



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12987-PRE/8269

**PULSAÇÕES GEOMAGNÉICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 – 10
MHZ) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO
ATLÂNTICO SUL**

Elias Fernando Berra*

*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo
Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 – 10 MHZ) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

**RELATÓRIO FINAL
ATIVIDADES DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROCESSO CNPq N^o 118992 / 2004 - 0

Elias Fernando Berra (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)

E-mail: efb@lacesm.ufsm.br

**DR. Severino Luiz Guimarães Dutra (Orientador, DGE/CEA/INPE -
MCT)**

E-mail: dutra@dge.inpe.br

Santa Maria, Junho de 2005



PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 – 10 MHZ) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

**RELATÓRIO FINAL
ATIVIDADES DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROCESSO CNPq Nº 118992 / 2004 - 0

Elias Fernando Berra (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail: efb@lacesm.ufsm.br

**DR. Severino Luiz Guimarães Dutra (Orientador, DGE/CEA/INPE -
MCT)**
E-mail: dutra@dge.inpe.br

Santa Maria, Junho de 2005



Dados de Identificação

Bolsista:

Elias Fernando Berra
Acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra
Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

PROCESSO CNPq Nº 118992 / 2004 - 0

Título do Projeto:

PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 – 10 MHZ) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.

Local de execução do projeto:

- Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas - CRSPE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.
- Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:

- Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE-MCT
- Dr. Nalin Babulal Trivedi – DGE/INPE-MCT
- Acadêmico Eduardo Andrighetto – Curso de Engenharia Elétrica - UFSM
- Acadêmico Everton Frigo – Curso de Física - UFSM
- Acadêmico Cássio Espindola Antunes – Curso de Engenharia Elétrica - UFSM

Participantes da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas diretamente envolvidos no Projeto:

- Dr. Kiyohumi Yumoto – Kyushu University, Japão.
- Dr. Kazuo Makita – National Institute of Polar Research, Japão.

Agradecimentos

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, pela oportunidade em poder interagir com este Centro – CRSPE/INPE/MCT, desde as primeiras semanas de início acadêmico. Ao meu orientador Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra, à Dra. Damaris K. Pinheiro e ao Dr. Nalin B. Trivedi pelo significativo apoio teórico, científico e orientação pessoal. Ao meu colega de laboratório, Everton Frigo, pelo acompanhamento nas primeiras atividades referentes ao Projeto da bolsa e aos demais colegas pela atenção, principalmente nos primeiros meses de familiarização com o CRSPE/INPE - MCT. Ainda, aos funcionários do CRSPE/INPE - MCT que de várias maneiras contribuíram para oferecer ótimas condições de trabalho.

RESUMO

O campo magnético da Terra varia em escalas temporais de longo e curto períodos, desde segundos até milhões de anos. As variações menores do que cinco anos são dominadas por fontes de origem externa, decorrentes da interação Sol-Terra. As maiores são associadas aos processos dinâmicos no interior da Terra e fornecem informações importantes para os estudos da dinâmica do núcleo líquido do Planeta. O objetivo desse projeto foi o estudo das características das pulsações geomagnéticas de períodos entre 100 a 1000 segundos e seu relacionamento com a precipitação de partículas energéticas carregadas eletricamente na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, AMAS. As pulsações resultam de interações complexas entre as partículas carregadas eletricamente do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. Essas variações de curta escala foram detectadas por um magnetômetro do tipo *fluxgate* (núcleo saturado) instalado na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, SMS (29°,43 S, 53°,82 W), RS, e foram analisadas e comparadas com as pulsações observadas em estações afastadas e fora da anomalia, com ênfase na Estação Geomagnética de Vassouras, VSS (22.40°S,43.65W), RJ, do Observatório Nacional – ON/MCT. A partir da tempestade geomagnética ocorrida no período de 7 a 12 de novembro de 2004, pode-se detectar pulsações de períodos longos conhecidos na literatura como Pc5–6/Pi3. Utilizando-se uma filtragem digital – um filtro tipo passa-banda com a função de analisar somente as pulsações numa faixa de 180 a 900 segundos – foi possível detectar picos de variação das pulsações Pc5 e Pc6, a potência espectral associada e, observar a magnitude da diferença na variação da componente *H* comparando-se resultados da estação de coleta de dados OES/SMS, localizada próximo do centro da AMAS, com outras estações fora dessa região.

ÍNDICE

1.0	Introdução	6
2.0	Conceitos Físicos	7
2.1	Variações do Campo Geomagnético.....	9
2.1.1	Variação Secular	9
2.1.2	Variações de Curta Escala Temporais – Fontes Externas.....	9
2.1.3	Pólos (Geo)Magnéticos e sua Variação com o Tempo.....	10
2.2	Cinturão de Van Allen	12
2.3	Atividade geomagnética.....	13
2.3.1	Interação do vento solar com o campo geomagnético	13
2.3.2	Variações na Atividade Solar.....	14
2.4	Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.....	16
2.5	Pulsações Geomagnéticas	19
2.5.1	Pulsações Contínuas Pc1 – T = 0,2–5 s	20
2.5.2	Pulsações Contínuas Pc2-3 – T=5–10, 10–45 s.....	20
2.5.3	Pulsações Contínuas Pc4 – T = 45–150 s	21
2.5.4	Pulsações Contínuas Pc5 – T = 150–600 s	21
2.5.5	Pulsações Irregulares	22
2.5.6	Outras Formas de Pulsações Irregulares	23
3.0	Aquisição e Análise dos Dados.....	23
3.1	Magnetômetro <i>Fluxgate</i> (Núcleo Saturado)	23
3.2	Magnetômetro de Precessão de Prótons	25
3.3	Aquisição dos Dados.....	26
3.4	Análise dos Dados - Filtragem Digital.....	27
4.0	Tratamento de Dados e Resultados.....	29
4.2	Os Dados e a Variação Diária.....	30
4.3	Filtragem dos Dados	33
4.4	Eventos Geomagnéticos.....	33
5.0	Atividades Futuras	54
6.0	Conclusão.....	55
7.0	Bibliografia	57
8.0	- Anexo 1.....	58

1.0 Introdução

Dentro do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT as atividades do Projeto foram desenvolvidas segundo a definição e planejamento no âmbito estabelecido com o título **“PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE PERÍODOS LONGOS (1.0 – 10 MILIHERTZ) NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL”**. O objetivo desse Projeto foi o estudo das características das pulsações geomagnéticas de períodos longos, entre 100 a 1000 segundos, e seu relacionamento com a precipitação de partículas energéticas carregadas eletricamente nessa região.

O plano de trabalho do bolsista consistiu em participar na operação da Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – SMS (29°,43 S, 53°,82 W), RS, detectar as pulsações geomagnéticas e comparar as características dessas pulsações com as pulsações observadas nas estações afastadas e fora da Anomalia. Paralelamente foi realizada uma revisão teórica com literatura específica no campo do Geomagnetismo e, ainda, o aluno teve a oportunidade de participar em três trabalhos de iniciação científica, sendo um deles como primeiro autor.

O campo magnético da Terra é assimétrico. Sua mais baixa intensidade total B (ou F), numa escala global, se encontra numa região situada principalmente no sul do equador, que compreende partes do oceano Atlântico e do território brasileiro, e vai desde o estado de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul. Como consequência direta desse fenômeno – denominado *Anomalia Magnética Brasileira* (AMB) ou *Anomalia Magnética do Atlântico Sul* (AMAS) – o cinturão de radiação que circunda o Planeta, conhecido como cinturão de Van Allen, encontra-se ali rebaixado, recebendo a atmosfera local um maior bombardeamento de partículas oriundas do espaço exterior. Aí há uma precipitação de raios cósmicos e de partículas do vento solar ocasionando perturbações na ionosfera e no campo geomagnético, além de rádio-interferência. Esta particularidade, descoberta no início da era dos satélites nos anos 50, faz da região um singular laboratório natural de pesquisa sobre Física de Plasmas e da Radiação, Geofísica Espacial, Geomagnetismo e Aeronomia. Destacam-se nesse contexto os estudos dos

processos relacionados com a origem das partículas incidentes, as variações em sua intensidade e os efeitos que produzem na atmosfera local.

Anomalias como a AMAS são resultantes, fundamentalmente, de uma não-coincidência entre os centros magnéticos e geofísicos de um planeta. O campo geomagnético tem várias contribuições e pode ser dividido em um campo principal, gerado no interior da Terra e que representa cerca de 96% do seu total, e mais três outras contribuições, ligadas à crosta terrestre, às correntes elétricas externas e às correntes induzidas no solo.

O campo principal é o responsável pela variação secular das componentes geomagnéticas do Planeta. As variações diárias das componentes são causadas quase que totalmente pela interação Sol-Terra. O Sol, estrela fornecedora de energia ao nosso planeta, emite permanentemente um plasma, o vento solar, e apresenta frequentemente erupções solares causadas pela sua própria dinâmica. Essas erupções liberam plasma, espalhando-se pelo espaço cósmico e compondo-se com o vento solar, que viaja a velocidades supersônicas. Ao deparar-se com o campo geomagnético terrestre o vento solar achata esse campo na parte diretamente exposta ao sol e expande a parte anti-solar. O quanto o vento solar deforma o campo depende da quantidade de plasma ejetada pelo Sol. Assim, quando há grandes erupções solares ocorrem as tempestades magnéticas que são detectadas primeiramente por plataformas geoestacionárias e depois pelos magnetômetros espalhados em diversos pontos do globo. Em São Martinho da Serra há um magnetômetro do tipo *fluxagate* coletando dados a cada dois segundos, possibilitando grande precisão nas conversões e análises de dados.

2.0 Conceitos Físicos

A ciência que estuda a forma e o comportamento do campo magnético da Terra e sua relação com outros fenômenos geofísicos é chamada de *Geomagnetismo*. As observações do campo geomagnético são realizadas com instrumentos chamados *magnetômetros*. O mais comum é o de núcleo saturado (*fluxgate*). A origem do campo magnético se dá, com ênfase na hipótese atualmente mais aceita, que é o *dínamo*

geomagnético ou *geodínamo*. O geodínamo é responsável pelo *campo principal geomagnético* e representa a *origem interna* desse campo. A evolução do campo geomagnético apresenta características temporais diversas, desde uma variação de longa escala chamada *variação secular*, que é ligada a origem interna, até variações de curto período relacionadas à *variação diurna* e às *pulsações geomagnéticas*, que são ligadas às *origens externa e induzida*.

O campo principal do geodínamo origina-se de correntes elétricas que fluem na parte externa, líquida, do núcleo da Terra e que estão a mais de 2.900 km de profundidade (Figura 1). O núcleo líquido, que é um fluido altamente viscoso, gira lentamente em relação ao manto sólido que o envolve, atuando como um gerador de correntes elétricas que giram no seu interior, tornando-se um eletromagneto. Esta rotação faz com que as correntes tenham uma característica predominantemente dipolar, o que origina um *momento de dipolo magnético* que é responsável pela quase totalidade do campo que é medido em um ponto da superfície terrestre ou em plataformas espaciais localizadas no geoespaço.

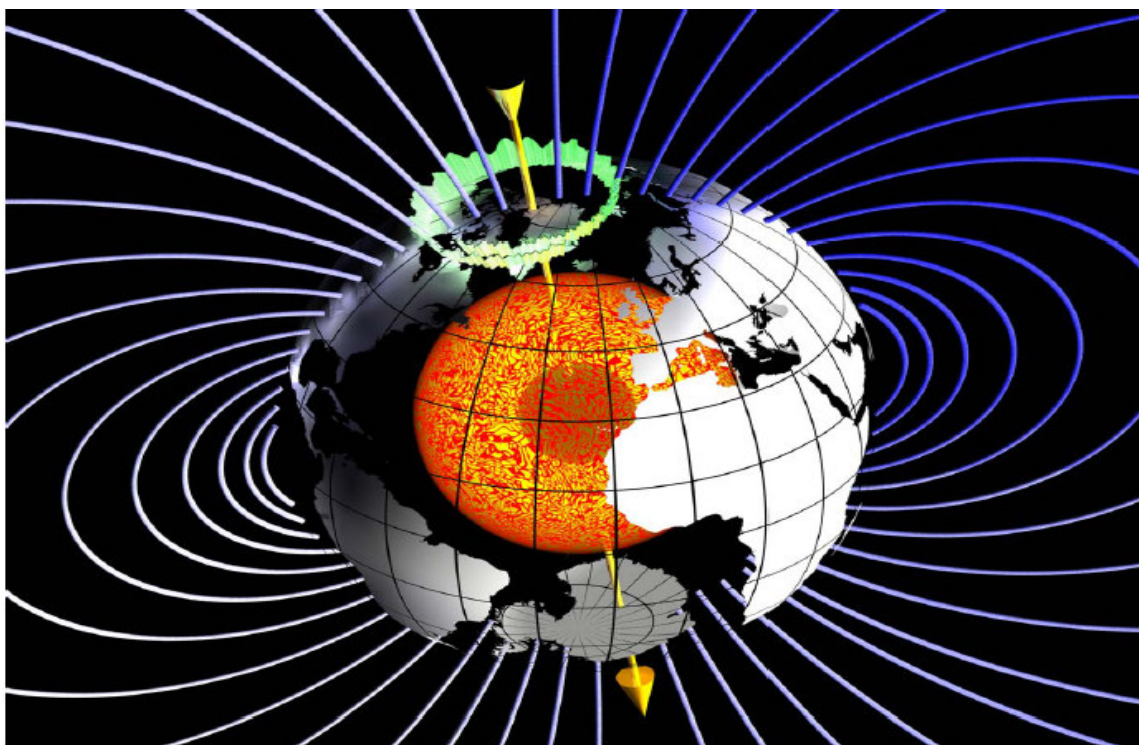


Figura 1 – O campo magnético principal gerado pela ação do dínamo no núcleo exterior quente e líquido. Acima da superfície da Terra, as linhas quase dipolares do campo são orientadas para fora no hemisfério do sul e para dentro do norte. Fonte: www.geomag.bgs.ac.uk/documents/wmm_2005.pdf.

2.1 Variações do Campo Geomagnético

O campo magnético da Terra varia em escalas temporais desde segundos até milhões de anos. As variações menores do que cinco anos são dominadas por fontes de origem externa, decorrentes da interação Sol-Terra. Variações de escala bem maior, secular, fornecem informações importantes para os estudos da dinâmica do núcleo líquido da Terra.

2.1.1 Variação Secular

A variação secular é uma lenta e continua mudança no campo principal observada em pontos da superfície terrestre, com uma escala de tempo medida em curtos intervalos (anos), quando comparado com o tempo característico dos processos geológicos na Terra. Essa variação tem, primariamente, origem interna.

2.1.2 Variações de Curta Escala Temporais – Fontes Externas

O campo geomagnético apresenta variações decorrentes diretamente da interação Sol-Terra. São variações de origem externa como, por exemplo, o sistema Sq (*solar quiet*). O Sq é um sistema de correntes existente na *região ionosférica*, com dois vórtices localizados nas proximidades das latitudes 30°S e 30°N, característico de um tempo geomagneticamente calmo (sem atividade geomagnética).

O Sq é responsável pela *variação diurna*, que possui um período de 24 horas e é observada nas medidas do campo geomagnético. A maior variação ocorre no instante em torno das 15:00 UT, que corresponde a 12:00 local (LT). A Figura 2 traz um exemplo da variação diurna associada a função corrente. Notar que em períodos onde o sistema de correntes ionosféricas não corresponde ao Sq, devido em geral à uma eventual atividade geomagnética, usa-se considerar mais apropriadamente a *variação diária*.

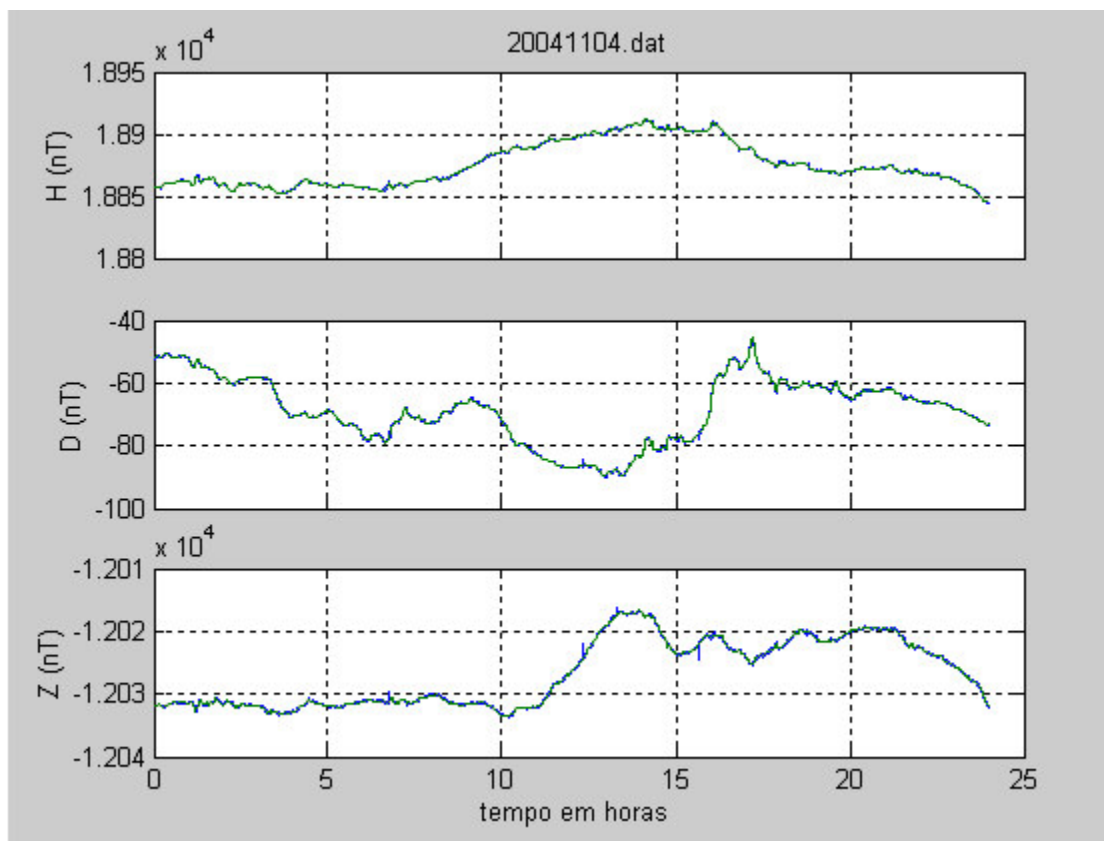


Figura 2 – Variação diária das três componentes do campo magnético medidas para o dia 4 de novembro de 2004, na Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra - SMS - RS.

Todas as mudanças espaço-temporal existentes no plasma solar são, em maior ou menor escala, observadas no campo geomagnético medido de origem externa. Também é apresentado por este campo o efeito decorrente da interação Terra-Lua, que origina a *variação geomagnética lunar*.

2.1.3 Pólos (Geo)Magnéticos e sua Variação com o Tempo

Os pólos Norte e Sul geográficos, definidos pelo eixo da rotação que a Terra executa em torno de si mesma, não estão localizados na mesma posição que os pólos magnéticos, fazendo com que o eixo do dipolo magnético terrestre não coincida com o eixo de rotação (Figura 3) e apresenta uma inclinação da ordem de $10,5^\circ$. Considerando-se o dipolo centrado inclinado, que define um *sistema de coordenadas geomagnéticas*, os

pólos geomagnéticos são os pontos antipodais onde o eixo do dipolo corta a superfície da Terra. O *eixo geomagnético* é dado pela reta que passa pelos pólos geomagnéticos. Em termos do campo observado, os *pólos magnéticos* são os pontos da superfície da Terra onde a média temporal do campo geomagnético é vertical. Os pólos geográficos são fixos na Terra, enquanto os (geo)magnéticos mudam de posição com o tempo.

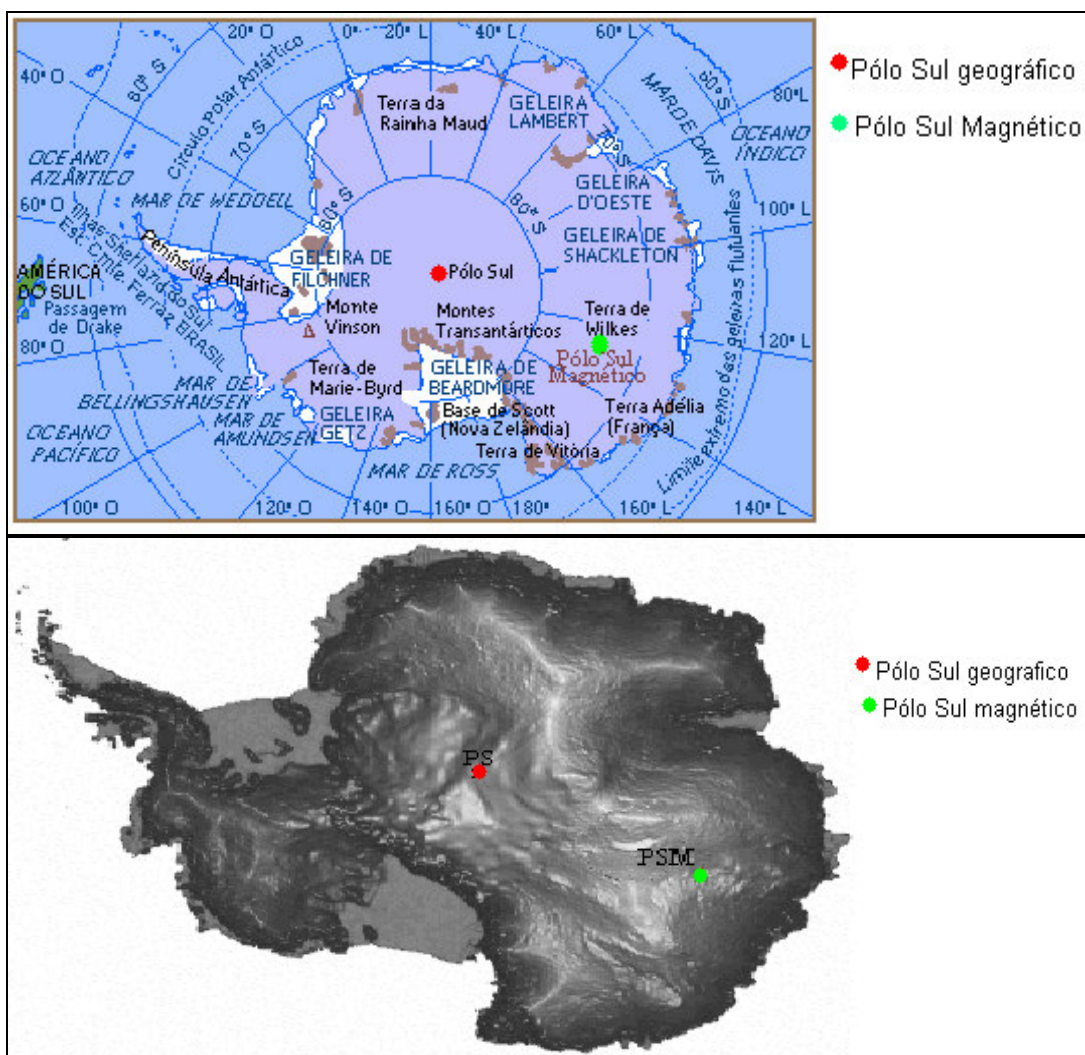


Figura 3 – Mapa e foto do continente antártico, a Antártica, mostrando a posição do Pólo Sul Geográfico, e a posição do Pólo Sul Magnético em 1990. Os pólos magnéticos mudam de posição com o tempo. Fonte: astro.if.ufrgs.br/polo.

