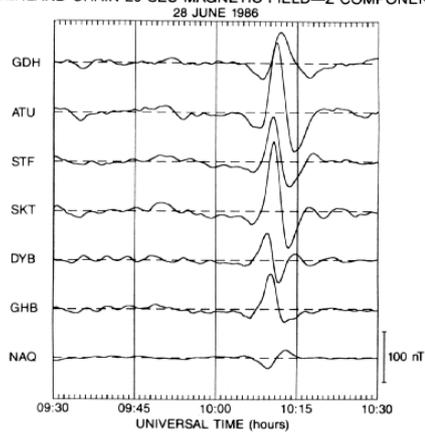


FIGURA 2.9 - Dados filtrados utilizando um filtro passa alta com frequência de corte correspondendo a um período de 30 minutos. De cima para baixo são mostradas, respectivamente, as componentes H, D e Z para o intervalo que vai das 0930 UT às 1030 UT do dia 28 de junho de 1986, medidas pela cadeia de magnetômetros da Groenlândia. A resolução temporal é de 20 segundos.

FONTE: Friis-Christensen et al.(1988).

Uma maneira utilizada para descrever a estrutura bidimensional das variações do campo magnético na superfície é em termos de um sistema equivalente de correntes ionosféricas (Figura 2.10). Chama-se de sistema equivalente de correntes a um sistema cujo efeito magnético produzido é aquele observado nos magnetogramas, considerando-se que as correntes estão apenas acima da estação de magnetômetros. Tal sistema de correntes pode ser obtido girando-se o vetor campo magnético horizontal por 90° em sentido horário (Glassmeier, 1992). É interessante notar que o sistema equivalente de correntes ionosférica apresenta sentido contrário à deriva de plasma. Podem ser utilizados dados de uma rede global de observatórios geomagnéticos ou dados de uma rede de magnetômetros mais localizada, sendo necessário, no último caso, unir os sistemas equivalentes de correntes construídos em diferentes horários num único sistema, assumindo um sistema de corrente quase-estacionário movendo-se acima da estação.

Lühr e Blawert (1994) mostraram que correntes alinhadas ao campo podem ser associadas aos vórtices de corrente ionosférica. Eles consideraram uma corrente alinhada ao campo carregando uma corrente total, I , igualmente distribuída sobre uma seção reta, A , fluindo verticalmente através de uma ionosfera homogeneamente condutora. A uma distância $2d$ da corrente descendente foi colocada uma corrente ascendente idêntica. A Figura 2.11 mostra a geometria usada nos cálculos. A distribuição do potencial elétrico fora da seção reta, A , é dada por

$$\Phi_e = C \left(\ln \sqrt{(y-d)^2 + x^2} - \ln \sqrt{(y+d)^2 + x^2} \right) \quad (2.6)$$

onde $C = I/2\pi\Sigma_p$ e Σ_p é a condutividade Pedersen integrada com a altura. As coordenadas (x,y) definem um plano horizontal, com seus eixos alinhados segundo as direções norte e leste, respectivamente. Assumindo uma seção reta circular com raio r , o potencial no interior de A é dado por

GREENLAND CHAIN MAGNETIC PERTURBATIONS
 PLOTTED AS EQUIVALENT CONVECTION

28 JUNE 1986
 10:06-10:21 UT

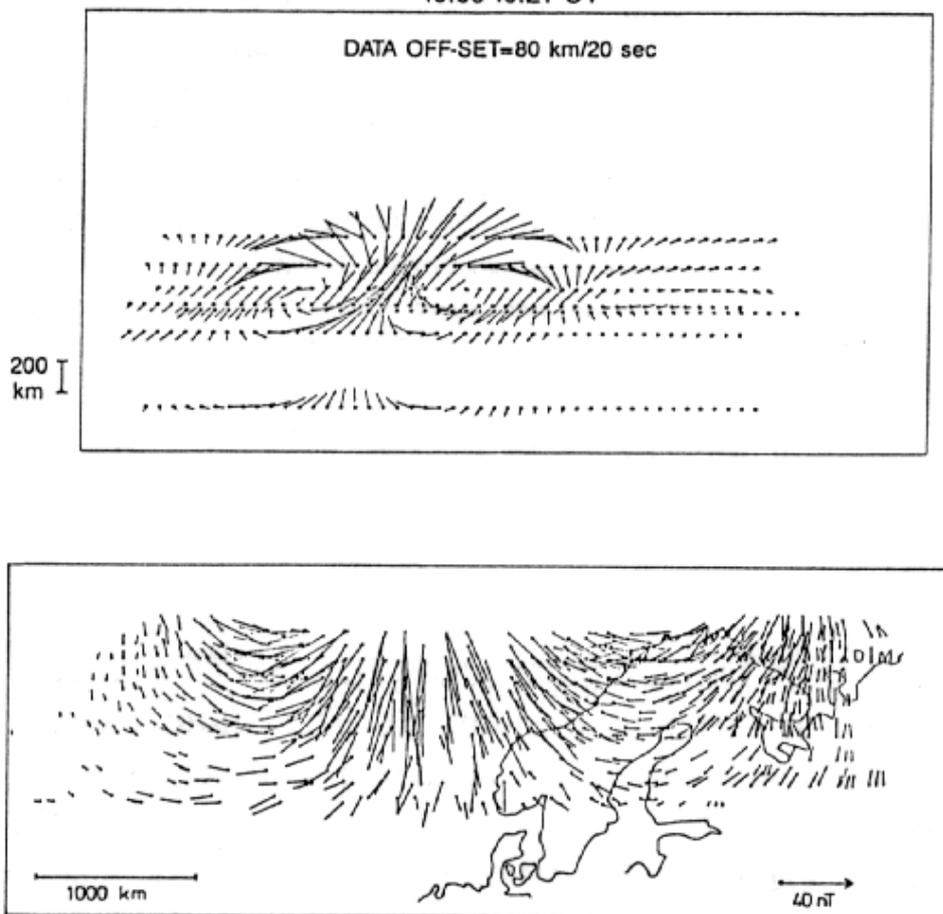


FIGURA 2.10 - No painel superior temos a deriva de plasma obtida por Friis-Christensen et al. (1988) para o evento do dia 28 de junho de 1986. No painel inferior temos o sistema de correntes equivalentes obtido por Glassmeier et al. (1989) para o evento do dia 24 de dezembro de 1978.

FONTE: Lühr and Blawert (1994).

$$\Phi_i = C \frac{1}{2r^2} [r^2 - x^2 - (y+d)^2] + C \ln \frac{1}{r} \sqrt{(y-d)^2 + x^2} \quad (2.7)$$

e

$$\Phi_i = -C \frac{1}{2r^2} [r^2 - x^2 - (y-d)^2] - C \ln \frac{1}{r} \sqrt{(y+d)^2 + x^2} \quad (2.8)$$

para a base das correntes ascendente e descendente, respectivamente.

O campo elétrico ($\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi$) para a região externa é

$$E_y = \text{sinal}(y) \frac{I}{2\pi\Sigma_p} \left(\frac{y+d}{(y+d)^2 + x^2} - \frac{y-d}{(y-d)^2 + x^2} \right) \quad (2.9)$$

onde $\text{sinal}(y)$ é 1 para $y > 0$ e -1 para $y < 0$. Para região interna

$$E_x = C \left(\frac{x}{r^2} - \frac{x}{(y-d)^2 + x^2} \right) \quad (2.10)$$

e

$$E_x = -C \left(\frac{x}{r^2} - \frac{x}{(y+d)^2 + x^2} \right) \quad (2.11)$$

$$E_y = -C \left(\frac{y-d}{r^2} - \frac{y+d}{(y+d)^2 + x^2} \right) \quad (2.12)$$

para as correntes descendentes e ascendentes, respectivamente.

O campo elétrico obtido acima origina as correntes Pedersen e Hall na ionosfera

$$\vec{J}_H = \Sigma_H \frac{1}{B} \vec{B} \times \vec{E} \quad (2.13)$$

$$\vec{J}_P = \Sigma_P \vec{E} \quad (2.14)$$

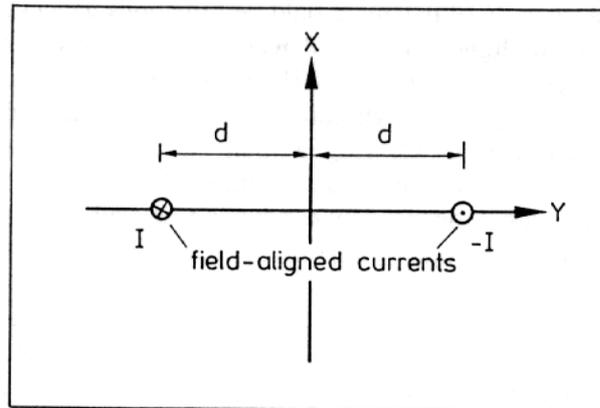


FIGURA 2.11 - Esquema da configuração das correntes alinhadas ao campo (*field aligned currents*, FAC), ascendentes e descendentes, usada para o cálculo da distribuição de potencial.

FONTE: Lühr and Blawert (1994).

onde Σ_H e Σ_P são as condutividades Hall e Pedersen integradas com a altura, respectivamente, e \vec{B} é o campo magnético ambiente.

De acordo com o trabalho de Fukushima (1969) somente a parte livre de fonte (*source free*) da corrente ionosférica contribui para as variações magnéticas sobre a superfície. Desde que

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \Phi = \vec{0} \quad (2.15)$$

isso implica que

$$\vec{\nabla} \times \vec{J}_P = \vec{0} \quad (2.16)$$

e

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_H = 0 \quad (2.17)$$

Portanto, as perturbações magnéticas são geradas somente pela corrente Hall.

Lühr e Blawert (1994) obtiveram um sistema de correntes equivalentes a partir do modelo por eles gerado (Figura 2.12). Os parâmetros utilizados foram: corrente alinhada

ao campo, $I = 200$ kA, separação das correntes ascendente e descendente, $2d = 800$ km, e razão entre as condutividades ionosféricas, $\Sigma_H/\Sigma_p = 2$. O sistema de correntes derivado do modelo está de acordo com as observações (Figura 2.10). Portanto, esse modelo pode ser utilizado como uma descrição adequada da configuração real de correntes.

A variação na amplitude da perturbação na componente magnética Z , com relação ao ponto de observação, pode ser explicada em termos da distância ao centro da perturbação. Considerando que a perturbação magnética na superfície de cada vórtice de corrente possa ser aproximadamente descrita por um potencial magnético da forma (Glassmeier, 1992):

$$\varphi(r, z) = \frac{\varphi_0 \tau}{\sqrt{(\tau + z)^2 + r^2}} \quad (2.18)$$

onde φ_0 é uma constante, r a distância radial do centro do vórtice, τ a largura da distribuição de potencial e z a distância da camada que transporta a corrente na ionosfera. Com $b_r = \partial\varphi/\partial r$ e $b_z = \partial\varphi/\partial z$, temos:

$$\frac{b_z}{b_r} = \frac{\tau}{r}. \quad (2.19)$$

Assim, se $r \gg \tau$, a componente horizontal, b_r , será muito maior do que a componente vertical, b_z , enquanto que se $r \leq \tau$, a componente horizontal e a componente vertical terão magnitudes comparáveis.

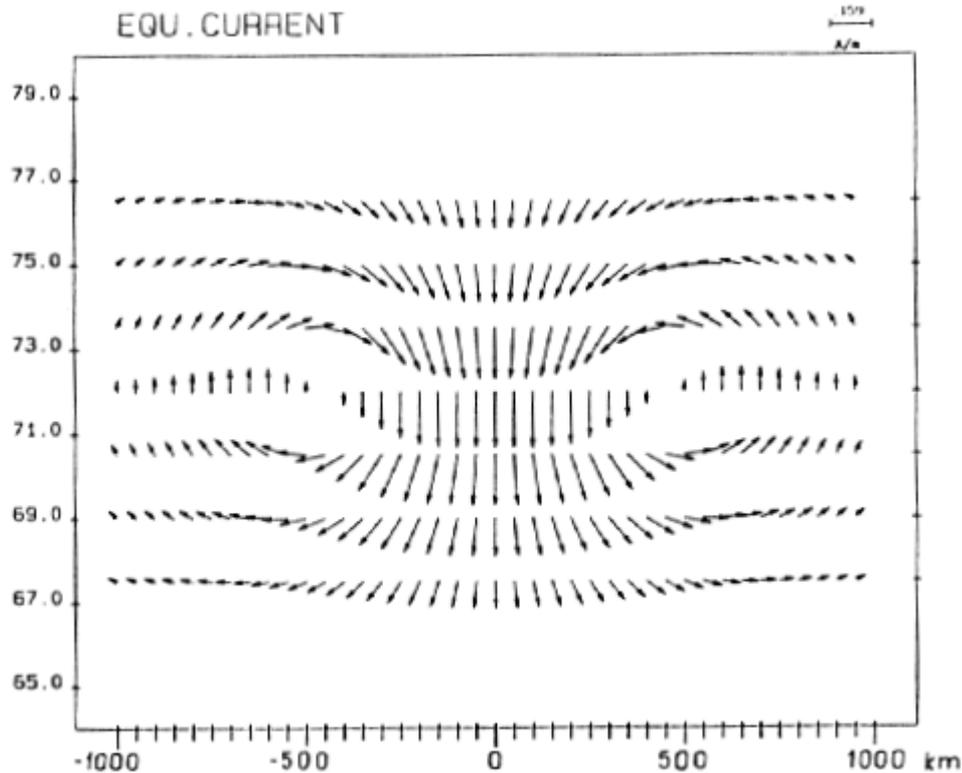


FIGURA 2.12 - Distribuição da corrente equivalente obtida pelo modelo desenvolvido por Lühr and Blawert (1994). Os centros das correntes alinhadas estão distantes 400Km da origem.

FONTE: Lühr and Blawert (1994).

Três mecanismos de propagação dos TCVs têm sido sugeridos. O primeiro diz que ondas Alfvén na magnetosfera, excitadas por ressonância das linhas de campo, propagam-se ao longo das linhas de campo magnético em direção da ionosfera, e produzem perturbações na superfície. Este tem sido geralmente aceito como sendo o principal mecanismo para eventos em altas latitudes. O segundo mecanismo diz que as ondas compressionais (rápidas) na magnetosfera podem se propagar perpendicularmente às linhas de campo, e assim causar variações magnéticas na superfície. Acredita-se que esse mecanismo seja responsável pelos eventos em baixas latitudes, porque a energia das ondas compressionais é confinada próximo ao equador magnético na magnetosfera (Takahashi e Anderson, 1992; Lee, 1996). O terceiro mecanismo sugere que o campo elétrico carregado pelas ondas Alfvén até a ionosfera polar é transmitido para baixas latitudes, através da guia de onda Terra-ionosfera. O campo elétrico estático, e de

grande escala, excita as correntes ionosféricas, as quais causam as pulsações coerentes numa ampla escala de latitude e longitude (Kikuchi e Araki, 1979).

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Todos os eventos estudados neste trabalho foram selecionados a partir de uma lista de eventos TCV que ocorrem em regiões de altas latitudes (apêndice A), para o período de julho a dezembro de 2000. Esta lista contém a data e o horário de ocorrência sugerido para cada evento (Anexo A). Para a escolha dos eventos a serem descritos utilizamos como critério a disponibilidade de dados para o período, a ocorrência de alguma assinatura nos magnetogramas equatoriais brasileiros (próxima ao horário de ocorrência sugerido para o evento) e a clareza dessa assinatura. Por clareza entende-se que a assinatura deve ser isolada e intensa o suficiente de modo que possa ser distinguida de outras variações que ocorrem no período.

Para evitar problemas de sincronismo nos dados obtidos nas estações magnéticas brasileiras, foi dada preferência para o período de setembro a dezembro de 2000. Neste período um sistema de tempo controlado por GPS nos garante maior confiança no sincronismo do equipamento, permitindo que sejam feitos estudos da defasagem do sinal entre as estações. Para este intervalo a lista de eventos sugeridos compreende 60 eventos.

Já estudamos anteriormente a ocorrência de assinatura equatorial para o evento de 9 de novembro de 1993, amplamente discutido por Zesta et al. (1999), utilizando dados da região equatorial no intuito de avançar no entendimento, que é bastante incompleto, sobre os mecanismos operantes na geração dos eventos TCV. Dessa vez procuramos dar continuação e detalhar mais o estudo da assinatura equatorial dos eventos TCV, utilizando um número maior de eventos, os quais ainda não foram descritos na literatura.

3.1. As Estações Magnéticas Brasileiras

Foram utilizados os dados de cinco estações geomagnéticas brasileiras (Belém/Tatuoca, Euzébio, Ji-Paraná, São Luiz e São Martinho da Serra) cujas coordenadas geográficas e geomagnéticas estão presentes na Tabela 3.1. É importante notar que as coordenadas geomagnéticas referem-se ao dipolo centrado e inclinado, calculado para o segundo semestre de 2000. As coordenadas geomagnéticas foram obtidas utilizando o programa GMCORD, o qual faz parte do pacote UTILITY (Campbell, 1997).

TABELA 3.1: Coordenadas Geográficas e Geomagnéticas das estações brasileiras.

Estações	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Geomagnéticas	
Belém/Tatuoca (BLM), PA	1,40 S	48,40 W	8,40 N	24,1 E
Eusébio (EUS), CE	3,90 S	38,50 W	5,02 N	33,5 E
Ji-Paraná (JIP), RO	10,85 S	61,95 W	0,30 S	10,1 E
São Luiz (SLZ), MA	2,60 S	44,20 W	6,85 N	28,0 E
São Martinho da Serra (SMS), RS	29,44 S	53,44 W	19,25 S	17,3 E

Para auxiliar no estudo da influência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, região do globo em que o campo magnético total apresenta menor intensidade, sobre a amplitude dos eventos na estação de São Martinho da Serra, utilizou-se os dados do observatório magnético de Vassouras (22,4 S, 43,6 W), RJ. Este observatório foi escolhido porque se encontra distante do equador magnético, e conseqüentemente fora do alcance do eletrojato equatorial, e distante do centro da AMAS. Os dados obtidos nesta estação apresentam uma taxa de amostragem de 1 medida a cada 60 segundos. Para comparação com SMS e as demais estações utilizamos a componente horizontal do campo geomagnético.

O equipamento utilizado para medida das variações do vetor campo magnético é um magnetômetro do tipo *fluxgate*, desenvolvido pela Narod Geophysics Ltda. Ele possui 3

canais (X, Y, Z), cada um com uma faixa de ± 70.000 nanoTesla, sensibilidade de 100 nanoTesla/volt $\pm 1\%$. Os canais medem a variação nas componentes H (positiva para o norte magnético), D (positiva para o leste magnético) e Z (vertical e positiva para baixo) do campo geomagnético. A partir das componentes H e D é feita uma composição e obtida a componente horizontal, a qual será utilizada para comparação com outras medidas durante todo o trabalho. A resolução temporal do equipamento é de uma medida a cada 2 segundos, o que dá uma taxa de amostragem de 0,5 hertz.

Em instrumentos desse tipo, o princípio de funcionamento se baseia no fato de que a não linearidade das propriedades de magnetização da liga ferromagnética, de alta permeabilidade e fácil saturação, nos dá um indicador da intensidade do campo magnético local. Um material altamente permeável é usado para amplificar o sinal do campo magnético captado em uma pequena antena circular (diâmetro de poucos centímetros). A intensidade do campo geomagnético é obtida a partir da geração de harmônicos de distorção no campo de saída, o qual é medido por antenas circulares secundárias colocadas em torno do núcleo.

Na Figura 3.1 vemos o campo geomagnético H_0 superposto a um campo de excitação senoidal de intensidade A , onde $A \gg H_0$. O Campo de excitação A é escolhido de maneira a ser maior do que o campo necessário para a saturação do núcleo de alta permeabilidade. O balanço assimétrico do campo, causado pela adição do campo ambiente, resulta na distorção da forma de variação da densidade de fluxo magnético, B , medida por uma bobina secundária que está enrolada em torno do núcleo. Esta distorção da variação de B com respeito ao tempo, a qual é assimétrica com respeito ao eixo do tempo, tem um alto conteúdo de harmônicos pares nas suas componentes de Fourier. Pode-se aproximar a função do campo como

$$B(t) = a(H_0 + H_e) + b(H_0 + H_e)^3 + c(H_0 + H_e)^5 \quad (3.1)$$

onde H_e é o campo de excitação e a , b , e c são constantes.

O terceiro, quarto e seguintes harmônicos de $B(t)$ são considerados menores do que o segundo. Com a utilização de um filtro este segundo harmônico é selecionado, a partir do sinal de saída, e torna-se uma medida do campo ambiente, após comparar com um segundo harmônico sem perturbações gerado da duplicação da frequência da oscilação original.

A medida do campo geomagnético é a soma dos campos gerados por diversas fontes, localizadas no interior do planeta e no espaço próximo. Uma variação característica em médias e baixas latitudes é a variação diurna, que surge devido à presença do sistema de correntes Sq na região E da ionosfera. Esse sistema de correntes é gerado devido ao movimento de maré atmosférica, o qual surge devido ao aquecimento da atmosfera pela radiação solar. A variação diurna é amplificada na região equatorial devido à presença do eletrojato equatorial (*Equatorial Electrojet*, EEJ), uma estreita faixa em torno do equador magnético ocorrendo no lado diurno que tem a condutividade na direção oeste-leste aumentada devido à configuração do campo eletromagnético e devido ao fato da ionosfera ser finita verticalmente.

Para remover a variação diurna da componente horizontal, e também outras variações de períodos não desejados, utilizamos uma técnica de filtragem (filtro passa alta), implementado em FORTRAN. A técnica consiste em suavizar a curva da variação diurna, através do cálculo de uma média corrida de 60 minutos, e subtrair a curva suavizada dos dados brutos para o intervalo de interesse, para implementar o filtro passa alta de 60 minutos. O resultado é uma variação residual para períodos menores que uma hora (Figura 3.2).

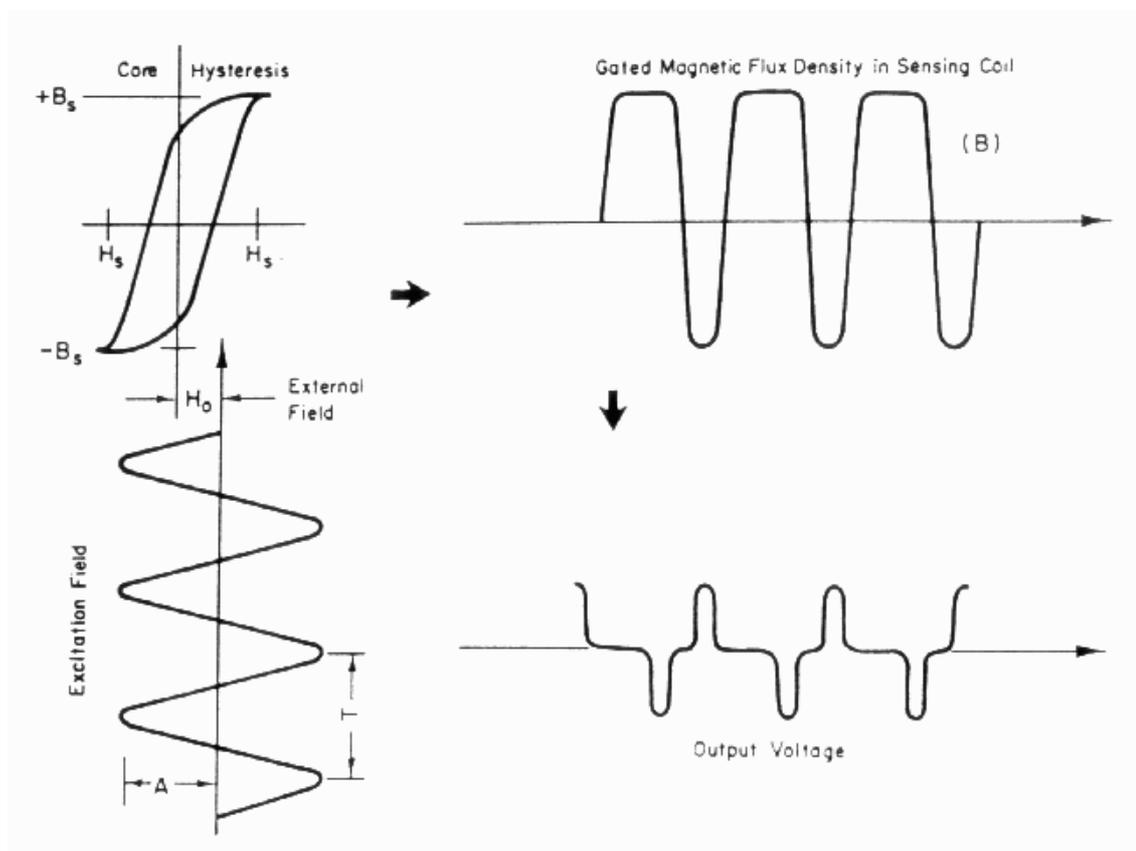


FIGURA 3.1 - Resposta do núcleo saturável a um campo de excitação com amplitude A e período de oscilação T , na presença de um campo externo H_0 .

FONTE: Campbell (1997).

Após a remoção da variação diurna é selecionado um período de duas horas em torno do horário de ocorrência sugerido para o evento. Isso facilita a identificação de assinaturas transientes associadas ao evento em altas latitudes. Identificada a ocorrência de uma assinatura nas estações equatoriais brasileiras, parte-se para a caracterização da assinatura. Para cada estação são identificados o horário de ocorrência e a amplitude da variação. Utilizando-se a técnica de correlação cruzada calcula-se a defasagem do sinal nas demais estações com relação à estação mais a oeste Ji-paraná, JIP, em Rondônia.

Caso ocorra uma defasagem entre as estações, podemos calcular uma velocidade de propagação aproximada entre JIP e as demais estações. Essa velocidade de propagação é calculada dividindo-se a distância angular aproximada entre as estações pelo valor da defasagem em segundos. Essa velocidade é calculada em graus/segundo para facilitar a

comparação com a propagação em regiões mais altas (ionosfera e magnetosfera), caso seja necessário.

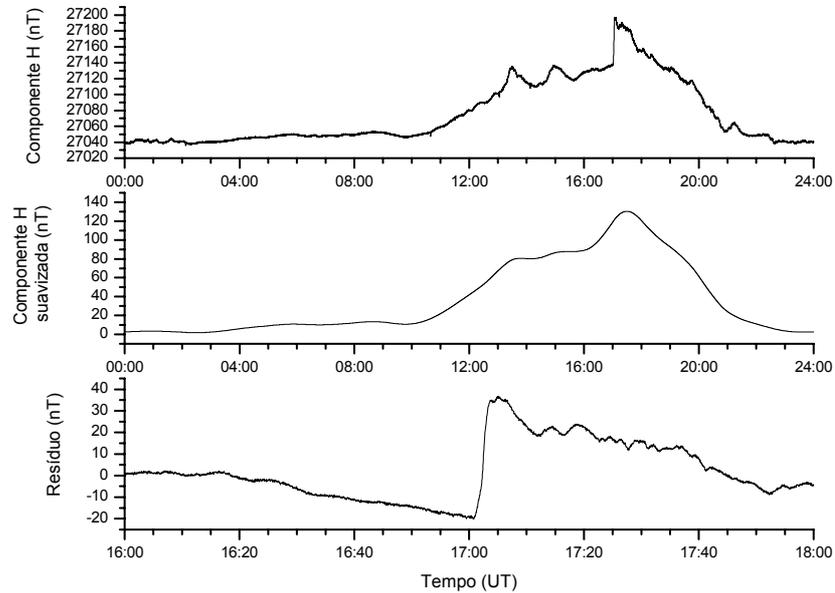


FIGURA 3.2 - A figura mostra um exemplo da remoção das variações com período maior que uma hora. O primeiro painel mostra o sinal bruto para um intervalo de 24 horas. O segundo painel apresenta os dados suavizados, utilizando média corrida, para o mesmo intervalo de tempo. O terceiro e último painel apresenta o resíduo calculado através da subtração do sinal bruto pelo sinal suavizado, para o intervalo de interesse. Para cada ponto dos dados suavizados é subtraído o primeiro valor da componente H .

Para o cálculo da distância angular aproximada entre as estações consideramos a Terra como uma esfera perfeita. Qualquer ponto na superfície dessa esfera pode ser localizado por três coordenadas num sistema similar ao esférico (r, φ, λ) , onde:

r - distancia radial que vai da origem do sistema de coordenadas até o ponto;

φ - longitude geográfica (leste, positiva; oeste, negativa).

λ - latitude geográfica (norte, positiva; sul, negativa);

A projeção do vetor que vai da origem do sistema de coordenadas até o ponto com vetor-posição \vec{r} , num sistema de coordenadas cartesianas, é dada por

$$\vec{r} = (x, y, z) = r(\cos \lambda \cos \varphi, \cos \lambda \sin \varphi, \sin \lambda) \quad (3.2)$$

Seja θ o ângulo entre os vetores \vec{r}_1 e \vec{r}_2 . Podemos calcular o valor de θ através da relação

$$\theta = \arccos(\hat{r}_1 \cdot \hat{r}_2) \quad (3.3)$$

onde:

$$\hat{r}_1 \cdot \hat{r}_2 = \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \lambda_1 \sin \lambda_2 \quad (3.4)$$

é o produto escalar dos versores dos pontos \vec{r}_1 e \vec{r}_2 .

3.2. Medidas em Altas Latitudes e Órbita Geossíncrona

Para complementar a observação realizada pelas estações brasileiras, utilizou-se dados de estações localizadas em altas latitudes e obtidos por satélites em órbita geossíncrona. Para altas latitudes utilizou-se os dados das estações geomagnéticas Cambridge Bay (CBB), Baker Lake (BLC), Iqaluit (IQA), Fort Churchill (FCC), Alert (ALE) e Resolut Bay (RES). Estas estações fazem parte da rede de magnetômetros canadense. As quatro primeiras estações estão dentro da zona auroral, enquanto as outras duas estão na calota polar (*polar cap*). Os dados, obtidos na Internet (http://www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/eng_main.html), têm uma resolução temporal de uma medida a cada 60 segundos e estão organizados em arquivos contendo um dia (24 horas) de medidas. A tabela 3.2 mostra as coordenadas geográficas das estações utilizadas.

Os dados de órbita geossíncrona também foram obtidos através da Internet (http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/). As medidas do campo geomagnético são realizadas pelos satélites GOES 8 e 10. Os satélites GOES (*Geosynchronous Operational Environmental Satellites*) estão localizados em órbita geossíncrona, aproximadamente 35800 km acima da Terra. Para o monitoramento do ambiente espacial, os satélites GOES contam com magnetômetros, sensores de raios-X, um detetor de partículas alfa e de prótons com altas energias e um sensor de partículas

energéticas. O GOES-8 (ou GOES-Leste) está posicionado na longitude 75 W e no equador, enquanto o GOES-10 (ou GOES-Oeste) está posicionado na longitude 135 W e no equador. Há uma defasagem de 4 horas entre eles. A cobertura dos satélites estende-se aproximadamente de 195 W de longitude até 20 W de longitude. Um sensor girante do tipo *fluxgate* permite que o campo magnético terrestre seja descrito por três componentes mutuamente perpendiculares: H_p , H_e e H_n . A componente H_p é paralela ao eixo de giro do satélite, o qual por sua vez é perpendicular ao plano orbital do satélite. A componente H_e é paralela à linha que liga o centro do satélite ao centro da Terra e aponta em direção a Terra. A componente H_n é perpendicular a ambas, H_p e H_e , e aponta em direção ao leste para GOES-1, GOES-2, GOES-3 e GOES-4 e em direção a oeste para os outros satélites GOES. Neste trabalho utilizamos a componente H_p , que é a componente que mede a variação do campo na direção deste, para comparar com as medidas da componente horizontal em baixas latitudes.

TABELA 3.2: coordenadas geográficas das estações da rede de magnetômetros canadense.

Estações	Coordenadas Geográficas	
	Latitude	Longitude
Cambridge Bay (CBB)	69,12 N	254,97 W
Baker Lake (BLC)	64,33 N	263,97 W
Iqaluit (IQA)	63,75 N	291,48 W
Fort Churchill (FCC)	58,79 N	265,91 W
Alert (ALE)	82,5 N	297,65 W
Resolut Bay (RES)	74,69 N	265,11 W

Campo Magnético Medido pelos Satélites GOES

Vetor campo magnético (H_p , H_e , H_n)

H_p – componente paralela ao eixo de rotação do satélite

H_e – componente em direção à Terra

H_n – componente normal a H_p e H_e , apontando em direção ao Leste para GOES 1-4 e em direção ao Oeste a partir do GOES 5

H_t – magnitude do vetor campo magnético total

3.3. Medidas no Vento Solar – Parâmetros de Plasma e Campo Magnético Interplanetário

Para caracterizar as estruturas presentes no meio interplanetário, as quais podem estar associadas aos eventos transientes detectados na superfície, utilizamos medidas dos parâmetros de plasma e do campo magnético interplanetário e suas componentes, realizadas pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*). Os dados do satélite foram obtidos na Internet (http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/).

Localizado a uma distância de 1/100 unidades astronômicas da Terra (aproximadamente 235 raios terrestres), sobre o eixo Terra-Sol, o satélite ACE leva seis sensores de alta resolução e 3 instrumentos de monitoramento que irão tirar amostras de partículas com baixa energia, com origem no Sol, e de partículas galácticas com altas energias (Figura 3.3). O principal objetivo do ACE é determinar e comparar as composições isotópicas e elementares de diversas amostras distintas de matéria, incluindo a coroa solar, o meio interplanetário, o meio interestelar local e a matéria galáctica.

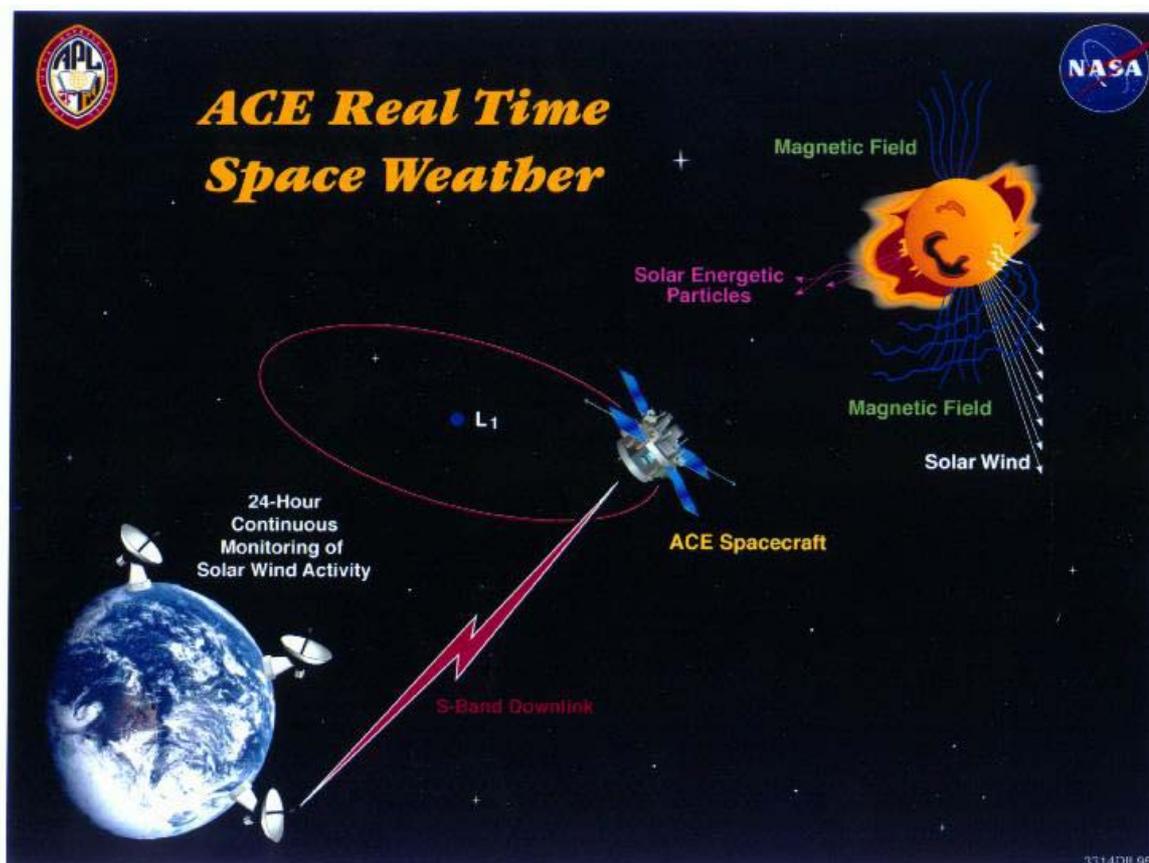


FIGURA 3.3 - Representação artística da órbita do satélite ACE em torno do ponto L1, sobre o eixo Terra-Sol. O satélite realiza medidas contínuas do plasma, do campo magnético e de partículas energéticas provenientes do Sol.

FONTE: <http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/ace.html>

Os parâmetros de plasma medidos são a densidade, velocidade e temperatura dos prótons. A resolução temporal dos dados é de uma medida a cada 64 segundos. A partir da velocidade e densidade podemos derivar uma terceira grandeza, a pressão dinâmica. Para calcular a pressão dinâmica usamos uma relação apresentada no trabalho de Echer et al. (2002) sobre os choques interplanetários e impulsos súbitos durante o máximo solar (2000) e durante o mínimo solar (1995-1996), a qual leva em consideração a presença de íons He^{++} no vento solar e a deflexão do fluxo próximo a magnetosfera (Equação 2.1).

O campo magnético interplanetário é medido com uma resolução temporal de uma medida a cada 16 segundos. Juntamente com a intensidade total está sendo medida a componente X_{SM} , Y_{SM} e Z_{SM} do IMF em coordenadas GSM (*Solar Magnetospheric*). O

sistema GSM é um sistema cartesiano destrógiro com origem no centro da Terra (Figura 3.4). O eixo X é positivo em direção ao Sol. O eixo Z está definido no plano contendo o eixo X e o eixo do dipolo geomagnético. Esse sistema não só gira com o período orbital da Terra como também oscila para frente e para trás em torno de 23 graus total, com o período de um dia.

O cálculo do ângulo φ_{SM} , que está relacionado à forma como o IMF tangencia a magnetopausa, é feito a partir das componentes X_{SM} e Y_{SM} do IMF como segue:

$$\varphi_{SM} = \arcsen \frac{B_Y}{B_H} \quad (3.5)$$

onde

$$B_H = \sqrt{B_X^2 + B_Y^2} \quad (3.6)$$

Notar que para pontos na região antes do meio-dia (lado do amanhecer) os sinais de φ_{SM} e B_x são iguais, e na região após o meio-dia (lado do entardecer) esses sinais são opostos.

Sistema de Coordenadas GSM

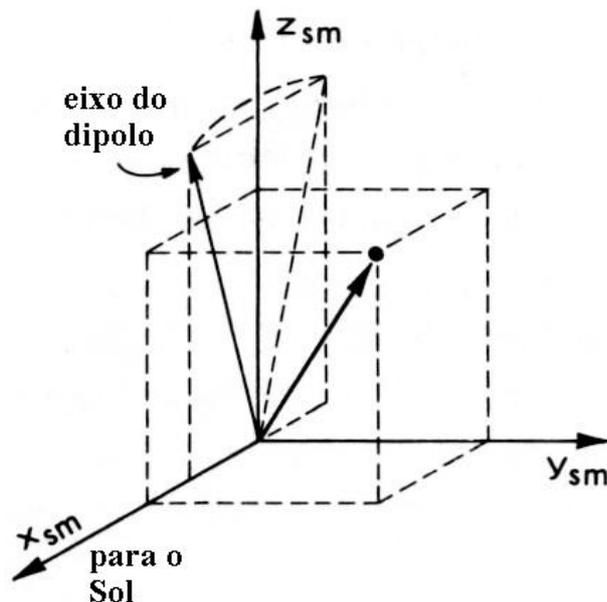


FIGURA 3.4 - Sistema de coordenadas GSM (*Solar-Magnetospheric*) utilizado no trabalho com os dados do meio interplanetário medidos pelo satélite ACE.
FONTE: Knecht (1972)

Nosso interesse é verificar a ocorrência de variações abruptas nos parâmetros de plasma e no campo magnético do vento solar, associada ou não a choques e discontinuidades, que facilitem a ocorrência dos eventos transientes na região equatorial. Utilizamos os dados do satélite ACE porque este apresenta medidas para a maioria dos eventos de interesse. Além disso, sua órbita em torno do ponto lagrangeano está convenientemente localizada próxima ao eixo Terra-Sol e o satélite encontra-se sempre imerso no vento solar. O satélite SOHO, também com órbita em torno do ponto lagrangeano, realiza apenas medidas dos parâmetros de plasma (velocidade, densidade e temperatura). Medidas próximas a magnetopausa são de interesse, porém os satélites que realizam tais medidas apresentam geralmente órbitas mais complexas o que dificulta sua utilização.

O fato do satélite ACE estar realizando as medidas no ponto Lagrangeano L1, o qual dista $1,5 \times 10^6$ km da Terra sobre o eixo Terra-Sol, faz com que as estruturas do vento solar associadas aos eventos estudados sejam vistas com certa antecedência pelo

satélite. A diferença entre o horário de ocorrência do evento na superfície e a passagem da estrutura pelo satélite ACE depende da componente da velocidade instantânea sobre o eixo Terra-Sol e da distância entre o satélite e a Terra.

Para calcular o horário aproximado da passagem da estrutura pelo satélite ACE desenvolveu-se uma rotina em IDL. Os parâmetros de entrada para essa rotina são o horário de ocorrência do evento na superfície do planeta e os parâmetros de plasma e campo magnético interplanetário, medido pelo satélite ACE. Como saída o programa produz gráficos dos parâmetros de plasma e campo magnético interplanetário onde o intervalo de ocorrência do evento é destacado (Figuras 3.5 e 3.6).

A partir do horário de ocorrência do evento na superfície, t_0 , calcula-se a integral numérica da componente da velocidade sobre o eixo Terra-Sol, V_x , para intervalos cada vez maiores de tempo $\Delta t_1=t_0-t_1$, $\Delta t_2=t_0-t_2$, ..., $\Delta t_n=t_0-t_n$ ($t_0>t_1>t_2>...>t_n$). Isso é feito até que o valor da integral (A_1, A_2, \dots, A_n) seja maior que à distância do ponto L1 até a onda de choque, A' , onde o regime de fluxo do vento solar é alterado devido à presença da magnetosfera (Figura 3.7). O instante de tempo t_n , o qual define o início do intervalo cuja integral da velocidade é maior que à distância até o arco de choque, é o instante de ocorrência do evento no ponto mais próximo de L1 (Figura 3.8). Para calcular o instante de tempo associado ao ponto L1 precisamos fazer uma correção utilizando o teorema da proporcionalidade entre triângulos (Figura 3.9):

$$\frac{A_n - A'}{\Delta t - \delta} = \frac{A' - A_{n-1}}{\delta} \quad (3.7)$$

onde:

$$\delta = t' - t_{n-1} \quad (3.8)$$

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \quad (3.9)$$

Assim, se acharmos o valor de δ podemos encontrar um termo de correção que, subtraindo de t_n , nos dê o instante aproximado de ocorrência do evento no ponto L1. Esse termo é

$$\Delta t - \delta = \Delta t \left(1 - \frac{A' - A_{n-1}}{A_n - A' + A' - A_{n-1}} \right) = \Delta t \left(1 - \frac{A' - A_{n-1}}{A_n - A_{n-1}} \right) \quad (3.10)$$

Por outro lado, a órbita do satélite ACE é elíptica, em torno do ponto L1, com semi-eixo maior de 200.000 km. Essa órbita introduz uma incerteza no horário de ocorrência do evento no ponto de medida do satélite. Para determinar essa incerteza calculamos novamente a integral numérica da velocidade no tempo, utilizando dessa vez o instante t_n como ponto de partida, até que seu valor seja igual ao tamanho do semi-eixo maior. Essa integral é calculada para valores maiores e menores que t_n de modo a determinar o limite superior (t_f) e inferior (t_i) do intervalo de tempo de ocorrência do evento, respectivamente.

Além disso, devemos lembrar que a posição da onda de choque varia no tempo. Para o cálculo da posição do arco de choque utilizamos a relação encontrada no trabalho de Farris e Russel (1994)

$$D_{BS} = D_{OB} \left[1 + 1.1 \frac{(\gamma - 1)M_1^2 + 2}{(\gamma + 1)(M_1^2 - 1)} \right] \quad (3.11)$$

onde:

- D_{BS} é a distância do centro da Terra até o arco de choque, em raios terrestres;
- D_{OB} é a distância do centro da Terra até o obstáculo (magnetopausa), em raios terrestres;
- γ é o índice politrópico, considerado igual a 5/3 nos cálculos;
- M é o número de Mach sônico; e
- O índice 1 indica a região de domínio do vento solar.

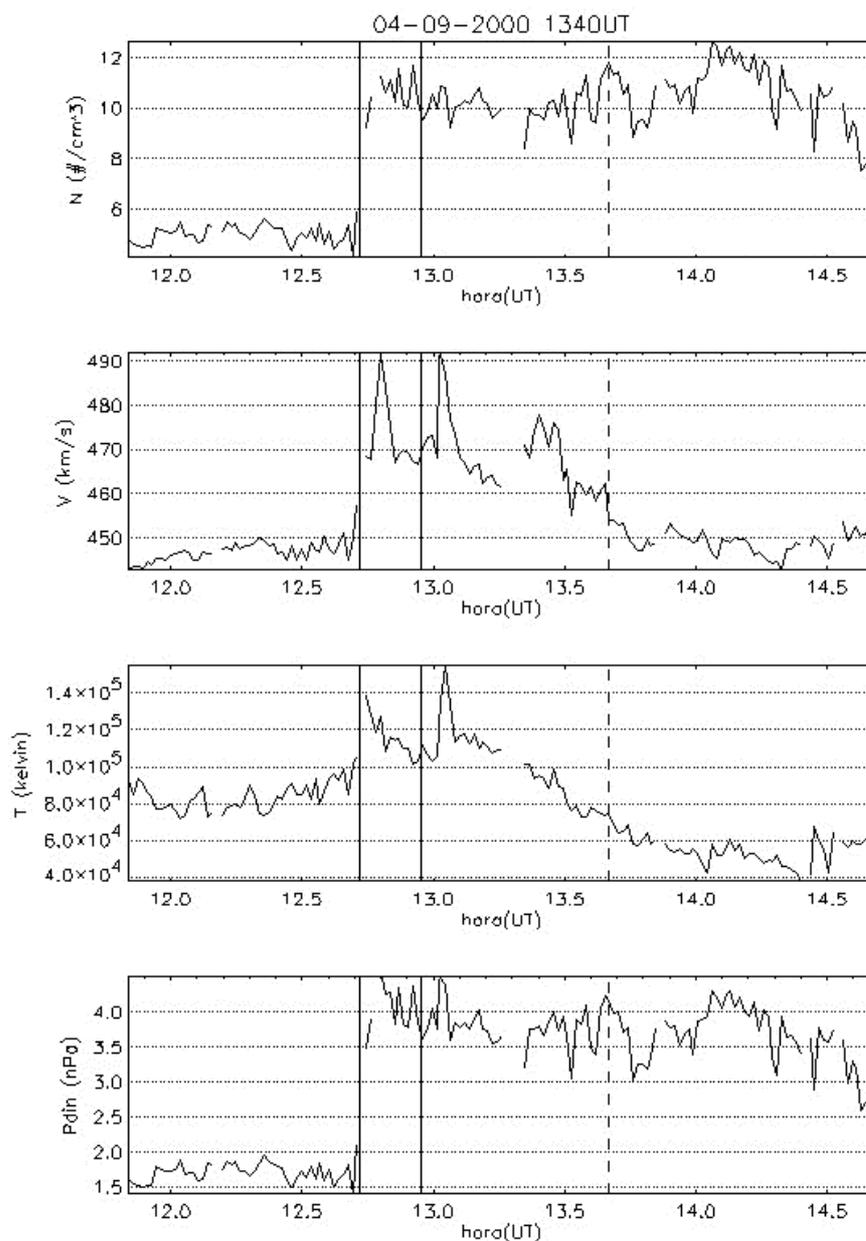


FIGURA 3.5 - Exemplo da saída gráfica da rotina, desenvolvida em IDL, para o cálculo do horário aproximado de ocorrência do evento no ponto lagrangeano. A rotina foi aplicada aos parâmetros de plasma do vento solar, a saber: densidade, velocidade, temperatura e pressão dinâmica. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície, enquanto o intervalo entre as duas linhas sólidas é o local provável da assinatura do evento no ponto L1.

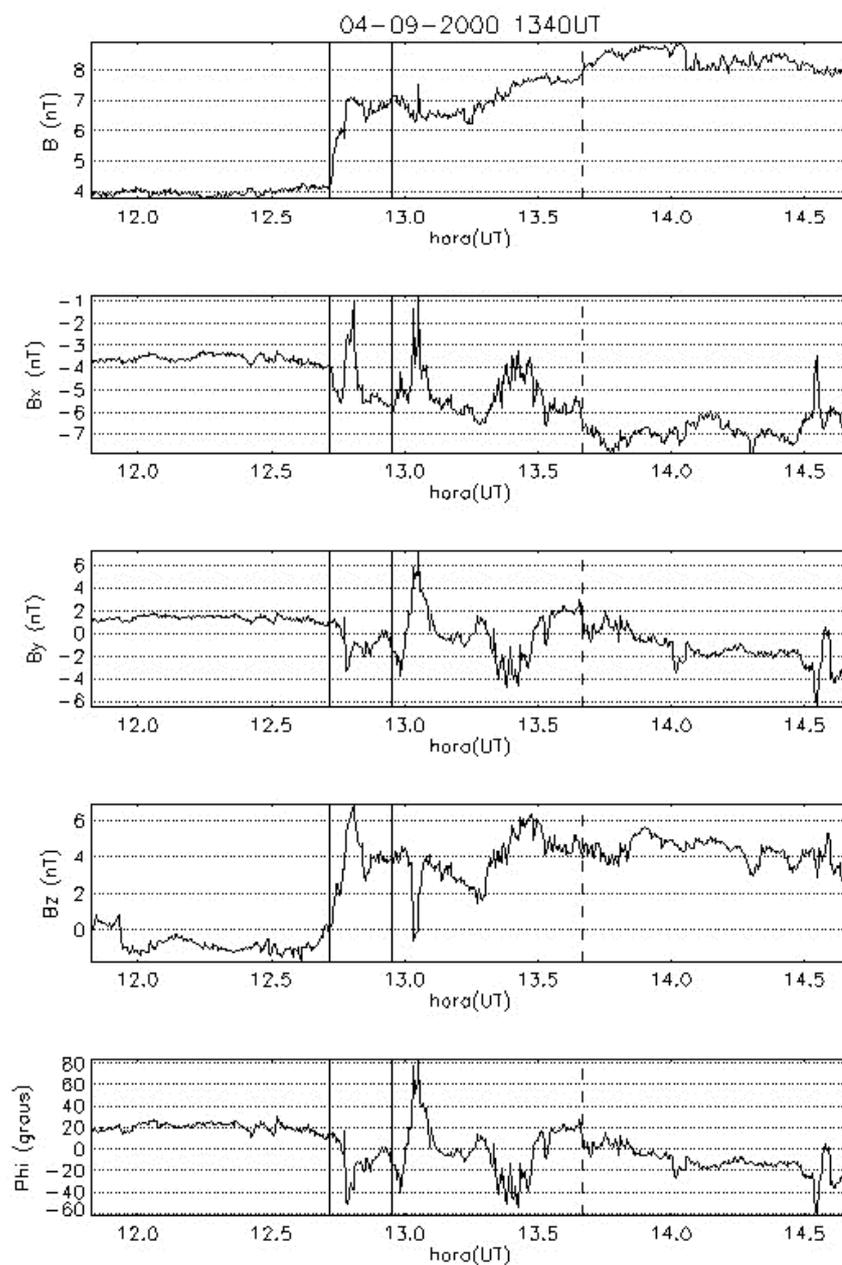


FIGURA 3.6 - Exemplo da saída gráfica da rotina, desenvolvida em IDL, para o cálculo do horário aproximado de ocorrência do evento no ponto lagrangeano, aplicada aos dados de campo magnético. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície, enquanto o intervalo entre as duas linhas sólidas é o local provável da assinatura do evento no ponto L1.

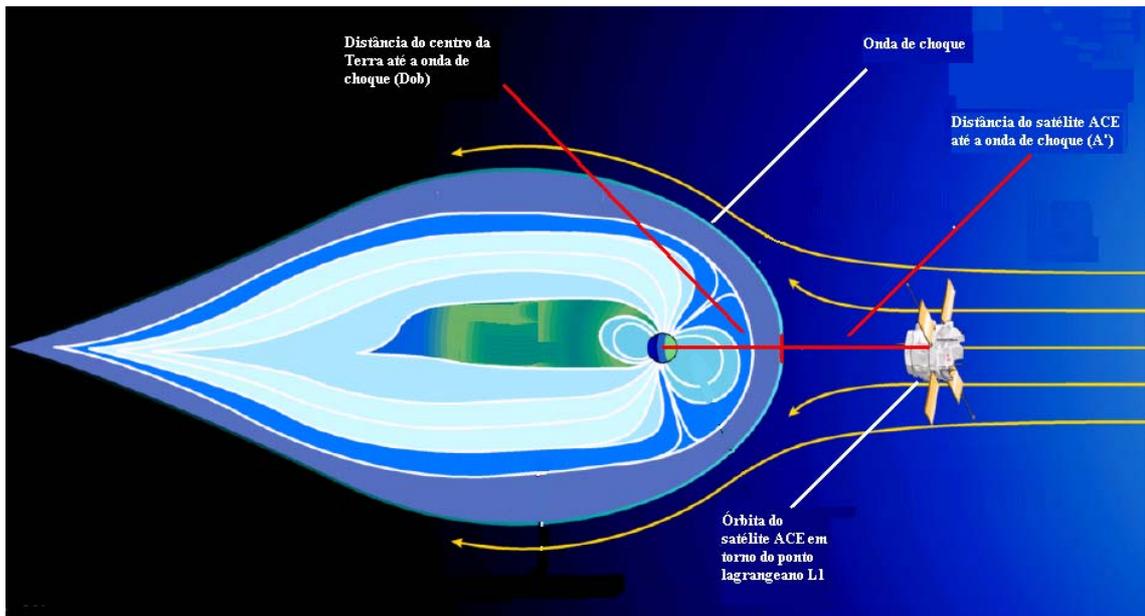


FIGURA 3.7 - Representação fora de escala das distâncias utilizadas no cálculo do tempo de propagação entre o ponto lagrangeano L1 e o arco de choque (*bow shock*).

FONTE: <http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/gallery.html>

A equação (3.11) é um melhoramento da relação utilizada por Spreiter et al. (1966), pois produz resultados corretos para $M \cong 1$. As relações para o cálculo do número de Mach e da distância do obstáculo são obtidas no trabalho de Russell (RUSSEL'S PERSONAL HOME PAGE) sobre a interação do vento solar com a magnetosfera terrestre, a saber:

$$D_{OB} = 107.4(NV^2)^{-1/6} \quad (3.12)$$

e

$$M = \left(\frac{mV^2}{\gamma kT} \right)^{1/2} \quad (3.13)$$

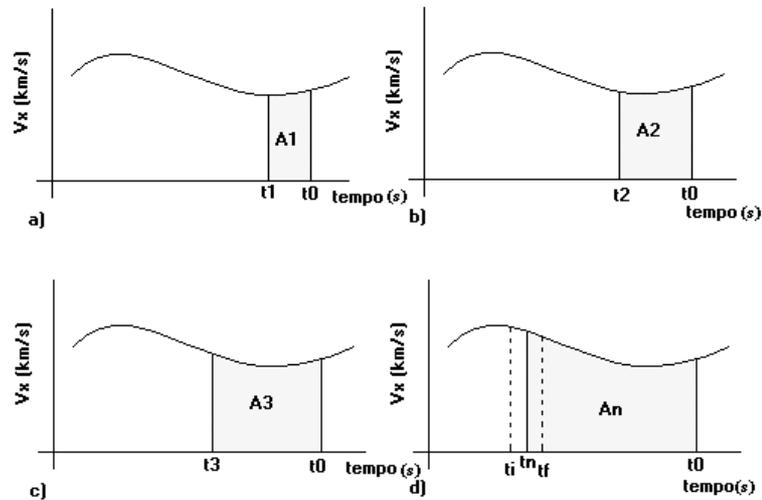


FIGURA 3.8 - Cálculo do horário de ocorrência do evento a partir da integral da velocidade no tempo. a) A integral é calculada no intervalo que vai de t_1 até t_0 . Como o valor da integral (A_1) é menor do que a distância entre o arco de choque e o ponto L1 é selecionado outro instante de tempo para o cálculo da integral. b) novamente é feito o cálculo da integral para o intervalo que vai de t_2 até t_0 . c) como o intervalo anterior ainda produziu um valor para integral que é menor que a distância entre o arco de choque e L1, escolhemos outro instante t_3 para o cálculo da integral. d) esse procedimento é realizado até que encontremos um instante t_n em que o valor da integral seja maior que a distância do arco de choque até o ponto L1. Os instantes de tempo t_i e t_f representam os extremos do intervalo associado ao semi-eixo maior da órbita do satélite ACE.

onde

- N é a densidade dos prótons no vento solar;
- m é a massa do próton;
- k é a constante de Boltzmann;
- V é a velocidade do vento solar; e
- T é a temperatura de prótons.

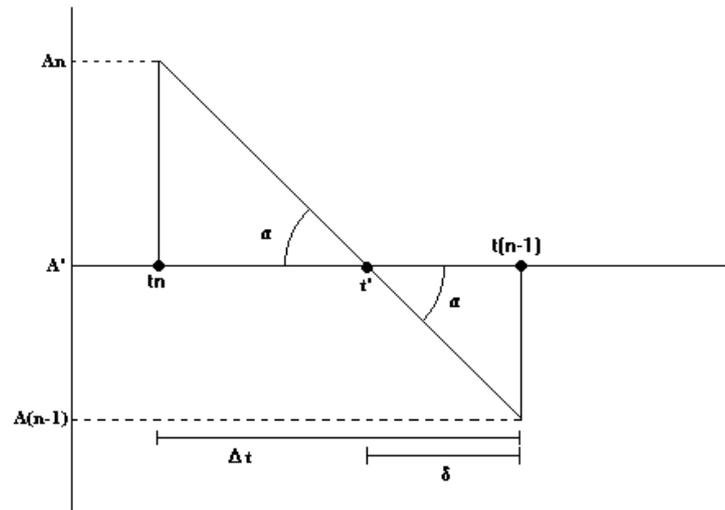


FIGURA 3.9 - Representação gráfica da correção utilizando a proporcionalidade entre triângulos para encontrar o instante exato em que o tamanho da integral é igual a distância do ponto lagrangeano L1 até o arco de choque.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentamos os resultados do estudo das assinaturas dos eventos transientes na região equatorial. Este trabalho foi realizado a partir de uma lista de eventos identificados em estações de altas latitudes, para o período de Agosto a Dezembro de 2000, disponibilizada por Zesta (apêndice A). A lista original contém 77 eventos. Para evitar problemas de sincronismo do equipamento optamos por utilizar os eventos ocorrendo a partir de setembro de 2000, período em que foi instalado o padrão de tempo do sistema GPS nos magnetômetros Narod, utilizados pelas estações geomagnéticas brasileiras. De setembro a dezembro de 2000 existem 60 eventos identificados em altas latitudes, dos quais tomamos 56 eventos para estudo. Não foram utilizados os 60 eventos correspondentes ao período devido à descontinuidade dos dados do meio interplanetário, obtidos pelo satélite ACE.

Após a seleção dos os eventos a serem estudados, partiu-se para a confecção dos gráficos das estações geomagnéticas brasileiras para o período correspondente. Os dados brutos, obtidos pelo equipamento, foram convertidos para um formato legível e as variações com períodos maiores que uma hora foram removidas, através do cálculo do resíduo entre a curva original e uma curva suavizada utilizando-se uma média corrida de 60 minutos. Para cada evento foi selecionado um período de duas horas em torno do horário de ocorrência em altas latitudes, para confecção dos gráficos.

4.1. Evento de 9 de novembro de 1993, 1715 UT

Em trabalho anterior (Trivedi et al., 2002a) realizamos o estudo da assinatura equatorial para o evento de 9 de novembro de 1993, amplamente discutido por Zesta et al. (1999) na literatura. Este evento consiste de uma série de 4 vórtices de corrente propagando-se para oeste, identificados pela rede de magnetômetros *Magnetometer Array for Cusp and Cleft Studies*(MACCS) e pela rede *Canadian Auroral Network for the OPEN Program Unified Study*(CANOPUS) no dia 9 de novembro de 1993, aproximadamente as 1715 UT. Associadas aos vórtices estão 4 correntes alinhadas ao campo (para cima, para

baixo, para cima e para baixo), sendo que três destas correntes são criadas logo após ao meio-dia e propagam-se para oeste, a quarta corrente é criada em latitude um pouco mais baixa que as anteriores e propaga-se principalmente em direção ao pólo. A velocidade dos vórtices é diferente, podendo variar por um fator de 2 para o mesmo evento. Os vórtices mais intensos podem atingir o lado noturno. Os vórtices são fracos quando criados, intensificando-se e acelerando-se à medida que se propagam para oeste. Os vórtices são circulares quando criados, tornando-se mais elípticos e inclinados à medida que se distanciam do meio-dia local. No vento solar tem-se que o IMF é radial e tem uma inclinação em direção a espiral. A componente Z do IMF é pequena e positiva. Uma série de pulsos intensos e de curta duração, presentes na pressão dinâmica do vento solar, são os responsáveis pelas assinaturas transientes na ionosfera em altas latitudes. Os pulsos na pressão são acompanhados por variações similares nas componentes Z e X do IMF, e acredita-se que eles não sejam intrínsecos ao vento solar, mas sim gerados na interação da onda de choque com mudanças na orientação do IMF. Compressões e relaxações nos dados do campo magnético magnetosférico, observado pelos satélites GOES 6 e 7, estão bem correlacionados com os pulsos na pressão do vento solar (Figura 4.1).

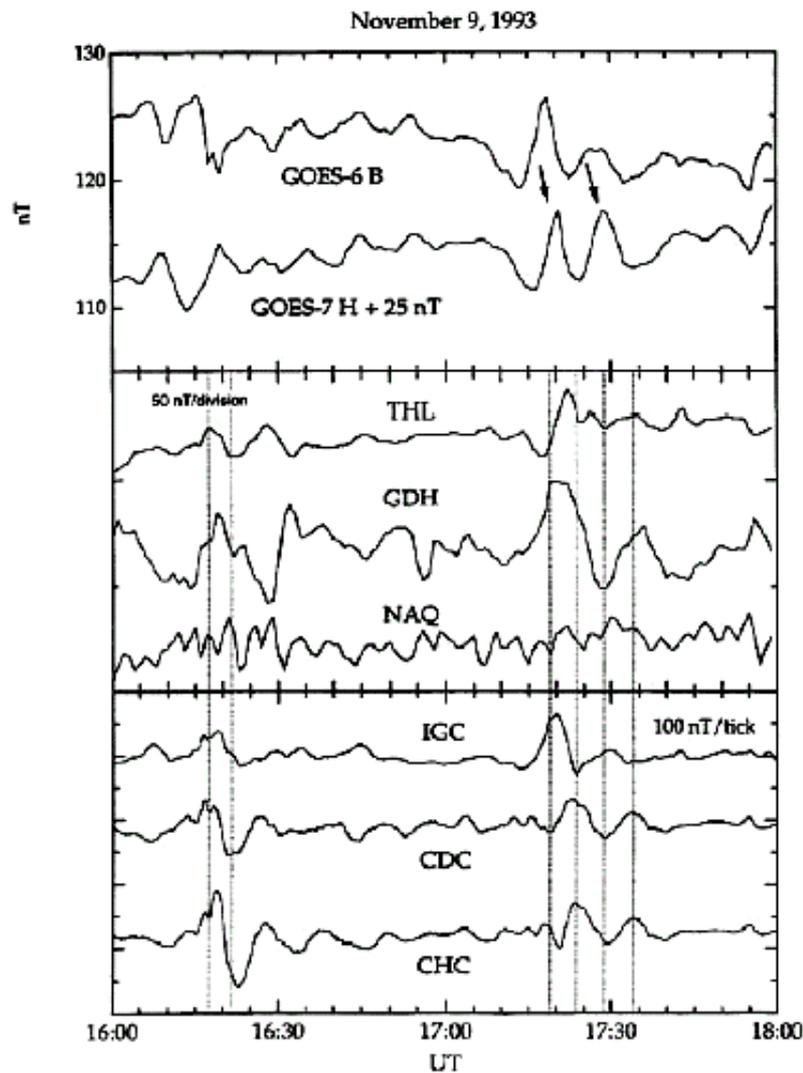


FIGURA 4.1 - No painel superior estão as observações dos satélites GOES 6 e 7. Logo abaixo aparecem as medidas da componente H realizadas pelas estações localizadas na Groenlândia em Thule (THL), Godhavn (GDH) e Narsarsuaq (NAQ), e a componente X medida pela rede de magnetômetros MACCS nas estações Iqloolik (IGC), Cape Dorset (CDC) e Coral Harbour (CHC) para o período das 1600 as 1800 UT do dia 9 de novembro de 1993. As linhas verticais após as 1710 UT identificam os instantes em que Zesta et al. (1999) identificou 4 TCV nas observações de superfície.

FONTE: Trivedi et al. (2002a).

Para o estudo da assinatura do evento do dia 9 de novembro de 1993 na região equatorial, utilizou-se a variação da componente H gravada em oito estações equatoriais (Figura 4.2). A amplitude da variação correspondendo ao evento TCV das 1715 UT atingiu amplitude máxima (10~12 nT) em Ancon (1200 LT) e São Luis (1425 UT),

ambas localizadas sob o eletrojato equatorial no lado diurno. As amplitudes foram um pouco menores (~ 5 nT) em Teresina, Belém e Santa Maria, todas com tempo local similar a São Luis, porém bem afastadas da região de atuação do Eletrojato. As perturbações atingiram amplitudes ainda menores (~ 3 nT) em Mokolo (1830 LT), Peradenia (2300 LT) e GUAM (0300 LT), todas no lado noturno. As observações indicam variações coerentes cuja amplitude diminui com a distância em relação ao meio-dia local. As coordenadas geomagnéticas, a latitude DIP e a hora local das estações estão presentes na tabela 1 do artigo de Trivedi et al. (2002a) e podem ser vistos no Anexo C.

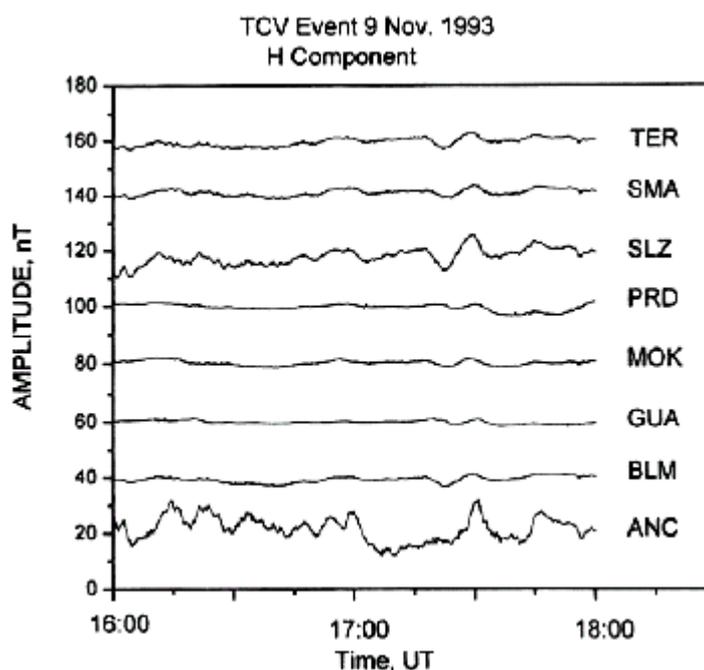


FIGURA 4.2 - Componente H do campo geomagnético medida em Ancon (ANC), Guam (GUA), Mokolo (MOK), Peradenia (PRD), Belém (BLM), São Luis (SLZ), Santa Maria (SMA) e Teresina (TER), para o intervalo entre 1600 UT e 1800 UT do dia 9 de novembro de 1993.

FONTE: Trivedi et al. (2002a).

4.2. Evento de 18 de setembro de 2000, 1445 UT

A Figura 4.3 mostra a variação da componente horizontal, medida nas estações geomagnéticas brasileiras, para o evento de 18 de setembro de 2000, 1445 UT. A componente horizontal sofre um aumento abrupto na intensidade com início próximo ao

horário de ocorrência sugerido para o evento. A assinatura é do tipo SI com amplitude máxima em JIP.

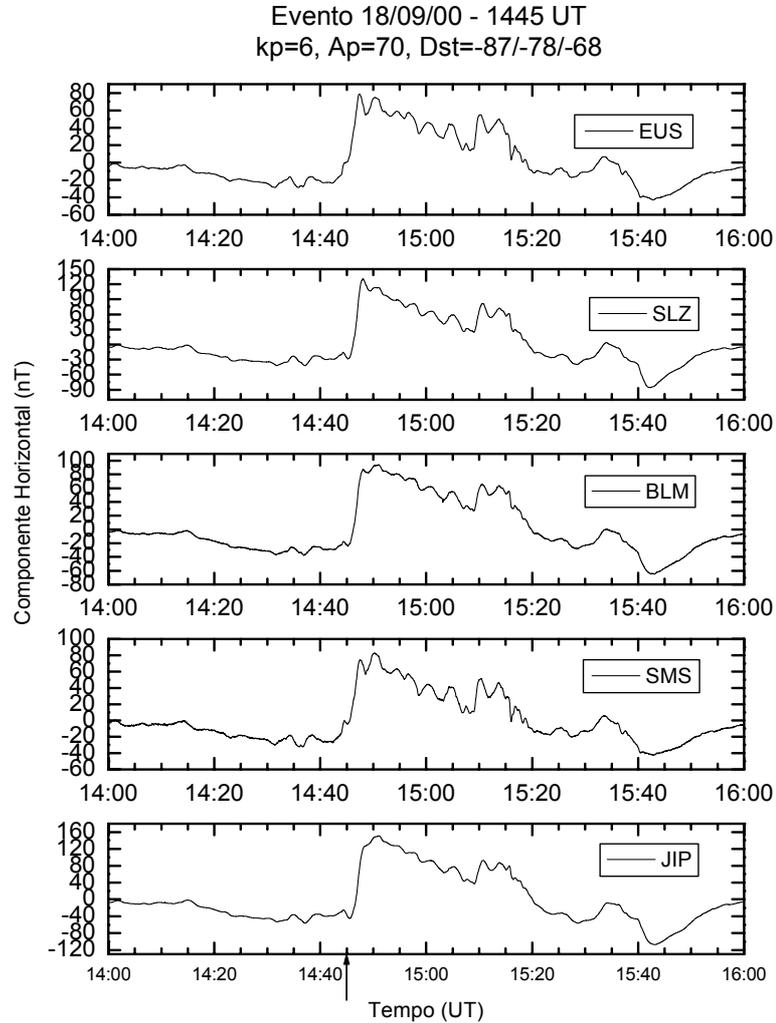


FIGURA 4.3 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo entre 1400 e 1600 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT.

Os dados do meio interplanetário mostram que associado a esse evento existe um pulso na pressão do vento solar (Figura 4.4). O pulso foi detectado pelo satélite ACE no ponto lagrangeano L1 aproximadamente às 14,3 horas. A componente Z do IMF é positiva para o período, sofrendo uma mudança de sinal em torno das 14,3 horas (Figura 4.5).

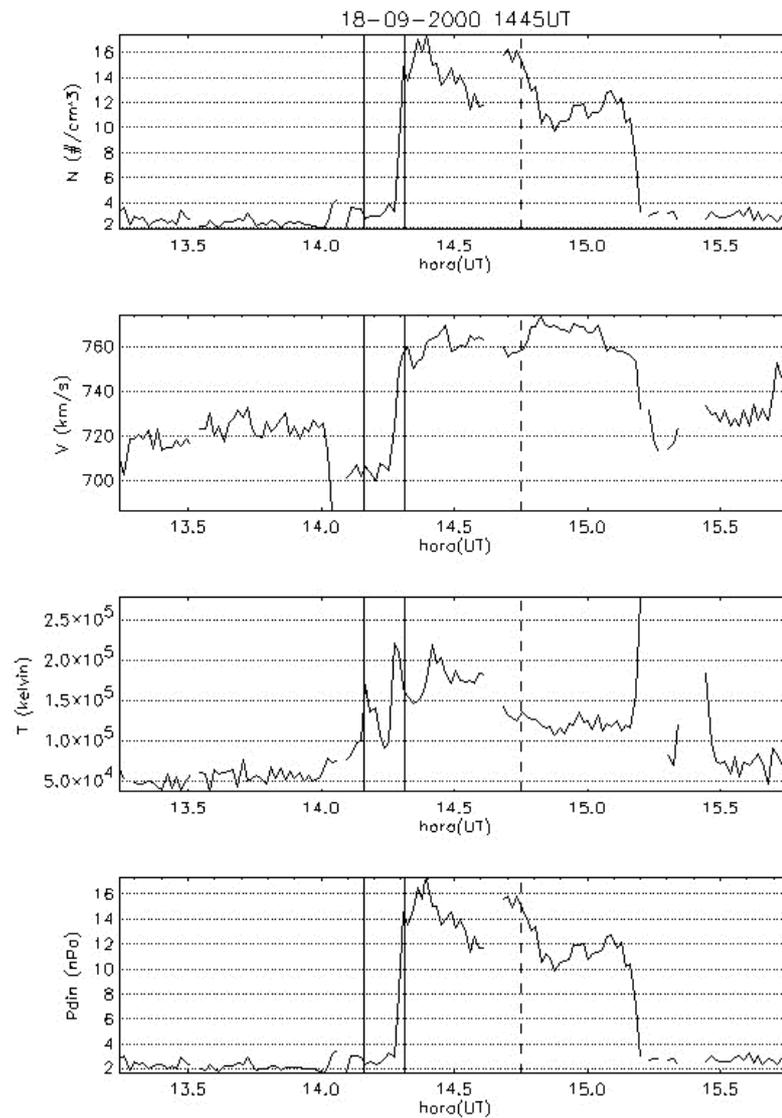


FIGURA 4.4 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

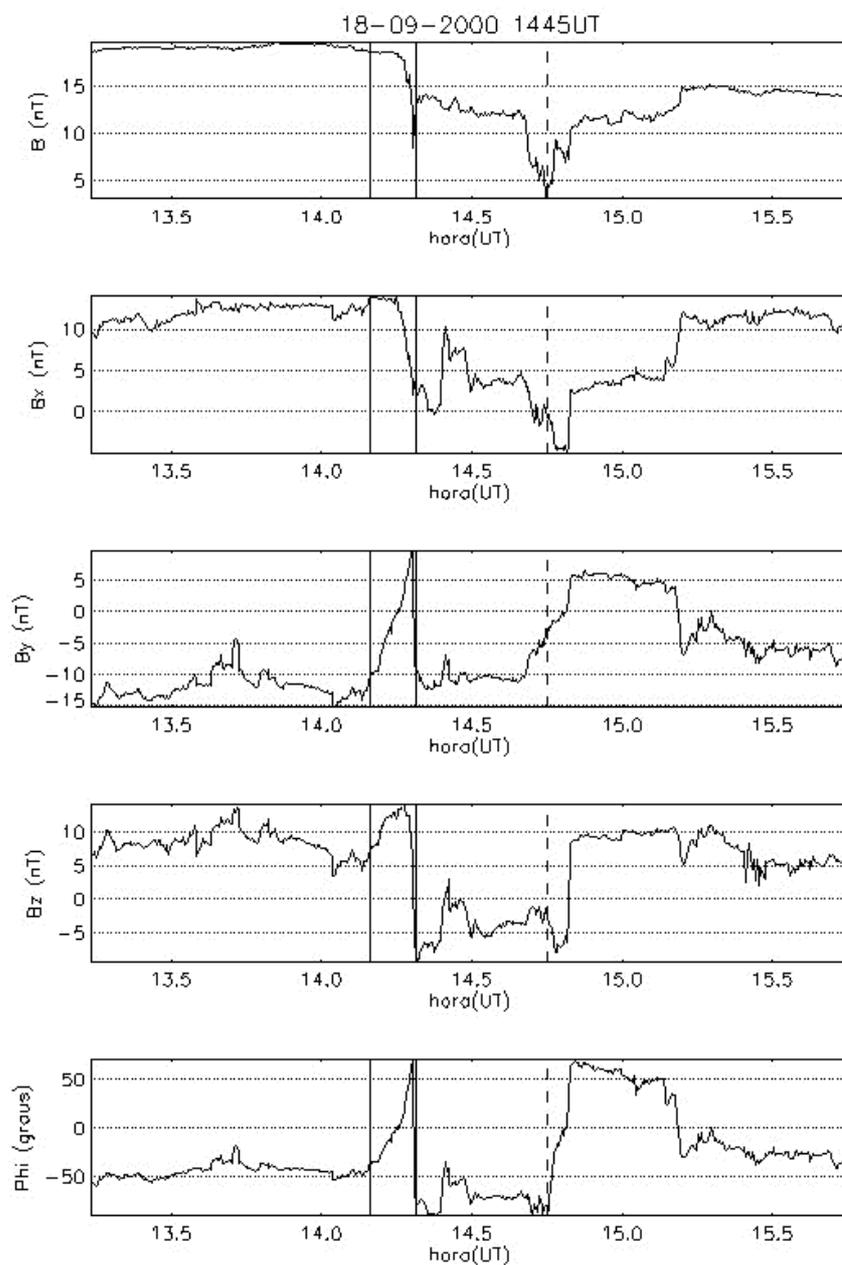


FIGURA 4.5 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Os dados dos satélites de órbita geossíncrona, GOES 8 e 10, apresentam assinatura para o evento aproximadamente as 14,7 horas (Figura 4.6). Essa assinatura é caracterizada por um aumento abrupto na componente H_p do campo geomagnético, associada

provavelmente a uma compressão da magnetosfera devido a chegada do pulso de pressão no vento solar. Apesar de estarem afastados entre si de 4 horas, os GOES 8 e 10 respondem simultaneamente à chegada do pulso de pressão.

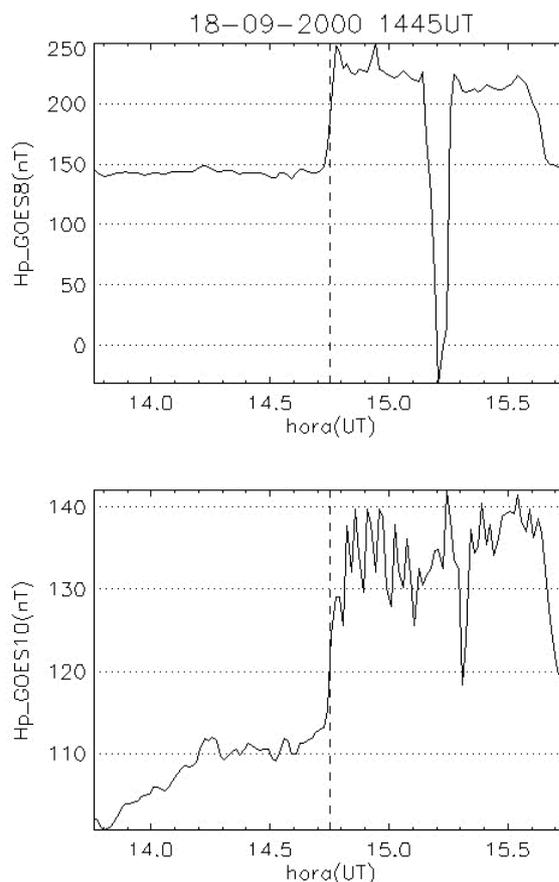


FIGURA 4.6 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

4.3. Evento de 8 de novembro de 2000, 1630 UT

A Figura 4.7 mostra a variação da componente horizontal, medida nas estações geomagnéticas brasileiras, para o evento de 8 de novembro de 2000, 1630 UT. A componente horizontal não apresenta assinatura para o evento em nenhuma das estações brasileiras.

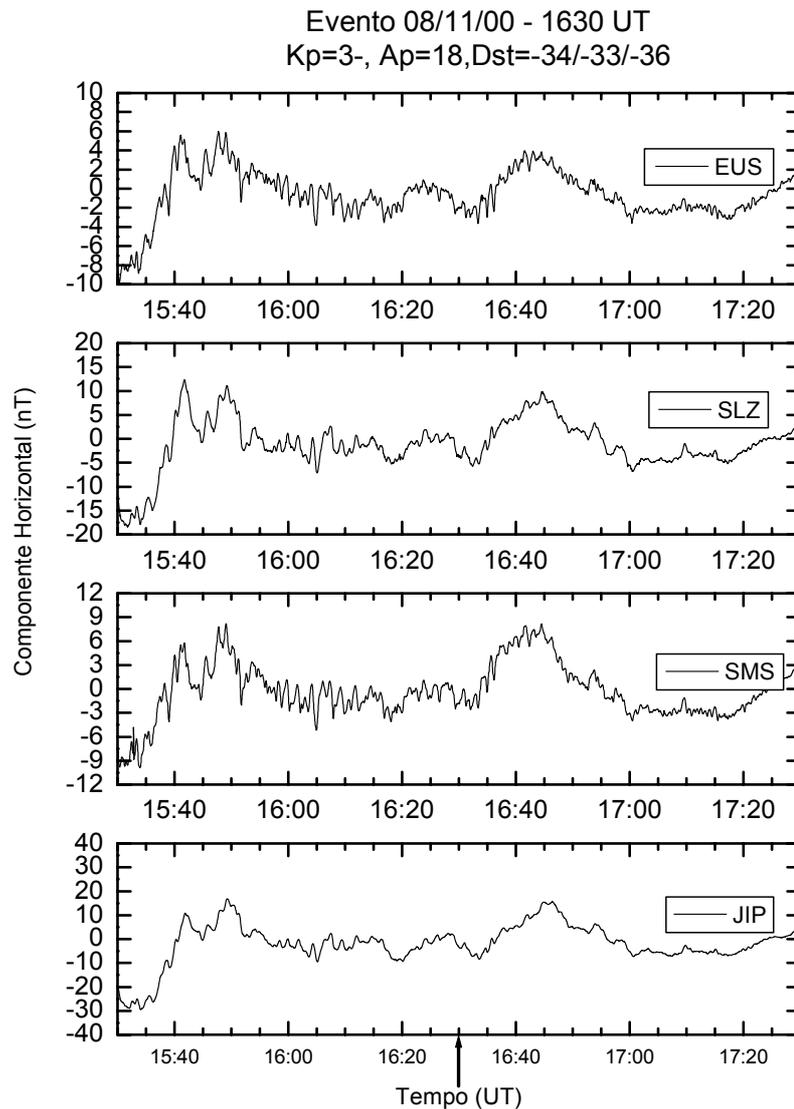


FIGURA 4.7 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1530 e 1730 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1630 UT.

Os parâmetros de plasma e o campo magnético interplanetário, para o período referente ao evento, aparecem nas Figuras 4.8 e 4.9. Não existe variação significativa na pressão do vento solar que possa ser associada ao evento. A componente Z do IMF é pequena e positiva durante o período, o que descarta a ocorrência de processos envolvendo reconexão.

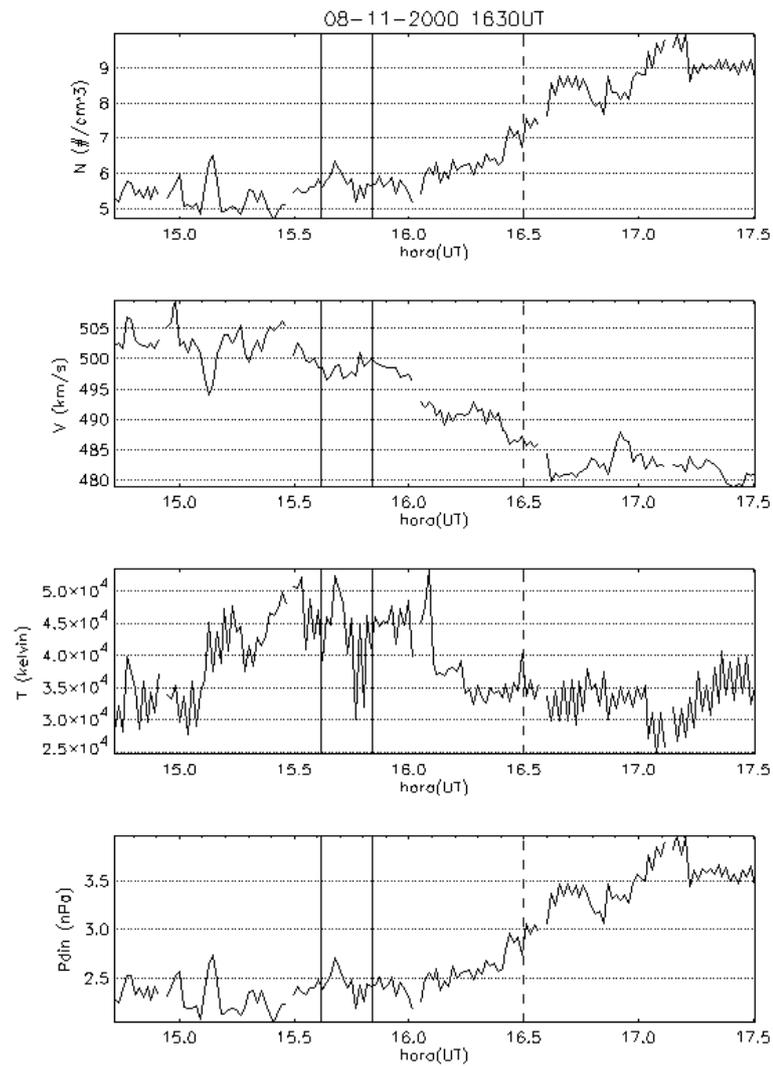


FIGURA 4.8 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

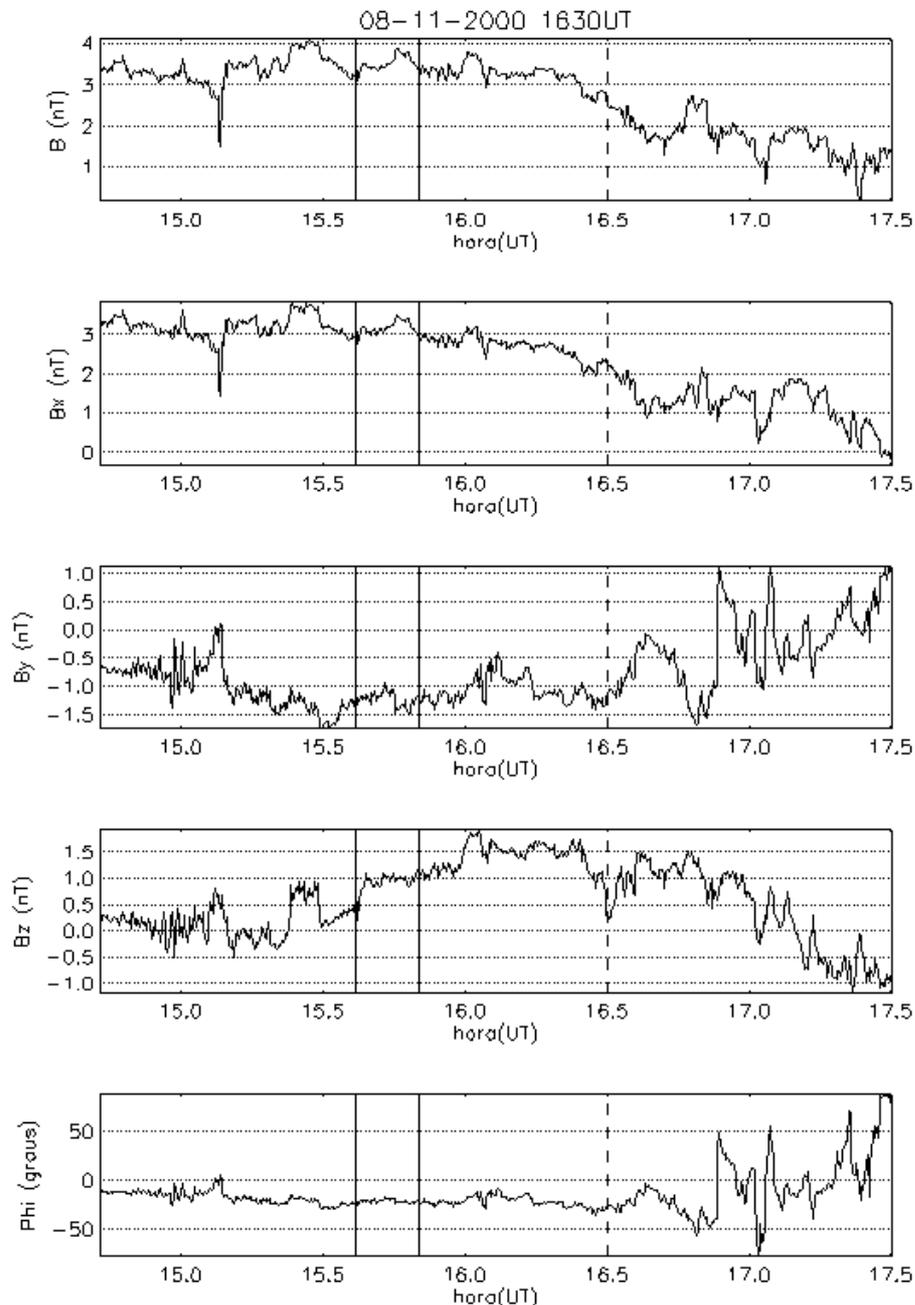


FIGURA 4.9 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

A Figura 4.10 mostra a variação da componente H_p do campo geomagnético em órbita geossíncrona. Os dados dos satélites GOES 8 e 10 não apresentam assinatura clara para o evento.

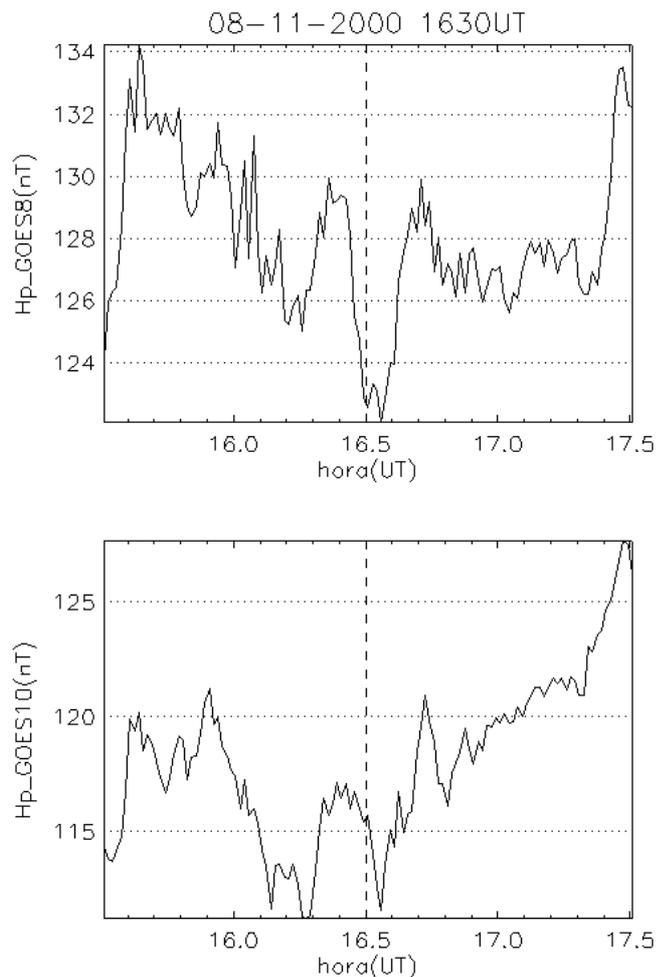


FIGURA 4.10 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

4.4. Conjunto de Eventos

A partir da análise dos dados das estações brasileiras, os eventos foram classificados em eventos com presença muito clara e eventos com presença pouco clara. O critério para classificação foi à amplitude do evento na estação JIP. Eventos com amplitudes em torno de 15 nT ou menores foram classificados como eventos com presença pouco clara. Com essa classificação pretende-se separar os eventos intensos, que se destacam das demais variações presentes no período, cujas características são mais claras e, portanto,

são mais fáceis de estudar. O ponto de corte de 15 nT é uma escolha baseada na análise visual dos gráficos para os eventos em questão.

As Tabelas 4.1 e 4.2 mostram, respectivamente, os eventos com presença muito clara e pouco clara. Nelas estão presentes a data e hora de ocorrência do evento, em tempo universal, e os valores médios obtidos para os parâmetros de plasma e para o IMF, num intervalo de uma hora em torno do horário de ocorrência do evento no ponto lagrangeano L1.

Os gráficos da variação da componente horizontal nas estações brasileiras e canadenses, juntamente com os dados dos satélites GOES 8 e 10 e os dados do ACE, encontram-se no apêndice B do trabalho. Eles mostram as características dos eventos com presença muito clara no meio interplanetário, na magnetosfera e na superfície.

TABELA 4.1: Data e hora de ocorrência dos eventos com assinatura muito clara, juntamente com os valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes.

DATA	HORA (UT)	B (nT)	Bx (nT)	By (nT)	Bz (nT)	N (#/cm ³)	V (km/s)	T (K)	P (nPa)
04/09/00	13:40	5.88	-4.53	0.52	1.57	9.43	458.02	84098.97	3.39
06/09/00	17:05	14.15	-4.03	11.87	4.38	21.74	444.04	112078.66	7.71
11/09/00	14:00	5.52	-1.75	2.81	3.59	8.63	357.45	22723.77	1.88
11/09/00	15:50	6.21	-0.17	4.87	1.72	5.52	352.34	20986.93	1.17
17/09/00	17:20	24.23	7.99	-8.84	16.62	14.4	662.59	36470.72	10.93
17/09/00	19:25	26.42	9.78	-5.5	14.93	17.98	672.07	529540.81	13.68
18/09/00	10:00	20.7	5.55	-10.59	16.08	4.42	758.83	122326.12	4.35
18/09/00	14:45	15.86	8.55	-9.71	3.34	7.41	740.03	115972.95	7.19
05/10/00	16:30	9.07	-2.08	-6.52	-3.83	20.61	510.48	66540.46	9.19
17/10/00	14:00	6.03	4.9	-2.64	-0.59	3.99	486.82	126415.95	1.62
28/10/00	10:00	8.62	-2.87	6.31	-4.43	28.05	405.85	81488.5	8.27
28/10/00	21:30	16.85	1.75	6.08	5.31	26.34	408.32	116370.02	7.5
07/11/00	18:30	19.66	2.83	-0.67	18.29	16.03	453.45	68962.71	5.62
07/11/00	19:15	17.12	2.21	-4.99	15.03	18.16	451.51	72470.18	6.34
07/11/00	20:25	17.06	5.39	1.55	15.48	9.94	451.02	52306.79	3.46
08/11/00	10:40	13.15	2.98	-4.26	8.72	34.12	445.81	52854.98	11.67
08/11/00	11:00	13.4	3.16	0.69	8.33	33.74	449.93	58502.66	11.74
11/11/00	16:30	6.09	4.84	-2.58	-0.64	1.59	782.74	132462.34	1.67
26/11/00	12:05	10.47	1.11	6.37	6.4	15.66	569.54	405488.03	9.23
29/11/00	19:30	7.83	2.74	0.73	6.31	5.73	475.21	56630.89	2.22
07/12/00	14:15	9.11	1.76	-6.09	3.44	11.2	446.8	84397.52	3.83

TABELA 4.2: Data e hora de ocorrência dos eventos com assinatura pouco clara, juntamente com os valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes. (Continua)

DATA	HORA(UT)	B (nT)	Bx (nT)	By (nT)	Bz (nT)	N (#/cm ³)	V (km/s)	T (K)	P (nPa)
13/09/00	19:45	2.68	0.57	1.01	-1.1	6.33	377.28	37849.93	1.54
18/09/00	15:40	12.3	6.51	-1.41	5.77	5.4	739.93	96056.35	5.23
19/09/00	16:40	5.06	2.95	-1.99	1.09	5.28	601.65	43876.45	3.26
19/09/00	17:00	5.49	4.78	-0.54	1.1	5.44	597.6	42940.82	3.32
19/09/00	17:30	6.05	5.79	-0.39	1.14	5.75	593.55	39143.07	3.46
22/09/00	16:50	4.72	1.53	-3.13	1.47	4.59	445.88	69669.49	1.56
01/10/00	14:15	1.68	-1.33	0.66	0.04	5.04	407.26	28519.54	1.43
01/10/00	15:20	1.89	-1.37	-0.37	-0.06	4.23	400.36	21712.76	1.16
01/10/00	17:40	1.44	-0.06	-0.16	0.3	4.4	390.62	22337.62	1.15
01/10/00	20:50	3.04	-0.63	-1.03	2.39	5.18	391.53	22265.03	1.36
04/11/00	14:35	9.14	-7.06	4.17	1.97	7.14	431.02	160632.88	2.25
08/11/00	13:25	7.7	5.64	0.09	5.01	8.74	488.02	72211.17	3.47
08/11/00	16:30	3.48	3.09	-1.18	0.83	6.78	491.82	38548.27	2.79
08/11/00	17:30	2.27	1.77	-0.67	4	8.44	481.83	33550.14	3.34
12/11/00	12:15	4.22	1.02	-0.81	3.19	2.16	670.33	124475.84	1.65
13/11/00	17:30	5	2.78	-3.09	1.66	3.34	565.67	85701.54	1.82
13/11/00	17:50	4.92	1.19	-4.12	1.17	3.37	563.91	90107.77	1.83
13/11/00	20:35	4.5	2.28	-1.82	0.49	3.28	560.27	86755.23	1.76
28/11/00	18:00	7.68	-3.84	-4.12	0.54	5.93	569.94	83966.16	3.29
04/12/00	14:25	6.95	1.51	-1.78	6.48	5.55	352.67	17767.6	1.18
05/12/00	10:00	4.87	2.48	-0.79	3.87	10.02	354.11	34150.21	2.15
05/12/00	12:30	3.71	-2.53	0.96	-1.28	9.74	361.29	28659.8	2.19

TABELA 4.2: Conclusão.

06/12/00	18:15	6.29	-4.39	3.53	1.09	11.65	349.81	39493.24	2.44
07/12/00	15:30	9.8	5.94	-5.99	2.43	10.47	439.83	79920.16	3.47
07/12/00	18:45	9.72	7.71	-3.37	-0.59	11.22	445.25	88064.38	3.8
08/12/00	17:15	8.79	6.04	-4.96	-0.46	6.84	597.62	146683.7	4.18
09/12/00	13:30	5.63	4.45	-2.64	0.47	3.54	618.37	100697.39	2.31
09/12/00	14:07	5.64	3.96	-3	-0.39	3.55	616.8	101071.85	2.31
09/12/00	17:25	5.05	2.69	-2.38	-2.93	3.29	634.23	149806.31	2.26
10/12/00	12:15	4.43	1.86	-2.6	0.52	2.65	610.64	86019.73	1.88
10/12/00	15:15	4.64	3.67	-1.21	1.09	2.89	598.12	89838.99	1.76
10/12/00	15:55	4.63	3.88	-2.32	-0.33	2.77	593.96	88037.02	1.67
12/12/00	12:30	3.63	2.39	-1.47	0.06	2.56	462.97	92365.91	0.94
12/12/00	21:40	3.97	3.63	0.62	-0.63	3.55	425.47	72810.96	1.1
28/12/00	15:35	3.92	-1.63	2.3	-1.52	15.92	411.19	49615.8	4.58

A partir das médias dos parâmetros de plasma e do IMF foram construídos histogramas para verificar sua influência na ocorrência dos eventos em baixas latitudes. As Figuras 4.11 e 4.12 mostram, respectivamente, os histogramas obtidos para os eventos com presença muito clara e pouco clara.

Para os eventos com presença muito clara, o valor médio do IMF total varia entre 5 e 30 nT e é possível verificar um aumento na ocorrência com a redução da intensidade do IMF total. Os eventos ocorrem tanto para valores positivos como para valores negativos das componentes do IMF, sendo que a ocorrência é maior para casos onde a componente X é positiva e varia entre 1 e 3 nT. Os eventos ocorrem preferencialmente para valores positivos da componente Z do IMF. Assim como o IMF, os valores médios dos parâmetros de plasma não parecem ter controle na ocorrência de eventos com presença clara nas estações equatoriais brasileiras. Eventos com presença muito clara ocorrem para valores de densidade entre zero e 35 \#/cm^3 . Há um maior número de eventos com velocidades entre 400 e 500 km/s e com temperatura entre 0 e 10^5 K. Os valores médios da pressão no vento solar estão distribuídos entre 0 e 14 nPa.

Os eventos com presença pouco clara apresentam IMF total variando entre 0 e 14 nT, sendo que a ocorrência aumenta para valores de IMF total entre 4 e 6 nT. O sinal das componentes do IMF parece não controlar a ocorrência dos eventos com presença pouco clara na região equatorial. Entretanto, há um aumento na ocorrência dos eventos à medida que a componente X assume valores positivos entre 2 e 4 nT, a componente Y assume valores negativos entre -3 e -1 nT, e a componente Z aproxima-se de zero. Para os parâmetros de plasma, temos que a ocorrência é maior para valores menores da densidade e da pressão do vento solar. A densidade não ultrapassa valores maiores que 16 \#/cm^3 e a pressão não é maior que 5,5 nPa. A velocidade e a temperatura têm, em geral, valores menores do que aqueles obtidos para os eventos com presença muito clara.

Eventos com presença muito clara

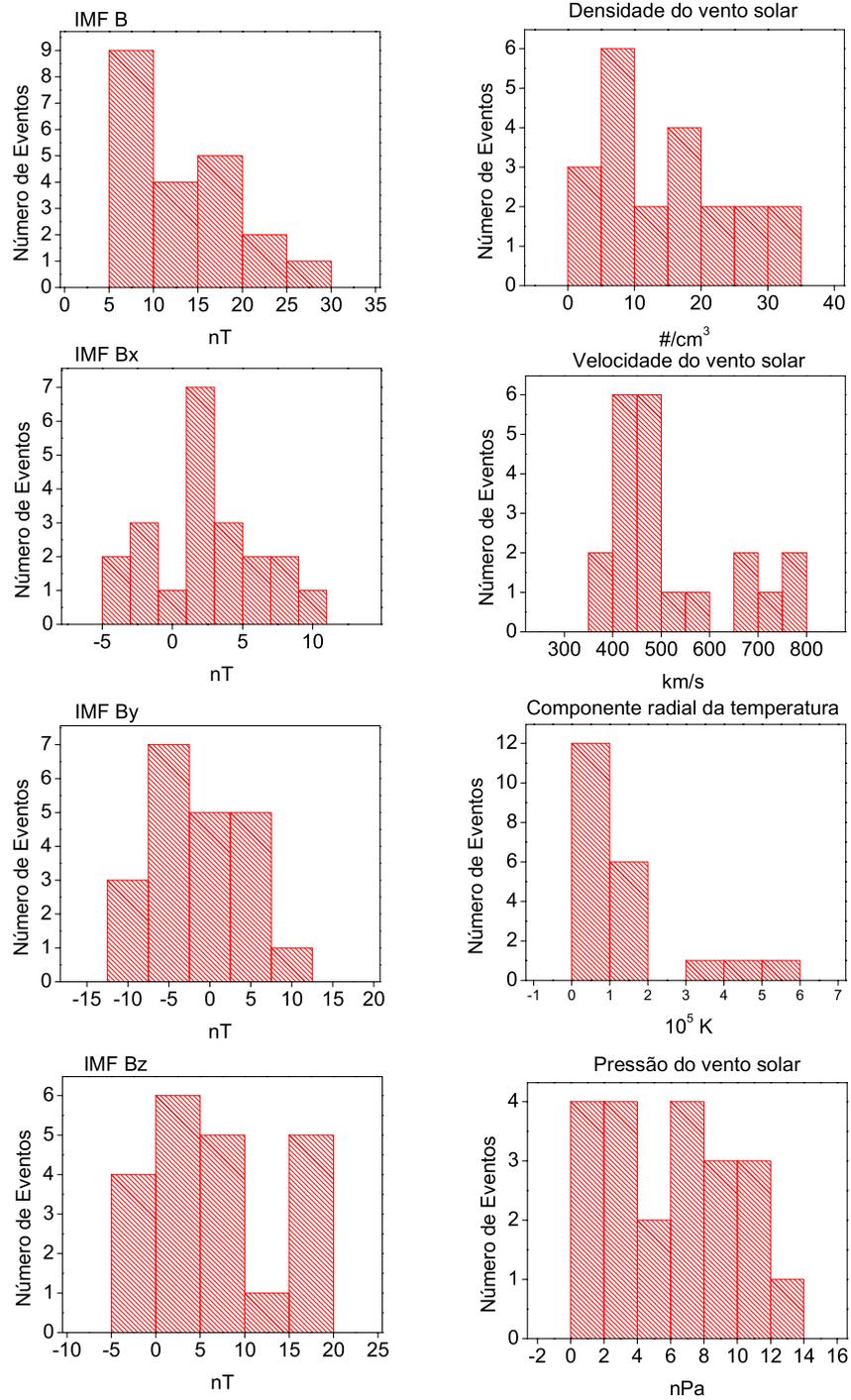


FIGURA 4.11 - Distribuição dos valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes para os eventos com presença muito clara.

Eventos com assinatura pouco clara

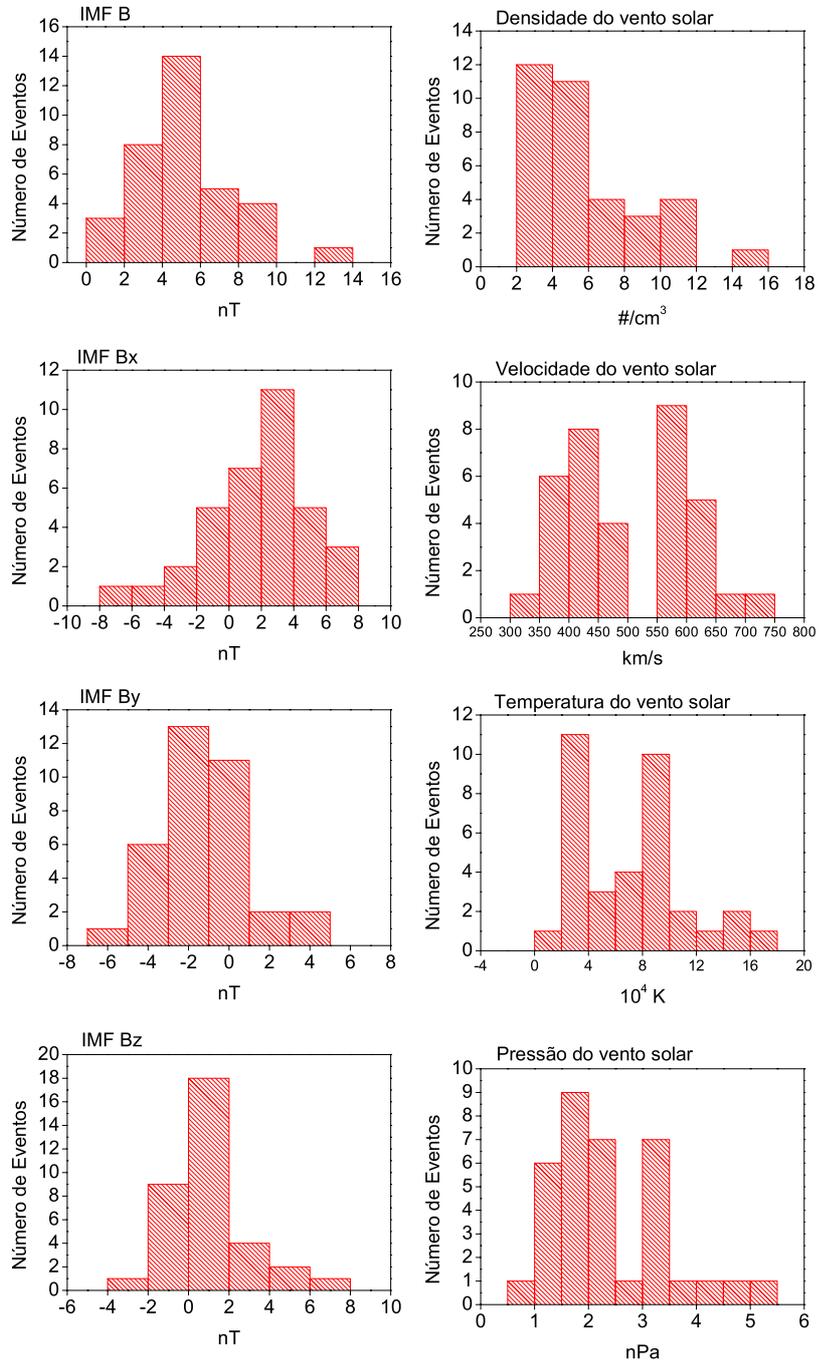


FIGURA 4.12 - Distribuição dos valores médios dos parâmetros de plasma, IMF e suas componentes para os eventos com presença pouco clara.

A Figura 4.13 mostra a distribuição dos eventos em relação ao horário de ocorrência. A hora local para as estações brasileiras é em torno de $LT=UT-3$, variando de estação para estação. A largura de cada barra é de 144 minutos. Os eventos distribuem-se em torno do meio-dia local. Aqueles com presença muito clara estão quase que igualmente distribuídos, enquanto que a maior incidência de eventos com presença pouco clara está mais próxima do meio-dia local, ou após para ambos. A hora de ocorrência, independente de qualquer outro fator, parece não ter influência na distribuição dos eventos entre muito claros e pouco claros.

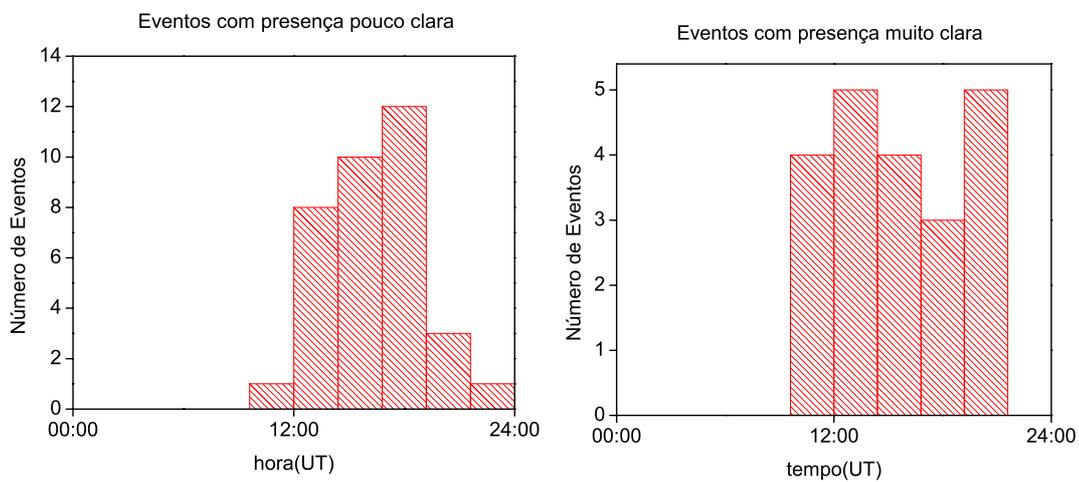


FIGURA 4.13 - Distribuição dos eventos com presença pouco clara e muito clara em relação à hora de ocorrência, em tempo universal.

Como foi dito antes, um dos mecanismos de geração sugeridos para os eventos transientes são variações na pressão do vento solar. Aumento (redução) na intensidade da pressão do vento solar provoca uma compressão (expansão) da magnetosfera. Pulsos de pressão geram ondas compressoriais que se propagam perpendicularmente às linhas de campo e sua assinatura pode ser vista como aumento/decréscimo da componente H_p nos dados de satélites geossíncronos, bem como aumento/decréscimo da componente horizontal medida nas estações magnéticas de superfície localizadas em baixas latitudes ou na região equatorial. A Tabela 4.3 mostra a associação dos eventos cuja presença é clara na região equatorial com variações intrínsecas na pressão do vento solar. A tabela também mostra o valor da pressão antes e após a variação, bem como a ocorrência de assinatura nos satélites de órbita geossíncrona GOES 8 e 10.

TABELA 4.3: Associação dos eventos com presença muito clara a variações abruptas na pressão do vento solar. As grandezas P_i e P_f são os valores aproximados da pressão antes e após a variação abrupta, respectivamente. Também é indicada a presença ou não da assinatura de alguma perturbação no campo geomagnético medida pelos satélites GOES.

#	Evento	Variação na pressão do vento solar	P_i	P_f	Assinatura no GOES	
					8	10
A	04-09-2000 1340UT	sim	1.5	4	sim	sim
B	06-09-2000 1705UT	sim	2	12	sim	sim
C	11-09-2000 1400UT	sim	1.5	3	sim	sim
D	11-09-2000 1550UT	sim	1.5	2.5	sim	sim
E	17-09-2000 1720UT	sim	6	14	sim	sim
F	17-09-2000 1925UT	sim	8	20	sim	sim
G	18-09-2000 1000UT	sim	4	8	sim	não
H	18-09-2000 1445UT	sim	3	16	sim	sim
I	05-10-2000 1630UT	sim	4	12	sim	sim
J	17-10-2000 1400UT	não	--	--	não	não
L	28-10-2000 1000UT	sim	2	14	sim	sim
M	28-10-2000 2130UT	sim	6	11	não	sim
N	07-11-2000 1830UT	sim	2	10	sim	sim
O	07-11-2000 1915UT	sim	4	14	sim	sim
P	07-11-2000 2025UT	sim	5	10	sim	sim
Q	08-11-2000 1040UT	sim	7	15	sim	não
R	08-11-2000 1100UT	sim	10	16	sim	não
S	11-11-2000 1630UT	não	--	--	não	não
T	26-11-2000 1205UT	sim	4	16	sim	sim
U	29-11-2000 1930UT	sim	2	3.5	sim	sim
V	07-12-2000 1415UT	não	--	--	sim	não

Os resultados na Tabela 4.3 mostram que a maioria dos eventos com presença muito clara na região equatorial estão associados a variações intrínsecas na pressão do vento solar, medidas pelo satélite ACE. Alguns dos eventos cuja presença de variação na pressão do vento solar não foi identificada nos dados do satélite ACE apresentam assinatura nos dados de algum dos satélites de órbita geossíncrona GOES 8 ou 10. O

fato de não haver variação na pressão do vento solar nos dados do satélite ACE, e haver assinatura para o evento nos dados de um dos satélites GOES, pode significar que houve geração de pulsos de pressão na região do arco de choque. A interpretação dos eventos em termos de pulsos de pressão gerados no arco de choque é sugerida no trabalho de Sibeck e Korotova (1996).

A Figura 4.14 mostra a intensidade dos eventos para cada estação em forma de gráfico de barras. JIP apresenta maior intensidade na maioria dos eventos, exceto nos eventos G e L (ver legenda dos eventos na figura). Esse fato se deve provavelmente à influência da hora local de ocorrência do evento e da posição privilegiada da estação em relação ao eletrojato equatorial. Quanto mais distante do meio-dia local a estação estiver, quando da ocorrência do evento, menor será o efeito de amplificação do sinal pelo eletrojato equatorial. A estação SMS encontra-se distante do equador magnético, onde o efeito do eletrojato equatorial não deveria ser percebido, e mesmo assim apresenta amplitude maior que EUS, SLZ e BLM para alguns eventos. Notar que SMS encontra-se na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

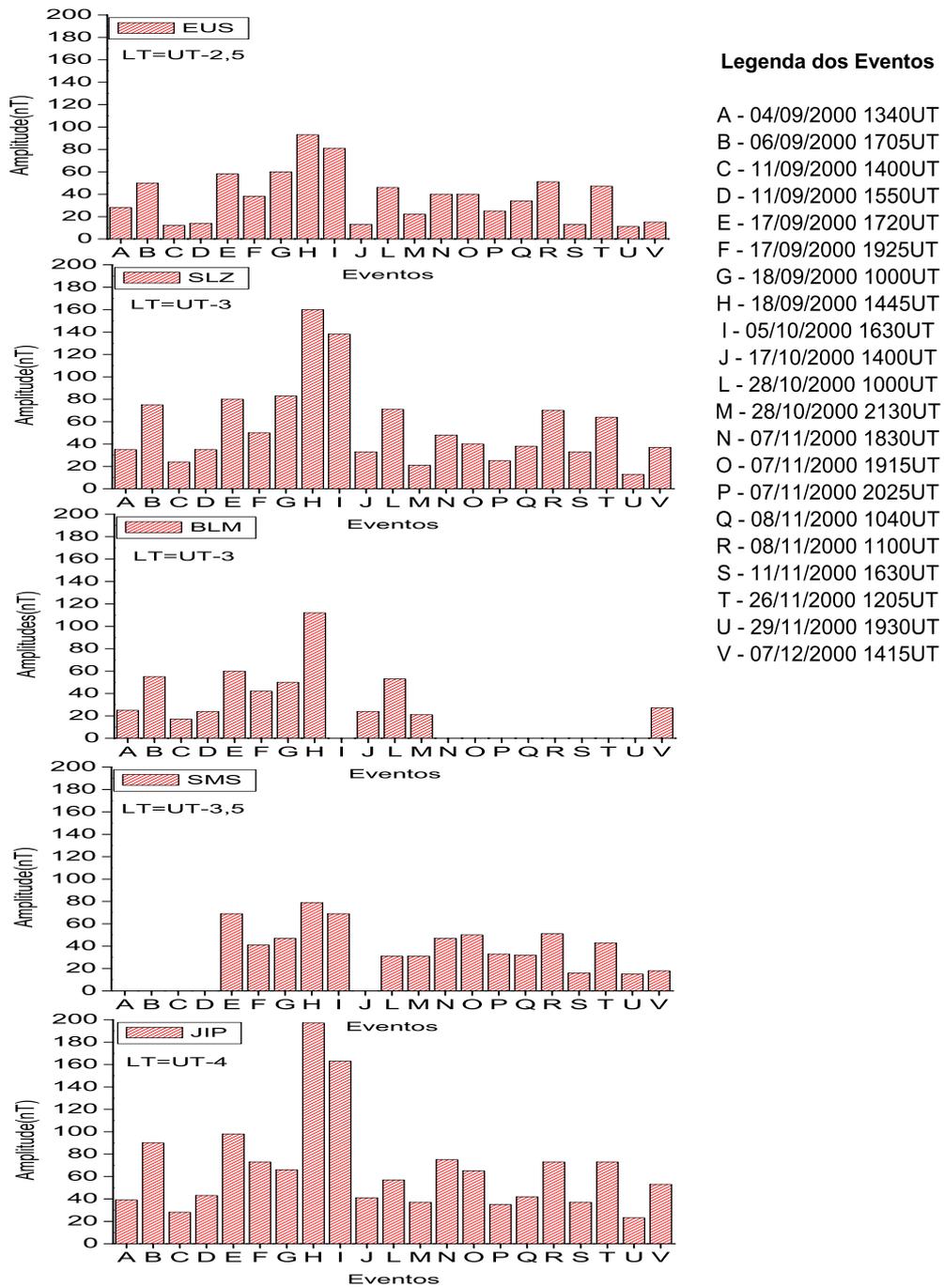


FIGURA 4.14 - Amplitude dos eventos nas estações brasileiras.

A Figura 4.15 mostra uma comparação entre a amplitude dos eventos em SMS e nas outras estações. SMS apresenta amplitude maior que EUS para os eventos E, F, M, N, O, P, U e V (8 eventos). Para a estação SLZ vemos que a amplitude em SMS é maior nos eventos M, O, P e U (4 eventos). A comparação entre BLM e SMS mostra que a amplitude é maior em SMS para os eventos E e M (2 eventos). A amplitude em JIP é maior que em SMS para todos os eventos.

A mesma comparação é feita entre a amplitude dos eventos em VSS e nas outras estações (Figura 4.16). Esta comparação é importante, pois VSS está fora da região de atuação do eletrojato equatorial e distante do centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, o que ajuda a determinar a influência da AMAS na amplitude dos eventos em SMS. A estação VSS apresenta amplitude maior que EUS para os eventos G, M, P, R, U e V (6 eventos); maior que SLZ para os eventos M e P (2 eventos), maior que BLM para os eventos G e M (2 eventos); e não há nenhum evento em que VSS tenha amplitude maior que JIP.

Por fim, um gráfico comparativo entre VSS e SMS é mostrado na Figura 4.17. A amplitude dos eventos em SMS é maior que em VSS para os eventos E, F, I, M, N, O, P, Q, S, T, U e V (12 eventos). Esses eventos correspondem a 75 % dos casos em que é possível realizar uma comparação entre as estações.

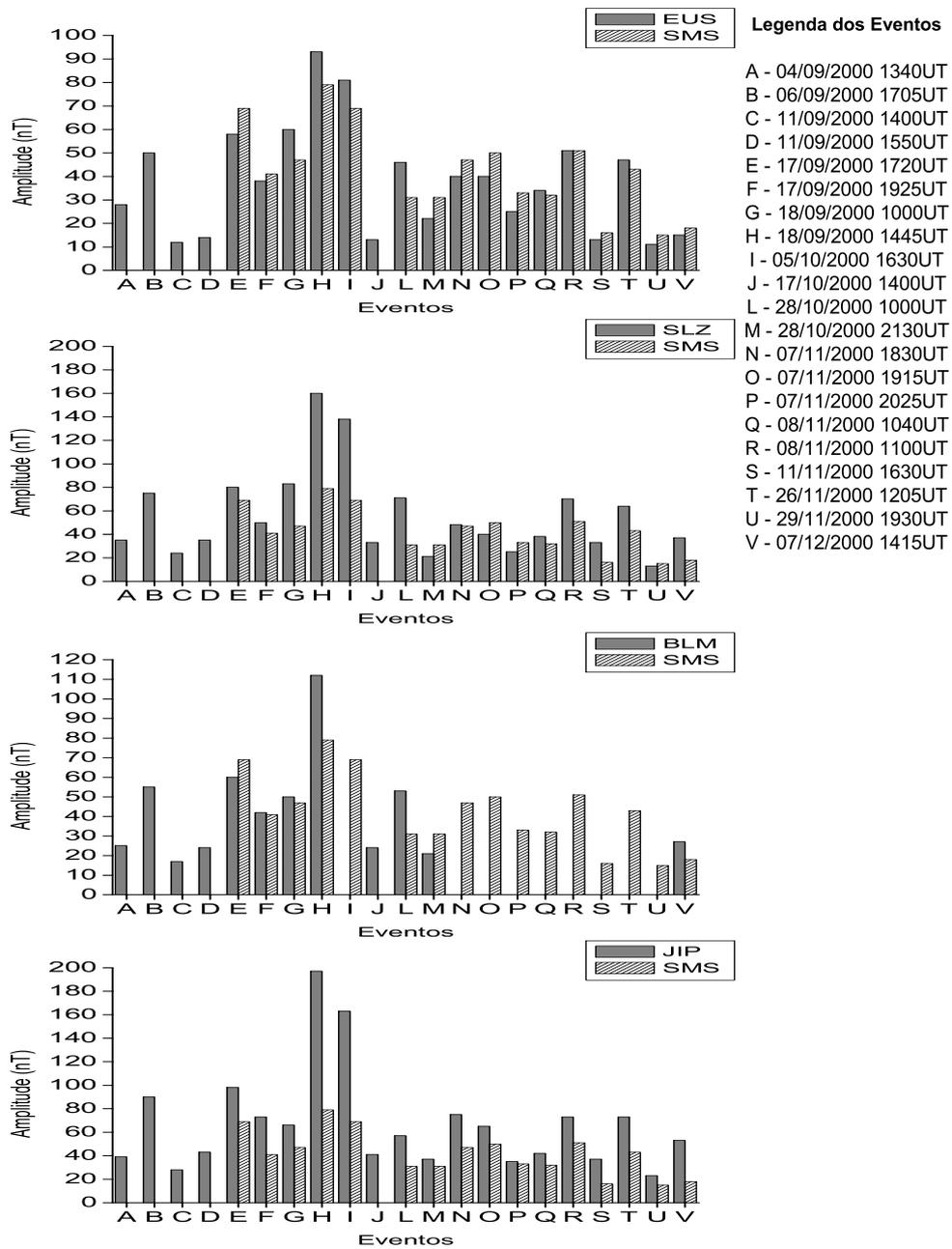


FIGURA 4.15 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em SMS e nas demais estações brasileiras.

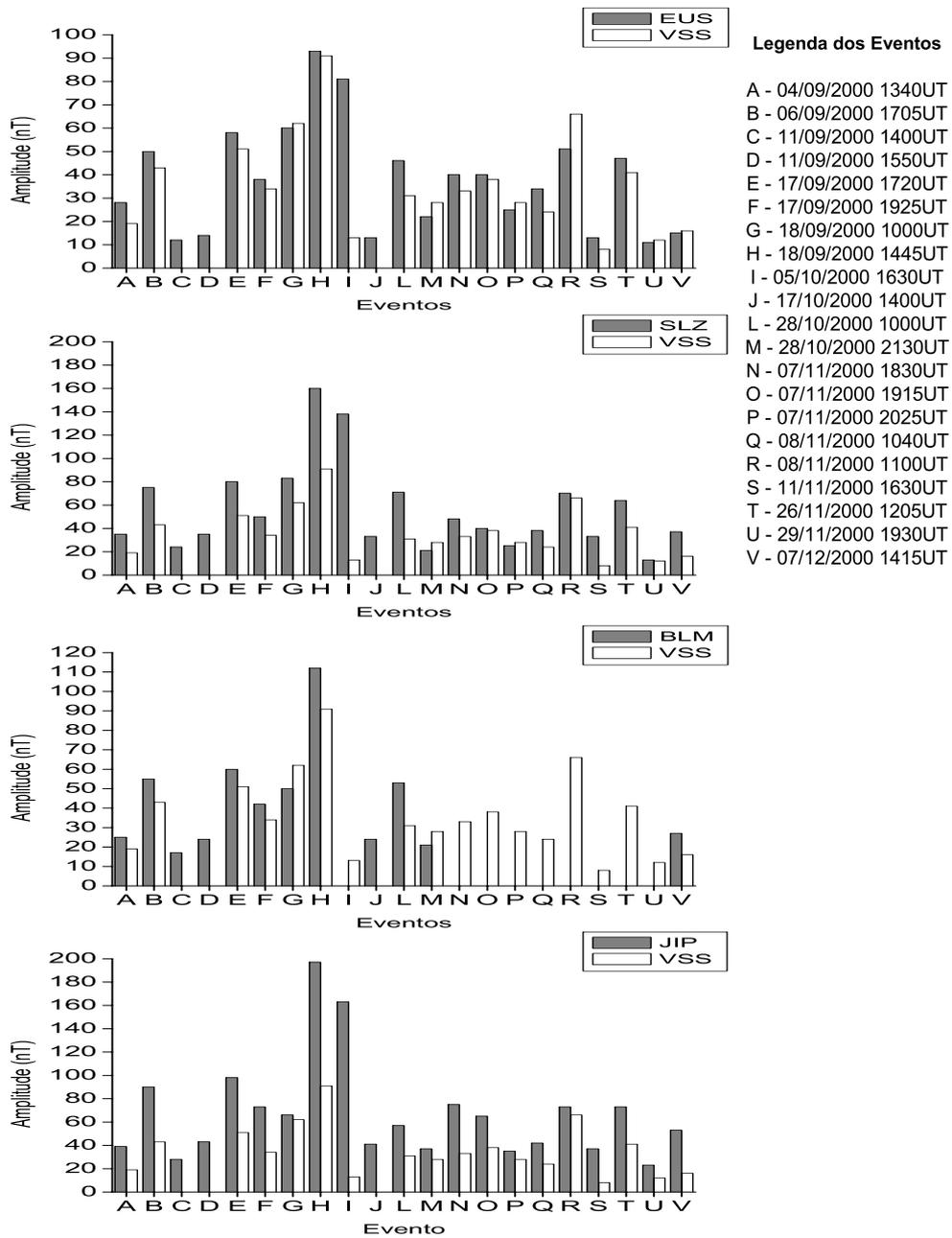


FIGURA 4.16 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em VSS e nas demais estações brasileiras.

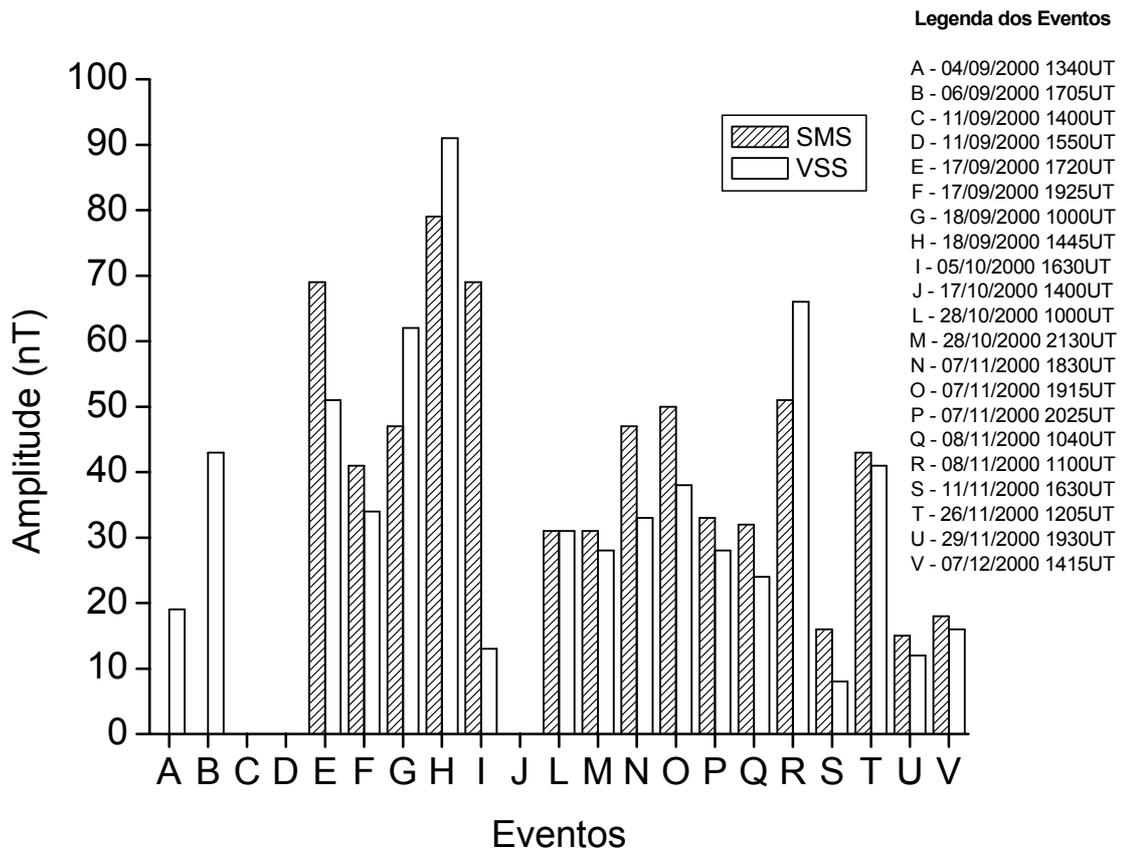


FIGURA 4.17 - Figura comparativa da amplitude dos eventos em SMS e VSS.

Os gráficos acima possibilitaram a identificação dos eventos em que SMS tem amplitude maior que as demais estações, VSS tem amplitude maior que as demais estações e SMS tem amplitude maior que VSS. Fazendo uma combinação destes três gráficos é possível identificar os eventos em que SMS tem amplitude maior que as outras estações e maior que VSS, porém VSS apresenta amplitude menor do que as outras estações. Essa comparação destaca os eventos em que a amplitude é maior próximo ao equador magnético e menor nas regiões de baixa latitude, sendo amplificada em SMS devido a presença da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. O trabalho de Trivedi et al. (2002b) mostra que a precipitação de elétrons nas regiões D e E da ionosfera sobre a Anomalia Magnética do Atlântico Sul, pode aumentar a amplitude dos impulsos súbitos e das pulsações na componente *H* das variações geomagnéticas

observadas nas estações geomagnéticas de superfície, localizadas próximo ao centro da anomalia.

A Figura 4.18 mostra uma comparação entre a amplitude máxima dos eventos nas estações canadenses e nas estações brasileiras. É possível verificar que os eventos em altas latitudes são bem mais intensos e que a tendência da amplitude em baixas e altas latitudes segue o mesmo comportamento. A razão entre as amplitudes das estações canadenses e brasileiras tem um valor médio de 4,2 e varia entre o mínimo de 1,9 e o máximo de 7,5.

4.5. Correlação entre os Eventos

Utilizando a técnica de correlação cruzada, determinou-se a defasagem das estações SMS, EUS, SLZ e BLM em relação a JIP, a estação mais a oeste, para os eventos com presença muito clara. A correlação foi aplicada a um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento. A Tabela 4.4 mostra os resultados, onde a defasagem é dada em segundos.

A partir da defasagem e da distância angular entre as estações pode-se calcular a velocidade de propagação do evento em relação à estação mais a oeste (JIP). A Tabela 4.5 mostra as velocidades, dadas em graus por segundo, calculadas dessa maneira. Com isto tem-se uma indicação relativa dos valores reais da velocidade.