2.2 Cinturão de Van Allen

Na vizinhança da Terra se origina uma região chamada *magnetosfera*, resultante da interação do vento solar com o campo geomagnético, como visto adiante. Ela está situada acima de 2000 quilômetros de altitude, aproximadamente, e nela o movimento de partículas carregadas eletricamente é governado fundamentalmente pelo campo magnético da Terra (Figura 4). Em altitudes inferiores, onde a densidade da atmosfera é muito maior, o movimento dessas partículas é controlado, sobretudo por colisões.

A região da magnetosfera situada no lado diurno do planeta estende-se além da superfície da Terra até aproximadamente 64.000 km, ou cerca de 10 raios terrestres (R_T). Do outro lado (o lado noturno), a magnetosfera se estende por centenas de raios terrestres. A forma alongada resulta da influência do *vento solar* – um plasma magnetizado com altíssima velocidade, consistindo principalmente de prótons e elétrons emitidos continuamente pelo Sol, que comprime grandemente a magnetosfera no lado mais próximo do Sol e expande no lado mais afastado. A região de fronteira mais externa que delimita a magnetosfera é denominada de *magnetopausa*. Internamente, na base da magnetosfera, encontra-se a *ionosfera*.

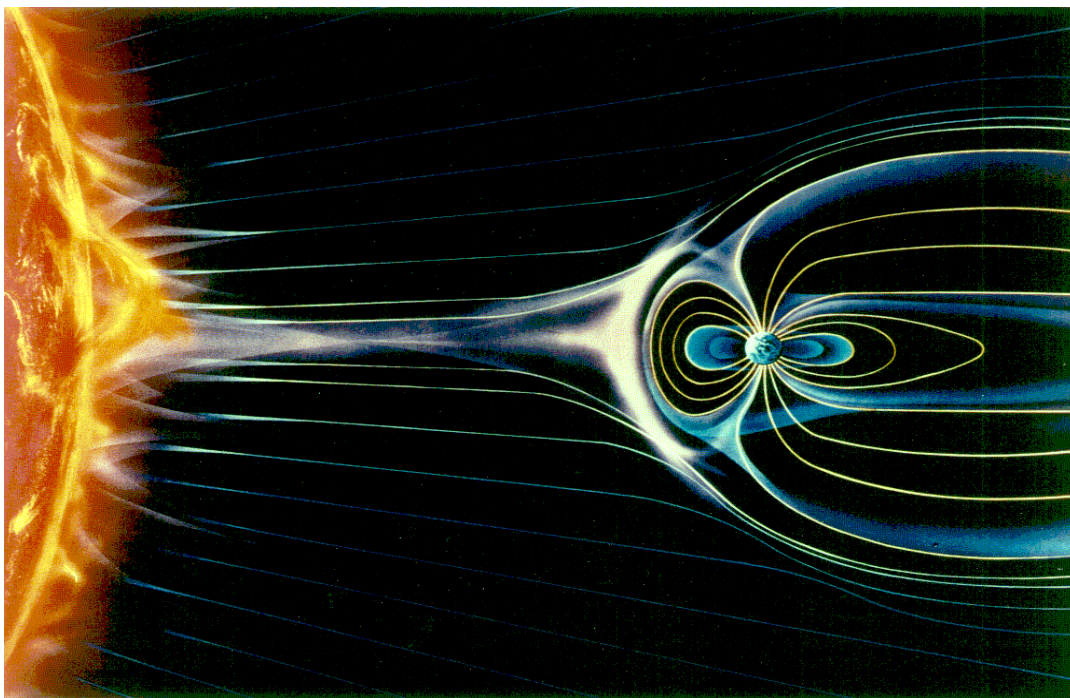


Figura 4 – Interação do vento solar com o campo geomagnético terrestre.

Fonte: http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/sunearth_1g.gif.

Em 1958 descobriram-se imensas regiões de radiação dentro da magnetosfera. Essas regiões, conhecidas como *cinturão de radiação de Van Allen* (Figura 5) devido ao seu descobridor, contêm prótons e elétrons energéticos presos pelo campo magnético da Terra, que executam movimentos ao redor do Planeta de forma a se manterem aprisionados por longos períodos. Quando esses cinturões de radiação foram descobertos, os cientistas ficaram apreensivos quanto às sérias ameaças que poderiam oferecer às viagens espaciais. Eles contêm prótons e elétrons de energia menores do que 100 keV e maiores do que 400 MeV, aproximadamente, que penetram facilmente numa nave espacial e podem causar – numa exposição prolongada – danos aos instrumentos e perigo para os astronautas. Tanto as missões tripuladas como as não-tripuladas evitam essa região ou se protegem apropriadamente. Para elétrons com energias mais altas, o cinturão de Van Allen é composto de duas faixas, os cinturões *interno* e *externo*, das quais a interior se situa acima de 7.700 e abaixo de 14.000 km ($\sim 1,2$ a $2,2R_T$) e a exterior fica entre 25.000 e 38.000 km (~ 4 a $6R_T$) do centro da Terra. Prótons com energias altas ficam entre 7.700 e 24.000 km ($\sim 1,2$ a $3,7R_T$) distantes do centro do Planeta.

2.3 Atividade geomagnética

Freqüente, mas não periodicamente, o campo magnético da Terra apresenta grandes variações na sua *intensidade* e, também, no seu *conteúdo espectral*. As perturbações intensas caracterizam as *tempestades* e *subtempestades geomagnéticas*. Para caracterizar a atividade geomagnética, utilizam-se os *índices geomagnéticos*, sendo o índice *Kp* (ou, também, o ΣKp diário) um dos mais empregados. Outros índices, como o *Dst*, *ap* (ou, também, $Ap = \Sigma ap/8$), *aa* e *AE*, também são definidos.

2.3.1 Interação do vento solar com o campo geomagnético

Todo campo magnético deflete qualquer partícula carregada eletricamente quando ela está em movimento nesse campo. Isto ocorre, também, naturalmente, no campo geomagnético. Próximo do nosso planeta está uma estrela em plena atividade estelar, que é o Sol. Sabe-se que a *atividade geomagnética* é controlada em grande parte pelo Sol e

que depende da fase e do *ciclo solar*. As partículas do vento solar interagem com o campo geomagnético e na região da magnetosfera a ação desse campo é forte o suficiente para manter essas partículas sob seu controle. Fora dela, além da magnetopausa, o vento solar segue sua dinâmica própria. Lembrar que o controle do campo geomagnético nas partículas dentro da magnetosfera origina as regiões dos cinturões de radiação, onde as partículas seguem uma dinâmica característica da topologia geomagnética.

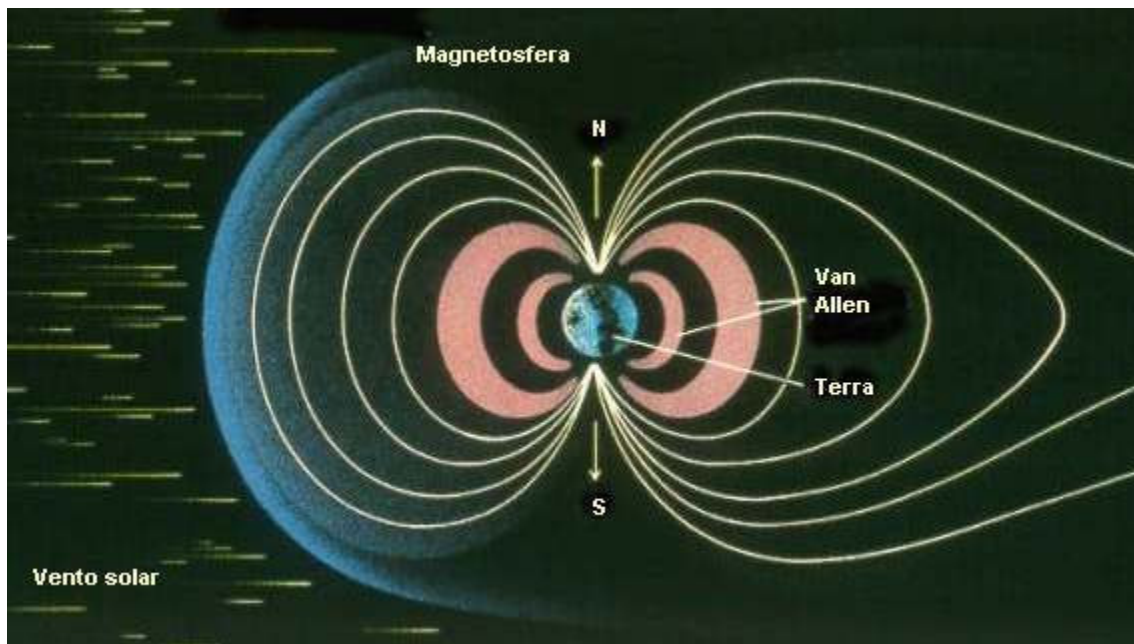


Figura 5 – Cinturões de radiação de Van Allen do campo magnético terrestre.

Fonte: <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica5/leituras/vanallen>.

2.3.2 Variações na Atividade Solar

Ao interagir o vento solar com o campo geomagnético, um desequilíbrio momentâneo causado pelas variações bruscas nos parâmetros do plasma solar origina uma *injeção de energia* no campo geomagnético, que é transferida para as partículas que estão na magnetosfera sob seu controle. A magnetopausa não é uma superfície estática,

ela se expande ou se contrai devido as variações na atividade solar. Uma vez penetrada a magnetopausa, o controle exercido pelo campo geomagnético redistribui as partículas em diversas regiões da magnetosfera, provocando grande variações nos *sistemas de correntes* lá existentes. Essas mudanças provocam grandes variações no campo geomagnético observado e caracterizam os diversos *regimes de atividade geomagnética*.

Tempestades magnéticas (Figura 6) são perturbações intensas e de longa duração, observada principalmente na componente horizontal do campo geomagnético (*H*) em baixas e médias latitudes, podendo chegar a vários dias. Normalmente uma tempestade é inicialmente caracterizada por um *começo súbito* na magnitude do campo (*storm sudden commencement, ssc*), seguida da *fase inicial* que pode durar até um dia. Ambas as características são causadas por uma brusca mudança das correntes da magnetopausa. Logo após ocorre a *fase principal*, com duração da ordem de um dia e, por fim, a *fase de recuperação*, que pode durar vários dias.

Subtempestades são perturbações que ocorrem basicamente em altas latitudes devido a intensificação do *eletrojato auroral* e das *correntes alinhadas* ao campo geomagnético. As subtempestades têm duração menor do que as tempestades magnéticas.

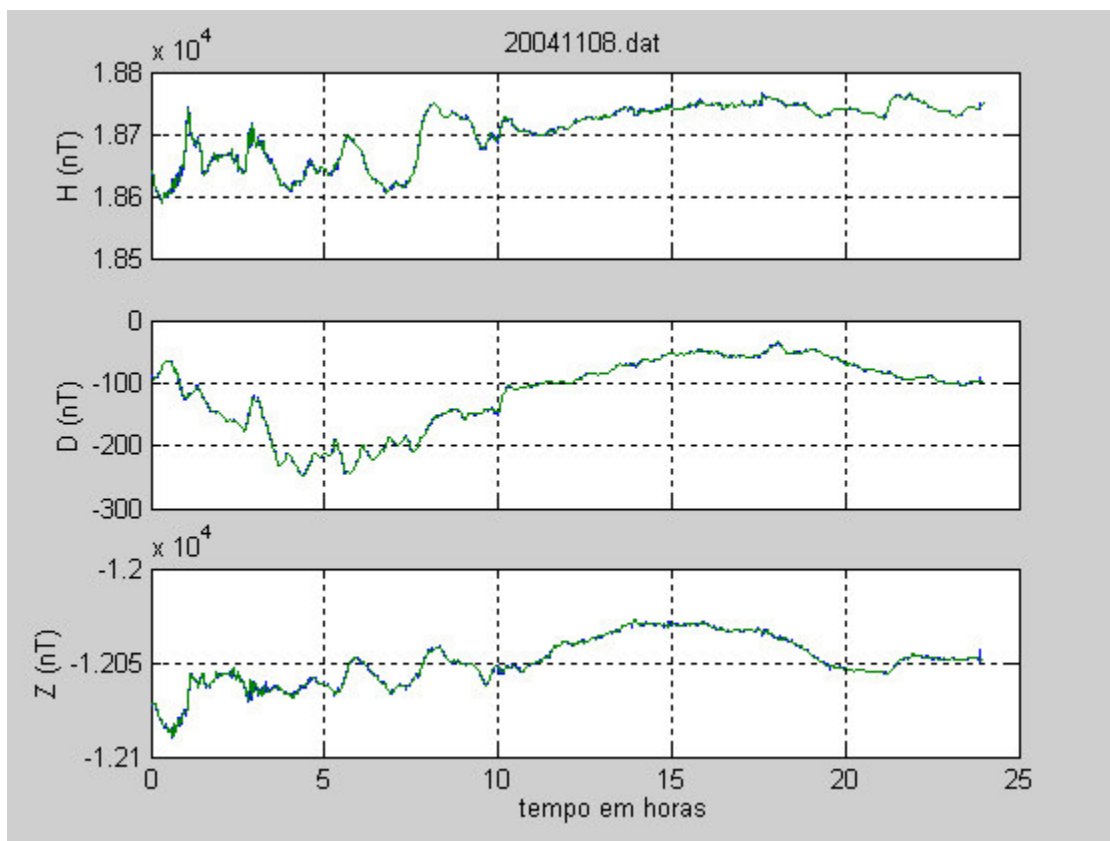


Figura 6 – Variação das componentes geomagnéticas terrestres durante a tempestade magnética do dia 08/11/2004 com dados coletados por um magnetômetro *fluxagate* no Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS, (escala temporal em UT).

2.4 Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS

O campo geomagnético apresenta quatro pontos extremos na sua intensidade quando medido na superfície terrestre (e próximo dela), três deles de máximo e um deles de mínimo. Esse ponto extremo de mínimo caracteriza a região da *Anomalia Magnética do Atlântico Sul*, AMAS, (*South Atlantic Magnetic Anomaly*, SAMA) – também chamada *Anomalia Magnética Brasileira*, AMB – e diversos processos geofísicos de interesse (Figura 7). Essa menor intensidade do campo magnético está associada a irregularidades na distribuição das correntes que fluem no núcleo externo do planeta.

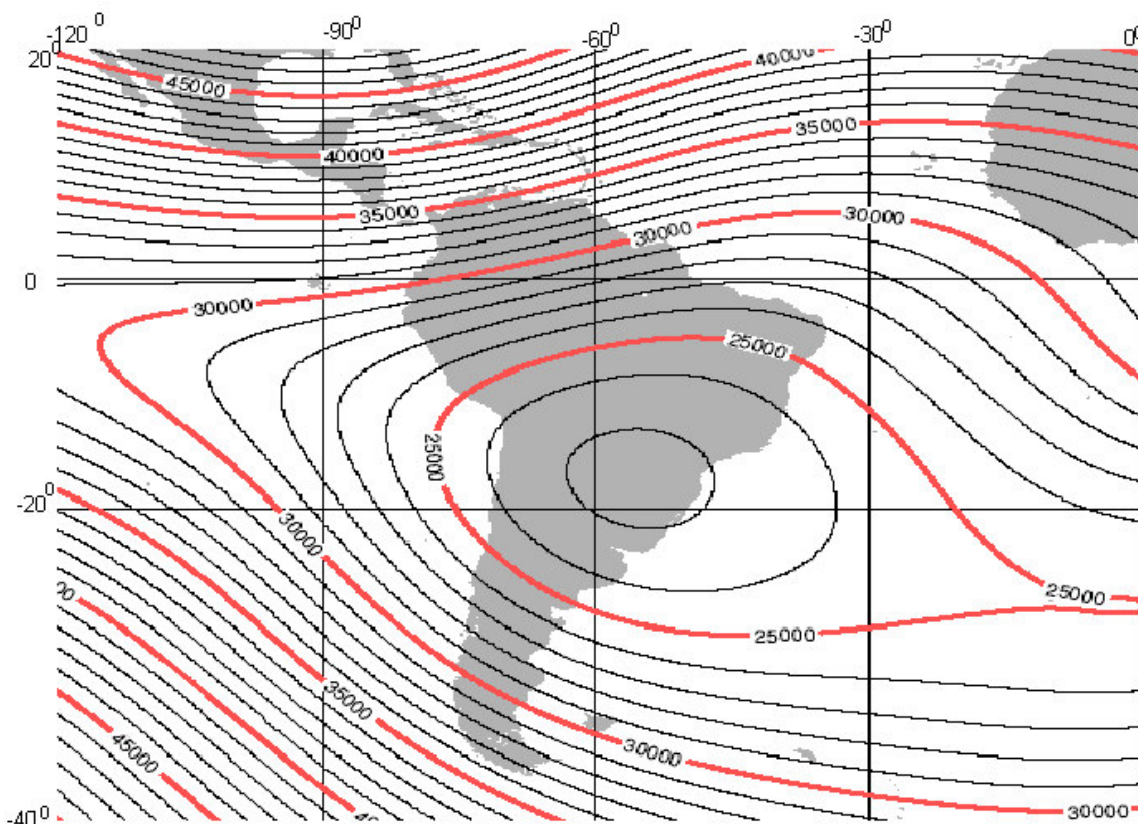


Figura 7 – Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Intensidade total magnética para 2005.0 do Modelo Magnético Mundial 2005. Intervalo de contorno é 2000 nT. Projeção de Mercator. Fonte: www.ngdc.noaa.gov/seg/WMM/image.shtml.

A diminuição da intensidade do campo geomagnético na região da AMAS provoca uma mudança nos movimentos das partículas carregadas eletricamente e aprisionadas no cinturão de radiação. Elas se movem ao redor da Terra mantendo constante a intensidade do campo magnético nos pontos situados nos extremos da trajetória ao longo das linhas desse campo, denominado *pontos de espelhamento*. Em consequência, ao passarem pela região da AMAS, a altura do ponto de reflexão é sensivelmente reduzida, encontrando regiões mais densas da atmosfera. Isso aumenta a possibilidade de que elas se precipitem na atmosfera por causa de interações com as partículas neutras.

Normalmente as partículas do vento solar carregadas eletricamente são desviadas pelo campo magnético da Terra, muitas chegam no cinturão de Van Allen e somente chegam à Terra próximo aos pólos. A precipitação de partículas (especialmente elétrons)

é fortemente modulada pela atividade do Sol e aumenta quando esta atravessa períodos de perturbação, podendo tornar-se várias vezes mais intensa.

Os principais efeitos que a precipitação de partículas produz na ionosfera são o aumento geral da densidade de elétrons ali presentes (Figura 8), o abaixamento de sua base e a formação de camadas adicionais, com extensão de poucos quilômetros.

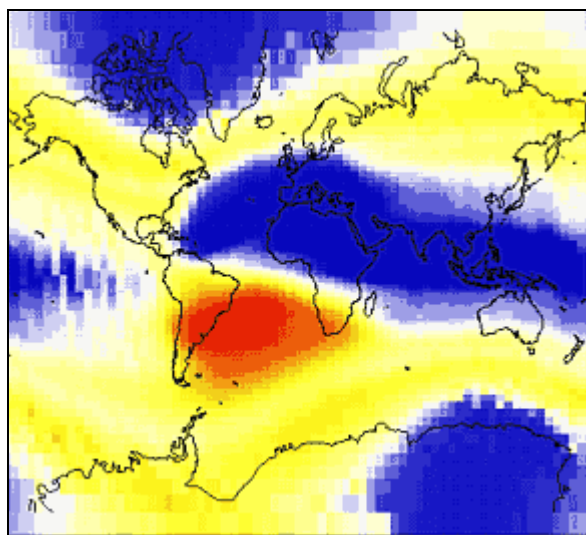


Figura 8 – Anomalia geomagnética do Atlântico Sul: a região vermelha representa alto fluxo de elétrons com energia acima de 30 keV próximo ao solo. Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>.

Outros efeitos têm sido identificados na AMAS como, por exemplo, o nível de radiação induzido nos satélites quando a atravessam sofre um grande aumento, a tal ponto que se passou a desligar muitos equipamentos durante a passagem – vários satélites apresentam problemas em seu sistema de comunicação nessa região como em nenhum outro lugar como por exemplo os efeitos nocivos da radiação no satélite Topex sobre a AMAS(ver Figura 9) – e, também, os raios cósmicos têm um acesso mais fácil à atmosfera dessa região.