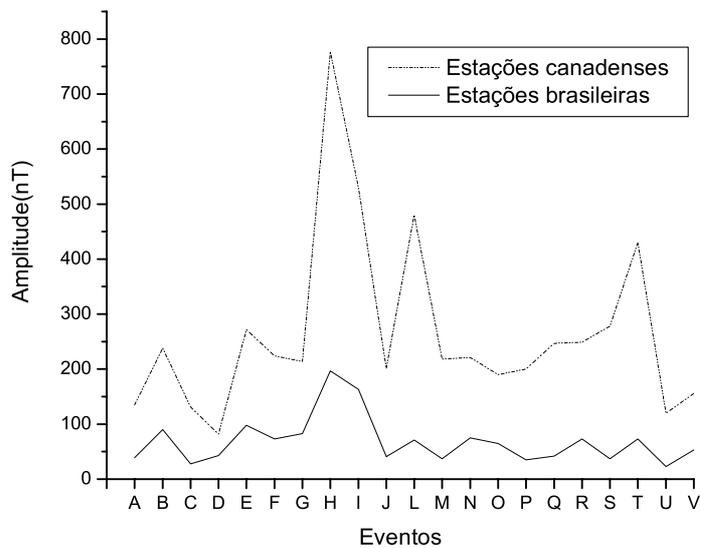
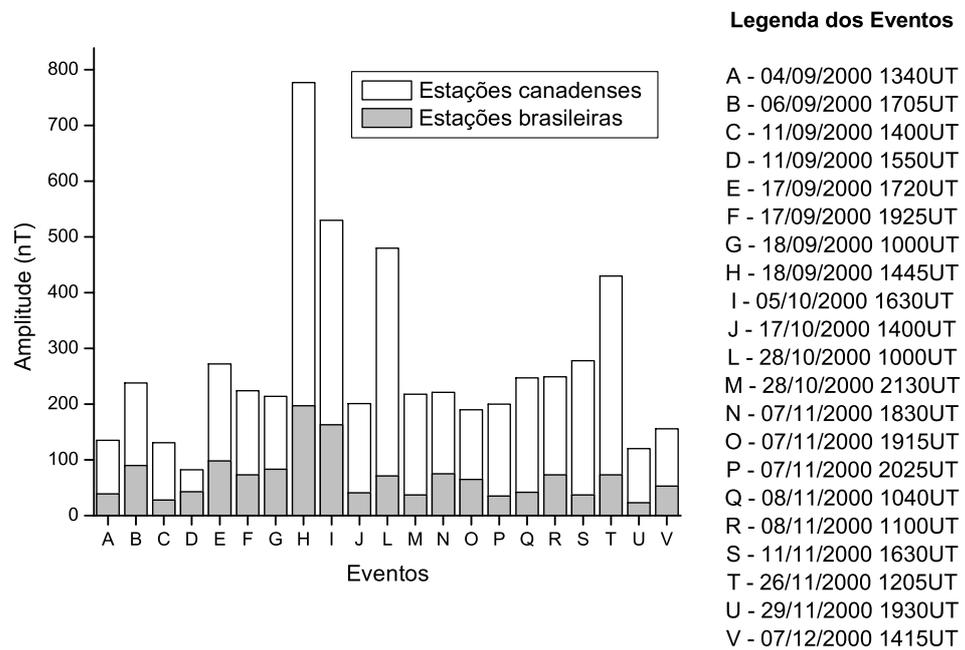


FIGURA 4.18 - Comparação da amplitude máxima entre as estações canadenses e brasileiras.

TABELA 4.4: Defasagem, em segundos, encontrada entre JIP e as demais estações. Para o cálculo da defasagem utilizou-se a técnica de correlação cruzada para um intervalo de duas em torno do horário de ocorrência do evento.

Evento	hora	EUS	SLZ	BLM	SMS
04/09/00	13:40	40	34	6	--
06/09/00	17:05	50	32	20	--
11/09/00	14:00	80	26	16	--
11/09/00	15:50	56	28	18	--
17/09/00	17:20	20	12	4	20
17/09/00	19:25	22	10	6	20
18/09/00	10:00	8	6	0	22
18/09/00	14:45	60	28	24	50
05/10/00	16:30	56	28	--	50
17/10/00	14:00	122	32	18	--
28/10/00	10:00	20	2	18	66
28/10/00	21:30	16	16	6	18
07/11/00	18:30	48	18	--	42
07/11/00	19:15	34	24	--	32
07/11/00	20:25	20	14	--	24
08/11/00	10:40	34	4	--	48
08/11/00	11:00	34	4	--	48
11/11/00	16:30	26	8	--	14
26/11/00	12:05	26	14	--	38
29/11/00	19:30	52	34	--	46
07/12/00	14:15	50	52	12	22

TABELA 4.5: Velocidade de propagação dos eventos, em relação a JIP, calculadas dividindo-se à distância da estação, em graus, pela defasagem, em segundos.

Evento	Hora	EUS	SLZ	BLM
04/09/00	13:40	0,61	0,57	2,72
06/09/00	17:05	0,49	0,61	0,82
11/09/00	14:00	0,30	0,75	1,02
11/09/00	15:50	0,43	0,70	0,91
17/09/00	17:20	1,21	1,63	4,08
17/09/00	19:25	1,10	1,95	2,72
18/09/00	10:00	3,03	3,25	--
18/09/00	14:45	0,40	0,70	0,68
05/10/00	16:30	0,43	0,70	--
17/10/00	14:00	0,20	0,61	0,91
28/10/00	10:00	1,21	9,75	0,91
28/10/00	21:30	1,52	1,22	2,72
07/11/00	18:30	0,51	1,08	--
07/11/00	19:15	0,71	0,81	--
07/11/00	20:25	1,21	1,39	--
08/11/00	10:40	0,71	4,88	--
08/11/00	11:00	0,71	4,88	--
11/11/00	16:30	0,93	2,44	--
26/11/00	12:05	0,93	1,39	--
29/11/00	19:30	0,47	0,57	--
07/12/00	14:15	0,49	0,38	1,36

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Em trabalho anterior sobre a assinatura nos magnetogramas de superfície da região equatorial para eventos TCV descritos previamente na literatura, obteve-se resultados que pareciam depender das diferentes características dos eventos em altas latitudes (Trivedi et al., 2002a). Concluiu-se que quando os eventos transientes em altas latitudes exibiam uma assinatura clara, isolada e intensa, correspondendo a TCV, geralmente detectava-se uma assinatura compressional e bipolar, em órbita geossíncrona, e um impulso transiente nos magnetogramas da região equatorial. Teve-se dificuldade em identificar assinatura equatorial correspondente para os eventos cuja assinatura em altas latitudes era quase-periódica, fraca, espacialmente limitada ou que não exibia características de uma assinatura TCV clara. Observou-se que mesmo quando as assinaturas eram observadas nos magnetogramas da região equatorial, elas diferiam de evento para evento. O fato das assinaturas em altas e baixas latitudes diferirem na forma sugere que as assinaturas equatoriais não podem simplesmente ser resultado de observações remotas das correntes alinhadas ao campo que geram as assinaturas em altas latitudes. Além disso, observou-se que as assinaturas sempre atingiam amplitudes maiores nas estações sob a ionosfera equatorial diurna do que em estações localizadas em médias latitudes ou no lado noturno. Isto é esperado para a região equatorial, onde a intensidade do eletrojato equatorial e as densidades ionosféricas atingem grandes amplitudes.

Nesse trabalho estudou-se a assinatura equatorial de eventos transientes a partir de uma lista de eventos identificados em altas latitudes. Os resultados obtidos mostram que assinaturas com presença clara na região equatorial não são bipolares e diferem bastante de um evento para outro.

Não parece haver um controle do valor médio dos parâmetros de plasma ou do IMF sobre a ocorrência de assinaturas com presença muito clara ou pouco clara. O sinal das componentes do IMF também não é um fator exclusivo para esses eventos. O que se

observa é um favorecimento na ocorrência, tanto de eventos com presença muito clara quanto de eventos com presença pouco clara, para determinados valores dos parâmetros de plasma e do IMF.

O horário de ocorrência do evento também parece não ter controle na distribuição dos eventos entre pouco claros e muito claros. Os eventos têm seus horários de ocorrência distribuídos em torno do meio-dia local, sendo a ocorrência dos eventos com presença pouco clara mais concentrada logo após este.

O que se pode afirmar com certa segurança é a influência de variações na pressão do vento solar sobre a ocorrência de eventos com presença clara na região equatorial. As perturbações com grandes amplitudes estão, em sua maioria, associadas a variações na pressão do vento solar e possuem assinatura em órbita geossíncrona. Isso permite sugerir que a assinatura das perturbações na região equatorial se deve provavelmente a compressões ou expansões da magnetosfera, causadas pela interação desta com as variações na pressão do vento solar. A propagação do evento, a partir da magnetopausa até a ionosfera equatorial, ocorre provavelmente via onda compressional através da magnetosfera equatorial.

A amplitude dos eventos é maior para as estações localizadas sob o eletrojato equatorial. A estação JIP apresenta a maior amplitude para a maioria dos casos, exceto aqueles em que a hora local de ocorrência do evento na estação está próxima à região do amanhecer. A estação SMS, que está situada na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, apresentou assinatura mais intensa que BLM, SLZ e EUS para alguns eventos. Em 50% dos casos em que isso ocorreu SMS apresentou também amplitudes maiores que VSS, a qual se encontra fora da atuação do Eletrojato Equatorial e distante do centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, e VSS apresentou amplitudes menores do que a estação utilizada na comparação. Isso sugere que o evento é intenso na região do eletrojato equatorial, tem um decréscimo ao afastar-se dessa região e apresenta um aumento na intensidade em SMS. O aumento na amplitude das variações em SMS está provavelmente associado ao aumento na precipitação de elétrons ocorrendo nas regiões D e E da ionosfera sobre a região da Anomalia Magnética do

Atlântico Sul. Os eventos TCV chegam as regiões de baixa latitude, em sua maioria, via ondas compressoriais, as quais são acompanhadas ou iniciam a precipitação de elétrons na anomalia.

A defasagem encontrada entre JIP e as estações BLM, EUS, SLZ e SMS, para os eventos estudados, apresentou-se bastante variável. Isso talvez seja consequência da variação da condutividade na região equatorial, devido à presença de irregularidades. Como consequência, as velocidades calculadas utilizando-se a defasagem e a distância angular também foram bastante variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SCIENTIST MAGAZINE. **The origin of solar wind**. Disponível em: <http://www.americanscientist.org/content/AMSCI/AMSCI/Image/FullImage_2003414113314_546.jpg>

Campbell, W. H. **Introduction to geomagnetic fields**, 1. ed. Cambridge University Press, 1997.

CANADIAN NATIONAL GEOMAGNETISM PROGRAM. **Home page of the Canadian Magnetic Observatories**. Disponível em: <http://www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/home_e.shtml>

Dessler, A. J.; Francis, W. E.; Parker, E. N. **Geomagnetic storm sudden-commencement rise times**, *Journal of Geophysical Research*, v.65, p. 2715, setembro, 1960.

Echer, E.; Gonzalez, W.; dal Lago, A.; Vieira, L.; Guarnieri, F.; Prestes, A.; Gonzalez, A.; Schuch, N. Interplanetary shocks and sudden impulses in solar maximum (2000) and solar minimum (1995-1996). In: COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress, 34., 10-19 October, Houston, TX. **Proceedings...** Houston, TX: COSPAR, p.347, 2002

Farris, M. H.; Russel, C. T. Determining the standoff distance of the bow shock: mach number dependence and use of models. **Journal of Geophysical Research**, v.99, n.A9, p. 17681-17689, setembro, 1994.

Friis-Christensen, E.; McHenry, M. A.; Clauer, C. R.; Vennerstrom, S. Ionospheric Traveling Convection Vortices observed near the polar cleft: a triggered response to sudden changes in the solar wind. **Geophysical Research Letters**, v.15, n. 3, p. 253-256, março, 1988.

Fukushima, N. Equivalence in ground geomagnetic effect of Chapman-Vestine's and Birkeland-Alfvén's electric current-systems for polar magnetic storms. **Reports in Ionospheric Space Research in Japan**, v.23, n. 3, p. 219, 1969.

Glassmeier, K. H. ULF Pulsations in the Polar Cusp and Cap. In: Egeland, A. e Sandholt, P. E. (eds). **Electromagnetic coupling in the polar cusp and cleft**. Dordrecht: Kluwer, p. 167, 1989.

Glassmeier, K. H.; Hönish, M.; Untiedt, J. Ground-based and satellite observations of traveling magnetospheric convection twin vortices. **Journal of Geophysical Research**, v.94, n. A3, p. 2520-2528, Mar, 1989.

Glassmeier, K. H.; Lester, M.; Mier-Jedrzejowicz, W. A. C.; Green, C. A.; Rostoker, G.; Orr, D.; Wedeken, U.; Judinger, H.; Amata, E. Pc5 pulsations and their possible source mechanisms: A case study. **Journal of Geophysics – Zeitschrift fuer Geophysik**, v.55, p. 108-119, Sept. 1984.

Glassmeier, K. H. Traveling magnetospheric convection twin-vortices: observations and theory. **Annales Geophysicae**, v.. 10, n. 8, p. 547-565, Aug. 1992.

Heikkila, W. J.; Jorgensen, T. S.; Lanzerotti, L. J.; MacLennan, C. G. A transient auroral event on the dayside. **Journal of Geophysical Research**, v.94, n. A 11, p. 15291-15305, novembro, 1989.

Institut D'Astrophysique Spatiale. **Les aurores polaires dans Le sistème solaire**. Disponivel em: http://www.ias.fr/cdp/site_aurores/magnetosphere_nouv.gif

Jursa, A. S. **Handbook of geophysics and the space environment**. Bedford, Mass: Air Force Geophysics Laboratory, EUA, 1985.

Kikuchi, T.; Araki, T. Horizontal transmission of the polar electric field to the equator. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.41, p. 927-936, Sept. 1979.

Knecht, D. J. **The geomagnetic field** (a revision of chapter 11, Handbook of Geophysics and sSpace environments). Air Force Systems Command, USAF : Air Force Surveys in Geophysics No. 246, Air Force Systems Command.1972.

Lanzerotti, L. J.; Lee, L. C.; MacLennan, C. G.; Wolfe, A.; Medford, L. V. Possible evidence of flux transfer events in the polar ionosphere. **Geophysical Research Letters**, v.13, n. 11, p. 1089-1092, Nov. 1986.

Lee, Dong-Hun. Dynamics of MHD wave propagation in the low-latitude magnetosphere. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n..A7, p. 15371-15386, July, 1996.

Lühr, H; Blawert, W. Ground signatures of travelling convection vortices. In: **Solar wind sources of magnetospheric ultra-low-frequency waves**, v.81, 1994. Geophysical Monograph.

Matsushita, S. On sudden commencements of magnetic storms at higher latitudes. **Journal of Geophysical Research**, v.62, n. 1, p. 162, Mar. 1957.

Mayaud, P. N. Analysis of storm sudden commencements for the years 1868-1967. **Journal of Geophysical Research**, v.80, n. 1, p. 111-122, Jan. 1975.

McHenry, M. A.; Clauer, C. R.; Friis-Christensen, E.; Kelly, J. D. Observations of ionospheric convection vortices: Signatures of momentum transfer. **Advances in Space Research**, v.8, n.9-10, p. 315-320, 1988.

National Aeronautics and Space Administration. **Coordinate data analysis web**. Disponível em: <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/>. Acesso em: 29 July 2005.

National Aeronautics and Space Administration. **Goddard Space Flight Center**. Disponível em: <<http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/ace.html>>. Acesso em: 29 July 2005.

Nishida, A. **Physics and chemistry in space**, New York : Spring-Verlag, 1978.

Space Physics Group of OULU. **Oulu space physics Textbook**. Disponível em: t<<http://www oulu.fi/~spaceweb/textbook/content.html>>. Acesso em: 29 July 2005.

RUSSEL, C. T. **The solar wind interaction with Earth's magnetosphere**. Disponível em: <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/personnel/russell/papers/solwind_interact_magsphere_tutorial.pdf>. Acesso em: 29 July 2005.

Sibeck, D. G.; Korotova, G. I. Occurrence patterns for transient magnetic field signatures at high latitudes. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n.A6, p. 13413-13428, June 1996.

Sibeck, D. G. Transient Magnetic Field Signatures at High Latitudes. **Journal of Geophysical Research**, v.98, n.A1, p. 243-256, Jan. 1993.

Siscoe, G. L.; Formisano, V.; Lazarus, A. J. Relation between geomagnetic sudden impulses and solar wind pressure changes – an experimental investigation. **Journal of Geophysical Research**, v73, n. 15, p. 4869, 1968.

Spreiter, J. R.; Summers, A. L.; Alksne, A. Y. Hydromagnetic flow around the magnetosphere. **Planetary and Space Science**, v.14, n.3, p. 223-223, Mar. 1966.

Takahashi, K.; Anderson, B. J. Distribution of ULF Energy ($f < 80$ mHz) in the Inner Magnetosphere: A Statistical Analysis of AMPTE CCE Magnetic Field Data. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.A7, p. 10751-10773, July, 1992.

Tamao, T. A Hydromagnetic Interpretation of Geomagnetic SSC. **Reports in Ionospheric Space Research in Japan**, v.18, p. 16, 1964.

Trivedi, N. B.; Sibeck, D. G.; Zesta, E.; Santos, J. C.; Yumoto, K.; Kitamura, T.; Shinohara, M.; Dutra, S. L. G. Signatures of traveling convection vortices (TCV) in ground magnetograms under the equatorial electrojet (EEJ). **Journal of Geophysical Research**, v.107, n. A6, 2002a.

Trivedi, N. B.; Schuch, N. J.; Pathan, B. M.; Barreto, L. M.. Geomagnetic phenomena in the south atlantic region in Brazil, In: COSPAR Scientific Assembly, The Second

World Space Congress, 34., 10-19 October, Houston, TX, USA.
Proceedings...Houston: COSPAR, p.1949, 2002.

The Wilcox Solar Observatory. **Artist's Conception of the Heliospheric Current Sheet**. Disponível em: <http://quake.stanford.edu/~wso/qifs/HCS.html>. Acesso em: 29 July 2005.

Zesta, E., **Tail auroral current responses to solar wind dynamic pressure enhancements**, GEM – Snowmass, 2000. Disponível em: <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/gem/tutorial/2000Zesta.pdf> . Acesso em 29 July 2005.

Zesta, E.; Hughes, W. J.; Engebretson, M. J.; Hughes, T. J.; Lazarus, A. J.; Paularena, K. I. The November 9, 1993, traveling convection vortex event: a case study. **Journal of Geophysical Research**, v.104, n. A12, p. 28041, Dec, 1999.

APÊNDICE A
OS EVENTOS TCV DE JULHO A DEZEMBRO DE 2000

1. Eventos TCV em julho de 2000

- 07/01, 2100UT (*)
- 07/11, 1315UT
- 07/17, 1700UT

2. Eventos TCV agosto de 2000

- 08/06, 1660UT (*), 2100UT(*)
- 08/12, 1750UT
- 08/13, 1925UT, 1840UT, 2110UT
- 08/16, 1500UT, 1710UT(*)
- 08/22, 2115UT
- 08/23, 1745UT(*)
- 08/30, 1240UT, 1530UT, 1700UT, 1845UT

3. Eventos TCV em setembro de 2000

- 09/04, 1340UT(*)
- 09/06, 1705UT
- 09/11, 1400UT, 1550UT
- 09/13, 1945UT

- 09/17, 1720UT, 1925UT (*)
- 09/18, 1000UT to 1007UT(*), 1445UT(**), 1540UT
- 09/19, 1640UT, 1700UT, 1730UT
- 09/22, 1650UT

4. **Eventos TCV em outubro de 2000**

- 10/01, 1415UT, 1520UT, 1740UT, 2050UT
- 10/05, 1630UT(*)
- 10/17, 1400UT
- 10/28, 1000UT, 2130UT

5. **Eventos TCV em novembro de 2000**

- 11/01, 1440UT
- 11/04, 1435UT
- 11/07, 1815UT to 1845UT, 1905UT to 1935UT, 2025UT
- 11/08, 1025UT to 1050UT, 1100UT, 1315UT to 1335UT, 1630UT, 1730UT
- 11/09, 1545UT
- 11/10, 1345UT, 1730UT(*)
- 11/11, 1630UT
- 11/12, 1215UT(*)
- 11/13, 1730UT, 1750UT, 2035UT

- 11/26, 1205UT(*)

- 11/28, 1800UT

- 11/29, 1930UT

6. Eventos TCV em dezembro de 2000

- 12/04, 1425UT

- 12/05, 1000UT, 1230UT

- 12/06, 1815UT

- 12/07, 1415UT, 1530UT, 1845UT

- 12/08, 1715UT

- 12/09, 1330UT(*), 1407UT, 1725UT

- 12/10, 1215UT(*), 1515UT, 1555UT

- 12/12, 1230UT(*), 2140UT

- 12/28, 1535UT

Note:

*: Evento TCV típico e claro

** : Evento TCV bem típico e claro

APÊNDICE B

DESCRIÇÃO DOS EVENTOS

Evento 04/09/00 1340 UT

A figura abaixo apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~39 nT) e em SLZ (~35 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~28 nT) e BLM (~25 nT). JIP vê o evento 40 segundos após EUS.

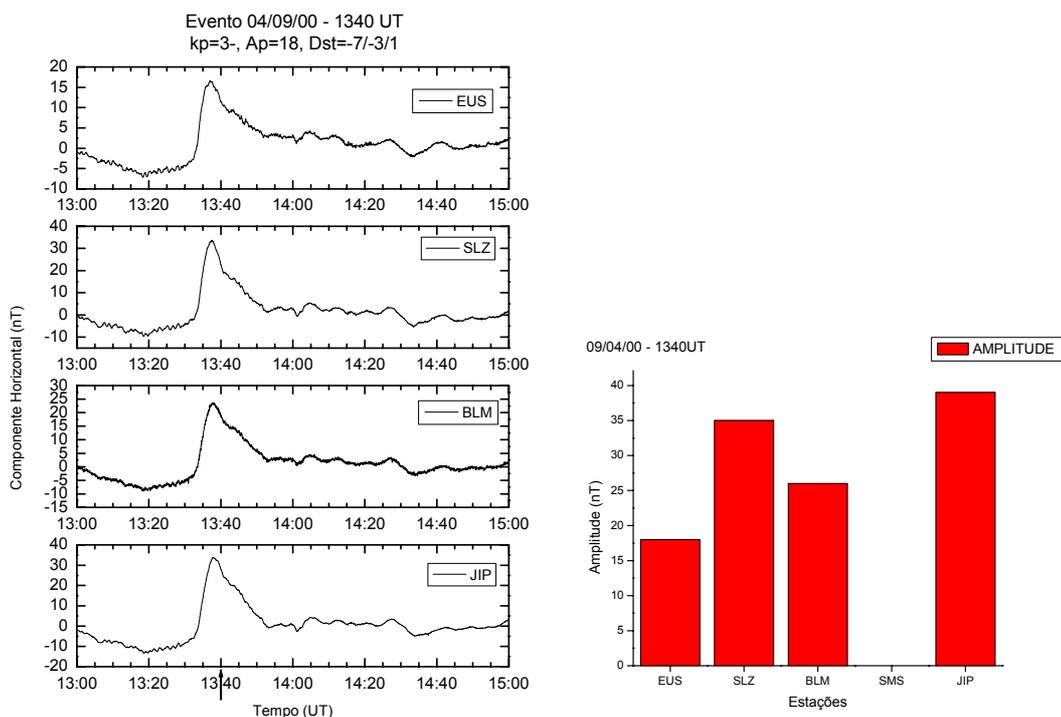


FIGURA B.1 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1300-1500 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 4 de setembro de 2000. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 2 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

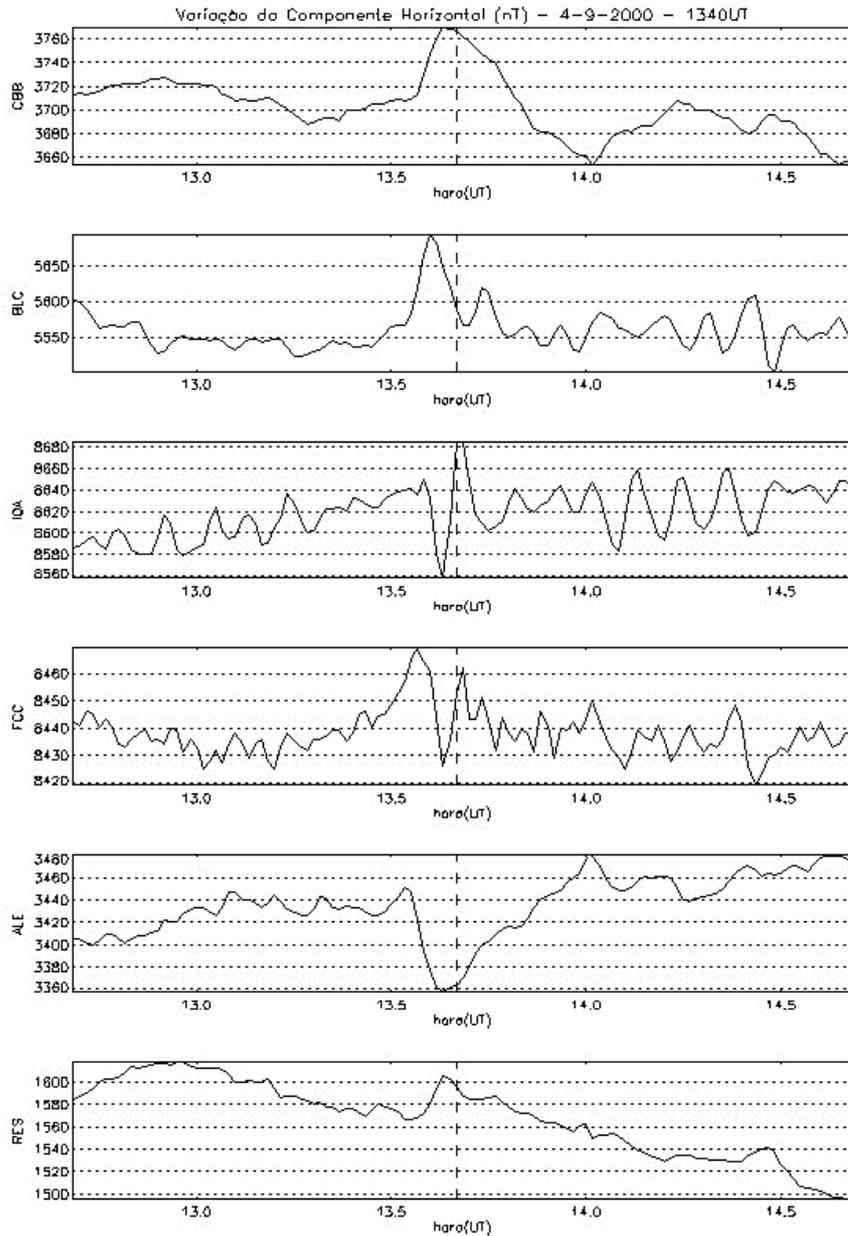


FIGURA B.2 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 3 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 13,5 horas.

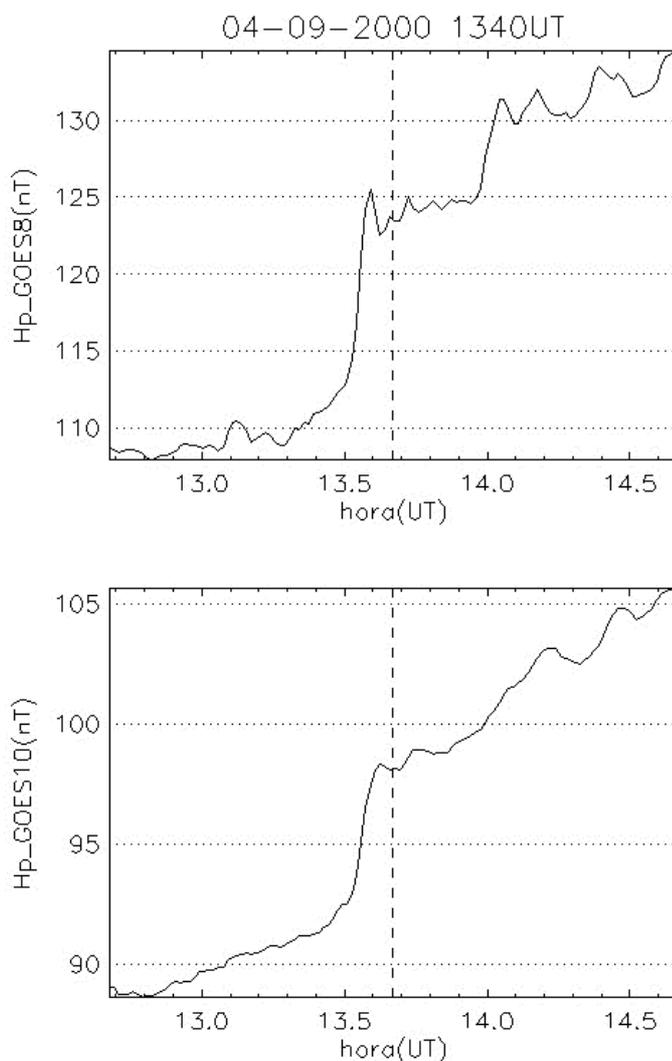


FIGURA B.3 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a um aumento na pressão do vento solar, com início às 12,7 horas, identificado nos dados do satélite. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de algum processo envolvendo reconexão.

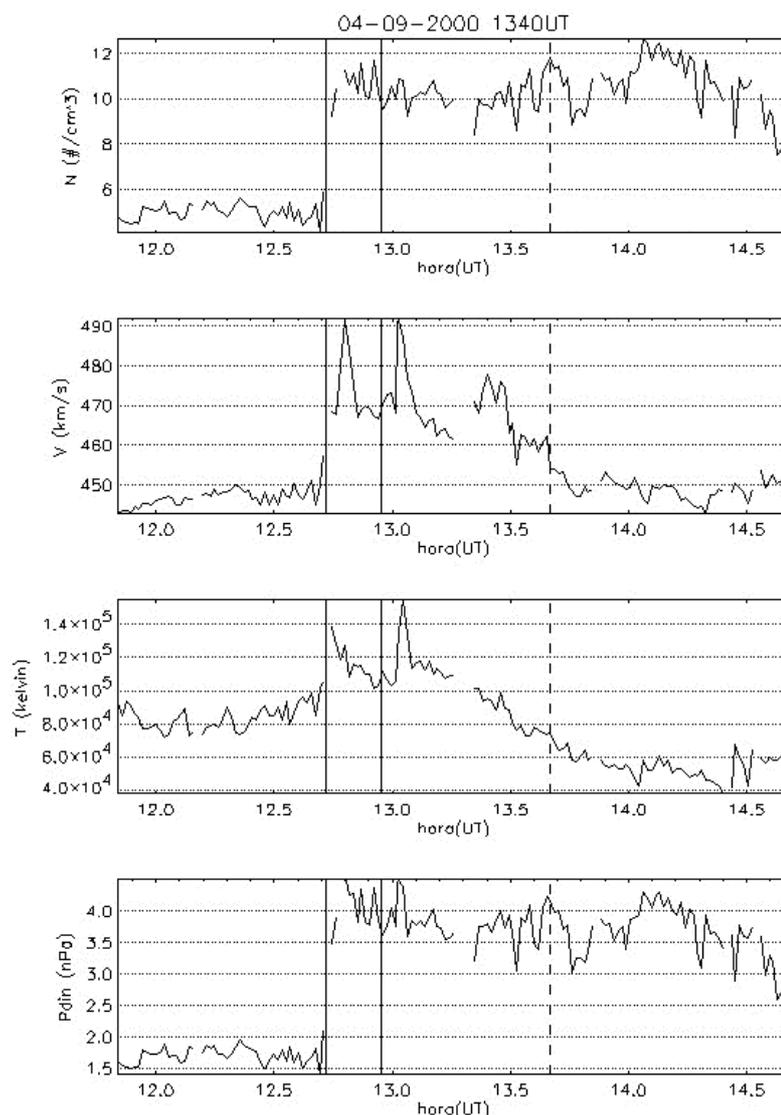


FIGURA B.4 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 4 de setembro de 2000. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

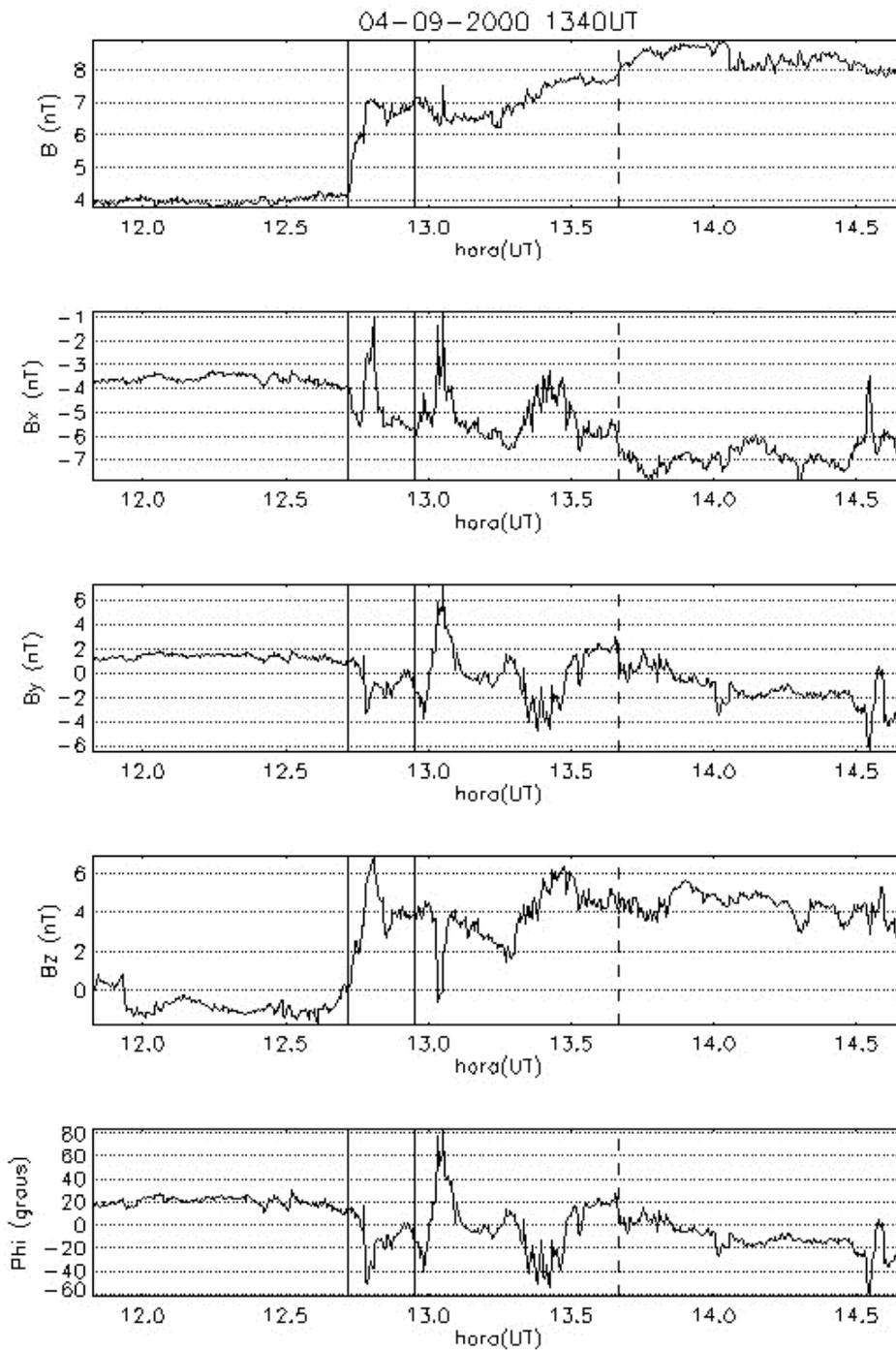


FIGURA B.5 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 4 de setembro de 2000. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 06/09/00 1705 UT

A Figura 6 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~90 nT) e em SLZ (~75 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~50 nT) e BLM (~55 nT). JIP vê o evento 50 segundos após EUS. Os resultados sugerem que o evento se propaga para oeste com uma velocidade média de 0.63 graus/segundo.

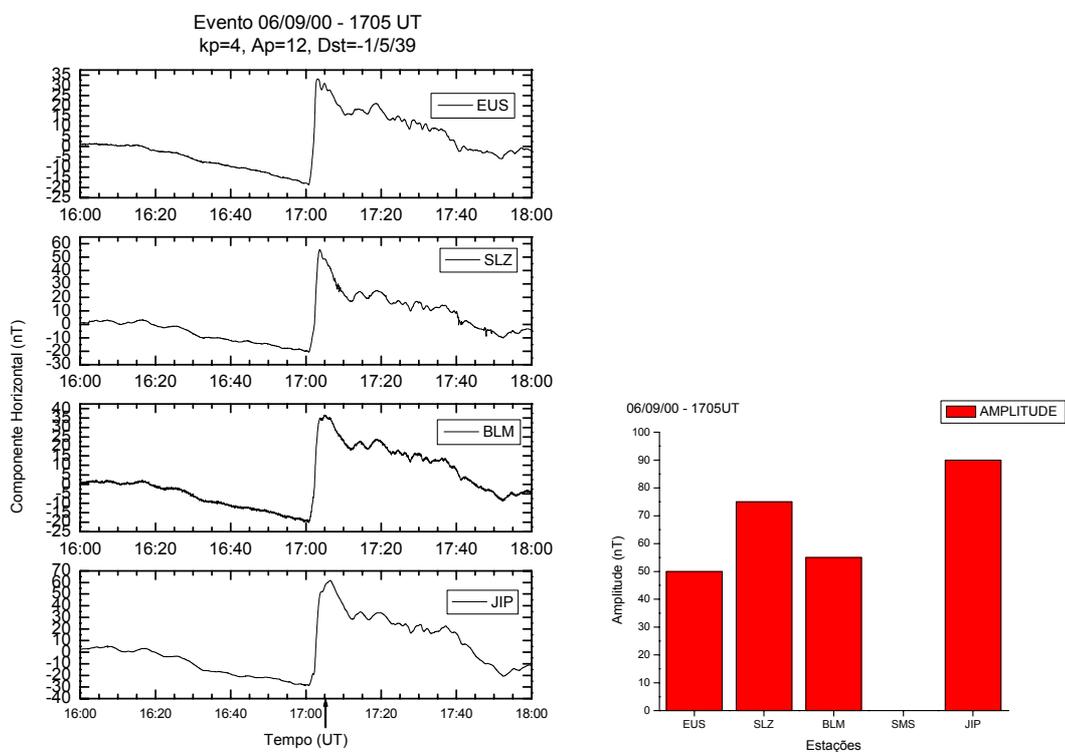


FIGURA B.6 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1600–1800 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 6 de setembro de 2000. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 7 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

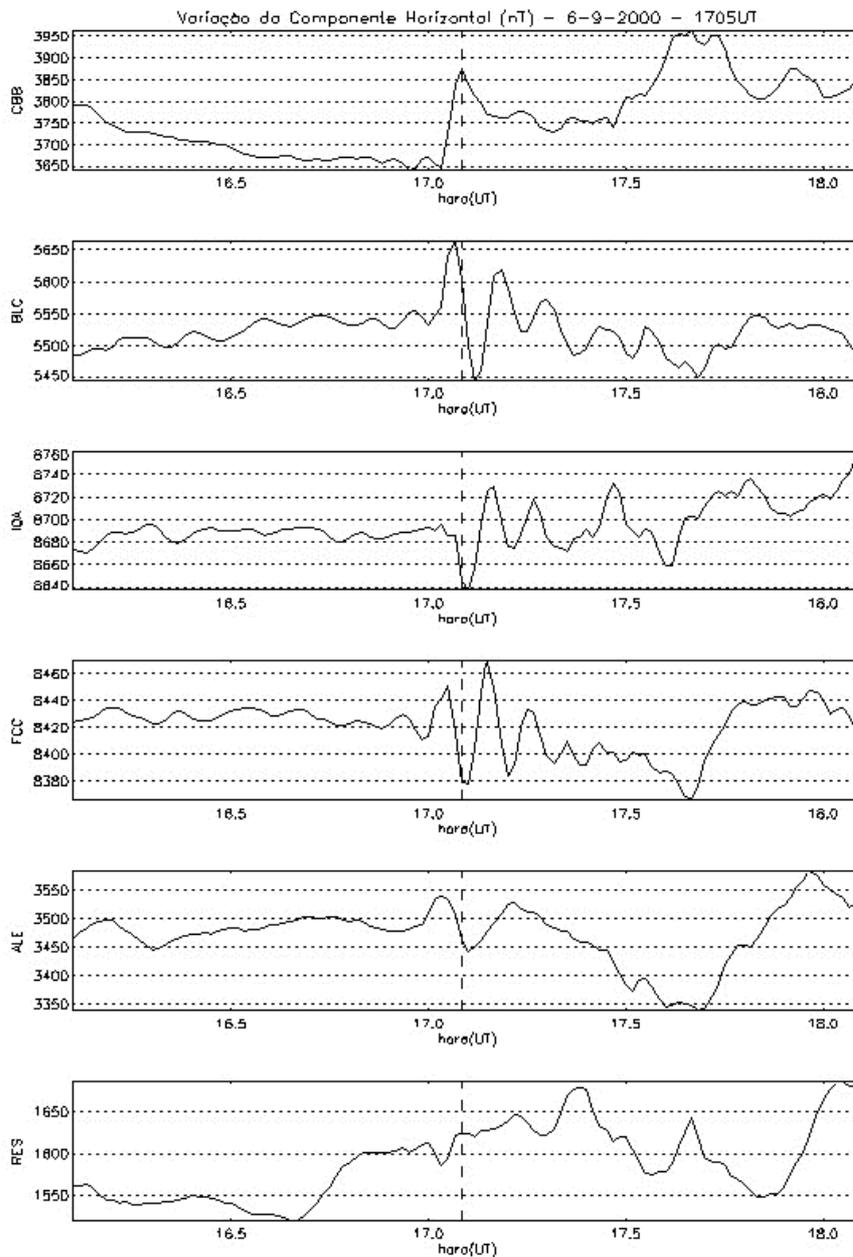


FIGURA B.7 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 8 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 17 horas.

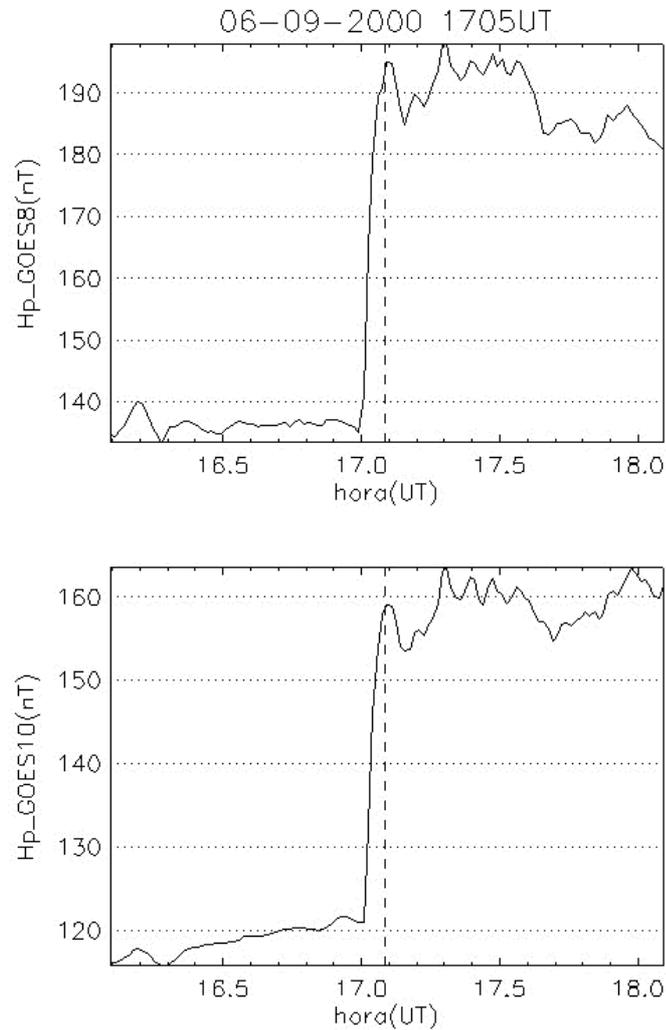


FIGURA B.8 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano medidas pelo satélite ACE. A perturbação está associada a um aumento na pressão do vento solar, com início às 16,2 horas, identificado nos dados do satélite. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de algum processo envolvendo reconexão.

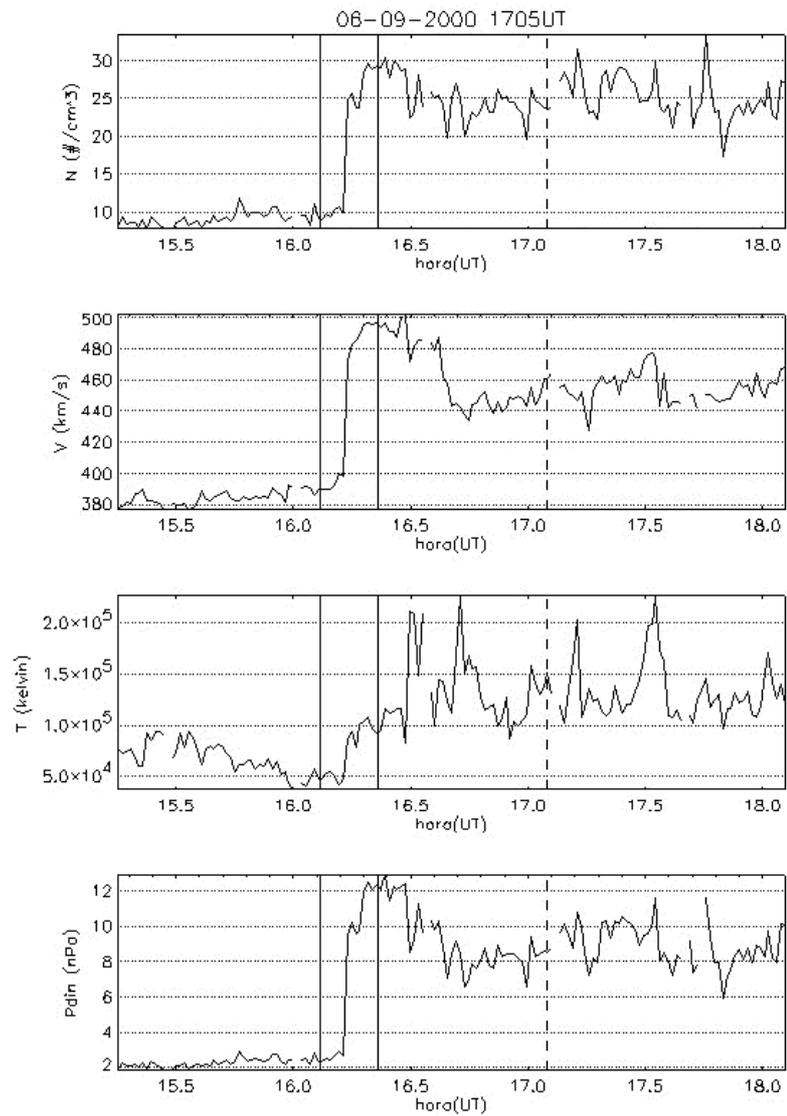


FIGURA B.9 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 6 de setembro de 2000. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

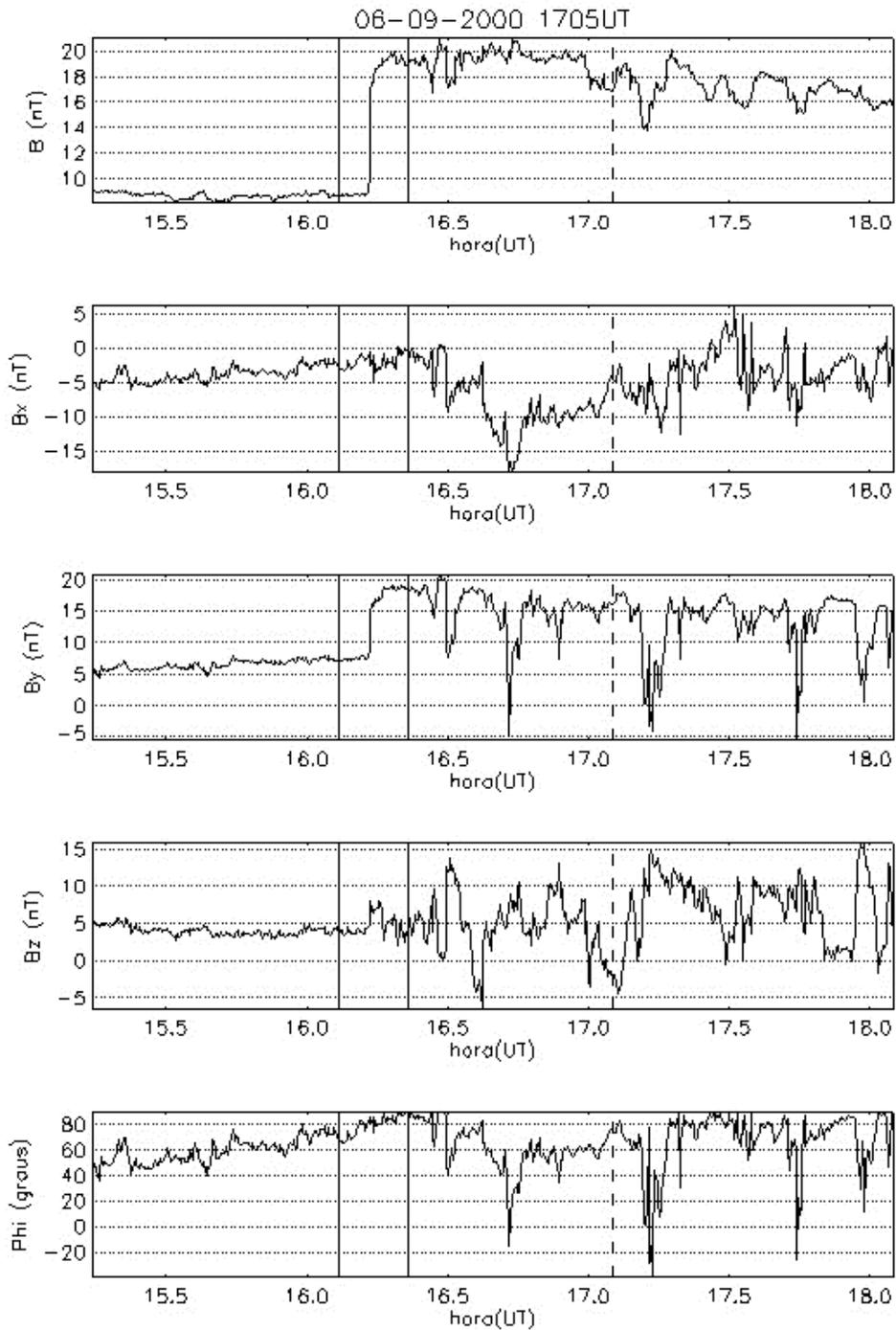


FIGURA B.10 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 6 de setembro de 2000. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 11/09/00 1400 UT

A Figura 11 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~28 nT) e em SLZ (~24 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~12 nT) e BLM (~17 nT). JIP vê o evento 80 segundos após EUS. Os resultados sugerem que o evento se propaga para oeste com uma velocidade média de 0,69 graus/segundo.

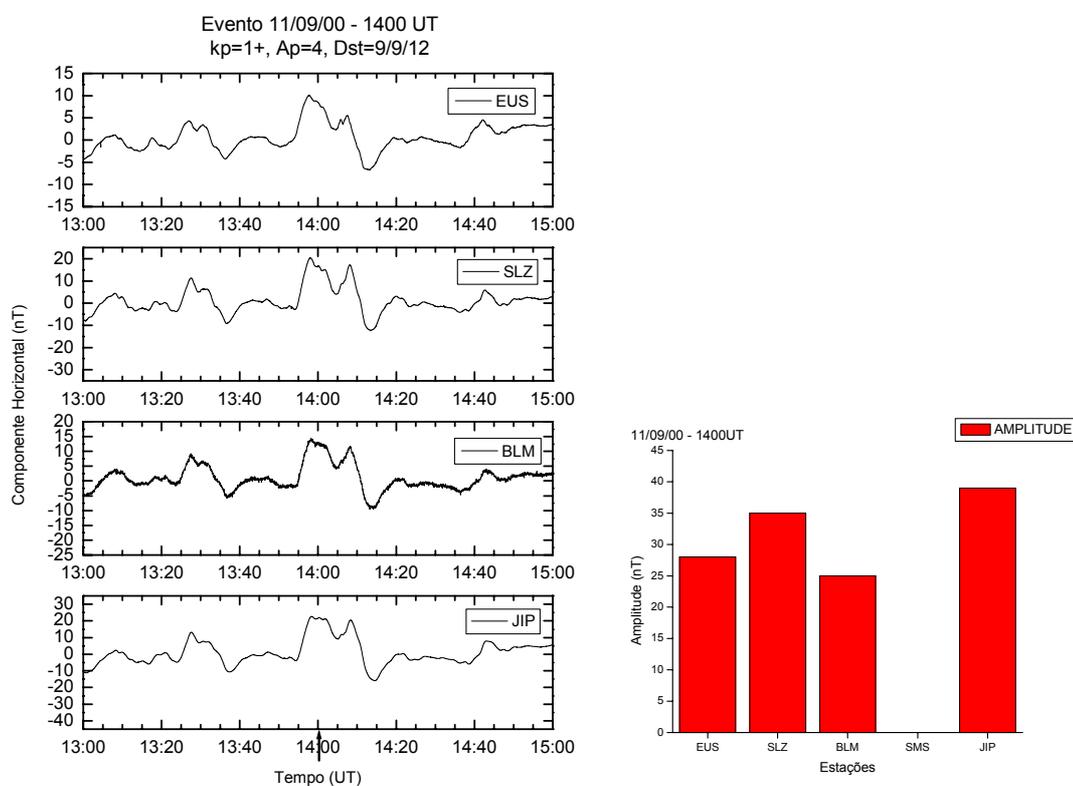


FIGURA B.11 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1300-1500 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 12 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

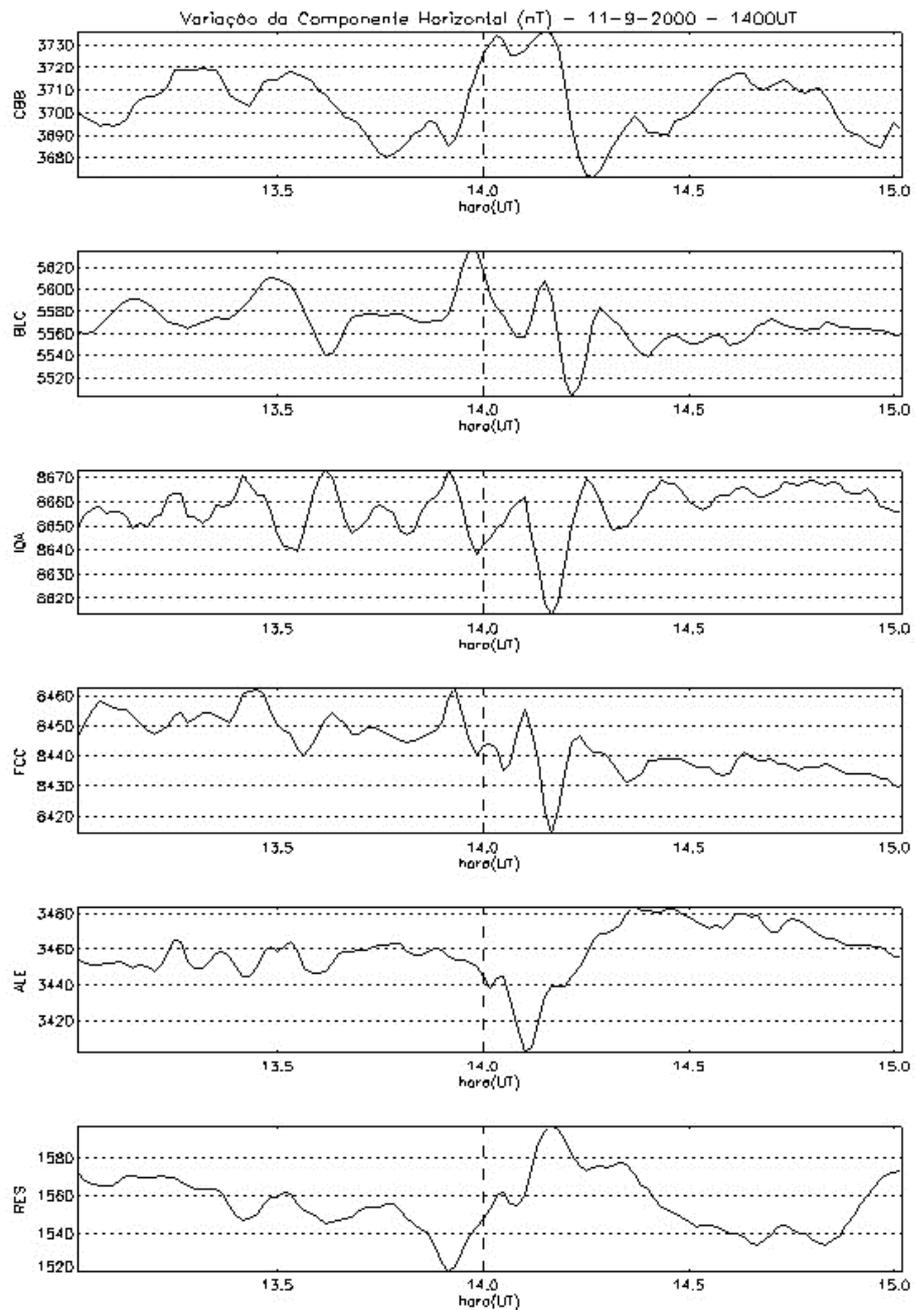


FIGURA B.12 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 13 mostra a variação na componente H_p do campo geomangético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 14 horas.

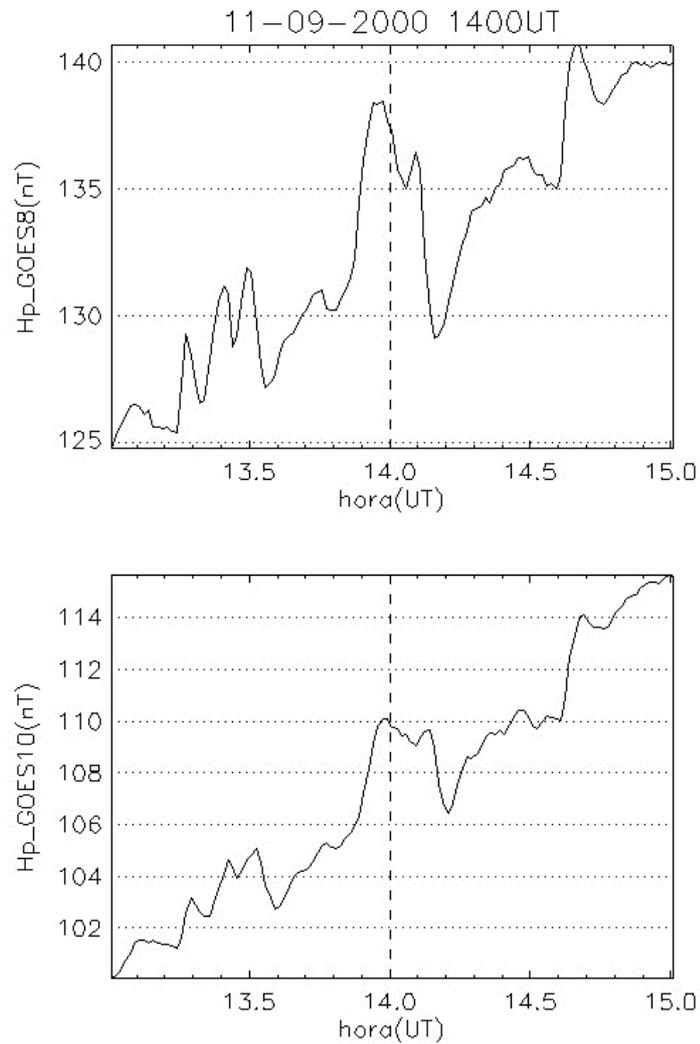


FIGURA B.13 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As Figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano medidas pelo satélite ACE. A perturbação está associada a um aumento na pressão do vento solar, com início às 12,7 horas, identificado nos dados do satélite. A componente Z do IMF é positiva, sofrendo uma rápida incursão a valores negativos aproximadamente às 12,9 horas.

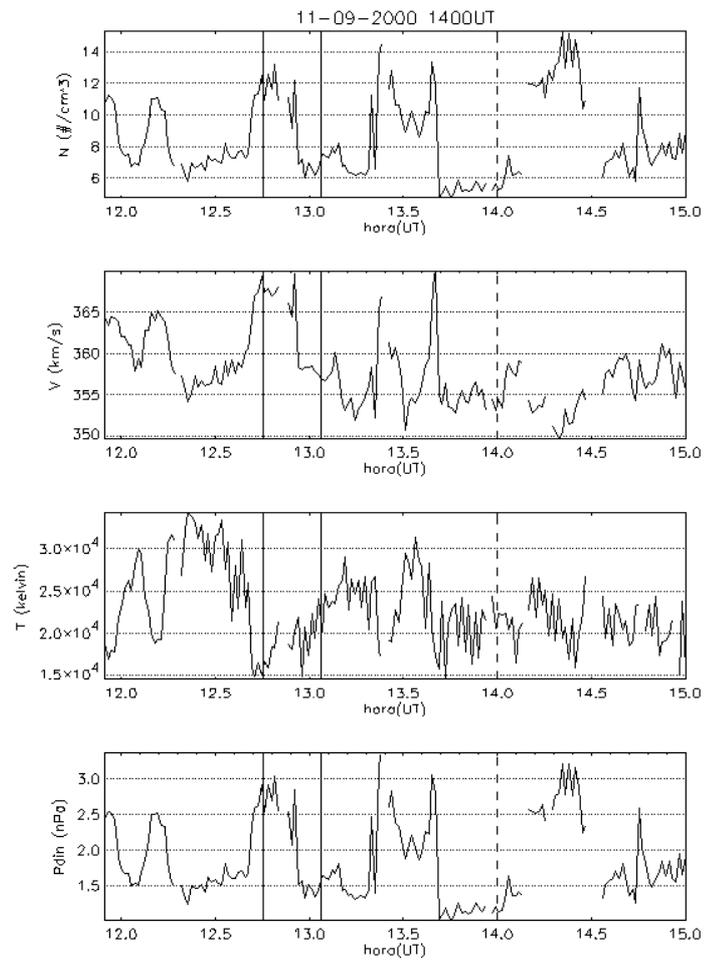


FIGURA B.14 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

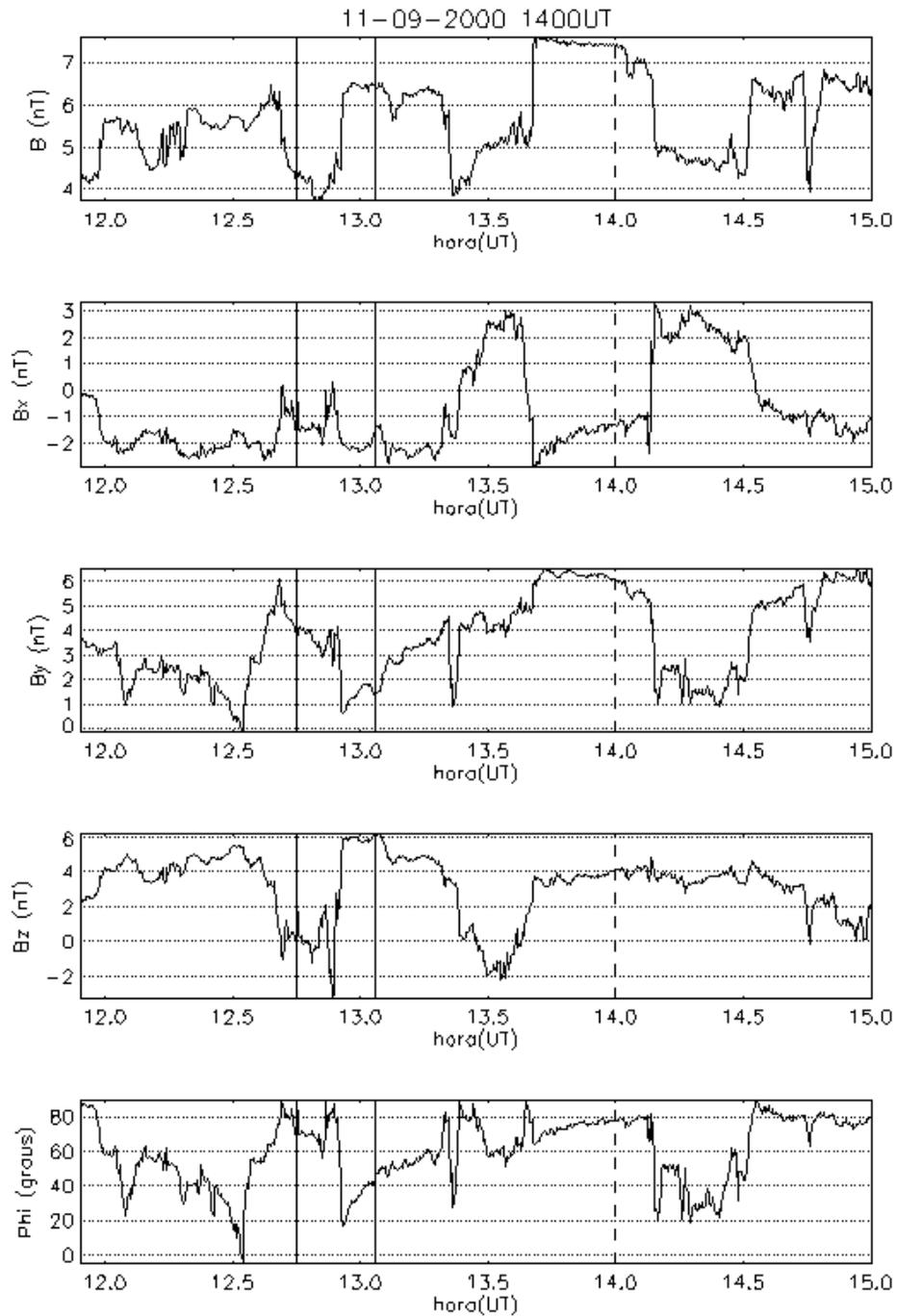


FIGURA B.15 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1400 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 11/09/00 1550 UT

A Figura 16 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~43 nT) e em SLZ (~35 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~14 nT) e BLM (~24 nT). JIP vê o evento 56 segundos após EUS. Os resultados sugerem que o evento se propaga para oeste com uma velocidade média de 0,67 graus/segundo.

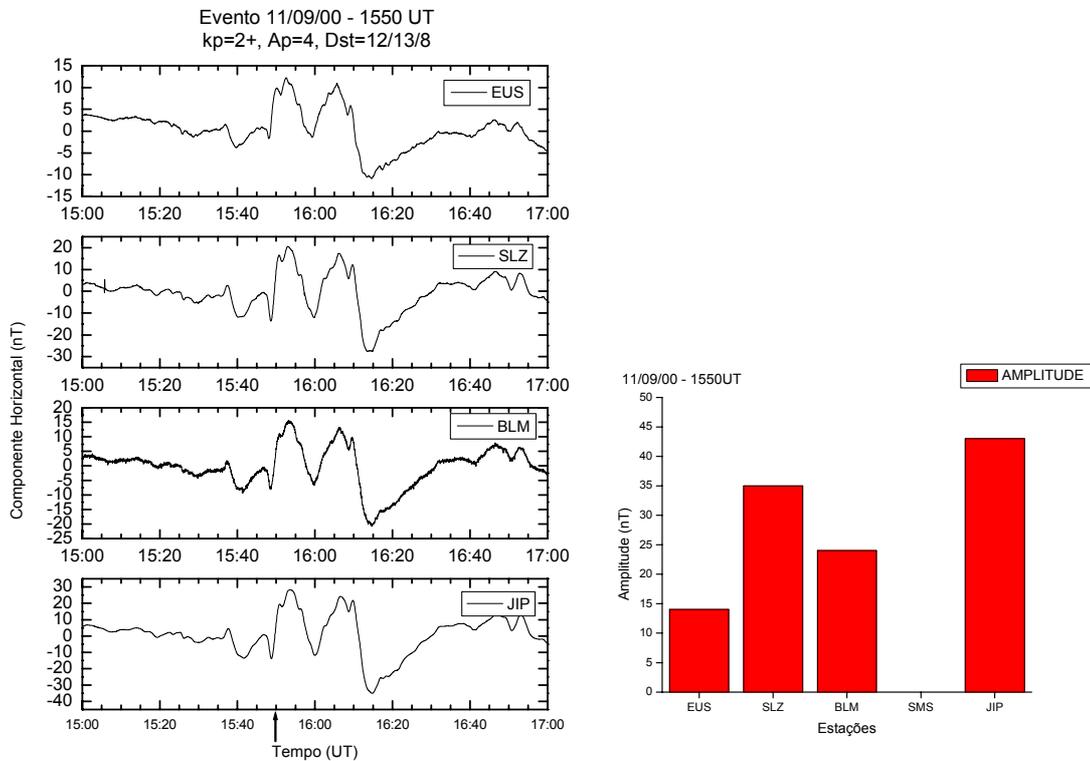


FIGURA B.16 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1500–1700 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 17 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

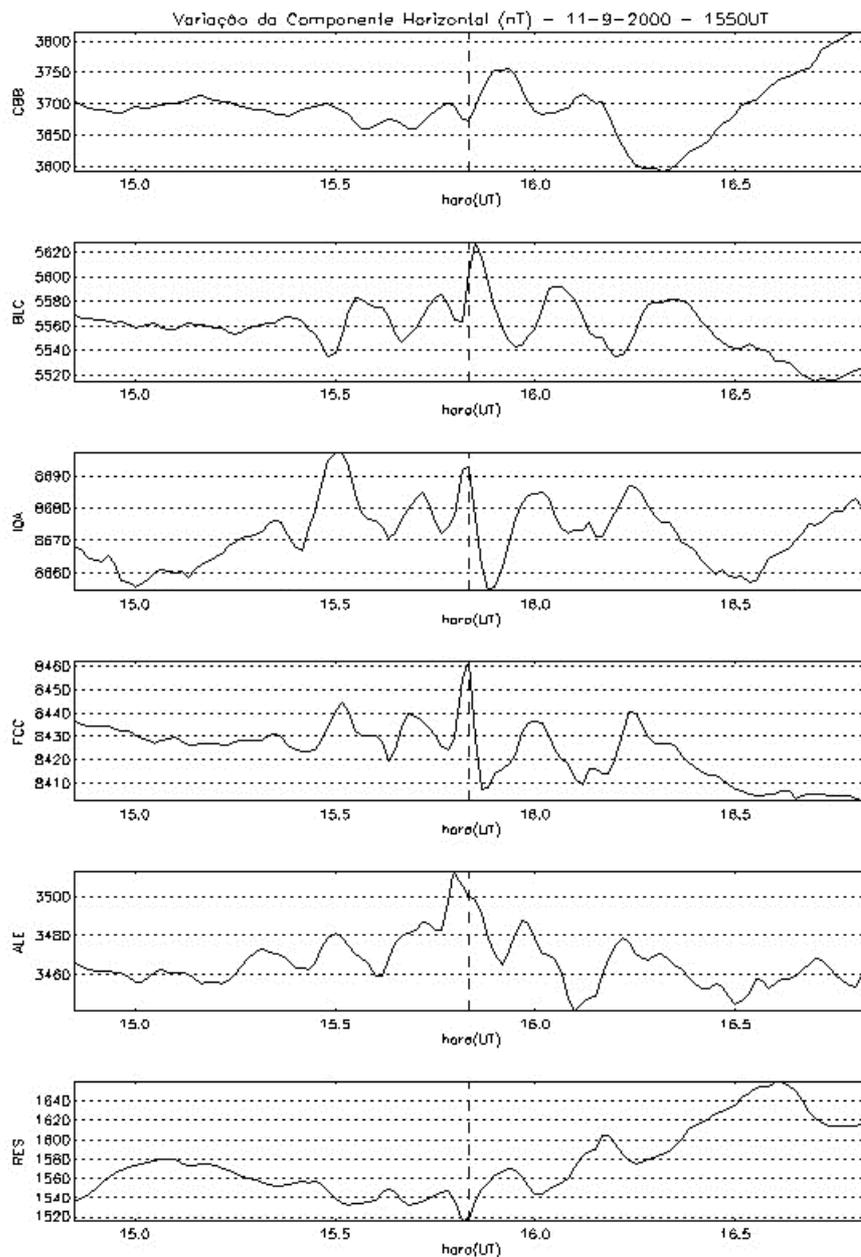


FIGURA B.17 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 18 mostra a variação na componente H_p do campo geomangético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente as 15,8 horas.

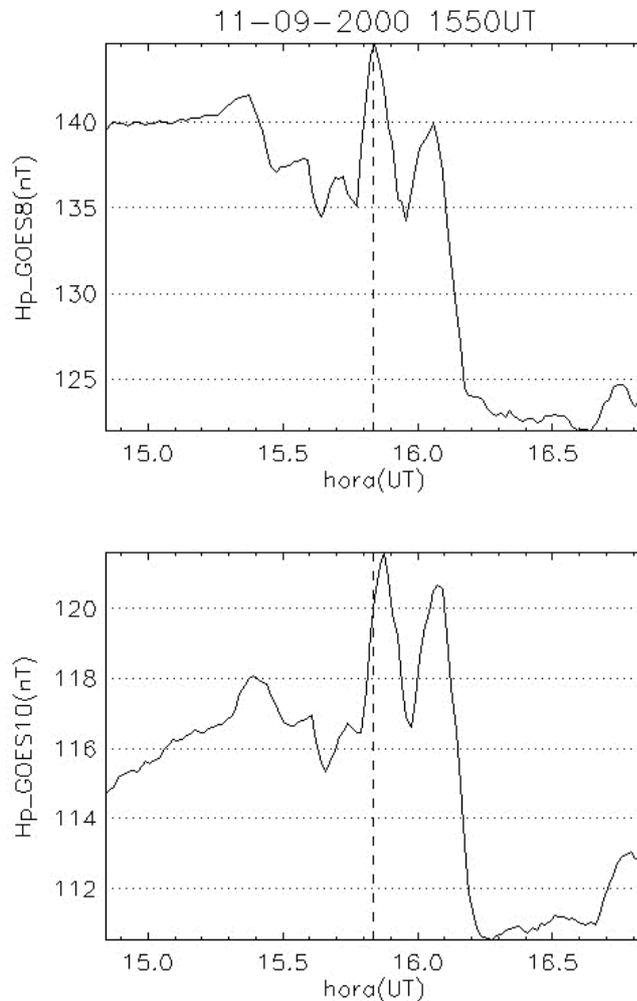


FIGURA B.18 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 19 e 20 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a uma variação abrupta na pressão do vento solar, identificada nos dados do satélite às 14,7 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de processos envolvendo reconexão.

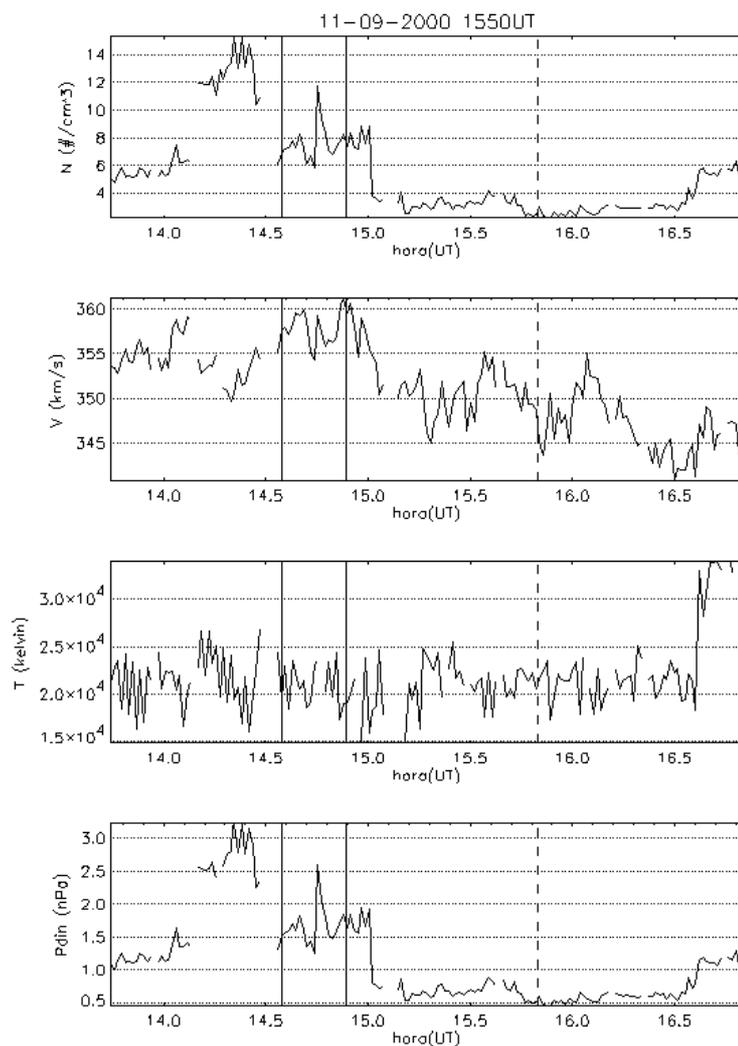


FIGURA B.19 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

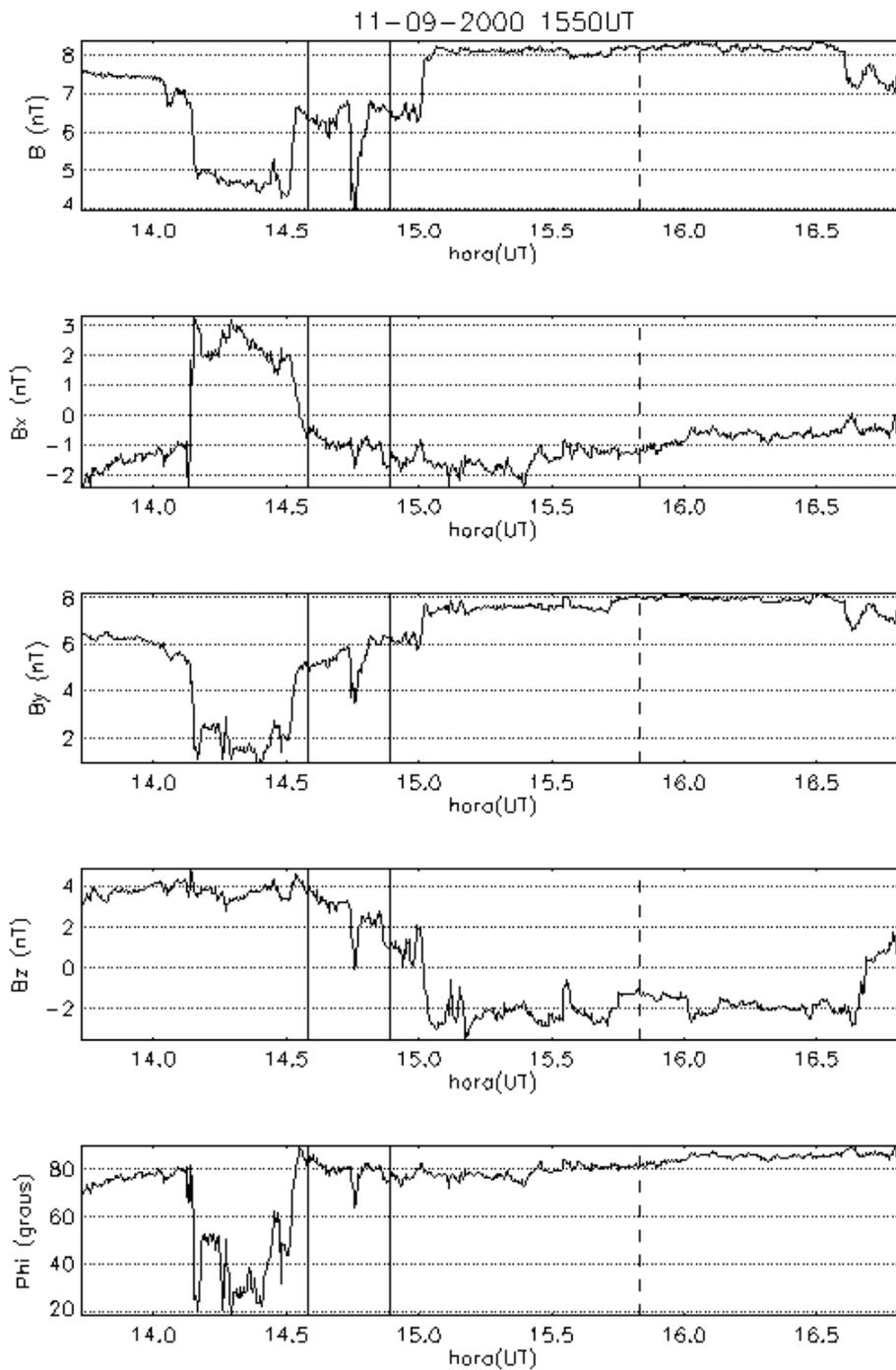


FIGURA B.20 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de setembro de 2000, 1550 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 17/09/00 1720 UT

A Figura 21 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~98 nT) e em SLZ (~80 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~58 nT), BLM (~60 nT) e SMS (~69 nT). JIP vê o evento 20 segundos após EUS. Os resultados sugerem que o evento se propaga para oeste com uma velocidade média de 1,42 graus/segundo, desconsiderando a velocidade entre JIP e BLM.

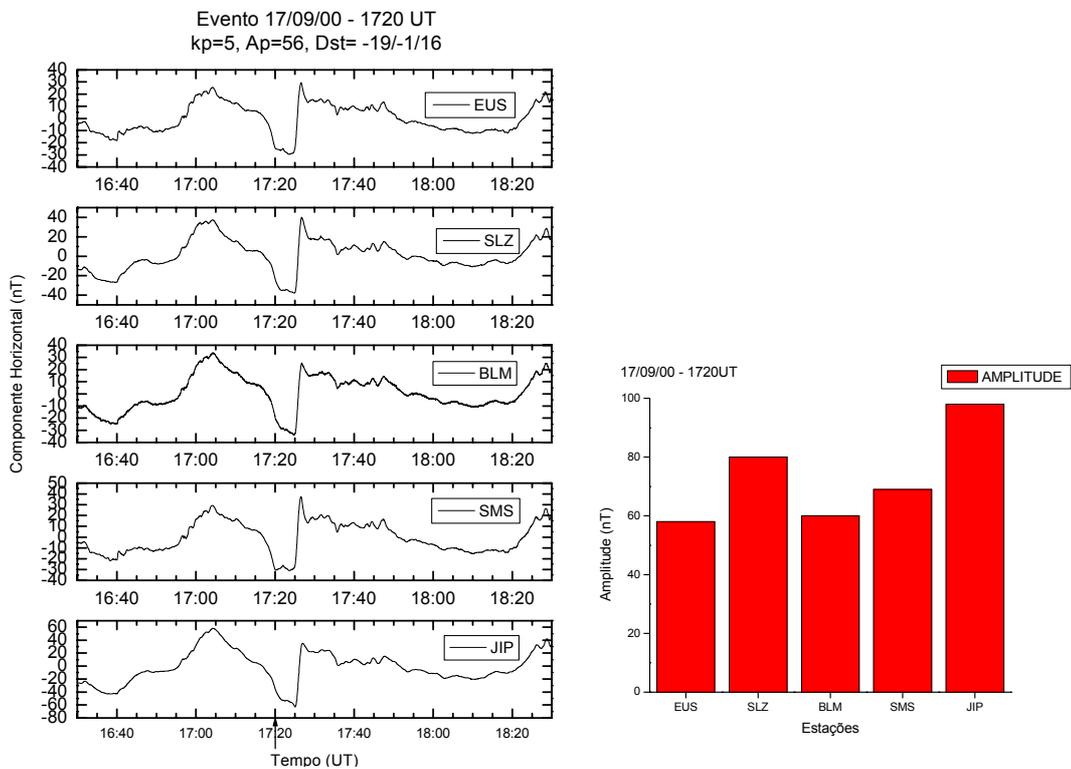


FIGURA B.21 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações equatoriais brasileiras, para o intervalo de 1630–1830 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações equatoriais brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 22 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

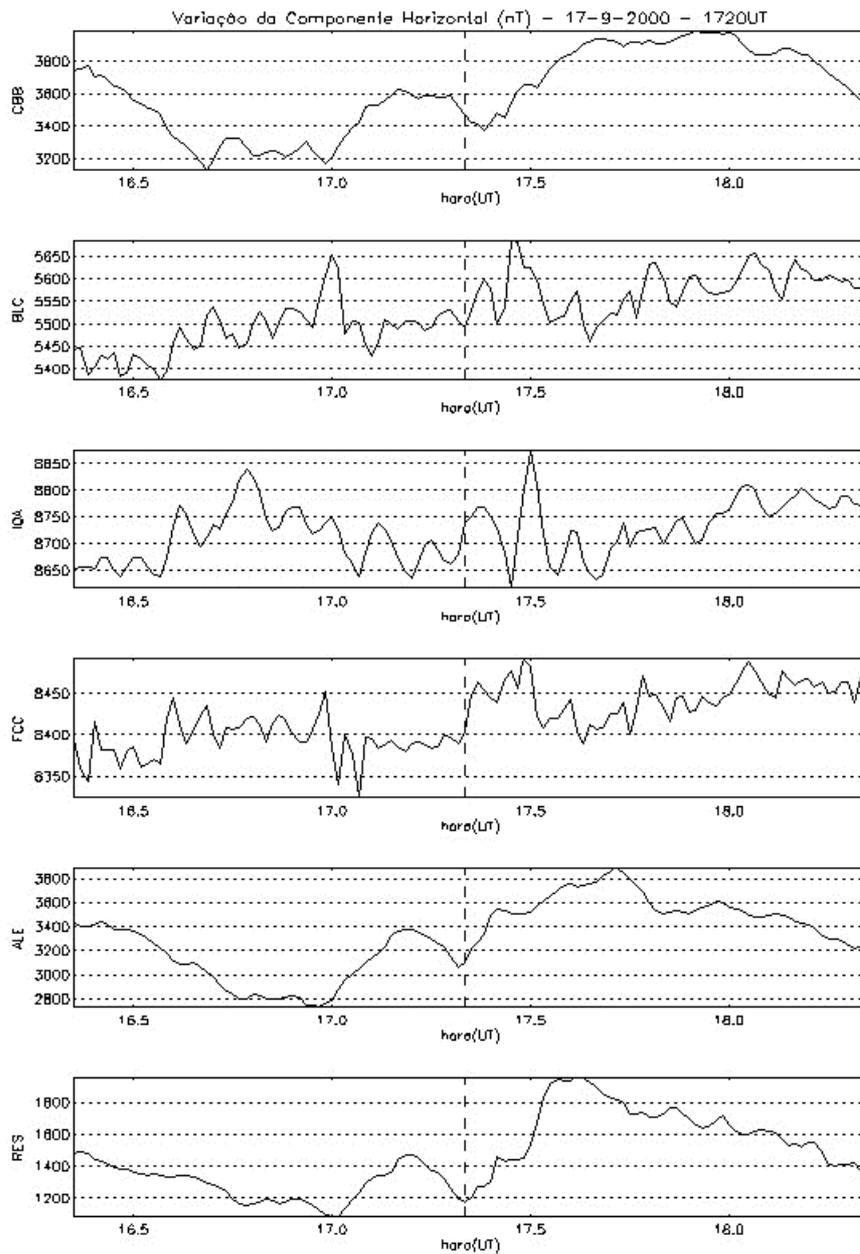


FIGURA B.22 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 23 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 17,4 horas.

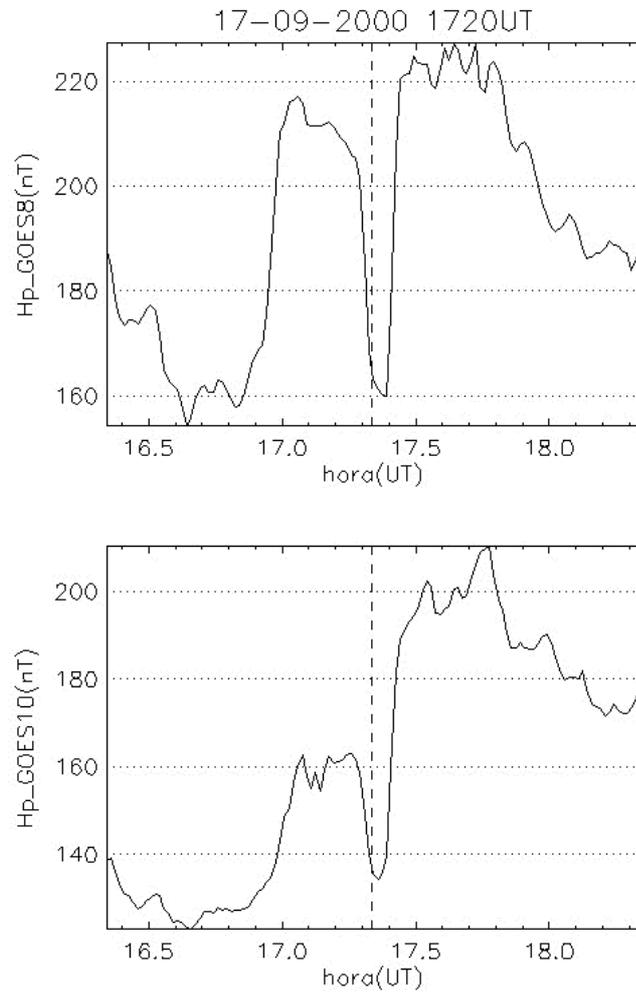


FIGURA B.23 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 24 e 25 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a um pulso na pressão do vento solar, com início aproximadamente às 16,4 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de processos envolvendo reconexão.

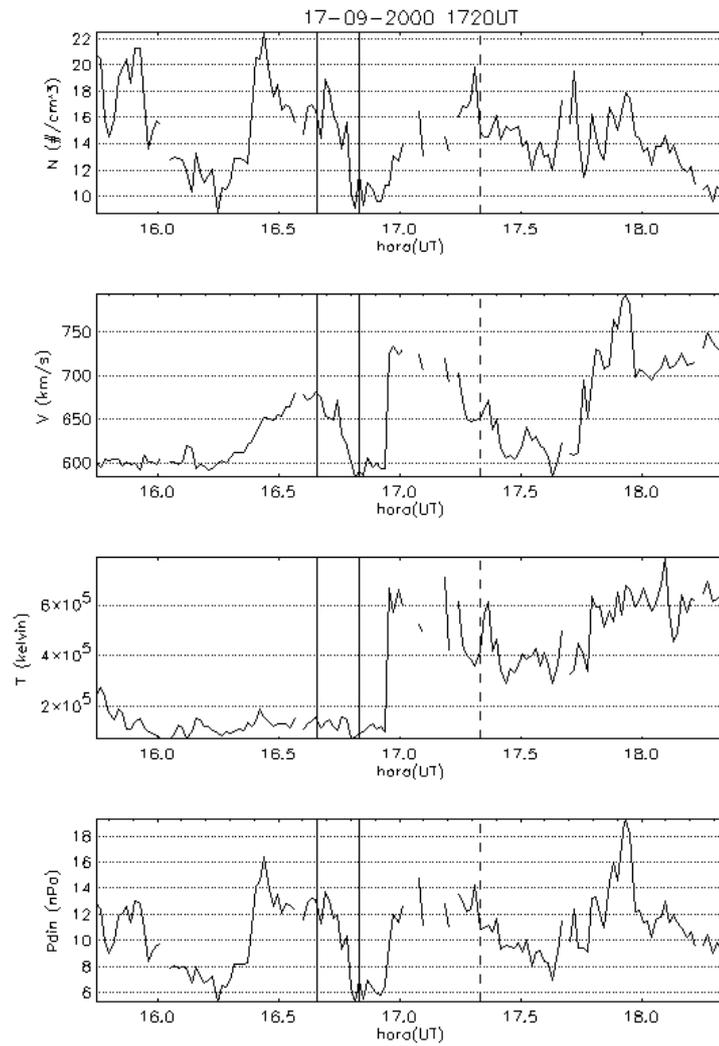


FIGURA B.24 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

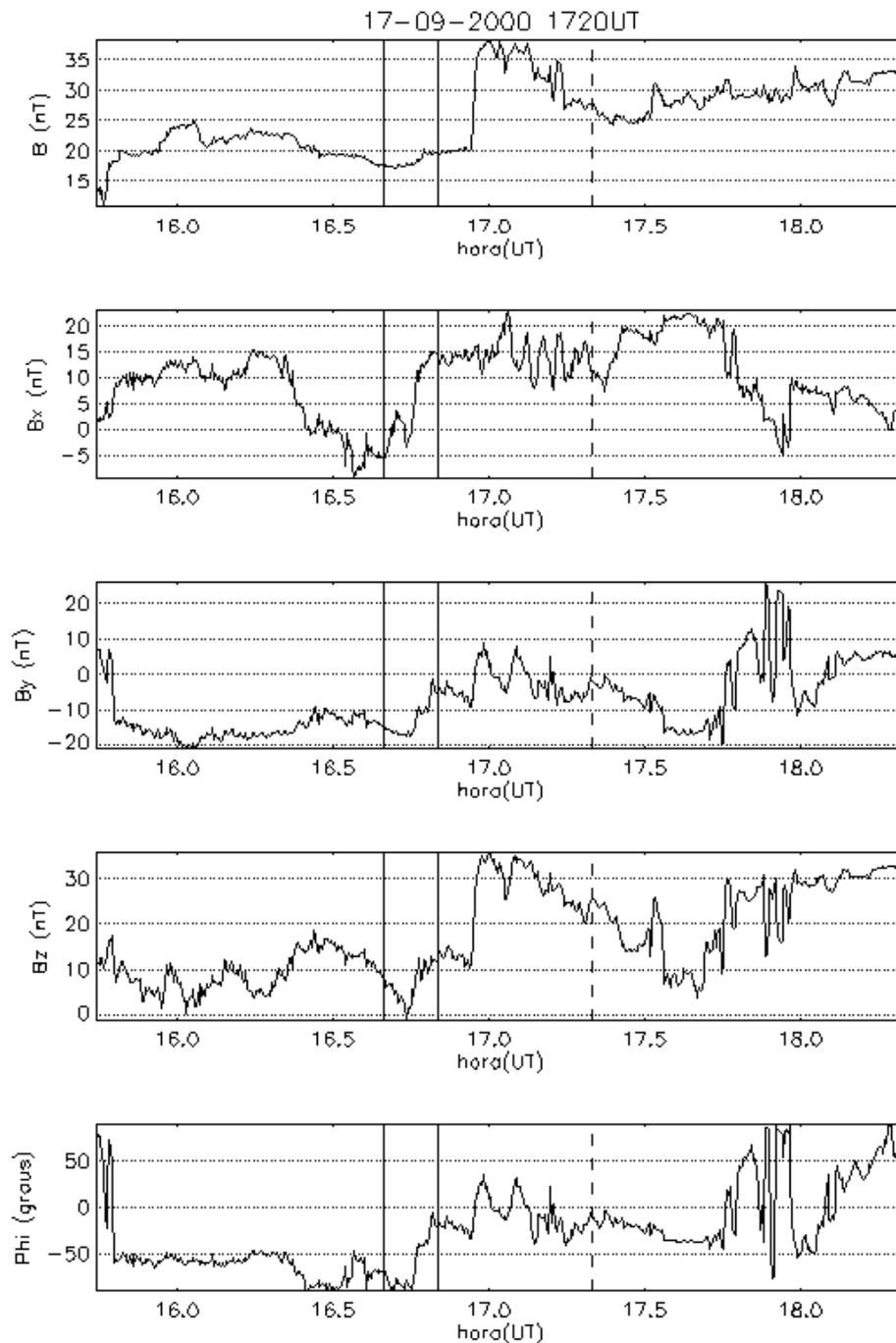


FIGURA B.25 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1720 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 17/09/00 1925 UT

A Figura 26 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~73 nT) e em SLZ (~50 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~38 nT), BLM (~42 nT) e SMS (~41 nT). JIP vê o evento 22 segundos após EUS. Os resultados sugerem que o evento se propaga para oeste com uma velocidade média de 1,92 graus/segundo, desconsiderando a velocidade entre JIP e BLM.

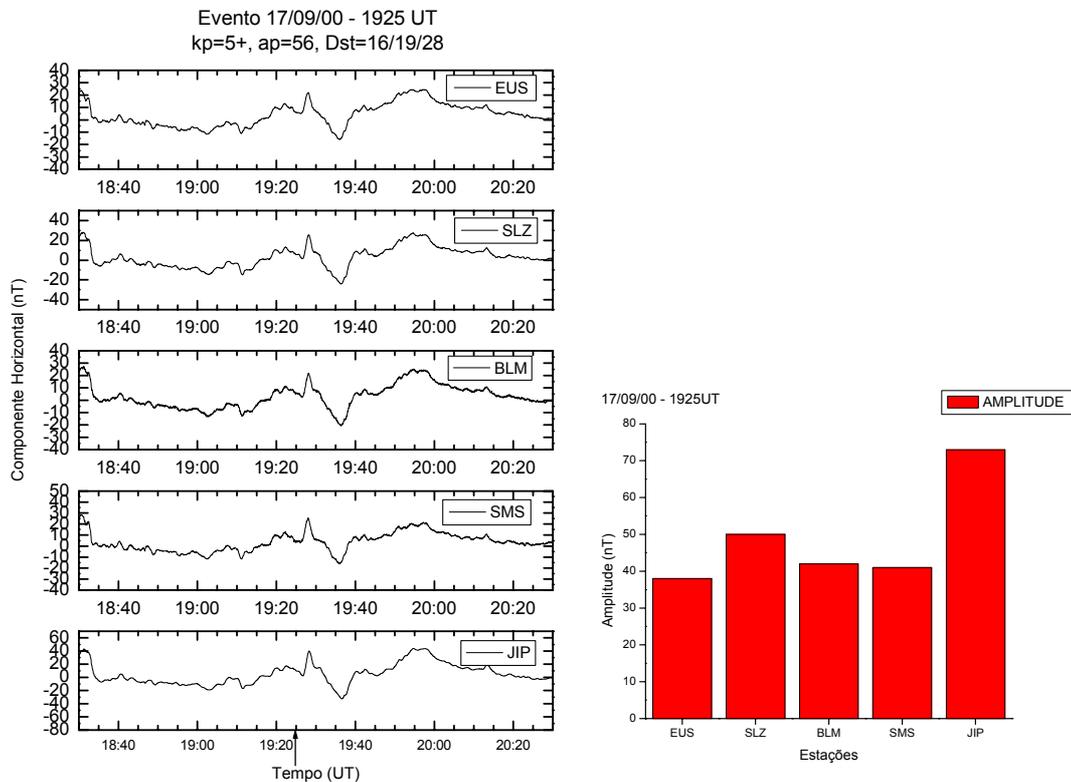


FIGURA B.26 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações equatoriais brasileiras, para o intervalo de 1830–2030 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações equatoriais brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 27 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

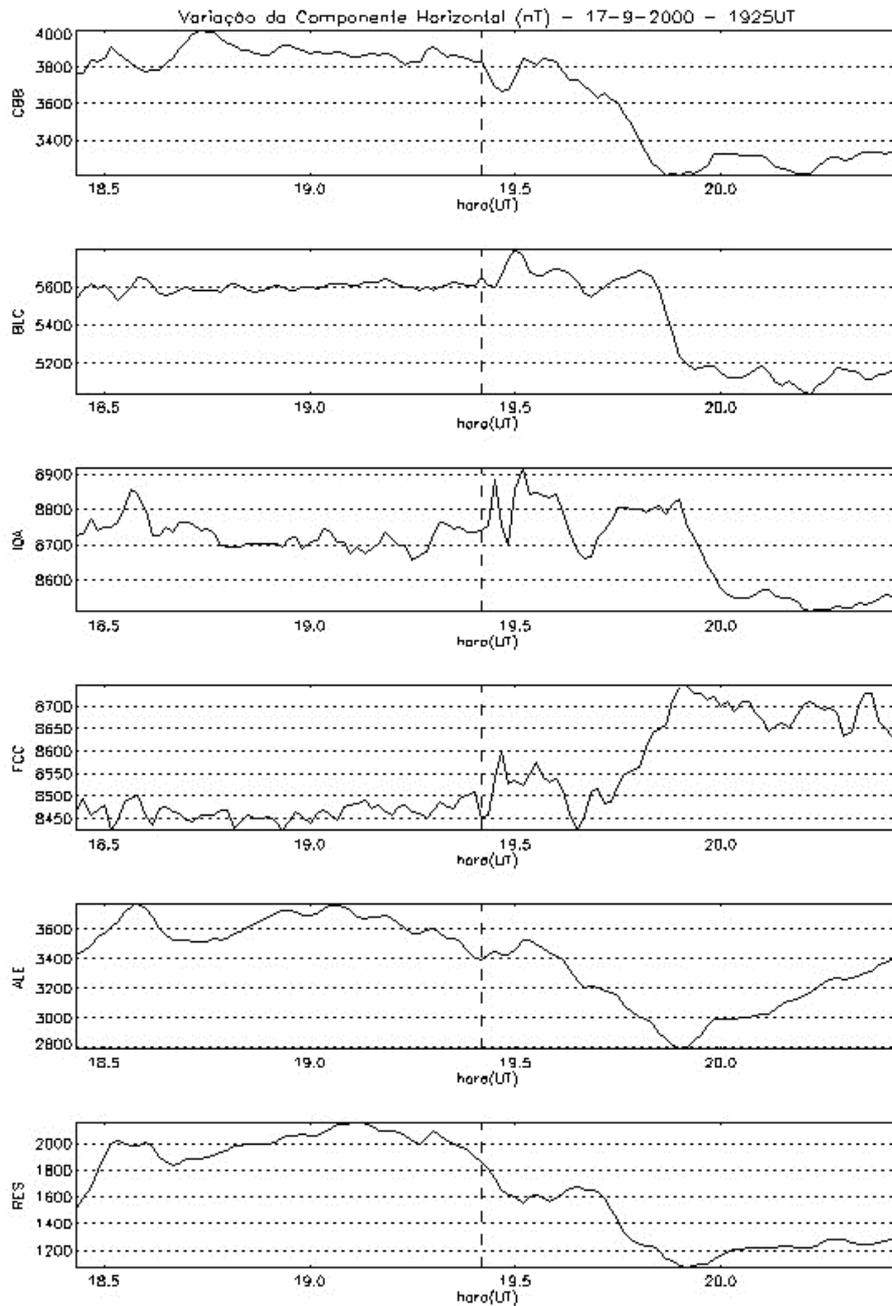


FIGURA B.27 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 28 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 19,4 horas.

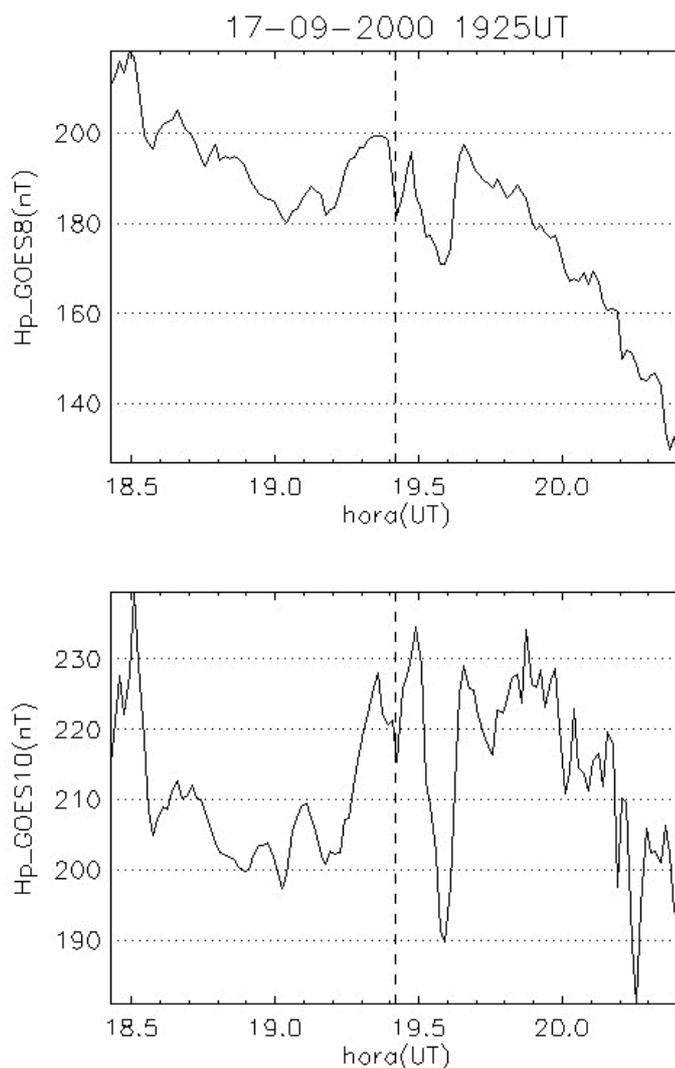


FIGURA B.28 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 29 e 30 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a um pulso na pressão do vento solar, ocorrendo aproximadamente às 18,6 horas. A componente Z do IMF é positiva, sofrendo uma rápida incursão a valores negativos aproximadamente às 18,8 horas.

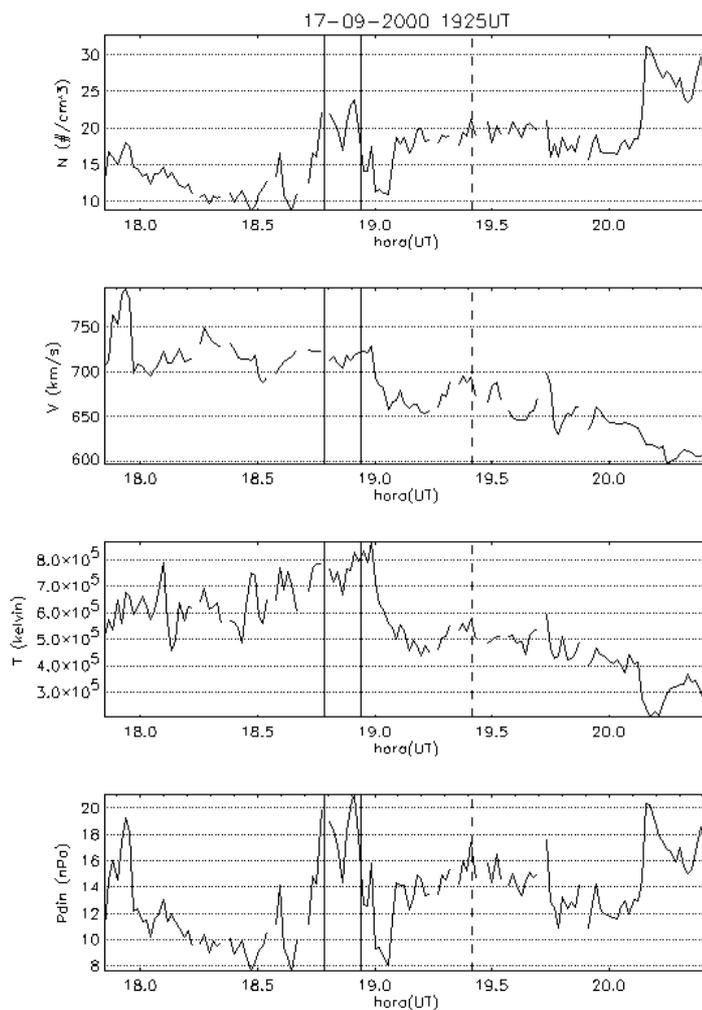


FIGURA B.29 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

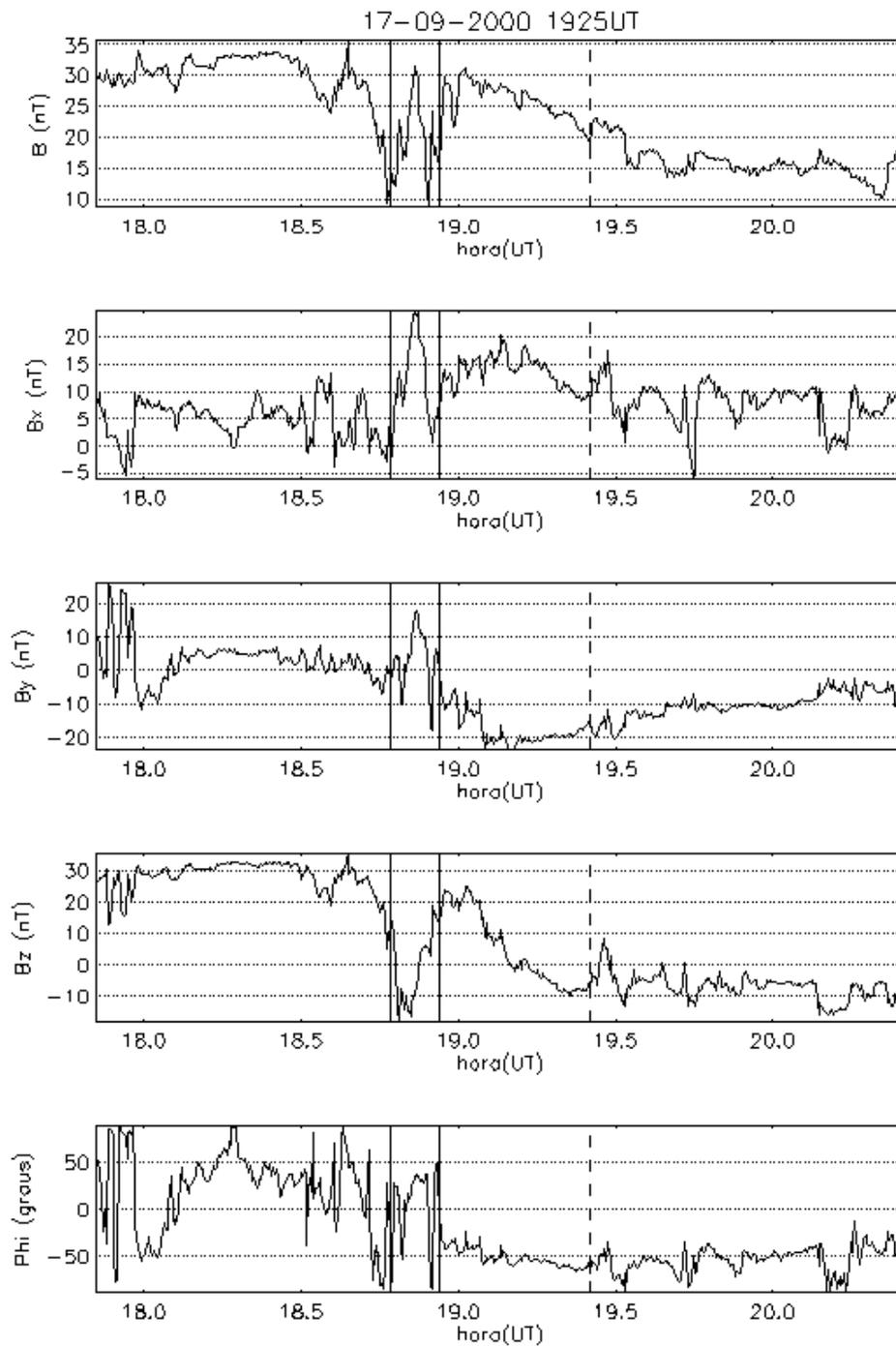


FIGURA B.30 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de setembro de 2000, 1925 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 18/09/00 1000 UT

A Figura 31 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em SLZ (~83 nT) e em JIP (~66 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~60 nT), BLM (~50 nT) e SMS (~47 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 8 segundos. Os resultados sugerem que o evento tem uma velocidade de propagação média de 1,92 graus/segundo.

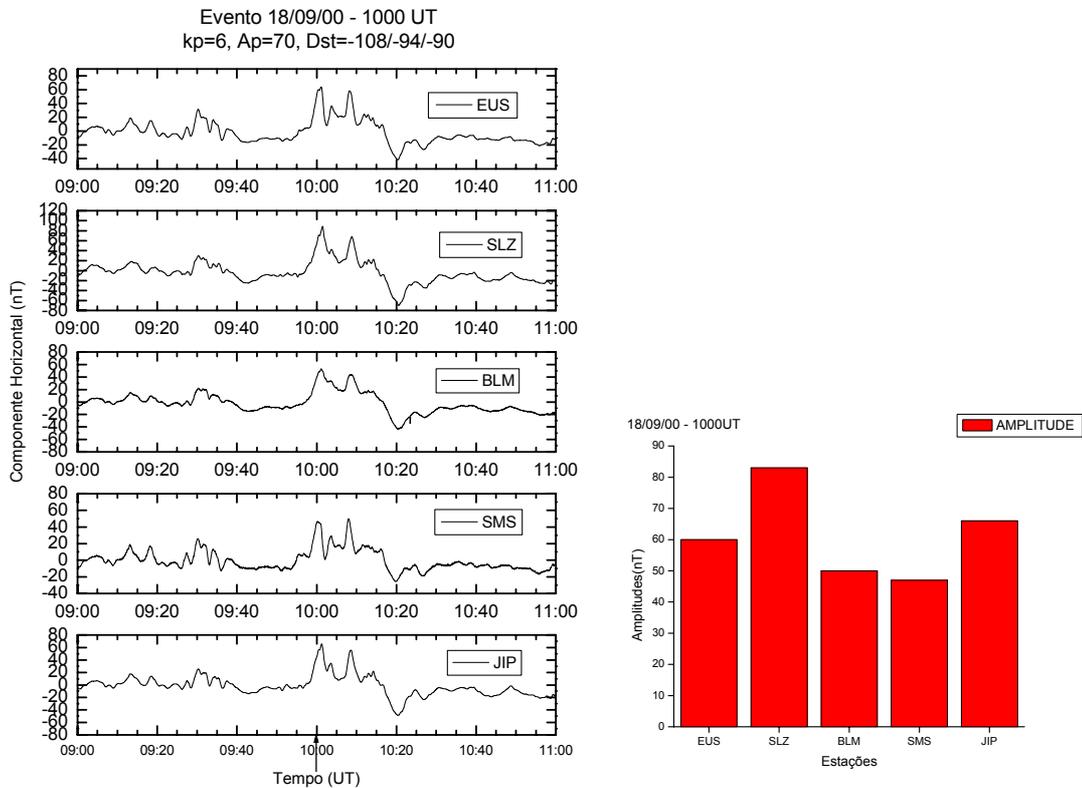


FIGURA B.31 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações equatoriais brasileiras, para o intervalo de 0900–1100 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações equatoriais brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 32 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

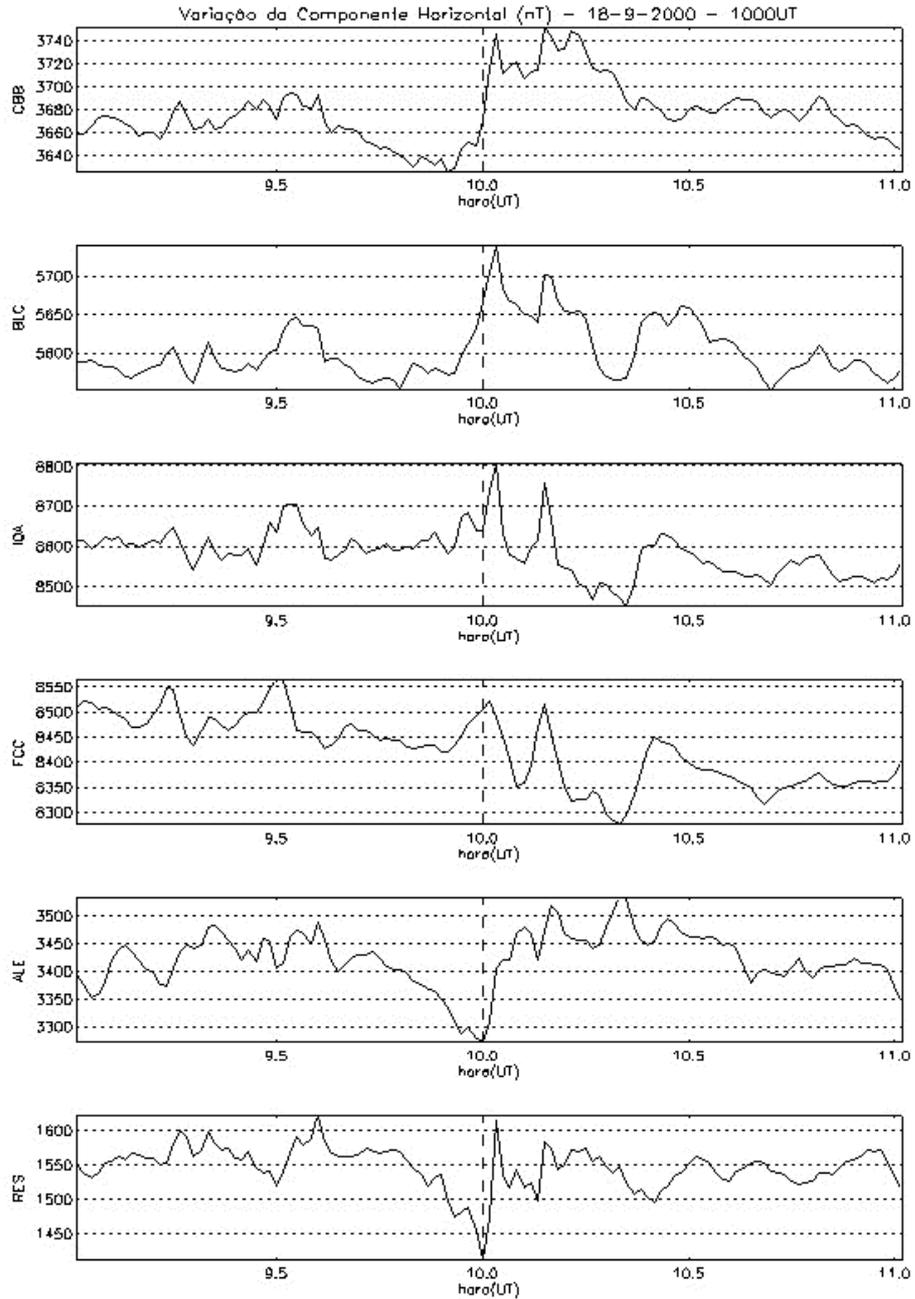


FIGURA B.32 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 33 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 10 horas.

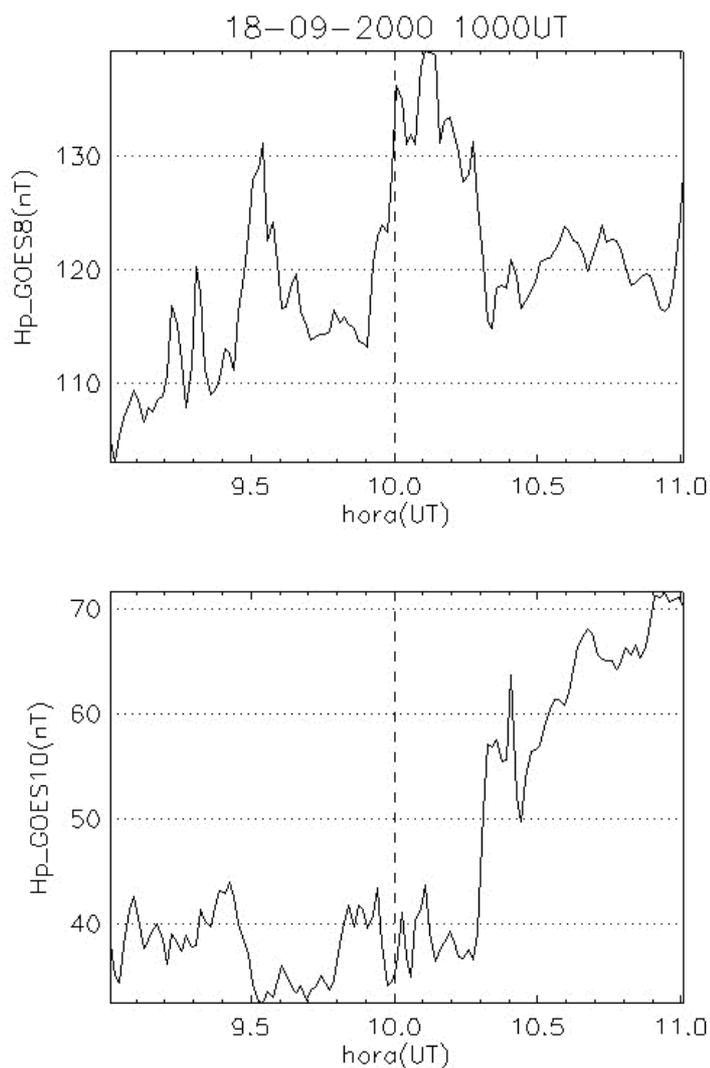


FIGURA B.33 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As Figuras 34 e 35 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a um pulso na pressão do vento solar, com início aproximadamente às 9,4 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de algum processo envolvendo reconexão.

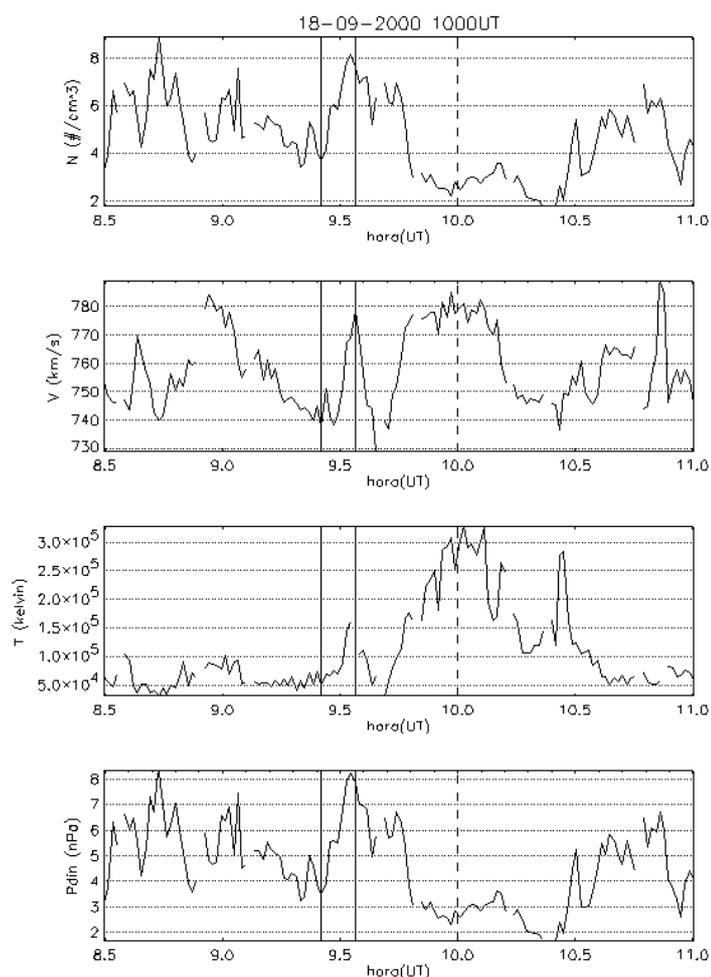


FIGURA B.34 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

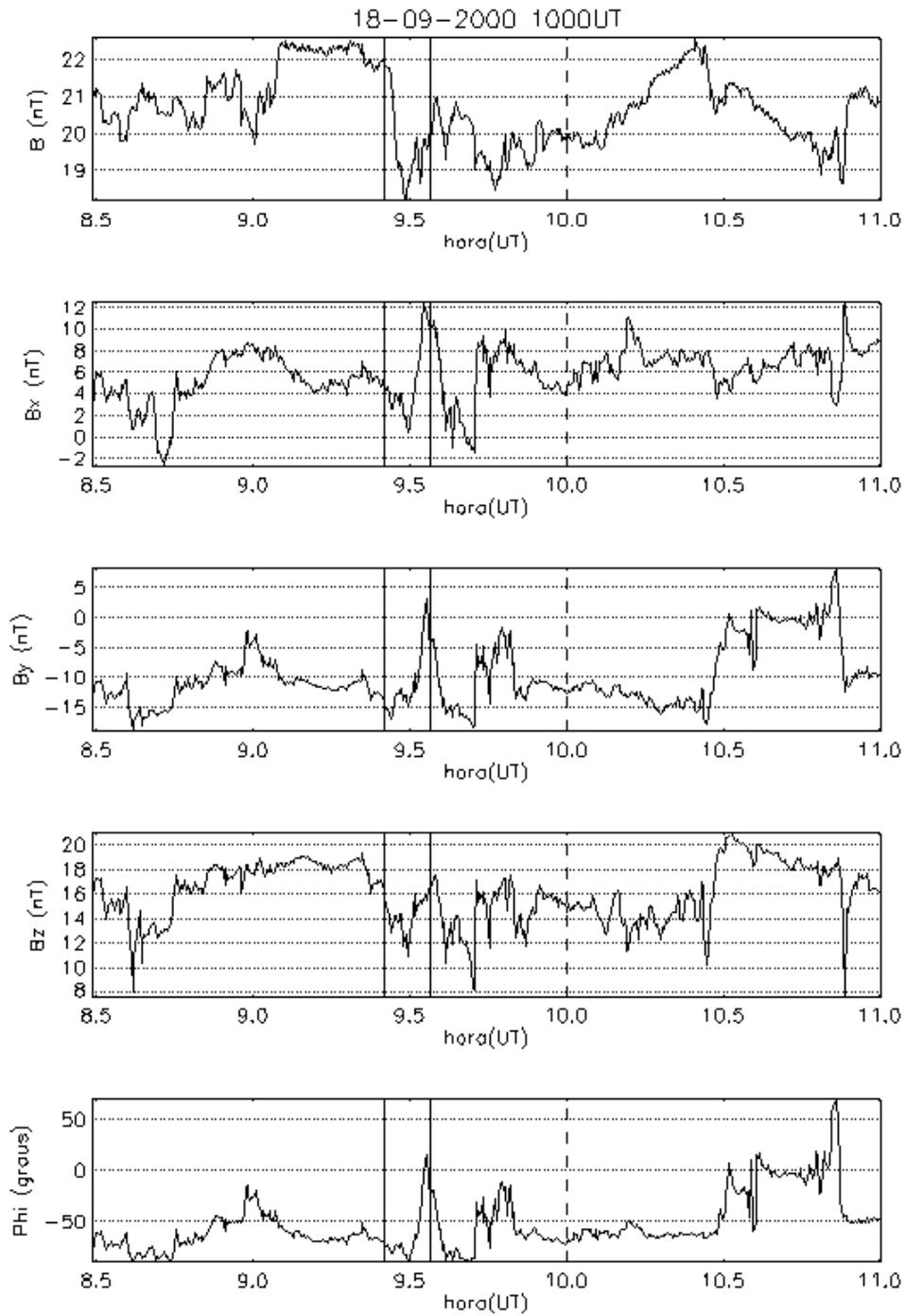


FIGURA B.35 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1000 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 18/09/00 1445 UT

A Figura 36 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~197 nT) e em SLZ (~160 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~93 nT), BLM (~112 nT) e SMS (~79 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 60 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 0,59 graus/segundo.

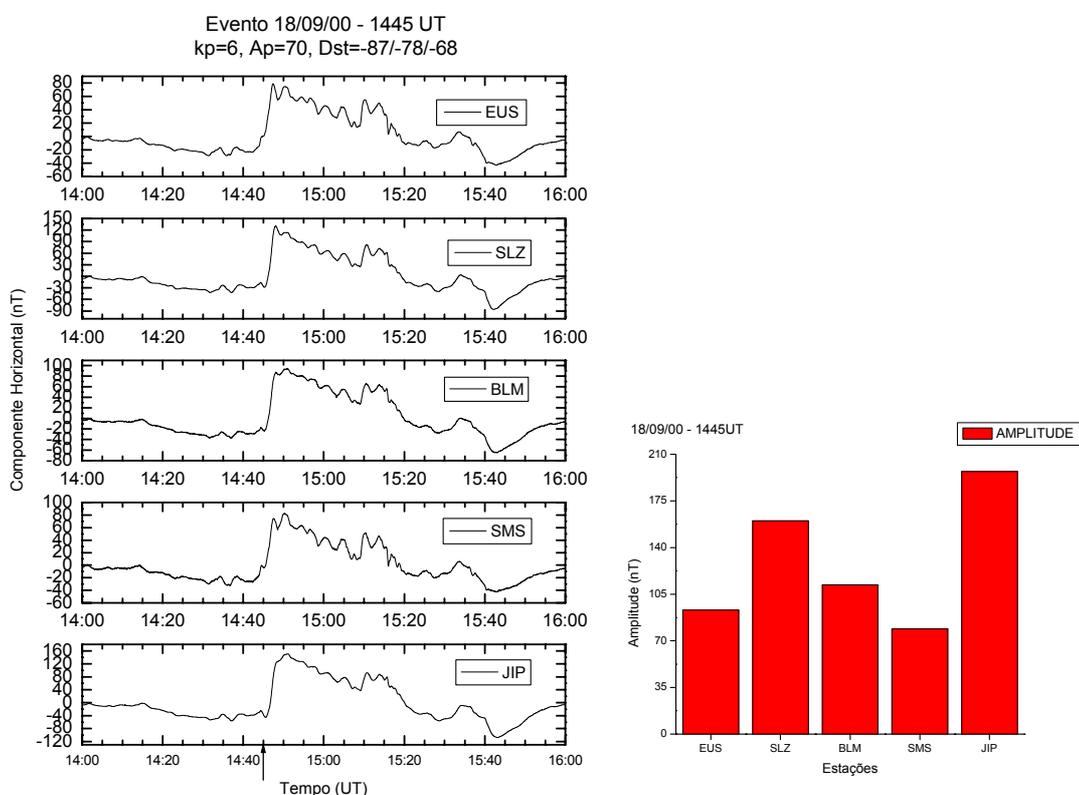


FIGURA B.36 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1400–1600 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 37 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

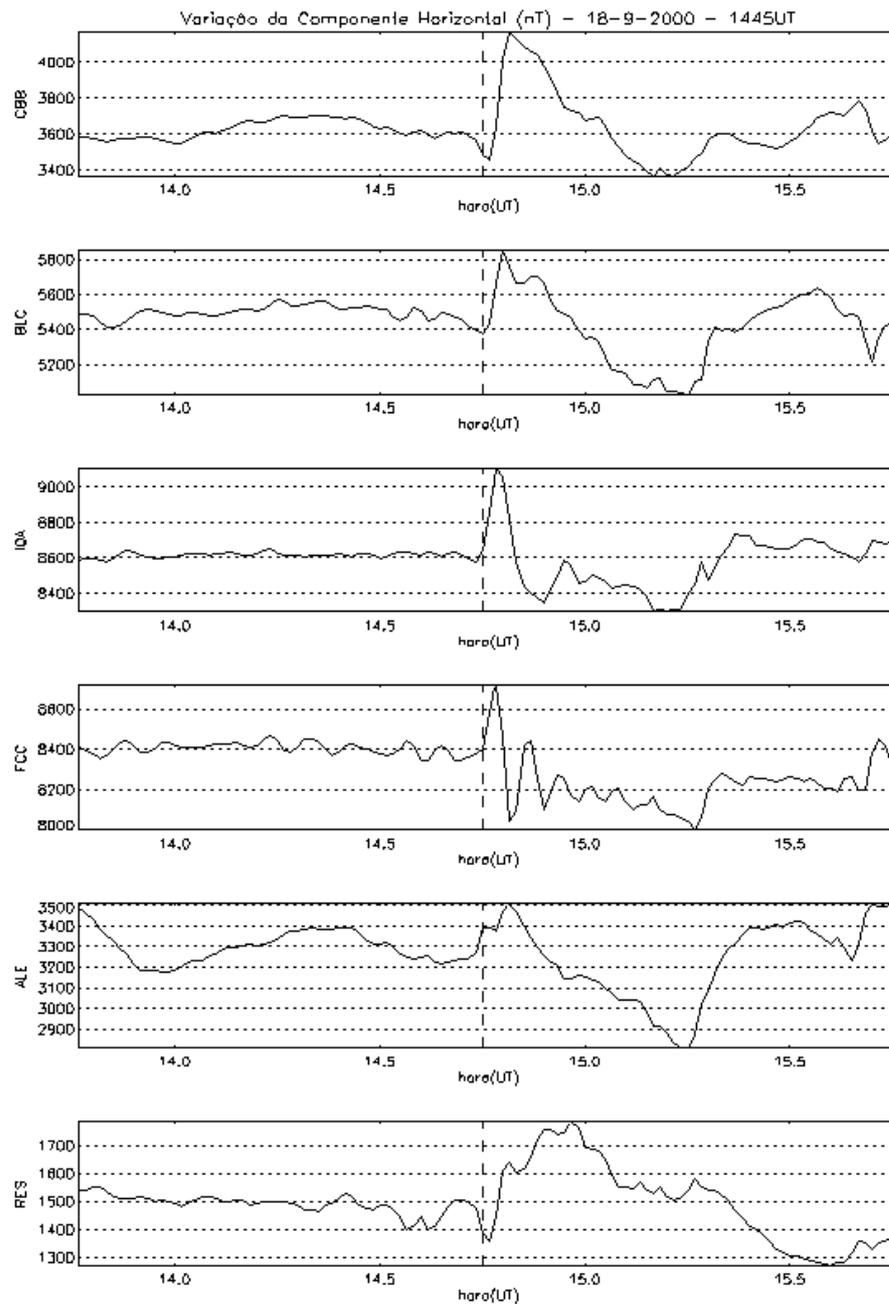


FIGURA B.37 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 38 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 14,7 horas.