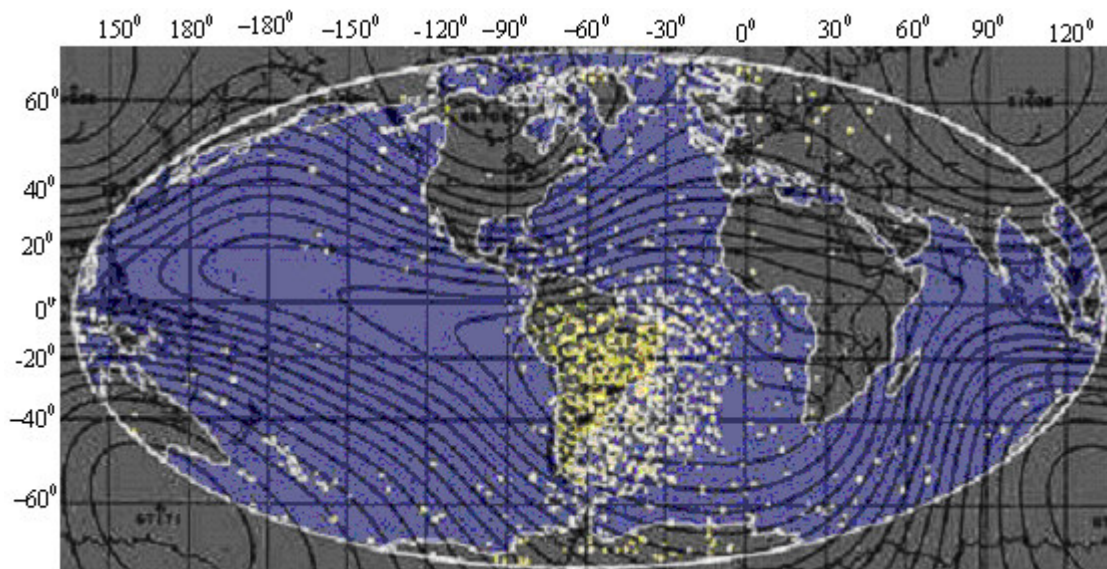


Figura 9 – Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul: posições do satélite TOPEX onde ocorreram defeitos eletrônicos dos seus sistemas. Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>.

2.5 Pulsações Geomagnéticas

As pulsações são variações magnéticas de períodos curtos presentes no campo geomagnético, resultantes de interações complexas entre as partículas carregadas eletricamente do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. Períodos de intensa atividade geomagnética introduzem, naturalmente, grandes modificações no regime dinâmico das pulsações. Elas são classificadas como regulares (ou contínuas) e irregulares, com períodos entre 0,2 segundos e 17 minutos. Podem ser subdivididas morfológicamente em subgrupos, dependendo de seus períodos, segundo as seguintes faixas (Jacobs et al. 1964):

Pulsações Contínuas (Pc):

- Pc1, período 0,2 a 5 segundos;
- Pc2, período 5 a 10 s;
- Pc3, período 10 a 45 s;
- Pc4, período 45 a 150 s;
- Pc5, período 150 a 600 s;

Pulsações Irregulares (Pi):

- Pi1, período 1 a 40 segundos;
- Pi2, período 40 a 150 s;

Também se considera a Pc6, acima de 600 segundos, e a Pi3, com períodos acima de 150 segundos, ambas até 1.000 segundos. Samson (1991), baseado nos processos físicos e nos mecanismos de geração, considera as pulsações divididas em três categorias: baixa frequência (1–10 mHz), média frequência (10 mHz–0,1 Hz) e alta frequência (0,1–10 Hz). No que se segue será adotada a classificação morfológica.

2.5.1 Pulsações Contínuas Pc1 – T = 0,2–5 s

As Pc1 são importantes fontes de informações de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação e são, usualmente, o indicador do estado da magnetosfera.

As Pc1 são oscilações senoidais regulares, com períodos variando de 0,2 a 5 segundos. Estas pulsações ocorrem na forma de explosões separadas, desenvolvendo-se gradualmente em uma série de pulsações que se estendem de dez minutos a horas. Elas podem também ocorrer na forma de grupos de pulsações com bruscas variações de frequência.

Investigações no solo da ocorrência das Pc1 e as características nas mudanças de suas amplitudes com a latitude indicam que elas são mais freqüentemente excitadas em zonas aurorais e subaurorais.

2.5.2 Pulsações Contínuas Pc2-3 – T=5–10, 10–45 s.

As amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores do que 0,5 nT e os períodos típicos são em torno de 2 a 30 segundos. São tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diárias, maximizando-se ao meio-dia. A

principal direção do vetor horizontal perturbado, embora tipicamente Norte-Sul, sofre uma variação diária nas maiorias das latitudes e, com essa mudança, ocorrem vários sentidos de polarização.

A frequência característica das Pc2-3 aumenta com o aumento do índice de atividade magnética K . Há incidência destas pulsações também durante a fase inicial das tempestades magnéticas.

2.5.3 Pulsações Contínuas Pc4 – $T = 45\text{--}150$ s

As amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9 nT em altas latitudes e 1 nT em baixas latitudes. Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas. Estes, muitas vezes, aumentam lentamente até uma amplitude máxima que se sustenta por um longo tempo, e depois decaem imediatamente. Nas médias e baixas latitudes o modelo de ocorrência diária tem um máximo ao meio-dia.

A frequência de ocorrência das Pc4 aumenta com a diminuição da atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar. Por outro lado, a frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar; já suas amplitudes decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar. Assim, as Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos mínimos solares.

Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar; mais ativamente nos anos de mínimas manchas solares.

2.5.4 Pulsações Contínuas Pc5 – $T = 150\text{--}600$ s

Esta classe de pulsações, com períodos longos (3 a 10 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de nanoteslas nas latitudes altas e várias dezenas de nanoteslas nas latitudes baixas. Estende-se por um período de 10 minutos a várias horas, e suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética.

Há uma larga distribuição latitudinal das Pc5, incluindo um rápido decréscimo em amplitude com o aumento da distância à zona auroral e um claro aumento equatorial. O aumento da amplitude na região equatorial pode ser explicado pelas correntes ionosféricas chamadas de eletrojetos equatoriais.

2.5.5 Pulsações Irregulares

Esta classe de pulsações é caracterizada por sua forma irregular. Elas têm conexão com os distúrbios do campo magnético e possuem correlação com os distúrbios da magnetosfera superior. Esta classe é dividida em dois subgrupos:

- **Pulsações Irregulares Pi1 – $T = 1\text{--}40\text{ s}$**

As Pi1 têm formas irregulares, com períodos freqüentemente menores do que 15 segundos. Suas amplitudes têm valores máximos nas zonas aurais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações têm formas de microestruturas devido aos distúrbios lentos do campo magnético, observado durante a fase principal das tempestades magnéticas.

A atividade Pi1 mostra uma dependência distinta com o índice K , aumentando com o aumento de K . Algumas vezes, as Pc1 e Pi1 são registradas simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes.

- **Pulsações Irregulares Pi2 - $T = 40\text{--}150\text{ s}$**

As Pi2 possuem formas irregulares com períodos localizados num intervalo de 40 – 150 segundos, podendo, às vezes, apresentar períodos acima de 250 segundos, e suas amplitudes variam na faixa 1–5 nT. As Pi2 tem como características principais o seu pequeno tempo de duração e a sua superposição nas Pi1, as quais podem ser seguidas, em certas ocasiões, pelas Pc1.

A probabilidade de ocorrência das Pi2 aumenta com o aumento do índice K . Para um mesmo intervalo de tempo, as atividades Pi1 aumentam com o máximo das manchas

solares, sugerindo que as Pi1 e Pi2 tem diferentes fontes de geração ou que tem diferentes modos de propagação sobre a superfície da Terra.

2.5.6 Outras Formas de Pulsações Irregulares

Outros tipos de pulsações podem ser observados, particularmente durante período de tempestades, com menos regularidade de aparência do que as emissões contínuas. Estas emissões ocorrem durante períodos magneticamente perturbados e, muitas vezes estão associados à baías magnéticas.

3.0 Aquisição e Análise dos Dados

O campo geomagnético não pode ser medido diretamente, sendo necessária a interação dele com outros processos físicos para produção de efeitos mensuráveis. Além disso, devido a grande extensão espacial desse campo em relação à dimensão dos sensores, apenas medidas pontuais são obtidas.

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e direção do campo vetorial indução magnética **B**. Três planos de referência são necessários para esta medição: o plano vertical que contém a direção Leste-Oeste; o plano meridional Norte geográfico (que contém a direção Norte-Sul) e o plano horizontal.

A seguir descrevem-se alguns instrumentos utilizados para a observação do comportamento do campo geomagnético, enfatizando o magnetômetro do tipo *fluxgate* utilizado para a obtenção de dados para este trabalho, e discute-se também a aquisição e armazenamento dos dados e sua análise, incluindo a filtragem digital.

3.1 Magnetômetro *Fluxgate* (Núcleo Saturado)

No magnetômetro *fluxgate*, um núcleo de material magnético de alta permeabilidade, de fácil saturação, é utilizado para obter o sinal do campo magnético, H_0 , existente no ambiente. A propriedade de histerese do núcleo saturável é utilizada pela imposição de um campo oscilante intenso produzido por uma bobina, chamada primária.

A intensidade do campo geomagnético é obtida pela medição dos harmônicos de distorção no sinal de saída, mediante o uso de um sensor (bobina secundária) ao redor do núcleo. A quantidade de interesse é o segundo harmônico da frequência de excitação, gerado na região de saturação do sensor.

O campo geomagnético que se quer medir, H_0 , atua sobreposto ao campo de excitação senoidal A , onde $A \gg H_0$, e o sinal A é ajustado para ser grande o suficiente de forma a produzir a saturação do núcleo de alta permeabilidade, pela bobina primária. O sinal residual (*offset*) causado pela ação do campo ambiente, H_0 , resulta numa distorção na forma de variação da densidade de fluxo magnético, $\mathbf{B}$, que aparece numa segunda bobina sensora enrolada ao redor do núcleo. Esta distorção da variação de $\mathbf{B}$ em relação ao tempo contém vários harmônicos pares, ao se considerar o sinal é decomposto em suas componentes de Fourier.

A amplitude do segundo harmônico é consideravelmente maior do que do primeiro e terceiro harmônicos. Com um filtro de banda estreita, este segundo harmônico é selecionado para tornar-se uma medida do campo ambiente, H_0 , depois de ser comparado a um segundo harmônico “artificial” a partir de uma duplicação do sinal de excitação original. Usando um sinal de excitação com frequência por volta de 700 Hz, uma variação de 1 nT produz uma saída de aproximadamente 25 μV . Para medidas de sinais fracos, podem ser utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação e uma bobina secundária cercando ambos. As duas contribuições primárias nas bobinas com núcleo saturado postas em direções opostas são, então, canceladas (Figura 10). Três sensores *fluxgate* orientados segundo três direções ortogonais, produzem as três componentes necessárias para a medição do campo geomagnético.

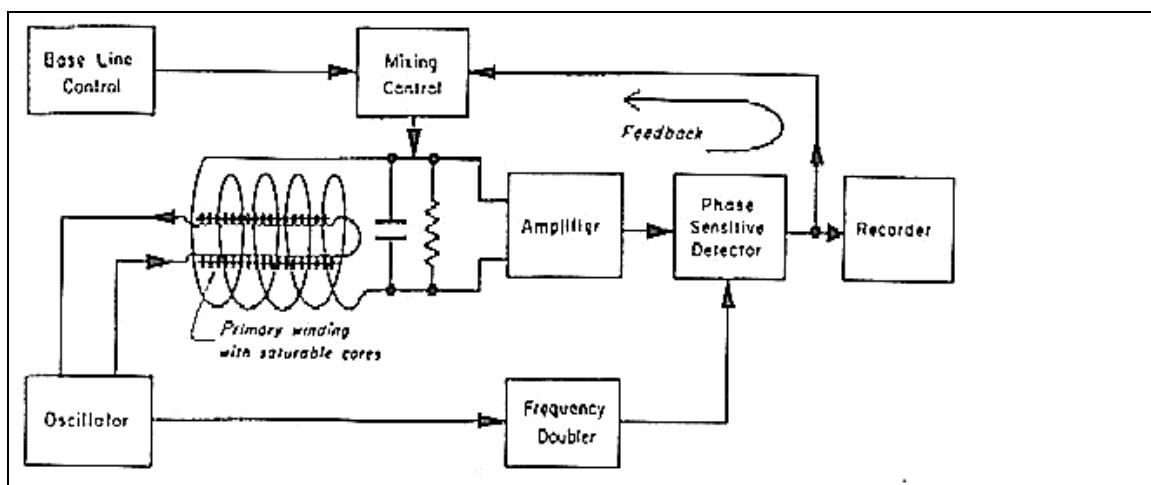


Figura 10: Diagrama de blocos representando os sistemas de um magnetômetro *fluxgate* para medida direcional do campo geomagnético. Fonte: Campbell, 1997.

3.2 Magnetômetro de Precessão de Prótons

Se um material fluído rico em prótons – tal como querosene, óleos, água etc. – é colocado em um campo magnético, os prótons procurarão se alinhar ao longo do campo aplicado, devido ao torque no seu *spin* intrínseco. Campos fracos originam fraco alinhamento. Um campo magnético de polarização é aplicado, forte o suficiente (da ordem de 10^7 nT) para que uma grande fração dos prótons se alinhem com ele. Então, este campo é repentinamente removido (desligado). Prótons, que se comportam como giroscópios elementares, iniciarão a precessão ao redor do campo magnético residual, o campo magnético terrestre. Como uma fração razoável de prótons fica com os eixos de *spin* alinhados, a precessão conjunta é suficiente para produzir um sinal detectável (Figura 11). A frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético da Terra, no ponto onde está o magnetômetro. O sensor mede esta frequência, divide por uma constante apropriada para obter o valor do campo geomagnético em nanoteslas (ou gamas) e mostra a leitura, com sua magnitude calculada através da relação:

$$B = \frac{2\pi}{\gamma_p} f_p \quad \therefore \quad B \text{ (nT)} = 23,4874 f_p \text{ (Hz)}$$

onde $\gamma_p = 2,67513 \times 10^8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$ é a razão giromagnética. Com isto, um campo de 23.487 nT corresponde a uma frequência de precessão de 1 kHz. Apesar da medida básica do magnetômetro de precessão de prótons ser a intensidade do campo geomagnético (grandeza escalar), ele pode ser adaptado e medir também as três componentes do campo **B**.

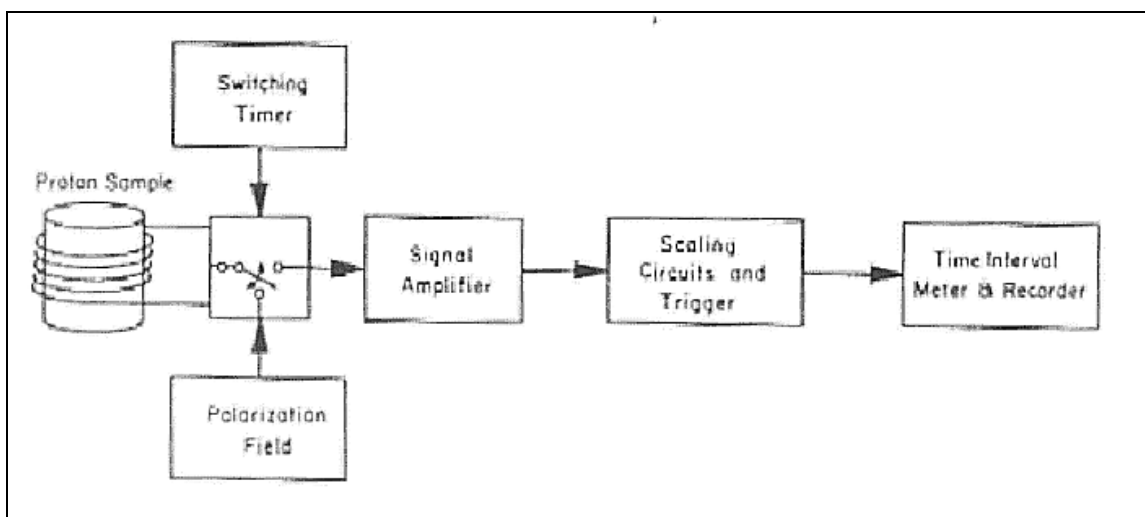


Figura 11 – Diagrama de blocos representando os sistemas de um magnetômetro de próton para medida do campo geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. Fonte: Campbell, 1997.

3.3 Aquisição dos Dados

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e direção do campo vetorial **B**, ambas características dependentes do tempo. Três direções são necessárias para estas medições: a componente Norte-Sul *X* (positiva para o Norte), a componente Leste-Oeste *Y* (positiva para o Leste) e a componente vertical *Z* (positiva para baixo). Quando se instala o magnetômetro orientado segundo a direção Norte magnética local, tem-se no plano horizontal a componente horizontal *H* (sempre positiva) e a declinação magnética *D* (positiva no sentido Norte para o Leste).

A escala temporal das variações do campo magnético Terrestre é grande, indo desde períodos seculares até variações rápidas, essas com períodos de frações de

segundos. Devido a essa grande diversidade de escala das componentes do campo, vários instrumentos têm sido desenvolvidos para realizar medidas ou para registrar as variações magnéticas de diferentes espectros geomagnéticos.

Um sistema de aquisição de dados geomagnéticos consiste inicialmente de duas partes: sistema de medição (sensor) – para o nosso projeto o sistema de medição é feito com magnetômetro do tipo *fluxgate* – e o sistema de pré-processamento e armazenamento dos dados coletados. Foram desenvolvidas unidades de aquisição com interface capaz de selecionar as saídas analógicas dos sensores e digitalizá-las por um conversor analógico-digital. Usualmente, os dados são filtrados analogicamente na coleta, com o objetivo de evitar o sobreposição espectral (*aliasing*) devido à digitalização realizada. Os dados digitalizados são formatados e transferidos para cartões de memória. Três outras partes completam em geral o sistema de aquisição, que são as unidades de conversão, de qualificação-validação e de processamento e análise dos dados, feitas posteriormente em computadores digitais.

Para este estudo fez-se uso principalmente de dados geomagnéticos coletados na estação geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul – OES, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra – SMS (29,43°S; 52,82°O), RS, e das instalações do Prédio Sede do Centro no Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em Santa Maria, RS, situada ao sul de São Martinho da Serra. Dados da Estação Magnética do Observatório de Vassouras – VSS (22,40°S; 43,65°O), RJ, também foram utilizados.

3.4 Análise dos Dados - Filtragem Digital

Inicialmente, introduz-se a técnica de filtragem digital para eliminar as longas tendências de variação diária do campo geomagnético. Posteriormente, mostram-se as técnicas de análise espectral por múltiplas janelas, baseadas na transformação rápida de Fourier (FFT). O propósito primário da filtragem digital é separar a característica espectral de interesse das demais informações espectrais contidas no sinal.

Um grande número de estruturas diferentes pode ser usado para implementar filtros digitais. As mais comuns são: filtragem direta, em cascata e em paralelo. A conversão da estrutura de filtragem direta para a estrutura em forma de cascata envolve a fatoração dos polinômios de maneira que o produto das funções de transferência individuais seja igual a uma função de transferência. Similarmente, a conversão para a estrutura em paralelo requer a expansão em funções parciais, de tal forma que a filtragem direta seja representada pela soma das funções de transferência individuais.

Quatro tipos básicos de filtros podem ser definidos em termos de suas características de resposta no domínio frequência: o filtro passa-baixa (*lowpass*) elimina as componentes de alta frequência; o filtro passa-alta (*highpass*) elimina as componentes de baixa frequência; o filtro passa-banda (*bandpass*) ou passa-faixa rejeita ambos regimes de frequência; e o filtro rejeita-banda (*bandstop*) ou rejeita-faixa rejeita frequências intermediárias.

O objetivo deste trabalho é estudar as pequenas variações temporais com períodos desde 100 até 1000 segundos. Por isso, na etapa de processamento e análise é feita a filtragem digital dos dados para eliminar a variação diária, através de um filtro tipo passa-banda, cuja função de resposta em amplitude (ganho) é unitária dentro de uma determinada faixa de período (ou de frequência).

A estimação espectral é um poderoso método de análise de dados e é frequentemente usado para estudos geofísicos. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para análise de longas séries temporais estacionárias. Contudo, estas técnicas não são universalmente aplicadas para as séries que envolvam processos não-estacionários de curta duração. O principal problema tem sido isolar as frequências de interesse.

Uma nova técnica de estimação espectral, apresentada por Thomson (1982), tem sido aplicada na análise de séries temporais. Na técnica de análise espectral por múltiplas janelas os dados são multiplicados por várias janelas com propriedades de obter boa resistência ao vazamento espectral, formando uma sequência ortogonal de janelas que minimizam o vazamento do espectro estimado e fazendo a transformação de Fourier das auto-janelas.

4.0 Tratamento de Dados e Resultados

Nesta Seção se abordará as atividades consolidadas pelo bolsista no período de agosto de 2004 a maio de 2005, ou seja, etapas da aplicação real do conteúdo teórico estudado pelo bolsista no tratamento dos dados geomagnéticos, para conhecer as pulsações medidas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE/MCT (estação de baixa latitude), proposta para este estudo, e confecção de trabalhos de iniciação científica com o fim de apresentá-los em congressos de interesse. Dentro do projeto intitulado “*Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1.0–10 milihertz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul*”, seguiu-se uma linha de estudos com o objetivo específico de verificar as características das pulsações geomagnéticas de períodos longos e seu relacionamento com a precipitação de partículas carregadas de altas energias na região AMAS.

Assim estabeleceu-se a seguinte metodologia para melhor aproveitamento de atividades:

- Realizar medidas geomagnéticas continuamente, operando um magnetômetro tipo “*fluxgate*” na estação geomagnética do OES, em São Martinho da Serra, situada muito próximo ao centro da AMAS;
- Processar os dados obtidos do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra e detectar os eventos de pulsações de períodos longos Pc5–6/Pi3 conhecidos na literatura e estudar as características destas pulsações, como potência espectral e polarização das ondas eletromagnéticas; e
- Finalmente, interpretar os resultados em termos de processos físicos envolvendo a geração das pulsações e subsequente precipitação das partículas carregadas na AMAS.