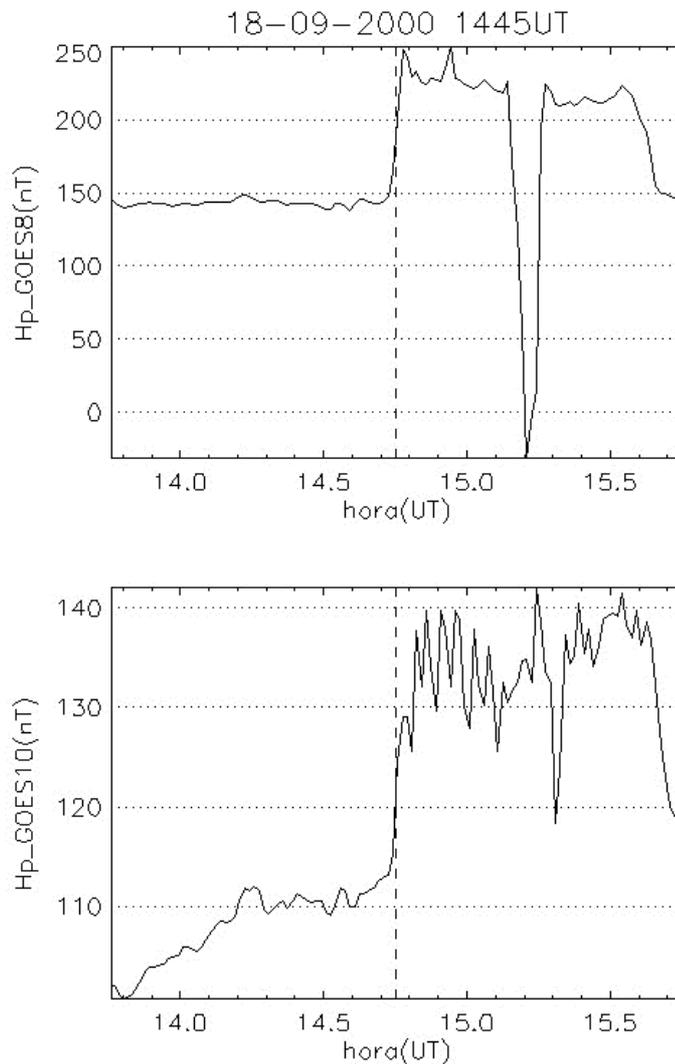


FIGURA B.38 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As Figuras 39 e 40 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A perturbação está possivelmente associada a um pulso na pressão do vento solar, ocorrendo aproximadamente às 14,3 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de algum processo envolvendo reconexão.

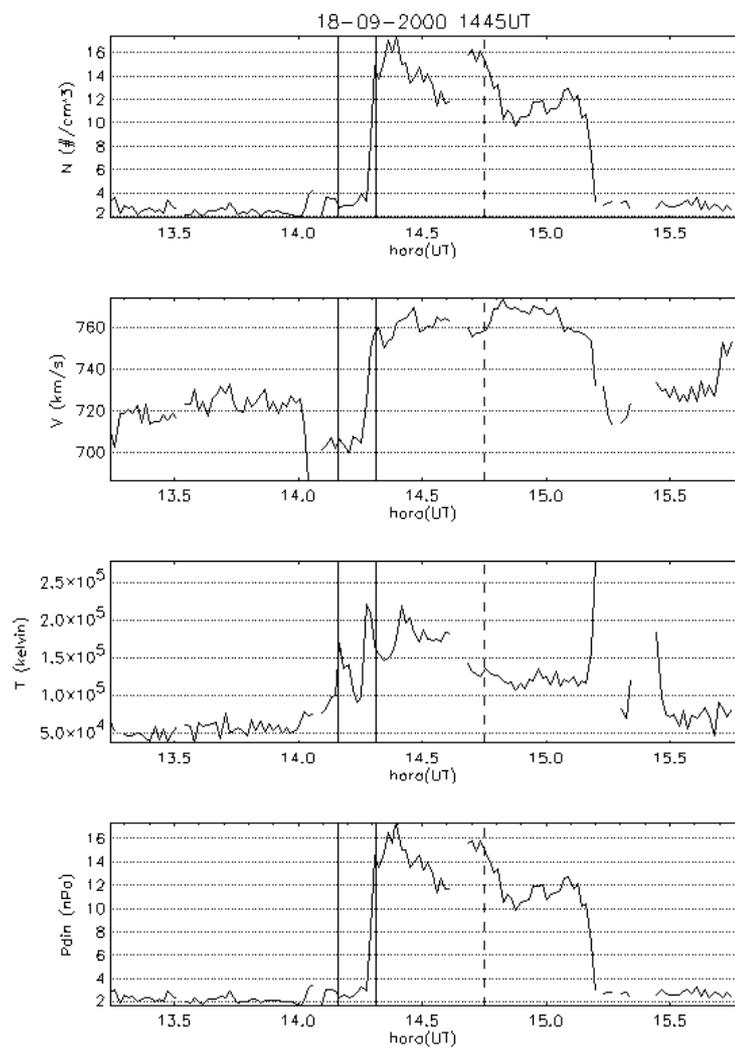


FIGURA B.39 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

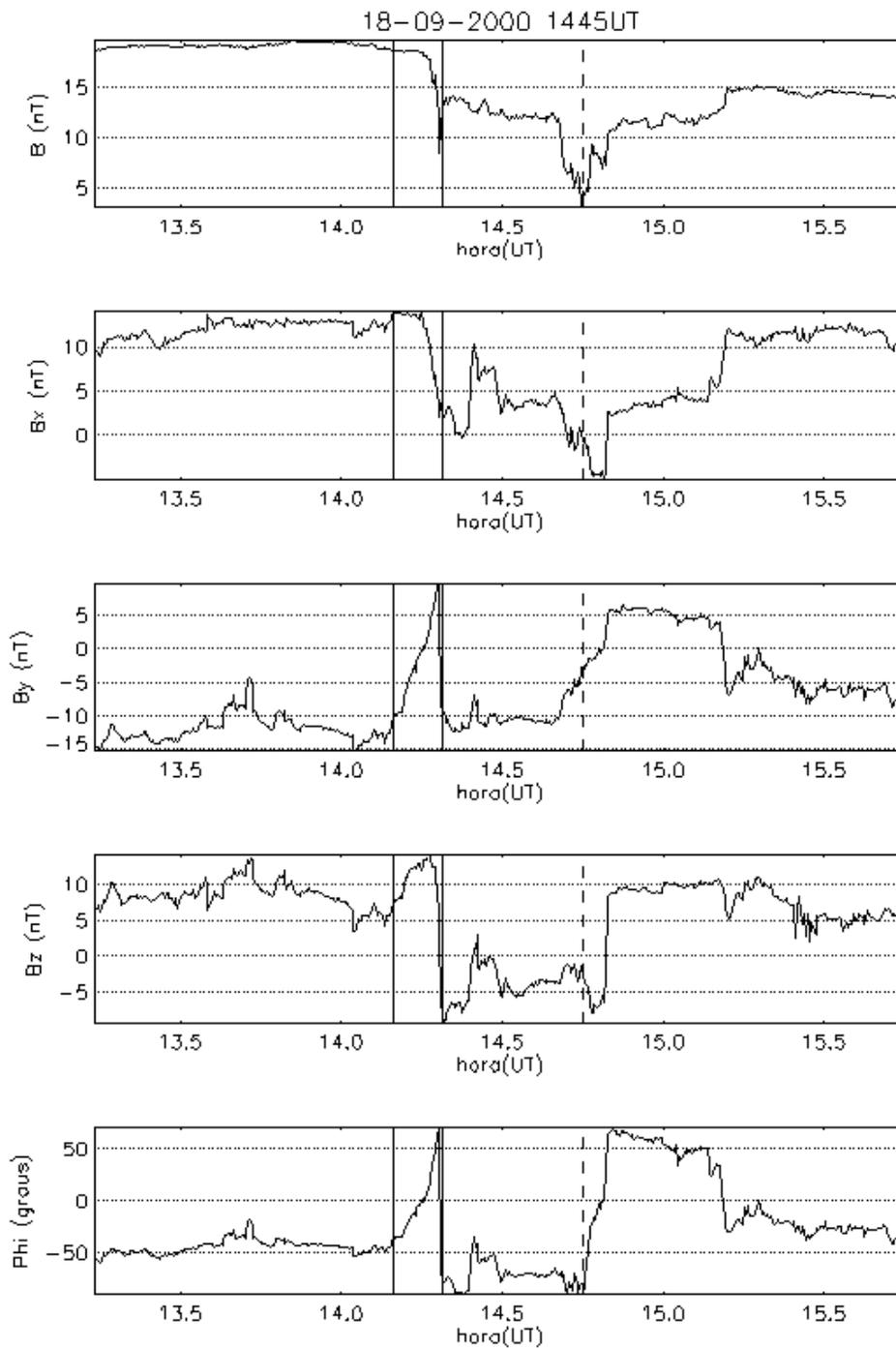


FIGURA B.40 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 18 de setembro de 2000, 1445 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 05/10/00 – 1630 UT

A Figura 41 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~163 nT) e em SLZ (~138 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~81 nT) e SMS (~69 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 56 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 0,56 graus/segundo.

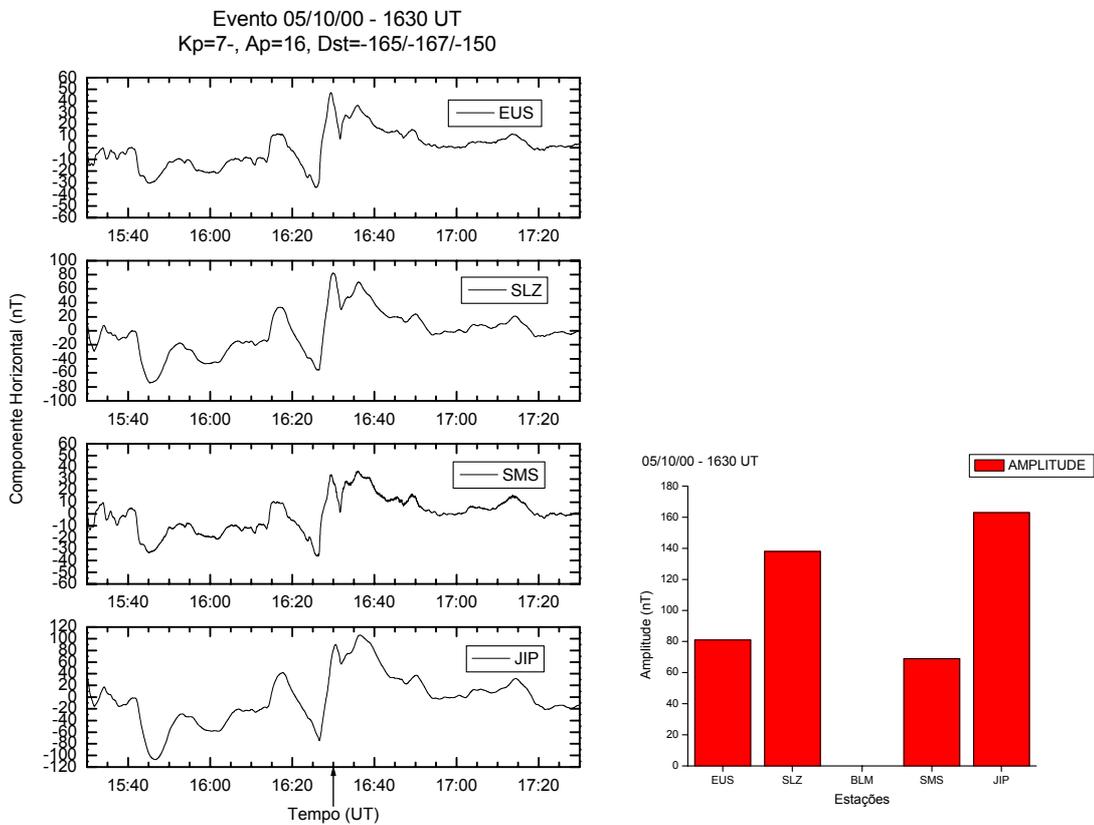


FIGURA B.41 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1530–1730 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste(EUS) para a mais a oeste(JIP).

A Figura 42 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

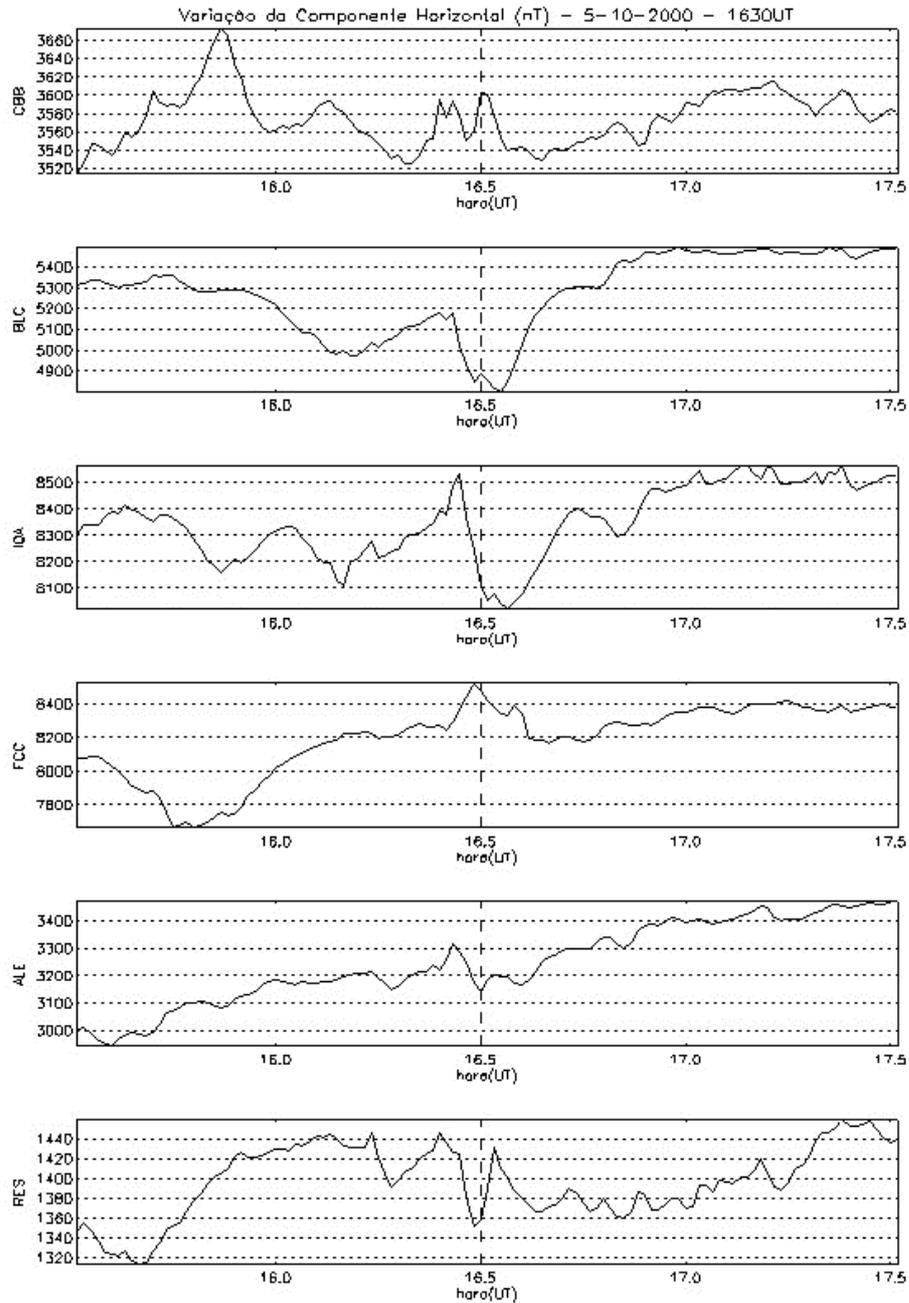


FIGURA B.42 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 43 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 16,4 horas.

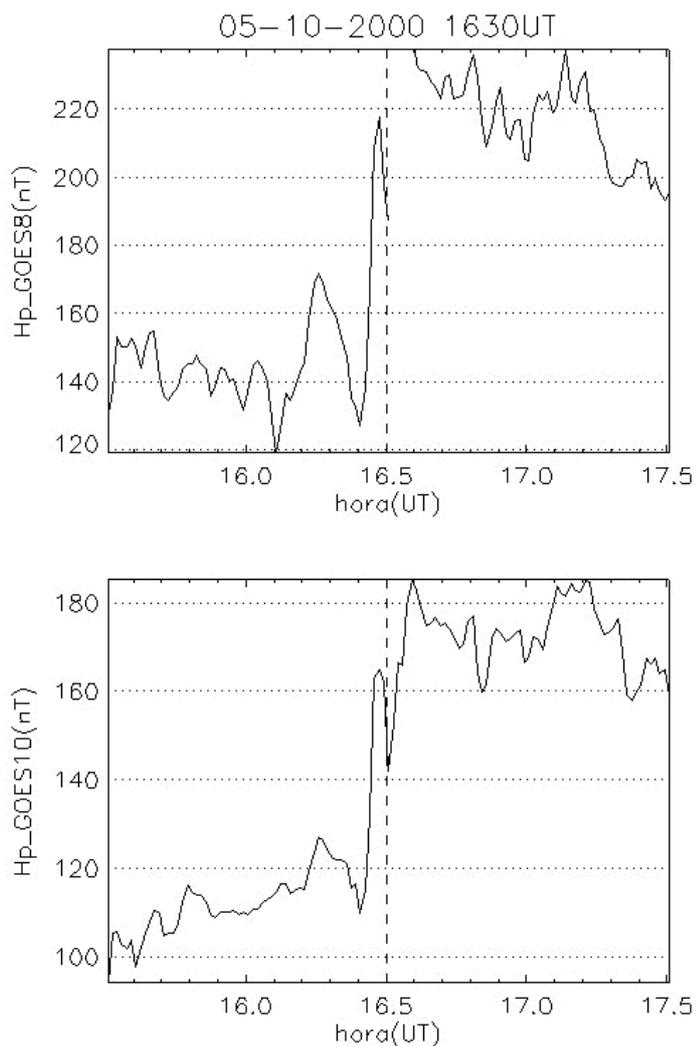


FIGURA B.43 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As Figuras 44 e 45 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. Apesar do período sem aquisição de dados, é possível verificar a ocorrência de um aumento no valor da pressão do vento solar, o qual está provavelmente associado ao evento detectado na superfície. A componente Z do IMF é negativa, sofrendo uma rápida incursão a valores positivos aproximadamente às 15,8 horas.

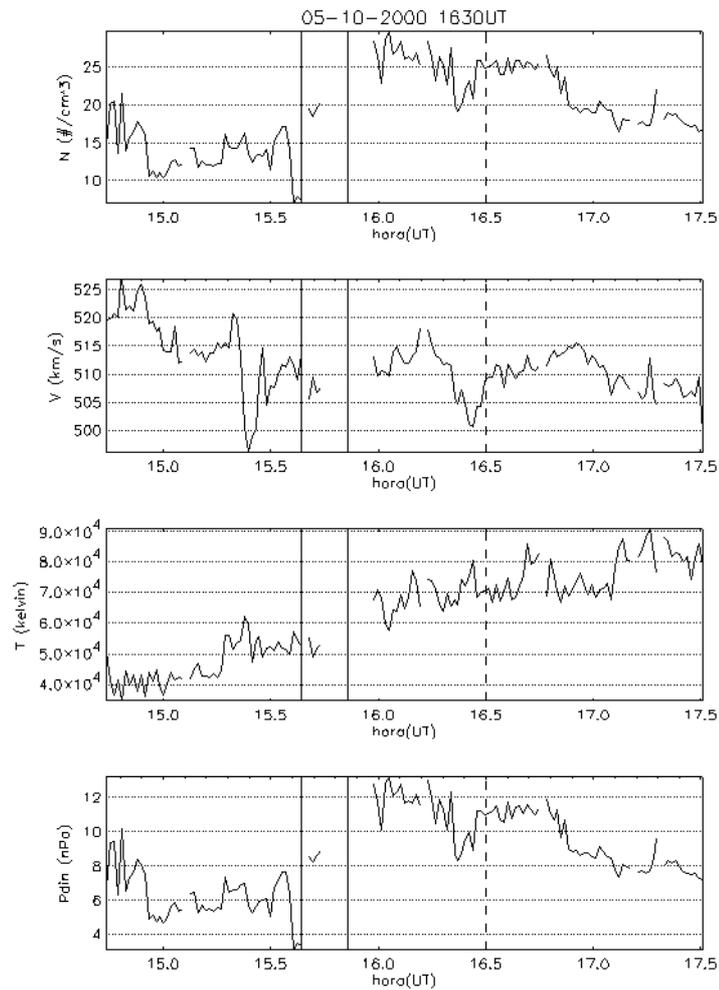


FIGURA B.44 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 5 de outubro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

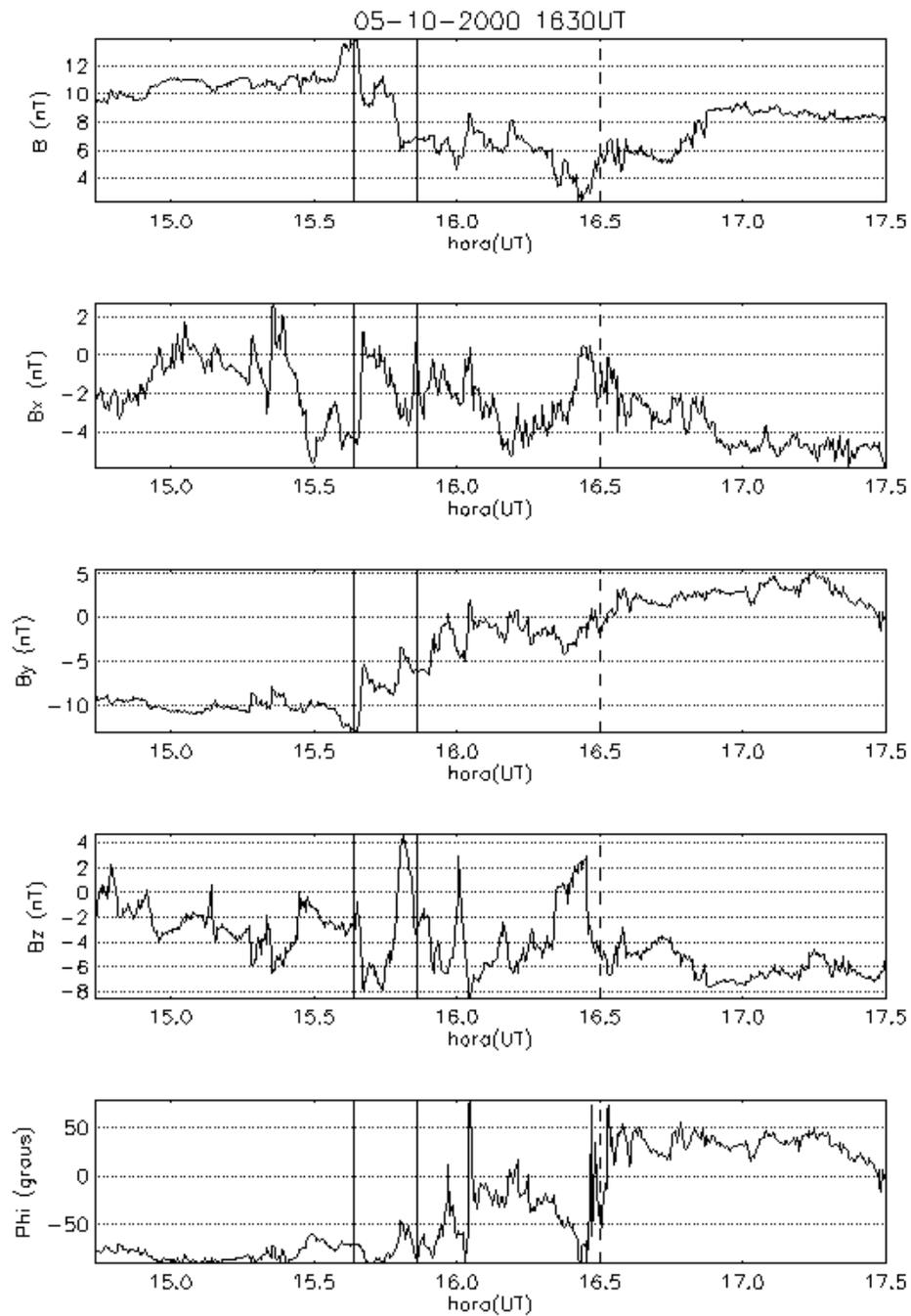


FIGURA B.45 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 05 de outubro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.
 Evento 17/10/00 – 1400 UT

A Figura 46 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais

a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~41 nT) e em SLZ (~33 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~13 nT) e BLM (~24 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 122 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 0,57 graus/segundo.

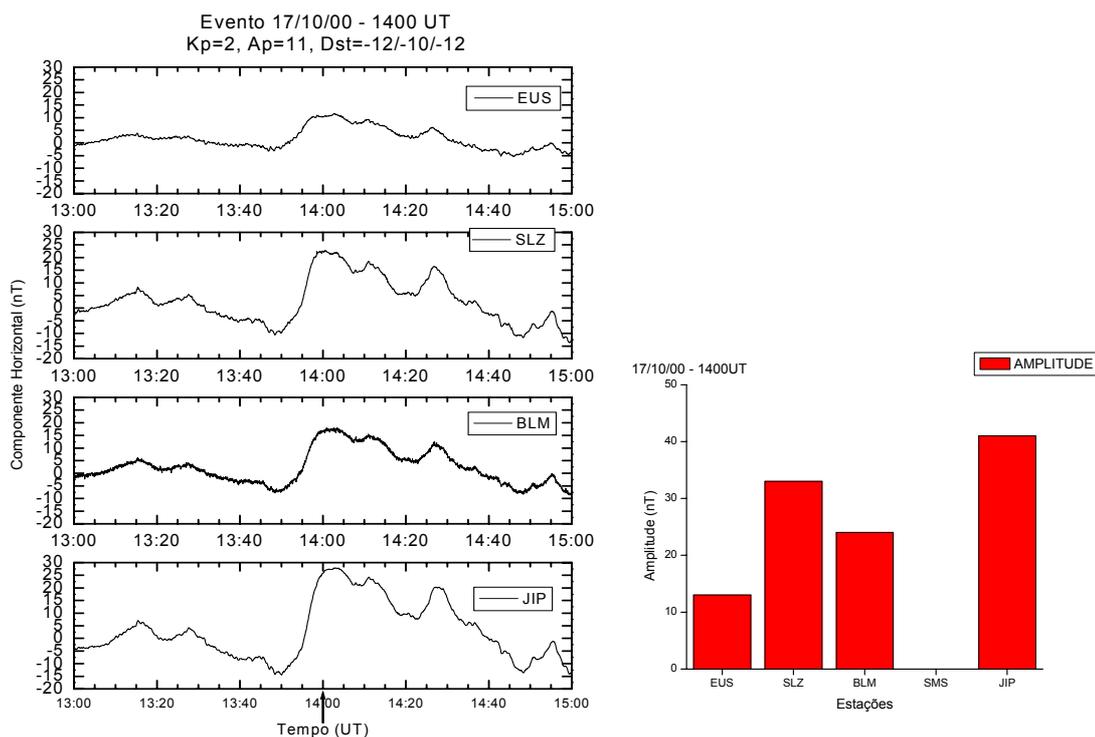


FIGURA B.46 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1300–1500 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 47 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

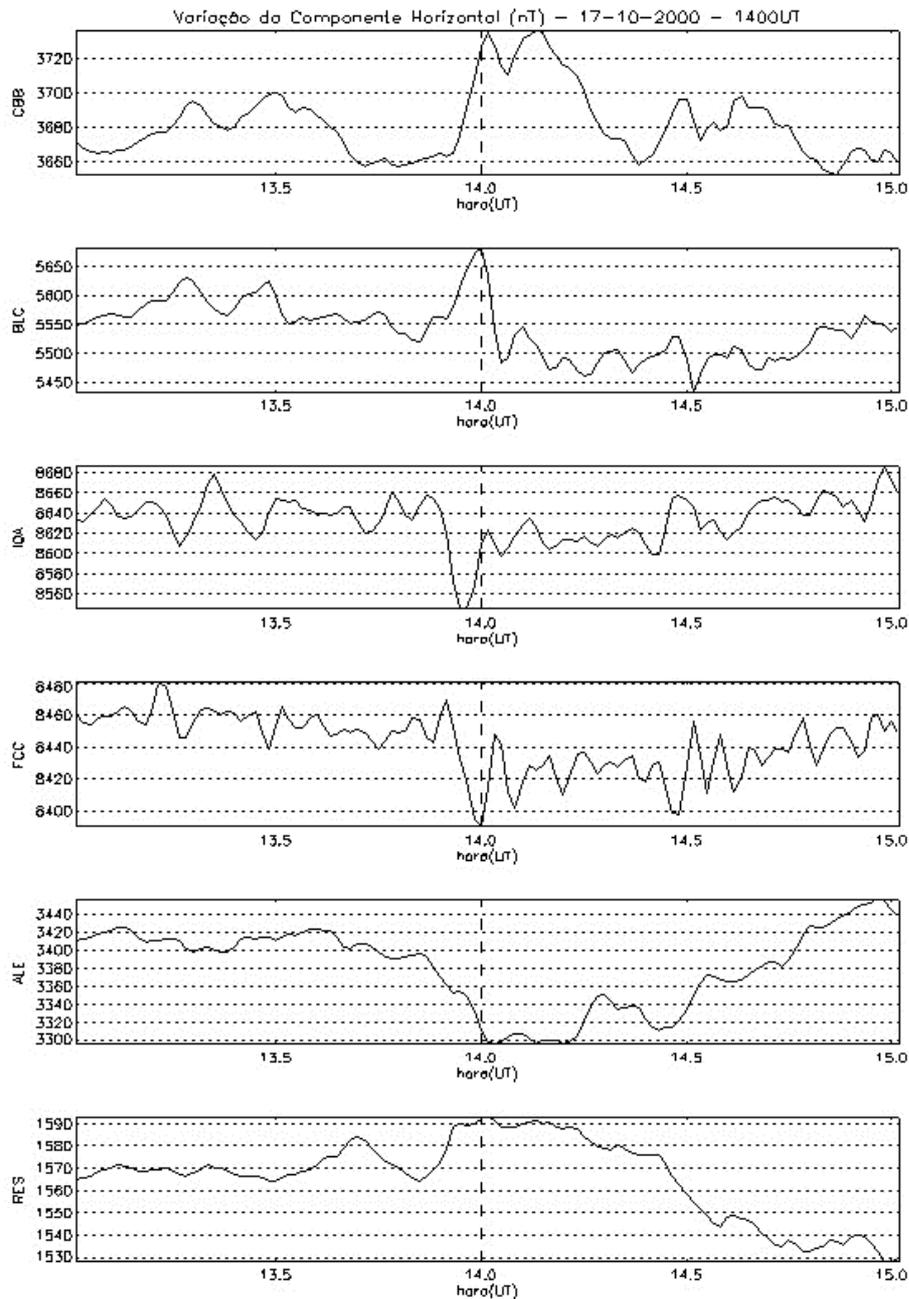


FIGURA B.47 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 48 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. Não há uma assinatura clara para o evento em órbita geossíncrona.

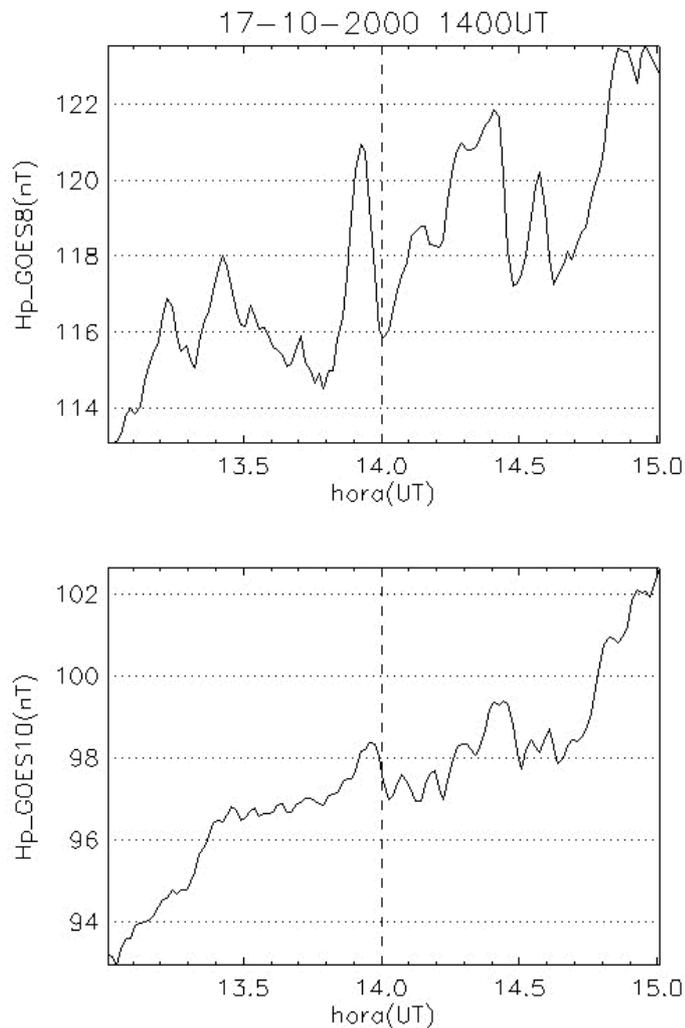


FIGURA B.48 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As Figuras 49 e 50 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. A pressão do vento solar não apresenta nenhuma variação considerável no período. A componente Z do IMF tem módulo entre zero e 2 e apresenta sinal positivo até as 13 horas, a partir da onde muda de sinal.

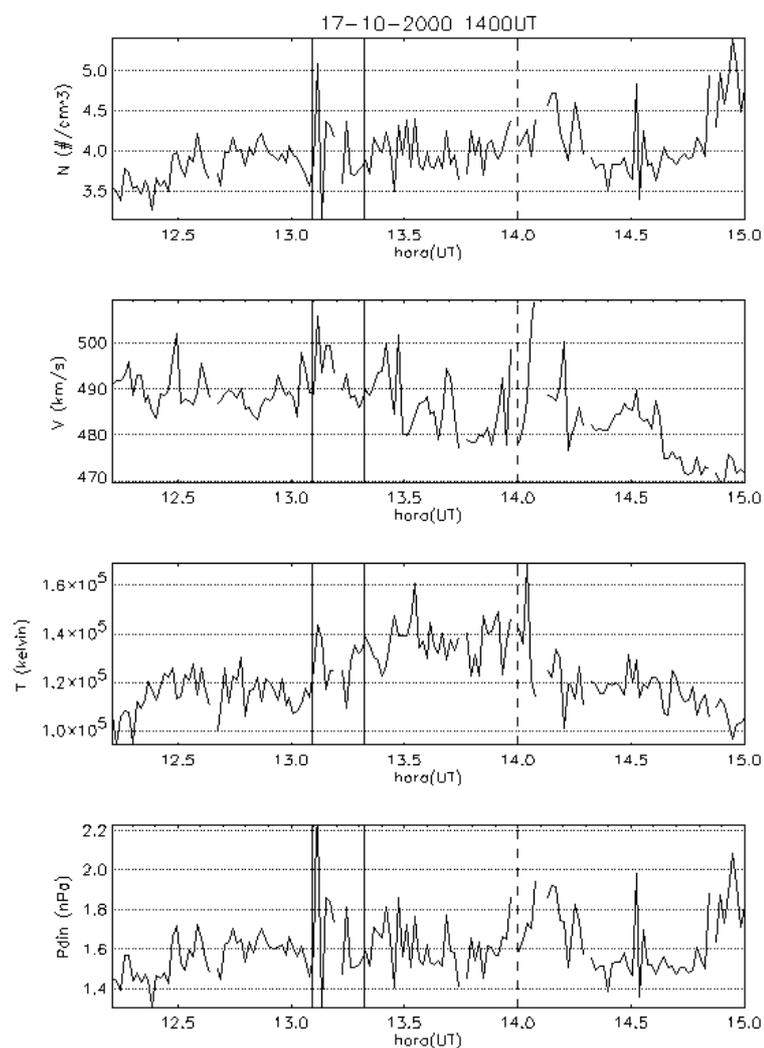


FIGURA B.49 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

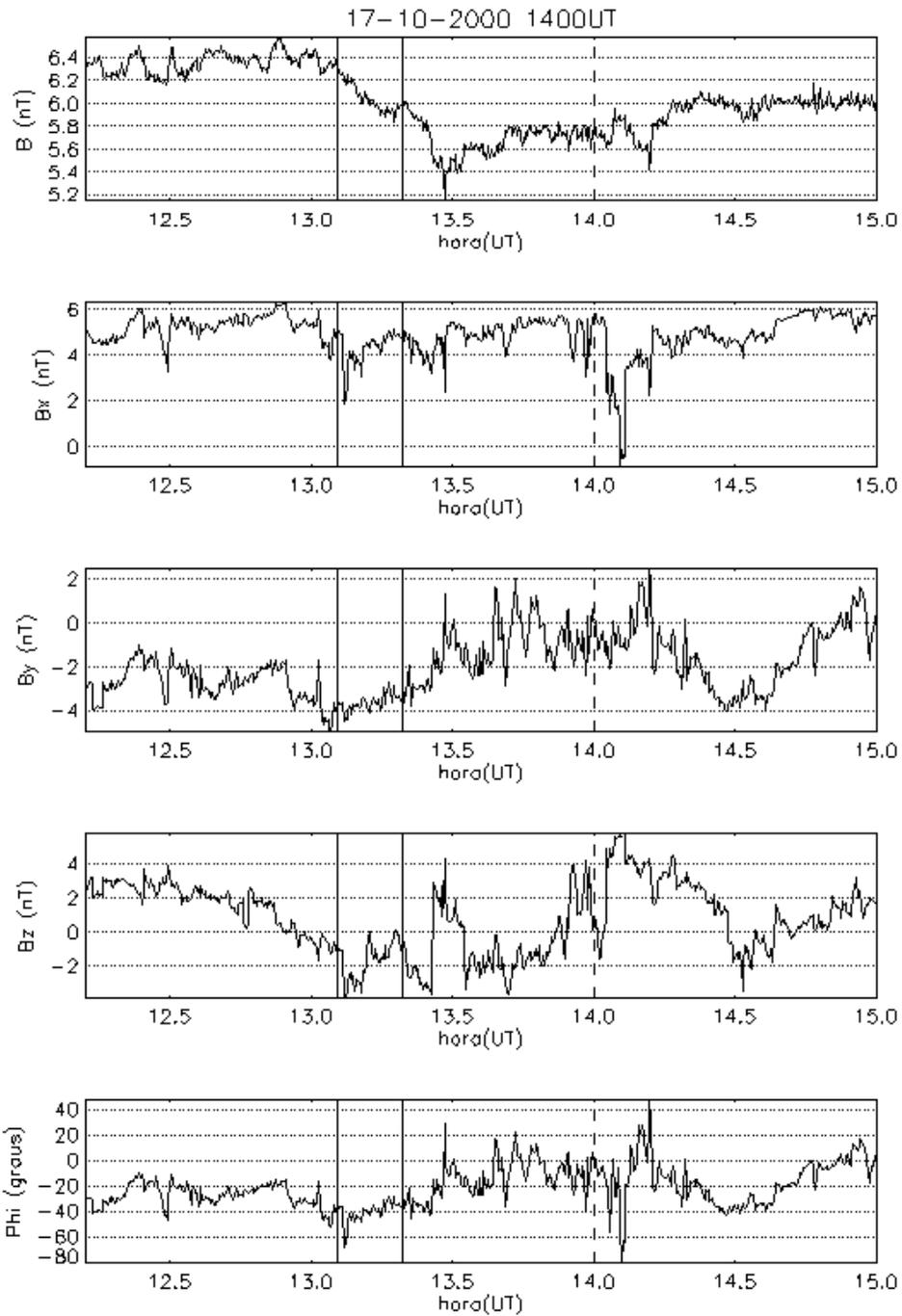


FIGURA B.50 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 17 de outubro de 2000, 1400 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.
 Evento 28/10/00 – 1000 UT

A Figura 51 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em SLZ (~71 nT) e em JIP (~57 nT), ambas diretamente abaixo do eletrojato equatorial. As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~46 nT), BLM (~53 nT) e SMS (~31 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 20 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 1,06 graus/segundo.

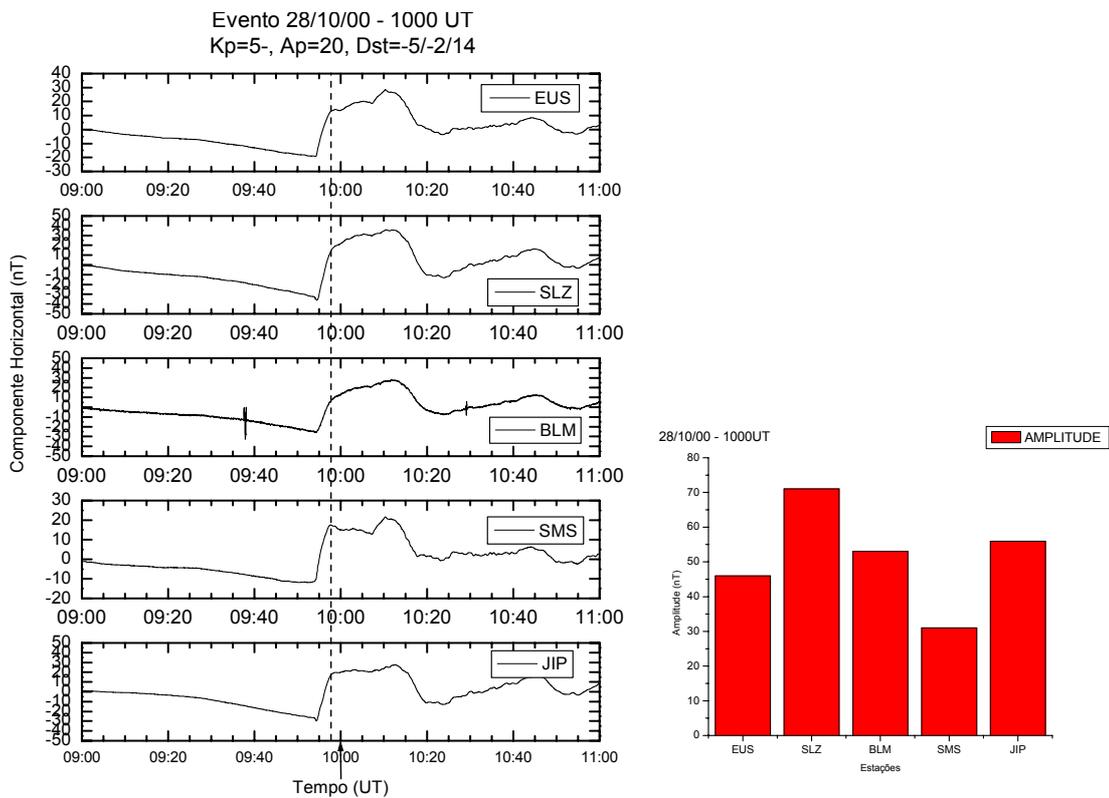


FIGURA B.51 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 0900–1100 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 52 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

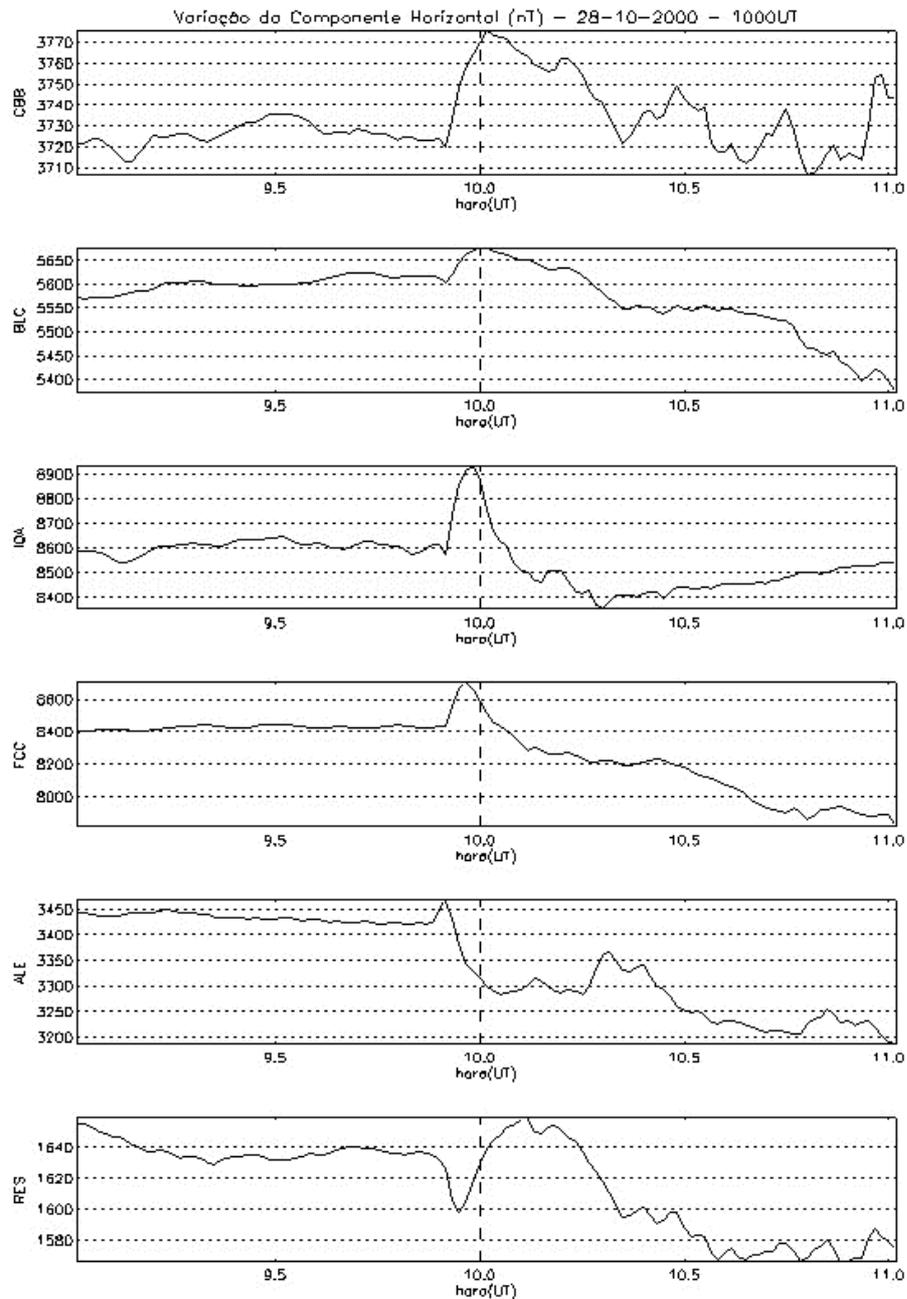


FIGURA B.52 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 53 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo em torno das 10 horas. A componente H_p

apresenta um aumento abrupto nos dados medidos pelo satélite GOES 8, enquanto que nos dados medidos pelo GOES 10 ocorreu uma queda abrupta.

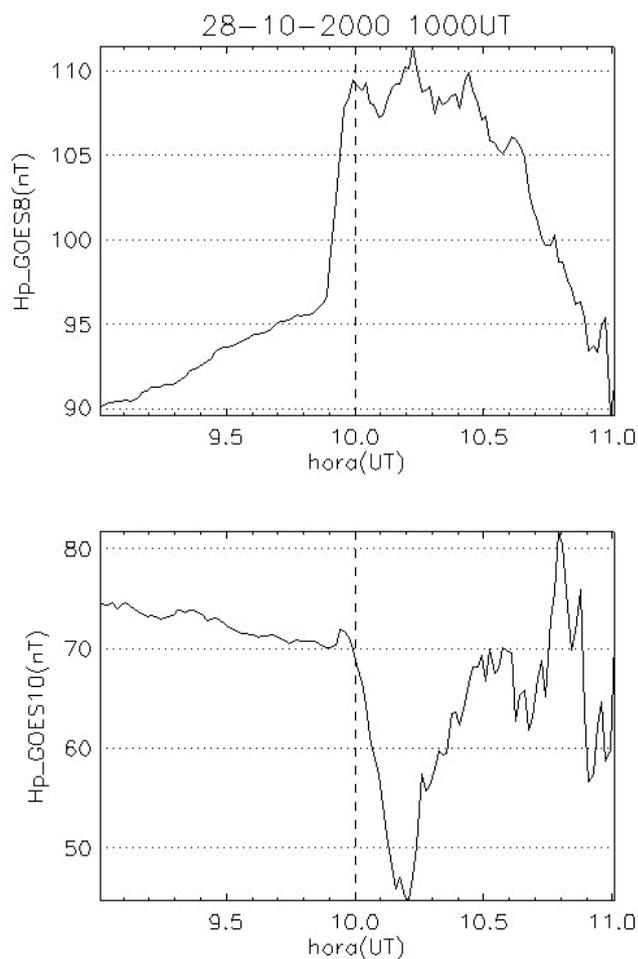


FIGURA B.53 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 54 e 55 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associada a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente as 9,1 horas. A componente Z do IMF apresenta sinal negativo, o que não descarta a ocorrência de processos envolvendo reconexão.

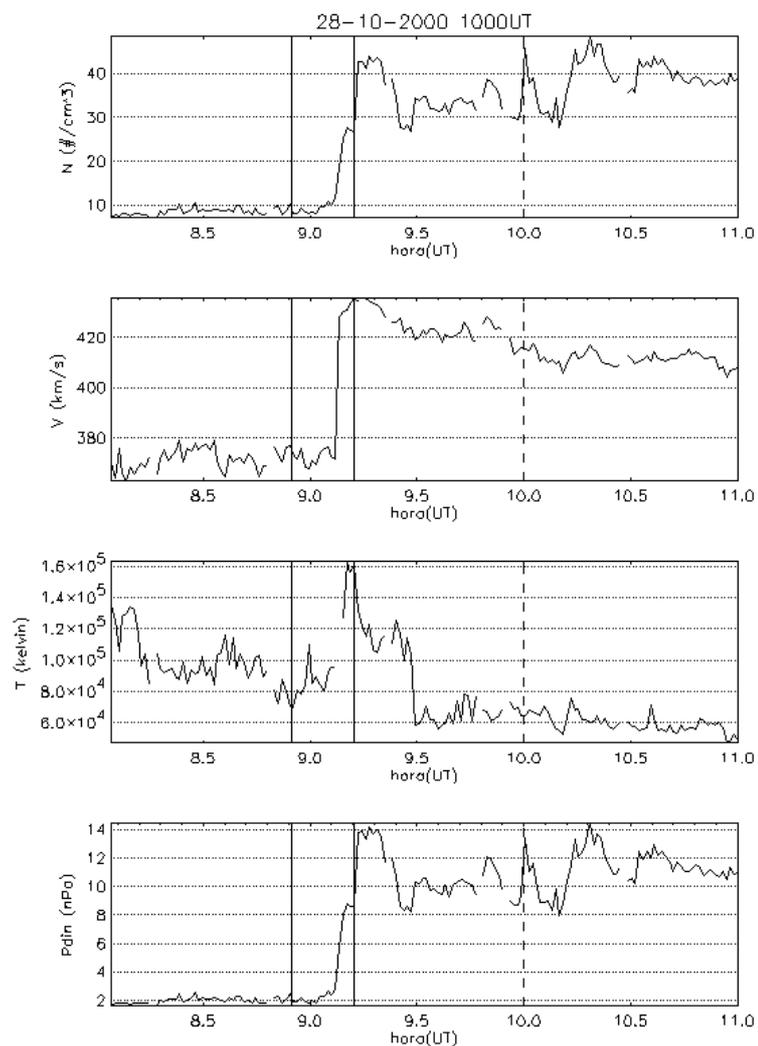


FIGURA B.54 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

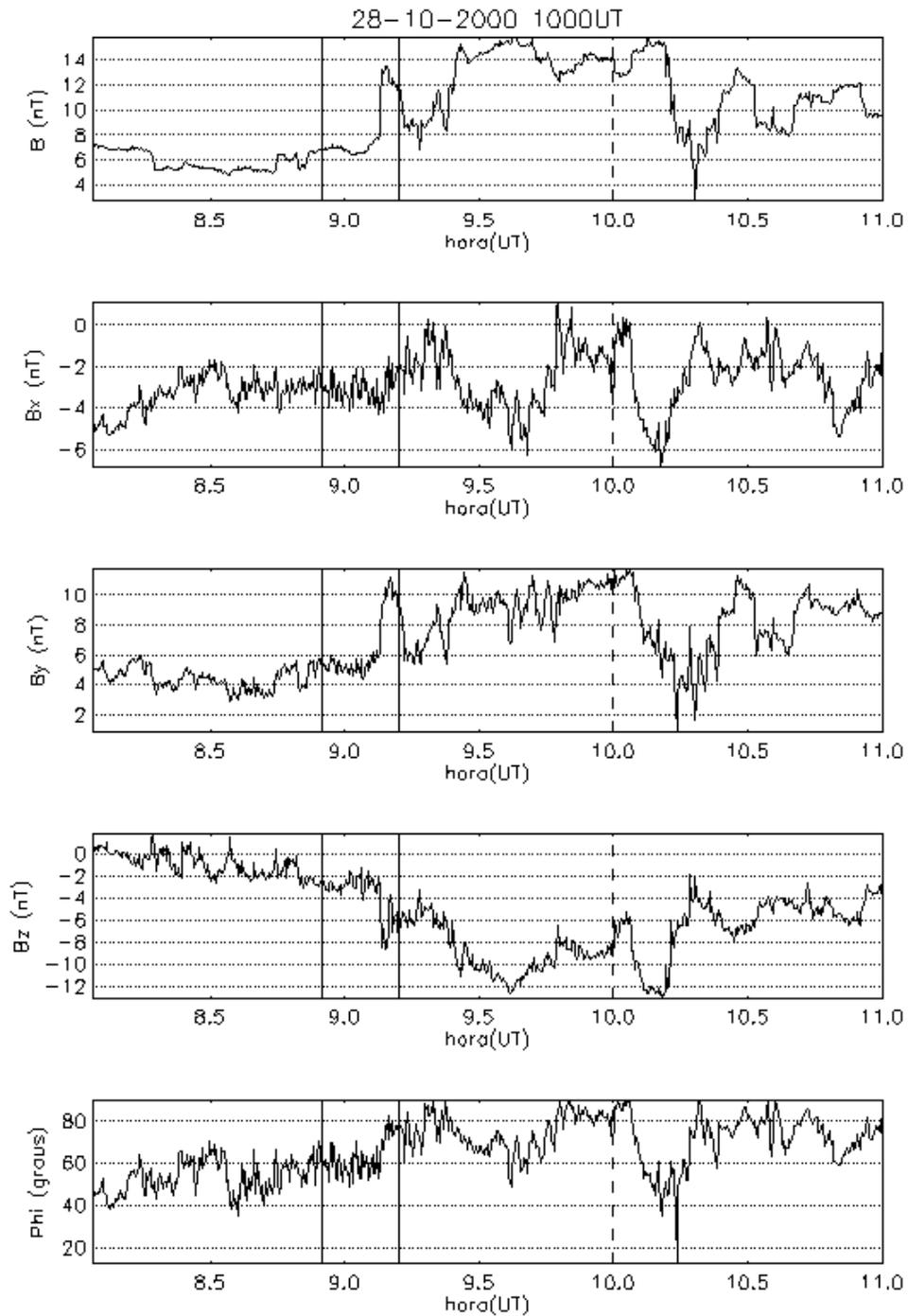


FIGURA B.55 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 1000 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 28/10/00 – 2130 UT

A Figura 56 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~37 nT) e em SMS (~31 nT). As amplitudes foram um pouco menores em SLZ (~21 nT), EUS (~22 nT) e BLM (~21 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 16 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 1,82 graus/segundo.

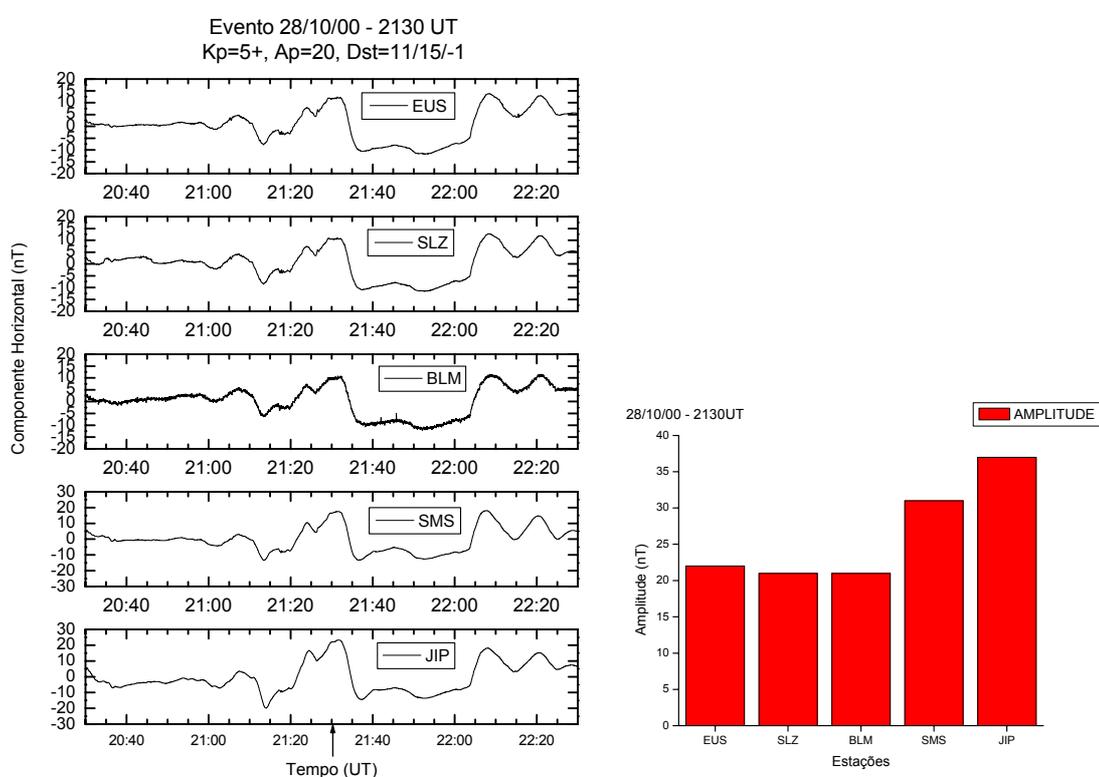


FIGURA B.56 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 2030–2230 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 57 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

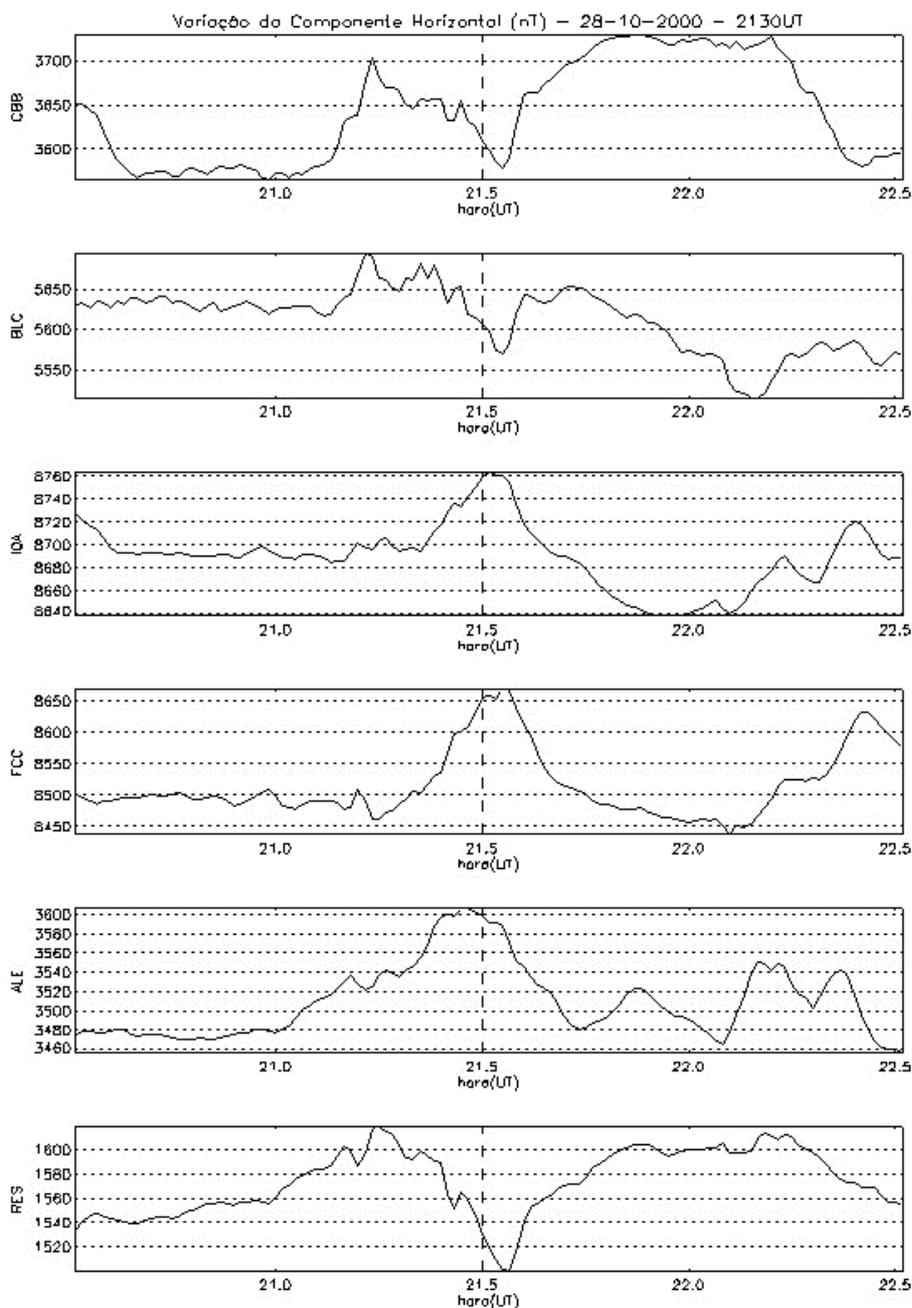


FIGURA B.57 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 58 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O satélite GOES 8 não apresenta assinatura para o evento, enquanto o satélite GOES 10 apresenta um aumento na intensidade da componente H_p em torno das 21,5 horas.

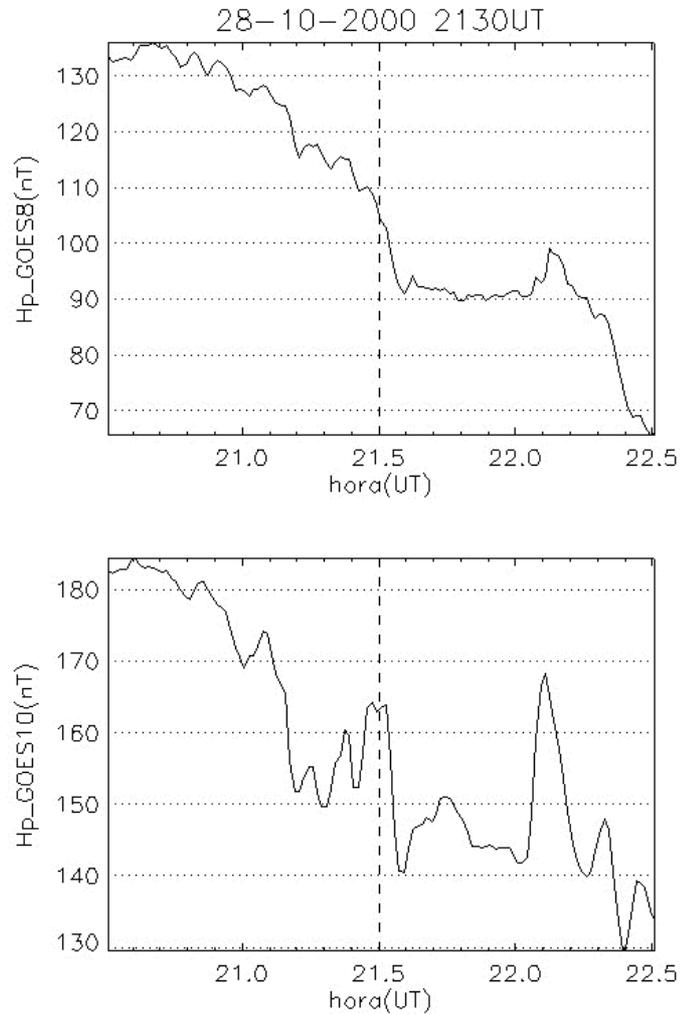


FIGURA B.58 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 59 e 60 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às 20,5 horas. A componente Z do IMF apresenta sinal negativo minutos antes do período

selecionado para a ocorrência da assinatura do evento nos dados do ACE, o que não descarta a ocorrência de processos envolvendo reconexão.

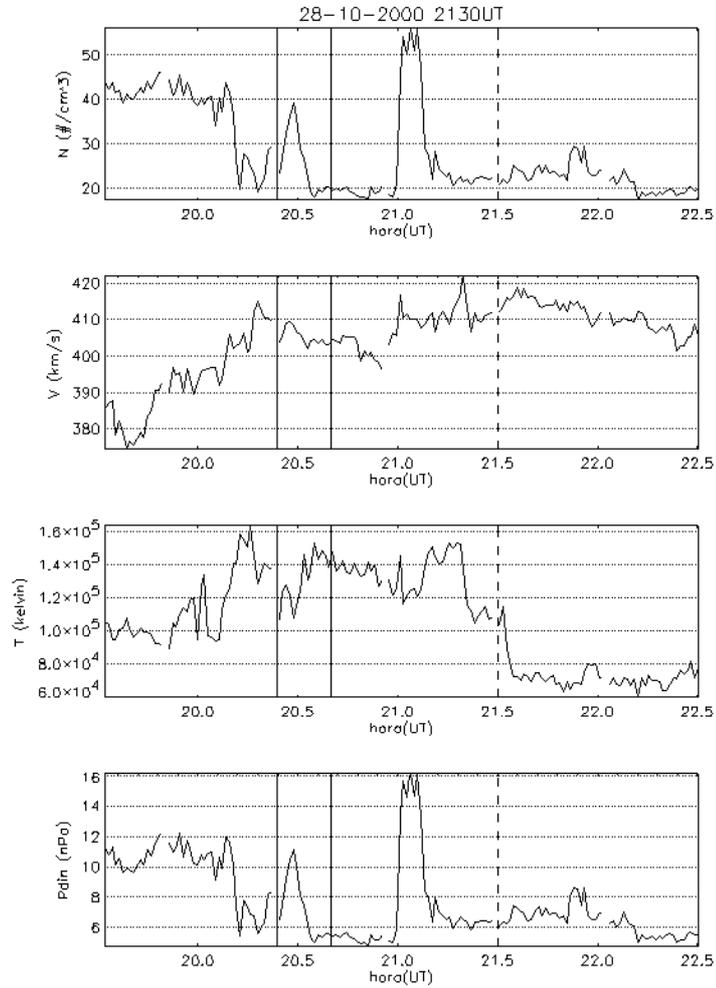


FIGURA B.59 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

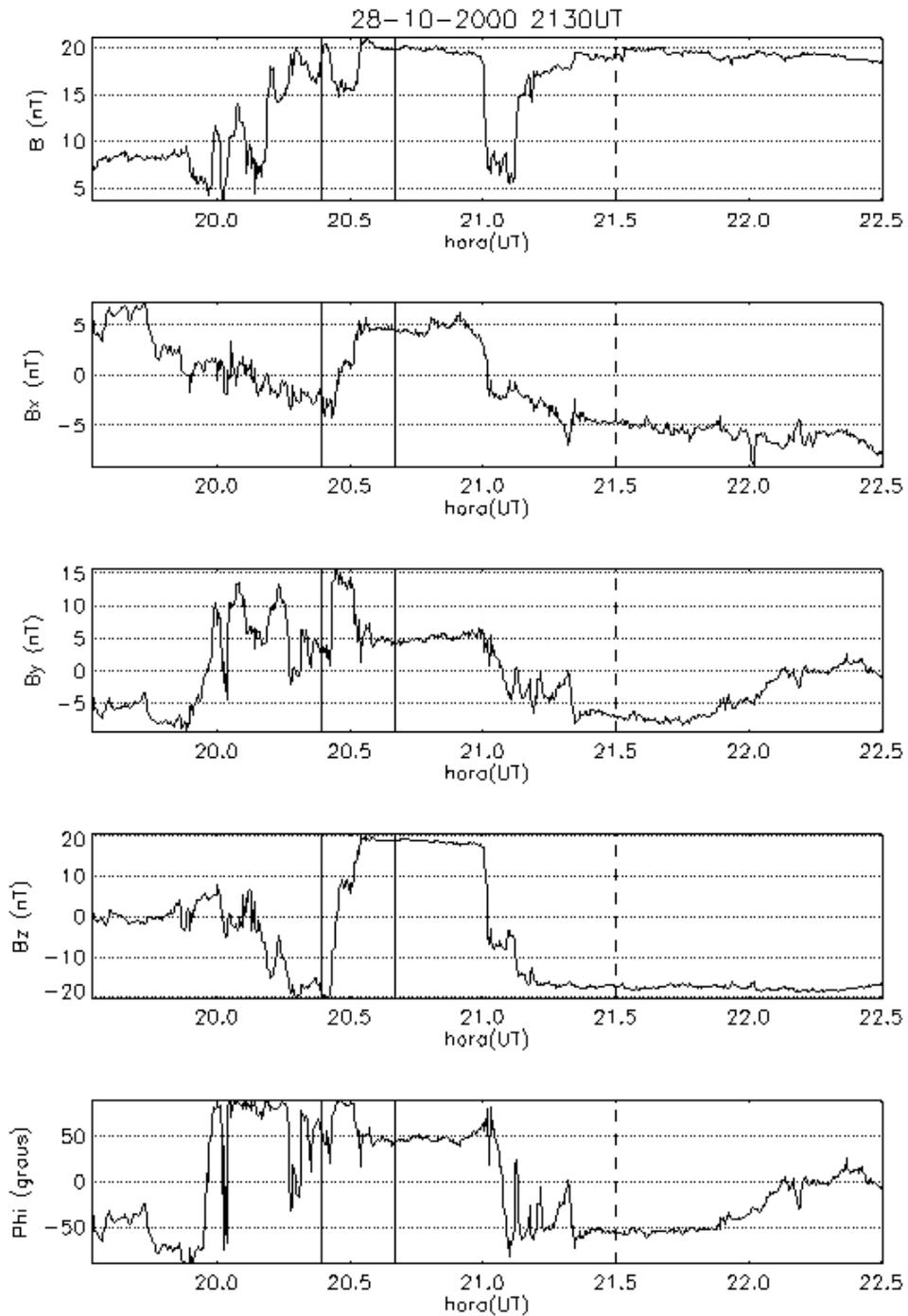


FIGURA B.60 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 28 de outubro de 2000, 2130 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 07/11/00 – 1830 UT

A Figura 61 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~75 nT). As amplitudes foram um pouco menores em SLZ (~48 nT), EUS (~40 nT) e SMS (~47 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 48 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 0,79 graus/segundo.

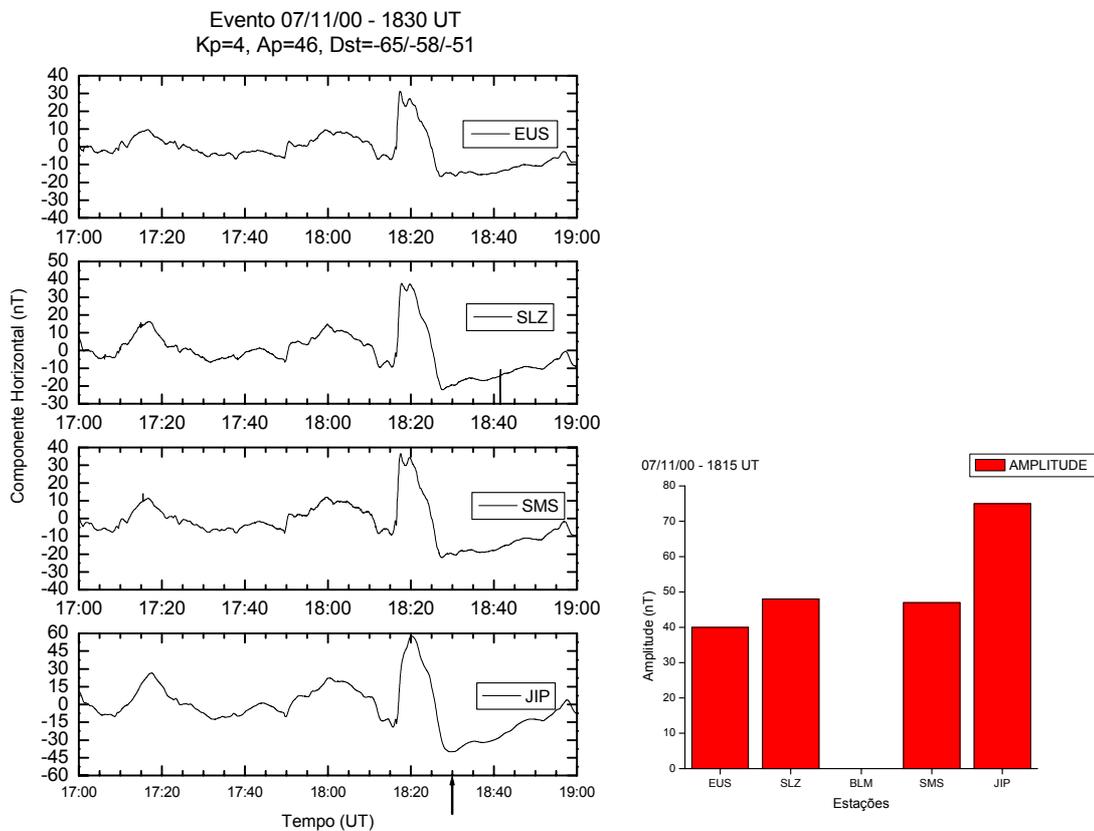


FIGURA B.61 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1700–1900 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1815 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 62 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

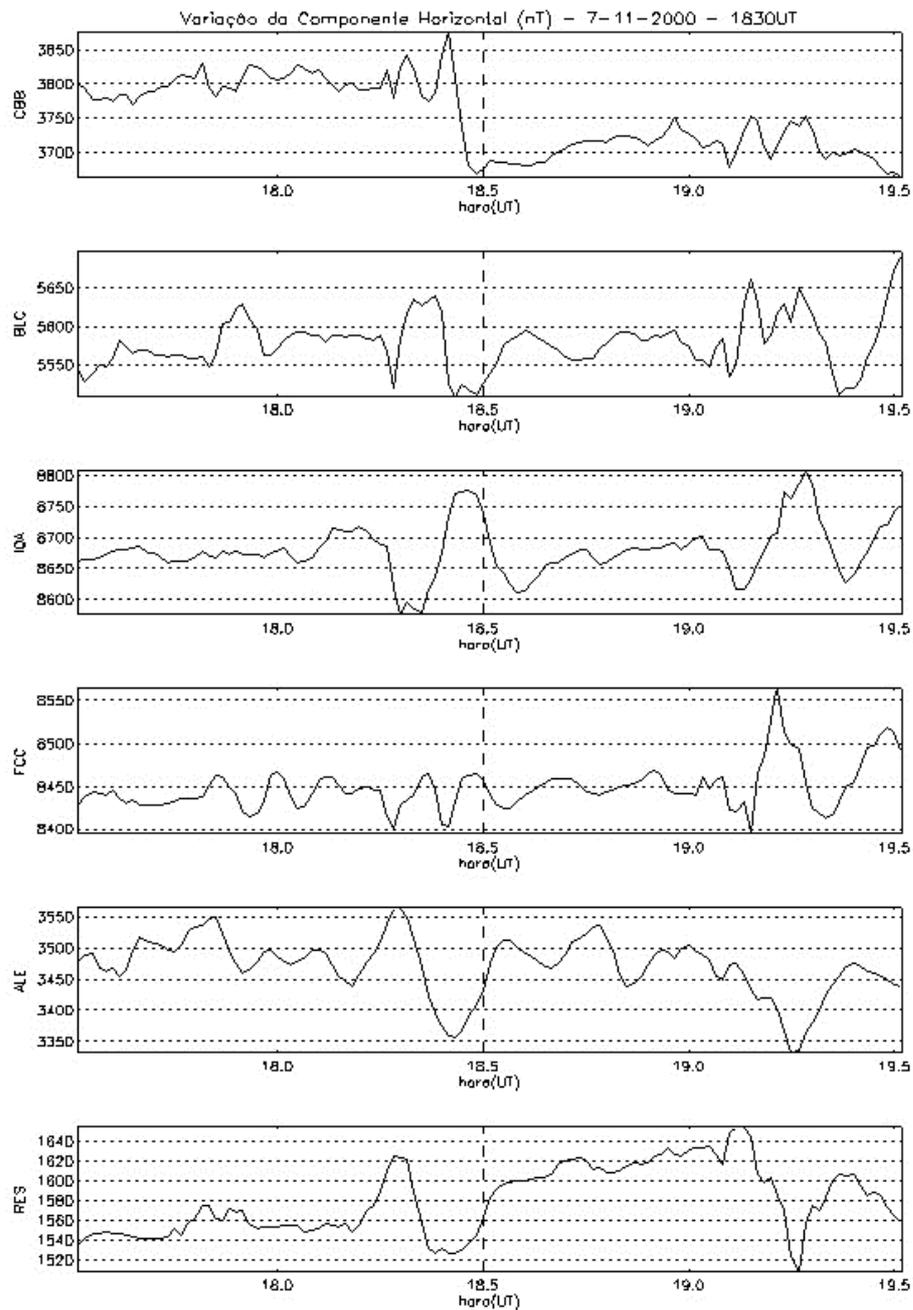


FIGURA B.62 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 63 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta uma assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 18,2 horas.

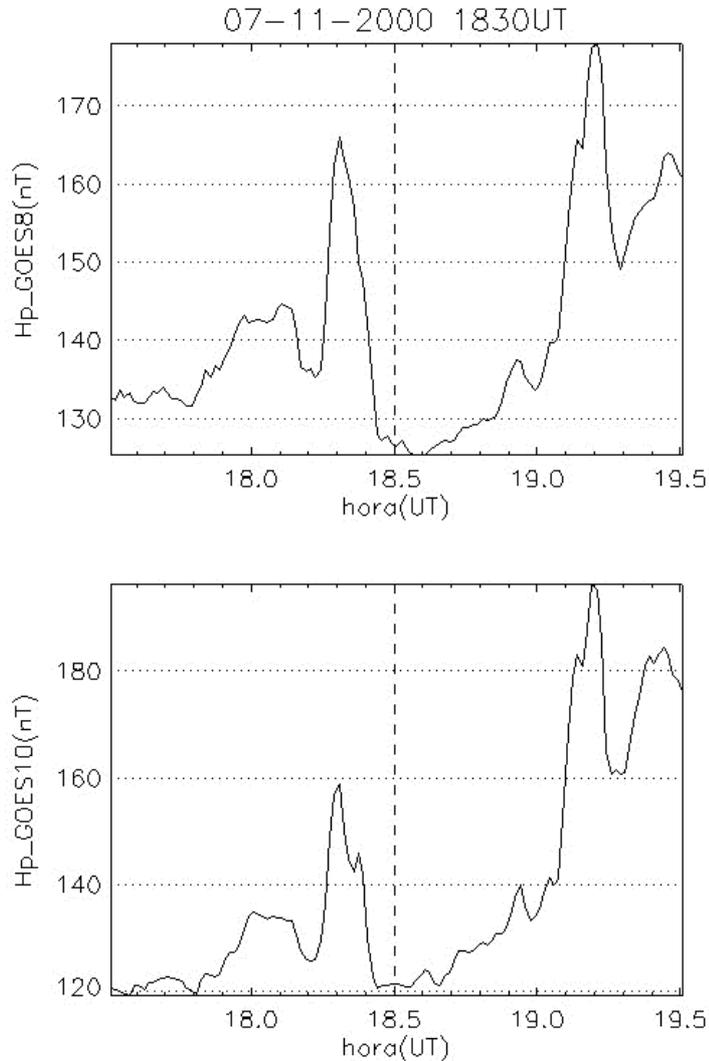


FIGURA B.63 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 64 e 65 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às 17,4 horas. A componente Z do IMF apresenta sinal positivo durante o período de

ocorrência do evento, o que descarta a possibilidade de ocorrer processos envolvendo reconexão.

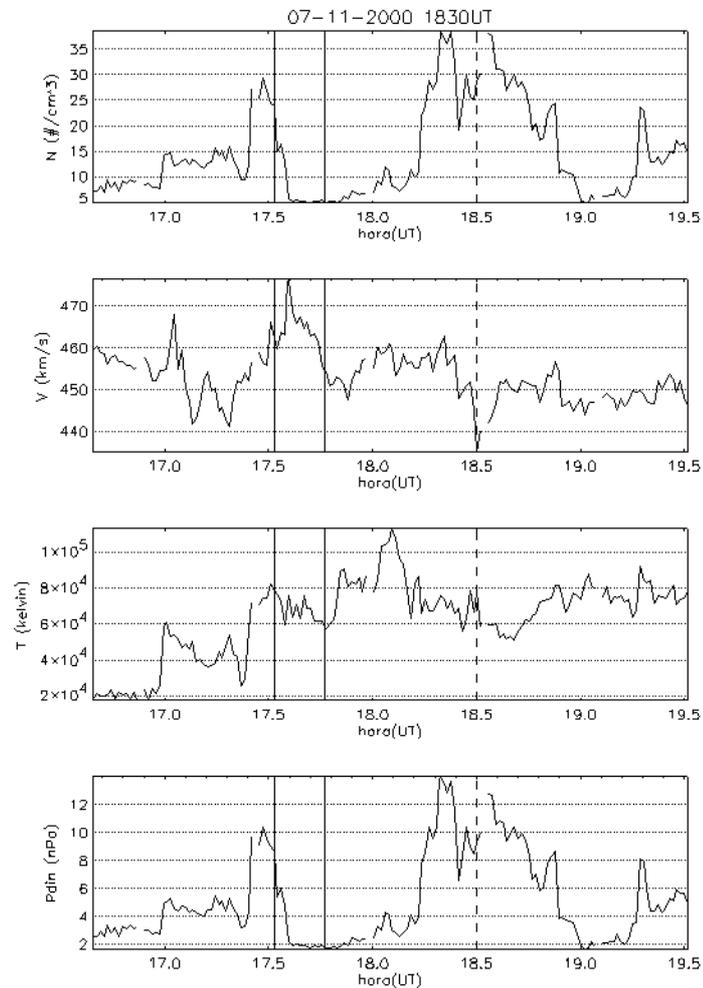


FIGURA B.64 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

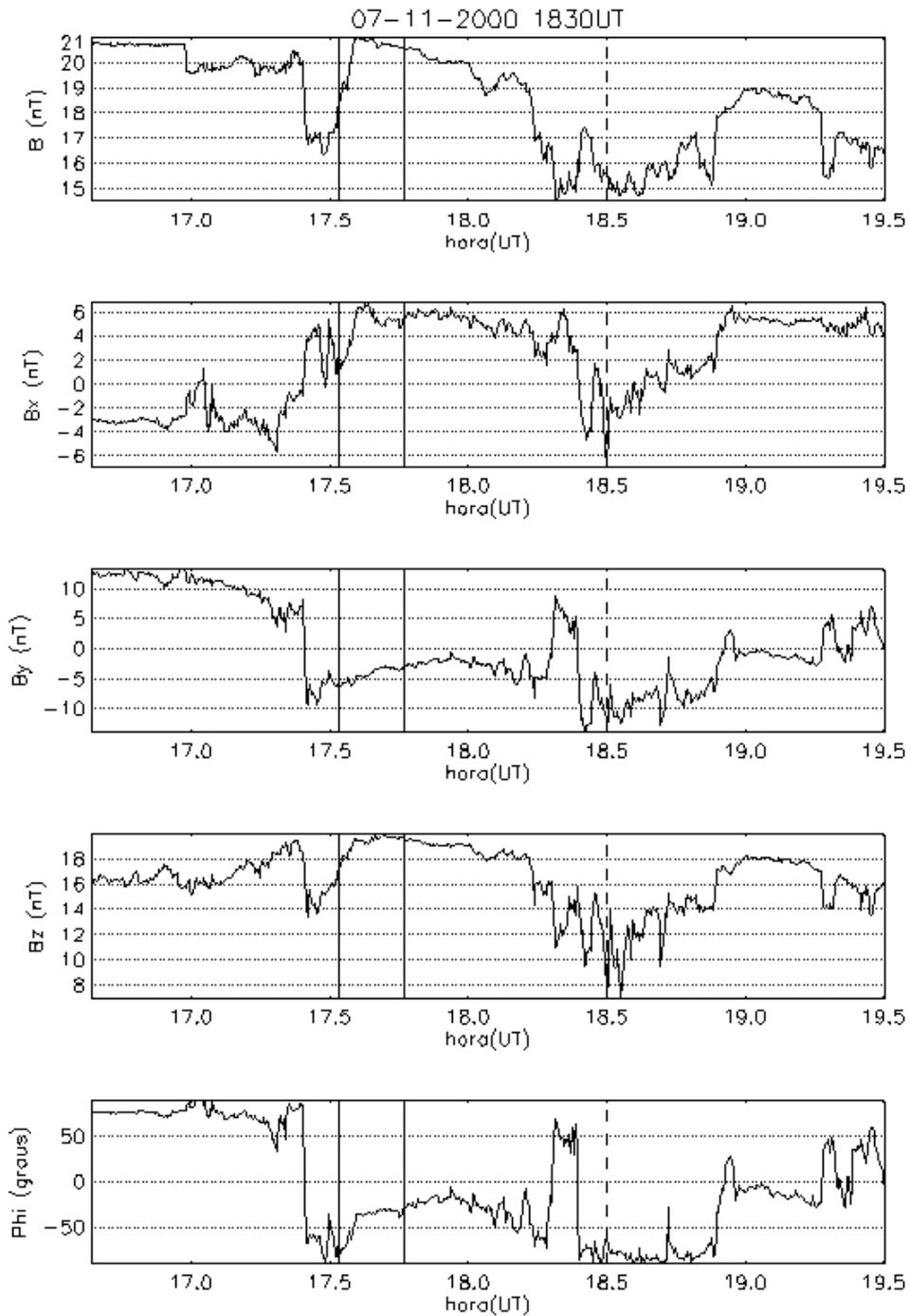


FIGURA B.65 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1830 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 07/11/00 – 1915 UT

A Figura 66 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~65 nT) e SMS (~50 nT). As amplitudes foram um pouco menores em SLZ e EUS (~40 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 34 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 0,76 graus/segundo.

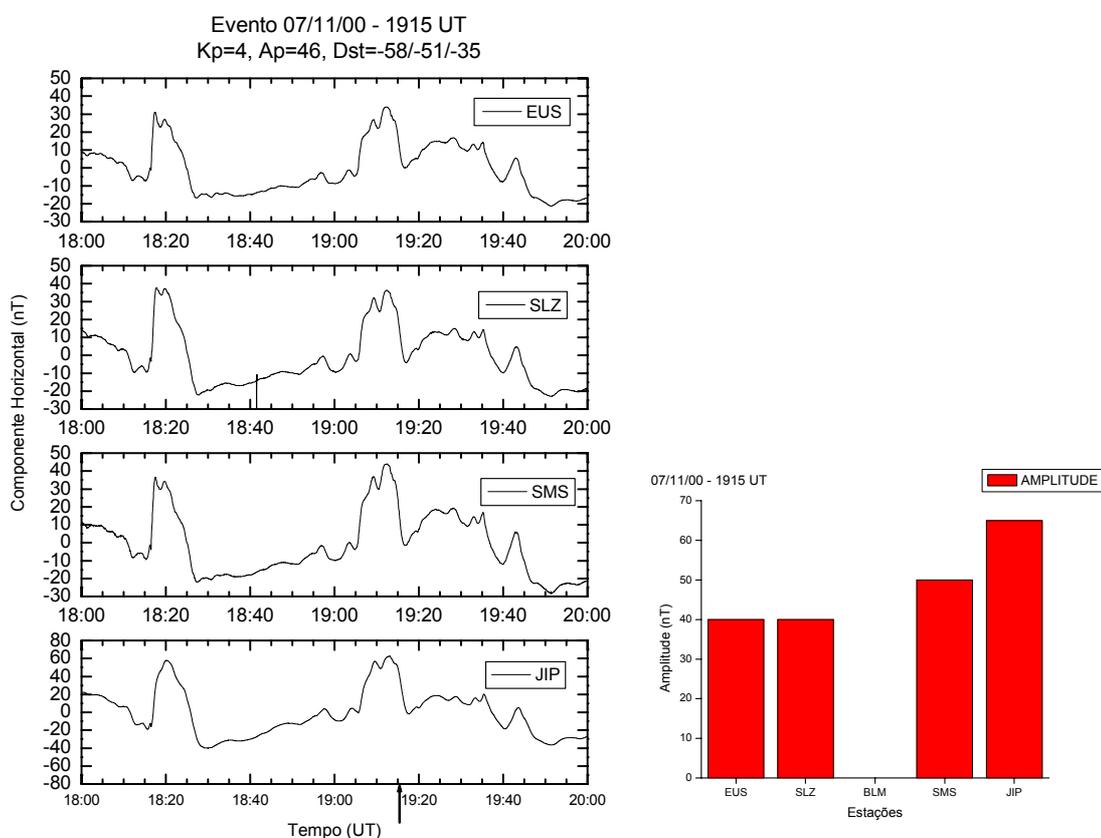


FIGURA B.66 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1800–2000 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 67 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

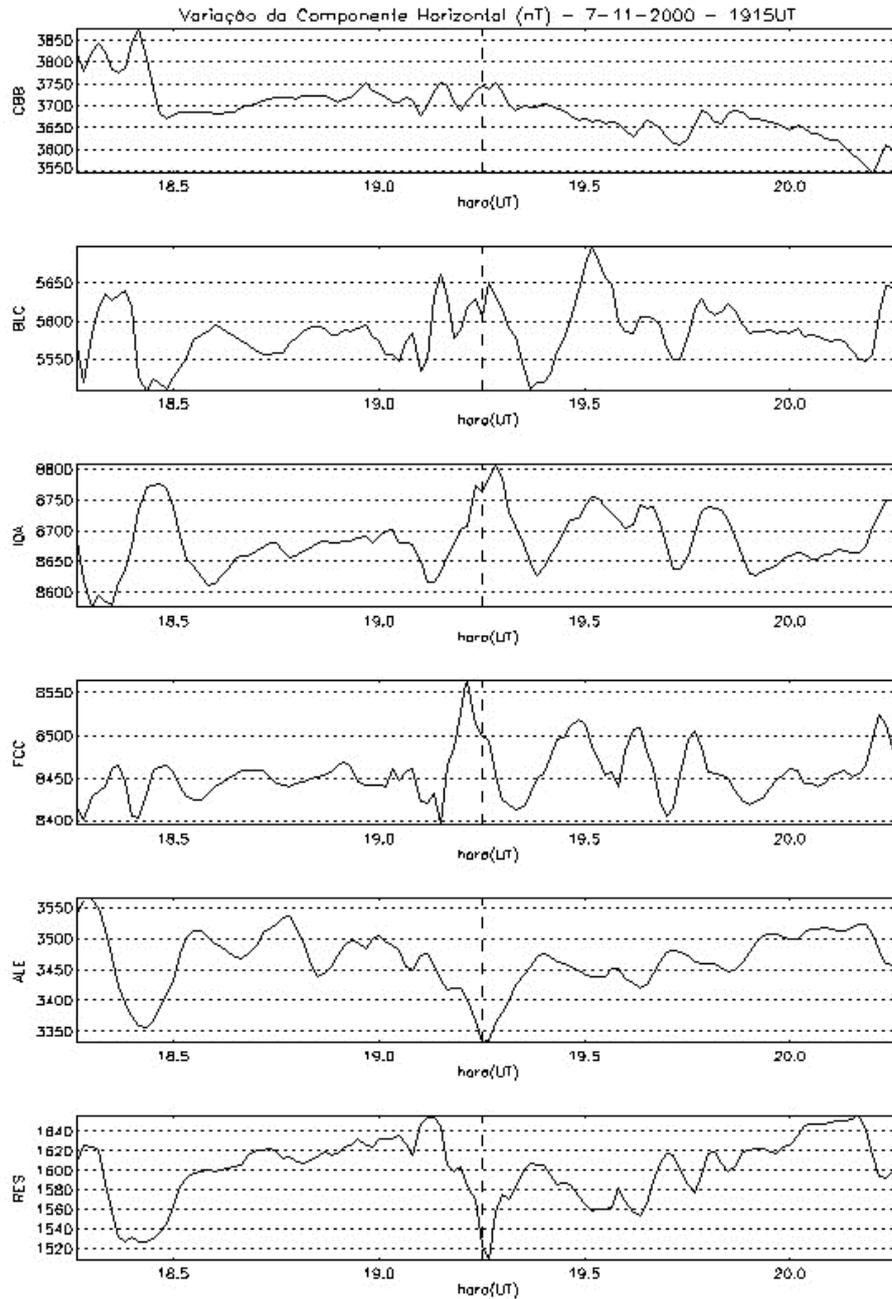


FIGURA B.67 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 68 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo aproximadamente às 19 horas.

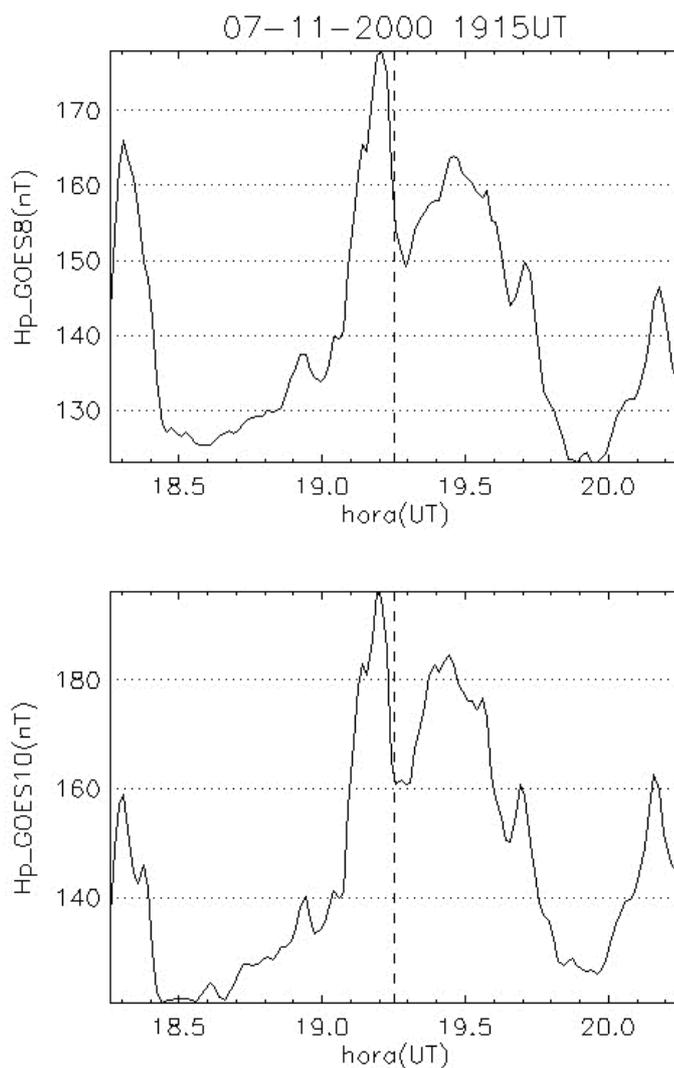


FIGURA B.68 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 69 e 70 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às 18,2 horas. A componente Z do IMF é intensamente positiva durante o período de ocorrência do evento, o que descarta a possibilidade de ocorrer processos envolvendo reconexão.

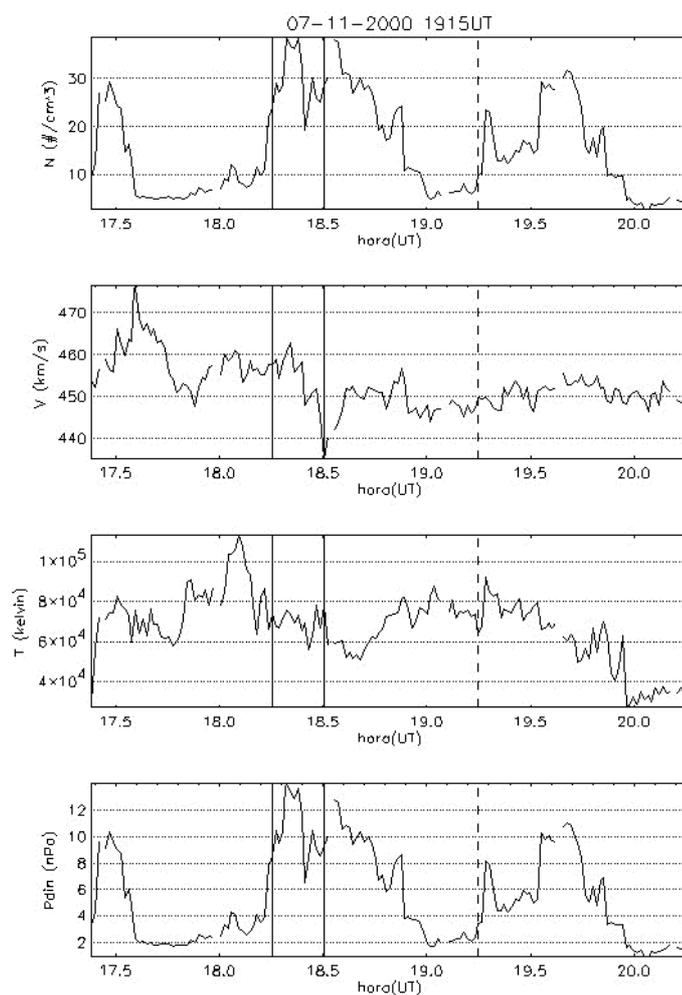


FIGURA B.69 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

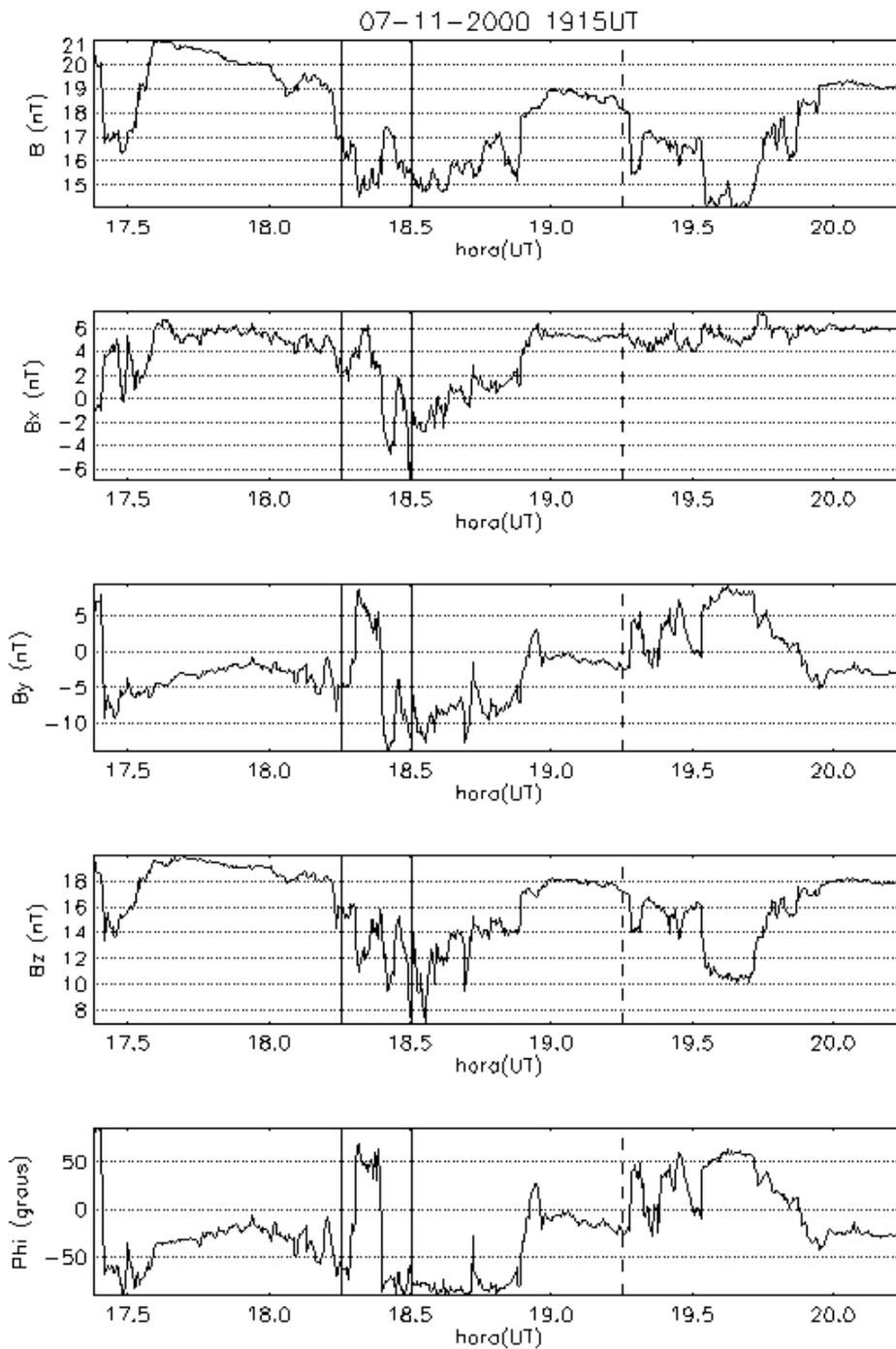


FIGURA B.70 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 1915 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.
Evento 07/11/00 – 2025 UT

A Figura 71 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~35 nT) e SMS(~33 nT). As amplitudes foram um pouco menores em SLZ e EUS (~25 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 20 segundos. Os resultados sugerem que o evento se propaga com uma velocidade média de 1,30 graus/segundo.

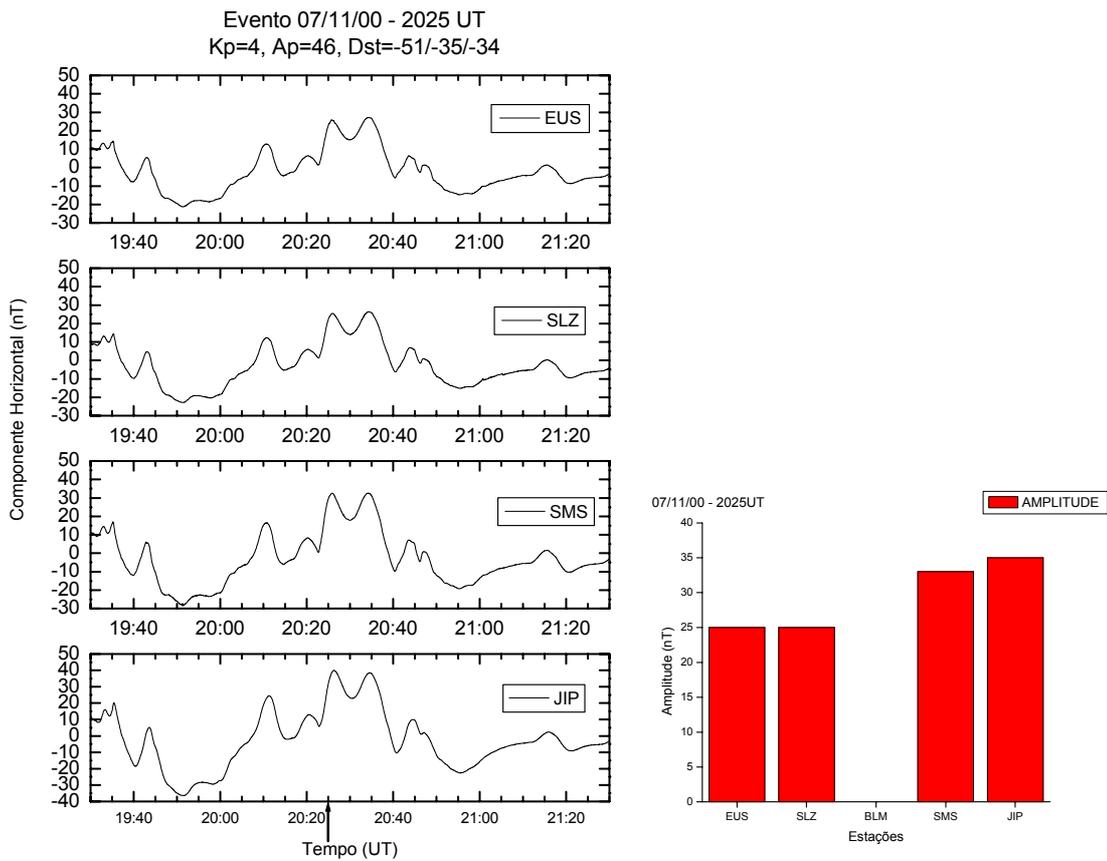


FIGURA B.71 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1930–2130 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 72 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

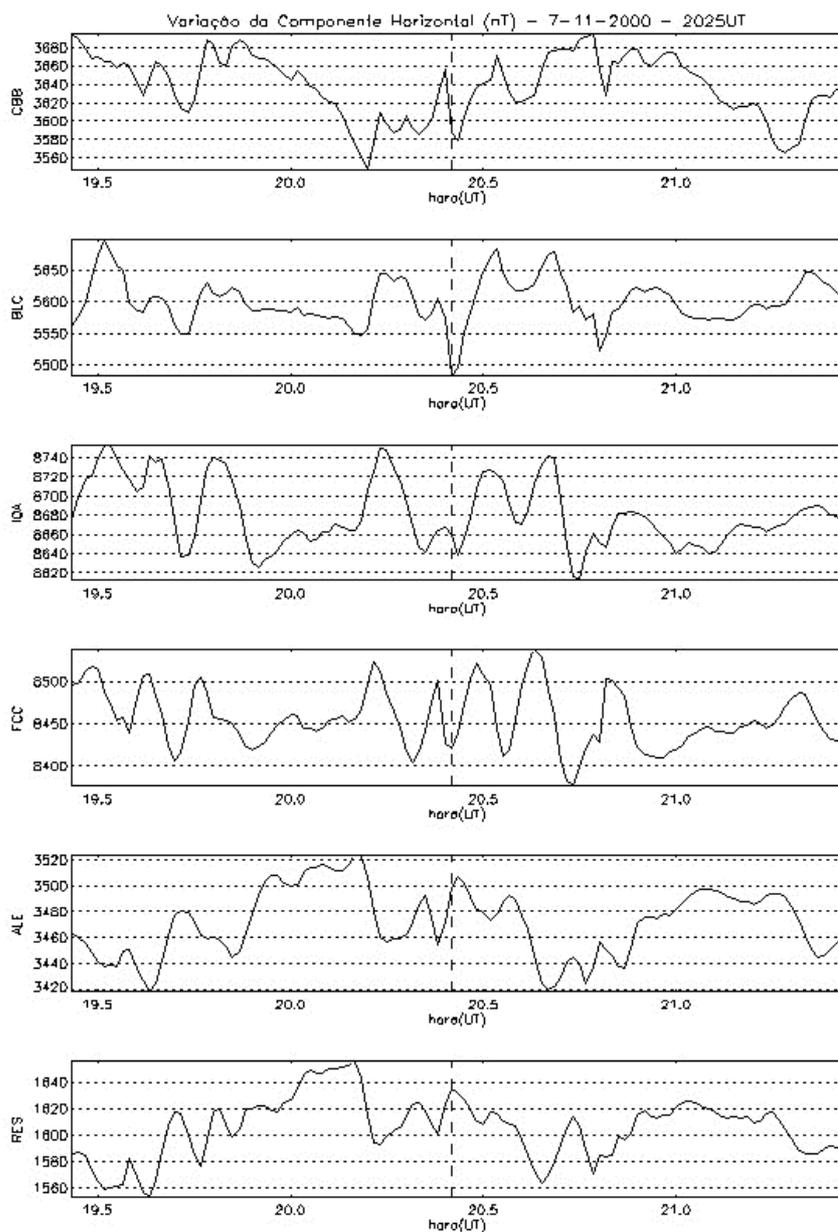


FIGURA B.72 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 73 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo em torno das 20,5 horas.

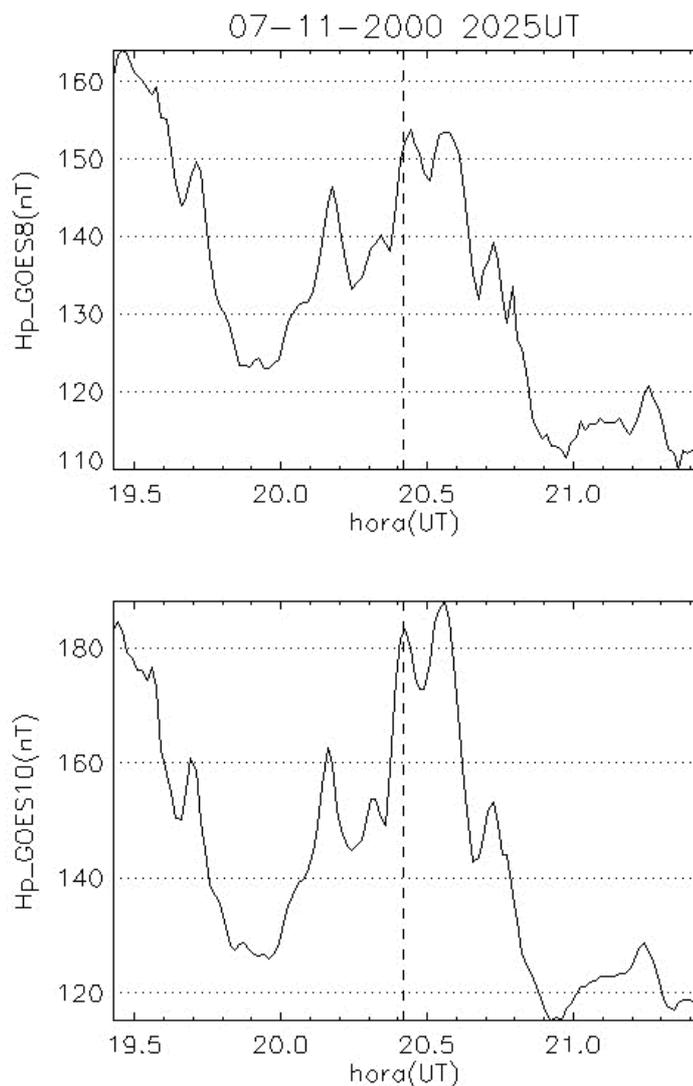


FIGURA B.73 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 74 e 75 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às 19,5 horas. A componente Z do IMF é intensamente positiva durante o período de

ocorrência do evento, o que descarta a possibilidade de ocorrer processos envolvendo reconexão.

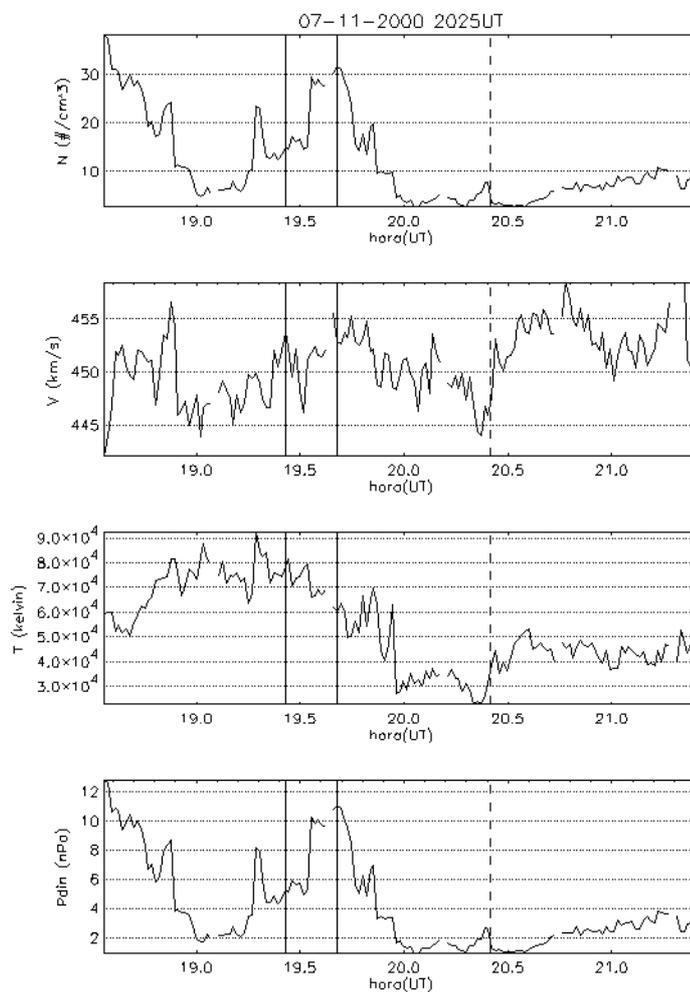


FIGURA B.74 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

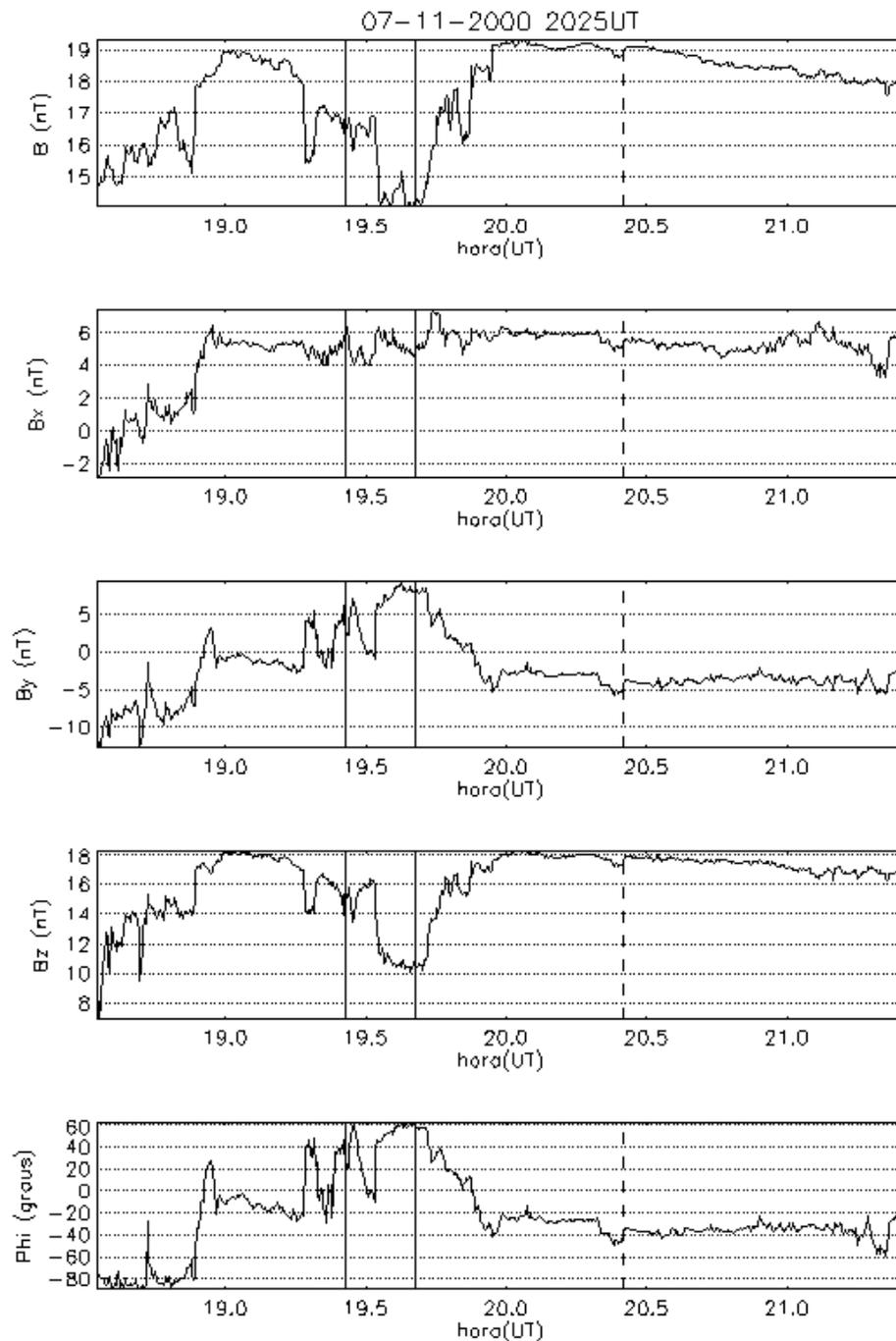


FIGURA B.75 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de novembro de 2000, 2025 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 08/11/00 – 1040 UT

A Figura 76 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~42 nT) e SLZ (~38 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~34 nT) e SMS (~32 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 34 segundos.

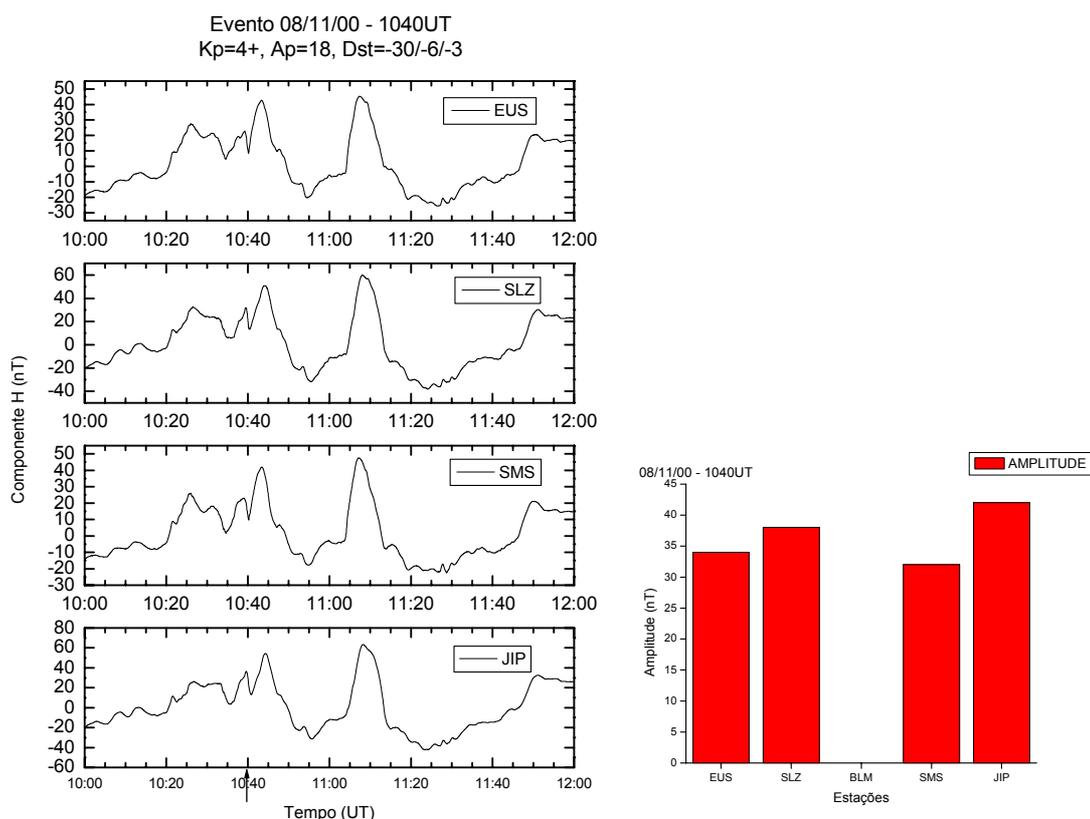


FIGURA B.76 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1000–1200 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 77 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

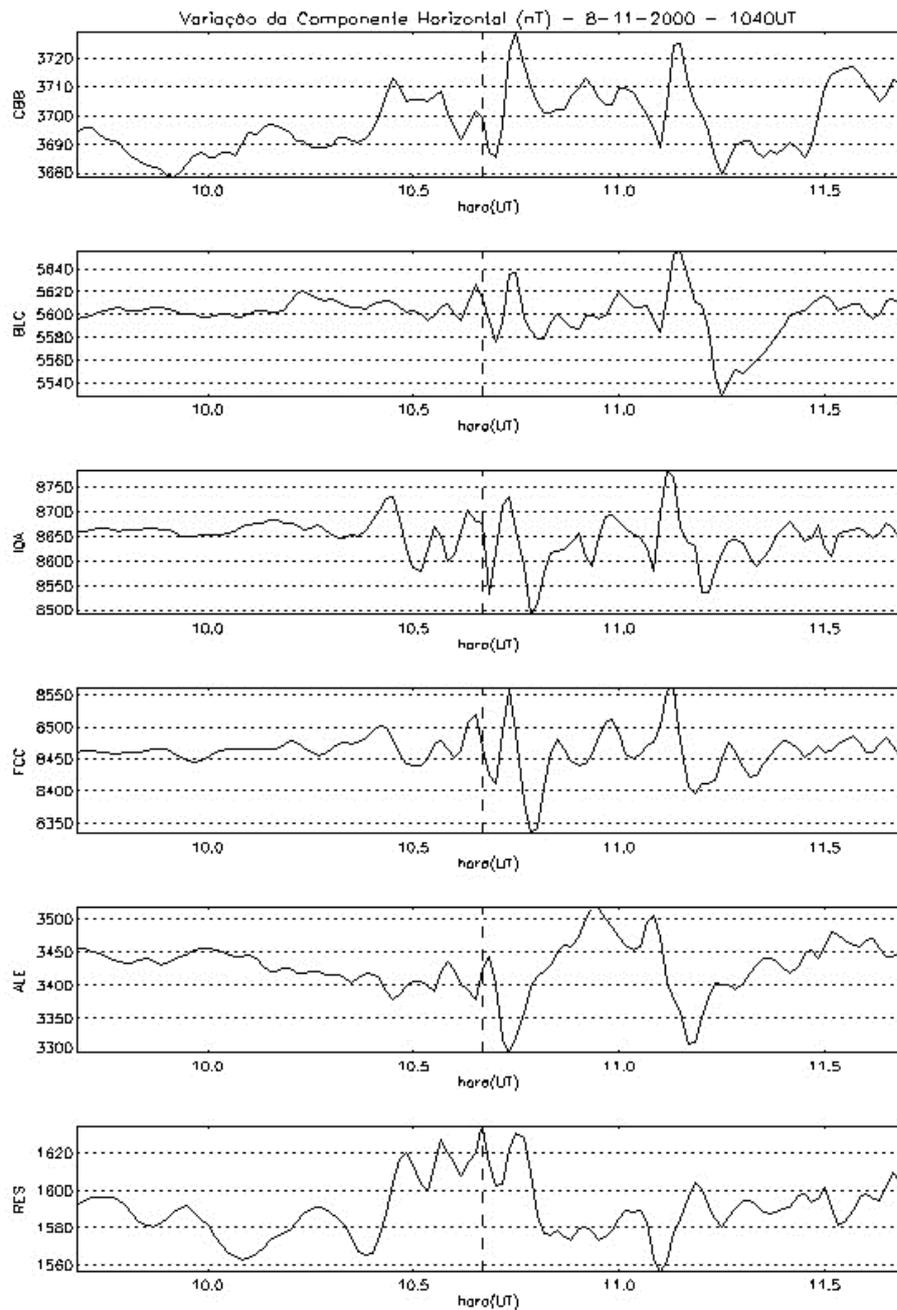


FIGURA B.77 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 78 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo em torno das 10,7 horas no satélite GOES

8. O satélite GOES 10 não apresenta assinatura semelhante a encontrada na superfície durante o período.

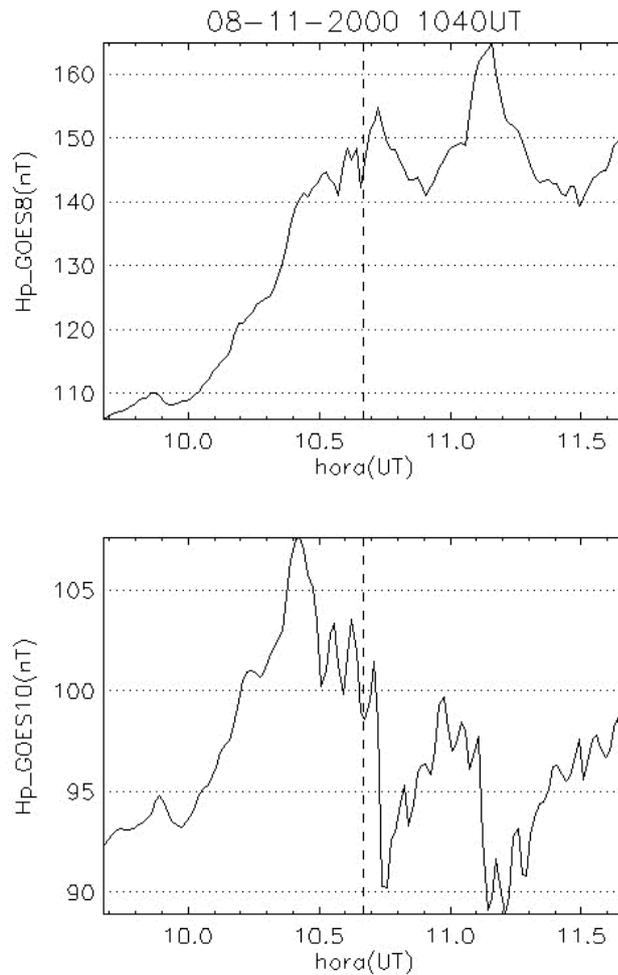


FIGURA B.78 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 79 e 80 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às

9,7 horas. A componente Z do IMF é positiva, sofrendo uma rápida incursão a valores negativos próximo às 9,6 horas, o que descarta a possibilidade de ocorrer processos envolvendo reconexão.

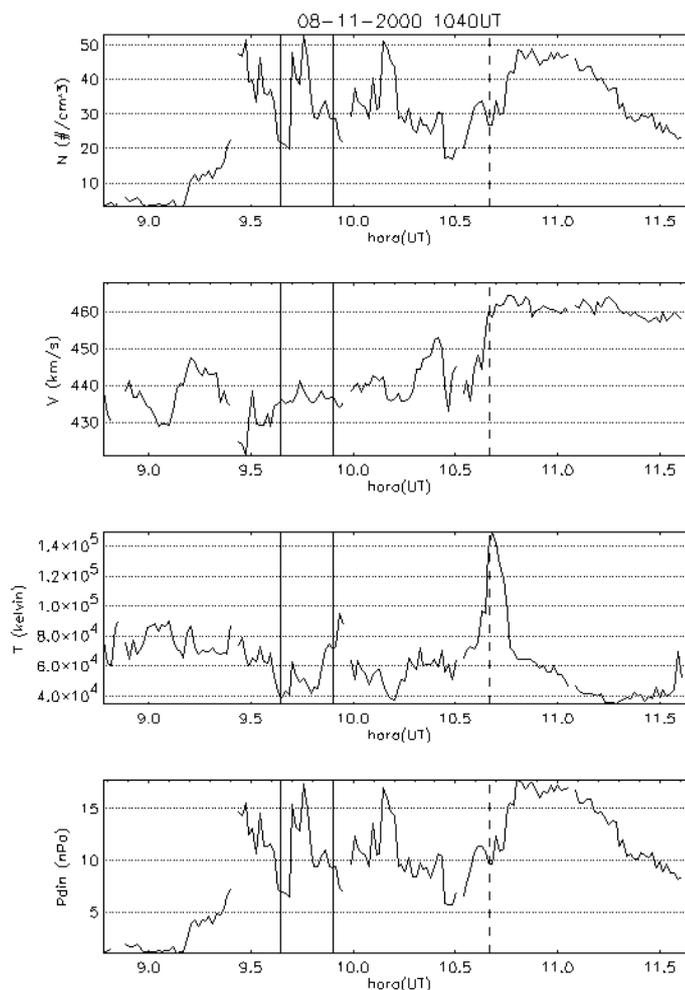


FIGURA B.79 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

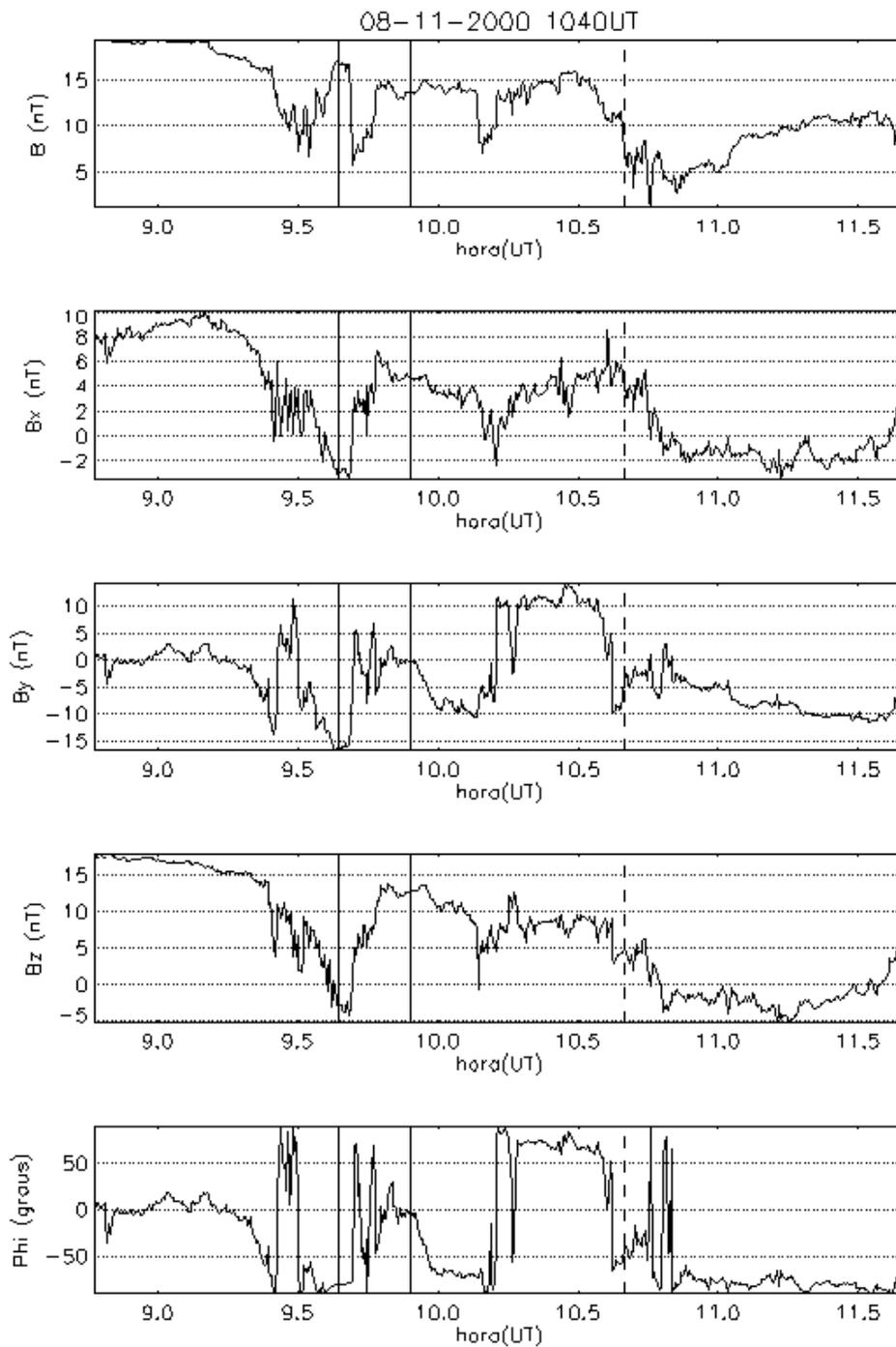


FIGURA B.80 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1040 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 08/11/00 – 1100 UT

A Figura 81 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~73 nT) e SLZ (~70 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS e SMS (~51 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 34 segundos.