Os dados do *fluxgate*, cujo sistema de aquisição funciona ininterruptamente durante as 24 horas do dia, são coletados mensalmente no OES, através da troca de um cartão magnético (memória *flash*), por um dos integrantes do laboratório de geomagnetismo do CRSPE/INPE/MCT, localizado nas propriedades da Universidade

Federal de Santa Maria – UFSM, cujos dados são compartilhados com pesquisadores do INPE – São José dos Campos, SP.

4.2 Os Dados e a Variação Diária

As medidas diárias do campo geomagnético foram armazenadas em um arquivo de dados na forma binária e posteriormente convertidos em arquivos tipo ASCII (planilha tipo texto). Os arquivos de dados contêm os valores das três componentes ortogonais do campo geomagnético (H , D e Z), registradas pelo sistema de medida, com um intervalo de amostragem de dois segundos (taxa de amostragem é de 0,5 Hz). A partir dos dados digitalizados e dispostos em arquivos, pode-se obter o gráfico da variação do campo geomagnético, utilizando-se qualquer *software* gráfico.

A variação diária do campo geomagnético registrada nas Estações Magnéticas do Observatório Espacial do Sul, em de São Martinho da Serra representada pela sigla SMS e do Observatório Magnético de Vassouras, representada pela sigla VSS, para os dias 6 e 15 de novembro de 2004 são mostrados nas figuras 12–15. Esses dois dias são geomagneticamente calmos, com valores para o índice ΣKp de 1+ e 2+, respectivamente.

As amplitudes das três componentes do campo mostram-se apenas levemente perturbadas ao longo do dia, atingindo os valores máximos entre 15:00 e 17:00 UT (12:00–14:00 LT) e decrescendo até o valor-de-base inicial e final do dia por volta das 22:00 UT (19:00 LT). Nesses dias não há variações abruptas. A variação do campo geomagnético durante as horas de iluminação pelo Sol, entre 06:00 e 18:00 LT deve-se a intensificação das correntes Sq. Pode-se ver também que a componente H apresenta variações maiores que as componentes D e Z . As pequenas flutuações, que estão superpostas à variação diária, são as pulsações geomagnéticas.

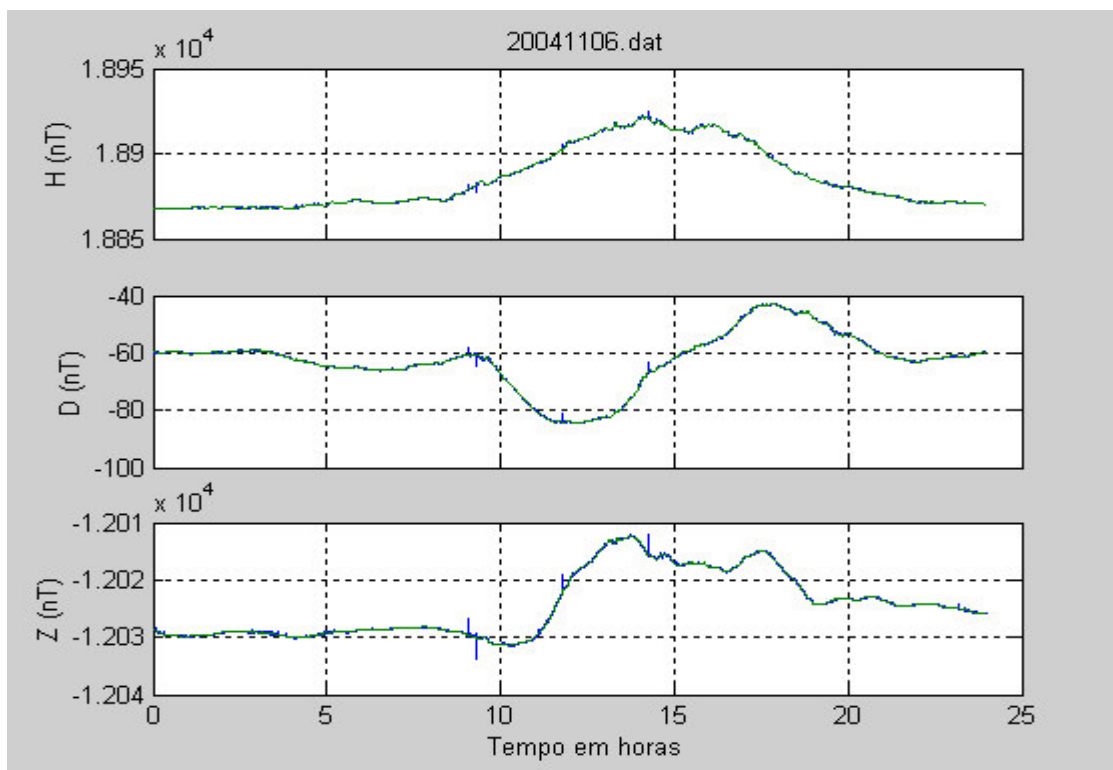


Figura 12 – Componentes H , D e Z para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, do dia 6 de novembro de 2004 (antes da tempestade), magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 1+$, (escala temporal em UT).

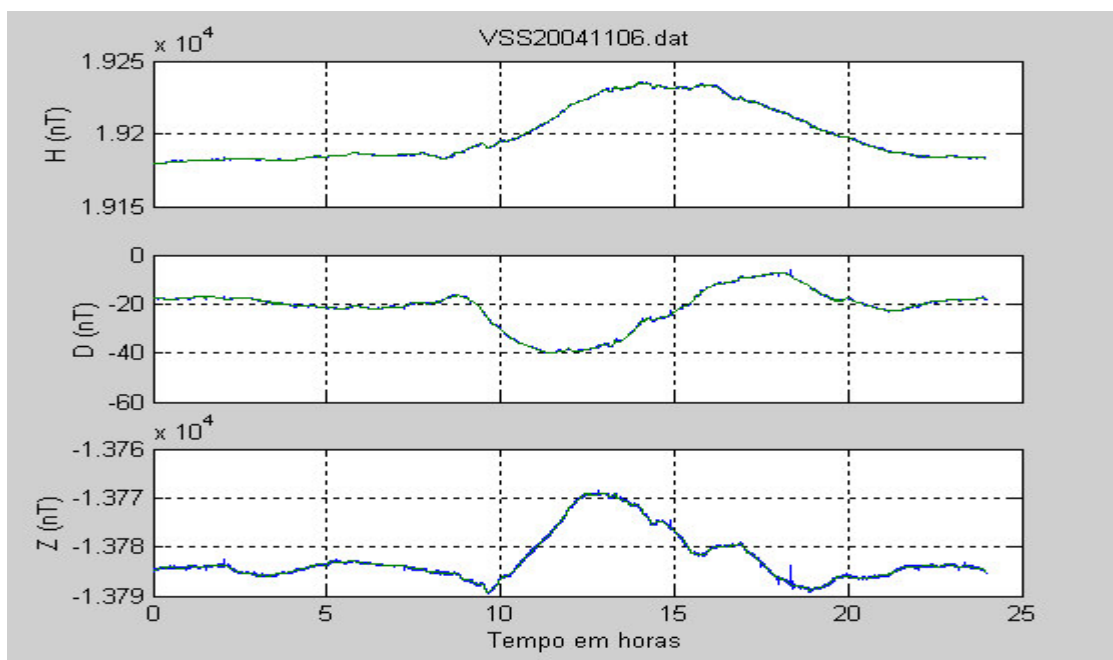


Figura 13 – Componentes H , D e Z para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS), do dia 6 de novembro de 2004 (antes da tempestade), magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 1+$, (escala temporal em UT).

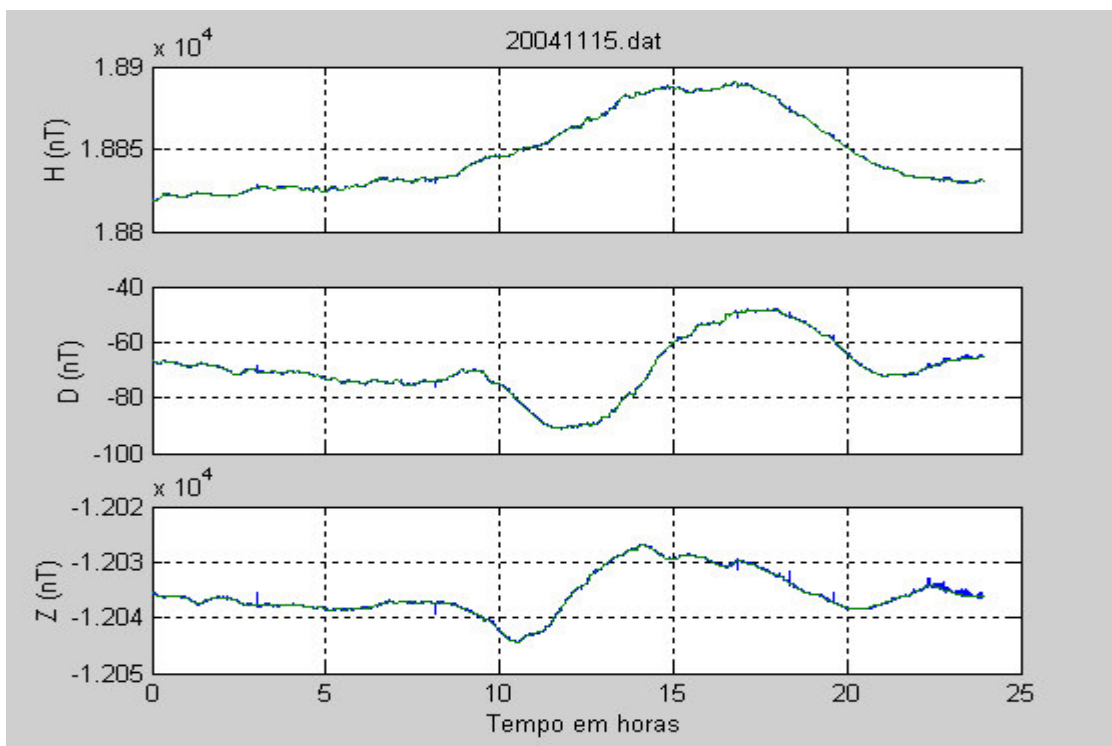


Figura 14 – Componentes H , D e Z para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT do dia 15 de novembro de 2004 (depois da tempestade), magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 2+$, (escala temporal em UT).

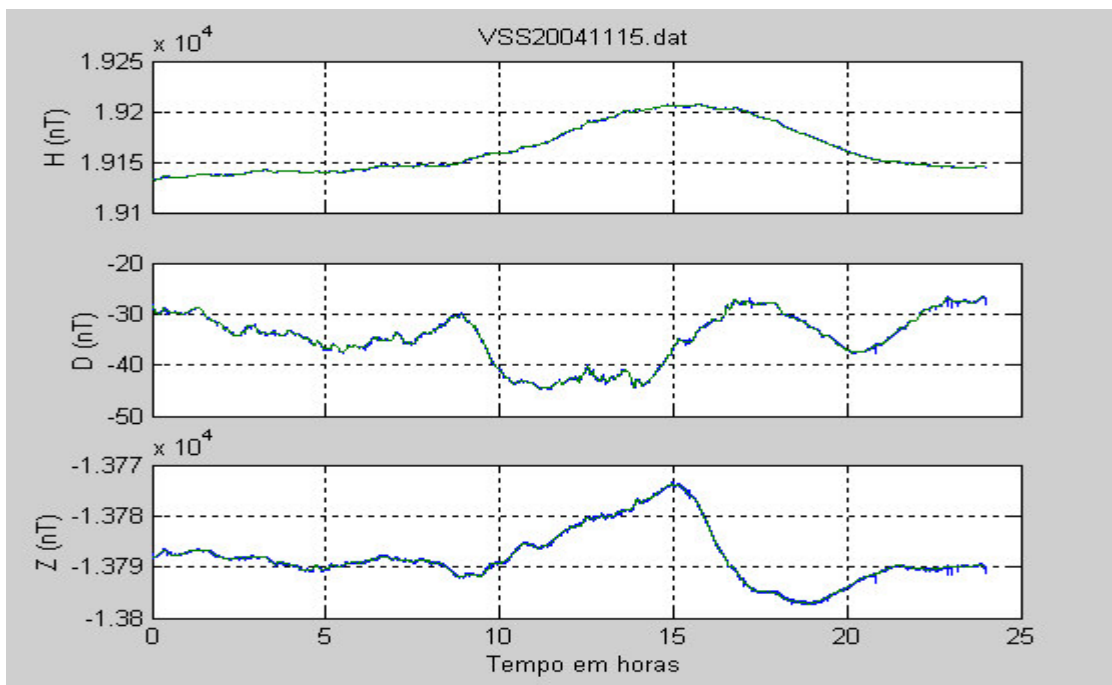


Figura 15 – Componentes H , D e Z para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS), do dia 15 de novembro de 2004 (depois da tempestade), magneticamente calmo, com um índice $\Sigma Kp = 2+$, (escala temporal em UT).

4.3 Filtragem dos Dados

As curvas da variação diária (como nas Figuras 12–15) mostram que o campo geomagnético apresenta mudanças numa faixa muito grande de períodos, que vai desde segundos até horas. As pequenas flutuações desde 100 até 1000 segundos é o objeto de estudo deste trabalho. Para isto, torna-se necessário filtrar a variação diária de modo que a saída contenha os sinais com períodos (ou frequências) dentro da faixa de interesse. Previamente os dados são ponderados a cada 60 segundos, resultando em uma taxa de 1 amostra por minuto (1.440 pontos por dia) e numa frequência de Nyquist de 1/120 Hz (com período associado de 120 segundos).

Para realizar as filtrações dos dados foi utilizado um filtro digital passa-banda (no domínio do tempo), com saída na faixa de frequência de 1/900 a 1/180 hertz (períodos na faixa de 180 a 900 segundos). A aplicação desse filtro na variação diária original das componente H (Norte-Sul) e D (Leste-Oeste) do campo geomagnético permite obter sinais de pulsações na faixa de frequência que se deseja estudar.

4.4 Eventos Geomagnéticos

Como o bolsista iniciou suas atividades a partir de agosto de 2004, decidiu-se concentrar seus esforços no estudo de um evento magnético bastante significativo já no ano de 2004. A partir da grande tempestade magnética ocorrida no período de 7 a 12 de novembro de 2004 cujas alterações no comportamento das componentes geomagnéticas foram detectadas e armazenadas pelo magnetômetro *fluxgate* do OES, **tornou-se possível a confecção de um trabalho cujo resumo segue no Anexo 1, que foi apresentado no Congresso Internacional da EGU-European Geosciences Union, em Viena, Áustria, abril/2005.**

As variações geomagnéticas nas componentes horizontais H (Norte-Sul) e D (Leste-Oeste) durante a tempestade foram estudadas a partir dos dados coletados nas estações de SMS ($-34,3^\circ dip$ ano 2005) e de VSS ($-33,9^\circ dip$ ano 2005). Para os dias de tempestade, $\Sigma Kp = 31-, 50o, 52o, 56+, 29o$ e $33+$. Foram observadas diferenças

pequenas da amplitude nas variações de H e diferenças maiores da amplitude nas variações de D entre as duas estações.

Os inícios súbitos associados à tempestade por volta de 03:00 UT, 11:00 UT e 18:30 UT, do primeiro dia, 7 de novembro de 2004 são mostrados na Figura 16. Há dois grandes ssc , próximos de 11:00 UT e 18:30 UT, o primeiro desses ainda na primeira fase inicial caracterizada pelo ssc às 03:00 UT e alterando o nível do campo dessa fase e, o segundo, na primeira fase principal. Depois da fase inicial da tempestade o segundo aumento é muito curto e a fase principal da tempestade começa. Similarmente para VSS (Figura 17). O tempo permanece geomagneticamente perturbado até o dia 12 novembro 2004, como mostrado nas Figuras 18–27, para as estações SMS e VSS.

A fase inicial da tempestade durou aproximadamente 13 horas (03:00–16:00 UT, dia 6/nov) e depois das 16:00 UT começou a fase principal. Antes de a fase principal passar totalmente veio um outro choque interplanetário, iniciando uma nova fase inicial com curta duração (por volta de 2 horas).

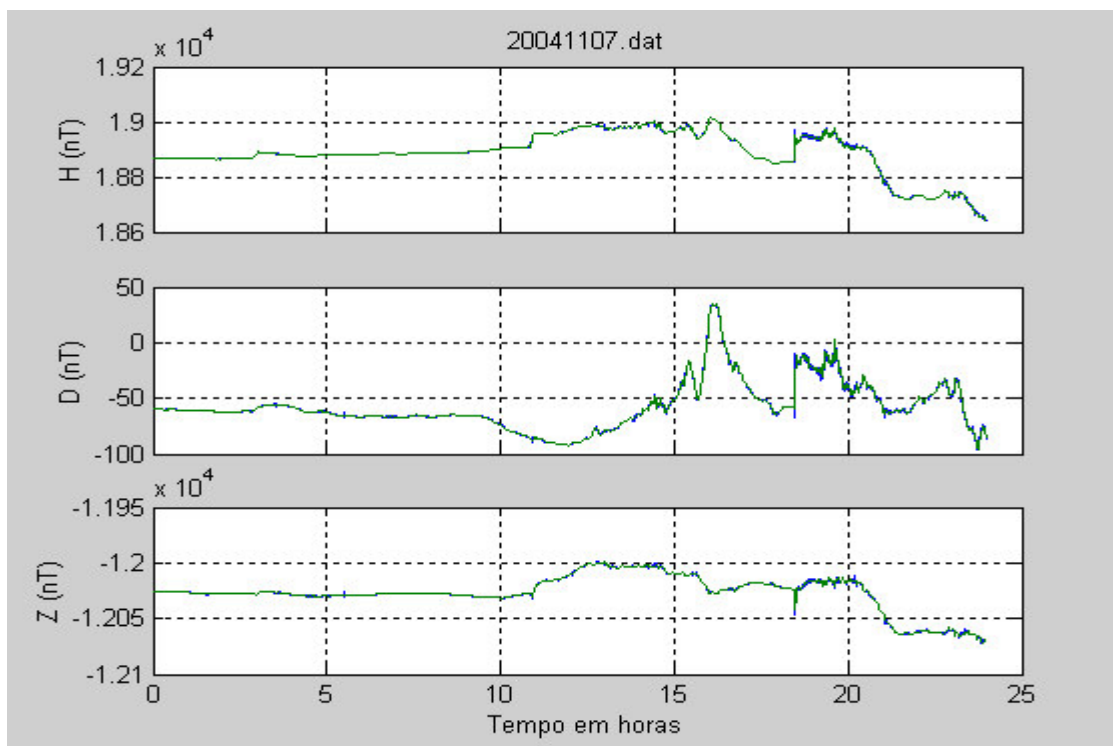


Figura 16 – Aumento abrupto da componente H durante a tempestade iniciada em 07 de novembro de 2004 ($\Sigma Kp = 31-$), para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, (escala temporal em UT).

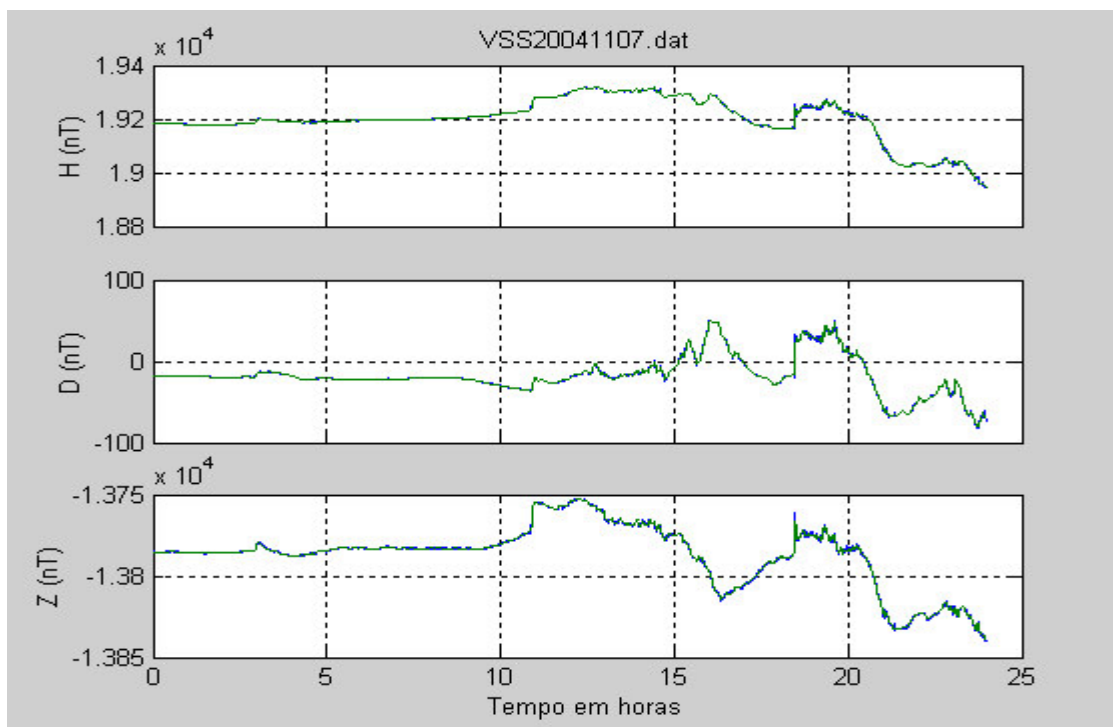


Figura 17 – Aumento abrupto da componente H durante a tempestade iniciada em 07 de novembro de 2004 ($\Sigma Kp = 31-$), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS) (escala temporal em UT).