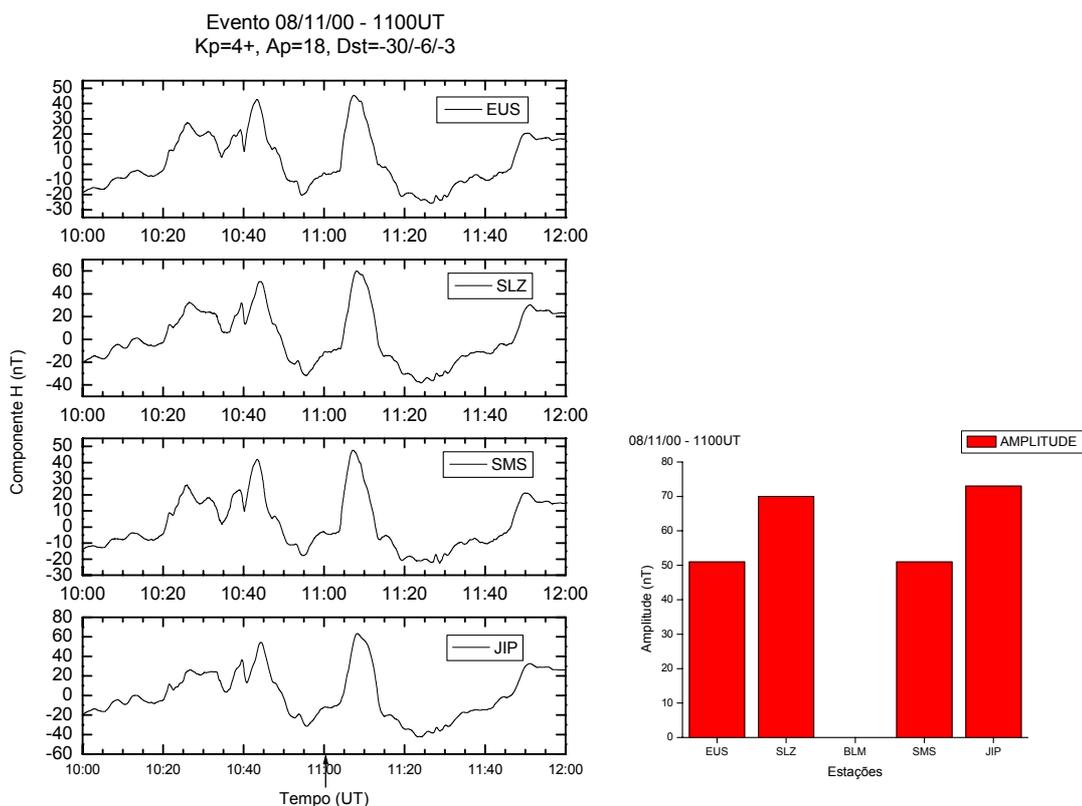


FIGURA B.81 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1000–1200 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 82 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

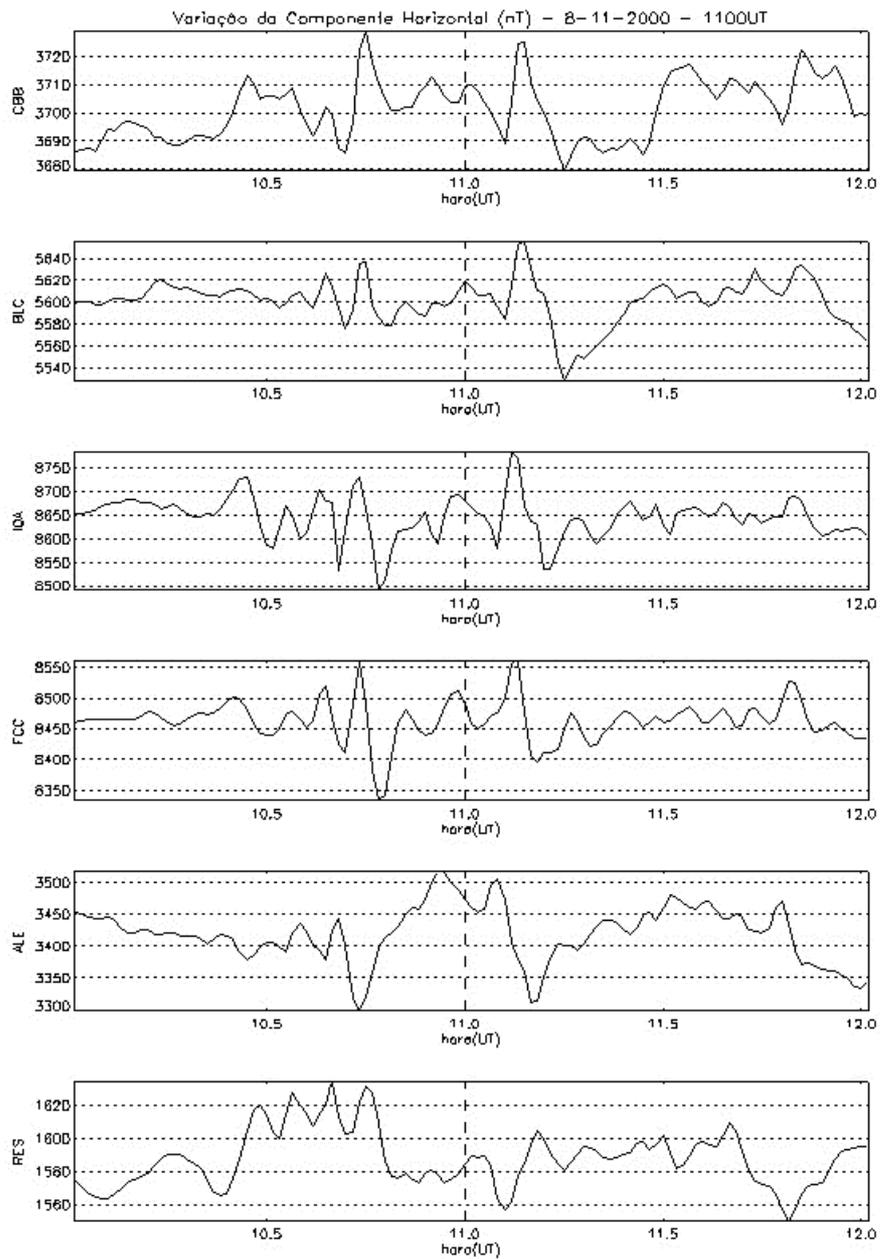


FIGURA B.82 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 83 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura em órbita geossíncrona ocorrendo em torno das 11,1 horas no satélite GOES 8. O satélite GOES 10 não apresenta assinatura semelhante a encontrada na superfície durante o período.

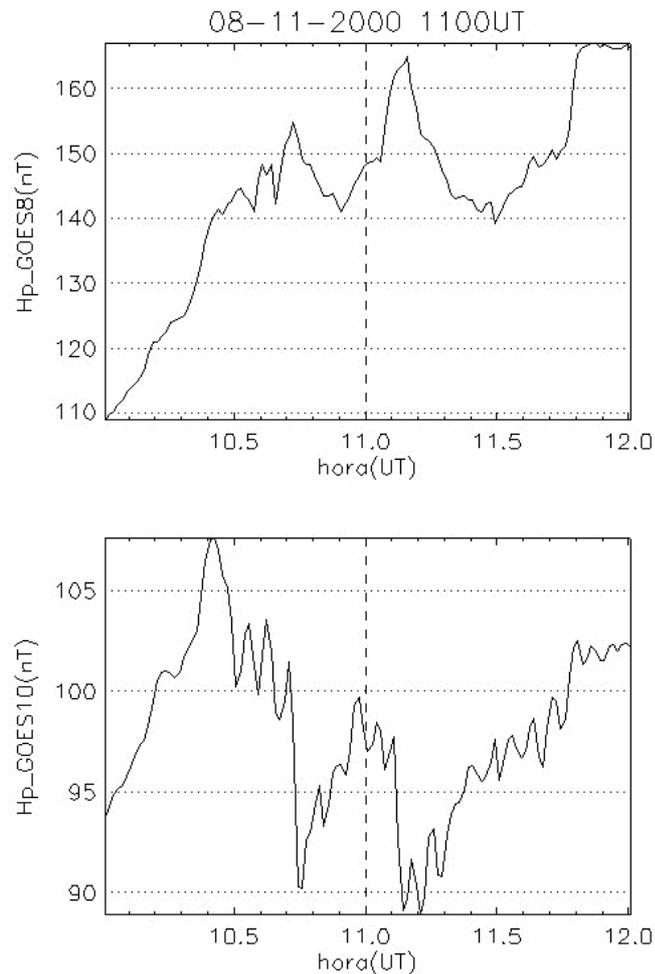


FIGURA B.83 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 84 e 85 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um pulso na pressão do vento solar detectado pelo satélite ACE aproximadamente às 10,1 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a possibilidade de ocorrerem processos envolvendo reconexão.

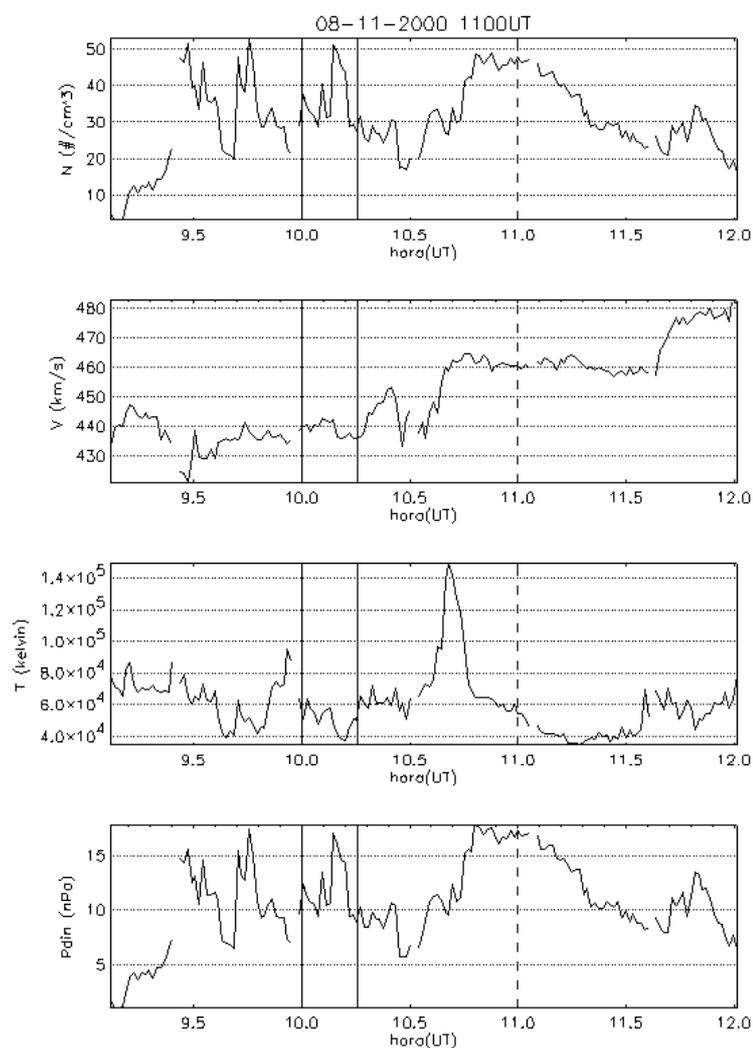


FIGURA B.84 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

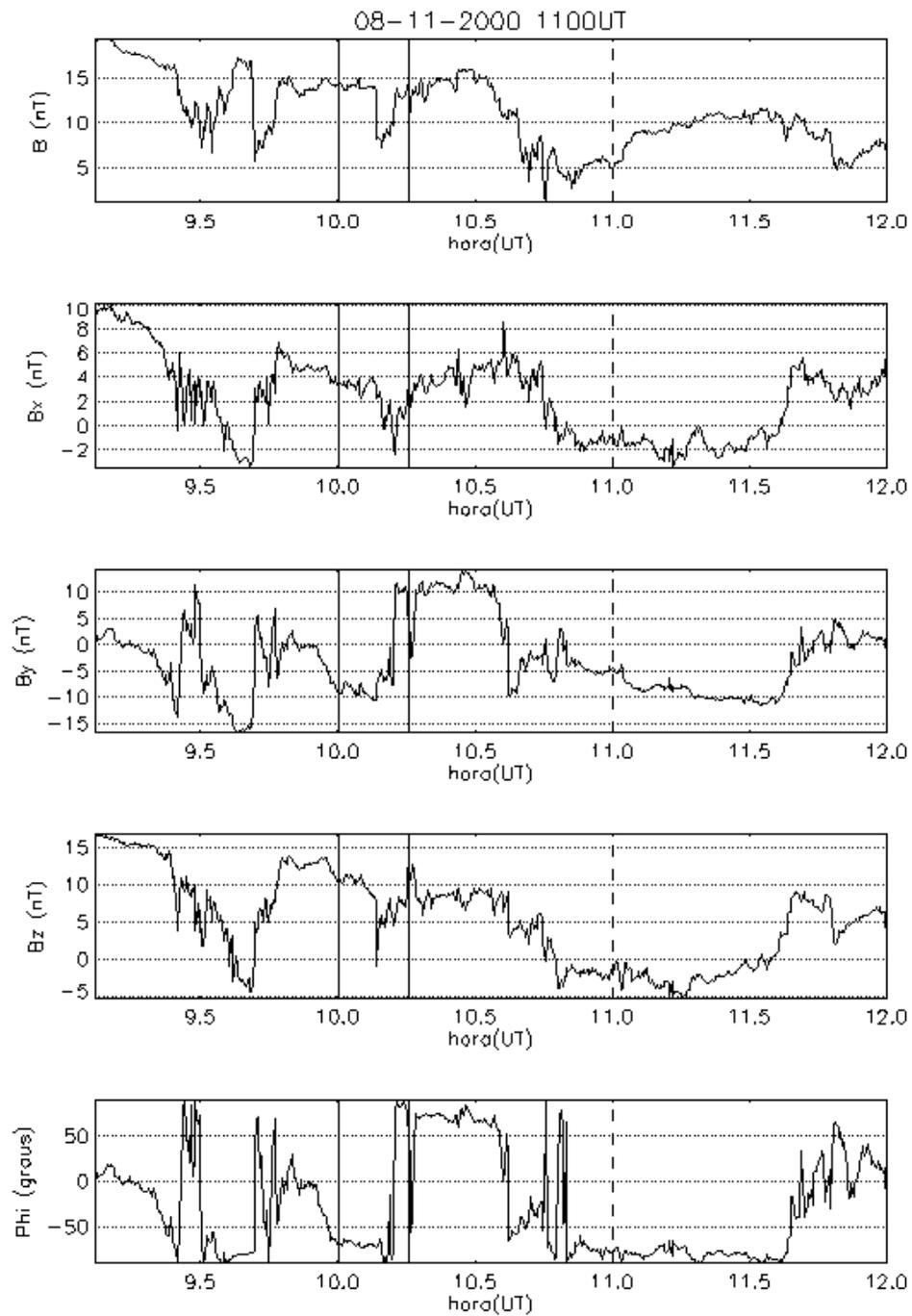


FIGURA B.85 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 8 de novembro de 2000, 1100 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 11/11/00 – 1630 UT

A Figura 86 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~37 nT) e SLZ (~33 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~13 nT) e SMS (~16 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 26 segundos. Os resultados sugerem uma velocidade de propagação média de aproximadamente 1,68 graus/segundo.

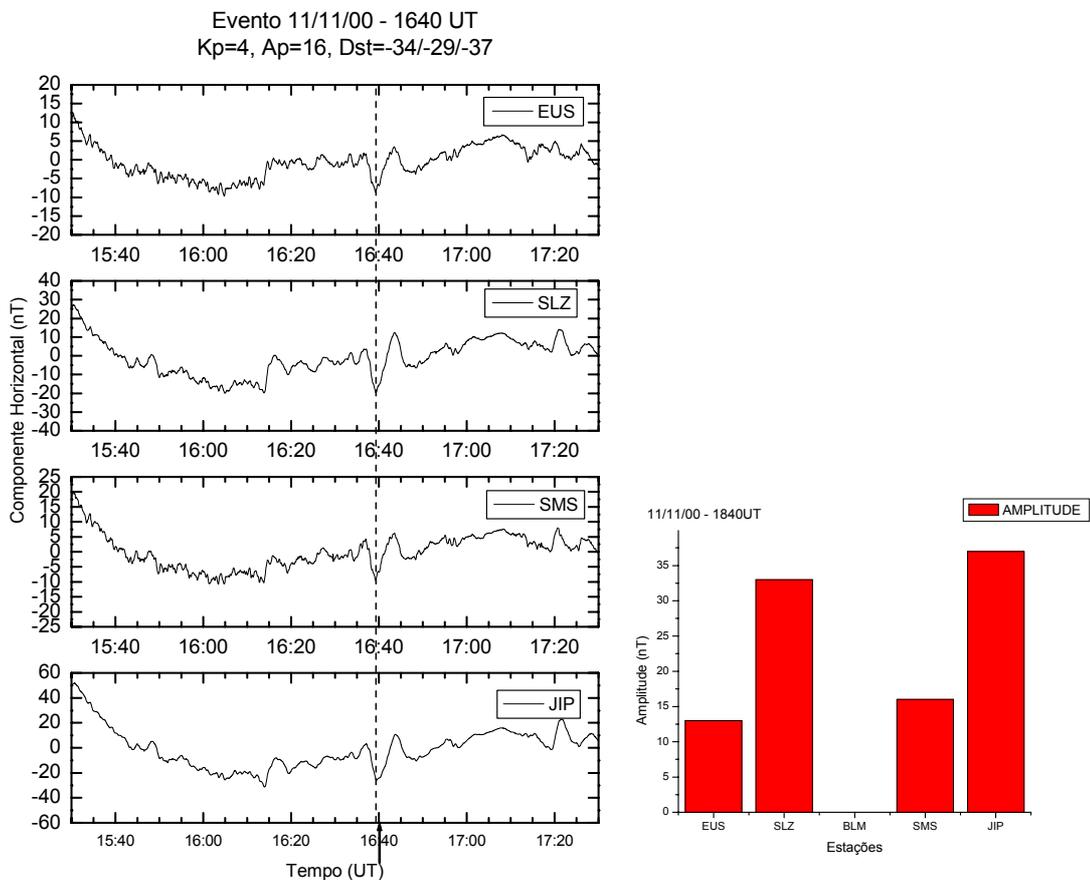


FIGURA B.86 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1530–1730 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 11 de novembro de 2000. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 87 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

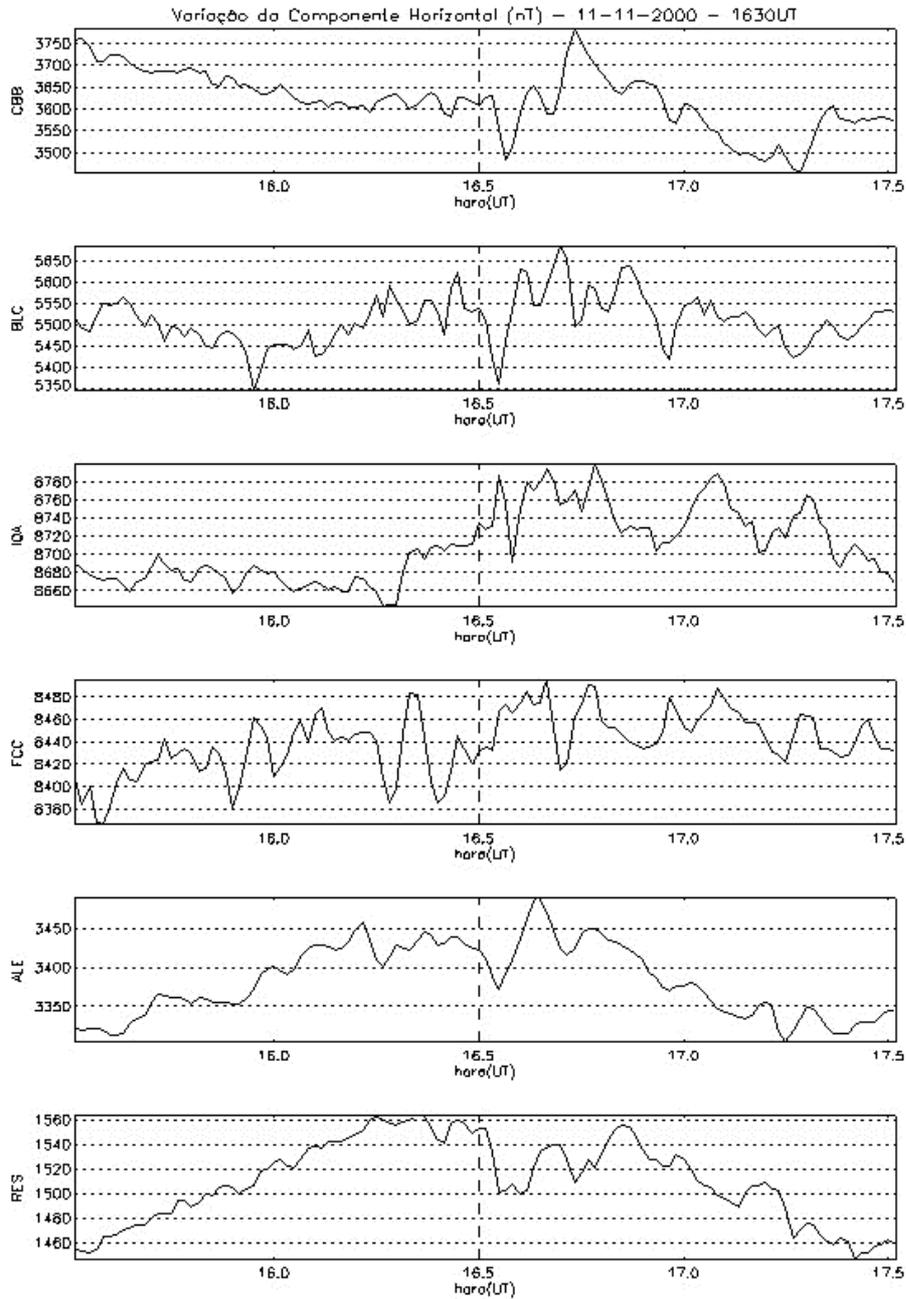


FIGURA B.87 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 88 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento não apresenta assinatura clara em órbita geossíncrona.

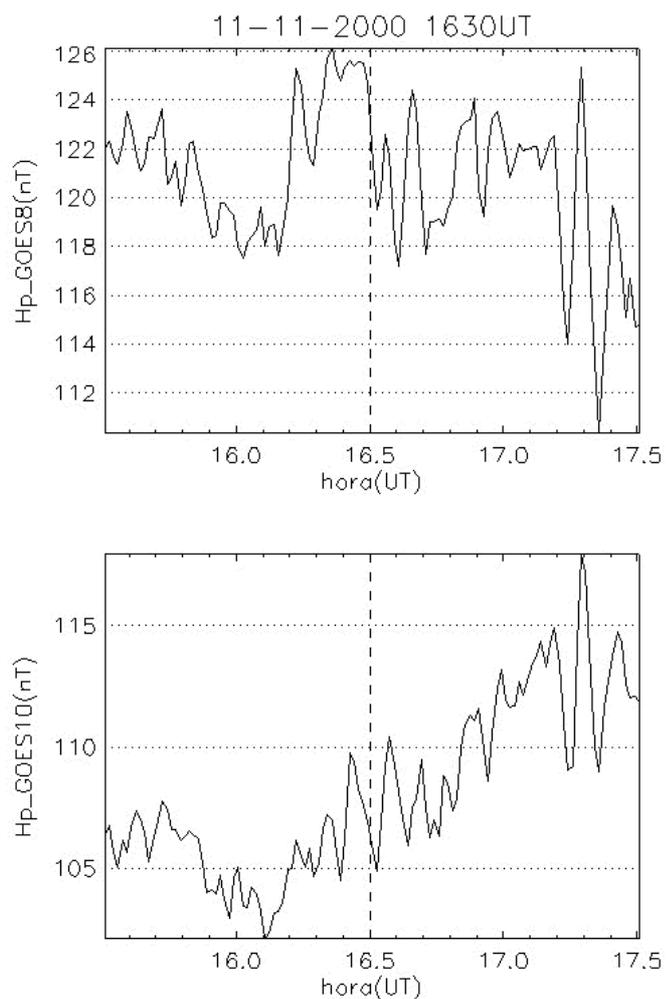


FIGURA B.88 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 89 e 90 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. Não há variações na pressão do vento solar que possam ser claramente associadas ao evento. A componente Z do IMF varia em torno de zero.

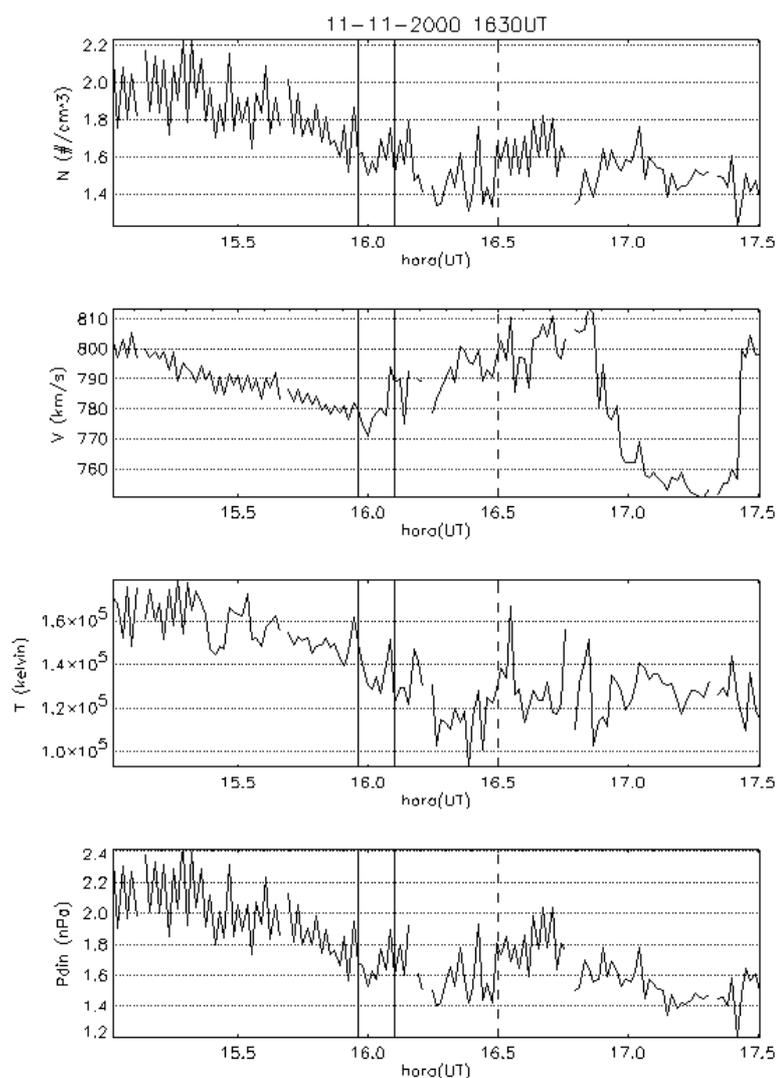


FIGURA B.89 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

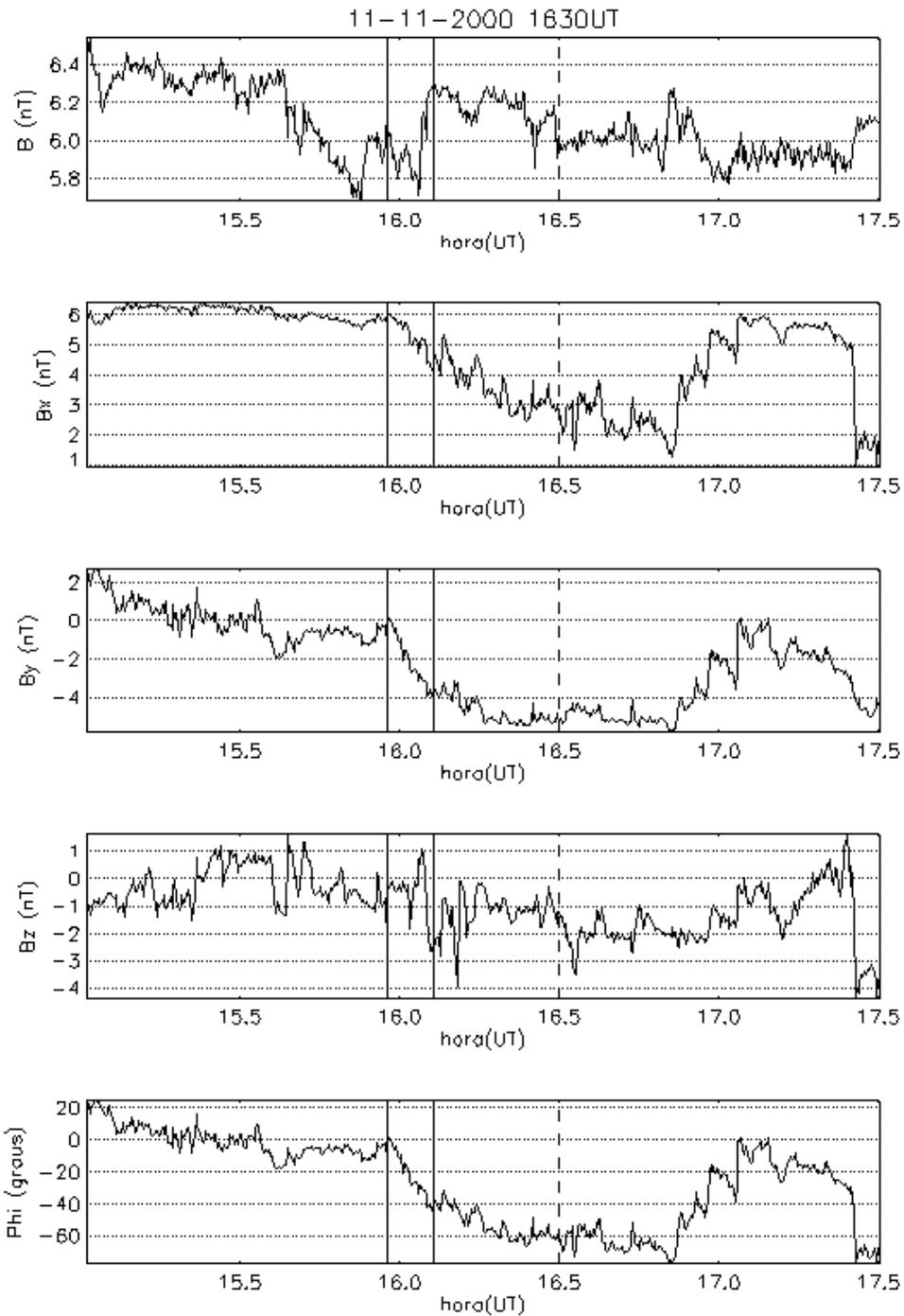


FIGURA B.90 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 11 de novembro de 2000, 1630 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 26/11/00 – 1205 UT

A Figura 91 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~73 nT) e SLZ (~64 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~47 nT) e SMS (~43 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 26 segundos. Os resultados sugerem uma velocidade de propagação média de aproximadamente 1,16 graus/segundo.

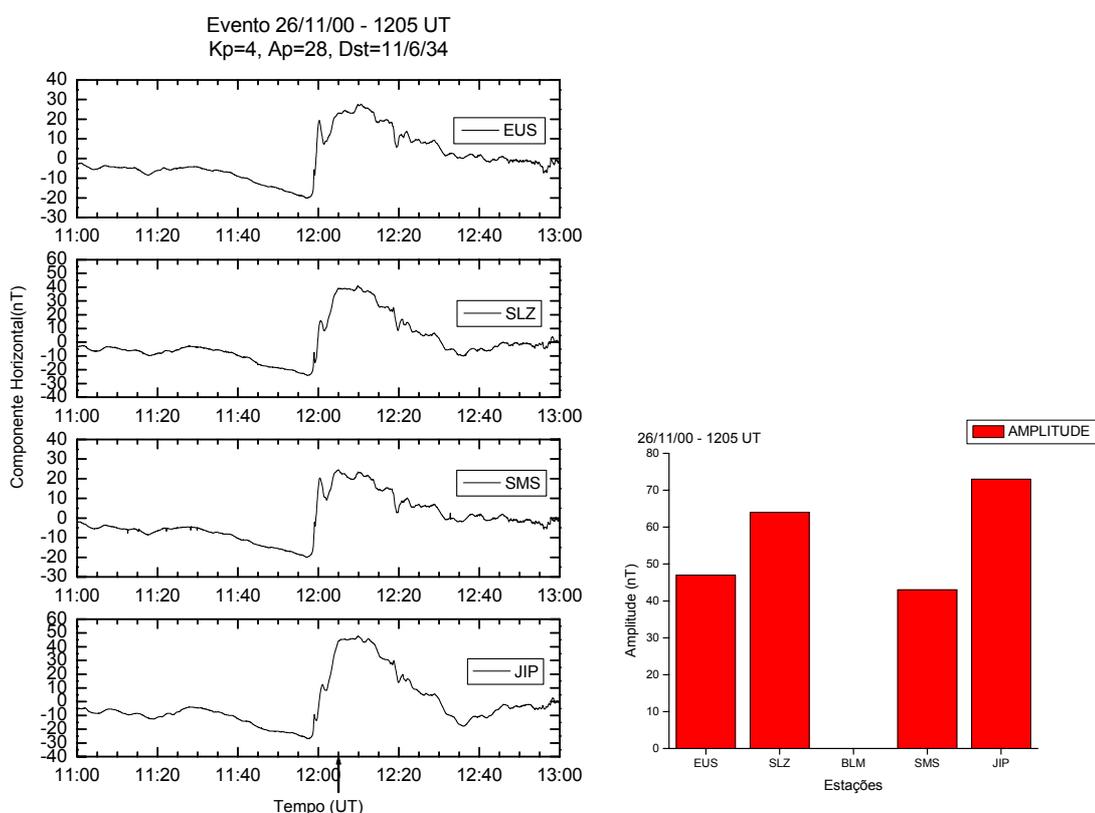


FIGURA B.91 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1100–1300 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 26 de novembro de 2000. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 92 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

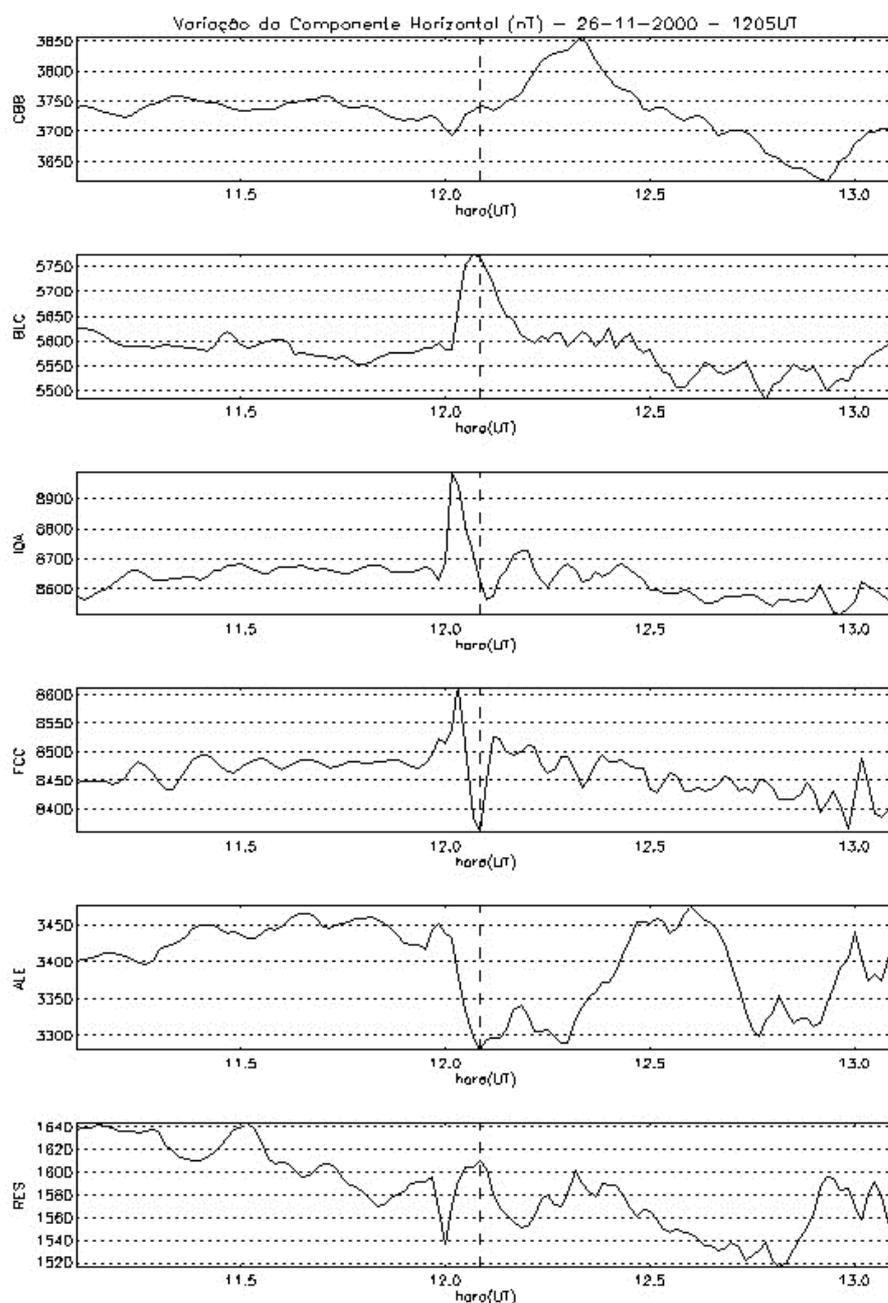


FIGURA B.92 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 88 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura clara em órbita geossíncrona ocorrendo próximo as 12 horas. O satélite

GOES 8 mostra um aumento abrupto na intensidade da componente H_p do campo geomagnético, enquanto o GOES 10 apresenta uma redução abrupta na intensidade do mesmo.

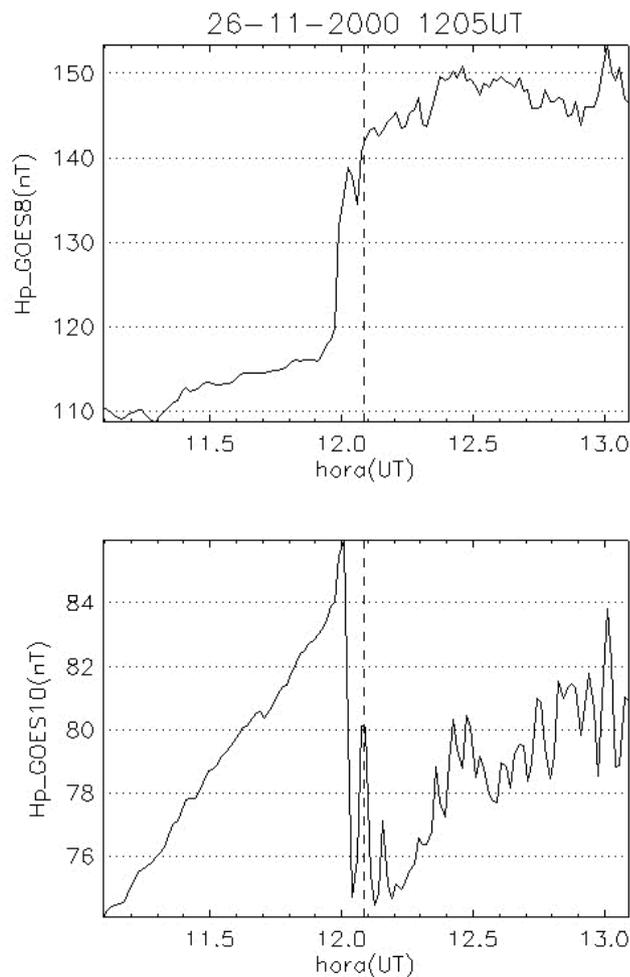


FIGURA B.93 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 93 e 94 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um aumento abrupto na densidade do vento solar, ocorrendo aproximadamente às 11,4

horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de qualquer evento envolvendo reconexão.

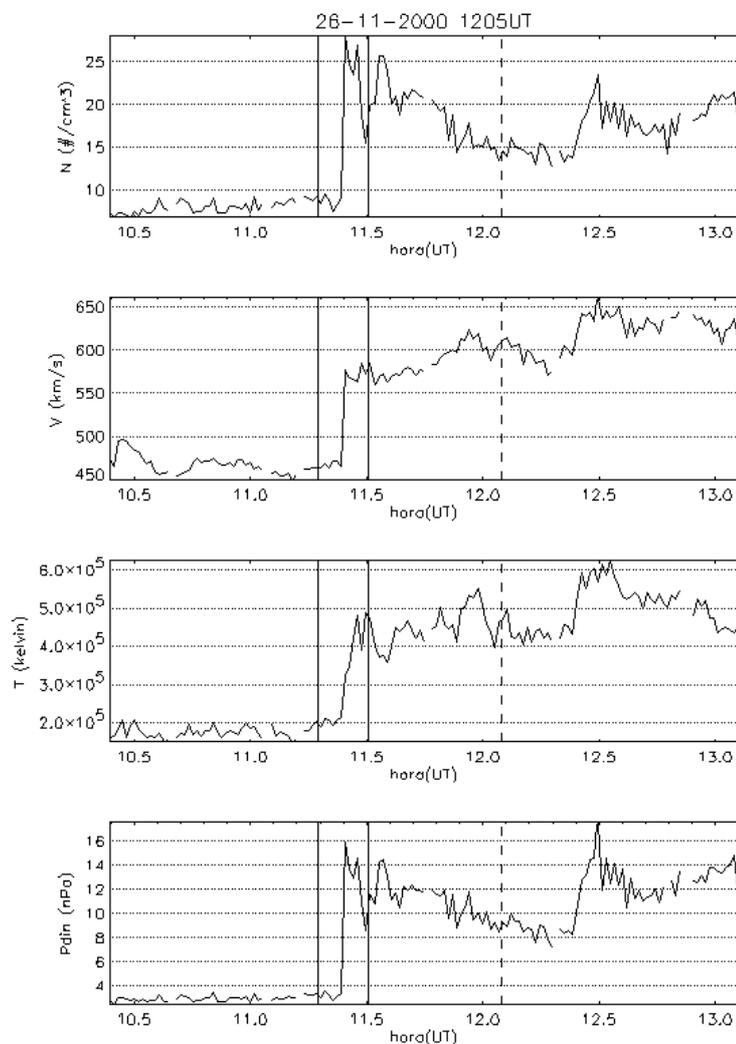


FIGURA B.94 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

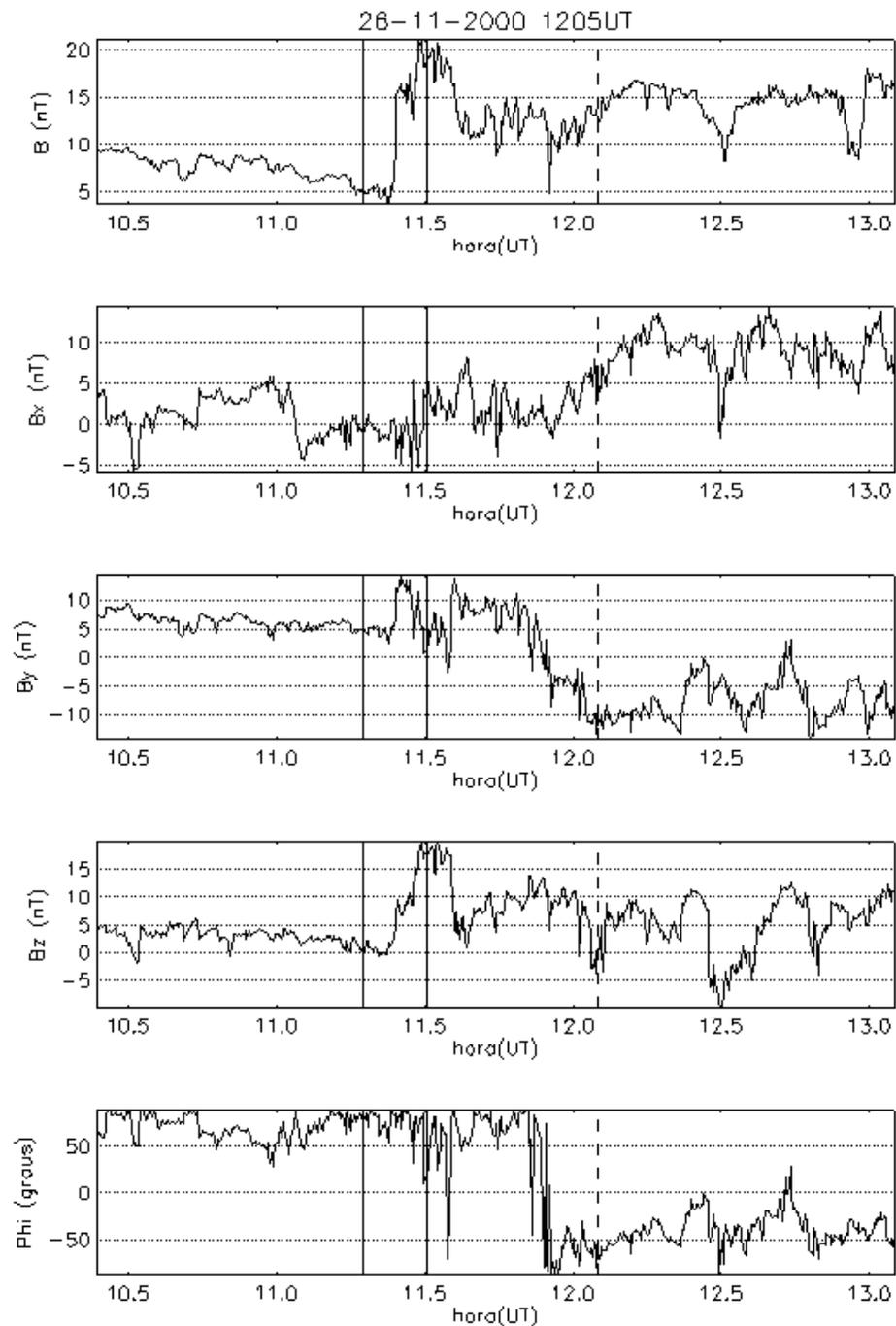


FIGURA B.95 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 26 de novembro de 2000, 1205 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 29/11/00 – 1930 UT

A Figura 96 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~23 nT) e SMS (~15 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~11 nT) e SLZ (~13 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 52 segundos. Os resultados sugerem uma velocidade de propagação média de aproximadamente 0,52 graus/segundo.

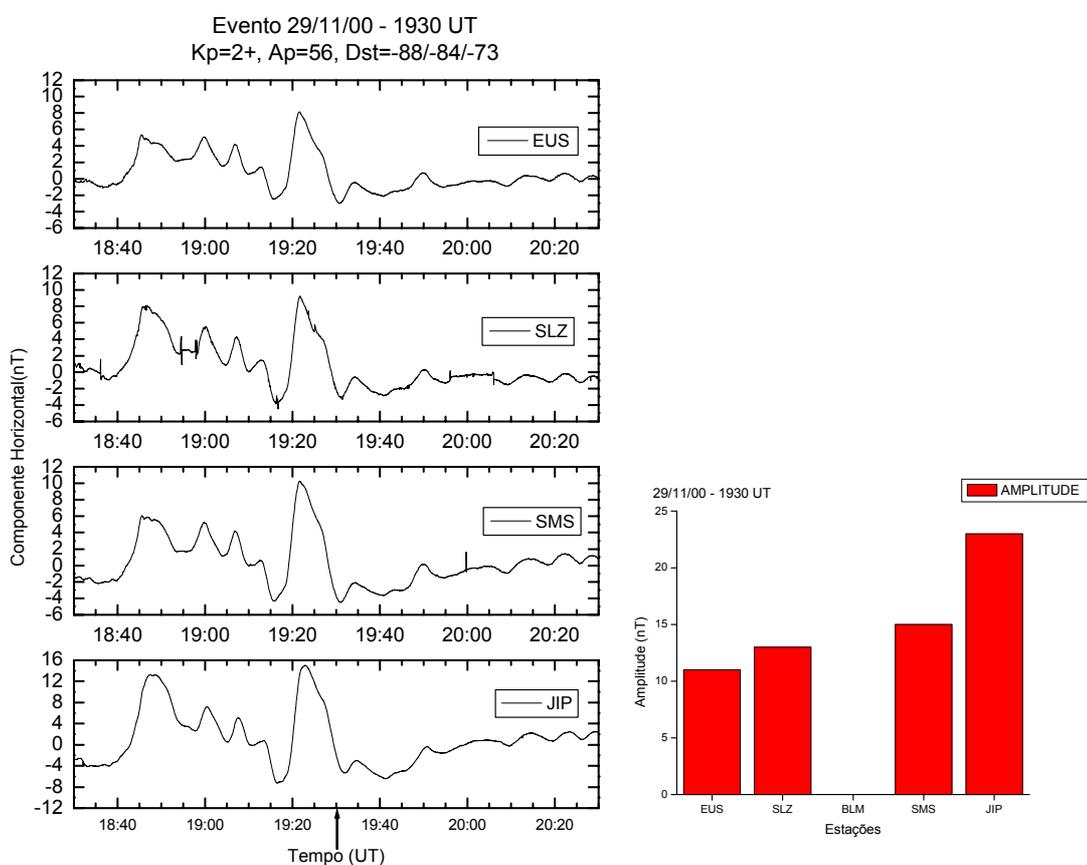


FIGURA B.96 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1830–2030 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 97 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

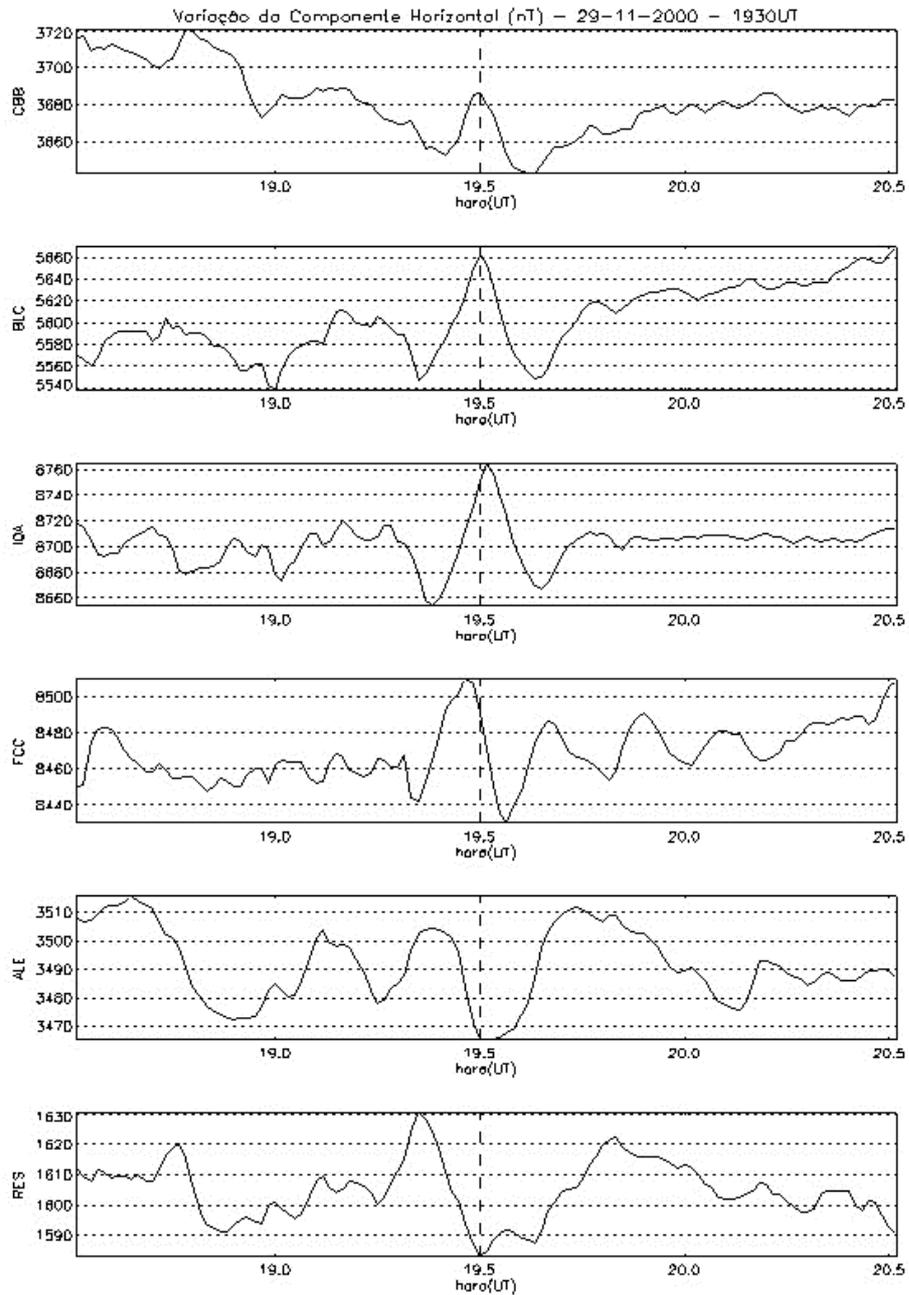


FIGURA B.97 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 98 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta assinatura clara em órbita geossíncrona ocorrendo próximo às 19,2 horas.

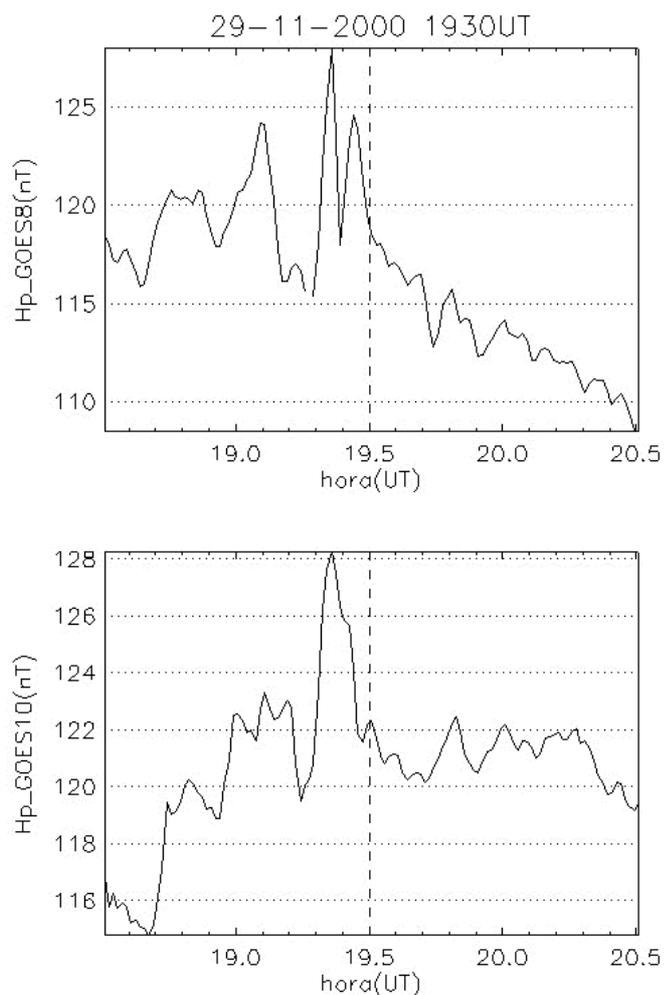


FIGURA B.98 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 99 e 100 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. O evento está associado a um aumento abrupto na densidade do vento solar, ocorrendo aproximadamente às 18,6 horas. A componente Z do IMF é positiva, o que descarta a ocorrência de qualquer evento envolvendo reconexão.

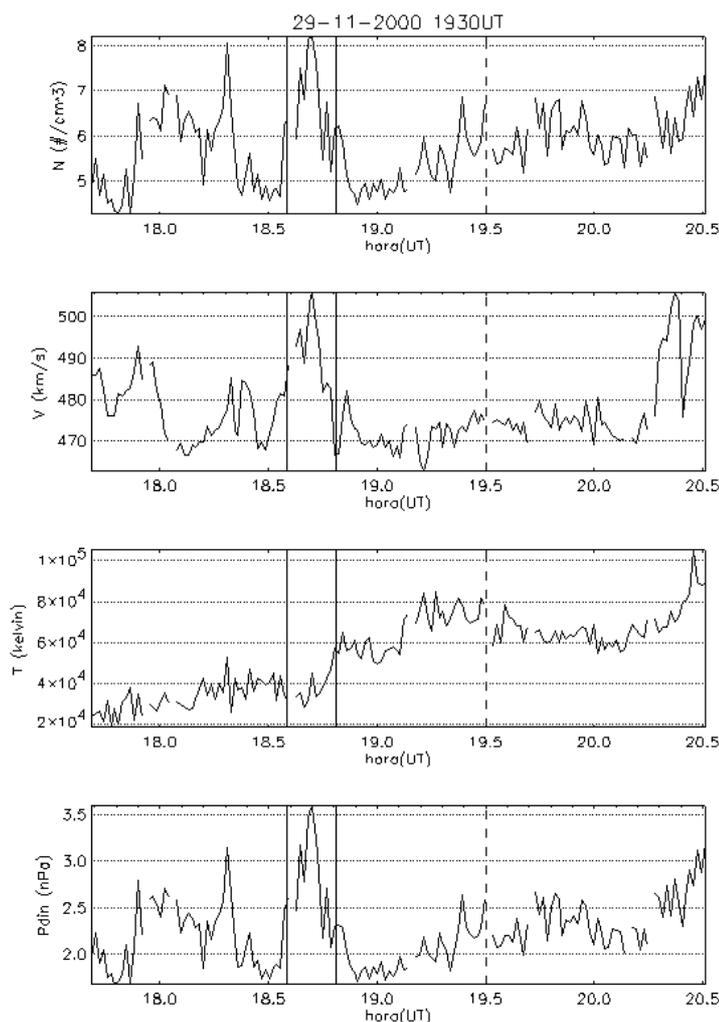


FIGURA B.99 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

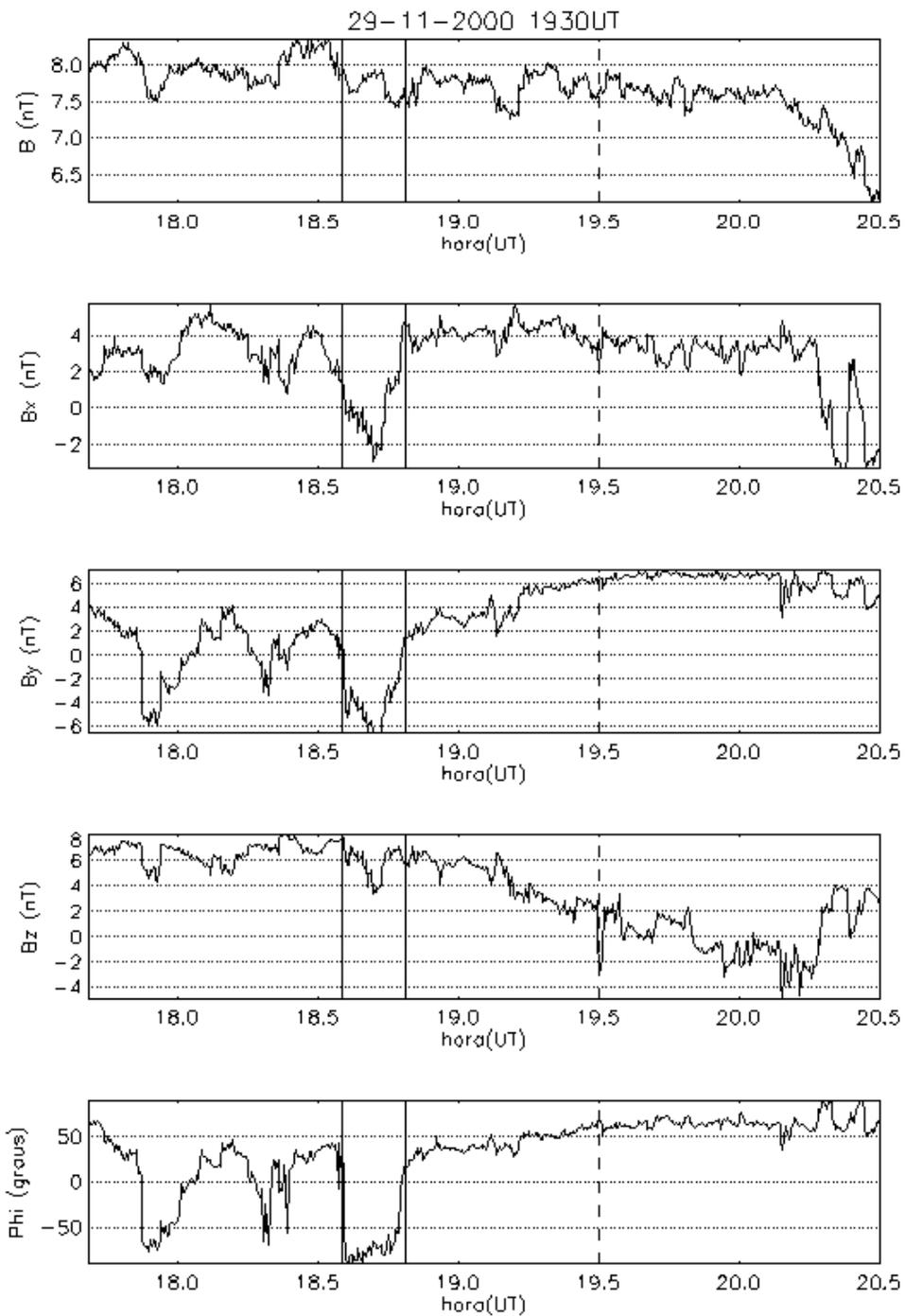


FIGURA B.100 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 29 de novembro de 2000, 1930 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

Evento 07/12/00 – 1930 UT

A Figura 101 apresenta a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros brasileiros e a distribuição da amplitude entre as estações, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP). A amplitude é máxima em JIP (~53 nT) e SLZ (~37 nT). As amplitudes foram um pouco menores em EUS (~15 nT), BLM (~27 nT) e SMS (~18 nT). A defasagem entre JIP e EUS é de 50 segundos. Os resultados sugerem uma velocidade de propagação média de aproximadamente 0,43 graus/segundo.

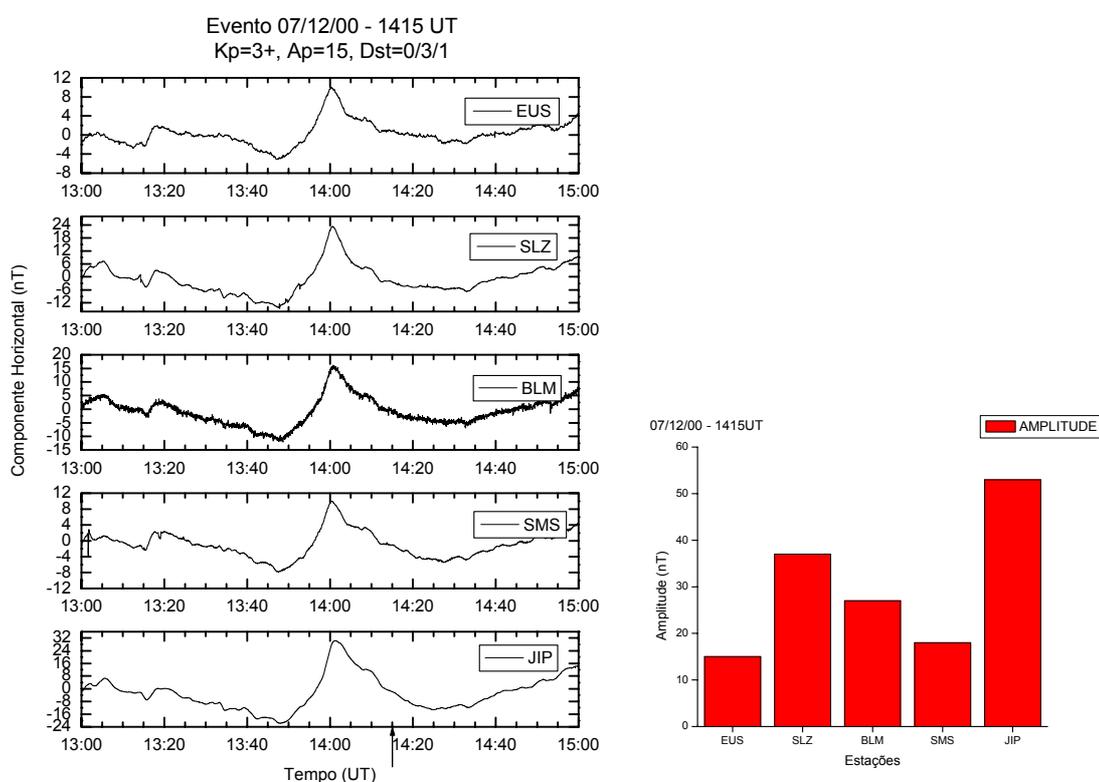


FIGURA B.101 - Variação na componente horizontal do campo geomagnético, medida nas estações brasileiras, para o intervalo de 1300–1500 UT. A seta indica o horário de ocorrência sugerido para o evento do dia 07 de dezembro de 2000, 1415 UT. Também é mostrada a distribuição da amplitude do evento para as estações brasileiras, indo da mais a leste (EUS) para a mais a oeste (JIP).

A Figura 102 mostra a variação na componente horizontal, observada nas estações canadenses, para um intervalo de duas horas em torno do horário de ocorrência do evento.

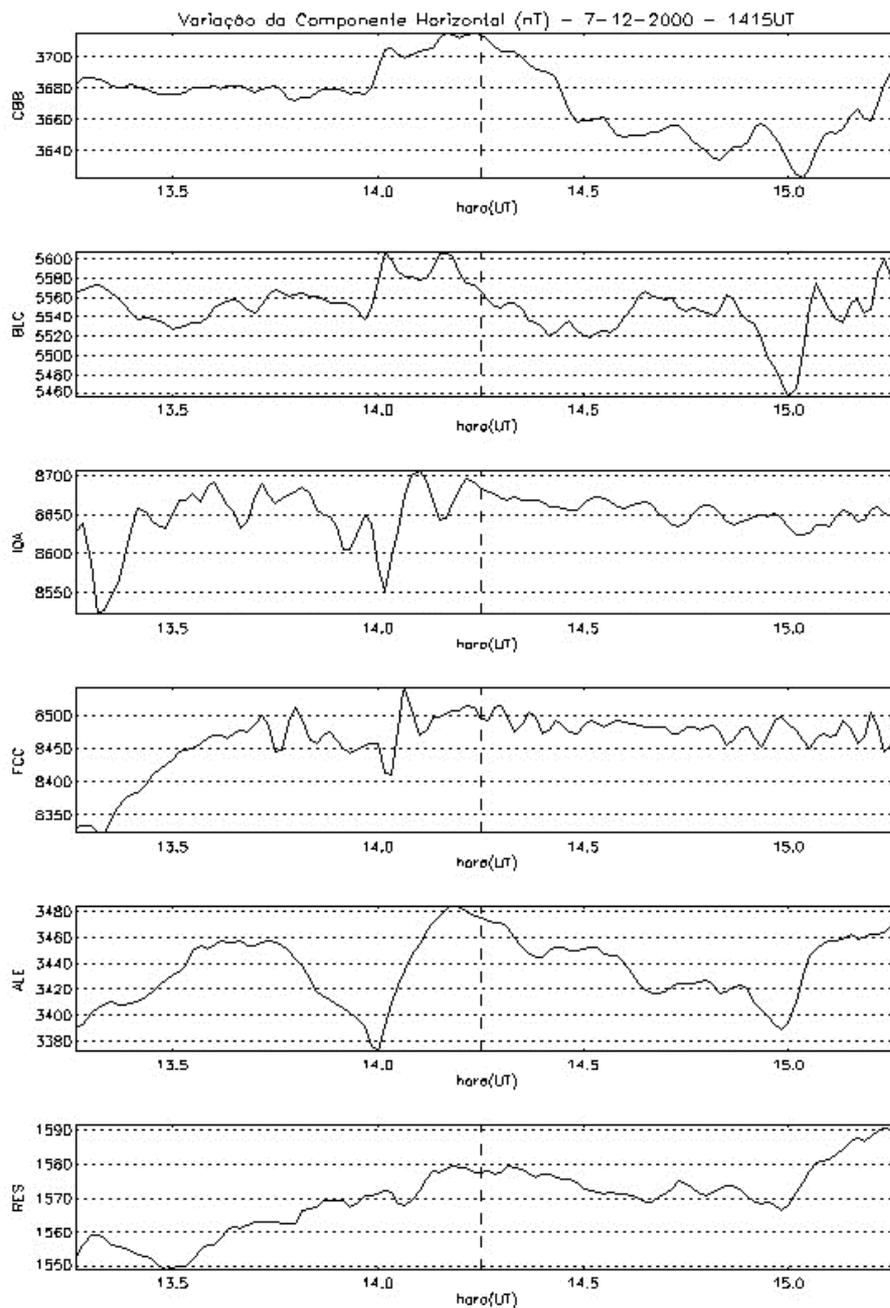


FIGURA B.102 - Variação da componente horizontal do campo geomagnético nas estações canadenses para um intervalo de duas horas em torno do horário sugerido para ocorrência do evento (linha tracejada).