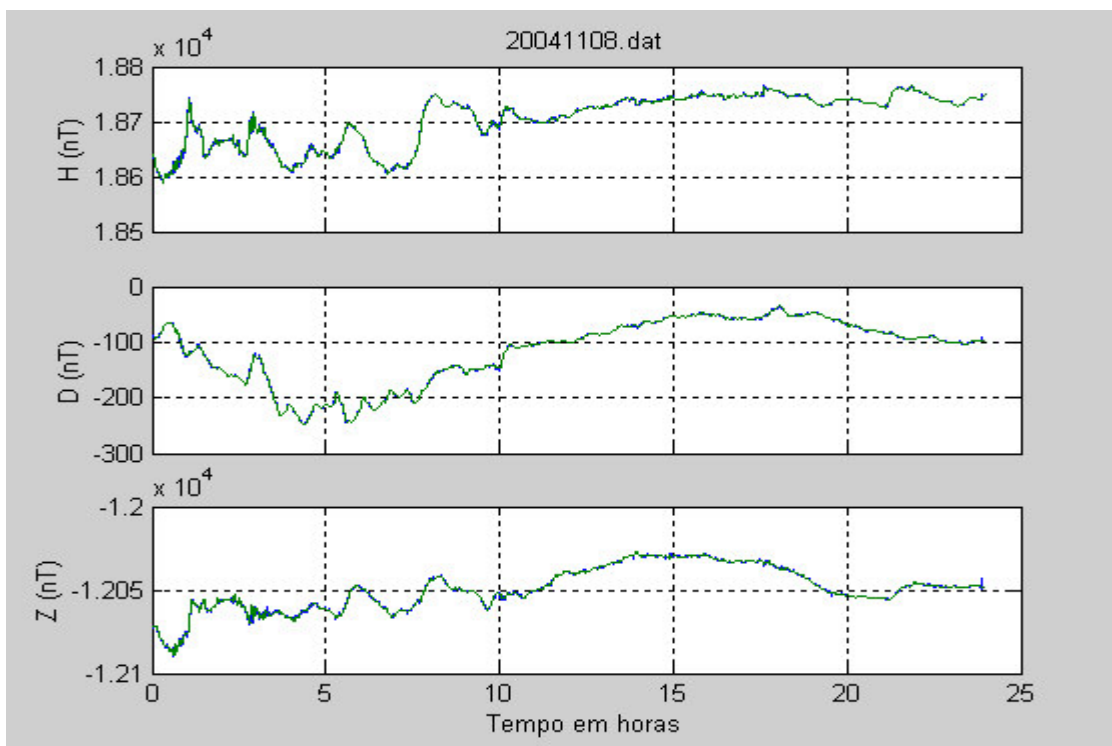


Figura 18 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H , D e Z para o dia 08 de novembro de 2004 ($\Sigma Kp = 50^\circ$) para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, (escala temporal em UT).

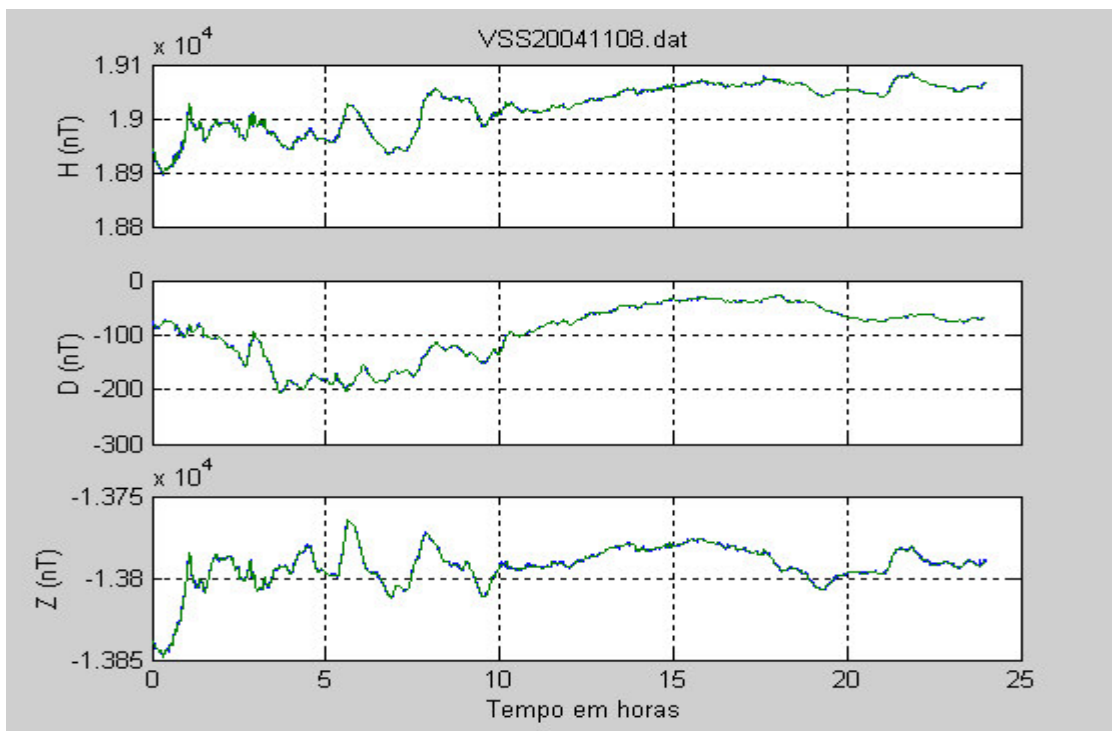


Figura 19 – Comportamento das três componentes geomagnéticas H , D e Z para o dia 08 de novembro de 2004 ($\Sigma Kp = 50^\circ$), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS), (escala temporal em UT).

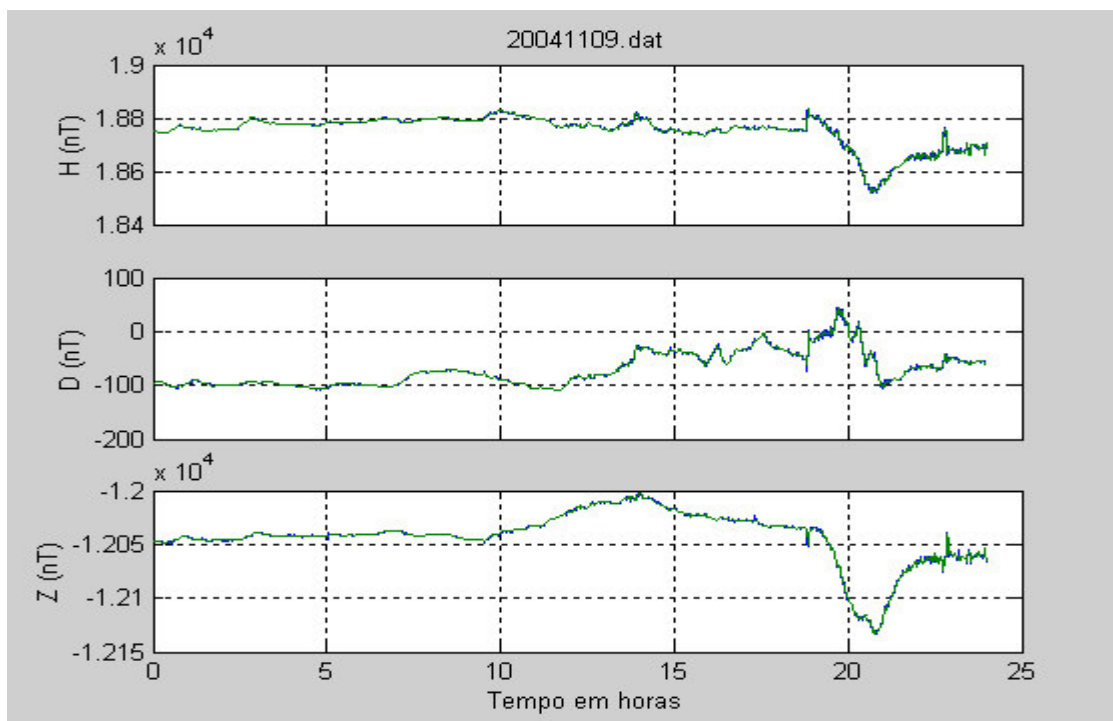


Figura 20 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 09 de novembro ($\Sigma Kp = 52^\circ$) para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT. A nova tempestade iniciou cerca das 09:30 UT.

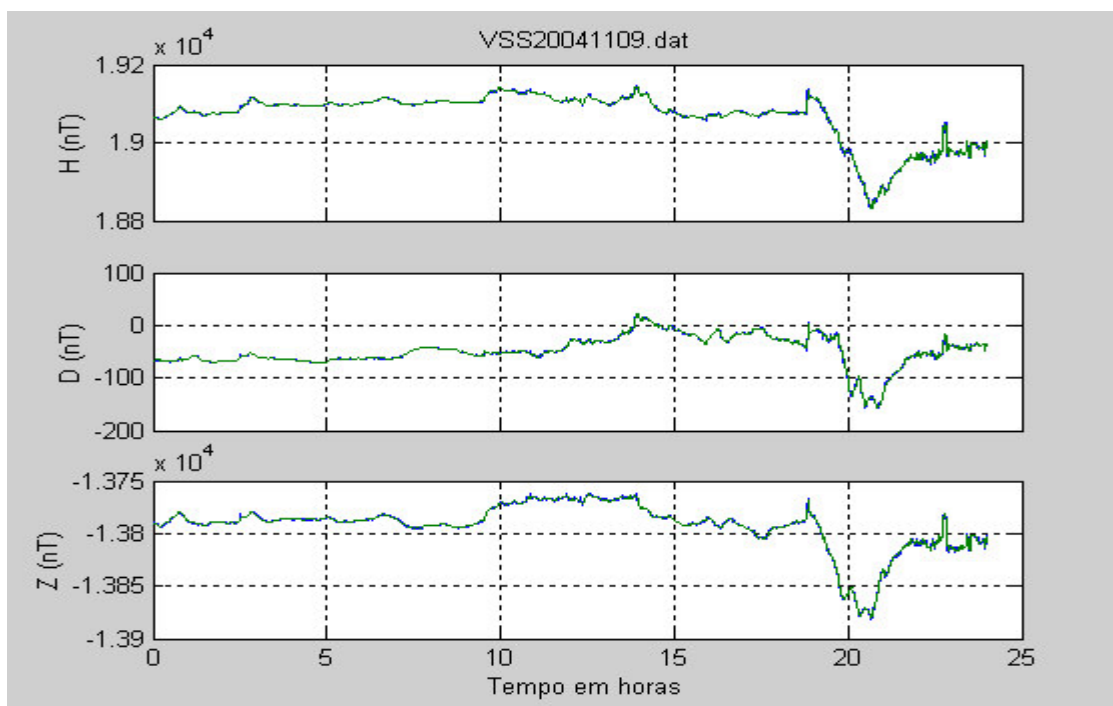


Figura 21 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 09 de novembro ($\Sigma Kp = 52^\circ$), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS). A nova tempestade iniciou cerca das 09:30 UT.

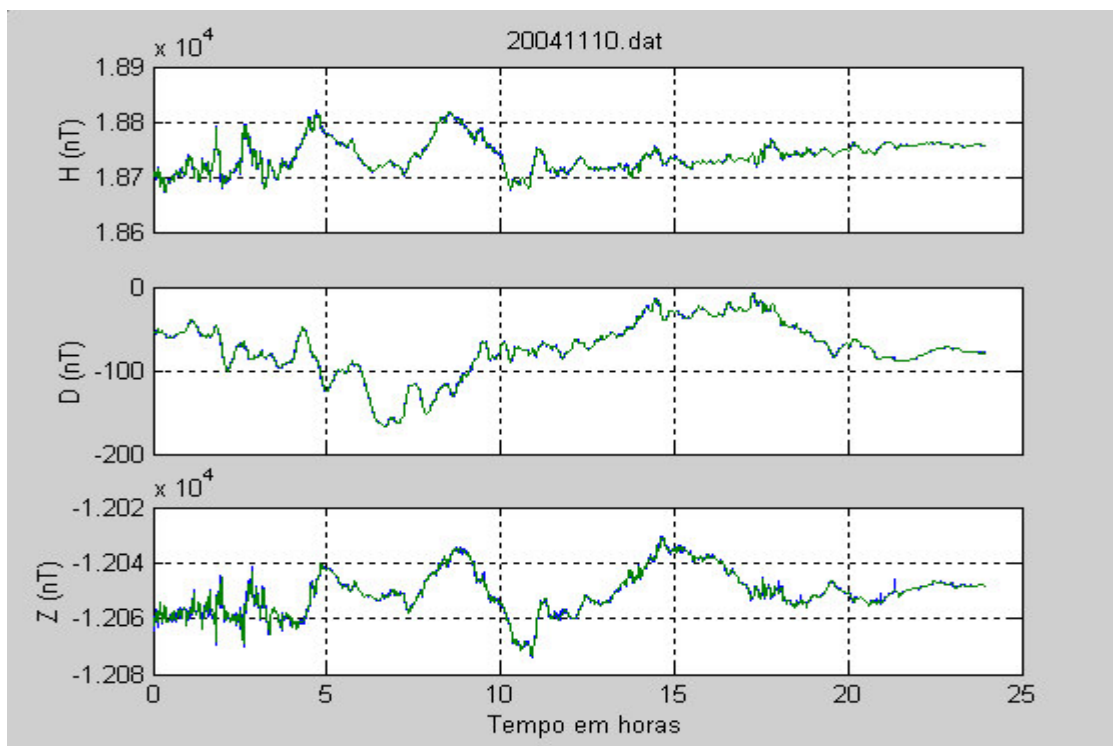


Figura 22 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 10 de novembro ($\Sigma Kp = 56+$), para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

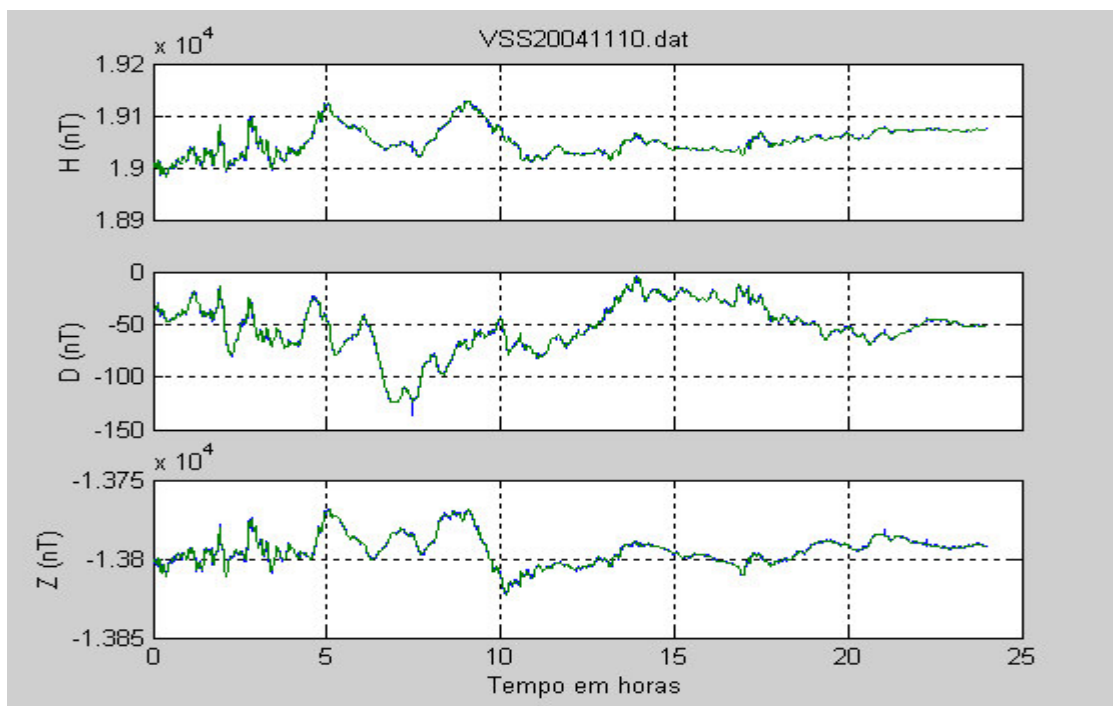


Figura 23 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 10 de novembro ($\Sigma Kp = 56+$), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

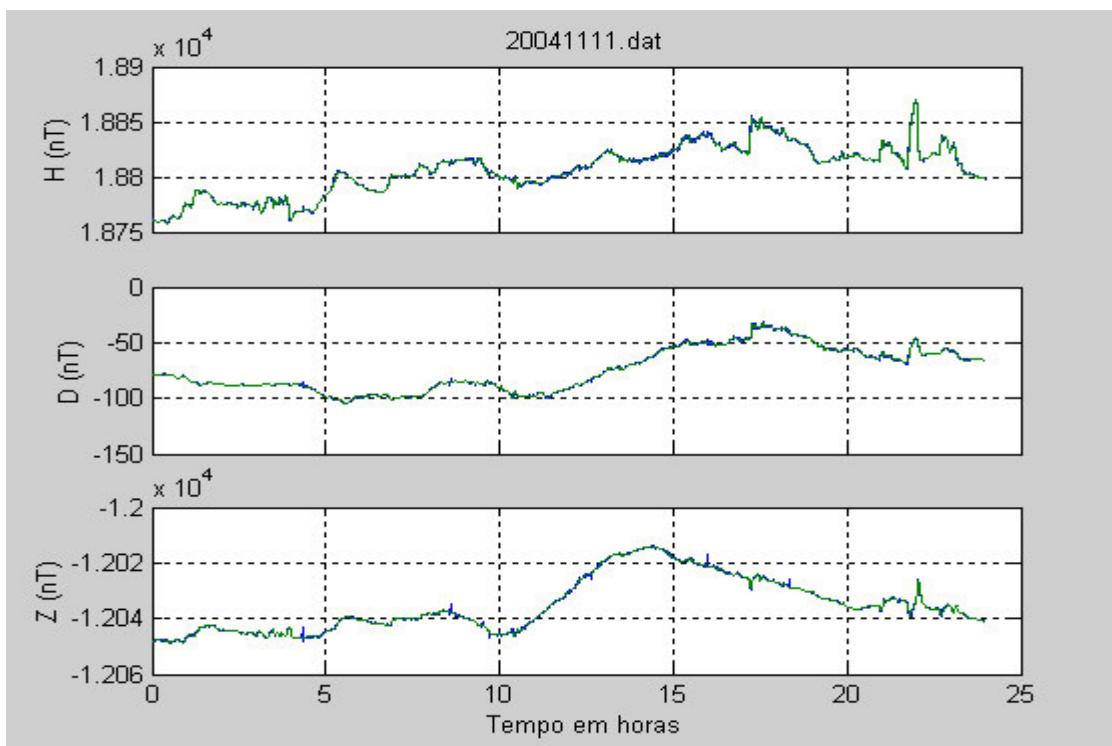


Figura 24 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 11 de novembro ($\Sigma Kp = 29$ o), para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

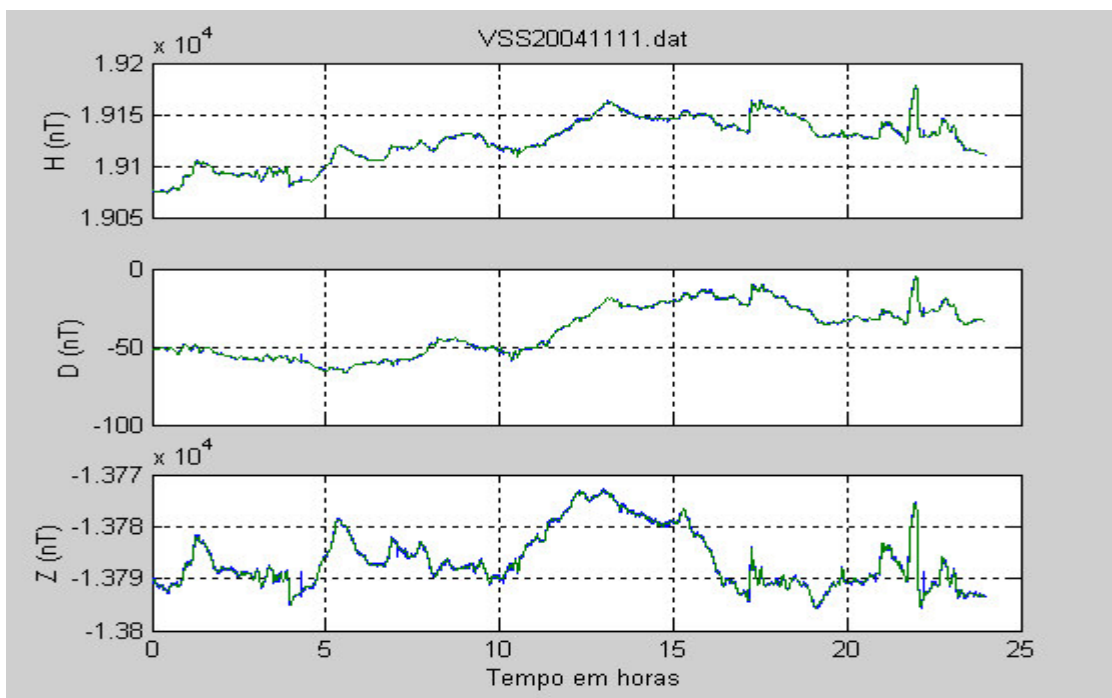


Figura 25 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 11 de novembro ($\Sigma Kp = 29$ o), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

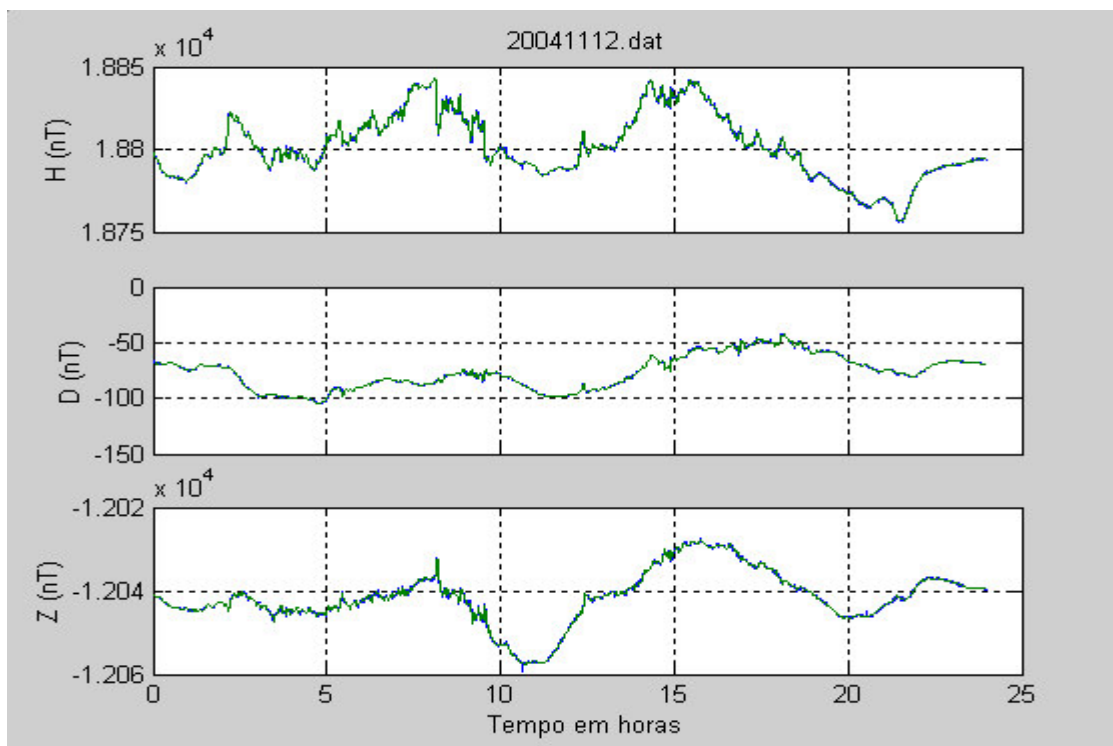


Figura 26 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 12 de novembro ($\Sigma Kp = 33+$), para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

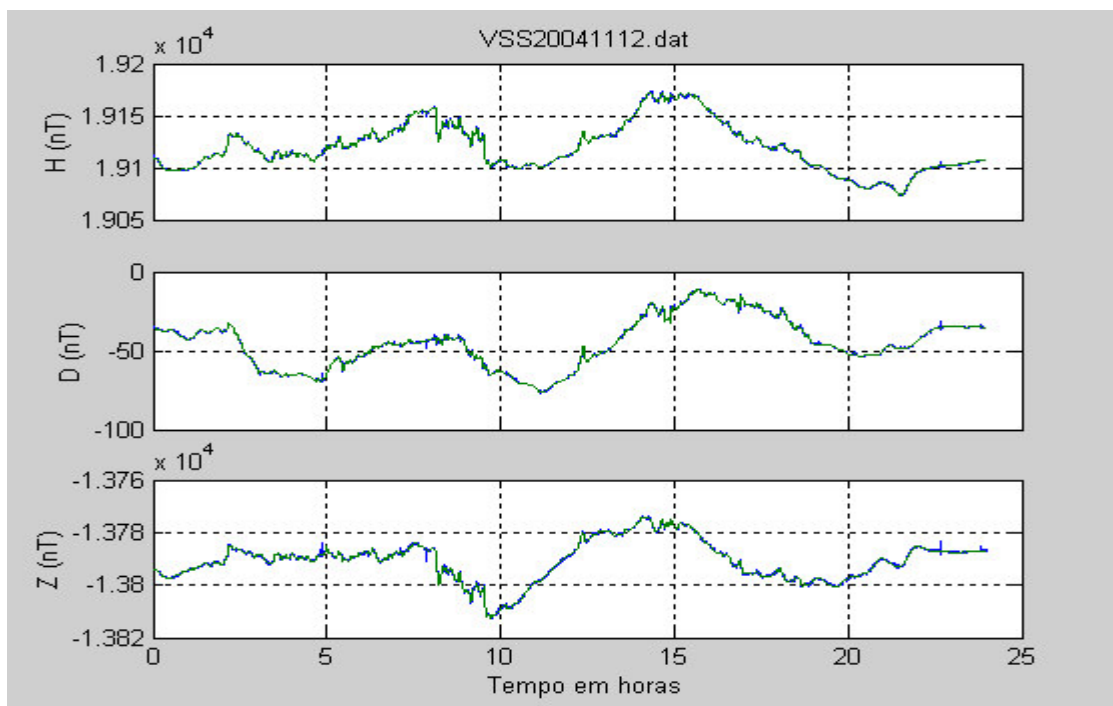


Figura 27 – Comportamento das componentes geomagnéticas H , D e Z , em função do tempo, (UT), para o dia 12 de novembro ($\Sigma Kp = 33+$), para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

As pulsações geomagnéticas para os períodos geomagneticamente calmos são representados nas Figuras 28-31. Pode-se observar que o comportamento das componentes H e D , nas Figuras 28 e 29, têm um comportamento típico de um dia magneticamente calmo, ou seja, com picos em torno do meio dia local. Os gráficos de potência espectral (PPD) e de polarização (DEG), para as duas estações, são pouco sensibilizados.

A normalização das componentes durante o dia 15 de novembro, após o período de 6 dias de tempestade são apresentados nas Figuras 30 e 31. As componentes H e D apresentam variações um pouco fora do normal até o momento em que atingem um pico máximo em torno do meio dia local, e depois seguem um comportamento normalizado. O espectro de PPD detecta ainda algumas variações para SMS, na banda de período de 400-600s, em torno do meio dia local e depois se normaliza.

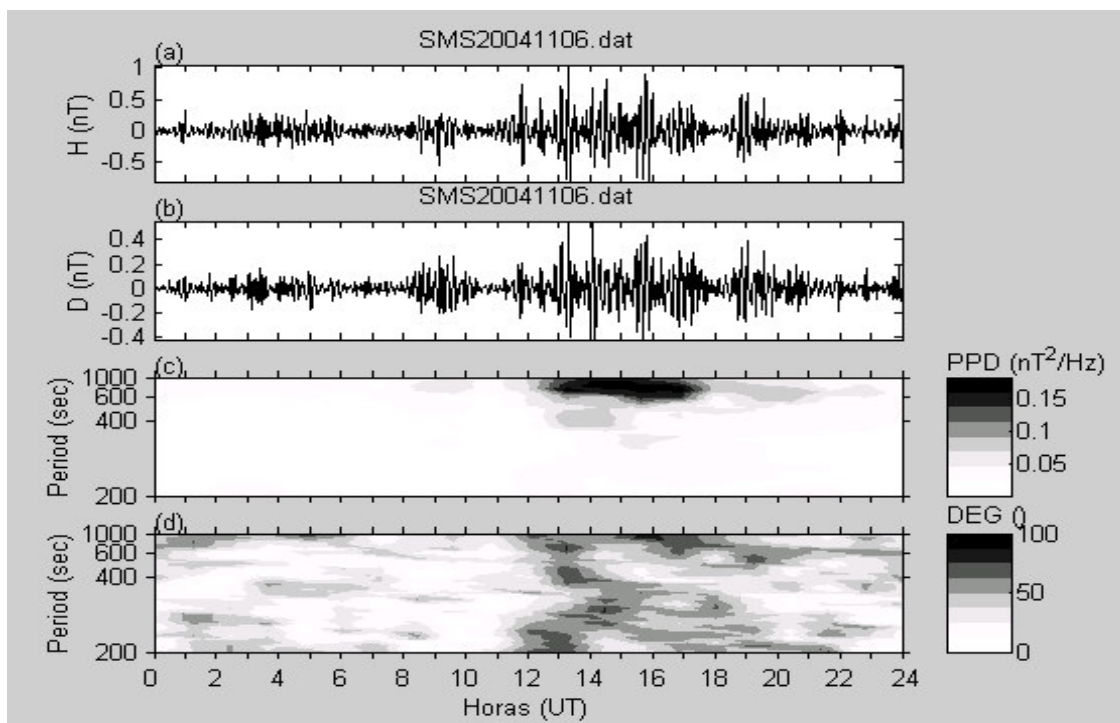


Figura 28 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 6 de novembro, na Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

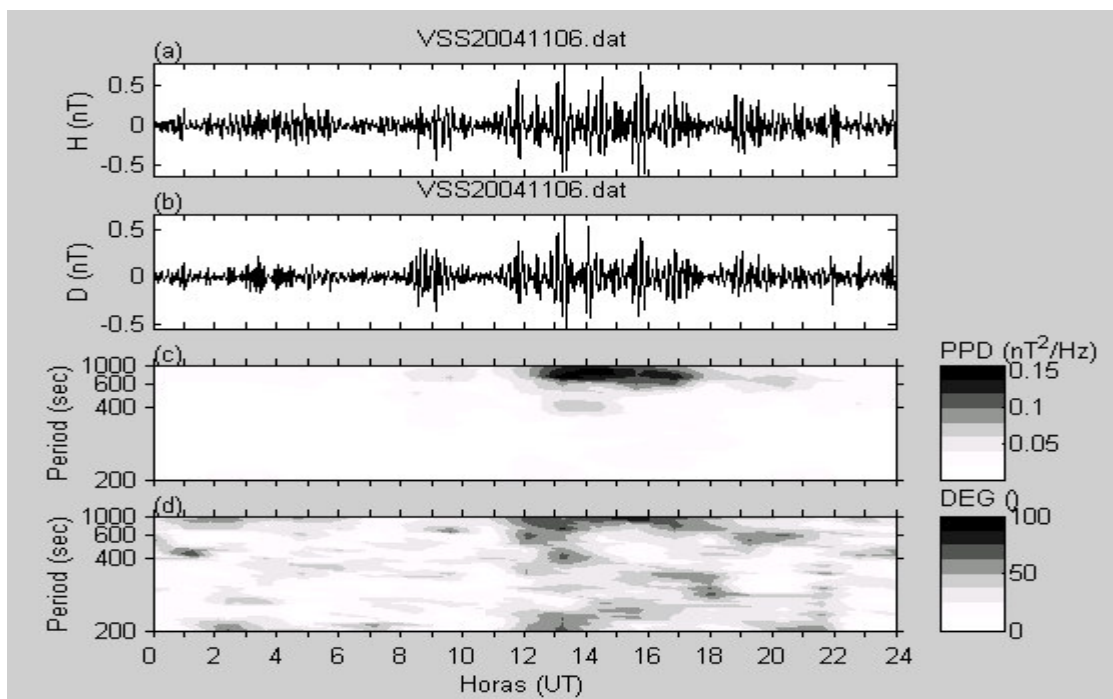


Figura 29 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 6 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

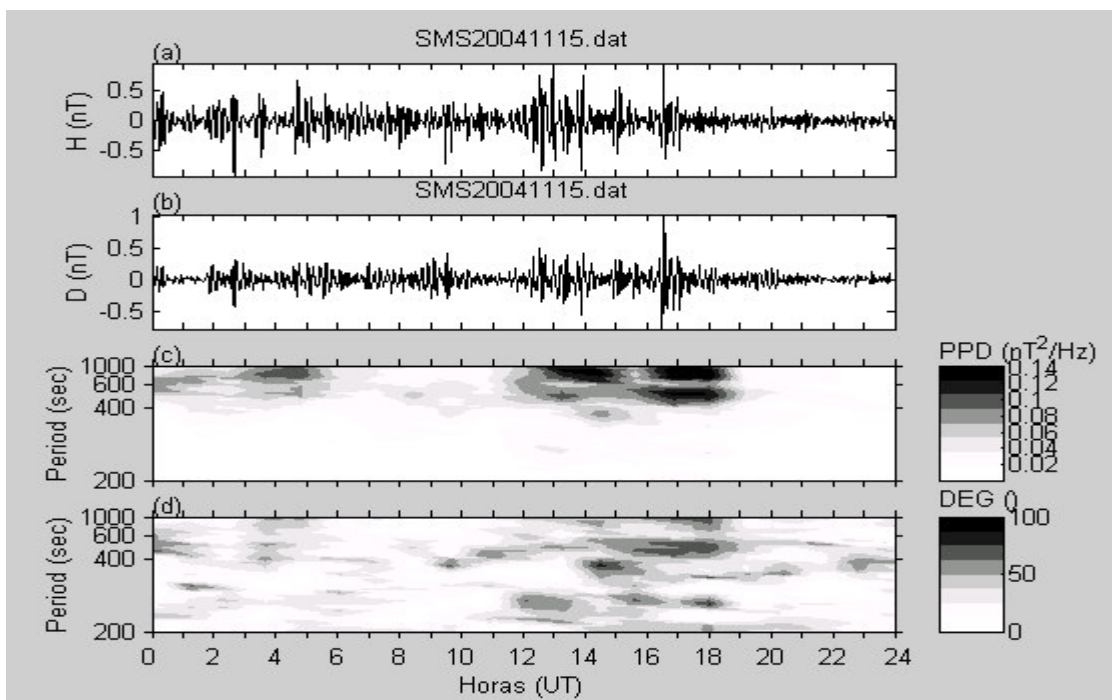


Figura 30 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 15 de novembro, na Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

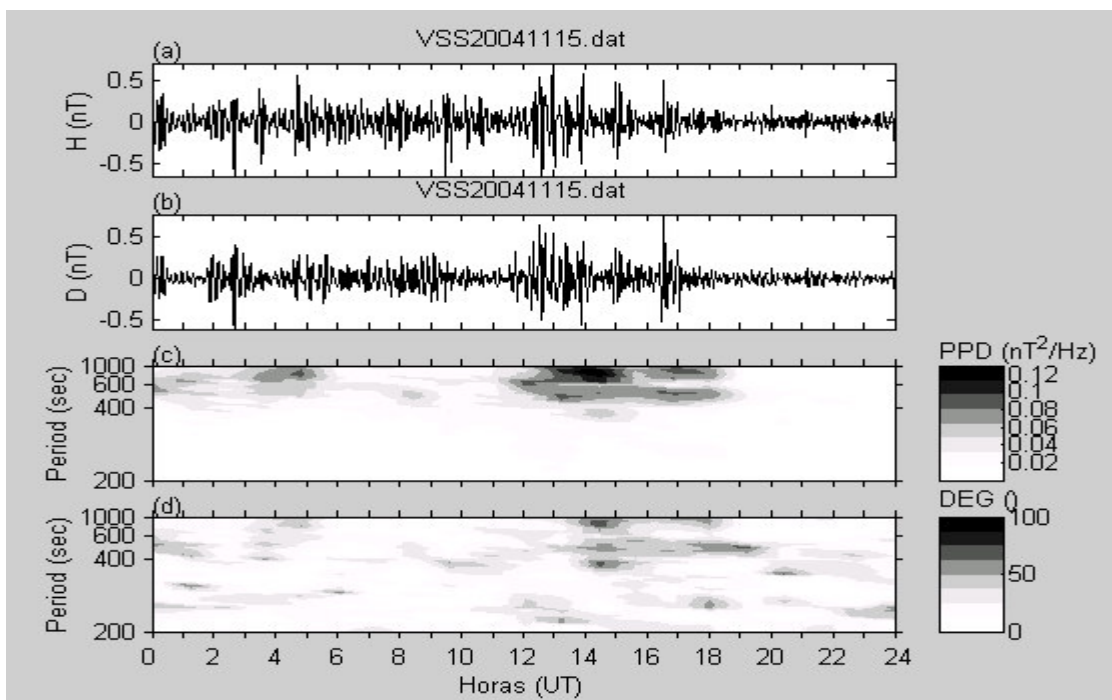


Figura 31 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 15 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

Foi observado, também, nas Figuras 32-43 a atividade intensa de pulsações no período de 16:40 UT a 06:00 UT em 7-8 novembro 2004 e de 18:40 UT a 04:40 UT em 9-10 novembro 2004. Nós sujeitamos os dados de H e de D para estes dois intervalos do tempo a uma análise espectral e computamos parâmetros da polarização das pulsações. Uma tentativa é feita de explicar os resultados devido às diferenças grandes de valores da declinação nas duas estações e também à presença da AMAS.

Nas filtragens digitais se excluiu a componente Z , por ela ter grande contribuição da componente induzida da Terra e não variações de fontes externas ao Planeta. Os dados de SMS e de VSS são analisados durante todas as horas dos dias da tempestade.

O algoritmo utilizado para confeccionar os gráficos detectou as variações de períodos longos na faixa de 180 a 900 segundos. De cima para baixo, os dois primeiros gráficos – $H(nT)$ e $D(nT)$ – medem as Pc5-Pc6, o terceiro gráfico – PPD – mede a densidade de potência polarizada e o ultimo gráfico mede o grau de polarização – DEG – ou *degree of polarization*.

Analizando o espectro das 24 horas do dia 7 de novembro em SMS, percebemos que os primeiros sinais de Pc5-Pc6 são detectados perto das 11:00 UT, representando o começo da tempestade. O gráfico PPD é sensibilizado num período de aproximadamente 550-650 s, enquanto que o gráfico DEG mostra um grau de polarização em torno de 70%, na banda de período entre 200-1000s. Em torno das 18:00 UT os quatros gráficos, de SMS e VSS, detectam um aumento abrupto em suas medidas. As componentes H e D atingem picos característicos das Pc6. Pode-se ver que o espectro mostra potências significativas na banda de período de 400 a 1000s, com um grau de polarização de onda próximo a 100%.

Grandes perturbações nas componentes H e D no período das 00:00 a 04:40 UT, com picos característicos de Pc5-6 são observados no dia 8 de novembro de 2004, ver figuras 34-38. Importante observar que a variação da componente H para SMS apresenta variações maiores. O espectro de potencia PPD é sensibilizado nesse intervalo numa banda de período de 400-900s, enquanto que o DEG apresenta um grau de polarização em torno de 50%.

No dia 9 de novembro, a tempestade se estabiliza até em torno das 16:00 UT, começando aí uma nova fase de variações durando até as 04:00 UT do dia 10 de novembro, com pode ser verificado nas Figuras 36-37. O primeiro pico, típico de Pc5-6, é detectado nas componentes *H* e *D* próximo as 19:00 UT, continuando até as 04:00 UT do dia 10 de novembro. O espectro PPD é sensibilizado em torno das 11:30 UT do dia 9 até as 04:00 UT do dia 10 de novembro num período de 400-1000s. O grau de polarização de onda DEG, para esse período, atinge 100% na banda de período de 300-400s do dia 10 de novembro.

Após as 04:00 UT do dia 10 de novembro, Figuras 38-39, o espectro da componente *H* volta a detectar precipitações significativas em torno das 17:30 UT, enquanto que a componente *D* continua detectando variações mais intensas até atingir um pico em torno das 17:30 UT. O espectro PPD é levemente sensibilizado no período das 17:00-19:00 UT e o espectro DEG apresentando um grau de polarização, para esse intervalo, em torno de 50% na banda de período de 600-1000s.

A tempestade volta a mostrar precipitações intensas no dia 11 de novembro, Figuras 40-41, com um pico característico de Pc6 às 22:00 UT, sensibilizando fortemente o espectro PPD na banda de período de 600-1000s, onde o grau de polarização DEG para esse período atinge 100%.

Analisando o espectro das 24 horas do dia 12 de novembro em SMS, ultimo dia da tempestade, variações Pc5-Pc6 são detectadas em torno das 08:00 UT, permanecendo intensa por aproximadamente duas horas. O gráfico PPD é sensibilizado num período de aproximadamente 600-1000 s, enquanto que o gráfico DEG mostra um grau de polarização DEG em torno de 50%, na banda de período entre 200-1000s.

Em torno das 18:00 UT os quatros gráficos começam a detectar variações típicas de dias magneticamente calmos, indicando o fim da tempestade.

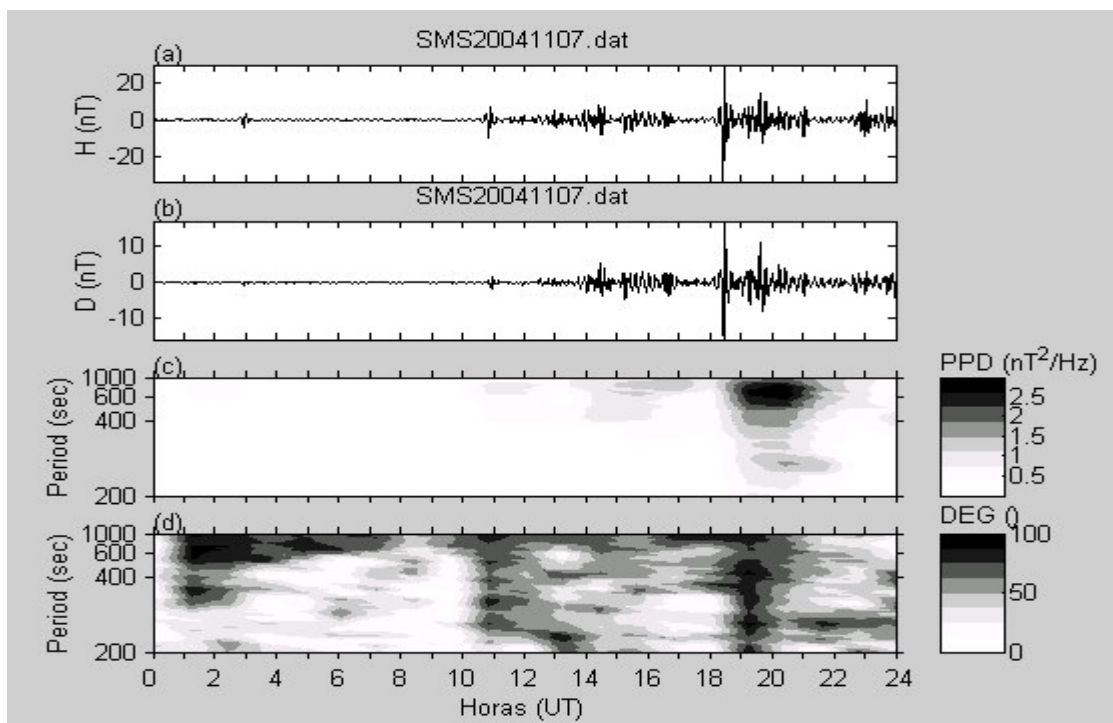


Figura 32 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 7 de novembro, para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

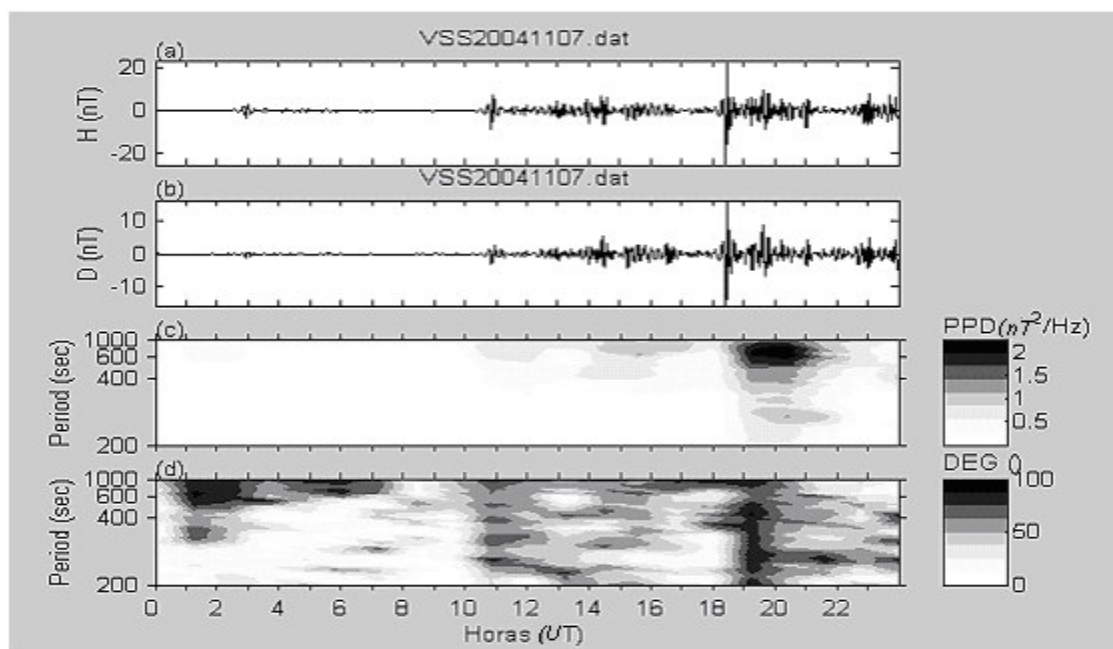


Figura 33 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 7 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

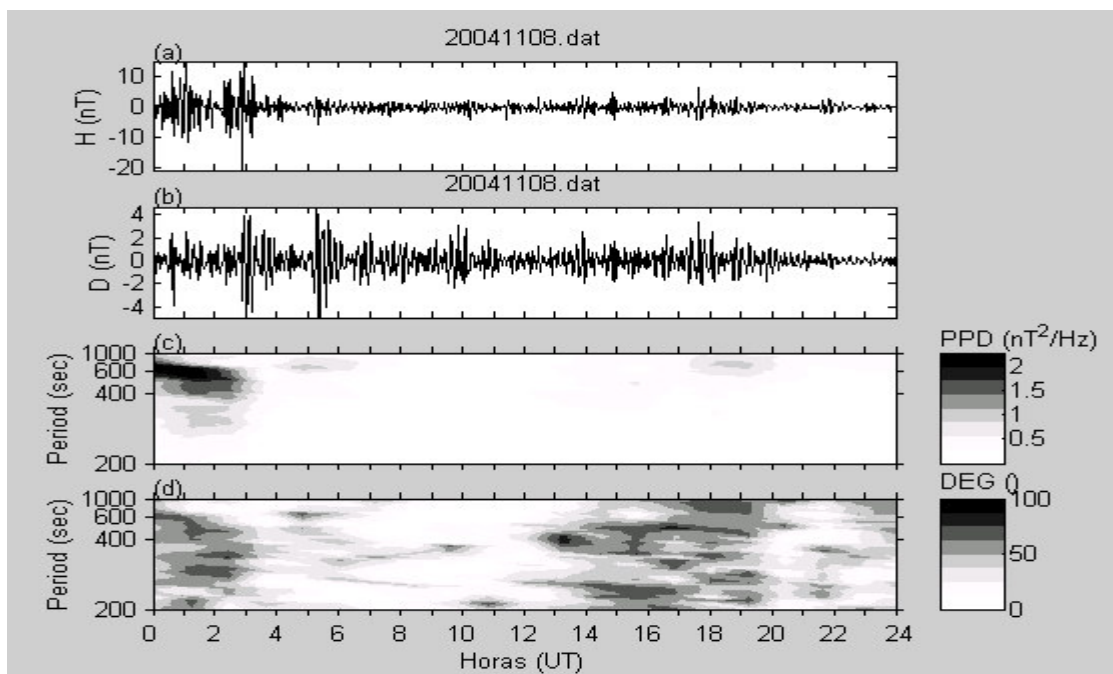


Figura 34 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 8 de novembro, para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

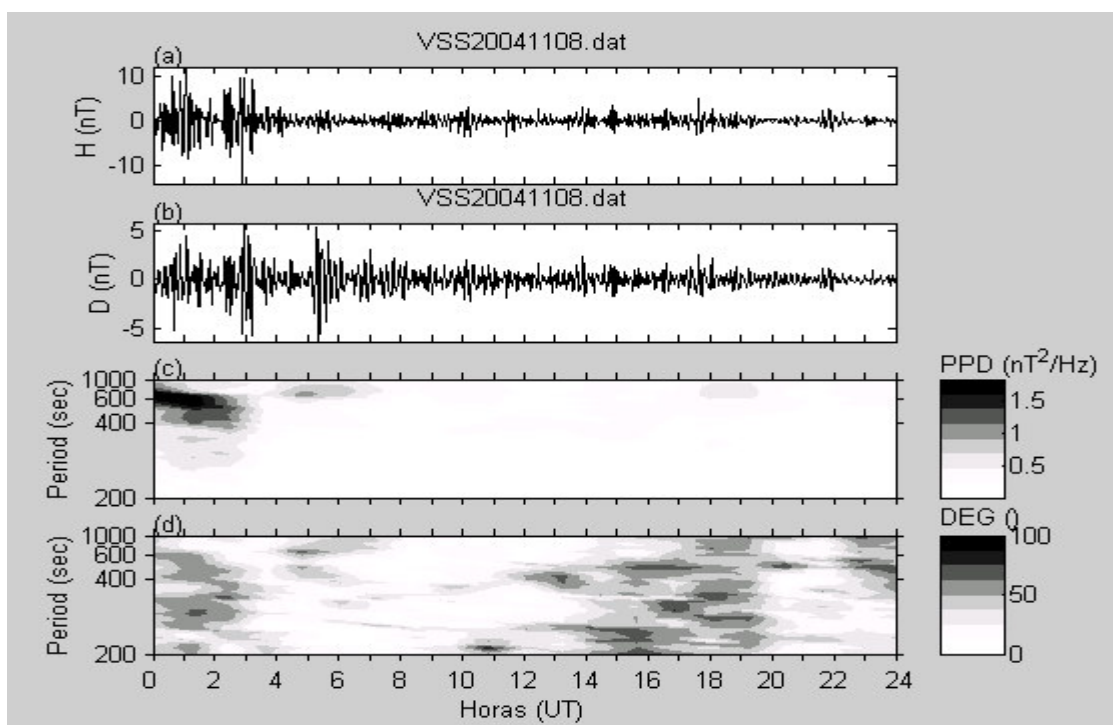


Figura 35 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 8 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

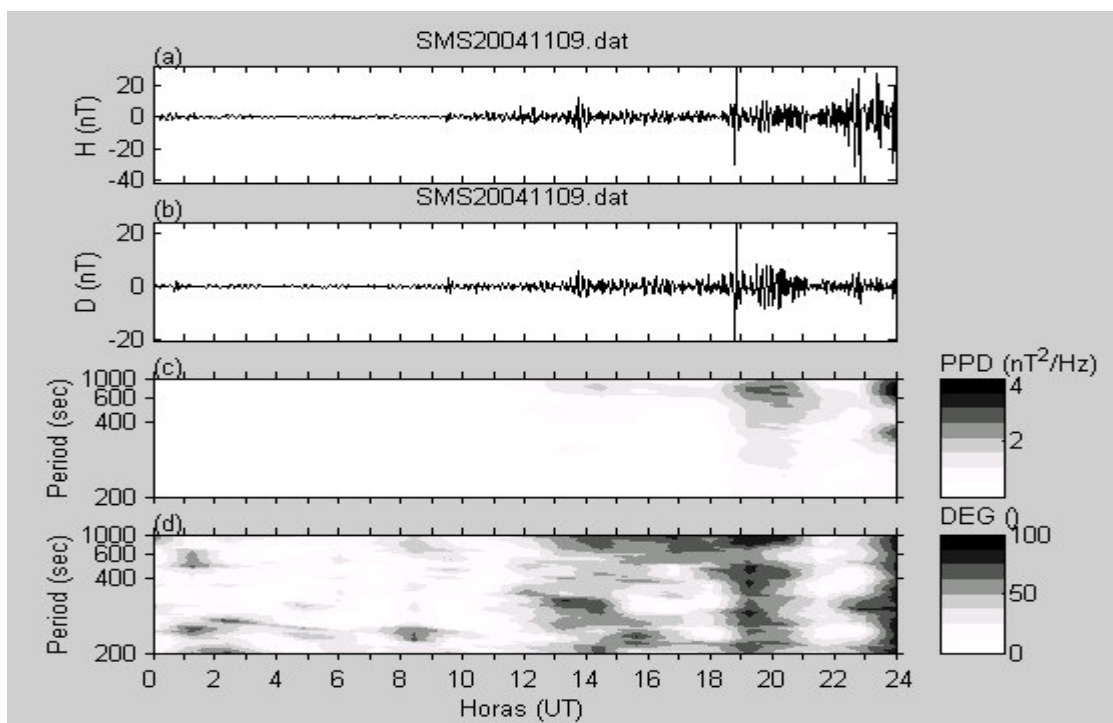


Figura 36 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 9 de novembro, para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

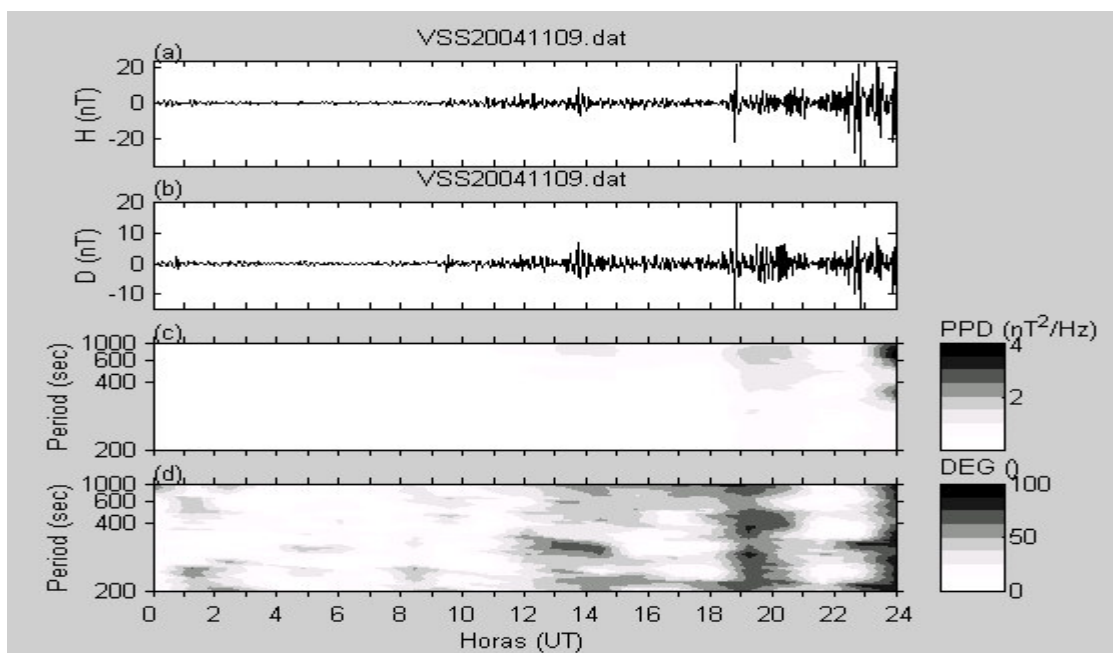


Figura 37 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 9 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

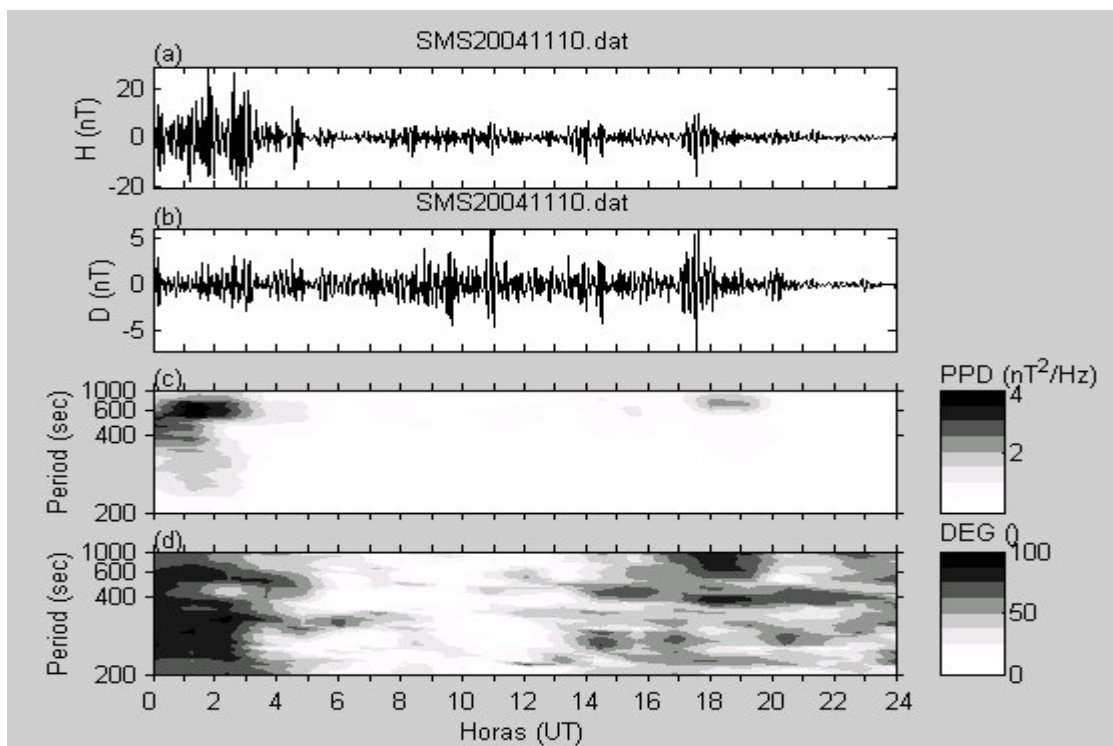


Figura 38 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 10 de novembro, para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

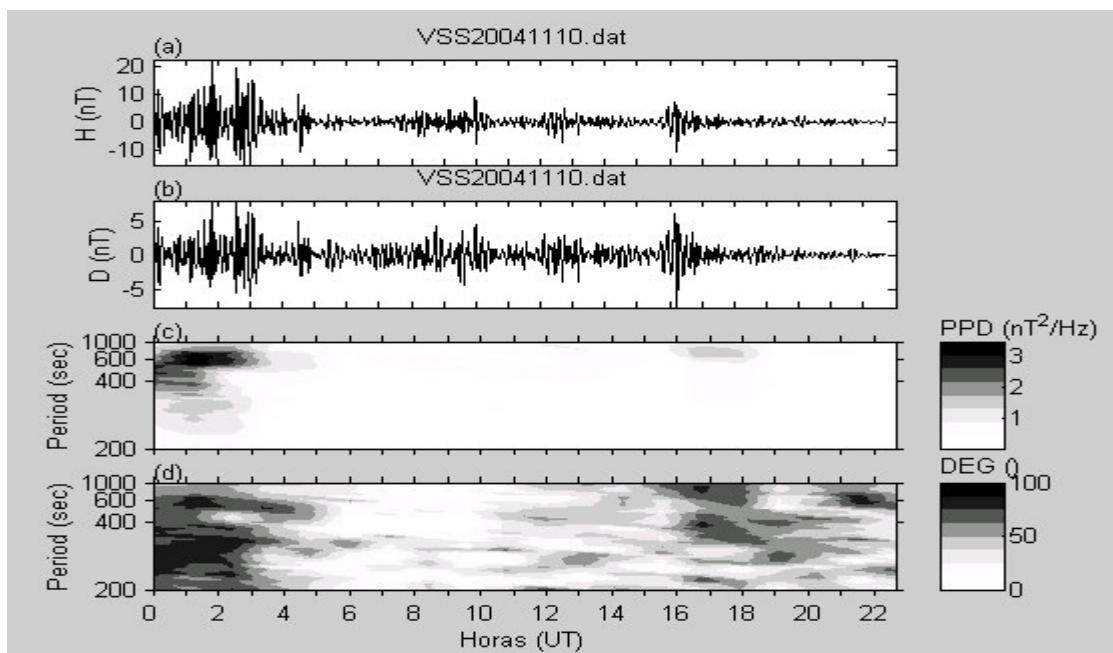


Figura 39 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 10 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

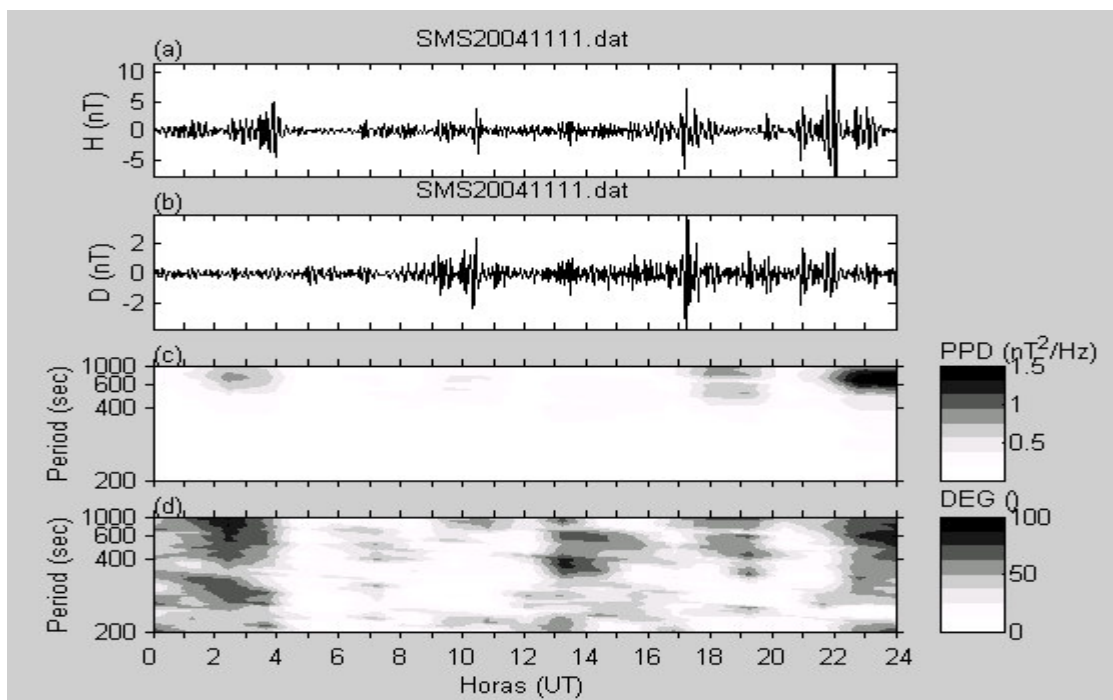


Figura 40 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 11 de novembro para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

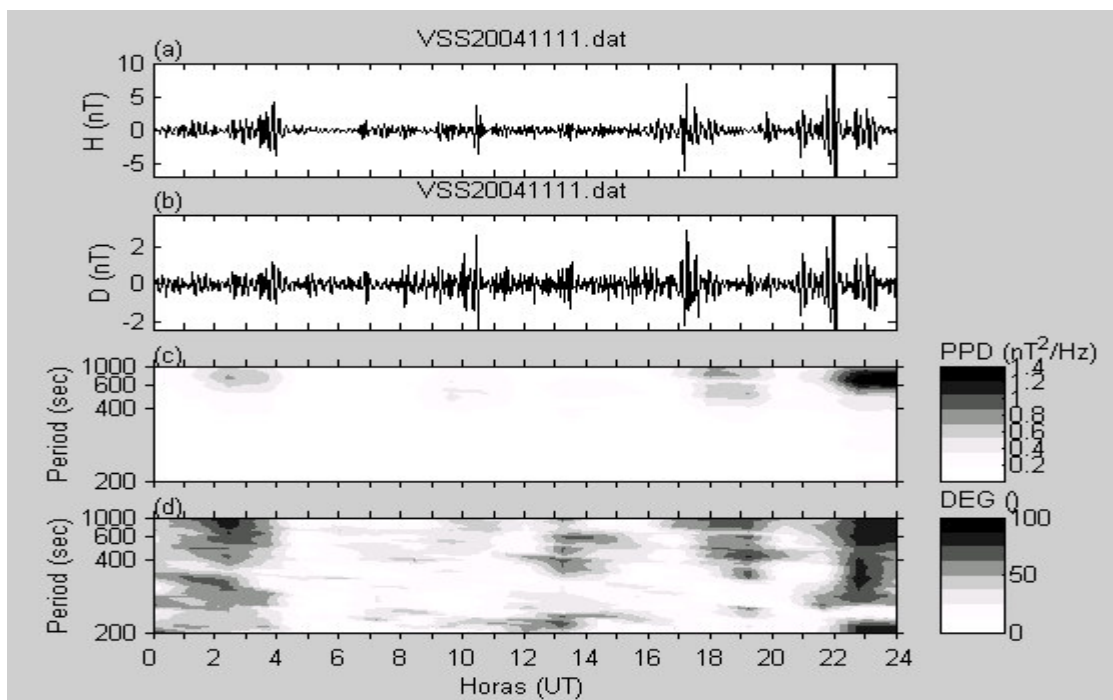


Figura 41 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 11 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

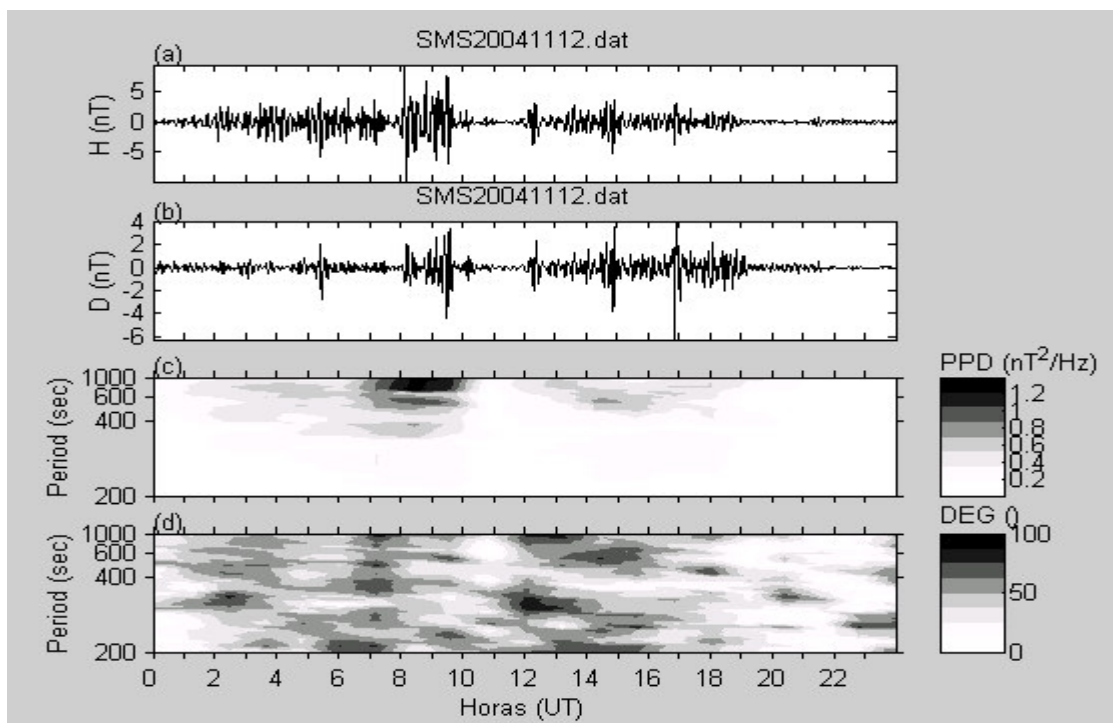


Figura 42 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 12 de novembro, para a Estação Magnética SMS, do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

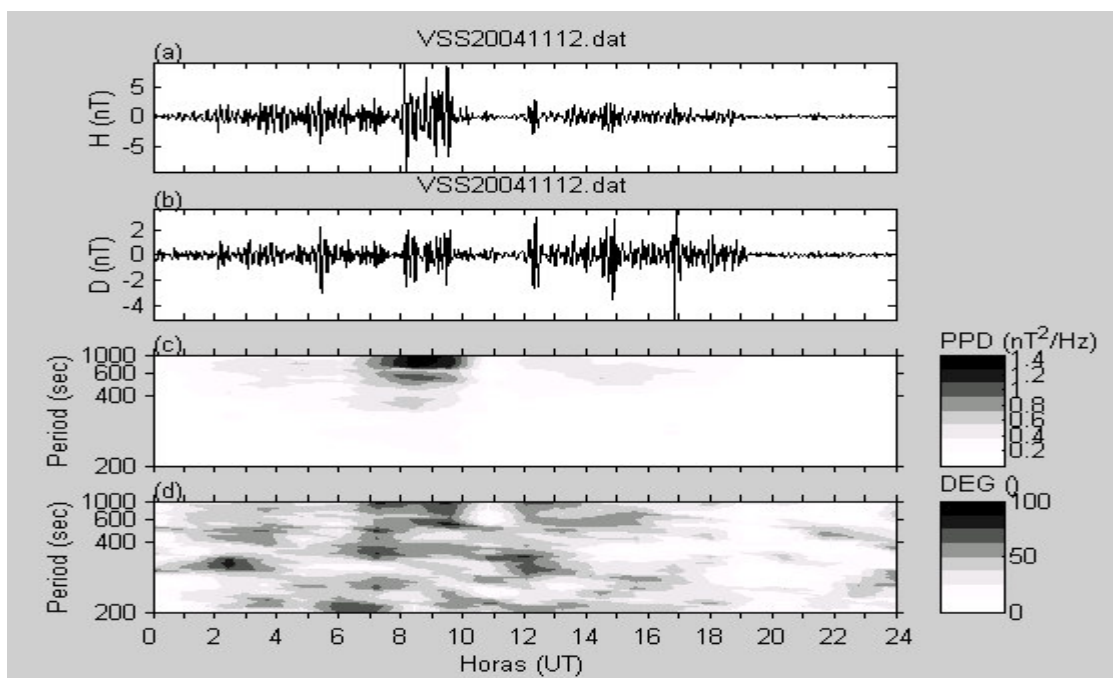


Figura 43 – Análise espectral das componentes H e D e o comportamento da densidade de potência polarizada (PPD) e o grau de polarização (DEG) em 12 de novembro, para o Observatório Magnético de Vassouras (VSS).

Para melhor visualizar o comportamento de todo o período da tempestade se fez dois gráficos, Figuras 44-45, para as componentes H e D , onde se percebe a magnitude da tempestade a partir do dia 7 de novembro até o fim da tempestade, no dia 12 de novembro.

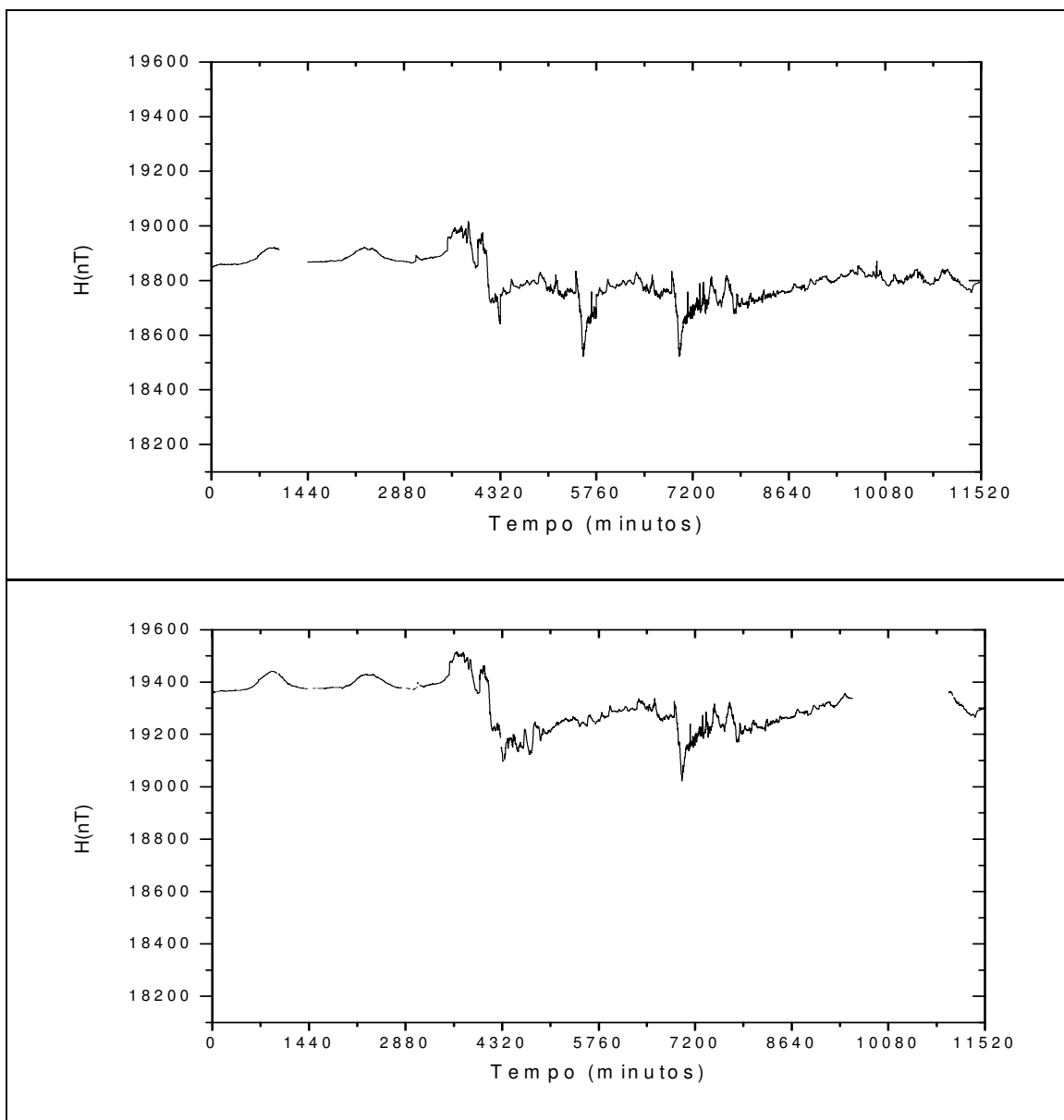


Figura 44 – Variação da componente H nas Estações Magnéticas do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT (SMS) (gráfico superior) e do Observatório Magnético de Vassouras do Observatório Nacional VSS – ON, no período de 05-12 de novembro de 2004.

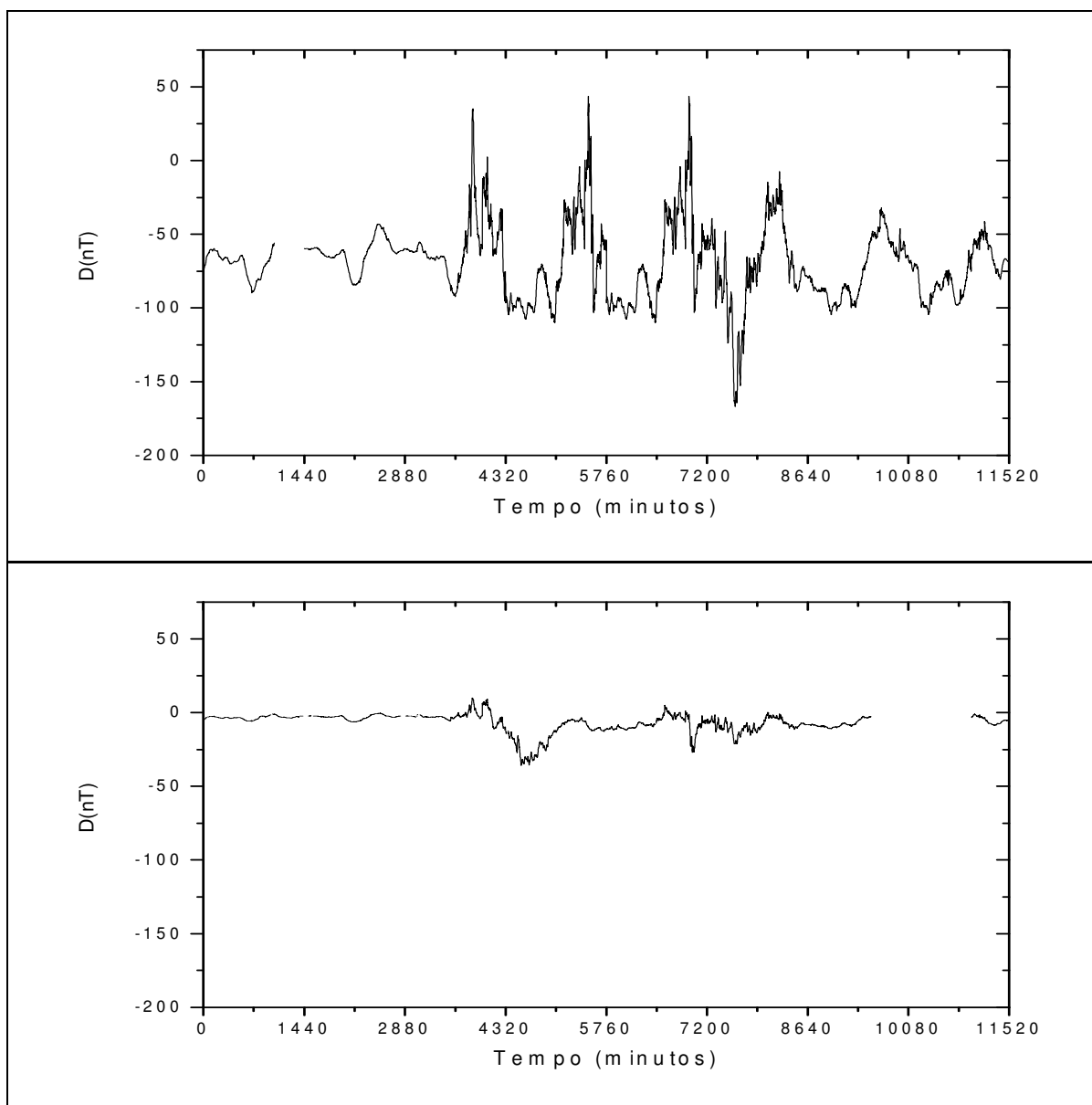


Figura 45 – Variação da componente D nas Estações Magnéticas do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT (SMS) (gráfico superior) e do Observatório Magnético de Vassouras do Observatório Nacional VSS – ON, no período de 05-12 de novembro de 2004.

5.0 Atividades Futuras

Com o desenvolvimento das disciplinas do Curso de Física Licenciatura Plena na UFSM, principalmente no que diz respeito à parte de Eletromagnetismo, o bolsista pretende melhorar o embasamento teórico referente aos processos físicos envolvidos na obtenção e análises dos dados do *fluxgate*, para compreensão da conversão de dados com o uso da série de Fourier, bem como assimilar o funcionamento da estrutura eletromecânica do magnetômetro. Pretende, ainda, estender os conhecimentos relativos aos processos físicos de aceleração das partículas energéticas carregadas eletricamente nos cinturões de Van Allen, externa e internamente, causados pelas pulsações geomagnéticas e, também, dar continuidade ao projeto da bolsa PIBIC realizando atividades básicas na operação da Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, (SMS) em São Martinho da Serra, bem como detectar as pulsações e comparar suas características com outras estações fora da AMAS, instaladas na superfície terrestre e em plataformas espaciais e em períodos diversos da atividade solar (ciclo solar). A partir desses dados coletados em SMS, vários trabalhos de iniciação científica serão preparados, visto que os resultados aqui obtidos são de natureza única em escala Global.

6.0 Conclusão

As variações do campo magnético da Terra têm origens interna e externa ao Planeta. A variação de caráter interno é denominada secular por comportar-se quase que estavelmente. A variação externa depende principalmente da atividade do Sol e pode apresentar variação em escala temporal de dias, horas, minutos e segundos. As variações de curta escala foram detectadas pelo magnetômetro *fluxgate* instalado no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, (SMS) em São Martinho da Serra, RS.

As tempestades magnéticas, causadas por explosões solares, causam variações repentinas nas três componentes magnéticas (H , D e Z), principalmente na componente H . Devido ao fato de que a Estação Magnética de coleta de dados SMS está localizada próximo do centro da AMAS, observa-se que as medidas apresentam maior variação quando comparadas com outras estações fora dessa região.

A partir do evento magnético analisado neste relatório, uma tempestade geomagnética ocorrida no período de 7 a 12 de novembro de 2004, pode-se detectar pulsações de períodos longos conhecidos na literatura como Pc5–6/Pi3. As Pc5 compreendem as pulsações entre 150 a 600 segundos e as Pc6 acima de 600 segundos até 1.000 segundos. Utilizando-se uma filtragem digital – um filtro tipo passa-banda com a função de analisar somente as pulsações numa faixa de 180 a 900 segundos – foi possível detectar picos de variação em nível Pc5 e Pc6 e a potência espectral associada;

Com a análise espectral no período de 07-12 de novembro para as Estações Magnéticas VSS e SMS, verificou-se que a tempestade magnética apresentou variações mais intensas na componente H na estação SMS, com Pc5 e Pc6 atingindo picos maiores na escala de nanoteslas (nT). A densidade de potência polarizada e o grau de polarização atingiram valores máximos durante a tempestade para a filtragem espectral feita, com os graus de polarização próximos a 100% e potências bastante intensas na banda de período de 600-1000s (Figuras 38-39). E, ainda, os espectros e a polarização também apresentaram sensibilizações maiores para a Estação SMS, do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

A amplitude das pulsações contínuas ou irregulares encontradas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul depende da condutividade ionosférica. Quando os elétrons provenientes dos cinturões de Van Allen se precipitam na ionosfera da Anomalia, ocorre uma maior presença de pulsações contínuas e impulsivas, aumenta a condutividade ionosférica e conseqüentemente aumenta as amplitudes das pulsações. Assim os eventos das pulsações acompanhados de precipitação de elétrons têm amplitudes maiores no centro da Anomalia comparada com as variações geomagnéticas observadas fora dessa região. Por isso as pulsações têm amplitudes maiores na região de São Martinho da Serra (SMS), RS, quando comparadas à Vassouras (VSS), RJ.

7.0 Bibliografia

- Amarante, J.A.A. Tópicos gerais sobre geomagnetismo e estudo sobre a ocorrência de micropulsações em São José dos Campos. Conselho Nacional de Pesquisas, São José dos Campos, SP, Brasil. Relatório Interno CNAE-LAFE-048, 1966.
- Campbell, W.H. Introduction to Geomagnetic Fields. Cambridge University Press, 1997.
- Dutra, S.L.G. Noções Básicas de Geomagnetismo. INPE, São José dos Campos, dezembro de 2004 (texto preliminar).
- Jacobs, J.A.; Kato, Y.; Matsushita, S.; Troitskaya, V.A. Classification of Geomagnetic Micropulsations. Journal of Geophysical Research, **69**(1):180–181, Jan. 1964.
- National Geophysical Data Center – NGDC, Boulder, CO,
ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/
- Pinto, O., Jr., Gonzalez, W.D. Anomalia magnética Brasileira. INPE, São José dos Campos, 1989.
- Samson, J.C. Geomagnetic Pulsations and Plasma Waves in the Earth's Magnetosphere. In: Jacobs, J.A. ed., Geomagnetism, London, Academic Press, **4**:481–592, 1991.
- Thomson, D. J. Spectrum Estimation and Harmonic Analysis. IEEE Proc., **70**(9):1055–1096, 1982.
- Zanandrea, A. Estudo das Micropulsações Geomagnéticas em Latitudes Muito Baixas, no Brasil. INPE, São José dos Campos, 1999.
- Zanandrea, A. Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria – RS. INPE, São José dos Campos, maio de 1994.



8.0 - Anexo 1

Trabalhos de Iniciação Científica em que o Bolsista publicou como autor e co – autor.

Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 01204, 2005
SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-01204
© European Geosciences Union 2005



Geomagnetic storm - time variations in the South Atlantic Anomaly region

E. F. Berra (1,3), E. Frigo (1,3), E. Andrighetto (1,3), C. E. Antunes (1,3), N. B. Trivedi (2,4), S. L. G. Dutra (2), N. J. Schuch (3)

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil, (2) National Institute for Space Research, São José dos Campos, SP, Brazil, (3) Southern Regional Space Research Center, Santa Maria, RS, Brazil, (4) Partnership FURNAS/FATEC, Santa Maria, RS, Brazil
(efb@lasesm.ufsm.br) / Fax: +55-55-2208021

Geomagnetic variations in the horizontal components H (North-South) and D (East-West) during the large geomagnetic storm of 7 to 10 November 2004 are studied from the data collected at the stations São Martinho da Serra – SMS (29.43° S, 53.82° W and 33° dip) and Vassouras – VSS (22.40° S, 43.65° W and 33° dip). We have observed small amplitude differences in the H variations and larger amplitude differences in the D variations between the two stations. We observed intense pulsation activity from 16:40 UT to 06:00 UT on 7-8 November 2004 and from 18:40 UT to 04:40 UT on 9-10 November 2004. We subjected the H and D data for these two intervals of time to a spectrum analysis and computed polarization parameters of the pulsations. The results are presented and discussed. An attempt is made to explain the results due to the large differences of declination values at the two stations and also the presence of South Atlantic Magnetic Anomaly.

**MONITORAMENTO CONTÍNUO DO CAMPO
MAGNÉTICO TERRESTRE na REGIÃO DA ANOMALIA
MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL - AMAS**

**CONTINUOUS MONITORING OF EARTH'S MAGNETIC FIELD
IN THE REGION OF SOUTH ATLANTIC
MAGNETIC ANOMALY - SAMA**

**Everton Frigo^{a,c}, Eduardo Andrighetto^{a,c}, Jairo Francisco Savian^{a,c},
Elias Fernando Berra^{a,c}, Severino Luiz Guimarães Dutra^b,
Nalin Babulal Trivedi^b, Nelson Jorge Schuch^c**

^aUniversidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria LACESM/CT/UFSM, Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970

Santa Maria, RS, Brasil
everton@lacesm.ufsm.br

^bInstituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

^cCentro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria, RS, Brasil.

RESUMO

As pulsações geomagnéticas são geradas pela interação do Plasma Solar com o Campo Magnético Terrestre e as variações regulares diurnas são geradas pelas correntes elétricas S_q que fluem na Ionosfera Terrestre. Nesse trabalho objetiva-se estudar as pulsações geomagnéticas na faixa de 10 a 1000 segundos e as variações regulares diurnas com períodos de 24 horas, observadas na região da AMAS. Para realizar medidas das três componentes ortogonais do Campo Geomagnético, (H, D e Z), utiliza-se magnetômetros do tipo “Fluxgate” com uma taxa de aquisição a cada 2 segundos, na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES / CRSPE / INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS (29.43 S, 53.80 W), localizada nas proximidades do centro da AMAS, onde se observa a menor intensidade do Campo Magnético Terrestre, e na Estação do Observatório Geomagnético de Vassouras, RJ (22.40 S, 43.65 W), localizada na borda da AMAS. Através da análise dos dados geomagnéticos de São Martinho da Serra, RS, e de Vassouras, RJ, observa-se o fenômeno de precipitação de partículas carregadas – elétrons e prótons – mesmo em períodos magneticamente calmos, o que ocasiona um aumento na condutividade da Ionosfera Terrestre sobre a região da AMAS. Estes fenômenos ocorrem devido à baixa intensidade do Campo Magnético Terrestre na região da AMAS.