A Figura 103 mostra a variação na componente H_p do campo geomagnético, medida pelos satélites GOES 8 e 10, para o período de ocorrência do evento. O evento apresenta

assinatura clara em órbita geossíncrona ocorrendo próximo às 14 horas no satélite GOES 8. O GOES 10 não apresenta assinatura para o evento.

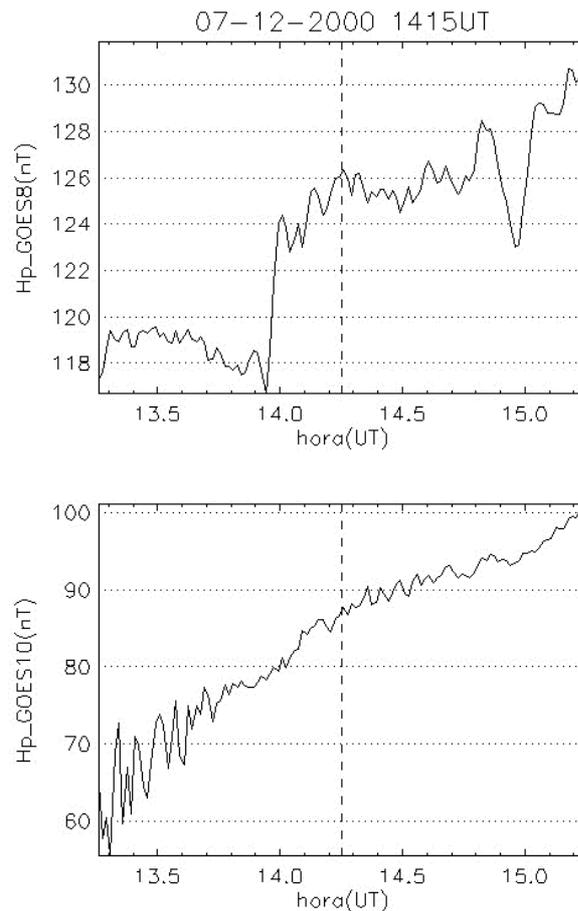


FIGURA B.103 - Variação da componente H_p do campo geomagnético medida em órbita geossíncrona pelos satélites GOES 8 e 10. A linha tracejada mostra o horário de ocorrência sugerido para o evento na superfície.

As figuras 104 e 105 mostram, respectivamente, a variação dos parâmetros de plasma e do IMF no ponto lagrangeano L1, medidas pelo satélite ACE. Não há variação significativa na pressão do vento solar que possa ser associada ao evento. A

componente Z do IMF é positiva durante o evento, o que descarta a ocorrência de qualquer processo envolvendo reconexão.

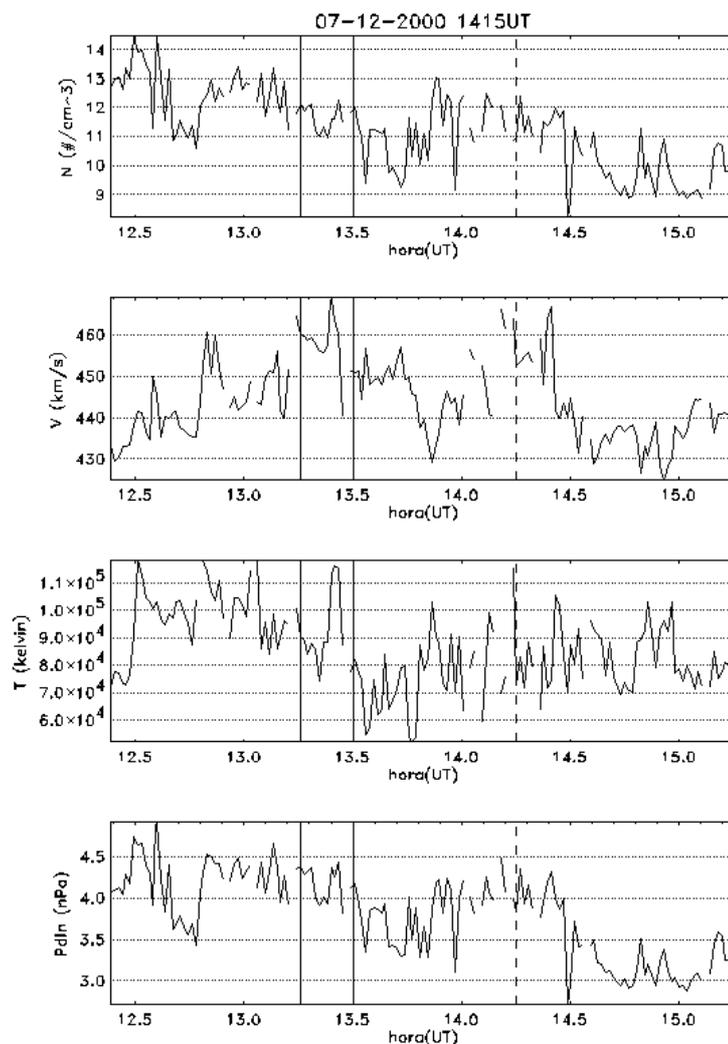


FIGURA B.104 - Variação dos parâmetros de plasma no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1415 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do satélite ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

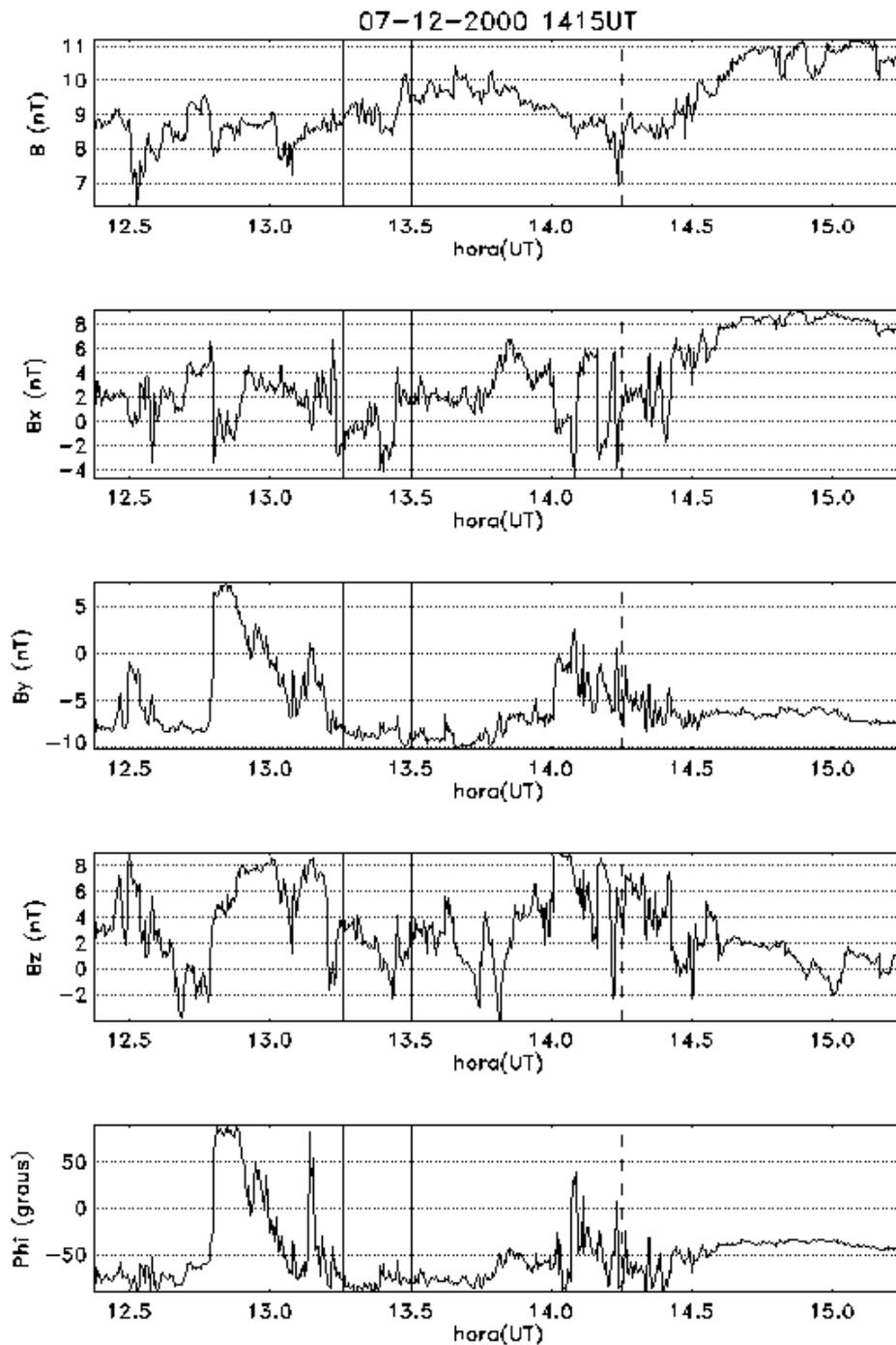


FIGURA B.105 - Variação do IMF no ponto lagrangeano L1, medido pelo satélite ACE, para o evento do dia 7 de dezembro de 2000, 1415 UT. As linhas sólidas indicam o início e o fim do intervalo onde provavelmente encontra-se a assinatura do evento nos dados do ACE. A linha tracejada indica o horário de ocorrência do evento na superfície.

ANEXO C
ARTIGO SIGNATURES OF TRAVELING CONVECTION VORTICES
IN GROUND MAGNETOGRAMS UNDER THE EQUATORIAL
ELECTROJET.

Signatures of traveling convection vortices in ground magnetograms under the equatorial electrojet

N. B. Trivedi,¹ D. G. Sibeck,² E. Zesta,³ J. C. Santos,¹ K. Yumoto,⁵
T. Kitamura,⁵ M. Shinohara,⁶ and S. L. G. Dutra⁴

Received 31 May 2001; revised 20 November 2001; accepted 21 November 2001; published XX Month 2002.

[1] Traveling convection vortices (TCVs) are transient events in high-latitude ground magnetograms that can be interpreted as evidence for localized vortical flows in the high-latitude ionosphere. Their centers travel eastward or westward at geomagnetic latitudes near 72° to 74° . TCVs have been attributed to various transient interactions at the magnetopause but also to processes occurring deeper within the magnetosphere. Each interaction mechanism should launch shear Alfvén waves that produce high-latitude ground signatures but also compressional waves that should produce signatures at lower latitudes. Zesta *et al.* [1999], Moretto *et al.* [1997], Ridley *et al.* [1998], and Lühr *et al.* [1998] report detailed analyses for several high-latitude TCVs. In this paper, we present evidence for corresponding signatures at Belem, São Luis, and Teresina and other stations under or nearby the equatorial electrojet. The equatorial signatures are most pronounced when the high-latitude signatures are (1) longitudinally extended, (2) isolated, and (3) attain greatest amplitudes. **INDEX TERMS:** 2724 Magnetospheric Physics: Magnetopause, cusp, and boundary layers; 2736 Magnetospheric Physics: Magnetosphere/ionosphere interactions; 2760 Magnetospheric Physics: Plasma convection; 2784 Magnetospheric Physics: Solar wind/magnetosphere interactions; **KEYWORDS:** traveling convection vortice, equatorial electrojet, magnetic impulse events

1. Introduction

[2] The magnetopause hosts a wide range of transient disturbances. The Kelvin-Helmholtz instability may drive quasiperiodic waves on the boundary during periods of enhanced solar wind velocities [Southwood, 1979]. Bursty merging may generate flux ropes of interconnected magnetospheric and magnetic field lines, known as flux transfer events (FTEs) [Russell and Elphic, 1978], on the equatorial magnetopause during periods of southward interplanetary magnetic field (IMF) orientation [Rijnbeek *et al.*, 1984]. Pressure pulses, whether of intrinsic solar wind origin or generated within the foreshock, may drive ripples on the magnetopause [Sibeck *et al.*, 1989]. Each disturbance should launch fast mode waves across magnetospheric magnetic field lines and parallel-propagating Alfvén mode waves along outer magnetospheric magnetic field lines [Southwood and Kivelson, 1990].

[3] The effects of the Alfvén mode waves (and corresponding field-aligned currents) should be observable at the ionospheric footprints of outer magnetospheric magnetic field lines. Mag-

netic impulse events (MIEs) with durations from 5 to 20 min and amplitudes greater than 40 nT are indeed common in the high-latitude dayside ionosphere. On average one occurs each day [Sibeck and Korotova, 1996], but repetitive sequences are not uncommon [McHenry *et al.*, 1990]. Efforts to identify the origin of the events have not met with great success. They show no tendency to occur for high solar wind velocities as predicted by the Kelvin-Helmholtz mechanism [McHenry *et al.*, 1990], for highly variable solar wind pressures as predicted for the pressure-pulse mechanism [Konik *et al.*, 1994], or for southward IMF orientations as predicted by the bursty merging mechanism [Lanzerotti *et al.*, 1990]. They may not even be associated with transient processes at the magnetopause [Yahnin and Moretto, 1996]. Efforts to identify corresponding signatures of the fast mode waves at geosynchronous orbit or at low latitudes on the ground have met with mixed success. While some case and statistical surveys report evidence for corresponding equatorial and geosynchronous signatures at the times of MIEs [Sato, 1964; Sibeck, 1993; Korotova and Sibeck, 1995; Korotova *et al.*, 1997], others do not [e. g., Lanzerotti *et al.*, 1990; Konik *et al.*, 1995].

[4] Perhaps each proposed mechanism, and still others yet unknown, can generate MIEs. If so, it may be necessary to survey only events with specific characteristics to obtain clear results. Of the various subcategories of MIEs, traveling convection vortices (TCVs) are the best known. With the help of observations from ground magnetometer arrays they can be identified on the basis of eastward or westward propagating ionospheric convection flows (magnetic field signatures) that reverse from westward (southward) to eastward (northward), or vice versa, with latitude. Since both azimuthally and latitudinally spaced networks of high-latitude ground magnetograms are needed to identify TCVs, only a few examples have appeared in the literature. The purpose of this paper is to examine high time and amplitude resolution low-latitude ground magnetograms for several well-documented TCVs recently reported by Moretto *et al.* [1997], Ridley *et al.* [1998], Lühr *et al.*

¹Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais-CRSPE/INPE, Santa Maria, Brazil.

²Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland, USA.

³Department of Atmospheric Sciences, University of California, Los Angeles, California, USA.

⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Sao Jose dos Campos, São Paulo, Brazil.

⁵Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

⁶Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Toyokawa, Japan.

[1998], and *Zesta et al.* [1999] and determine the conditions under which corresponding signatures can be seen under the equatorial electrojet.

[5] We choose to search for the signatures of TCVs at equatorial latitudes because we expect them to be greatly enhanced under the dip equator. As noted by *Hirono* [1950a, 1950b, 1952] and *Baker and Martyn* [1953], the magnetic and electric fields lie exactly perpendicular to one another along the dip equator. The former is horizontal and points northward, whereas the latter is part of the dayside *S_q* system and points eastward. The resulting upward plasma drift generates an upward polarization electric field between the upper and lower boundaries of the conducting *E* layer. In turn, this electric field drives a westward drift and additional eastward current thus enhancing the net eastward current within the dayside *E* region of equatorial ionosphere. The latter current is responsible for the large diurnal variation seen in the *H* component at equatorial stations like Huancayo. By analogy, the eastward and westward electric fields launched into the dayside magnetosphere by outward and inward magnetopause motion associated with transient events should also generate enhanced signatures in the *H* component of equatorial ground magnetograms.

2. Data and Methodology

[6] All of the TCVs studied in this paper were first identified by previous authors in high-latitude ground magnetograms. We present the observations at 5-s time resolution for events identified in the Magnetometer Array for Cusp and Cleft Studies (MACCS) array and 60-s time resolution for events identified in the Greenland ground magnetograms. For comparison, we will present observations from low-latitude stations at similar local times in Brazil. The National Institute of Space Research (INPE) in São Jose dos Campos, São Paulo, Brazil, and Kyushu University in Fukuoka, Japan, have jointly and intermittently operated high time (3 s) and amplitude (0.05 nT) resolution, low-noise, three-component fluxgate magnetometers at three stations (Belem, São Luis, and Teresina) under the equatorial electrojet in Brazil since 1991 [*Tachihara et al.*, 1996; *Saka et al.*, 1996]. To determine the longitudinal extent of the low-latitude signatures, we will also present 3-s time resolution observations from Guam, Peradenia, Mokolo, Alcantara, and Ancon, all operated by K. Yumoto of the University of Kyushu in Japan. Table 1 and Figure 1 present the locations of all the stations used in this study. Finally, we present 1-min averages of GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations at

Table 1. List of Magnetic Stations With Coordinates and Station Code

Station Name	Station Code	Geomagnetic		DIP Latitude	Time, LT
		Latitude	Longitude, E		
Alcântara	ALC	0.7°	29.3°	0.3°	UT - 3.0
Ancon	ANC	1.6°	354.6°	1.2°	UT - 5.1
Belém	BLM	2.8°	25.5°	6.0°	UT - 3.0
Cape Dorset	CDC	74.6°	1.2°	83.5°	UT - 4.75
Coral Harbour	CHC	74.8°	349.2°	84.4°	UT - 5.50
Godhavn	GDH	79.1°	34.6°	84.5°	UT - 2.40
Guam	GUA	4.7°	215.0°	9.5°	UT + 9.70
Igloolik	IGC	79.4°	351.5°	86.1°	UT - 5.33
Mokolo	MOK	1.9°	85.1°	1.5°	UT + 0.90
Narsarsuaq	NAQ	70.5°	38.7°	79.9°	UT - 2.10
Peradenia	PRD	0.1°	152.6°	2.8°	UT + 5.40
Santa Maria	SMA	18.9°	16.0°	32.5°	UT - 3.00
São Luis	SLZ	0.3°	29.2°	0.6°	UT - 3.00
Teresina	TER	2.8°	29.7°	6.6°	UT - 3.00
Thule	THL	88.3°	14.4°	89.2°	UT - 2.90

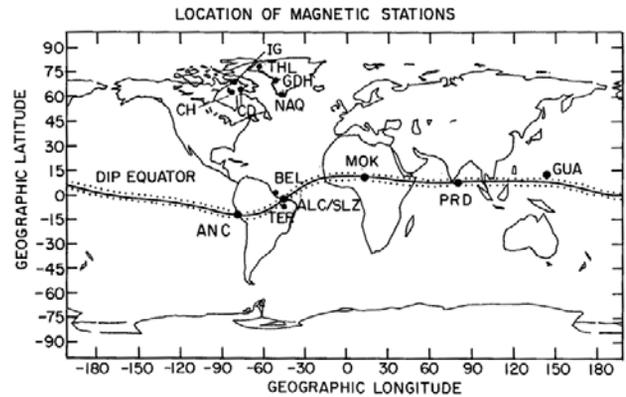


Figure 1. Locations of ground stations and the magnetic dip equator in geographic coordinates.

LT = UT - 5 and - 7.5 hours, respectively. Whereas the total magnetic field strength is available from GOES 6, only the component parallel to the Earth's rotation axis is available from GOES 7.

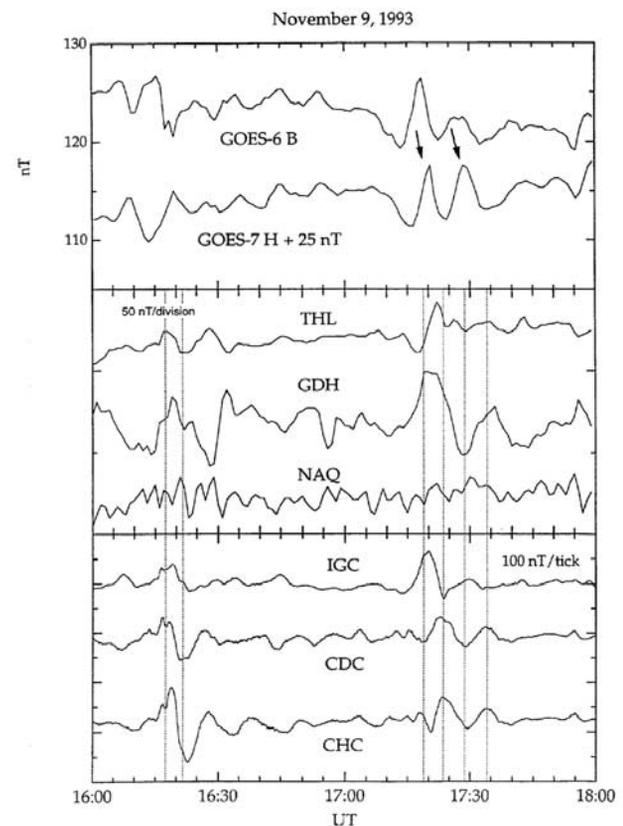


Figure 2. (top to bottom) GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the *H* component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ, and the *X* component of Magnetometer Array for Cusp and Cleft Studies (MACCS) array stations IGC, CDC, and CHC from 1600 to 1800 UT on 9 November 1993. Vertical dashed lines after 1710 UT identify the times when *Zesta et al.* [1999] identified four TCVs in the ground observations. Vertical dashed lines prior to 1630 UT identify large-amplitude perturbations at CDC that cannot be interpreted as TCVs. See Table 1 for station names.

3. Events With Clear Equatorial Signatures

[7] As our reexamination of the previously reported events will show, TCVs exhibit a considerable range of signatures. Some are isolated, some repetitive, and the repetition times can vary. The signatures of some TCVs can be observed over a wide longitudinal range of high-latitude locations, while others cannot. Finally, amplitudes vary from less than 40 nT to greater than 200 nT. We begin by considering examples of isolated TCVs with widespread, large-amplitude, signatures.

3.1. Event 1715 UT on 9 November 1993

[8] Figure 2 (from top to bottom) presents GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the H component from three Greenland ground magnetograms, and the X component from three MACCS array ground magnetograms during the period from 1600 to 1800 UT on 9 November 1993. As indicated by the vertical lines in the lower panel, Zesta *et al.* [1999] identified four TCVs in the MACCS observations immediately after 1710 UT. Their amplitudes reached ~ 300 nT at some of the MACCS stations (not shown). As required for identification as TCVs, the sense of each H component perturbation reversed from low to high latitudes, so that positive (negative) perturbations in the H component at higher latitude (79.4° IGC corresponded to negative (positive) perturbations in the H component at lower latitude CDC (74.6°) and CHC (74.8°). Corresponding events, with amplitudes reaching ~ 100 nT can also be seen in the Greenland ground magnetograms. However, the events cannot be classified as TCVs over Greenland because there is no clear reversal in the H component with latitude. The time between two peaks in the H component was ~ 11 min in the MACCS observations (e.g., CDC) but 16 min in the Greenland observations (GDH).

[9] Zesta *et al.* noted that a transient event in the MACCS array observations at 1615 UT exhibited equally strong amplitude perturbations but less clear TCV signatures. As indicated by the vertical lines, there was no reversal in the H component with latitude at either the Greenland or the MACCS stations for this event. There may have been other even weaker events between 1615 and 1700 UT.

[10] Zesta *et al.* associated the 1715 UT events with a sequence of transient pulses in which foreshock densities observed by IMP 8

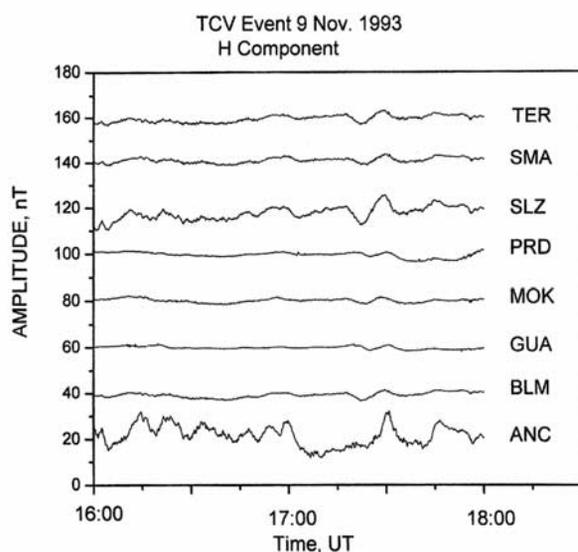


Figure 3. H component of ANC, GUA, MOK, PRD, BLM, SLZ, SMA, and TER ground magnetograms from 1600 to 1800 UT on 9 November 1993. See Table 1 for station names.

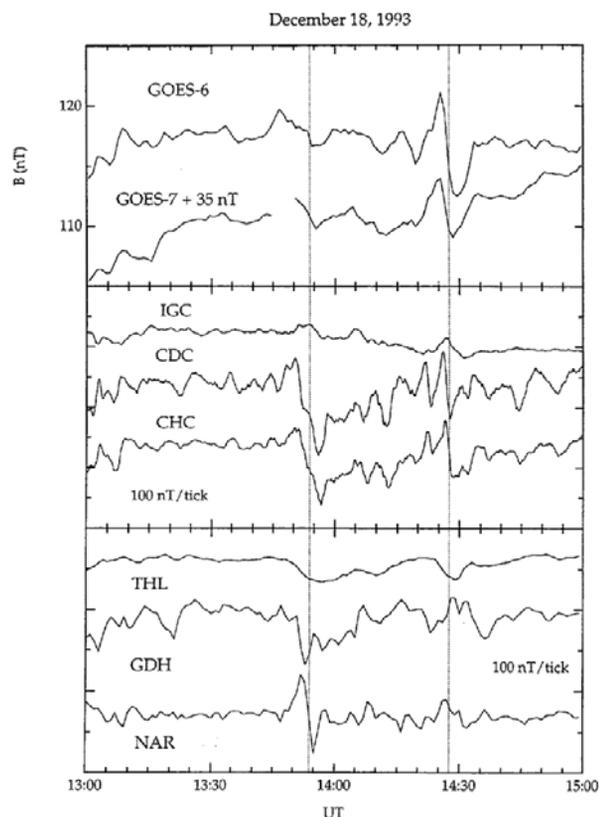


Figure 4. (top to bottom) GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the X component of MACCS array stations IGC, CDC, and CHC, and the H component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ from 1600 to 1800 UT on 18 December 1993. A vertical dashed line at 1354 UT identifies the time when Moretto *et al.* [1997] identified a pair of TCVs in the ground observations. A vertical dashed line at 1427 UT identifies a second impulsive event in the MACCS array. See Table 1 for station names.

varied by a factor of ~ 2 during an interval of northward IMF orientation. GOES 6 and 7 observations are consistent with this interpretation. As illustrated in the upper panel of Figure 2, the GOES 6 and 7 spacecraft observed a pair of compressional pulses moving westward from GOES 6 to 7 through the dayside prenoon geosynchronous magnetospheric magnetic field in conjunction with the ground events.

[11] For comparison, Figure 3 shows the high pass (30 min) filtered H components recorded at eight equatorial stations. The variations corresponding to the 1715 UT TCV event reached peak amplitudes (10 \sim 12 nT) at Ancon (1200 LT) and São Luis (1425 LT), both nearly directly under the dayside equatorial electrojet. The amplitudes were somewhat less (5 nT) at Teresina, Belem, and Santa Maria, all at local times similar that of São Luis, but well outside the equatorial electrojet. The perturbations reached still lower amplitudes (~ 3 nT) at Mokolo (1830 LT), Peradenia (2300 LT), and Guam (0300 LT), all on the nightside. Taken together, the observations indicate coherent variations whose amplitudes diminish with increasing local time from noon.

[12] Finally, note that both Ancon and São Luis recorded weaker and less prominent (i.e., less isolated) perturbations from 1610 to 1620 UT and 1645 to 1700 UT, perhaps corresponding to the weaker and less well defined high-latitude events at 1615 UT and from 1645 to 1700 UT. The examples below will provide further evidence that clear events under the equatorial electrojet correspond to strong and isolated TCV's at higher latitudes.

3.2. Event 1350 UT on 18 December 1993

[13] Figure 4 (bottom) presents the H components of Greenland ground magnetograms from 1300 to 1500 UT on 18 December 1993. As indicated by a vertical dashed line, *Moretto et al.* [1997] identified several TCVs near 1350 UT. The H component perturbations reversed from positive/negative at NAQ (where the amplitude approaches 200 nT) to negative/positive at GDH. THL observed a transient negative bay rather than a bipolar signature. *Moretto et al.* [1997] noted that this event could be interpreted as an isolated set of two or possibly three convection vortices moving eastward over the western coast of Greenland. *Moretto et al.* [1997] also reported that just prior to this event the Canadian and Scandinavian ground magnetograms provided evidence for a global change in convection patterns. Figure 4 (middle) provides X component observations from the three stations in the MACCS array whose longitudes are closest to those in the Greenland chain. While CDC and CHC observed bipolar positive/negative signatures, IGC recorded only a weak positive perturbation at 1350 UT.

[14] The MACCS and Greenland observations provide evidence for a second impulsive event at 1427 UT on the same day. At CDC and CHC this event represents a significant (~ 200 nT) intensification of an ongoing pulsation with a period of ~ 4 min. At IGC it can be identified as a slight increase in the X component. Positive perturbations mark the event at GDH and NAR, but a transient negative bay marks the event at THL.

[15] Figure 4 (top) presents GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations for the same time interval. Both GOES 6 and 7 observed only modest compressions at 1347 UT just prior to the 1350 UT event in Greenland, but the GOES spacecraft observed a particularly striking compression at 1425 UT followed by an equally transient rarefaction at 1429 UT, presumably

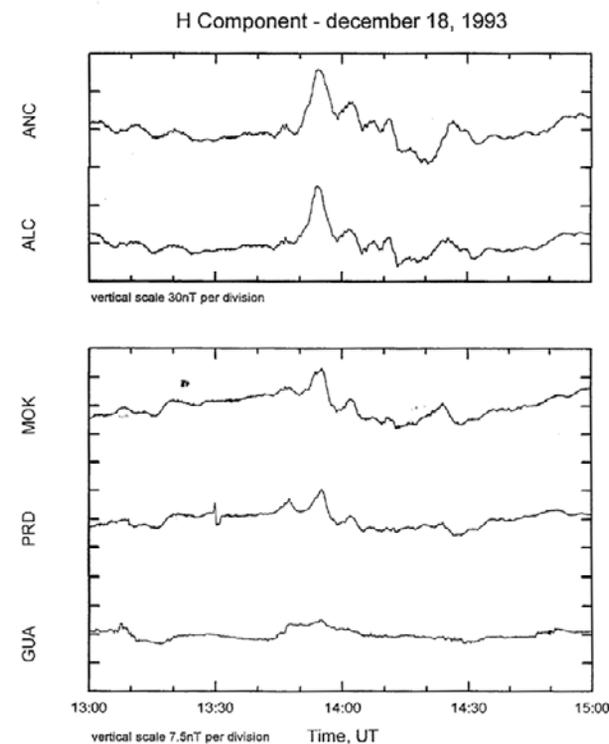


Figure 5. H component of ANC, ALC, MOK, PRD, and GUA ground magnetograms from 1600 to 1800 UT on 18 December 1993. See Table 1 for station names.

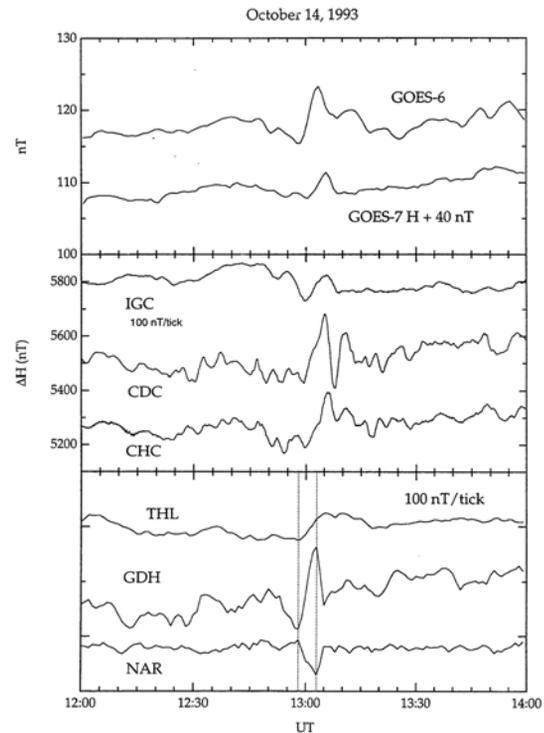


Figure 6. (top to bottom) GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the X component of MACCS array stations IGC, CDC, and CHC, and the H component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ from 1200 to 1400 UT on 14 October 1993. Vertical dashed lines near 1300 UT indicate two TCVs identified in the Greenland observations by *Moretto et al.* [1997]. See Table 1 for station names.

corresponding to the 1427 UT ground event. No solar wind observations were available for either event.

[16] Figure 5 presents equatorial ground magnetograms for the same time interval. H component observations by the two stations located nearest local noon, ANC and ALC, indicate two pulsed increases at 1352 and 1428 UT, corresponding to both transient events at high latitudes on the ground. Dusk station MOK and nightside station PRD recorded similar signatures with much smaller amplitudes. Guam, located on the nightside and at higher latitudes, observed virtually no signatures corresponding to either event.

4. Less Successful Efforts

[17] Identifying signatures in the low-latitude ground magnetograms corresponding to the other TCV reported by *Moretto et al.* [1997] and the events studied by *Ridley et al.* [1998] was not so simple. This may be due to the fact that their signatures were less isolated, exhibited lower amplitudes, or extended over a lesser range in local time.

4.1. Event 1300 UT on 14 October 1993

[18] Figure 6 (bottom) presents Greenland ground magnetograms observations from 1200 to 1400 UT on 14 October 1993. As illustrated by the vertical dashed lines, *Moretto et al.* [1997] identified a pair of TCVs near 1300 UT. The events reached a peak amplitude of ~ 150 nT at GDH. The MACCS observations shown in Figure 6 (middle) provide evidence for transient events with similar amplitudes shortly after 1300 UT. IMP 8 observations (not shown) provide no evidence for any solar wind pressure pulse,

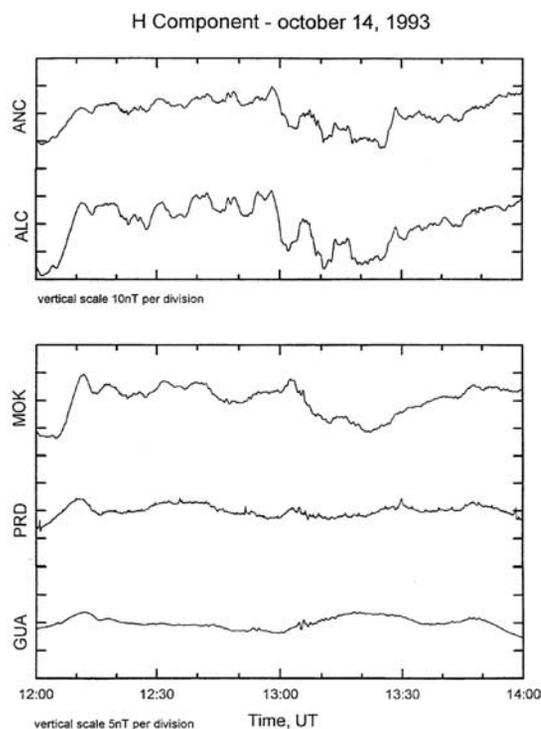


Figure 7. H component of ANC, ALC, MOK, PRD, and GUA ground magnetograms from 1200 to 1400 UT on 14 October 1993. See Table 1 for station names.

but they do indicate a highly variable IMF orientation with successive north/south turnings.

[19] As indicated in Figure 6 (top), there was a very prominent isolated compressional signature at both GOES 6 and 7 at the time of these events. However, as shown in Figure 7, signatures corresponding to these events are rather difficult to identify in the equatorial ground magnetograms. Dusk-side MOK (1400 LT) and PRD (1830 LT) recorded a weak increase in the H component at 1302 UT, whereas dawn-side ANC (0800 LT) and ALC (1000 LT) recorded weak step function decreases starting at 1259 UT. Nightside GUA (2230 LT) recorded no signature at all. The weak and conflicting signatures at all the equatorial ground stations may be due to the fact that the high-latitude event attained lesser amplitudes than the others considered in this review, the fact that most of the ground stations were located far from local noon where the equatorial signatures are expected to reach peak amplitude, and the fact that the TCV signature was limited in local time extent. Indeed, one of the simpler and clearer signatures was seen at MOK, closest to local noon.

4.2. Event 1439 UT on 6 November 1993

[20] Figure 8 (bottom) presents the H components from three Greenland ground magnetograms (THL, GDH, and NAR) for the interval from 1400 to 1600 UT on 6 November 1993. *Ridley et al.* [1998] reported evidence for a pair of eastward moving vortices forming east and west of Greenland at 1439 UT. *Ridley et al.* reported that a third vortex formed west of Greenland after 1446 UT. Vertical dashed lines in Figure 8 indicate three times when negative H component perturbations at THL (85.4°) reversed to positive H component perturbations at NAQ (66.3°). Peak amplitudes reached 200 nT at NAQ but were only slightly larger than perturbations seen earlier and later during the time interval displayed in Figure 8. The time between two peaks in the H

component was only 4 min. No corresponding signatures were seen in the MACCS observations.

[21] IMP 8 was located within the magnetosheath, where it observed a turbulent magnetic field (not shown) as is often the case. Figure 8 (top) presents GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations for the corresponding interval. Although GOES 6 recorded a pair of compressions at 1435 and 1440 UT, they were no greater than other variations at this spacecraft during the 2-hour interval and there were no corresponding signatures at GOES 7. Consequently, the events reported by *Ridley et al.* on 6 November 1993 exhibited a higher frequency, were less distinct from surrounding features, and were seen over a narrower range of longitudes than those reported by *Zesta et al.* [1999].

[22] Figure 9 compares the signature seen by ALC near local noon with those seen by equatorial stations at other local times. The H component at ALC exhibited an isolated pulsed increase at 1441 UT, the time when the TCVs began at higher latitudes. The H component at MOK, also on the dayside, observed a weaker pulsed increase at this time. By contrast, dusk-side PRD observed a strong negative peak at this time and nightside GUA observed a weak negative peak. We must conclude that the equatorial ground signatures for less prominent high-latitude events can depend strongly on local time, perhaps particularly when the high-latitude signatures are spatially limited, as in this case.

4.3. Multiple Events on 7 November 1993

[23] Figure 10 (bottom) presents Greenland ground magnetograms for the period from 1300 to 1500 UT on 7 November 1993. Vertical dashed lines at 1350, 1358, 1402, and 1405 UT mark the times when *Ridley et al.* [1998] identified four vortices over

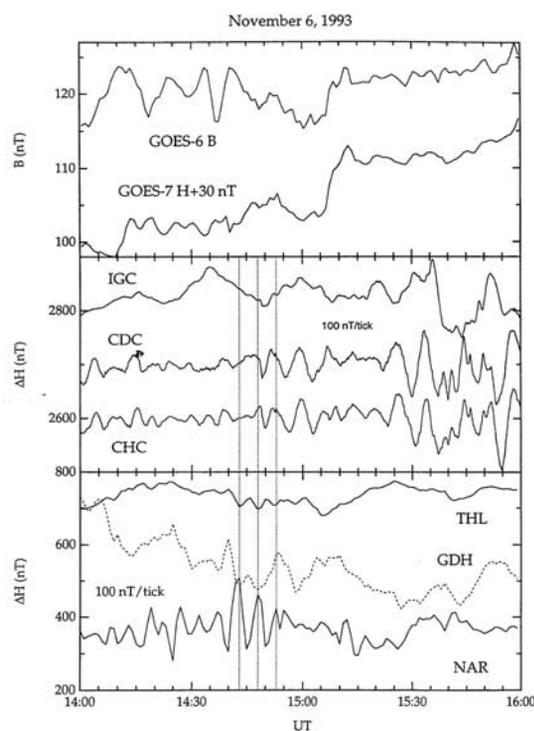


Figure 8. (top to bottom) GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the X component of MACCS array stations IGC, CDC, and CHC, and the H component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ from 1400 to 1600 UT on 6 November 1993. Vertical dashed lines near 1300 UT indicate three TCVs identified in the Greenland observations by *Ridley et al.* [1998]. See Table 1 for station names.

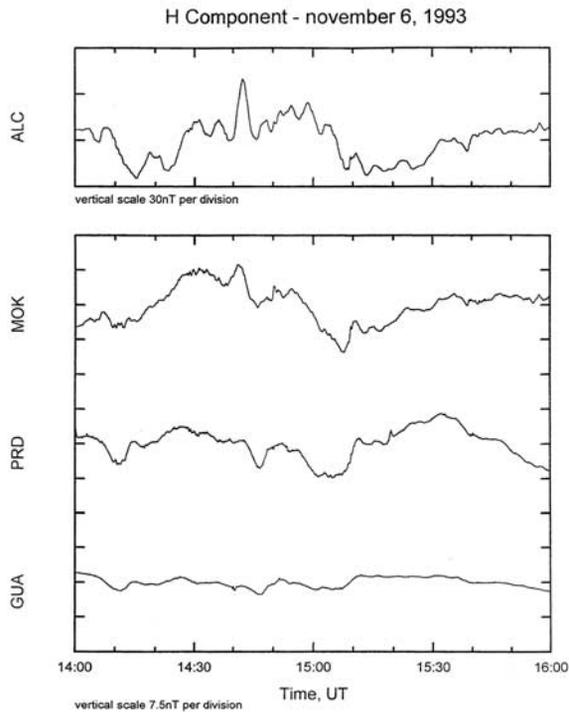


Figure 9. H component of ALC, MOK, PRD, and GUA ground magnetograms from 1400 to 1600 UT on 6 November 1993. See Table 1 for station names.

Greenland. Although perturbation amplitudes reached 150 nT, these events were much more poorly defined than those considered earlier in this paper. Because most cannot be associated within latitudinal transitions from northward to southward perturbations, it is not clear if they are TCVs. There were perturbations with equally large amplitudes earlier and later within the time interval shown. As indicated in the top panel, there were no corresponding features at geosynchronous orbit. As shown in Figure 11, there were no corresponding features at ALC, MOK, PRD, or GUA. BLM, SLZ, SMA, and TER in Brazil (not shown) all recorded the same pulsation sequence, with the greatest amplitudes occurring at ALC and SLZ, directly under the equatorial electrojet.

[24] Although no plasma data are available, the IMP 8 magnetometer recorded a sequence of bow shock crossings at 1354, 1357, 1401, and 1408 UT. During the period of this event, IMP 8 was located immediately outside the northern dawn bow shock, near GSE $(X, Y, Z) = (-15.6, -25.0, 17.7) R_E$ (Earth radii). We therefore suspect that the ground events were related to variations in the solar wind pressure, as was the case in a similar sequence of events reported by *Korotova et al.* [1997]. The IMF had a near equatorial orientation throughout these events.

4.4. Multiple Events on 5 November 1993

[25] Finally, Figure 12 (bottom) presents Greenland ground magnetograms for the period from 1300 to 1500 UT on 5 November 1993. Vertical dashed lines at 1358, 1401, 1405, and 1410 UT mark the times when *Ridley et al.* [1998] identified four vortices over Greenland. Although perturbation amplitudes once again reached 150 nT, these events were also more poorly defined than those considered earlier in this paper. The first two may be associated with reversals in the sense of H component perturbations from NAQ to GDH, but the latter two definitely cannot. Features with equal or greater amplitudes occur shortly prior to and after the events under consideration here. As indicated in Figure 12

(top), there were no corresponding events at geosynchronous orbit. As indicated in Figure 13, the events may be associated with abrupt step function changes in the ALC and ANC ground magnetograms at 1400 and 1408 UT. However, there are equally significant features in the equatorial ground magnetograms at earlier and later times. No IMP 8 observations were available for these events.

4.5. Other Events

[26] We sought to identify signatures in equatorial ground magnetograms for other previously published high-latitude TCVs. In particular, Brazilian ground magnetometer observations are available for the nineteen large amplitude (>100 nT) TCVs identified by *Lühr et al.* [1998] in IMAGE ground magnetograms from October 1993 to March 1994. Each IMAGE event exhibited a reversal in the X (north/south) component with latitude and propagated azimuthally.

[27] Table 2 lists the results of our survey. As *Lühr et al.* [1998] noted, IMP 8 solar wind/magnetotail observations were not available for most of the events. Nevertheless, the limited IMP 8 observations that were available indicate that the events occurred for all IMF orientations and were occasionally associated with solar wind pressure variations and brief compressions of the magnetotail.

[28] We were generally able to identify corresponding signatures in equatorial magnetograms at local times similar to those of the Scandinavian stations, but not in the Brazilian ground magnetograms. Brazil was located at early morning times for each of the IMAGE events. Since the equatorial electrojet is weak at early morning local times, we do not expect to see significant signatures

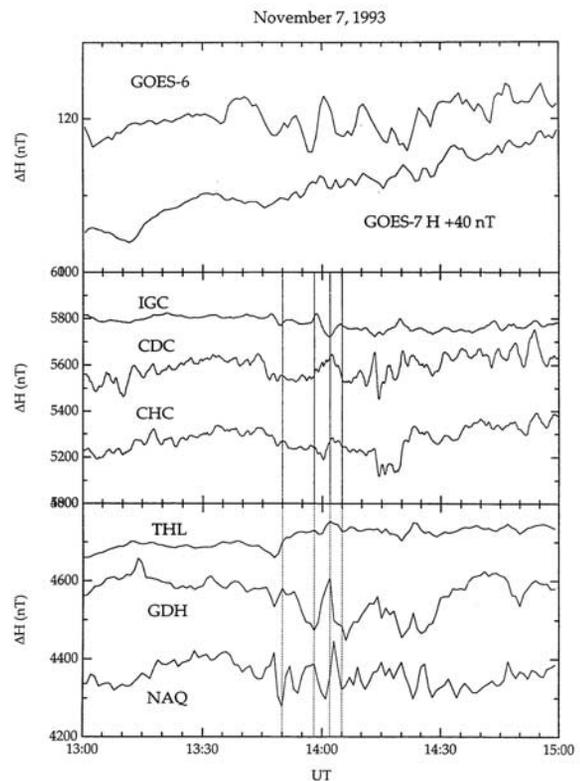


Figure 10. (top to bottom) GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the X component of MACCS array stations IGC, CDC, and CHC, and the H component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ from 1300 to 1500 UT on 7 November 1993. Vertical dashed lines near 1300 UT indicate the times of four TCVs identified in the Greenland observations by *Ridley et al.* [1998]. See Table 1 for station names.

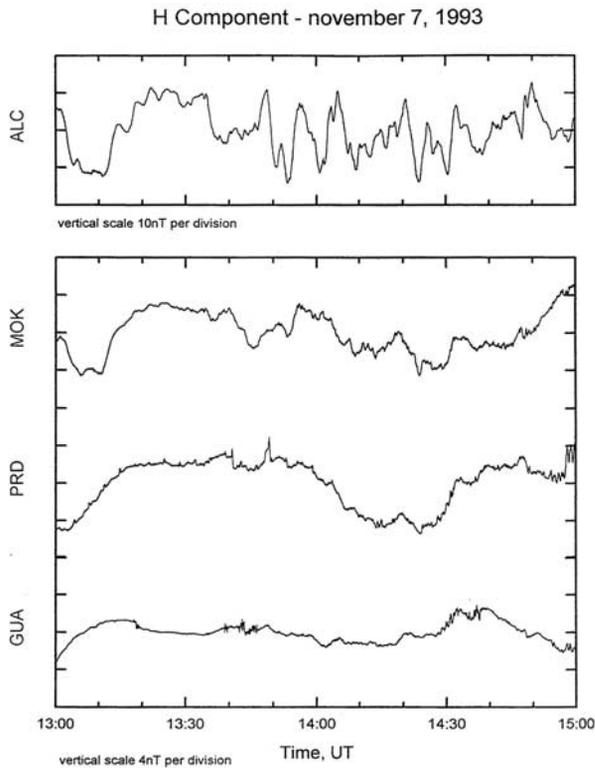


Figure 11. H component of ALC, MOK, PRD, and GUA ground magnetograms from 1300 to 1500 UT on 7 November 1993. See Table 1 for station names.

in the Brazilian ground magnetograms. As these magnetograms constitute the focus of this study, we did not proceed further.

5. Discussion and Conclusions

[29] As summarized in Table 3, we obtained mixed results from our search for signatures in equatorial ground magnetograms corresponding to previously reported TCVs at higher latitudes. In part, this is due to the differing characteristics of the high-latitude events. We were unable to identify equatorial signatures for the events on 5 and 7 November that exhibited relatively weak (~ 100 nT) amplitudes, no H component reversal versus latitude, limited longitudinal extents, and quasiperiodic signatures. By contrast, we were able to identify an impulsive signature in the equatorial ground magnetograms for the event on 6 November that was also quasiperiodic with a limited longitudinal extent, but exhibited larger (~ 200 nT) H component amplitudes that clearly reversed with latitude.

[30] The event on 14 October was isolated and exhibited a strong (150 nT) bipolar signature in the H component that reversed with latitude. As might be expected, there were very clear corresponding signatures in the geosynchronous magnetic field measured by both GOES spacecraft. While there was a corresponding step function decrease in the dayside equatorial ground magnetograms, this decrease was only one of many quasiperiodic changes that occurred during the 2-hour period surrounding the high-latitude event. Because these other variations occurred at both ANC and ALC, but not PRD or GUA, their spatial extent was limited to the dayside equatorial ionosphere. As noted by *Trivedi et al.* [1997] and *Abdu et al.* [1998], the electric fields corresponding to long period geomagnetic pulsations travel equatorward through the ionosphere. Whatever their origin, such variations pose a difficulty in establishing a one-to-

one correspondence between event signatures in high- and low-latitude ground magnetograms.

[31] By contrast, the relationships between the high- and low-latitude signatures on 9 November and 18 December 1993 were simpler to understand. The H component signature seen during the 1350 UT event on 18 December exceeded 200 nT, was bipolar, reversed with latitude over Greenland, and was seen in the MACCS array. A second event at 1425 UT exhibited an equally clear signature in the MACCS array observations, but a poor signature over Greenland. Both events were isolated and corresponded to clear compression/rarefactions at geosynchronous orbit and transient compressions in all the dayside equatorial ground magnetograms.

[32] The high-latitude events on 9 November were equally clear. Isolated impulsive H component signatures with amplitudes greater than 100 nT reversed with latitude over the MACCS array and were also detected by the Greenland ground magnetograms. The GOES spacecraft recorded transient disturbances that were particularly clear for the second set of events near 1730 UT. The same was true for stations within the Brazilian network of ground magnetograms (BLM, SLZ, SMA, and TER).

[33] It might also be supposed that the success rates in identifying equatorial signatures for the various high latitude events listed in Table 3 reflect the fact that the processes generating the events differed. Whereas *Zesta et al.* [1999] attributed their event to the effects of a solar wind pressure pulse, *Ridley et al.* [1998] attributed their events to variations in the reconnection rate at the separatrix. While the signatures of the high-latitude events certainly differ

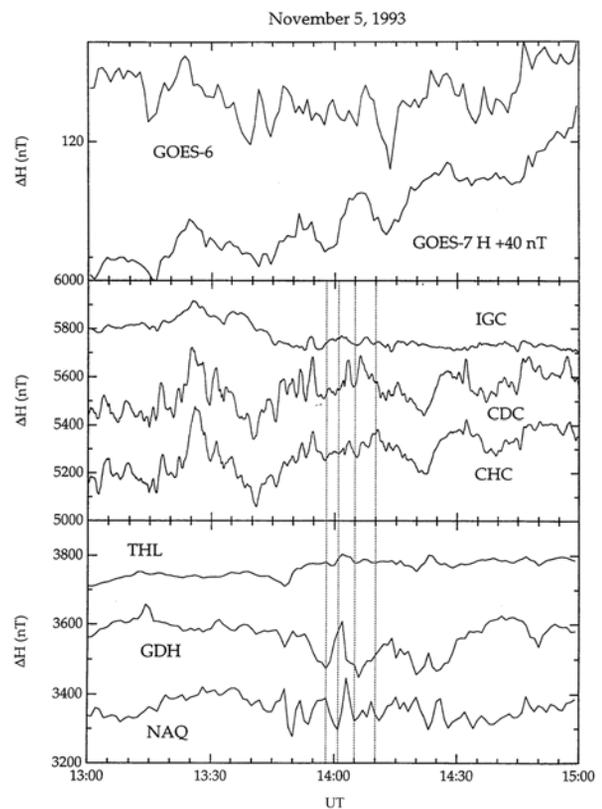


Figure 12. From top to bottom: GOES 6 and 7 geosynchronous magnetic field observations, the X component of MACCS array stations IGC, CDC, and CHC, and the H component of Greenland ground magnetograms at THL, GDH, and NAQ from 1300 to 1500 UT on 5 November 1993. Vertical dashed lines near 1300 UT indicate the times of four TCVs identified in the Greenland observations by *Ridley et al.* [1998]. See Table 1 for station names.

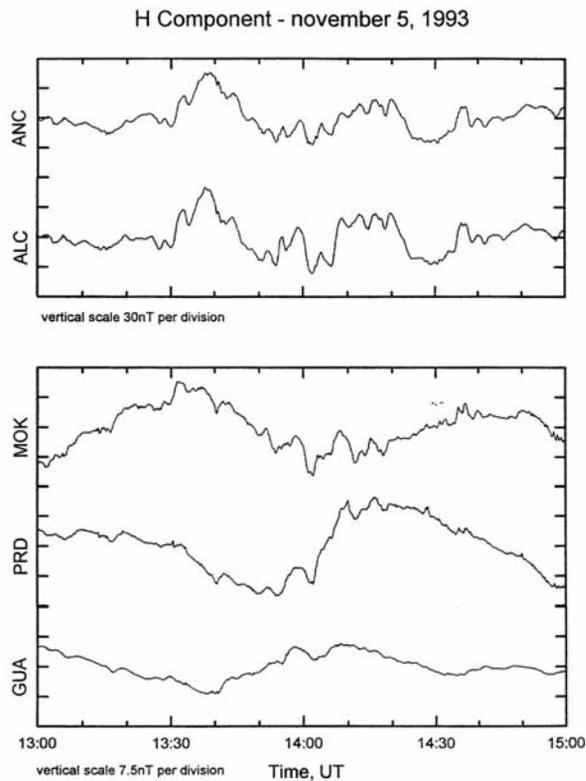


Figure 13. *H* component of ALC, MOK, PRD, and GUA ground magnetograms from 1300 to 1500 UT on 5 November 1993. See Table 1 for station names.

(those of Zesta et al. and Moretto et al. being much clearer), we have also noted that IMP 8 observations suggest that at least one sequence of events reported by Ridley et al. were associated with bow shock motion and, by inference, solar wind pressure variations.

[34] Even when signatures were observed in the equatorial ground magnetograms, they differed greatly from event to event. Considering only the two clearest events, those on 9 November and

Table 2. Survey of Luhr et al. [1998] Event Occurrence Patterns

Date	Time, UT	Eq. Sig.?	SW Pressure	IMF B_z
12 Oct. 1993	0635	dayside	TLC	ND
13 Oct. 1993	0905	no	ND	ND
24 Oct. 1993	0743	dayside	slight TLC	ND
28 Oct. 1993	0748	dayside	ND	>0
8 Nov. 1993	0618	dayside	step decrease	<0
20 Nov. 1993	0721	?	ND	Near 0
23 Nov. 1993	0729	?	ND	ND
26 Nov. 1993	0716	dayside	ND	>0
6 Dec. 1993	0619	dayside	ND	ND
7 Dec. 1993	0636	dayside	ND	ND
21 Dec. 1993	0612	?	ND	ND
21 Dec. 1993	0727	dayside	ND	ND
22 Dec. 1993	0655	dayside	?	>0
16 Jan. 1994	0509	dayside	?	Mixed
18 Jan. 1994	0630	dayside	ND	ND
18 Jan. 1994	0732	dayside	ND	ND
2 Feb. 1994	0804	?	ND	ND
21 Feb. 1994	0726	dayside	ND	ND
14 March 1994	0637	dayside	?	<0

TLC, compression of the magnetotail lobe magnetic field; ND, no data. Question mark indicates insufficient time resolution to identify a corresponding feature.

Table 3. Description of the Equatorial Signatures of the Traveling Convection Vortices Events

Date	Time, UT	Equatorial Signature	SW Pressure	IMF, B_z
9 November 1993	1715	clear	yes	>0
18 December 1993	1350	clear	no	no
14 October 1993	1300	poor	no data	variable
6 November 1993	1439–1446	poor	no	disturbed sheath
7 November 1993	1350–1405	poor	probable bs xings	~0
5 November 1993	1358–1440	poor	no	no

18 October, we note that a sequence of several high-latitude events from 1720 to 1735 UT on 9 November corresponded to a sequence of several compressions/rarefactions in the GOES and ground magnetograms. The bipolar *H* signature seen at high latitudes at 1355 UT on 18 December indicates that a pair of TCVs corresponded to a bipolar compression/rarefaction at geosynchronous orbit, but a single strong compressional peak at the equatorial ground stations. The bipolar signature seen at 1300 UT on the same day in the high-latitude ground magnetograms also corresponded to a bipolar rarefaction/compression at the GOES spacecraft, but a step function decrease in the equatorial ground magnetograms.

[35] Since the signatures seen by the high- and low-latitude ground magnetometers differ in form, the equatorial signatures cannot be simply result from remote observations of the field aligned currents that generate the high-latitude signatures. Furthermore, signatures always reached greater amplitudes at stations under the dayside equatorial ionosphere than at midlatitude stations or on the nightside. This is to be expected, for the equatorial region where the strength of the equatorial electrojet and ionospheric densities reach greatest amplitudes [Trivedi and Rastogi, 1968; Rastogi, 1994]. Note that the aforementioned papers treat SI, which are seen globally, rather than TCV's which are generally localized.

[36] To summarize, we have inspected geosynchronous and equatorial ground magnetograms at the times of previously reported high-latitude transient events. When the high-latitude transient events exhibited clear, strong, isolated signatures corresponding to TCVs, we generally detected isolated bipolar compressional signatures at geosynchronous orbit and transient impulses in equatorial ground magnetograms. We had difficulty identifying corresponding equatorial signatures for high-latitude events that were quasiperiodic, weaker, spatially limited, or did not exhibit clear TCV signatures. On some occasions, equatorial signatures may be obscured by other phenomena, for example, the quasi-periodic variations seen throughout the interval shown on 14 October. Finally, efforts to identify equatorial signatures should focus on dayside stations, where amplitudes reach peak values.

[37] **Acknowledgments.** We thank H. J. Singer, NOAA, and NASA/GSFC SPDF for supplying the GOES geosynchronous magnetic field observations, The Danish Meteorological Institute for supplying the Greenland ground magnetograms, and M. Engebretson for supplying the MACCS ground magnetograms. Research at JHU/APL was supported by NSF grant ATM-9803800 with a supplement for joint work with Brazilian scientists. The Research in Brazil was supported by the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE/MCT and a grant from FAPESP 1998/15197-2.

[38] Janet G. Luhmann thanks Alexander Yahnin and another referee for their assistance in evaluating this paper.

References

Abdu, M. A., J. H. Sastri, H. Lühr, H. Tachihara, N. B. Trivedi, and J. H. A. Sobral, DP2 electric field fluctuations in the dusk-time dip equatorial ionosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1511–1514, 1998.
 Baker, W. G., and D. F. Martyn, Conductivity of the ionosphere, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 264, 281–304, 1953.
 Hirono, M., On the influence of the Hall current to the electrical conductivity of the ionosphere, I, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 2, 1–8, 1950a.

- Hirono, M., On the influence of the hall current to the electrical conductivity of the ionosphere, II, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 2, 113–120, 1950b.
- Hirono, M., A theory of diurnal magnetic variations in equatorial regions and conductivity of the ionosphere E region, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 4, 7–21, 1952.
- Konik, R. M., L. J. Lanzerotti, A. Wolfe, C. G. MacLennan, and D. Venkatesan, Cusp latitude magnetic impulsive events, 2, Interplanetary magnetic field and solar wind conditions, *J. Geophys. Res.*, 99, 14,831–14,853, 1994.
- Konik, R. M., L. J. Lanzerotti, C. G. MacLennan, A. Wolfe, and D. Venkatesan, Cusp latitude magnetic impulse events, 3, Associated low-latitude signatures, *J. Geophys. Res.*, 100, 7731–7743, 1995.
- Korotova, G. I., and D. G. Sibeck, A case study of transient event motion in the magnetosphere and in the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 100, 35–46, 1995.
- Korotova, G. I., D. G. Sibeck, T. J. Rosenberg, C. T. Russell, and E. Friis Christensen, High latitude ionospheric transient events in a global context, *J. Geophys. Res.*, 102, 17,499–17,508, 1997.
- Lanzerotti, L. J., A. Wolfe, N. B. Trivedi, C. G. MacLennan, and L. V. Medford, Magnetic impulse events at high latitudes: Magnetopause and boundary layer plasma processes, *J. Geophys. Res.*, 95, 97–107, 1990.
- Lühr, H., M. Rother, T. Iyemori, T. L. Hansen, and R. P. Lepping, Superposed epoch analysis applied to large amplitude traveling convection vortices, *Ann. Geophys.*, 16, 743–753, 1998.
- McHenry, M. A., C. R. Clauer, and E. Friis-Christensen, Relationship of solar wind parameters to continuous dayside high latitude traveling ionospheric convection vortices, *J. Geophys. Res.*, 95, 15,007–15,022, 1990.
- Moretto, T., E. Friis-Christensen, H. Lühr, and E. Zesta, Global perspective of ionospheric traveling convection vortices: Case studies of two Geospace Environmental Modeling events, *J. Geophys. Res.*, 102, 11,597–11,610, 1997.
- Rastogi, R. G., Ionospheric current system associated with the equatorial counter-electrojet, *J. Geophys. Res.*, 99, 13,209–13,217, 1994.
- Ridley, A. J., T. Moretto, P. Ernström, and C. R. Clauer, Global analysis of three traveling vortex events during the November 1993 storm using the assimilative mapping of ionospheric electrodynamics technique, *J. Geophys. Res.*, 103, 26,349–26,358, 1998.
- Rijnbeek, R. P., S. W. H. Cowley, D. J. Southwood, and C. T. Russell, A survey of dayside flux transfer events observed by ISEE-1 and 2 magnetometers, *J. Geophys. Res.*, 89, 786, 1984.
- Russell, C. T., and R. C. Elphic, Initial ISEE magnetometer results: Magnetopause observations, *Space Sci. Rev.*, 22, 681–715, 1978.
- Saka, O., M. Shinohara, H. Tachihara, H. Akaki, H. Inouye, T. Uozumi, and T. Kitamura, A time source for a data acquisition system designed for phase propagation study of magnetic pulsations, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 48, 1321–1326, 1996.
- Sato, Y., Morphological study on Sudden Commencements of magnetic storms and Sudden Impulses (IV), *Mem. Kakioka Mag. Observ.*, 12(1), 55–76, 1964.
- Sibeck, D. G., et al., The magnetospheric response to 8 min. period strong amplitude upstream pressure variations, *J. Geophys. Res.*, 94, 2505–2519, 1989.
- Sibeck, D. G., Transient magnetic field signatures at high latitudes, *J. Geophys. Res.*, 98, 243–256, 1993.
- Sibeck, D. G., and G. I. Korotova, Occurrence patterns for transient magnetic field signatures at high latitudes, *J. Geophys. Res.*, 101, 13,413–13,428, 1996.
- Southwood, D. J., Magnetopause Kelvin Helmholtz instability, in *Magnetospheric Boundary Layers*, edited by B. Battrock, *Eur. Space Agency Spec. Publ.*, SP-148, 357–364, 1979.
- Southwood, D. J., and M. G. Kivelson, The magnetohydrodynamic response of the magnetospheric cavity to changes in solar wind pressure, *J. Geophys. Res.*, 95, 2301–2310, 1990.
- Tachihara, H., and M. Shinohara, Magnetometer system for studies of the equatorial electrojet and micropulsations in equatorial regions, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 48, 1311–1320, 1996.
- Tachihara, H., M. Shinohara, M. Simoizumi, O. Saka, and T. Kitamura, Magnetometer system for studies of the equatorial electrojet and micropulsations in the equatorial regions, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 48, 1311–1319, 1996.
- Trivedi, N. B., and R. G. Rastogi, Studies of sudden changes in H and Z at equatorial stations in the Indian Zone, *Ann. Geophys.*, 24, 1037–1046, 1968.
- Trivedi, N. B., B. R. Arora, A. L. Padilha, J. M. da Costa, S. L. G. Dutra, F. H. Chamalaun, and A. Rigoti, Global Pc5 geomagnetic pulsations of March 24, 1991 as observed along the American sector, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1683–1686, 1997.
- Yahnin, A., and T. Moretto, Travelling convection vortices in the ionosphere map to the central plasma sheet, *Ann. Geophys.*, 14, 1025–1031, 1996.
- Zesta, E., W. J. Hughes, M. J. Engebretson, T. J. Hughes, A. J. Lazarus, and K. I. Paularena, The November 9, 1993, traveling convection vortex event: A case study, *J. Geophys. Res.*, 104, 28,041–28,058, 1999.

S. L. G. Dutra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Sao Jose dos Campos, 515, SP, Brazil.

T. Kitamura and K. Yumoto, Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

J. C. Santos and N. B. Trivedi, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais-CRSPE/INPE, Santa Maria, RS 97105-900, Brazil. (trivedi@dge.inpe.br)

M. Shinohara, Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Toyokawa, 442, Japan.

D. G. Sibeck, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, MD 20723-6099, USA.

E. Zesta, Department of Atmospheric Sciences, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA.