

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
OBSERVATÓRIO NACIONAL  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**ESTUDOS DE PERTURBAÇÕES GEOMAGNÉTICAS EM  
ESTAÇÕES LOCALIZADAS EM BAIXAS LATITUDES.**

VINÍCIUS JOSÉ OLIVEIRA WERNECK DE CARVALHO

RIO DE JANEIRO – BRASIL

30 DE ABRIL DE 2014

VINÍCIUS JOSÉ OLIVEIRA WERNECK DE CARVALHO

**ESTUDOS DE PERTURBAÇÕES GEOMAGNÉTICAS EM  
ESTAÇÕES LOCALIZADAS EM BAIXAS LATITUDES.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós Graduação em Geofísica do Observatório Nacional, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre Geofísica.

Orientador: Dr. Luiz Carlos de Carvalho Benyosef

RIO DE JANEIRO – BRASIL

30 DE ABRIL DE 2014

"ESTUDOS DE PERTURBAÇÕES GEOMAGNÉTICAS EM ESTAÇÕES  
LOCALIZADAS EM BAIXAS LATITUDES"

VINICIUS JOSÉ OLIVEIRA WERNECK DE CARVALHO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM GEOFÍSICA.

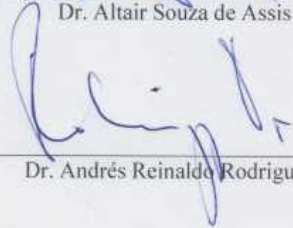
Aprovada por:



Dr. Luiz Carlos de Carvalho Benyosef – ON/MCTI  
(orientador)



Dr. Altair Souza de Assis – UFF



Dr. Andrés Reinaldo Rodríguez Papa – ON/MCTI

RIO DE JANEIRO – BRASIL

30 DE ABRIL DE 2014

## **DEDICATÓRIA:**

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, por permitir que fosse finalizada.

Dedico também à minha família e à minha noiva Fernanda, pessoa com quem amo dividir a vida. Obrigado pelo amor, carinho, paciência e ajuda e por proporcionar paz à correria do meu dia a dia.

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradeço primeiramente a Deus por permitir toda a minha caminhada até aqui. Agradeço também aos professores do Observatório Nacional, a CAPES, ao projeto REBOM e aos técnicos Ronaldo Marins de Carvalho, Elizabeth da Cunha Lima e Carlos Roberto Germano, do Grupo de Geomagnetismo do Observatório Nacional que conduziram as medições contribuíram com seus ensinamentos e conhecimento, que puderam compor o trabalho. Em especial ao meu Orientador, o Professor Doutor Luiz Carlos Benyosef, por seus ensinamentos, apoio, confiança e paciência ao longo da supervisão de minhas atividades.

“A vitória está reservada para aqueles que estão dispostos a pagar o preço.”

—Sun Tzu

## RESUMO

O campo magnético da Terra apresenta variações abrangendo um espectro relativamente grande em período/frequência. As variações de curto período têm origem externa e podem ser da ordem de frações de segundos, enquanto as variações de longo período têm origem interna e período superior a meses.

A variação diurna ( $S_d$ ) na região equatorial diverge bastante das similares obtidas em diferentes latitudes. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos em seis locais situados em diferentes latitudes e distribuídos perpendicularmente ao dip equatorial ( $I=0$ ). Um deles está situado exatamente no Equador Magnético ( $DIP=0$ ). Destes, 5 (cinco) são estações magnéticas e o outro é Observatório Magnético de Tatuoca (TTB), situado na mesma região.

O objetivo deste trabalho é comparar os registros da Variação Diurna ( $S_d$ ) obtidos nas estações magnéticas situadas acima e abaixo do dip equatorial ( $I=0$ ). Foram analisadas as variações das componentes horizontal ( $H$ ) e vertical ( $Z$ ) do campo geomagnético total ( $F$ ) e os correspondentes índices de caracterização geomagnética ( $K_p$  e  $A_p$ ).

Palavras-chave:

Campo Magnético, Eletrojato Equatorial, Pulsações Geomagnéticas, Variação Diurna, Componente H, Componente Vertical Z.

## ABSTRACT

The Earth's magnetic field shows variations covering a relatively large range in period / frequency. Changes in external source are short and may be on the order of fractions of seconds, while the variation over time and are internally sourced than months.

The diurnal variation (Sd) in the equatorial region differs greatly from Similar obtained at different latitudes. The data used in this study were obtained at six sites located at different latitudes and distributed perpendicularly to the equatorial dip ( $I = 0$ ). One of them is located exactly in Ecuador Magnetic (PID = 0). Of these, 5 (five) stations are magnetic and the other is Tatuoca Magnetic Observatory (TTB), located in the same region.

The objective of this study is to compare the records of Diurnal Variation (Sd) obtained in magnetic stations located above and below the equatorial dip ( $I = 0$ ). Variations in the horizontal (H) and vertical component (Z) of the total geomagnetic field (F) and the corresponding indices characterizing geomagnetic (Ap and Kp) were analyzed.

Keywords:

Magnetic Field, Equatorial Electrojet, Geomagnetic Pulsations, Diurnal Variation, Component H, Component Vertical Z.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES:

**Figura.1.1.** Explicação da variação da direção do campo magnético sobre a Terra em função da latitude de acordo com Gilbert, em seu tratado De Magnete em 1600.

**Figura.1.2.** Representação do Campo Geomagnético, (Steele Hill/NASA).

**Figura 1.3.** Elementos do campo geomagnético.

**Figura 1.4.** a) Carta magnética da componente X. b) Carta magnética da componente Y. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).

**Figura 1.5.** a) Carta magnética da componente Z. b) Carta magnética da componente H. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).

**Figura 1.6.** Carta magnética da Intensidade Total (F). (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field - IGRF-11)).

**Figura 1.7.** a) Carta magnética de declinação D. b) carta magnética de inclinação I. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).

**Figura 1.8.** a) 09h42min - ssc - Inicia-se a tempestade imediatamente após o impulso súbito. b) 10h36min - ssc – semelhante a anterior. c) 20h27min - ssc - Horas mais tarde começa a fase principal da tempestade. d) 13h50min tempestade - gc – Tempestade começa gradualmente, sem ocorrer ssc's. e) 20h27min - si – Quase não há aumento na atividade (SI). f) 11h48min - si – semelhante a anterior. [5]

**Figura 1.9.** a) 09h22min - ssc\* - Impulso principal seguido de um pequeno impulso no sentido oposto. b) 07h15min - ssc – Impulso principal seguido de pequenas oscilações. c) 00h36min ssc\* - Tempestade sobreposta a anterior. [5]

**Figura 1.10.** a) 05h06min - si (sudden impulse) – Ocorre um impulso súbito sem que haja o início de outra tempestade. b) 10h38min - ssc\* 12h01min ssc, dois inícios bruscos de uma tempestade, quando um deles for duvidoso, registramos como si. [5]

**Figura 1.11.**a)18h09min, 17h10min e 16h15min – Registradas como b por serem de categoria A. b) Não foram registradas por serem de categoria B ou C. c) Pulsações a menos de 10 min do início. d) Pulsações a 21h52min bp. e) 21h41min bp – Pulsações a menos de 10 min do início. f) 21h33min bp: Este tipo de baía deve ser registrada, embora de categoria B ou C, por ser do tipo bp's. g) 21h17min bp: Este tipo de baía deve ser registrada, embora de categoria B ou C, por ser do tipo bp's. h) 23h46min bs. i) 23h30min bps. j) 23h46min bps. k) 23h57min bs (não bps) – Não assinalar bps porque as pulsações estão a mais 10 min do início. [5]

**Figura 1.12.** Os exemplos são extraídos de casos confirmados por observação direta de erupções solares, possui um aspecto que dá origem a confusões de interpretação. [5]

**Figura 1.13.** a) Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600. b) Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700. c) Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1800.d) Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900. e) Variação Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000.

**Figura 1.14.** Localização do eletrojato equatorial a nível global, (adaptado do programa do International Equatorial Electrojet Year – Brazilian Participation (1991)).

**Figura 1.15.** Ocorrência do CEJ em função do número de manchas solares.

**Figura 1.16.** Bússola antiga.

**Figura 1.17.** Determinação da declinação magnética pela bússola de acordo com os elementos do campo geomagnético (figura 1.3).

**Figura 1.18.** Bússola aeronáutica moderna com precisão de 1°.

**Figura 1.19.** Exemplo de sensor Fluxgate LDSM/ON

**Figura 2.1.** Figura 2.1. Mapa magnético da Terra, destacando a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Detalhe para as marcações estreladas, mostrando as posições dos observatórios magnéticos espalhados pelo Planeta. Fonte: NASA.

**Figura 3.1.** Localização das estações nos estados e valores de Inclinação Magnética.

**Figura 3.2.** Magnetômetro Longo Período LMT Lemi 417 e painéis solar 12v / 20w.

**Figura 3.3.** Esquema elétrico de instalação e interligação do Sistema LMT.

**Figura 4.1.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, na estação de Centenário.

**Figura 4.2.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, na estação de Centenário.

**Figura 4.3.** Variação diurna do campo magnético calmo, registradas nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Carmolândia.

**Figura 4.4.** Variação diurna do campo magnético em dias perturbados, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Carmolândia.

**Figura 4.5.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará - PA.

**Figura 4.6.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará - PA.

**Figura 4.7.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Juaba-PA.

**Figura 4.8.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Juaba.

**Figura 4.9.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.

**Figura 4.10.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.

**Figura 4.11.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP.

**Figura 4.12.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí.

**Figura 4.13.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Centenário -TO.

**Figura 4.14.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Centenário -TO.

**Figura 4.15.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Carmolândia -TO.

**Figura 4.16.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Carmolândia - TO.

**Figura 4.17.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.

**Figura 4.18.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.

**Figura 4.19.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Juaba-PA.

**Figura 4.20.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Juaba-PA.

**Figura 4.21.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.

**Figura 4.22.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Tatuoca.

**Figura 4.23.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP.

**Figura 4.24.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP.

**Figura 5.1.** Variação diurna em um dia calmo, 01-09-11, nas estações de Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.

**Figura 5.2.** Variação diurna em dia calmo, em 16-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.

**Figura 5.3.** Variação diurna em dia calmo, em 23-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.

**Figura 5.4.** Variações magnéticas ( $\Delta H$ ) durante o mês de setembro registradas nas estações.

**Figura 5.5.** Variações magnéticas ( $\Delta H$ ) durante o mês de setembro registradas nas estações de Juaba-PA e Centenário-TO.

**Figura 5.6.** Amplitude do índice geomagnético (A) durante os dias analisados. (Observatório de Fredericksburg (FRD)).

**Figura 5.7.** Ocorrência de um sfe, tendo início em 20h46min e terminando em 22h34min, em tempo universal UT.

**Figura 5.8.** Ocorrência de um sfe, tendo início em 21h00min e terminando em 22h24min no tempo universal (UT).

**Figura 5.9.** Ocorrência de um sfe, tendo início em 21h00min e terminando em 22h24min em UT.

**Figura 5.10.** Variação diurna em dia perturbado, em 10-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

**Figura 5.11.** Variação diurna em dia perturbado, em 26-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em horário UT.

**Figura 5.12.** Variação diurna em dia perturbado, em 27-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

**Figura 5.13.** Gráfico comparativo entre as três estações em um dia magneticamente perturbado (10-09-11).

**Figura 5.14.** Gráfico comparativo entre as três estações em um dia magneticamente perturbado (26-09-11).

**Figura 5.15.** Variação diurna em dia calmo, em 01-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

**Figura 5.16.** Variação diurna em dia calmo, em 16-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

**Figura 5.17.** Variação diurna em dia calmo, em 23-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

**Figura 5.18.** Amplitudes médias ( $\Delta z$ ) durante o mês de setembro registrado nas estações.

## LISTA DE TABELAS:

**Tabela 1.** Tabela de classificação das pulsações geomagnéticas contínuas e de pulsações irregulares (IAGA).

**Tabela 2.** Índice  $\Sigma Kp$  em relação ao índice  $a_p$ .

**Tabela 3.** Tabela com valores de Inclinação Magnética (I) entre as estações.

**Tabela 4.** Para cada local: valores atingidos pela componente H em dias calmos (01/09/2011).

**Tabela 5.** Para cada local: valores atingidos pela componente H em dias calmos (16/09/2011).

**Tabela 6.** Para cada local: valores atingidos pela componente H em dias calmos (23/09/2011).

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 1 .....	3
1.1 GEOMAGNETISMO .....	3
1.2 CAMPO MAGNÉTICO .....	4
1.3 AS VARIAÇÕES DO CAMPO MAGNÉTICO .....	10
1.4 A VARIAÇÃO DIURNA .....	11
1.5 VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE CURTA DURAÇÃO .....	11
1.6 VARIAÇÕES SECULARES .....	15
1.7 - PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS .....	16
1.8 ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS .....	18
1.9 O ELETROJATO EQUATORIAL E O CONTRA ELETROJATO EQUATORIAL .....	20
1.10 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DO CAMPO GEOMAGNÉTICO .....	22
1.11 – MAGNETÔMETRO .....	24
1.12 – INSTRUMENTOS VETORIAIS .....	25
CAPÍTULO 2 .....	27
2.1 O CAMPO GEOMAGNÉTICO E SUAS VARIAÇÕES EM BAIXAS LATITUDES NO BRASIL .....	27
2.2 A ANOMALIA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS) NO TERRITÓRIO BRASILEIRO .....	27
CAPÍTULO 3 .....	29
3.1 AS ESTAÇÕES MAGNÉTICAS OCUPADAS .....	29
3.2 A INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA .....	30
3.3 PROCEDIMENTOS .....	31
CAPÍTULO 4.....	33
4.1 MORFOLOGIA DAS VARIAÇÕES NO PERÍODO AVALIADO .....	33
4.2 O CICLO SOLAR NO PERÍODO .....	33
4.3 VARIAÇÕES NAS COMPONENTES HORIZONTAL (H) E VERTICAL (Z).....	34
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS OBTIDOS.....	72



CONCLUSÕES:.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	89



## INTRODUÇÃO

O objetivo desta dissertação foi estudar o resultado das perturbações magnéticas decorrentes da interação do vento solar com a camada E da ionosfera, região do Eletrojato Equatorial (EEJ), medidas em 6 estações montadas em um perfil perpendicular ao EEJ. O período escolhido para a análise dos dados foi setembro de 2011. Esta escolha foi feita considerando que foi um período caracterizado por forte índice de atividade geomagnética. Os dados registrados foram comparados com resultados obtidos pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). O índice Kp introduzido por Julius Bartels em 1938, usado neste trabalho, quantifica os distúrbios na componente horizontal do campo magnético da Terra. Por esta convenção estes valores variam entre 0 e 9, sendo 1 para períodos calmos e acima de 5 para tempestades magnéticas de intensidades crescentes. Este valor é derivado de flutuações máximas das componentes horizontais observadas nos registros em um intervalo médio de 3 (três) horas.

No capítulo 1 é apresentada uma descrição das teorias necessárias para a compreensão das perturbações magnéticas na atmosfera. São apresentados os conceitos de geomagnetismo, os tipos de variações do campo magnético e os índices geomagnéticos mais usuais para baixas latitudes magnéticas. Ainda no capítulo 1, são apresentados os conceitos de eletrojato equatorial e contra eletrojato equatorial (CEJ), e os instrumentos de medição do campo geomagnético utilizados para a obtenção de dados no presente trabalho.

No capítulo 2 são abordadas teorias sobre o campo geomagnético e suas variações, em baixas latitudes, no Brasil, além da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) no território brasileiro. No capítulo 3 é apresentada a descrição de todas as estações magnéticas ocupadas e do Observatório Magnético de Vassouras. Também é discutida a instrumentação utilizada, seguido dos procedimentos na implementação da mesma nas localidades citadas. O capítulo 4 descreve toda a morfologia das

componentes H e Z durante o período trabalhado (setembro de 2011), além do ciclo solar no período analisado. A modelagem e a geração dos gráficos foi realizada utilizando o programa Matlab.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos, com análises e características conseguidas através das morfologias ao longo de todo o período no capítulo 4. Desta maneira, conseguiu-se especular um modelo de comportamento entre as estações de repetições situadas na região do eletrojato equatorial. Dentro dos resultados obtidos também é apresentado a análise detalhada de dois casos específicos. Destes casos, tem-se um deles apresentando uma condição geomagneticamente calma (com índice A baixo), e outro com condições geomagneticamente perturbadas (com índice A alto). Por fim no capítulo 6 são apresentados as conclusões do trabalho, contendo as contribuições e os principais fatos que emergiram deste trabalho.

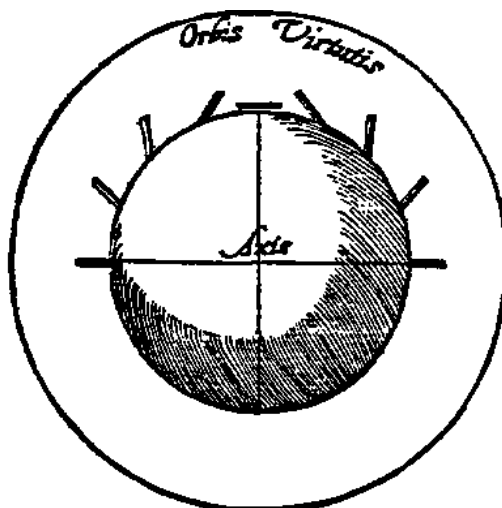
## CAPÍTULO 1

### 1.1 GEOMAGNETISMO

O magnetismo é um fenômeno natural conhecido desde a Antiguidade. No século VI A.C., o filósofo grego Thales de Mileto citava em seus escritos, uma rocha encontrada na cidade de Magnésia, na Tessália, que possuía propriedades capazes de atrair partículas de ferro em algumas partes de sua superfície, se tratava do primeiro ímã conhecido, a magnetita ( $Fe_3O_4$ ), único mineral que detém propriedades magnéticas naturais [1]. No diálogo Íon de Platão, Sócrates afirma poder ligar vários anéis de ferro com o auxílio de um pedaço de magneto, e comparava o fenômeno à inspiração poética. A partir de então, houve desdobramentos em relação ao magnetismo em geral, porém, seus efeitos já eram há muito tempo conhecidos pelos asiáticos. Os chineses, por exemplo, em meados do século XI, já tinham o conhecimento dos efeitos do Campo Magnético da Terra (CMT), e utilizando-o, chegaram a produzir bússolas rudimentares.

O matemático e inventor Shen Kua, que viveu no século II d.C., se referia à utilização do ímã como indicador de direção, enquanto que Chu Yu relatava a sua aplicação na navegação marítima. Posteriormente, a partir do século XII, os europeus começaram a utilizar as bússolas como instrumentos de navegação [1], mas foram os árabes que fizeram este tipo de aplicação pela primeira vez. A partir de então, a bússola foi o principal instrumento para a orientação terrestre sempre que orientações astronômicas não eram possíveis.

Quando William Gilbert, pesquisador nos campos de magnetismo e eletricidade, publicou seu primeiro livro sobre o magnetismo, em 1600, concluiu que a Terra se comportava como um grande ímã, de acordo com a figura 1.1.



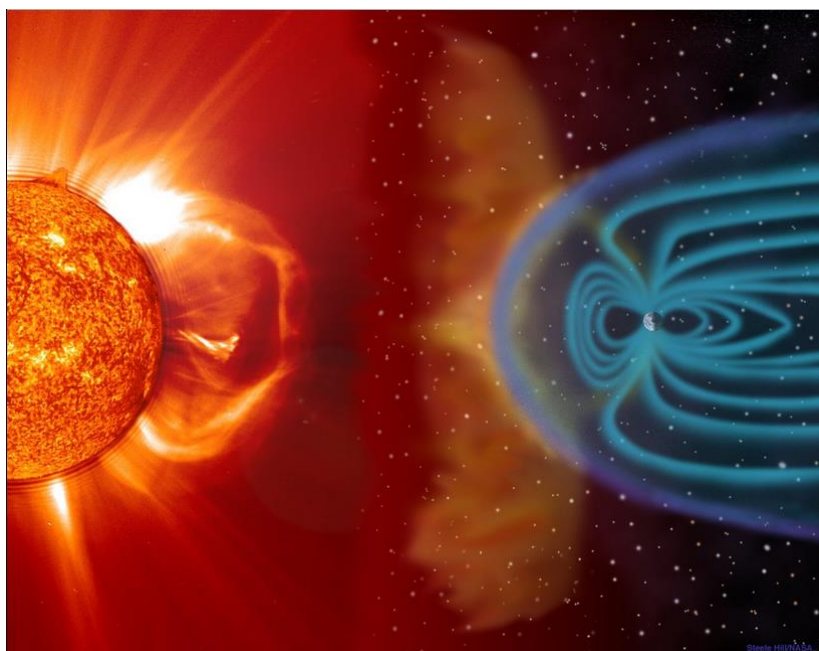
*Figura.1.1. Explicação da variação da direção do campo magnético sobre a Terra em função da latitude de acordo com Gilbert, em seu tratado De Magnele em 1600.*

No início do século XIX Gauss (1848) introduziu o método harmônico esférico, assim como técnicas melhores para análise do campo magnético, e em 1940, o abrangente livro de Chapman e Bartels [2], trouxe-nos para a era moderna do geomagnetismo. Contudo, não restam dúvidas de que o desenvolvimento do geomagnetismo foi lento até chegar aos dias atuais.

## 1.2 CAMPO MAGNÉTICO

O Planeta Terra detém um campo magnético que o envolve e se estende pelo espaço interplanetário, a esta região do espaço damos o nome de Magnetosfera. Podemos considerar a Terra como um gigantesco imã, com seus dois polos magnéticos, o norte e o sul, localizados próximos aos polos geográficos, com 11,5° de diferença entre si [2,3]. Um dos efeitos do Campo Magnético da Terra (CMT) pode ser sentido ao se utilizar uma bússola, pois a mesma se alinhará com os polos magnéticos. Outro efeito conhecido do CMT é sua grande influência sobre o movimento de íons e elétrons livres que estão presentes na ionosfera e na região espacial em que o Planeta se encontra. As partículas

energéticas trazidas com o Vento Solar têm sua trajetória alterada e modulada em virtude da presença do CMT, impedindo a incidência direta de tais partículas, que seriam extremamente nocivas à vida na Terra e aos meios de comunicação. Além disso, o CMT também pode afetar a propagação de ondas eletromagnéticas na ionosfera, localizada aproximadamente entre 60 km e 1000 km de altitude, composta de íons e plasma ionosférico, transformando este meio em anisotrópico, (Figura 1.2).



*Figura.1.2. Representação do Campo Geomagnético, (Steele Hill/NASA).*

*(Fonte: <http://agenciaeternity.files.wordpress.com/2013/09/sun-magnetic-wallpaper-1600-1200.jpg>)*

Pode-se dizer que a principal fonte do CMT, cerca de 99%, provém do núcleo da Terra. O magma existente no interior do Planeta se encontra a altíssimas temperaturas, podendo ser considerado assim como um plasma, possuindo dois movimentos característicos: o primeiro apresenta a tendência vertical, provocada pela diferença de temperatura existente entre as camadas do núcleo, e isto faz com que o magma líquido estabelecido na camada externa do núcleo suba ao topo do manto e então se resfrie, e após, ficando mais denso, comece a descer, formando assim um ciclo [6].

O outro movimento característico possui tendência horizontal e seria originado pela rotação do Planeta, que resulta da força de Coriolis. Este processo de movimentação do

magma gera uma indução eletromagnética, pois um plasma em movimento origina uma corrente elétrica, e esta por sua vez, devido a sua grande intensidade, gera o CMT. Este fenômeno é conhecido como Dínamo Hidromagnético.

Em menor escala, a ionosfera também contribui para a manutenção do campo geomagnético a partir da geração de correntes elétricas ionosféricas.

Os movimentos do magma e, conseqüentemente, das correntes elétricas que fluem no interior do Planeta podem ser descritos como um sistema caótico, sendo extremamente instável, e que geram muitas anomalias ao longo da superfície Terrestre.

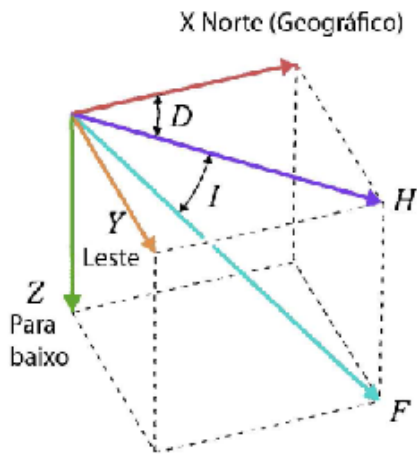
## **ELEMENTOS DO CAMPO GEOMAGNÉTICO**

O campo magnético da Terra tem natureza vetorial e apresenta variações no tempo e no espaço, podendo assim possuir, ao longo do dia, em um mesmo local, vários valores. Simultaneamente, em diferentes locais pode assumir o mesmo valor de intensidade. Usualmente, é decomposto em um sistema de eixos cartesianos (X, Y, Z) (figura 1.4).

Os eixos que compõem as direções deste sistema são direcionados de tal forma que a abscissa (X) tem direção norte – sul, sendo positiva no sentido do norte geográfico, já a ordenada (Y) tem direção no sentido leste – oeste geográfico, e seu sentido positivo aponta para o leste, e o eixo Z representa a profundidade com sentido positivo apontando para o centro da Terra [4].

De acordo com a conveniência, o campo geomagnético total  $F$  pode ser decomposto em dois sistemas: (X, Y, Z) e (H, D, Z). A componente horizontal (H) é a projeção da intensidade total  $F$ , no plano XY, apontada para a direção do norte magnético. Quanto ao ângulo formado entre esta direção horizontal e a direção do norte geográfico podemos chama-lo de declinação magnética (D). A componente comum entre estes dois sistemas é a componente vertical (Z), que é a projeção da intensidade total na direção perpendicular ao plano da superfície.





$$\begin{cases} Z = H \tan g I \\ Z = F \text{ sen } I = H \text{ tang } I \\ H = F \cos I = \sqrt{X^2 + Y^2} \end{cases} \quad \begin{cases} X = H \cos D \\ Y = H \text{ sen } D \\ F = \sqrt{H^2 + Z^2} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \end{cases}$$

### CARACTERÍSTICAS

- 1 - No equador magnético :  $F = H$  então,  $Z = I = 0$
  - 2 - Nos polos magnéticos :  $F = Z$  então,  $I = 90^\circ$  e  $H = 0$
- (Unidade :  $1 \text{ nT} = 1 \text{ gama} = 10^{-5} \text{ Gauss}$ )

Figura 1.3. Elementos do campo geomagnético.

## VARIAÇÕES DAS COMPONENTES GEOMAGNÉTICAS

As variações das componentes geomagnéticas geralmente são representadas por cartas magnéticas. Para representar o valor do campo magnético em cada ponto do globo terrestre, recorremos às cartas magnéticas [3,4], que trazem as chamadas curvas isomagnéticas relativas a valores médios correspondentes a uma determinada época. Estas curvas unem pontos na qual uma componente magnética possui o mesmo valor, originando os contornos isomagnéticos. Através dos anos, vários adjetivos especiais surgiram para especificar os diferentes tipos de gráficos de contorno magnético. Entre as principais curvas isomagnéticas que se podem traçar, devem-se citar as seguintes:

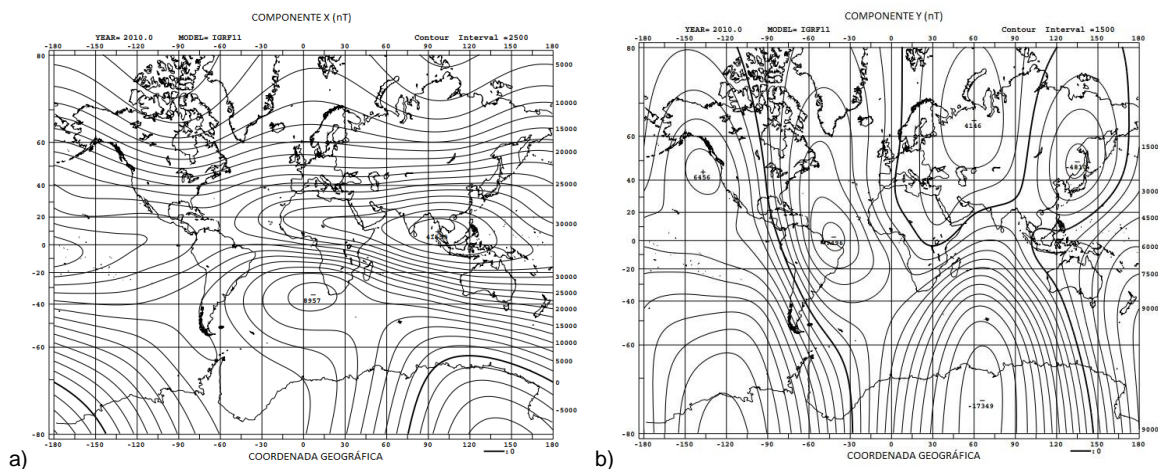
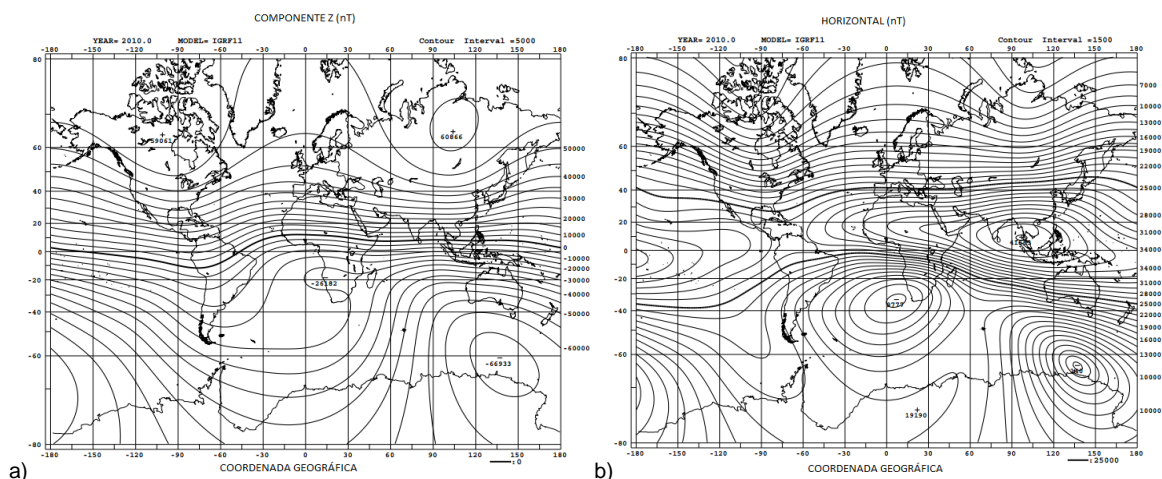


Figura 1.4. a) Carta magnética da componente X. b) Carta magnética da componente Y. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).

Na figura 1.4a, tem-se uma representação da curva isodinâmica da componente magnética X. Pode-se verificar que as linhas que unem pontos de igual intensidade magnética seguem aproximadamente a direção dos paralelos, diminuindo os valores a partir da zona do equador, até chegar ao seu mínimo nos polos. A componente Y, também representada por uma curva isodinâmica na figura 1.4b, possui linhas de intensidade magnética que seguem aproximadamente a direção dos polos.

A componente vertical (Z) é representada por uma isodinâmica com linhas análogas, são as isóclinas [3,4]. A linha  $Z = 0$  coincide com o equador magnético de inclinação  $I = 0$ . Contudo, não são exatamente concêntricas as correspondentes isolíneas próximas aos polos, sendo maior a discrepância no Polo Norte, figura 1.5a.



**Figura 1.5. a) Carta magnética da componente Z. b) Carta magnética da componente H. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).**

A figura 1.5b, representa outra curva isodinâmica (Horizontal). As linhas de igual intensidade seguem aproximadamente a direção dos paralelos, diminuindo o seu valor a partir da zona equatorial, seguindo em direção aos polos, onde o seu valor se anula.

A componente total (F) é representada na figura 1.6, em que é representada por curvas isodinâmicas [4]. Seu valor aumenta com a proximidade aos polos, contudo, não se observa uma linha de intensidade mínima equatorial, mas sim, um foco de valor

mínimo situado ao sul do equador magnético, na parte oriental da América do Sul, mais exatamente, ao sul do Brasil.

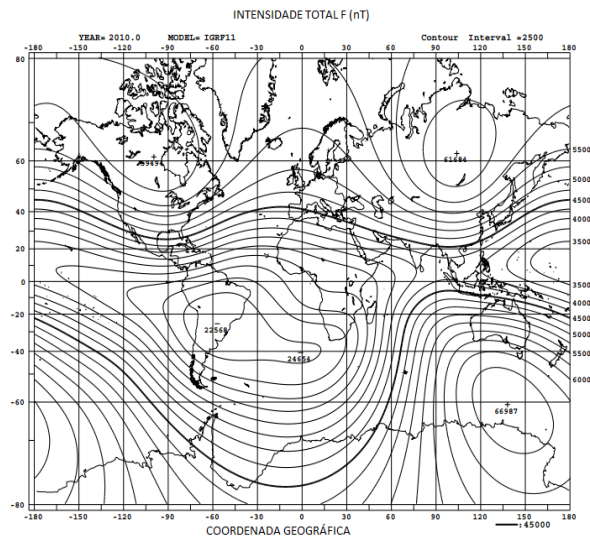
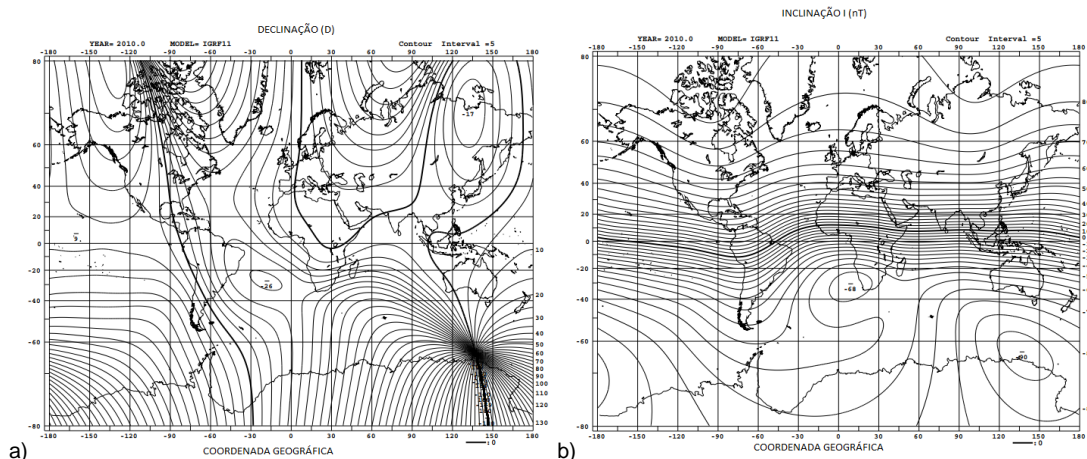


Figura 1.6. Carta magnética da Intensidade Total (F). (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field - IGRF-11)).

## ELEMENTOS ANGULARES

A declinação magnética (D) é determinada através do ângulo entre as componentes X e H. Pode ser representada pela carta magnética chamada isógona. As Isógonas são linhas que unem pontos de inclinações iguais (figura 1.7a). São linhas complicadas que convergem nos polos magnéticos e que passam todas pelos polos geográficos, permanecendo com inclinação indeterminada [4]. Entre essas linhas, podemos destacar a linha agónica ou declinação zero, que circula a Terra passando pelos polos magnéticos e geográficos dividindo a superfície terrestre em duas zonas, chamadas de hemisférios magnéticos: um atlântico de declinação oeste e outro pacífico de declinação leste.



**Figura 1.7. a) Carta magnética de declinação D. b) carta magnética de inclinação I. (Adaptado do International Geomagnetic Reference Field (IGRF-11)).**

A inclinação magnética é o ângulo formado entre a componente magnética horizontal (H) e o componente total (F). Sua curva isomagnética é denominada isóclina.

A isóclina é composta de linhas que unem pontos de iguais inclinações (I), sendo a linha de inclinação  $0^\circ$ , o equador magnético. Na figura 1.7b. observa-se que as linhas dividem a Terra em dois hemisférios, Norte (inclinação positiva) e Sul (inclinação negativa). Estas curvas quando se aproximam dos polos, aumentam o seu valor absoluto

### 1.3 AS VARIAÇÕES DO CAMPO MAGNÉTICO

As variações no campo geomagnético ocorrem períodos diferentes, desde frações de segundos até milhares de anos. Quanto à sua origem, as variações de longo período, ou lentas, tem origem interna à Terra, enquanto as de curto período, chamadas de tempestades magnéticas, tem origem externa, sendo o Sol a principal fonte.

As variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares, quando tem períodos da ordem de meses; enquanto as diurnas, tem períodos de dias até semanas. Os distúrbios de curta duração são associados a tempestades geomagnéticas e podem ter períodos bastantes variáveis [4].

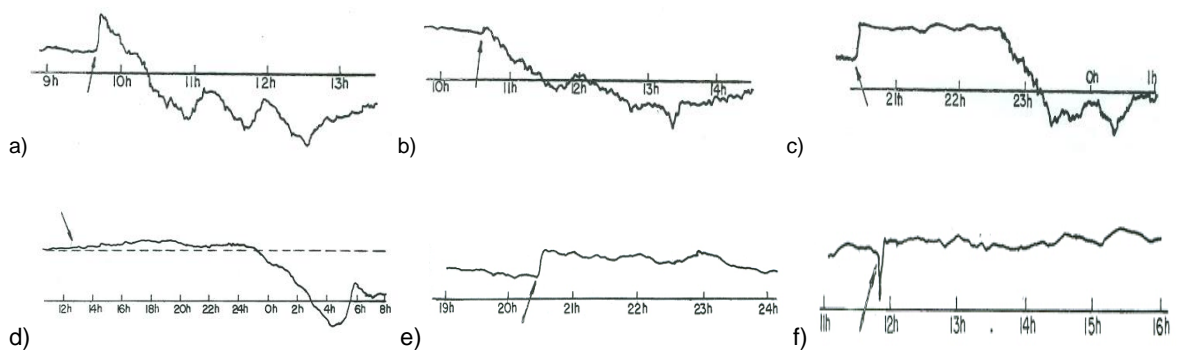
## **1.4 A VARIAÇÃO DIURNA**

A variação diurna ocorre devido a correntes elétricas que fluem na ionosfera. Esta variação é responsável pelas flutuações na amplitude do campo magnético terrestre (CMT) no período de 24 horas. Na camada E da ionosfera a radiação solar tem forte influencia no movimento dos íons livres, o que implicará no aparecimento de correntes elétricas e campos magnéticos na região [4,5]. A variação diurna está diretamente relacionada com a localização das estações magnéticas e com as estações do ano, incluindo o ciclo solar, de 11 anos. A variação solar diurna, regular, tem um valor mínimo de acordo com o posicionamento do Sol, apresentando um valor mínimo na parte da manhã, atingindo o máximo por volta de meio dia, diminuindo de intensidade até o ciclo solar do dia seguinte. Nas latitudes trabalhadas a intensidade média da componente H é de  $\pm 80$  nT. Devido a esta característica, a amplitude do campo geomagnético tem o valor mínimo nas primeiras horas da manhã, com o seu ápice por volta de meio dia e torna decrescer suavemente à tarde, até ao cair da noite.

## **1.5 VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS DE CURTA DURAÇÃO**

### **1.5.1 – Variação tipo ssc (Storm Sudden Commencement)**

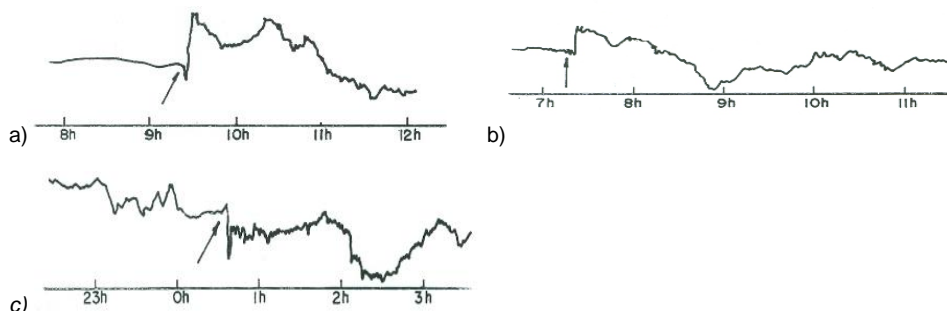
Ocorrem em um impulso súbito seguido por uma atividade magnética com duração de pelo menos uma hora [7,8]. A intensa atividade pode aparecer de imediato ou com algumas horas de atraso.



**Figura 1.8.** a) 09h42min - ssc - Inicia-se a tempestade imediatamente após o impulso súbito. b) 10h36min - ssc - semelhante a anterior. c) 20h27min - ssc - Horas mais tarde começa a fase principal da tempestade. d) 13h50min tempestade - gc - Tempestade começa gradualmente, sem ocorrer ssc's. e) 20h27min - si - Quase não há aumento na atividade (SI). f) 11h48min - si - semelhante a anterior. [7]

### 1.5.2 – Variação tipo ssc\*

Semelhante a um **ssc**, porém ocorrem pequenas oscilações imediatamente ao impulso súbito [7,8]. Quando o movimento inverso inicial da pena apresentar aproximadamente a mesma amplitude que o movimento principal, então será um **ssc\***.

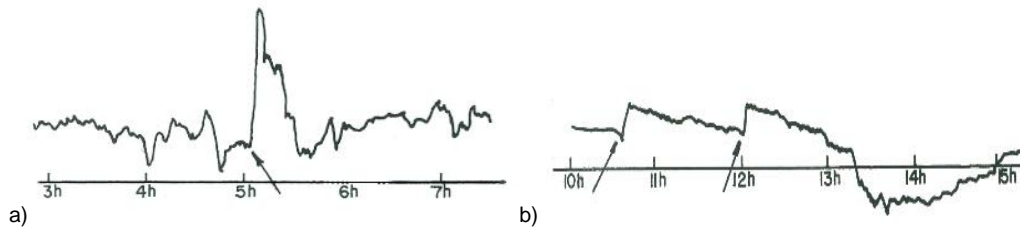


**Figura 1.9.** a) 09h22min - ssc\* - Impulso principal seguido de um pequeno impulso no sentido oposto. b) 07h15min - ssc - Impulso principal seguido de pequenas oscilações. c) 00h36min ssc\* - Tempestade sobreposta a anterior. [7]

No decorrer de uma tempestade magnética, caso ocorra **ssc's** ou **ssc\*'s** adicionais, deverá registrá-las como fenômenos separados.

### 1.5.3 – Variação tipo si (sudden impulse)

Quando ocorre uma variação rápida e isolada ela é denominada de **si** (sudden impulse). Estes são movimentos normais de uma tempestade, portanto nada deverá ser registrado.



*Figura 1.10. a) 05h06min - si (sudden impulse) – Ocorre um impulso súbito sem que haja o início de outra tempestade. b) 10h38min - ssc\* 12h01min ssc, dois inícios bruscos de uma tempestade, quando um deles for duvidoso, registramos como si. [7]*

Se uma tempestade se inicia com um ou mais movimentos súbitos, o observador deverá registrá-la como um **ssc** ou **ssc\***. Quando houver evidências do início de uma nova tempestade, assinalar com **ssc** ou **ssc\*** e outro com **si** [7,8].

### 1.5.4 - Baías nítidas e isoladas

Ocorrem em períodos calmos com ou sem inícios bruscos e pulsações [7], que devem ser registradas. As baías de categoria A devem ser registradas como B, a menos que estejam presentes inícios repentinos ou pulsações.

#### Tipos de Baías:

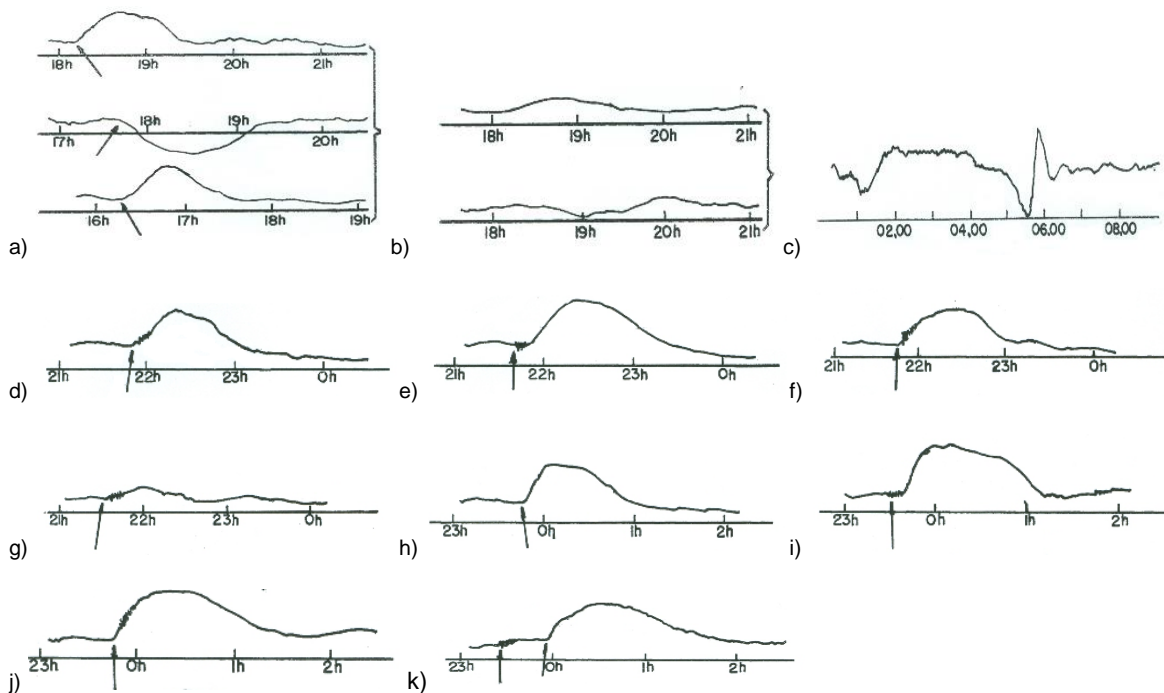
**bp** – Designação de uma Baía onde se verifica a existência de pulsações, seguido o início da mesma, em no máximo 10 minutos;

**bs** – Designação de Baía com início brusco ao invés de suave;

**bps** – Designação de Baía de início brusco associadas a pulsações;



**bt (Baía de transição)** – designação dada àquelas baías em que ocorram mudanças de sentido da variação. Só se registram as de categoria A.



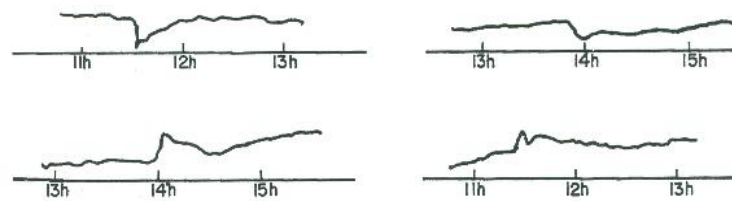
**Figura 1.11.** a) 18h09min, 17h10min e 16h15min – Registradas como b por serem de categoria A. b) Não foram registradas por serem de categoria B ou C. c) Pulsações a menos de 10 min do início. d) Pulsações a 21h52min bp. e) 21h41min bp – Pulsações a menos de 10 min do início. f) 21h33min bp: Este tipo de baía deve ser registrada, embora de categoria B ou C, por ser do tipo bp's. g) 21h17min bp: Este tipo de baía deve ser registrada, embora de categoria B ou C, por ser do tipo bp's. h) 23h46min bs. i) 23h30min bps. j) 23h46min bps. k) 23h57min bs (não bps) – Não assinalar bps porque as pulsações estão a mais 10 min do início. [7]

**Sfe** – Baía de curta duração ou crochet: geralmente no mesmo sentido da variação solar diária, atribuída à radiação associada a uma erupção solar (flare). Deve ser verificada simultaneamente por:

- Erupções solares internas e próximas ao centro do disco solar visível
- Distúrbios ionosféricos
- Aumentos de ruído-rádio solar



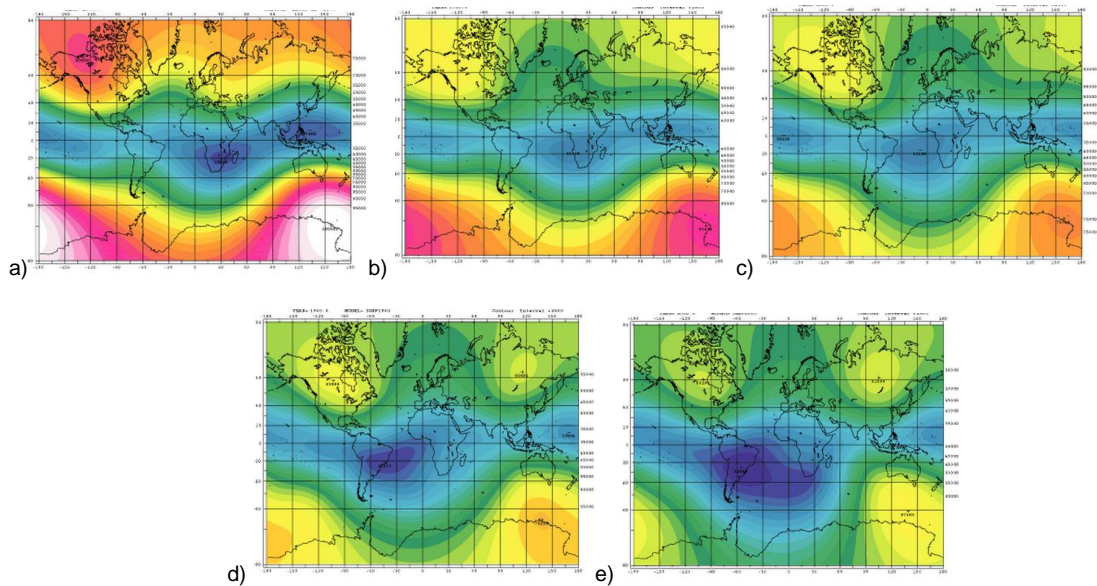
São apresentados alguns casos abaixo:



*Figura 1.12. Os exemplos são extraídos de casos confirmados por observação direta de erupções solares, possui um aspecto que dá origem a confusões de interpretação. [7]*

## 1.6 VARIAÇÕES SECULARES

A variação secular é caracterizada por ser muito mais lenta do que a variação de curta duração, além de sua mudança ser contínua no campo principal. A variação secular está associada às correntes elétricas que estão fluindo do núcleo externo da Terra. Todas essas etapas garantem dados importantes para melhor conhecer essa camada da Terra [8]. A variação secular apresenta escala temporal que chega a mil anos e é dada pela mudança anual no valor do campo. Obtém-se sua quantificação mediante a variação nos elementos magnéticos X, Y e Z, sendo que as características da variação secular estão associadas às variações no campo não dipolar, às variações no momento do dipolo geomagnético e às variações na sua orientação. Elas se apresentam principalmente como um decréscimo no momento de dipolo, uma deriva para oeste do campo não dipolar (da ordem de  $1^\circ$  em 5 anos) e a deriva do dipolo para o norte. [8].



**Figura 1.13.** a) *Varição Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1600.* b) *Varição Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1700.* c) *Varição Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1800.* d) *Varição Geomagnética, Coordenadas geográficas em 1900.* e) *Varição Geomagnética, Coordenadas geográficas em 2000.*

## 1.7 - PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS

As pulsações magnéticas são perturbações de caráter periódico, geralmente irregulares, cujos períodos oscilam entre décimos de segundos e dez minutos, que se produzem de maneira esporádica durante intervalos de tempo variável em uma faixa entre dezenas de minutos e várias horas [1,9]. Como as tempestades magnéticas, elas têm como principal origem fontes externas, ou seja, o Sol.

No começo no ano Geofísico Internacional de 1957, estavam classificadas em dois grandes grupos, designados com o símbolo de **pc** (Pulsações contínuas) e **pt** (trens de pulsações). As primeiras são pulsações de período mais curto, compreendido entre 10 e 40 segundos, são produzidas nas primeiras horas da manhã e se mantêm com intensidade variável durante várias horas. Já as segundas (os trens de pulsações), são de períodos mais largos, cerca de 50 a 90 segundos, e de uma duração mais curta, mais ou menos de 30 minutos [1,9]. Algumas vezes se apresentam isoladas, com uma morfologia periódica bastante regular, e outras acompanhando às baías em seu começo,

sendo então mais irregulares (pulsção de baias pulsadas). No princípio eram conhecidas pela denominação **psc** (polar suden commencement).

Como consequência dos conhecimentos adquiridos durante o Ano Internacional da Geofísica, a IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) propôs uma nova classificação, estendendo assim a gama de frequências das pulsações em ambos os extremos, já que se havia descoberto um novo tipo de pulsação de período muito curto, que em princípio chamaram de tipo **pp**, com períodos na casa de segundos e com uma amplitude que aumentava e diminuía periodicamente [1,9]. Por outro lado, também incluíram as pulsações de períodos mais margo (**Lpc**), que às vezes alcançam uma duração de 10 min. Dessa maneira, se estabeleceu na Assembleia de Berkeley (1963) a nova classificação de pulsações contínuas (**pc**).

Pulsações que apresentam um comportamento regular e contínuo, são chamadas **pc**, e aquelas que apresentam um comportamento irregular, são as **pi**.

## **PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS**

Um aspecto relevante na investigação de pulsações é a descrição e classificação dos tipos de oscilações registrados e das condições nas quais elas são geradas. De acordo com a IAGA, são sugeridos três princípios independentes de classificação, sendo a primeira, a classificação morfológica baseada nas características (períodos, amplitudes, tempo de ocorrência, etc.), a segunda, a correlativa, baseada na conexão com outros tipos de fenômenos tempestades magnéticas, aurora, emissões VLF, e a terceira, a classificação genética baseada no mecanismo de geração.

Devido ao fato da origem das pulsações não ser totalmente conhecida, a classificação genética que em outras circunstâncias deveria ser a melhor, não serve como base para uma classificação geral [3,9]. O princípio de classificação correlativo,

também não pode ser utilizado, pois uma correlação clara não é apresentada em todos os tipos de pulsações.

Da experiência adquirida, principalmente aquela obtida após o Ano Geofísico Internacional, as pulsações têm sido classificadas segundo suas características morfológicas e podem ser divididas em duas classes principais [9]: Pulsações contínuas, que são oscilações regulares com uma faixa de período variando de 0,2 a 600 segundos e podem ser divididas em subgrupos dependendo do período; e Pulsações irregulares, que são oscilações irregulares de curto período e que variam na faixa de 1 a 150 segundos.

A classificação segundo o intervalo de frequência,  $f$ , ou de período,  $T$ , sugerida pela IAGA é apresentada na Tabela 1.

*Tabela 1. Tabela de classificação das pulsações geomagnéticas contínuas e de pulsações irregulares (IAGA).*

<b>CONTÍNUAS</b>	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Frequência	0,2-5 Hz	0,1-0,2 Hz	22-100 mHz	7-22 mHz	2-7 mHz
Período (s)	0,2-5	5-10	10-45	45-150	150-600

<b>IRREGULARES</b>	PI 1	PI 2
Frequência	0,025 – 1 Hz	7 – 25 Hz
Período (s)	1 - 40	40 - 150

Considera-se a Pc6, acima de 600 segundos, e a Pi3, com períodos acima de 150 segundos, ambas até 1.000 segundos. Baseado nos processos físicos e nos mecanismos de geração, considera as pulsações divididas em três categorias: baixa frequência (1,0 – 10 mHz), média frequência (10 mHz – 0,1 Hz) e alta frequência (0,1 – 10 Hz). [37]

## 1.8 ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS

O índice planetário  $K_p$  (índice de Bartels) é usado para indicar a atividade geomagnética em escala global, o mesmo é utilizado como referência para estudos coordenados preliminares.

Cada valor Kp é calculado a cada 3 horas em diferentes estações magnéticas ao redor do globo, que calculam um índice K regional, totalizando 13 estações. A maioria destas estações estão localizadas a aproximadamente 60° no hemisfério norte. O índice  $\Sigma Kp$  é uma soma diária de oito valores Kp que indicam se o dia é magneticamente calmo ou perturbado, o mesmo possui uma escala de 0° até 9°, expressados em terços de unidades. O índice  $\Sigma Kp$  é a base para se determinar os cinco dias mais calmos e os cinco dias mais perturbados de cada mês internacionalmente. Quando se tem uma igualdade do índice  $\Sigma Kp$  para dois dias, indicando aparentemente que estes dois dias são magneticamente idênticos, usa-se então o índice Ap para verificar se de fato são idênticos ou não. O índice Ap é uma média aritmética diária dos 8 valores ap, que por sua vez é um índice com relação linear com o índice  $\Sigma Kp$ .

**Tabela 2. Índice  $\Sigma Kp$  em relação ao índice ap.**

$\Sigma Kp$	0	0+	1-	1°	1+	2-	2°	2+	3-	3°	3+	4-	4°	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
$\Sigma Kp$	5-	5°	5+	6-	6°	6+	7-	7°	7+	8-	8°	8+	9-	9°
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

O índice Ap é a média aritmética diária dos 8 valores ap, que por sua vez é um índice com relação linear com o índice  $\Sigma Kp$ . A IAGA recomenda o seu uso em relação ao índice Kp.

Ap 0 - Ap7 = Quieto;

Ap8 - Ap15 = Incerto;

Ap16 - Ap29 = Ativo;

Ap30 - Ap49 = Tempestade menor;

Ap50 - Ap99 = Tempestade maior;

Ap100 – Ap400 = Tempestade severa.

## 1.9 O ELETROJATO EQUATORIAL E O CONTRA ELETROJATO EQUATORIAL

Historicamente, a primeira observação do Eletrojato equatorial foi feita em 1922, pelo Departamento de Magnetismo Terrestre do Instituto Carnegie de Washington, em um observatório localizado em Huancayo (Peru), nas proximidades do equador magnético [14].

O registro da variação diurna do campo magnético horizontal terrestre nesse observatório revelou que as variações geomagnéticas eram normalmente grandes, em comparação com as outras latitudes [1,15]. As origens destas variações foram amplamente investigadas na época, descobrindo-se que elas apresentavam uma curva simétrica com pico agudo perto do equador magnético, suavizando-se à medida em que se afastava para latitudes maiores. A manifestação básica do eletrojato equatorial no nível da superfície terrestre é esta grande variação diurna no campo magnético horizontal [16], a qual provoca uma forte corrente que flui numa estreita faixa latitudinal. Esta corrente foi primeiramente identificada por Egedal [17] em 1947 e posteriormente chamada de “Eletrojato Equatorial” por Chapman em 1951 [18].

Medidas subsequentes feitas em Uganda, Togo, Peru, Sudão e na Índia, provaram que estes aumentos nos valores das variações  $S_q$ , podem ser encontrados em qualquer lugar do planeta, dentro da faixa de mais ou menos 5 graus de latitude, inclusive no Brasil [19]. O eletrojato equatorial basicamente se constitui numa lâmina de corrente de 15 km de espessura, que flui normalmente de leste para o oeste no hemisfério iluminado, conduzindo aproximadamente entre  $(2.0 \text{ e } 7.0) \times 10^4 \text{ A}$  [20]. O intervalo de altitude no qual o eletrojato equatorial flui, coincide mais ou menos com o pico de densidade de elétrons da camada E [entre os 90 a 130 km]. Esta altitude, porém, muda muito de um lugar para outro, sendo aproximadamente de 105 Km na Índia e de 108 Km no Peru. A largura média em latitude das irregularidades do eletrojato é de cerca de  $\pm 3^\circ$  (350 a 600 km), centrada no equador magnético [21].

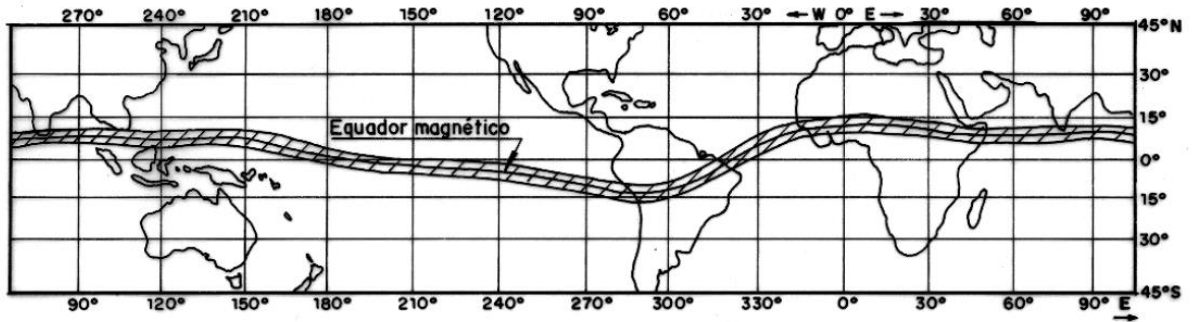


Figura 1.14. Localização do eletrojato equatorial a nível global, (adaptado do programa do International Equatorial Electrojet Year – Brazilian Participation (1991)).

A região E da camada ionosférica está sujeita a inversões no campo de polarização e no gradiente de densidade eletrônica. Tais inversões na deriva relacionadas com o campo elétrico de polarização são seguidas por inversões no eletrojato equatorial. Consegue-se detectar tais fenômenos através de assinaturas contidas na componente H, medidas por magnetômetros próximos a região do equador magnético. Ao longo dos anos, muitos estudos foram realizados para se tentar elucidar os mecanismos que impulsionam o CEJ em condições geomagnéticas calmas, mais ainda é uma questão em aberto. A única afirmação é que o contra eletrojato é mais frequentemente observado durante meses do solstício de mínimo solar [22,23] como mostra a Figura 1.15.

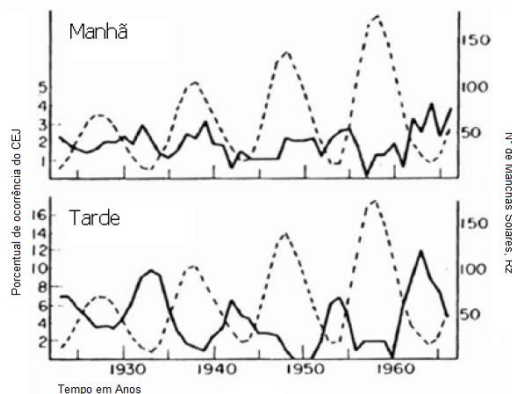


Figura 1.15. Ocorrência do CEJ em função do número de manchas solares.

É possível encontrar eventos de CEJ em qualquer período do dia, com maiores ocorrências no período da tarde [24,25]. Esses eventos do CEJ no período da tarde são mais vistos no solstício de verão, em dezembro. O CEJ, no período do equinócio não tem

longa duração, mas esse evento ainda tem mais curta duração no período de solstício de Junho.

Onwumechili [26] modificou a definição de Mayaud [27] e definiu o (CEJ) como uma corrente elétrica fluindo para o oeste durante um dia magneticamente calmo dentro de uma faixa estreita, centrada no equador magnético. Também pode ser denominado como eletrojato equatorial invertido. Quando a corrente flui para o oeste fora da faixa estreita, onde normalmente o EEJ flui para o leste, não sabemos ao certo se este é um fenômeno ligado ao CEJ ou não.

## 1.10 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

### PRIMEIROS INSTRUMENTOS

A bússola é um instrumento de navegação e orientação baseado em propriedades magnéticas dos materiais ferromagnéticos e do campo magnético terrestre. A palavra bússola vem do italiano bussola, que significa “pequena caixa” de madeira de buxo, figura 1.17.

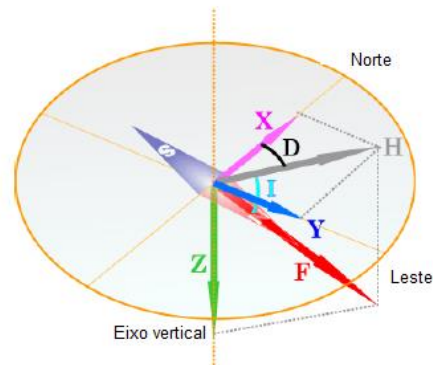


*Figura 1.16. Bússola antiga (www.museotec.org.br/previewmuseologico/a\_bussola.htm)*

As bússolas são geralmente compostas por uma agulha magnetizada colocada num plano horizontal e suspensa pelo seu centro de gravidade, de forma que possa girar livremente, e que se orienta sempre em direção próxima à direção norte-sul geográfica, de forma a ter a ponta destacada - geralmente em vermelho - indicando o



sentido que leva ao sul magnético da Terra [4,7], ou de forma equivalente, a um ponto próximo ao polo norte geográfico da Terra.



**Figura 1.17. Determinação da declinação magnética pela bússola de acordo com os elementos do campo geomagnético (figura 1.3).**

A bússola é sem dúvida o instrumento mais conhecido da Era dos Descobrimientos, pois foi provavelmente o mais importante. Indicando sempre o sentido sul magnético, o que significa indicar aproximadamente norte geográfico, tal instrumento constituiu e constitui instrumento indispensável a todo e qualquer navegador. A equivalência ocorre devido ao fato dos polos norte magnético e norte geográfico situarem-se em hemisférios distintos do globo [4,7]. As atuais mudam um pouco entre si, mas contêm os mesmos componentes básicos. Com o mesmo nome de bússola pode ser designado qualquer dispositivo magnético que use uma agulha para indicar o sentido do polo sul magnética da magnetosfera do planeta, bem como qualquer instrumento eletrônico com o mesmo fim.



**Figura 1.18. Bússola aeronáutica moderna tem precisão de 1°.**

O uso da bússola para fins precisos requer que se tenha em mãos também um mapa cartográfico que indique a correção a ser feita na leitura bruta da bússola a fim de se localizar o norte geográfico corretamente [4,7]. Tal correção deriva não apenas do fato dos polos magnéticos e geográficos não coincidirem precisamente mas também pelo fato de a leitura da bússola ser diretamente influenciada pelas condições ambientais locais - a exemplo pela grande presença de material ferromagnético no solo. As cartas de navegação normalmente apresentam tal informação sob o nome de "declinação magnética" do local.

### 1.11 – MAGNETÔMETRO

Os magnetômetros são instrumentos de grande resolução para medir o campo magnético da terra ou suas variações. Geralmente são classificados como instrumentos absolutos, relativos ou variógrafos. Denominam-se aparelhos absolutos os que efetuam a medida da declinação e da inclinação, ou que medem o campo magnético  $\vec{B}$  a partir de medidas de massa, comprimento, tempo ou intensidade de corrente elétrica ou ainda os que recorrem a fenômenos como a ressonância magnética nuclear [4,7].

Os instrumentos que precisam de calibração (comparação com instrumentos absolutos) são chamados de relativos e os mais conhecidos são o QHM (Quartz Horizontal Magnetometer) que equipou durante décadas os Observatórios Magnéticos para a medida da componente horizontal do campo magnético. Os instrumentos relativos têm que ser regularmente calibrados por comparação com instrumentos absolutos, para se obter valores absolutos do CMT.

Alguns instrumentos apenas medem a variação temporal do campo magnético, esses instrumentos são denominados variógrafos e o exemplo mais conhecido é o magnetômetro fluxgate [4,7].

A variação de cada componente medida depende da sua localização e da interação das ondas eletromagnéticas provenientes do sol. As camadas da sub-superfície não são homogêneas e as pesquisas geofísicas valem-se dessa falta de uniformidade para localizar e mapear dos diferentes tipos de materiais nela encontrados.

Os materiais ferromagnéticos, por exemplo, podem ser localizados com certa facilidade utilizando tanto a sondagem magnética terrestre quanto a aérea ou a marítima.

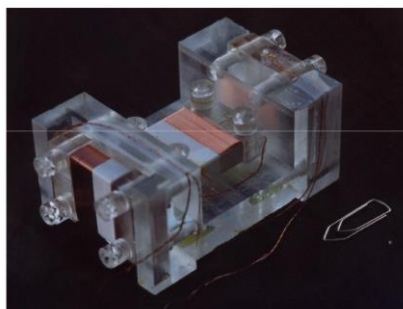
Outra utilização importante deste tipo de instrumento científico é o mapeamento e localização de sítios arqueológicos e naufrágios. A aplicação de magnetômetros em satélites é bastante utilizada para obter o mapeamento do campo magnético da Terra, em detalhes, tanto em aplicações científicas e bélicas [4,7]. Satélites com órbitas polares podem detectar a ocorrência das auroras (boreal e austral) antes mesmo de suas luzes serem observadas da superfície do planeta e nas órbitas tropicais diferentes interações nas diferentes camadas da ionosfera, como o eletrojato equatorial. Há anos, existem redes de magnetômetros espalhados ao longo do planeta que monitoram constantemente o efeito do vento solar com o campo Magnético da Terra. Em seguida alguns tipos de instrumentos que são bastante utilizados em trabalhos de geomagnetismo, especialmente no Observatório Nacional.

## **1.12 – INSTRUMENTOS VETORIAIS**

Instrumentos vetoriais são aqueles que, quando colocados em uma posição adequada, podem ser utilizados para medir de forma independente as três componentes do CMT [4,7]. Como exemplo, podemos citar o magnetômetro de Indução.

## MAGNETÔMETRO FLUXGATE

O Magnetômetro Fluxgate, utilizado para obtenção dos dados deste trabalho, foi originalmente concebido e desenvolvido no período imediato que antecedeu a Segunda Guerra Mundial por Victor Vacquier. No conflito, foi utilizado para o uso em baixa altitude por uma aeronave como dispositivo para detecção de submarinos. O Fluxgate tem como características básicas ser um instrumento vetorial, mas devido a sua versatilidade, permite a medição de grandezas angulares [4,7]. O seu sensor é constituído por dois núcleos paralelos de um material com permeabilidade magnética muito elevada, em volta dos quais dois enrolamentos (primário e secundário) são feitos com sentidos contrários. Quando uma corrente alterna é aplicada a um dos núcleos, gera-se em ambos um campo magnético induzido, de igual direção e sentidos contrários. Na ausência de um campo externo, a corrente aplicada é escolhida de modo que os núcleos não atinjam a saturação. Neste caso, o sinal em tensão observado no enrolamento secundário é nulo [4,7]. Quando um campo magnético exterior é aplicado, ele vai reforçar o campo do núcleo desde que este não seja perpendicular. Neste caso, se a regulação do magnetômetro for tal que a saturação é atingida, vai-se gerar um atraso entre os dois campos induzidos, que se traduz por um sinal em tensão cuja amplitude é proporcional à componente do campo exterior que é colinear com o núcleo do sensor. Por esta razão, o magnetômetro de fluxgate é um instrumento vetorial, no sentido de que com uma disposição adequada, pode ser utilizado para medir de forma independente as três componentes do CMT . Um magnetômetro deste tipo pode ter uma precisão de 1 nT.



*Figura 1.19. Exemplo de sensor Fluxgate LDSM/ON.*

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 O CAMPO GEOMAGNÉTICO E SUAS VARIAÇÕES EM BAIXAS LATITUDES NO BRASIL.**

Em 1836, através da Gottingen Magnetic Union<sup>1</sup>, Gauss iniciou uma série de observações através de observatórios geomagnéticos em diferentes coordenadas e estudou as variações diurnas (Sq) em todas as componentes do campo geomagnético. Em 1882, Stewart sugeriu que estas variações seriam causadas por correntes elétricas na atmosfera superior. E tempos depois, Schuster, em 1889, valendo-se do método dos harmônicos esféricos aplicado sobre as variações Sq, corroborou a afirmação de Stewart. Viu-se que de fato a Sq acontece principalmente na atmosfera superior, com uma pequena contribuição interna [28].

Considerando que o Brasil é cortado, na Região Norte, pelo equador magnético cujas variações apresentam características bastante diferenciadas das demais regiões, a análise destas variações constitui-se em um importante meio de informações sobre os processos físicos decorrentes da interação do vento solar com o campo geomagnético. Através de estudos dessa natureza também será possível melhor compreender as tempestades geomagnéticas em baixas latitudes, que dependendo de sua intensidade, podem afetar direta ou indiretamente nossa vida cotidiana, como acontece com os apagões e danos diversos nas redes de eletrificação, nas comunicações por satélite e até mesmo nos níveis de radiações UV que nos atingem [29].

### **2.2 A ANOMALIA DO ATLÂNTICO SUL (AMAS) NO TERRITÓRIO BRASILEIRO**

A análise dos dados obtidos pela rede de observatórios magnéticos desde aproximadamente 170 anos atrás, possibilitou a elaboração de cartas magnéticas e modelos mais precisos do campo geomagnético e de suas variações. Sabemos que o

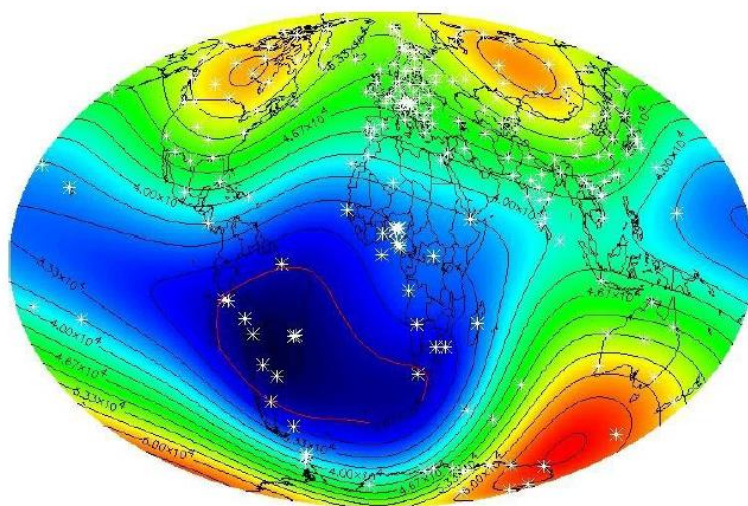
---

<sup>1</sup> União Magnetic Göttingen, uma coalizão de observatórios continentais, foi formada em 1836 por Gauss e colegas.

campo geomagnético terrestre apresenta algumas anomalias regionais, e uma delas é conhecida como a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), que se tornou cada vez mais aparente nas cartas a partir do século 20 [4,30].

A região do AMAS tem por característica apresentar baixas intensidades no campo magnético total, coincidindo com uma região de intensa radiação no espaço próximo à Terra, sendo assim, uma espécie de caminho para a entrada de partículas cósmicas.

Na Linha do Equador, o campo geomagnético tem intensidade média de 30.000 nT, enquanto nos polos da Terra tem valor médio 60.000 nT, exceto na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), onde o campo magnético é mais fraco [4,31]. Esta Anomalia encontra-se atualmente localizada em território brasileiro, como mostra a figura 2.1. Todavia, as anomalias podem apresentar grandes variações na escala nanoteslas e alcançar milhares de quilômetros de extensão. Um fator que pode gerar anomalias em escalas menores é a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos à Crosta Terrestre.



**Figura 2.1. Mapa magnético da Terra, destacando a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Detalhe para as marcações estreladas, mostrando as posições dos observatórios magnéticos espalhados pelo Planeta. Fonte: NASA.**

## CAPÍTULO 3

### 3.1 AS ESTAÇÕES MAGNÉTICAS OCUPADAS

As instalações dos instrumentos foram realizadas de acordo com as informações contidas nas figuras abaixo. O tempo de amostragem foi tomado a cada segundo e as informações gravadas em memória flash. Foi usado como critério na escolha dos locais o par conjugado da inclinação magnética ( $I$ ), ou seja, a partir de zero grau de inclinação (Juaba - PA), foram tomadas 3 estações ao norte e 2 estações ao sul. A tabela mostra os valores correspondentes dos pares ao norte e ao sul do EEJ. As cidades selecionadas nesse trabalho foram: Centenário -TO, Carmolândia -TO, Goianésia do Pará - PA, Juaba - PA, São Joaquim do Pacuí - AP e Tatuoca - PA, como mostrado na figura 3.1.

O sistema foi alimentado por bateria de 12V/18Ah, painel solar de 20W, suficiente para manter o sistema em funcionamento por até 15 dias. Uma estação permanente com 40° positivos de Inclinação Magnética foi instalada no Observatório Magnético de Tatuoca para também complementar este trabalho. Todas as estações foram configuradas para operar com período de 1 segundo (1Hz). Pode-se ver pela figura 3.1, que as estações de medição foram escolhidas acima e abaixo do EEJ, procurando manter simetria (norte e sul) entre elas.

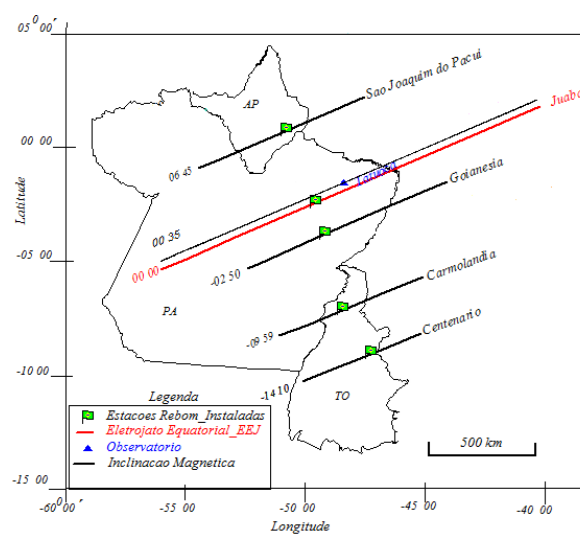


Figura 3.1. Localização das estações nos estados e valores de Inclinação Magnética.

A tabela 3 mostra os valores de Inclinação para cada estação:

**Tabela 3: Tabela com valores de Inclinação Magnética (I) entre as estações.**

Estação Cidade	Est. Sigla	Lat g m s	Long g m s	Alt. m	I Lemi g m s	Delta I Min.	Observação Local/Proprietário
Centenário	TO	-08 59 36	-47 12 52	326	-14 20	25	ON-Faz. Barra do Riozinho-Sr. Alonso A Coelho
Carmolândia	TO	-07 04 31	-48 23 01	236	-09 59	10	ON-Faz.Vale do Boi-Sr.Ricardo J. Andrade
São Joaquim do Pacuí	AP	00 49 29	-50 45 31	26	06 40	-----	ON-Escola Familiar de Agropecuária-Prof
Goianésia do Pará	PA	-03 50 34	-49 05 50	82	-02 50	10	ON-Faz. VB-Sr.Valdemar A. Santos
Juaba	PA	-02 23 52	-49 33 30	10	-00 00	35	ON-Sítio Mucura-Sr. Pedro G. Filho
Tatuoca	PA	-01 12 03	-48 30 02	15	00 35	-----	MCT-Observatório Nacional

### 3.2 A INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Os equipamentos utilizados neste trabalho são apresentados a seguir:

1 – Sistema Lemi417. Medição das componentes magnéticas H, D, Z e componentes elétricas E1 e E2 (que foram usadas neste trabalho).

2- Caixa Eletrônica Lemi, Caixa Elétricos, Sensor Fluxgate, GPS, Cabos (Sensor, alimentação, transferência de dados (RS-232) e adaptador RS232-USB.

Na figura 3.2, encontra-se o painel solar, utilizado para auxiliar e gerar a energia suficiente para o funcionamento dos equipamentos.



**Figura 3.2 Magnetômetro Longo Período LMT Lemi 417 e painéis solar 12v / 20w.**



### 3.3 PROCEDIMENTOS

Todas as estações foram instaladas conforme o esboço da figura 3.3, onde verificamos o diagrama elétrico. Todo o material foi enterrado com cuidado para proteção contra as chuvas, que na região são fortes no período de janeiro a maio.

Para maior proteção do sistema o mesmo foi enterrado dentro de uma caixa de isopor vedada, magnetômetros de longo período, bateria, controlador de carga e modulo do circuito elétrico. Um painel solar de 12V/20W, suficiente para manter o sistema funcionando por até 15 dias, ficou instalado na superfície em módulo montado em madeira.

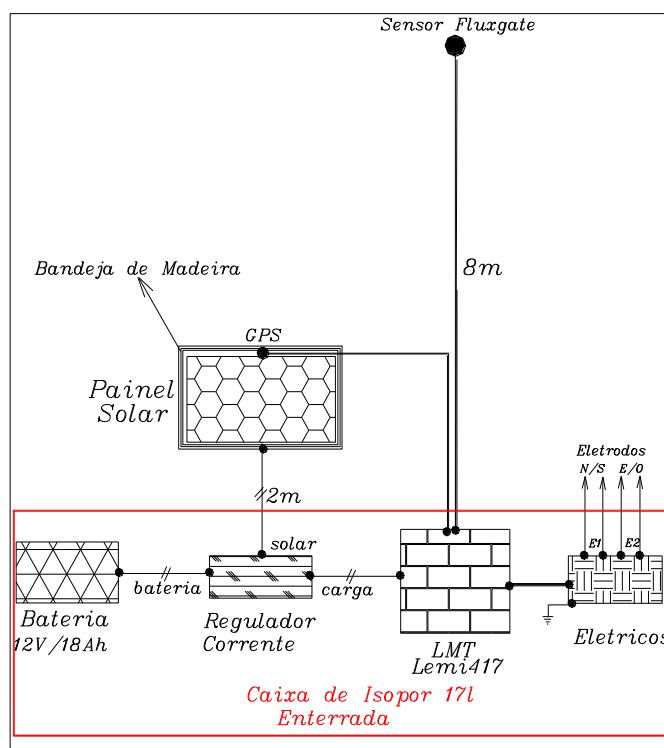


Figura 3.3. Esquema elétrico de instalação e interligação do Sistema LMT.

A figura 3.3 mostra a instalação final do Sistema com cerca de madeira protegendo os equipamentos. Na apresentação de cada estação, a foto mostra a

seqüência das instalações. O tipo da madeira usada nas estações foi escolhido de acordo com as intempéries a enfrentar: chuva, sol, ventos, relâmpagos etc.

Uma precaução tomada foi quanto à instalação das estações afastadas de redes elétricas, veículos, tratores e outros. Cuidados com a segurança dos equipamentos foram feitos instalando as estações em locais onde existiam famílias e que fosse de um propriedade conhecida.

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 MORFOLOGIA DAS VARIAÇÕES NO PERÍODO AVALIADO**

Os dados aqui analisados são pertencentes às estações de Centenário, Carmolândia, São Joaquim do Pacuí, Goianésia do Pará, Juaba e Tatuoca, e referentes ao período de 01 a 30 de setembro de 2011. Para os registros, foram utilizados magnetômetros triaxiais modelo LEMI-417, que registraram as componentes (H, D, Z) do campo geomagnético em cada localidade, em período de segundos. Entretanto, a comparação foi realizada obedecendo ao padrão da IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy), e os dados, tratados no MATLAB, foram reduzidos para o período padrão de minuto. Tendo como referência o índice Kp [32], para classificação dos dias geomagneticamente calmos ou perturbados.

### **4.2 O CICLO SOLAR NO PERÍODO**

O ciclo solar (ou ciclo solar de Schwabe) mostra a atividade do Sol em intervalos de aproximadamente 11 anos, podendo sofrer variações. Sua duração máxima conhecida ocorreu no 4º ciclo, que durou 13 anos e 8 meses, ou seja de setembro de 1784 a maio de 1798. Quando o Sol se encontra em sua atividade solar máxima, ocorre o aparecimento das manchas solares, enquanto que em períodos de baixa atividade, mínimo solar, poucas manchas solares são vistas [33].

Os dados aqui trabalhados, encontram-se sob influência do ciclo solar de número 24 (24º ciclo solar desde 1755, data de início dos registros solares), o mesmo teve início no dia 4 de janeiro de 2008 [34].

Com a erupção da mancha solar de número 1283, de classe M5.3, em 6 de Setembro às 01:50 UT, e logo depois com uma nova explosão de classe X2.1 (cerca de quatro vezes mais forte do que o anterior) na mesma região, as ejeções de massas

coronais combinadas às explosões, chegaram à Terra em 9 de setembro, provocando uma tempestade geomagnética, chegando ao nível G3 (forte).

No dia seguinte, 7 de setembro, uma erupção solar de classe x1.8 irrompida da mancha solar 1283, produziu forte tempestade que atingiu a Terra. Uma quarta explosão de classe M6, foi emitida pela mesma mancha solar em 8 de setembro. Essa sequência de explosões produziu ondas de ionização na atmosfera superior da Terra, o que alterou rapidamente a propagação de sinais de rádio de baixa frequência em torno do Planeta. Além disso, as erupções lançaram nuvens de plasma em nossa direção, gerando fortes impactos em nossa magnetosfera, e que teve como consequência o aparecimento de fortes tempestades geomagnéticas a partir de 09 de setembro [35]. Em 22 de setembro, uma erupção solar de classe x1.4 explodiu na mancha solar 1302. A explosão produziu uma CME (ejeção de massa coronal) significativa, mas não atingiu a Terra. Dois dias depois um flare, da classe X1.9, aconteceu persistindo nas 31 horas seguintes com uma sequência forte de 14 flares. A partir dessa mesma mancha, surgiu uma forte tempestade geomagnética de nível G4, verificada no dia 26 de setembro

No total, em setembro de 2011, o Sol produziu quatro flares das classes X e 31 das classes M. Este foi um dos meses mais ativos do ciclo solar 24 da atualidade [36].

### **4.3 VARIAÇÕES NAS COMPONENTES HORIZONTAL (H) E VERTICAL (Z)**

Na Região do Eletrojato Equatorial, a componente H tem seu módulo aumentado em aproximadamente 1,5 vezes mais do que em outras regiões do Planeta, isto se deve à contribuição das correntes externas amplificadas pelas correntes induzidas da Terra. Assim, nessa região, o campo geomagnético induzido permanece quase “alinhado” com o campo magnético da Terra [28]

Os dias sem atividade magnética expressiva têm a componente H variando de maneira regular e são conhecidos como dias magneticamente calmos, abreviados por Sq. Nestes períodos, a H aumenta suavemente devido ao vento solar que ioniza a atmosfera atingindo um máximo e depois diminui atingindo valores mínimos no período da noite. As correntes elétricas responsáveis por esse fenômeno estão localizadas na camada E da Ionosfera, entre 90 a 120 km de altura. As localidades onde estavam situadas as estações de repetição estão discriminadas abaixo, em ordem crescente em relação à latitude geográfica.

A Terra se comporta como um condutor imperfeito, com propriedades magnéticas e elétricas que dependem da sua topografia com sua distribuição de material magnético permeável e condutor interno. Devido a estas circunstâncias, a variação diária da componente Z, medida em um observatório em terra, é em grande parte influenciada pela topografia e pela estrutura interna em volta do observatório em que estão sendo tomadas as medidas [1].

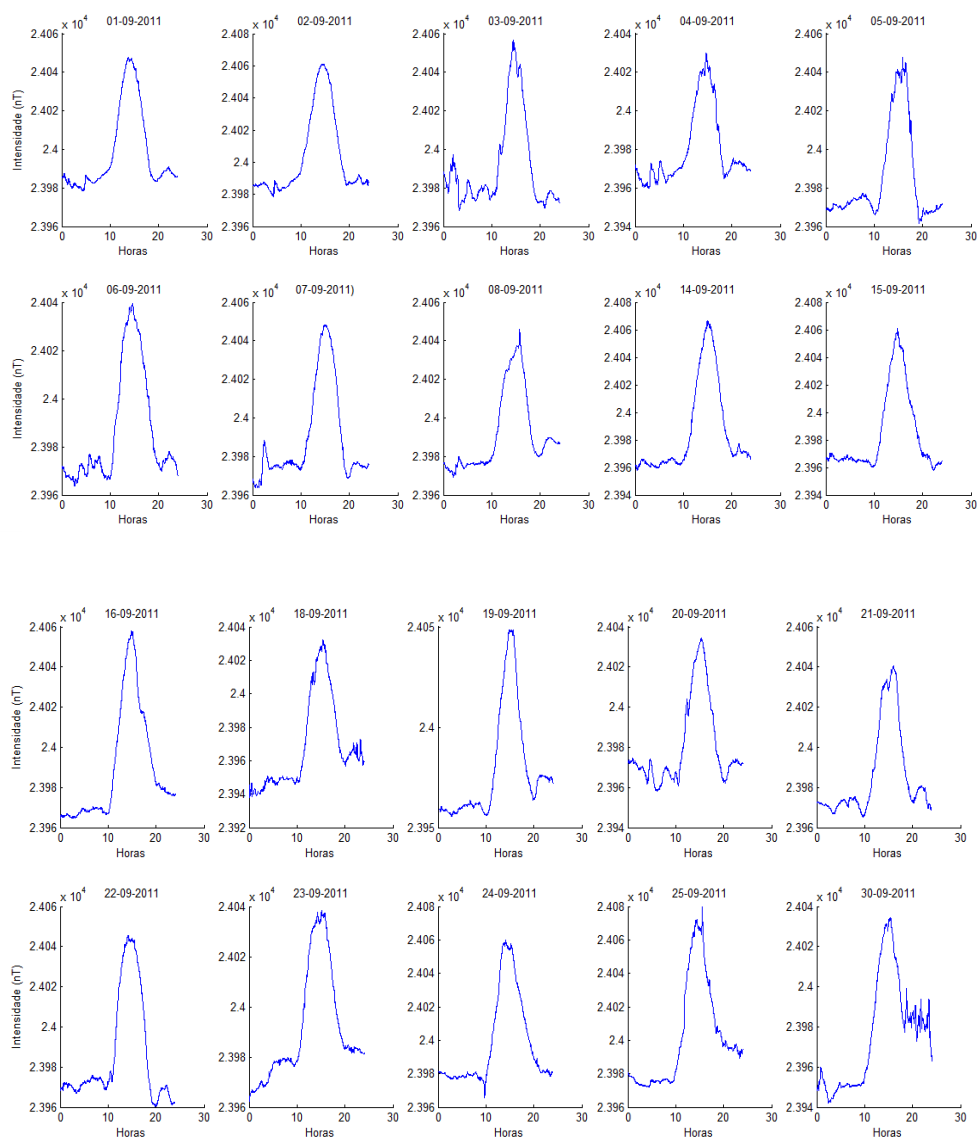
A variação da componente vertical Z, é considerada positiva quando a mesma vai em direção ao centro da Terra, é também em ambos hemisférios reversa, ou seja, mostra um mínimo ao meio-dia no hemisfério norte, o que corresponde a um máximo, ao mesmo tempo em estações sul do hemisfério Sul do Planeta [1,3]. As estações de repetições aqui utilizadas, foram dispostas em locais de diferentes modelos geológicos.

## **VARIAÇÕES NA COMPONENTE HORIZONTAL (H)**

### **CENTENÁRIO – TO**

A cidade de Centenário está localizada no estado de Tocantins e encontra-se a latitude de 08°59'36" sul e a longitude 47°12'52" oeste. Sua altitude é de 326 metros (IBGE). Nas figuras 4.1 e 4.2, pode-se visualizar o comportamento geomagnético nessa localidade, em dias Magneticamente calmos e perturbados.

## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



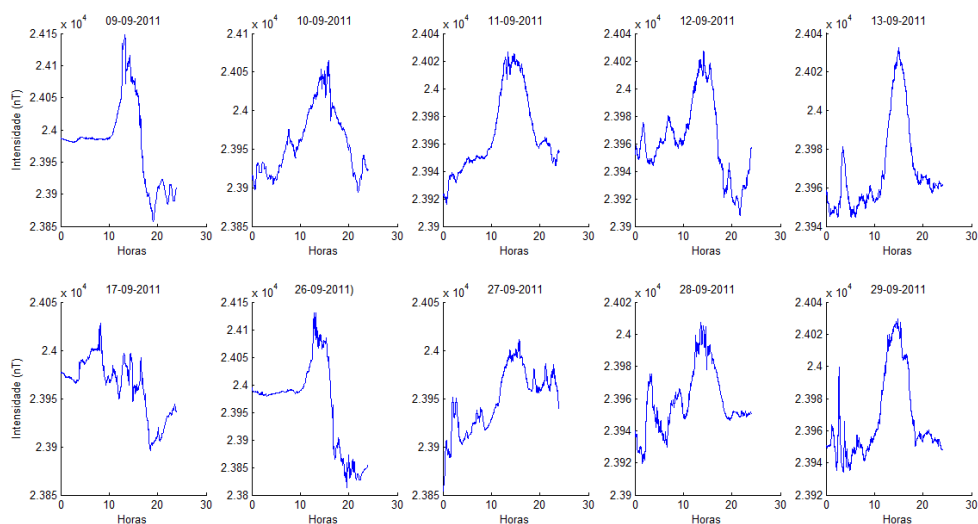
**Figura 4.1. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Centenário.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, 24047,83 nT e 23978,38 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 69,45 nT e média diária de 23998,07 nT. Enquanto no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, 24061,18 nT e de 23978,70 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 82,47 nT e média diária de 24003,38 nT.

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de 23991,38 nT, com máxima e mínima de 24056,47 nT e 23968,13 nT, respectivamente; a amplitude ficou em torno de 88,34 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23979,61 nT, com intensidade máxima de 24029,95 nT e de mínima de 23959,79 nT alcançando a amplitude de 70,15 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 23984,73 nT para a média diária, e de 24047,84 nT e 23961,77 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude  $\Delta H$  de 86,06 nT. No dia 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, 24039,34 nT e 23963,78 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 75,56 nT e média diária de 23986,48 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, 24048,27 nT e de 23963,66 nT com amplitude magnética  $\Delta H$  de 84,61 nT e média diária de 23989,37 nT. A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 23991,69 nT com máxima e mínima de 24046,07 nT e 23969,22 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 76,84 nT. No dia seguinte, 14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23986,30 nT, com intensidade máxima de 24066,62 nT e de mínima de 23957,66 nT alcançando amplitude de 108,95 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 23984,26 nT para a média diária, e de 24060,65 nT e 23957,73 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 102,92 nT. A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 23989,41 nT com máxima e mínima de 24058,04 nT e 23964,50 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 93,54 nT. No dia seguinte, 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23968,19 nT, com intensidade máxima de 24032,36 nT e de mínima de 23937,91 nT alcançando a amplitude de 94,45 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 23978,72 nT para a média diária, e de 24048,57 nT e 23955,65 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 92,91 nT. Em 20-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24034,30 nT e 23958,13 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 76,16 nT e média diária de 23980,60 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na

componente H foram, respectivamente, de 24040,79 nT e de 23965,26 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 75,53 nT e média diária de 23985,99 nT. A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 239859,10 nT com máxima e mínima de 24045,69 nT e 23960,35 nT, respectivamente; a amplitude ficou em torno de 85,34 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23991,33 nT, com intensidade máxima de 24038,30 nT e mínima de 23962,39 nT alcançando a amplitude de 75,90 nT. Em 24-09-11, tivemos um registro de 23997,89 nT para a média diária, e de 24060,16 nT e 23965,52 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 94,63 nT. Em 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24079,53 nT e 23971,92 nT, tendo amplitude magnética  $\Delta H$  de 107,61 nT e média diária de 24001,49 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24034,63 nT e de 23941,85 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 92,78 nT e média diária em torno de 23975,81 nT.

#### DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.2. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, na estação de Centenário.**



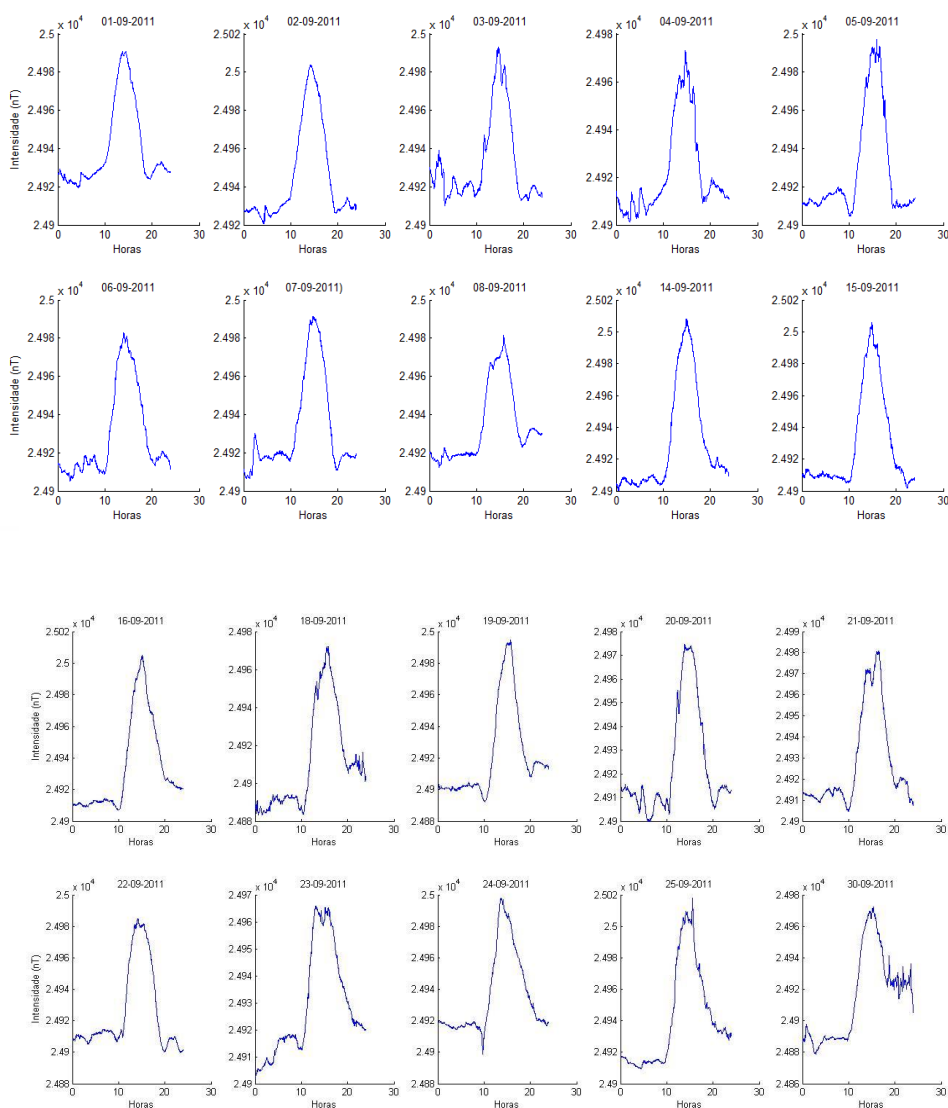
Em 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24147,85 nT e 23857,47 nT, obtendo amplitude magnética de 290.37 nT e média diária de 23978,99 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24064,45 nT e de 23893,60 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 170,85 nT e alcançando a média diária de 23959,55 nT.

A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 23966,77 nT com máxima e mínima de 24026,57 nT e 23915,86 nT, respectivamente, a amplitude ficou na casa de 110,70 nT. Em 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23962,23 nT, com intensidade máxima de 24027,25 nT e mínima de 23907,81 nT, alcançando amplitude de 119,43 nT. No dia 13-09-11, tivemos registro de 23969,37 nT para a média diária, e de 24032,50 nT e 23944,59 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 87,90 nT. No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24028,33 nT e 23896,14 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 132,19 nT e média diária de 23962,77 nT. Enquanto que no dia 26-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24130,86 nT e de 23813,29 nT. Com amplitude magnética de 317,57 nT e média diária de 23962.37 nT. A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 23948,14 nT com máxima e mínima de 24010,85 nT e 23853.81 nT, respectivamente, a amplitude ficou torno de 157,03 nT. Em 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 23958,51 nT, com intensidade máxima de 24007,32 nT e de mínima de 23919,69 nT alcançando a amplitude de 87,63 nT. No dia 29-09-11, tivemos registro de 23967,33 nT para a média diária, e de 24029,78 nT e 23934.33 nT, máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de  $\Delta H$  de 95,44 nT.

## CARMOLÂNDIA – TO

A estação de Carmolândia está localizada no estado de Tocantins a latitude de  $07^{\circ}04'31''$  sul e a longitude de  $48^{\circ}23'01''$  oeste. Situa-se a altitude de 236 metros (IBGE). Nas figuras 4.3 e 4.4, pode-se visualizar o comportamento geomagnético nessa localidade, em dias Magneticamente calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.3. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Carmolândia.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24939,91 nT e 24990,84 nT, com amplitude magnética de 71,33 nT e média diária de 24339,91 nT. Enquanto que no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25003,76 nT e de 24920,51 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 82,25 nT e média diária de 24945,03 nT.

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de 24932,56 nT com máxima e mínima de 24993,09 nT e 24910,12 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 82,97 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24921,97 nT, com intensidade máxima de 24972,92 nT e de mínima de 24901,26 nT alcançando amplitude de 71,65 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 24928,72 nT para a média diária, e de 24997,10 nT e 24904,47n T par a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 92,6 2 nT.

Em 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24983,00 nT e 24905,35 nT, com amplitude magnética de 77,65 nT e média diária de 24929,16 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24991,19 nT e de 24906,34 nT, com amplitude magnética de 84,84 nT e média diária de 24932,67 nT.

A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 24934,18 nT com máxima e mínima de 24981,52 nT e 24912,32 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 69,20 nT. Em14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24929,77 nT, com intensidade máxima de 25007,89 nT e de mínima de 24900,26 nT alcançando amplitude de 107,63 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 24929,33 nT para a média diária, e de 2505,91 nT e 24901,94 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 103,97 nT.

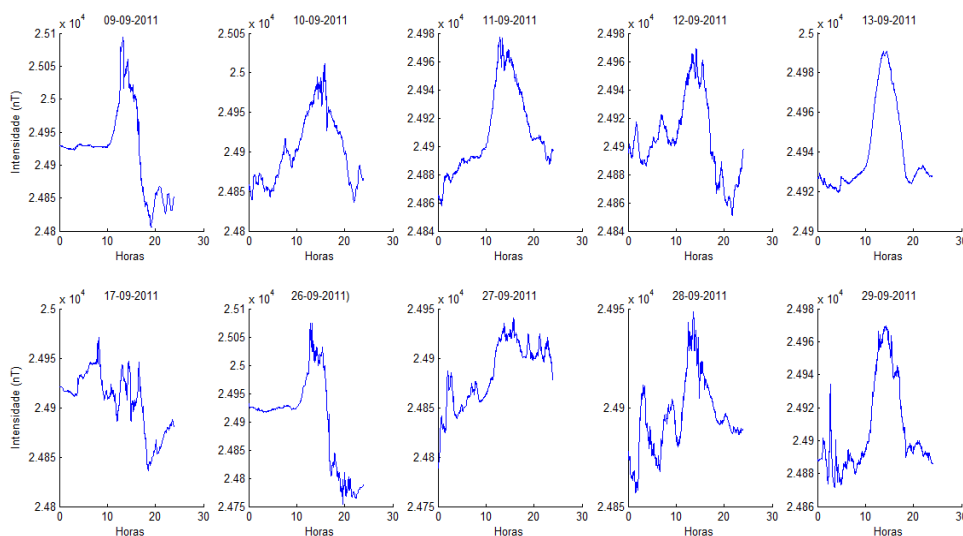
A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 24933,88 nT com máxima e mínima de 25004,79 nT e 24907,02 nT, respectivamente, a amplitude ficou em

97,77 nT. Em 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24911,38 nT, com intensidade máxima de 24972,29 nT e de mínima de 24882,65 nT alcançando amplitude de 89,63 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 24901,69 nT para a média diária, e de 24994,60 nT e 24892,31 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 102,28 nT.

No dia 20-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24974,76 nT e 24900,00, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 74,75 nT e média diária de 24927,70 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24980,73 nT e de 24904,63 nT, atingindo amplitude magnética de 76,09 nT e média diária de 24927,70 nT.

A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 24925,29 nT com máxima e mínima de 24985,01 nT e 24899,67 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 85,34 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24928,73 nT, com intensidade máxima de 24965,86 nT e de mínima de 24901,30 nT alcançando amplitude de 4,56 nT. No dia 24-09-11, tivemos um registro de 24935,84 nT para a média diária, e de 24998,07 nT e 24898,76 nT para máxima e mínima diária respectivamente, fechando o dia com amplitude de 99,31 nT. No dia 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25018.11 nT e 24909.34 nT, com amplitude magnética de 108,77 nT e média diária de 24940,97 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24972,16 nT e de 24878,91 nT. Com amplitude magnética  $\Delta H$  de 93,25 nT e média diária de 24914.97 nT.

## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.4. Variação diurna do campo magnético em dias perturbados, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Carmolândia.**

No dia 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25093,71 nT e 24805,78 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 287,93 nT e média diária de 24922,26 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25011,22 nT e de 24836,22 nT, com amplitude magnética de 175,00 nT e média diária de 24901,92 nT.

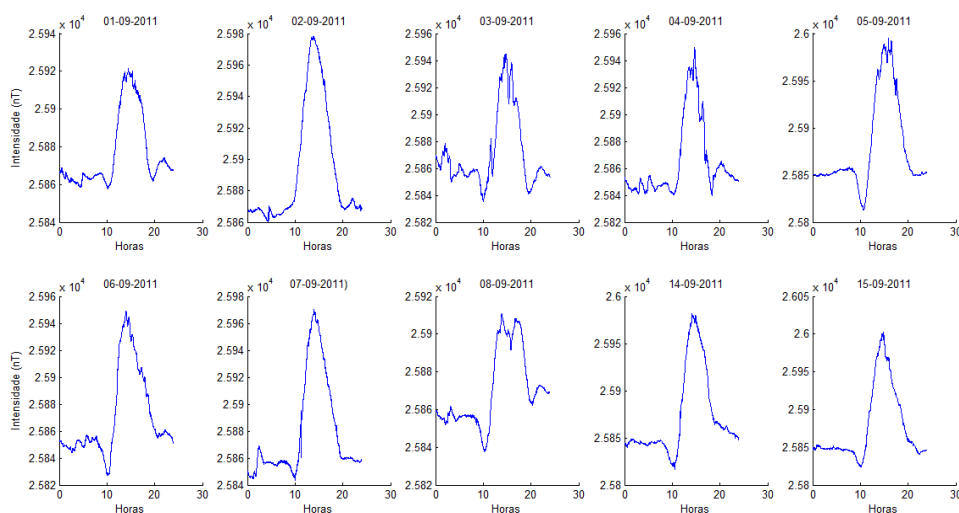
A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 24909,81 nT com máxima e mínima de 24977,50 nT e 24857,62 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 119,88 nT. No dia seguinte, 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24905,29 nT, com intensidade máxima de 24969,23 nT e de mínima de 24851,13 nT alcançando amplitude de 118,09 nT. No dia 13-09-11, tivemos um registro de 24939,91 nT para a média diária, e de 24990,84 nT e 24919,51 nT par a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 71,33 nT.

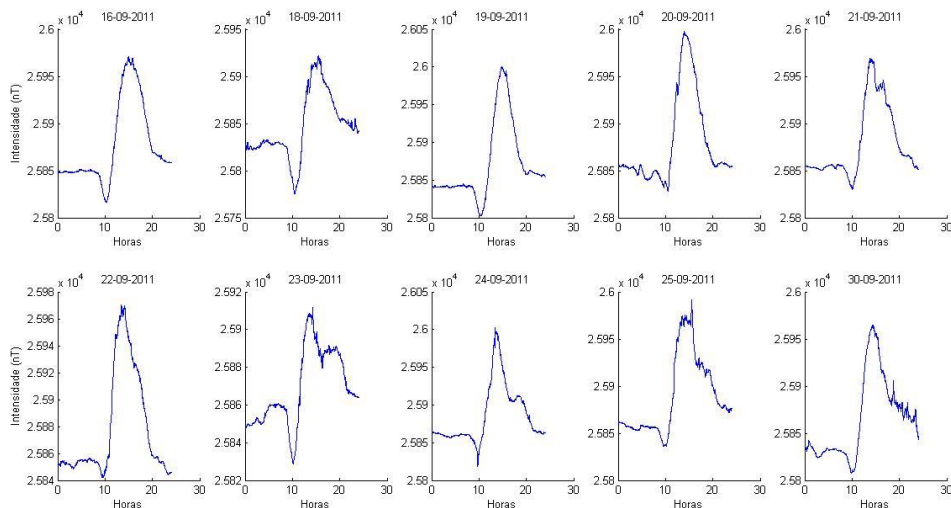
No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 24971,10 nT e 24836,04 nT, com amplitude magnética de 135,05 nT e média diária de 24906,60 nT. No dia 26-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25074,99 nT e de 24753,14 nT. Com amplitude magnética  $\Delta H$  de 321,85 nT e média diária de 24901,23 nT. A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 24884,62 nT com máxima e mínima de 24940,37 nT e 24789,08 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 151,28 nT. No dia seguinte, 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 24895,80 nT, com intensidade máxima de 24948,23 nT e de mínima de 24856,82 nT alcançando amplitude de 91,40 nT. Em 29-09-11, tivemos um registro de 24906,16 nT para a média diária, e de 24969,53 nT e 24871,46 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 98,06 nT.

## GOIANÉSIA DO PARÁ - PA

A estação de Goianésia do Pará está situada no estado do Pará. Localiza-se a latitude 03°50'34" sul e a longitude 49°05'50" oeste, estando a altitude aproximada de 82 metros (IBGE). Nas figuras 4.5 e 4.6 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:





**Figura 4.5. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará - PA.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram de respectivamente, 25921,55 nT e 25857,48 nT, com amplitude magnética de 64,06 nT e média diária de 25876,57 nT. Enquanto que no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25978,07 nT e de 25860,17 nT, com amplitude magnética ( $\Delta H$ ) de 117,90 nT e média diária de 25893,14 nT.

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de 25870,86 nT com máxima e mínima de 25944,90 nT e 25835,15 nT, respectivamente; a amplitude ficou em torno de 109,75 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25864,18 nT, com intensidade máxima de 25949,61 nT e de mínima de 25839,87 nT alcançando amplitude de 109,74 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 25878,54 nT para a média diária, e de 25995,50 nT e 25813,04 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude  $\Delta H$  de 182,45 nT.

No dia 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25949,32 nT e 25827,16 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de

122,15 nT e média diária de 25870,93 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25970,40 nT e de 25843,13 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 127,27 nT e média diária de 25879,57 nT.

A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 25870,42 nT com máxima e mínima de 25910,92 nT e 25837,58 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 73,33 nT. No dia seguinte, 14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25872,41 nT, com intensidade máxima de 25981,30 nT e de mínima de 25816,48 nT alcançando amplitude de 164,81 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 25876,85 nT para a média diária, e de 26002,56 nT e 25824,08 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 178,47 nT.

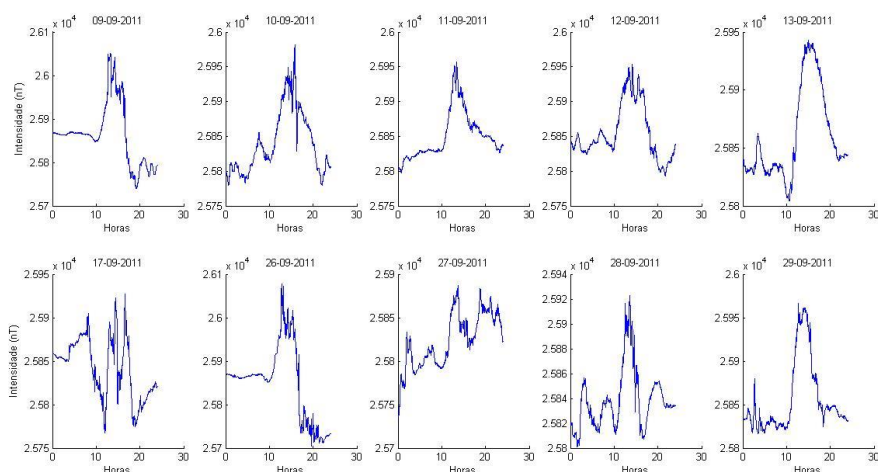
A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 25877,34 nT com máxima e mínima de 25970,62 nT e 25816,21 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 154,40 nT. Em 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25846,93 nT, com intensidade máxima de 25921,64 nT e de mínima de 25775,02 nT alcançando amplitude de 146,61 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 25871,25 nT para a média diária, e de 26000,79 nT e 25802,23 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 198,56 nT.

No dia 20-09-2011, o, valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25997,33 nT e 25828,48 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 168,85 nT e média diária de 25879,71 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25969,51 nT e de 25830,31 nT. Com amplitude magnética  $\Delta H$  de 139,19 nT e média diária de 25879,01 nT. A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 25878,61 nT com máxima e mínima de 25970,31 nT e 25842,12 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 128,19 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25869,14 nT, com intensidade máxima de 25911,56 nT e de mínima de 25828,91 nT



alcançando amplitude de 82,65 nT. No dia 24-09-11, tivemos um registro de 25885,51 nT para a média diária, e de 26002,38 nT e 25818,12 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 184,26 nT. No dia 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25991,81 nT e 25835.87 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 155,94 nT e média diária de 25888,92 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25965,17 nT e de 25807,21 nT. Com amplitude magnética  $\Delta H$  de 157,95 nT e média diária de 25865,37 nT.

#### DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.6. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará - PA.**

No dia 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26051,13 nT e 25740,03 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 311,10 nT e média diária de 25862,83 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25981,17 nT e de 25779,81 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 201,35 nT e média diária de 25839,93 nT.

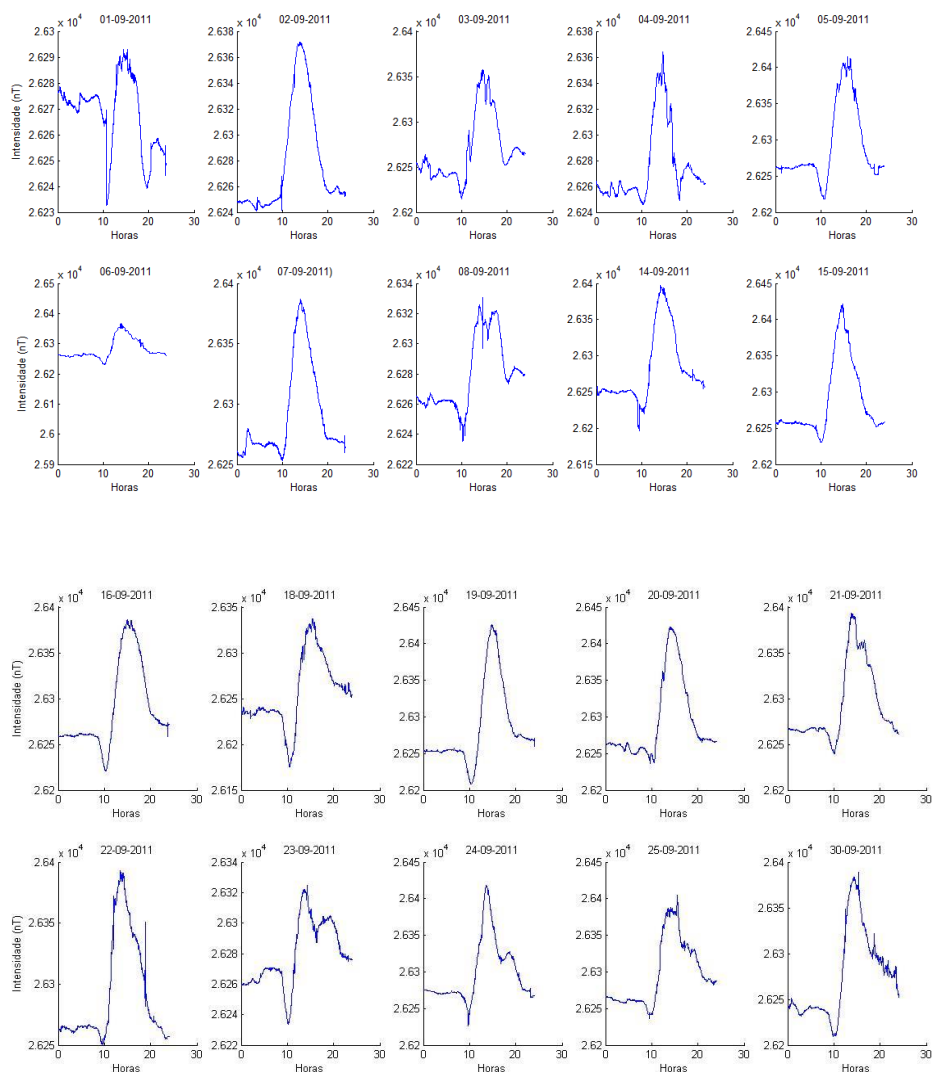
A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 25849,86 nT com máxima e mínima de 25957,11 nT e 25797,43 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 159,68 nT. No dia seguinte, 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25854,91 nT, com intensidade máxima de 25953,40 nT e de mínima de 25793,26 nT alcançando amplitude de 160,14 nT. No dia 13-09-11, tivemos um registro de 25860,15 nT para a média diária, e de 25942,73 nT e 25804,22 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 138,50 nT. No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 25927,34 nT e 25767,50 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 159,84 nT e média diária de 25842,28 nT. Enquanto que no dia 26-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26078,18 nT e de 25704,82 nT. Com amplitude magnética  $\Delta H$  de 373,36 nT e média diária de 25850,55 nT.

A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 25823,65 nT com máxima e mínima de 25886,61 nT e 25733,20 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 153,40 nT. No dia seguinte, 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 25838,63 nT, com intensidade máxima de 25922,76 nT e de mínima de 25800,99 nT alcançando amplitude de 121,76 nT. No dia 29-09-11, tivemos um registro de 25856,02 nT para a média diária, e de 25966,50 nT e 25816,46 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 150,04 nT.

### **JUABA - PA (EEJ)**

A estação de Juaba - PA se encontra na cidade de Cametá, no estado do Pará, no Brasil. Localiza-se à latitude 02°23'52" sul e a longitude 49°33'30" oeste, estando a altitude de aproximadamente 10 metros (IBGE). Nas figuras 4.7 e 4.8 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias calmos e perturbados.

## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.7. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Juaba-PA.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram de, respectivamente, 26293,95 nT e 26232,55 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 61,40 nT e média diária de 26268,03 nT. Enquanto que no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26371,82 nT e de 26241,06 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 130,75 nT e média diária de 26278,30 nT.

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de 26269,58 nT com máxima e mínima de 26357,28 nT e 26214,68 nT, respectivamente; a amplitude ficou em torno de 142,59 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26275,07 nT, com intensidade máxima de 26364,30 nT e de mínima de 26246,02 nT alcançando amplitude de 118,27 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 26290,13 nT para a média diária, e de 26414,67 nT e 26217,85 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude  $\Delta H$  de 196,81 nT.

No dia 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram respectivamente, de 26416,81 nT e 25990,62 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 426,19 nT e média diária de 26281,49 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26387,09 nT e de 26252,92 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 134,17 nT e média diária de 26290,94 nT.

A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 26279,47 nT com máxima e mínima de 26330,71 nT e 26235,47 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 95,23 nT. No dia seguinte, 14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26280,74 nT, com intensidade máxima de 26396,97 nT e de mínima de 26196,04 nT alcançando amplitude de 200,93 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 26287,98 nT para a média diária, e de 26421,09 nT e 26230,28 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 190,81 nT.

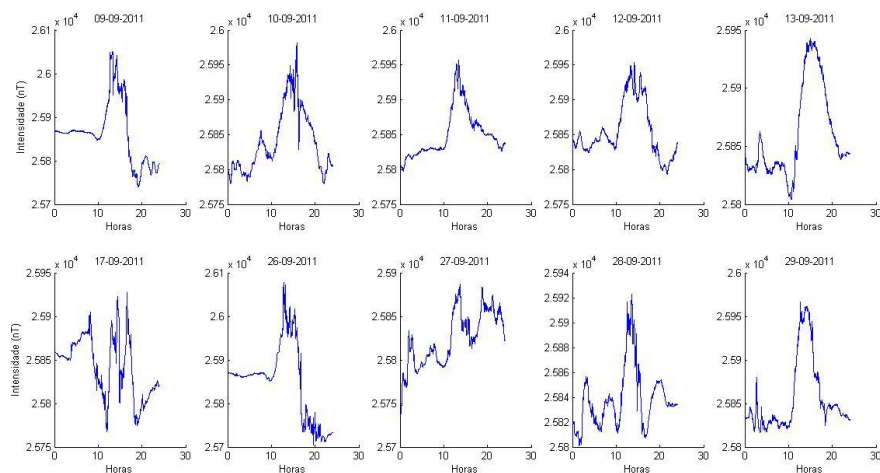
A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 26289,42 nT com máxima e mínima de 26386,04 nT e 26220,76 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 165,28 nT. No dia seguinte, 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26256,80 nT, com intensidade máxima de 26337,00 nT e de mínima de 26175,22 nT alcançando amplitude de 161,77 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 26285,43 nT para a média diária, e de 26425,92 nT e 26207,86 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 218,051 nT.

No dia 20-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26422,30 nT e 26236,79 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 185,50 nT e média diária de 26293,82 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26393,18 nT e de 26239,62 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 153,56 nT e média diária de 26293,04 nT.

A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 26291,76 nT com máxima e mínima de 26392,75 nT e 26250,20 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 142,54 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26279,71 nT, com intensidade máxima de 26324,56 nT e de mínima de 26233,89 nT alcançando amplitude de 90,64 nT. No dia 24-09-11, tivemos um registro de 26298,06 nT para a média diária, e de 26418,27 nT e 26226,78 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 191,49 nT.

No dia 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram respectivamente, de 26404,94 nT e 26236,70 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 168,23 nT e média diária de 26297,45 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26389,05 nT e de 26209,38 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 179,66 nT e média diária de 26276,47 nT.

## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.8. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Juaba.**

No dia 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26463,78 nT e 26148,11 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 315,66 nT e média diária de 26273,00 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26399,57 nT e de 26191,22 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 208,34 nT e média diária de 26250,63 nT.

A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 26259,57 nT com máxima e mínima de 26373,54 nT e 26207,04 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 166,50 nT. No dia seguinte, 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26266,95 nT, com intensidade máxima de 26371,97 nT e de mínima de 26204,00 nT alcançando amplitude de 167,97 nT. No dia 13-09-11, tivemos um registro de 26271,69 nT para a média diária, e de 26359,05 nT e 26207,70 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 151,34 nT.

No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26346,34 nT e 26162,09 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 184,25 nT e média diária de 26253,47 nT. Enquanto que no dia 26-09-2011, os valores

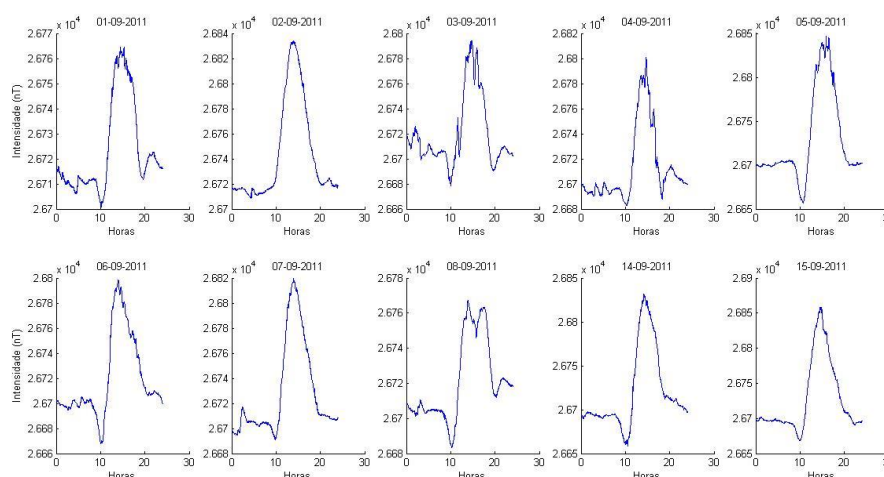
máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26498,03 nT e de 26115,68 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 382,34 nT e média diária de 26261,05 nT.

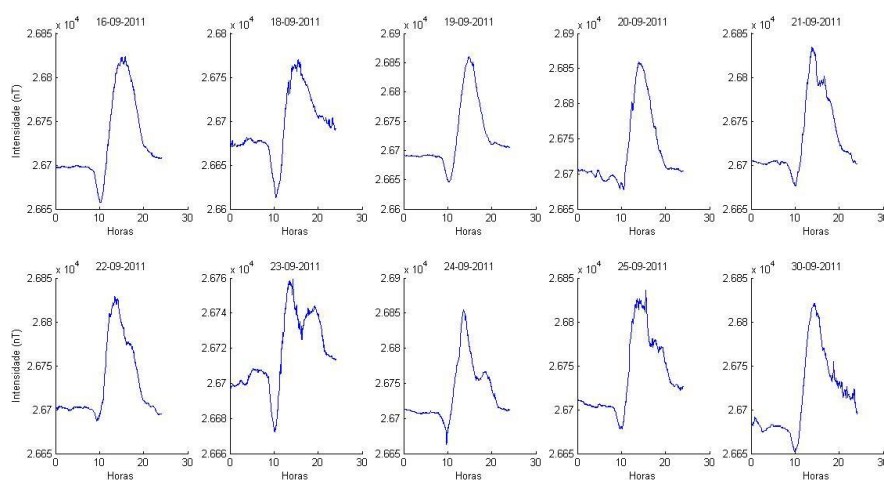
A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 26232,06 nT com máxima e mínima de 26299.87 nT e 26139,32 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 160,54 nT. No dia seguinte, 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26251,24 nT, com intensidade máxima de 26341.86 nT e de mínima de 26212,28 nT alcançando amplitude de 129,58 nT. No dia 29-09-11, tivemos um registro de 26269,54 nT para a média diária, e de 26386,99 nT e 26228.83 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de  $\Delta H$  de 158,16 nT.

## TATUOCA – PA

O Observatório Magnético de Tatuoca, instalado em 1957 durante o Ano Internacional do Eletrojoato Equatorial – EEJ monitora o campo magnético e elétrico com equipamento de última geração desde junho de 2008. Ilha localizada em Belém do Pará, cuja latitude é  $02^{\circ}23'52''$  ao sul, e longitude  $49^{\circ}33'30''$  oeste, a altitude de aproximadamente 10m. Nas figuras 4.9 e 4.10 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:





**Figura 4.9. Variação diurna do campo magnético calmo, registradas nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram de, respectivamente, 26764,49 nT e 26700,64 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 63,85 nT e média diária de 26723,44 nT. Enquanto que no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26833,88 nT e de 26708,39 nT, com amplitude magnética ( $\Delta H$ ) de 125,49 nT e média diária de 26743,26 nT.

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de 26719,96 nT com máxima e mínima de 26793,92 nT e 26678,47 nT, respectivamente; a amplitude ficou em torno de 115,44 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26712,77 nT, com intensidade máxima de 26801,10 nT e de mínima de 26682,92 nT alcançando amplitude de 118,18 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 26728,12 nT para a média diária, e de 26847,11 nT e 26657,06 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude  $\Delta H$  de 190,04 nT.

No dia 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26798,4 nT e 26668,07 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 130,33 nT e média diária de 26719,69 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26819,81 nT



e de 26690,90 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 128,91 nT e média diária de 26728,71 nT.

A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 26721,04 nT com máxima e mínima de 26767,37 nT e 26683,40 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 83,96 nT. No dia seguinte, 14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26720,42 nT, com intensidade máxima de 26831,88 nT e de mínima de 26658,32 nT alcançando amplitude de 173,56 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 26727,52 nT para a média diária, e de 26858,47 nT e 26668,92 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 189,55 nT.

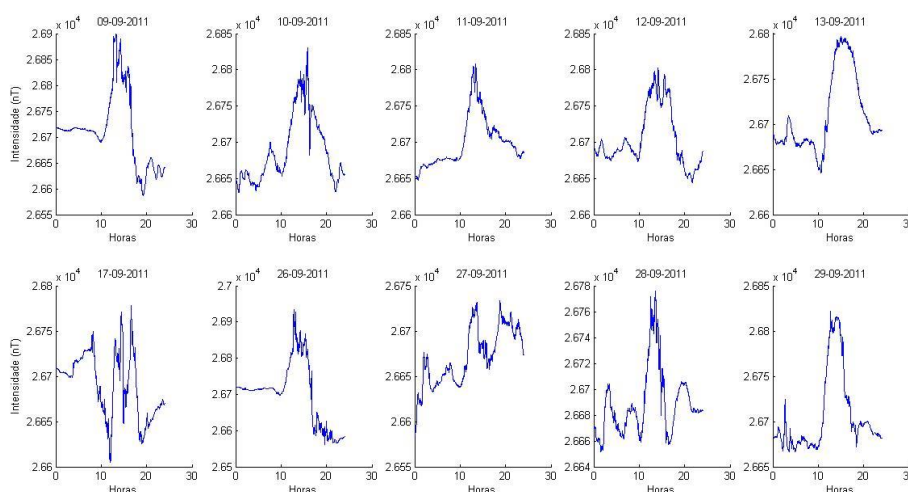
A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 26726,84 nT com máxima e mínima de 26823,55 nT e 26657,42 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 166,13 nT. No dia seguinte, 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26695,01 nT, com intensidade máxima de 26769,67 nT e de mínima de 26612,56 nT alcançando amplitude de 157,10 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 26722,87 nT para a média diária, e de 26859,87 nT e 26645,64 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 214,23 nT.

No dia 20-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26858,89 nT e 26677,52 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 181,36 nT e média diária de 26732,42 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26834,03 nT e de 26676,02 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 158,00 nT e média diária de 26730,93 nT.

A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 26729,95 nT com máxima e mínima de 26829,39 nT e 26687,46 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 141,93 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26717,30 nT, com intensidade máxima de 26759,31 nT e de mínima de 26672,31 nT alcançando amplitude de 87,00 nT. No dia 24-09-11, tivemos um registro de 26735,59 nT para a

média diária, e de 26854,39 nT e 26662,91 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 191,48 nT. No dia 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26836,17 nT e 26678,27 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 157,89 nT e média diária de 26738,14 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26820,96 nT e de 26652,11 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 168,84 nT e média diária de 26716,01 nT.

#### DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.10. Variação diurna do campo magnético perturbado, registradas nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.**

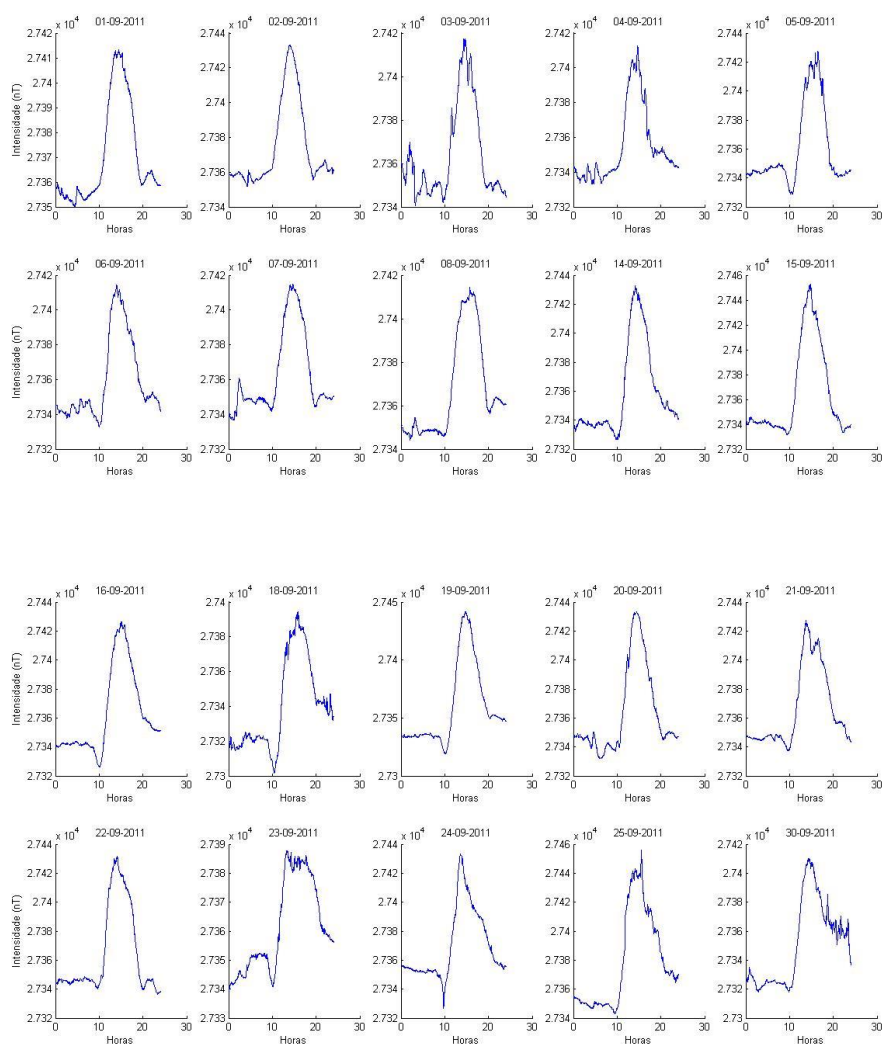
No dia 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26899,34 nT e 26586,80 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 312,54 nT e média diária de 26711,66 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26829,97 nT e de 26630,54 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 199,43 nT e média diária de 26688,65 nT. A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 26699,31 nT com máxima e mínima de 26808,46 nT e 26647,24 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 161,21 nT. No dia seguinte, 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26704,80 nT, com intensidade máxima de 26802,31 nT e de mínima de 26644,55 nT alcançando

amplitude de 157,76 nT. No dia 13-09-11, tivemos um registro de 26710,64 nT para a média diária, e de 26797,11 nT e 26646,40 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 150,70 nT. No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26778,33 nT e 26604,54 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 173,79 nT e média diária de 26690,27 nT. Enquanto que no dia 26-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 26933,92 nT e de 26561,01 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 372,91 nT e média diária de 26701,49 nT. A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 26671,49 nT com máxima e mínima de 26733,10 nT e 26582,62 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 150,48 nT. No dia seguinte, 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 26688,81 nT, com intensidade máxima de 26775,90 nT e de mínima de 26651,65 nT alcançando amplitude de 124,25 nT. No dia 29-09-11, tivemos um registro de 26705,97 nT para a média diária, e de 26821,91 nT e 26666,58 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 155,32 nT.

### **SÃO JOAQUIM DO PACUÍ – AP**

São Joaquim do Pacuí é um distrito de um município brasileiro de Macapá, capital do estado do Amapá. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sua latitude é de 00°49'29" e longitude - 50°45'31", a altitude de aproximadamente 26m. Nas figuras 4.11 e 4.12 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.11. Variação diurna do campo magnético calmo, registradas nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP.**

No dia 01-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram de, respectivamente,  $27413,37 \text{ nT}$  e  $27350,08 \text{ nT}$ , com amplitude magnética  $\Delta H$  de  $63,28 \text{ nT}$  e média diária de  $27370,19 \text{ nT}$ . Enquanto que no dia 02-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de  $27433,06 \text{ nT}$  e de  $27351,62 \text{ nT}$ , com amplitude magnética ( $\Delta H$ ) de  $81,44 \text{ nT}$  e média diária de  $27374,36 \text{ nT}$ .

A média diária no dia 03-09-11 apresentou intensidade de  $27363,83 \text{ nT}$  com máxima e mínima de  $27417,38 \text{ nT}$  e  $27340,70 \text{ nT}$ , respectivamente; a amplitude ficou em

torno de 76,68 nT. No dia seguinte, 04-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27354,52 nT, com intensidade máxima de 27412,73 nT e de mínima de 27332,97 nT alcançando amplitude de 79,75 nT. No dia 05-09-11, tivemos um registro de 27360,00 nT para a média diária, e de 27427,58 nT e 27328,88 nT para a máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude  $\Delta H$  de 98,70 nT.

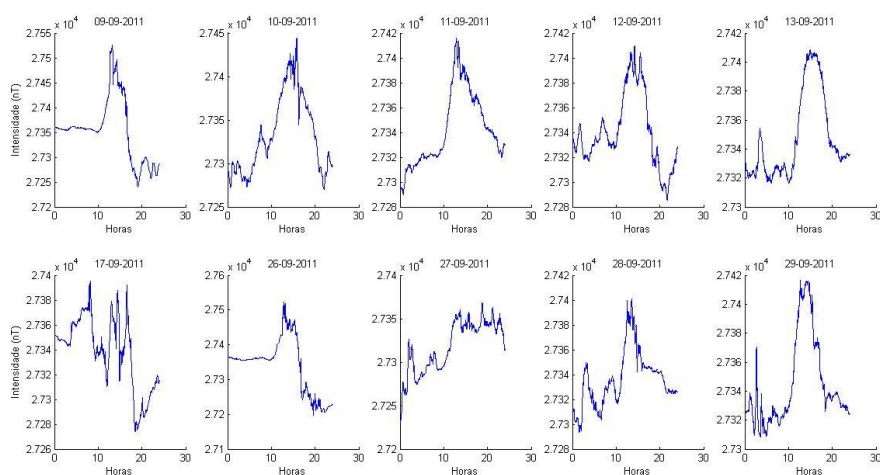
No dia 06-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27414,38 nT e 27332,81 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 81,56 nT e média diária de 27359,75 nT. Enquanto que no dia 07-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27414,68 nT e de 27336,62 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 78,06 nT e média diária de 27362,91 nT. A média diária no dia 08-09-11 apresentou intensidade de 27367,23 nT com máxima e mínima de 27414,59 nT e 27344,16 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 70,43 nT. No dia seguinte, 14-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27359,11 nT, com intensidade máxima de 27432,86 nT e de mínima de 27326,77 nT alcançando amplitude de 106,09 nT. No dia 15-09-11, tivemos um registro de 27364,81 nT para a média diária, e de 27452,68 nT e 27331,72 nT para a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 120,95 nT.

A média diária no dia 16-09-11 apresentou intensidade de 27362,94 nT com máxima e mínima de 27426,35 nT e 27326,04 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 100,30 nT. No dia seguinte, 18-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27340,12 nT, com intensidade máxima de 27394,20 nT e de mínima de 27301,50 nT alcançando amplitude de 92,70 nT. No dia 19-09-11, tivemos um registro de 27359,54 nT para a média diária, e de 27441,79 nT e 27319,27 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 122,52 nT.

No dia 20-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27433,19 nT e 27331,86 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 101,32 nT e média diária de 27363,35 nT. Enquanto que no dia 21-09-2011, os valores

máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27427,17 nT e de 27337,21 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 89,95 nT e média diária de 27366,10 nT. A média diária no dia 22-09-11 apresentou intensidade de 27364,41 nT com máxima e mínima de 27431,61 nT e 27336,43 nT, respectivamente, a amplitude ficou em 95,18 nT. No dia seguinte, 23-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27361,55 nT, com intensidade máxima de 27387,83 nT e de mínima de 27338,21 nT alcançando amplitude de 49,62 nT. No dia 24-09-11, tivemos um registro de 27369,91 nT para a média diária, e de 27433,27 nT e 27326,49 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 106,77 nT. No dia 25-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27456,24 nT e 27342,95 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 113,29 nT e média diária de 27378,63 nT. Enquanto que no dia 30-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27410,07 nT e de 27317,83 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 92,23 nT e média diária de 27351,01 nT.

#### DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



**Figura 4.12. Variação diurna do campo magnético perturbado, registradas nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí.**

No dia 09-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27525,45 nT e 27239,67 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 285,78 nT e média diária de 27353,16 nT. Enquanto que no dia 10-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27443,88 nT e de 27270,11 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 173,77 nT e média diária de 27332,21 nT.

A média diária no dia 11-09-11 apresentou intensidade de 27341,96 nT com máxima e mínima de 27416,13 nT e 27289,73 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 126,40 nT. No dia seguinte, 12-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27340,01 nT, com intensidade máxima de 27409,72 nT e de mínima de 27285,43 nT alcançando amplitude de 124,29 nT. No dia 13-09-11, tivemos um registro de 27347,43 nT para a média diária, e de 27408,65 nT e 27316,58 nT par a máxima e mínima diária, fechando o dia com amplitude de 92,06 nT. No dia 17-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27395,46 nT e 27274,12 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 121,34 nT e média diária de 27338,06 nT. Enquanto que no dia 26-09-2011, os valores máximo e mínimo registrados na componente H foram, respectivamente, de 27522,48 nT e de 27197,45 nT, com amplitude magnética  $\Delta H$  de 325,02 nT e média diária de 27340,15 nT.

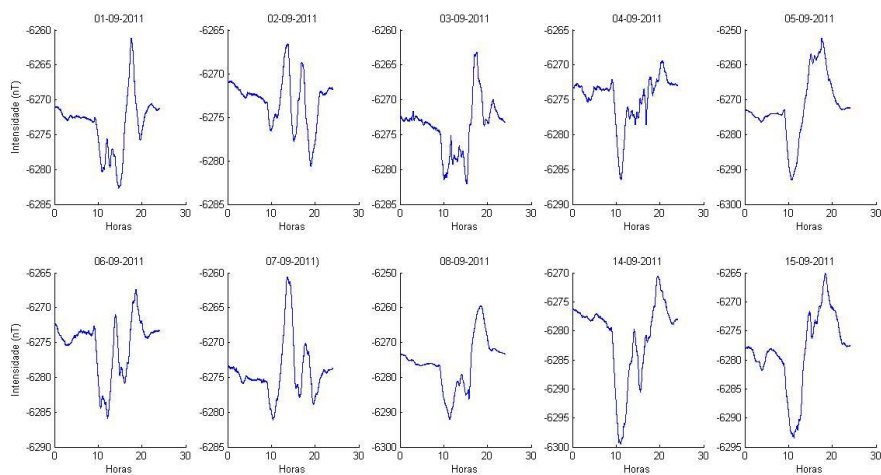
A média diária no dia 27-09-11 apresentou intensidade de 27318,29 nT com máxima e mínima de 27368,55 nT e 27228,94 nT, respectivamente; a amplitude ficou em 139,61 nT. No dia seguinte, 28-09-11, a média diária apresentou intensidade de 27336,01 nT, com intensidade máxima de 27400,80 nT e de mínima de 27293,54 nT alcançando amplitude de 107,25 nT. No dia 29-09-11, tivemos um registro de 27344,45 nT para a média diária, e de 27416,59 nT e 27308,47 nT para máxima e mínima diária, respectivamente, fechando o dia com amplitude de 108,11 nT.

## VARIAÇÕES NA COMPONENTE VERTICAL (Z)

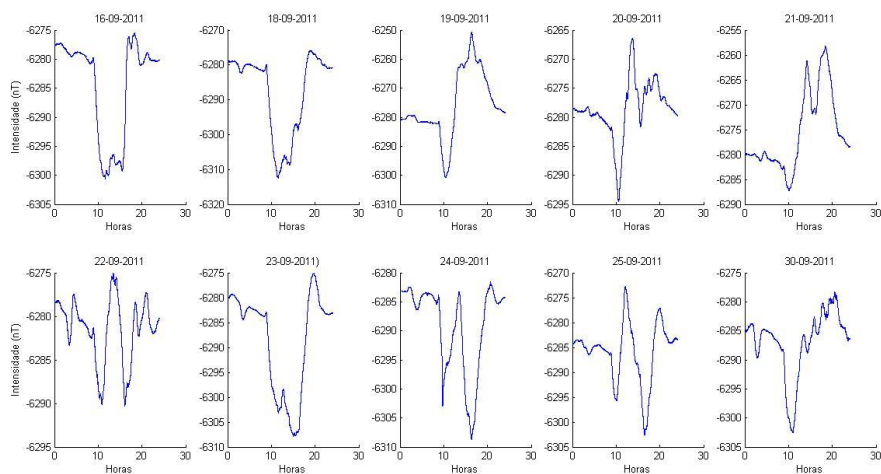
### CENTENÁRIO –TO

A unidade geológica dessa região é composta basicamente por sequência essencialmente arenosa com níveis de siltitos (rocha sedimentar clástica formada pela deposição e litificação de sedimentos com grãos de tamanho silte, intermediário entre os tamanhos areia e argila, é composta principalmente por quartzo, feldspato, mica e argila), folhelhos e intercalações de calcário. Ocasionalmente os sedimentos arenosos da seção inferior se fazem iniciar por um conglomerado petromítico (CPMR). Nas figuras 4.13 e 4.14 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



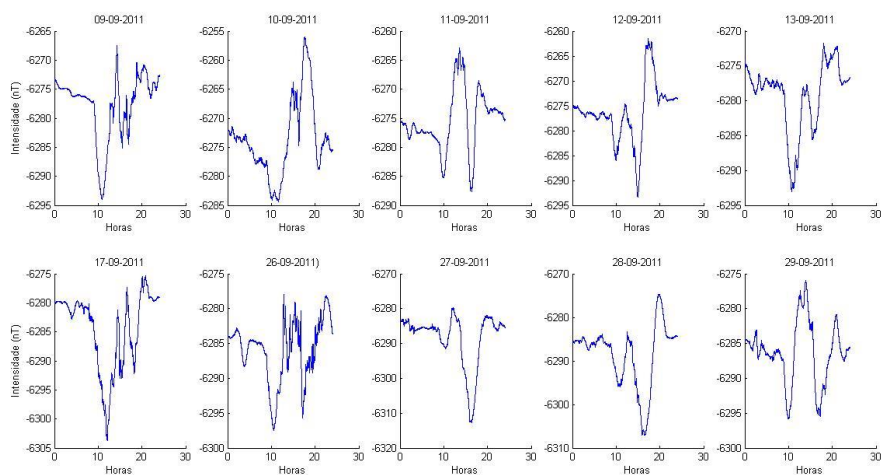




**Figura 4.13. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Centenário-TO.**

Como a componente Z relaciona-se com a geologia local, podemos notar pelos gráficos que não há quase nenhuma semelhança como na componente horizontal.

#### **DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:**

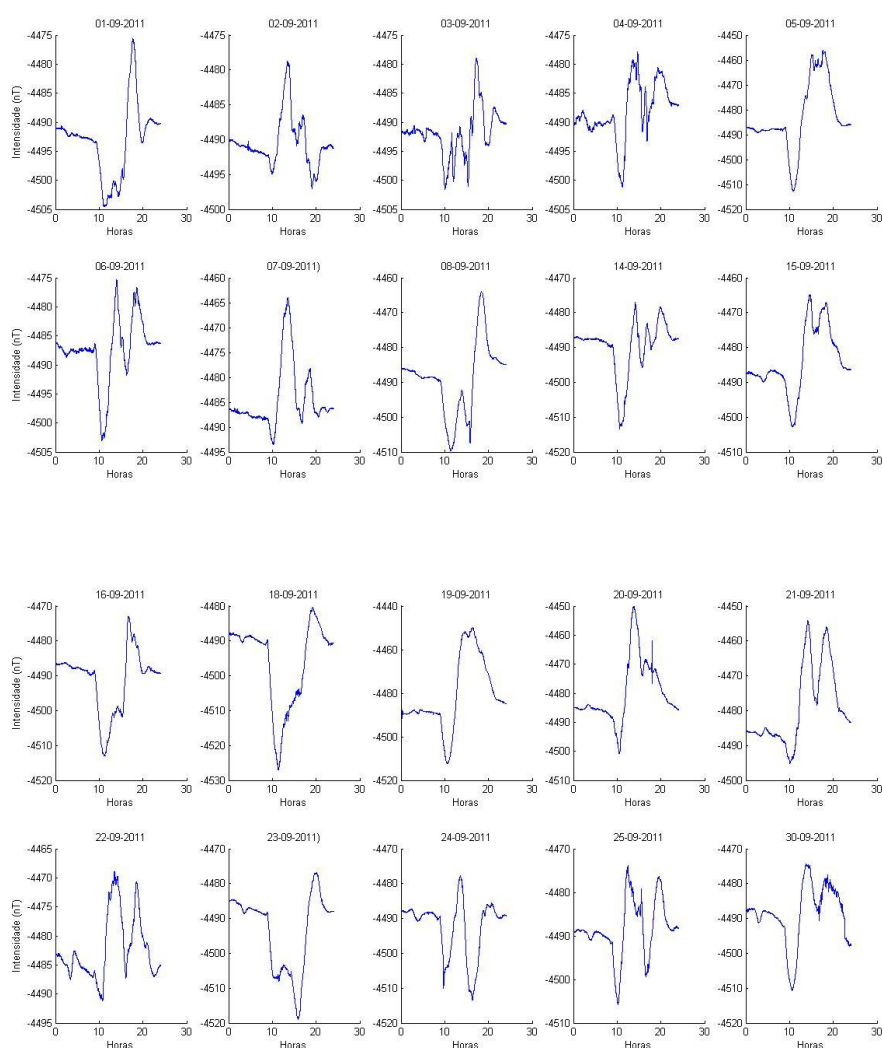


**Figura 4.14. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Centenário-TO.**

## CARMOLÂNDIA - TO

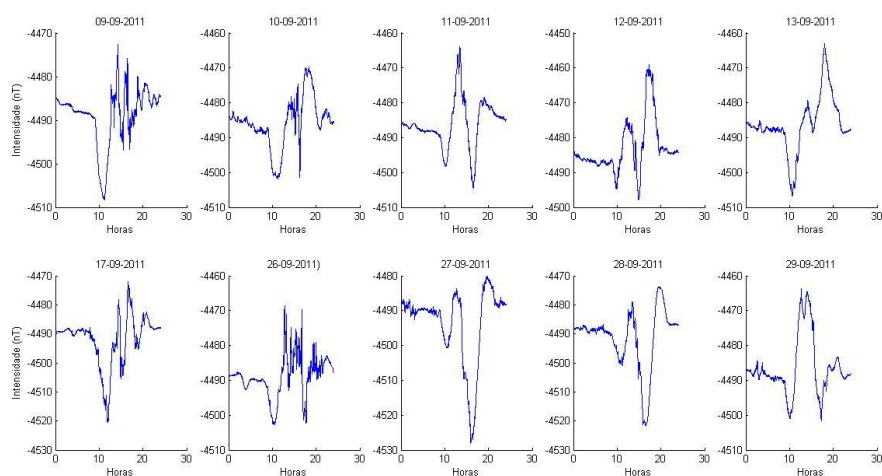
Carmolândia possui unidade geológica composta por zona basal com rochas subjacentes alteradas, areias, argilas e níveis conglomeráticos, parcialmente laterizadas, com zona média concreclonária de lateritos ferruginosos compactos e zona superior (CPMR). Nas figuras 4.15 e 4.16 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.15. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Carmolândia-TO.**

## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:

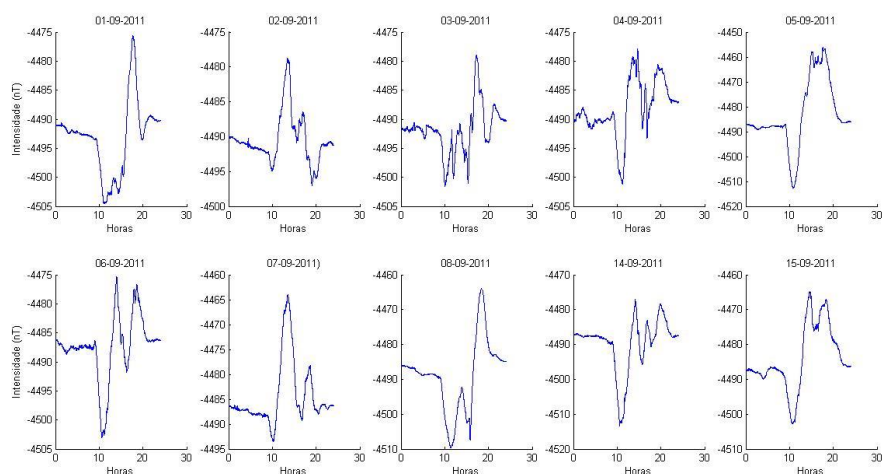


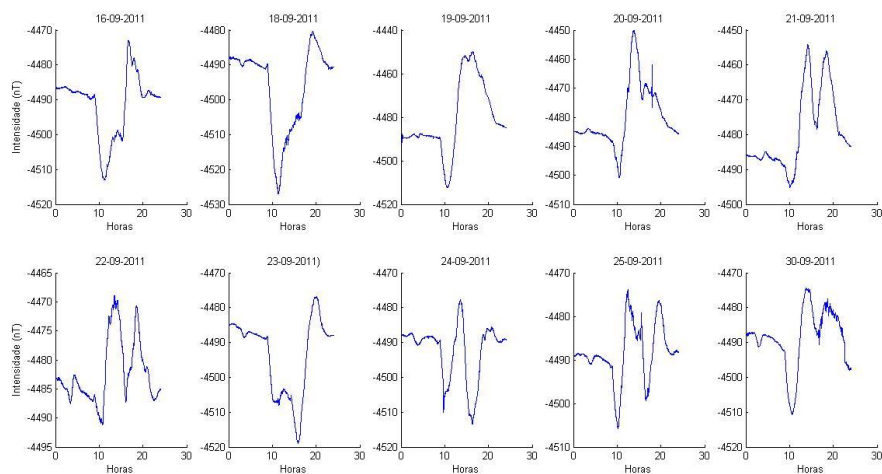
**Figura 4.16.** *Varição diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Carmolândia - TO.*

## GOIANÉSIA DO PARÁ – PA

Goianésia do Pará - PA. possui unidade geológica composta por xistos micáceos e quartzosos, com intercalações de filitos, quartzitos, talco xistos e calcoxistos (CPMR). Nas figuras 4.17 e 4.18 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

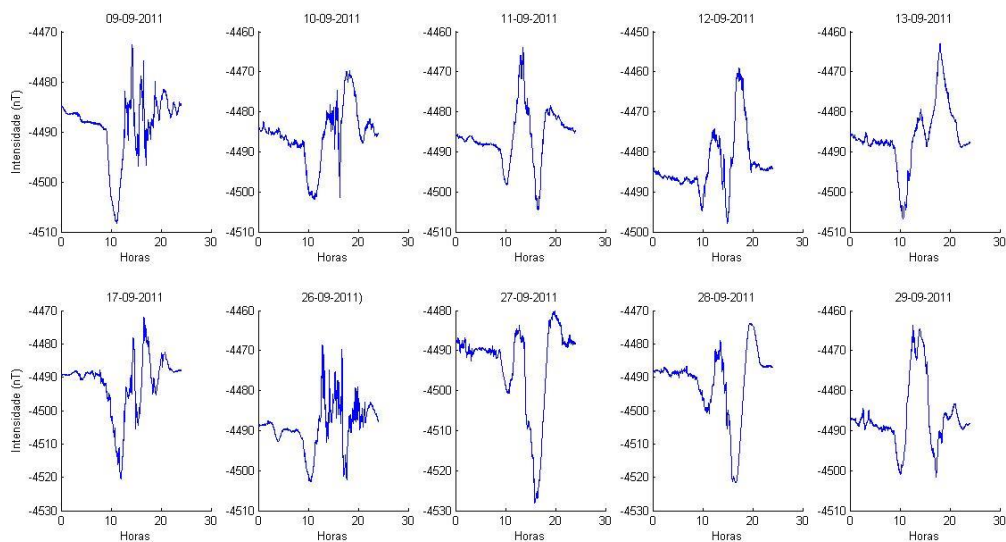
## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:





**Figura 4.17. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.**

#### **DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:**

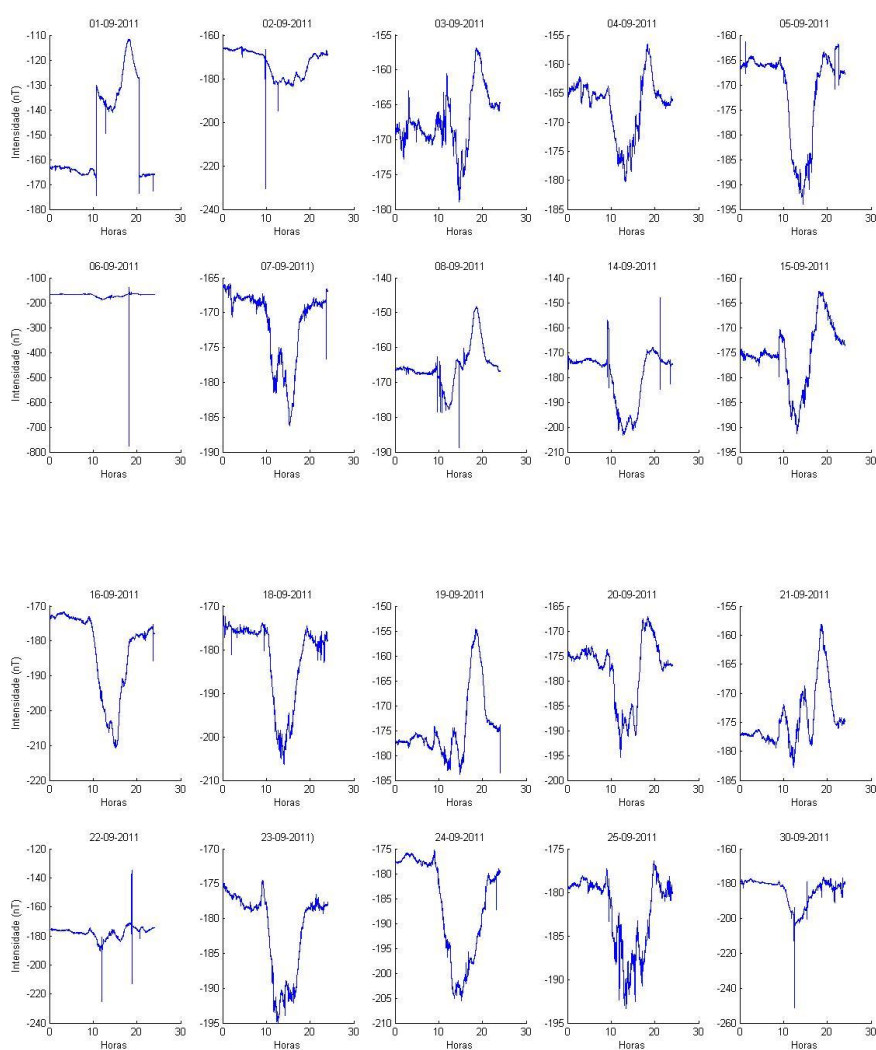


**Figura 4.18. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.**

## JUABA - PA (EEJ)

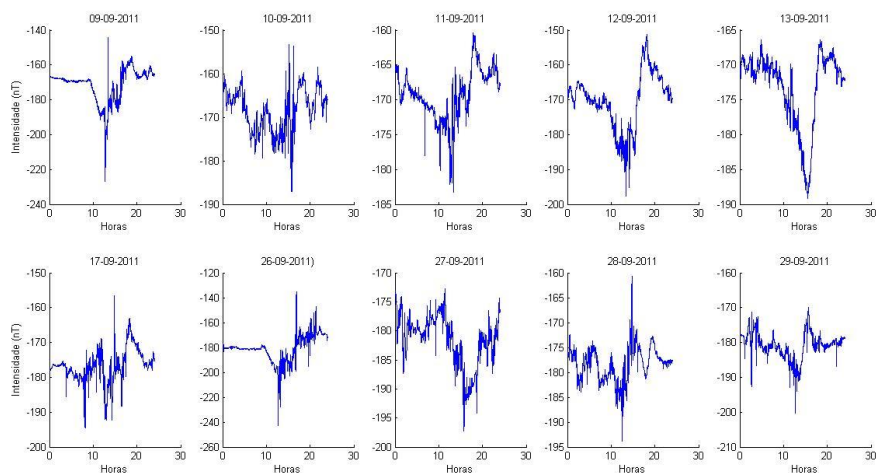
Juaba - PA possui unidade geológica composta por areias argilosas, friáveis a semiconsolidadas, finas a médias, amareladas e esbranquiçadas. Ambiente eólico, cordão litorâneo e de planície de maré (CPMR). Nas figuras 4.19 e 4.20 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

### DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.19. Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.**

## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:

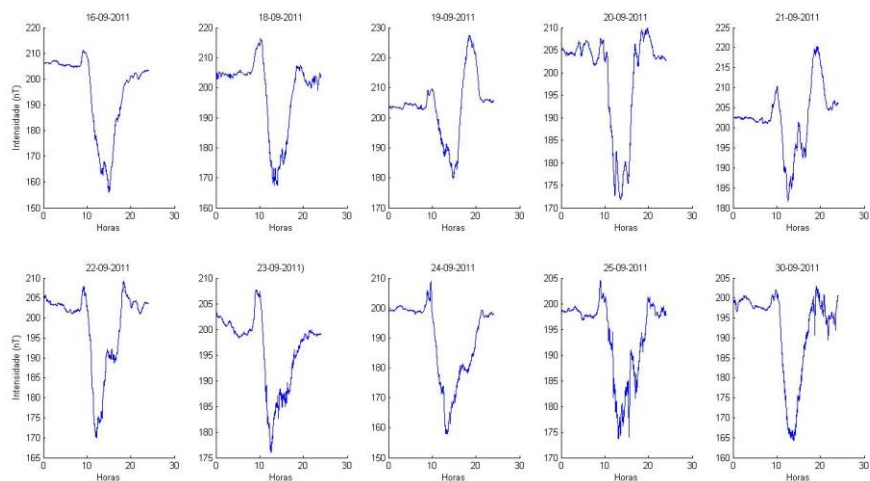


**Figura 4.20.** Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Goianésia do Pará-PA.

## TATUOCA – PA

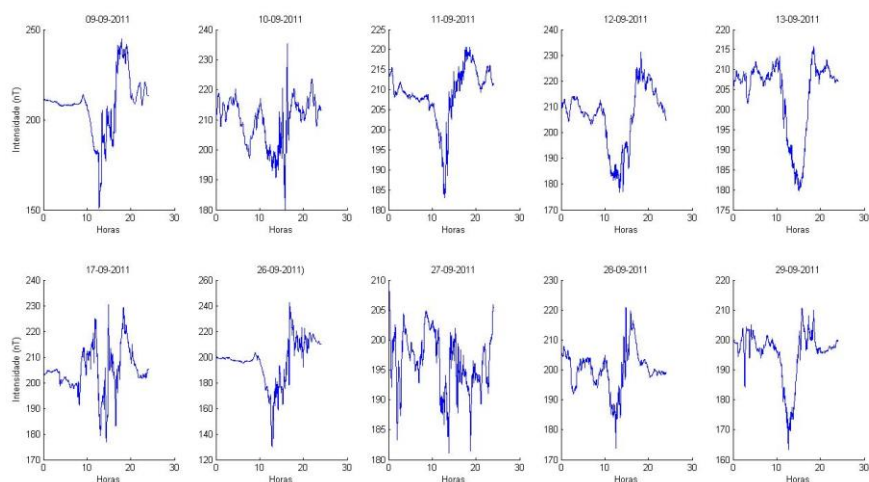
Nas figuras 4.21 e 4.22 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.

## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.21.** Variação diurna do campo magnético calmo, registrada nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em Tatuoca-PA.

## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



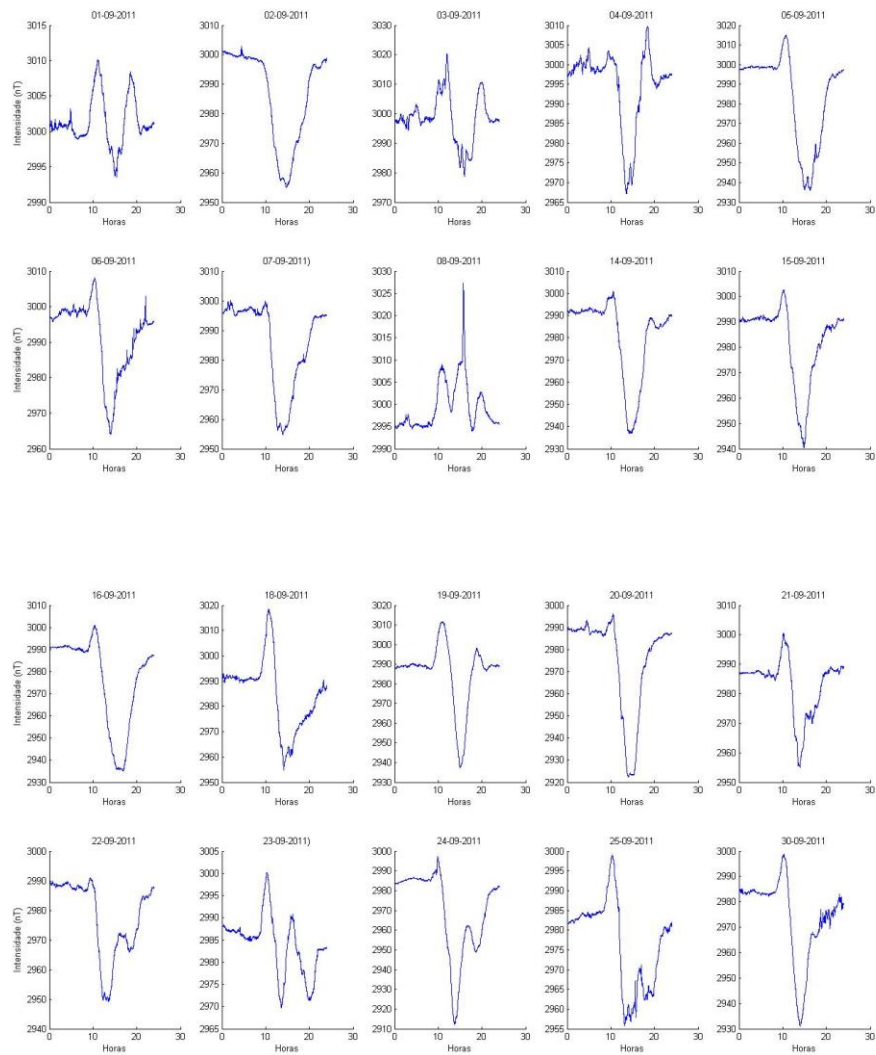
**Figura 4.22. Variação diurna do campo magnético perturbado, registrada nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em Tatuoca.**

## SÃO JOAQUIM DO PACUÍ – AP

A unidade geológica de São Joaquim do Pacuí é composta por rochas metavulcânicas e metassedimentares, deformadas e metamorfoseadas na fácies xisto verde a anfibolito, compreendendo um terreno greenstone belt (termo utilizado na Geologia para se descrever associações metavulcanossedimentares de idades Pré-Cambrianas), além de rochas granulíticas e terrenos gnaiss-migmatitos, com remanescentes de crosta arqueana retrabalhada. Nas figuras 4.23 e 4.24 pode-se verificar o comportamento magnético nessa localidade em dias magneticamente calmos e perturbados.



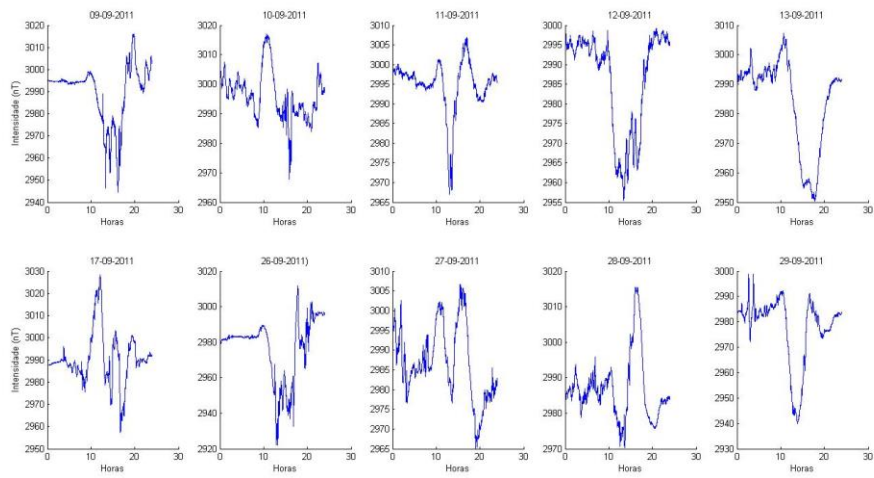
## DIAS MAGNETICAMENTE CALMOS:



**Figura 4.23. Variação diurna do campo magnético calmo, registradas nos dias 1-8, 14-16, 18-25, 30 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP**



## DIAS PERTURBADOS MAGNETICAMENTE:



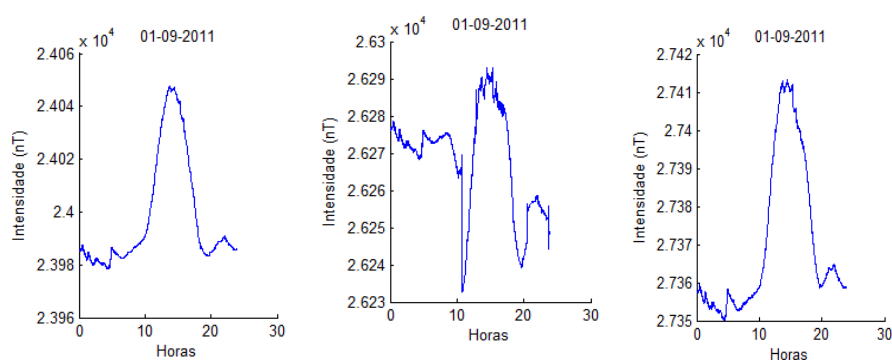
**Figura 4.24. Variação diurna do campo magnético perturbado, registradas nos dias 9-13, 17, 26-29 de setembro de 2011, em São Joaquim do Pacuí-AP.**

## CAPITULO 5 - RESULTADOS OBTIDOS

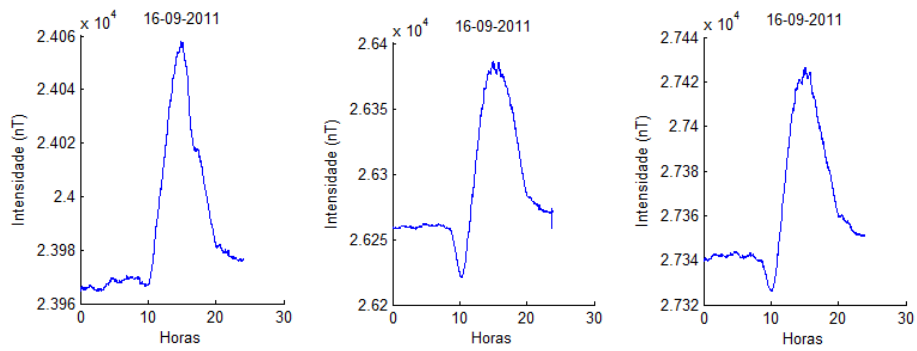
### ANÁLISES DAS VARIAÇÕES

#### Componente H

Para esta análise foram considerados os períodos em que o campo esteve magneticamente perturbado e os outros sem perturbações, que não fossem a variação diurna, de 24 horas. Nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.4 observa-se a variação nas estações de repetição situadas em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente, nos dias 01, 16 e 23 de setembro, que podem ser considerados dias calmos, onde a única grande perturbação registrada foi a própria variação diurna. Comparativamente observou-se que quanto maior a latitude, maior é o valor da intensidade H. Verificou-se também que na estação localizada na região mais central sob o eletrojato equatorial (EEJ), Juaba – PA, as variações geomagnéticas foram mais violentas do que nas outras regiões.

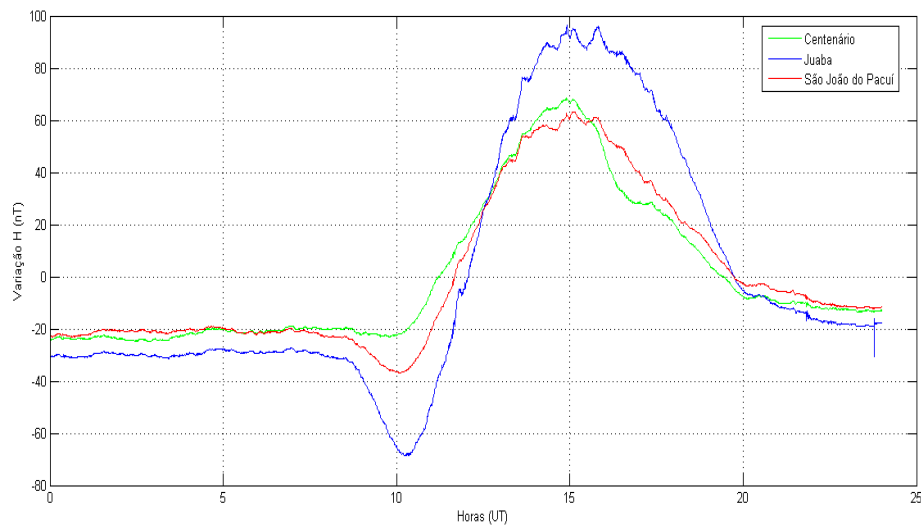


**Figura 5.1. Variação diurna em um dia calmo, 01-09-11, nas estações de Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.**

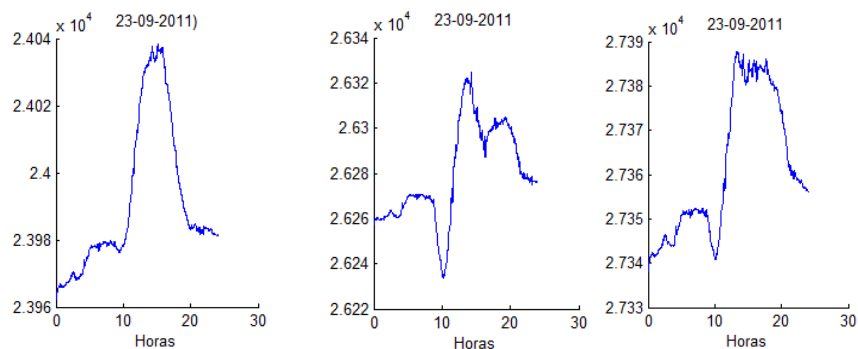


**Figura 5.2. Variação diurna em dia calmo, em 16-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.**

Na figura 5.3, observa-se a medição da variação diurna (H) nas três estações simultaneamente para o dia 16. É verificado um dip muito acentuado na estação de Juaba, atenuando-se da estação de São Joaquim do Pacuí e Centenário, tal comportamento se deve diretamente a influência do eletrojato equatorial na região.

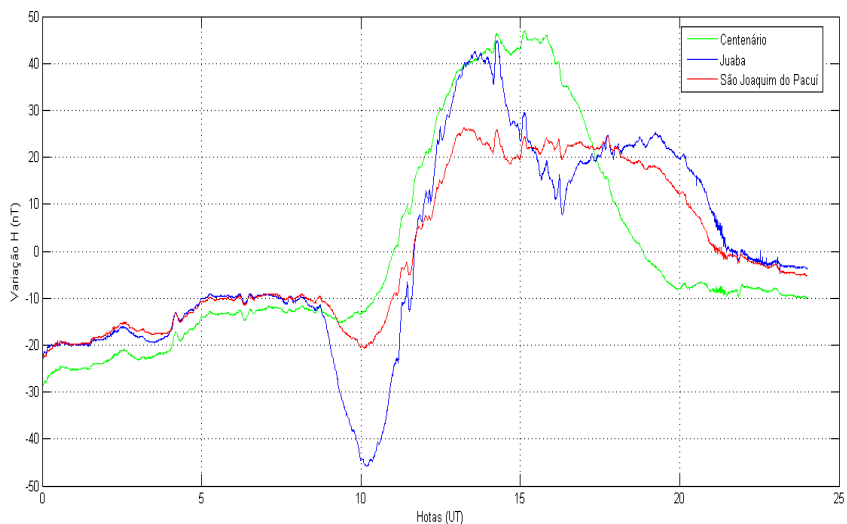


**Figura 5.3. Variação diurna em um dia calmo, 16-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**



**Figura 5.4.** *Varição diurna em dia calmo, em 23-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente, em tempo universal UT.*

Na figura 5.5, pode-se verificar o mesmo comportamento do que na figura 5.3, com um acentuado dip na estação de Juaba, que se encontra no centro do EEJ.



**Figura 5.5.** *Varição diurna em um dia calmo, 23-09-11, medido nas três estações simultaneamente.*

Nas Tabelas da 4 à 6, podem-se visualizar os valores da componente H nos dias analisados nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.4.

**Tabela 4. Para cada local: valores da componente H para o dia 01/09/2011.**

Local (01/09/2011)	Médias H (nT)	Max. (nT)/(horas)	Min.(nT)/horas	$\Delta H$ (nT)
São Joaquim do Pacuí	27370,19	27413,37/14h30	27350,08	63,28
Juaba	26268,03	26293,95/15h18	26232,55	61,40
Centenário	23998,07	24047,83/13h47	23978,38	69,45

**Tabela 5. Para cada local: valores da componente H para o dia 16/09/2011.**

Local (16/09/2011)	Médias H (nT)	Max. (nT)/(horas)	Min.(nT)/horas	$\Delta H$ (nT)
São Joaquim do Pacuí	27362,94	27426,35/15h03	27326,04	100,31
Juaba	26289,42	26386,04/14h55	26220,76	165,28
Centenário	23989,41	24058,04/14h58	23964,50	93,54

**Tabela 6. Para cada local: valores da componente H para o dia 23/09/2011.**

Local (23/09/2011)	Médias H (nT)	Max. (nT)/(horas)	Min.(nT)/horas	$\Delta H$ (nT)
São Joaquim do Pacuí	27361,55	27387,83/13h15	27338,21	49,62
Juaba	26279,71	26324,56/14h15	26233,89	90,64
Centenário	23991,33	24038,30/15h06	23962,39	75,9

A Figura 5.4 apresenta a variação magnética  $\Delta H$  das três estações analisadas. O resultado mostra que a estação de Juaba, por estar sob a faixa do eletrojato equatorial, apresenta valores de  $\Delta H$  mais intenso em relação às estações Centenário e São Joaquim do Pacuí. As amplitudes das componentes diurna e semidiurna da variação diária de  $\Delta H$ , na região do equador magnético, são aproximadamente 2,5 vezes maiores do que as demais situadas aos 10° de latitude magnética.

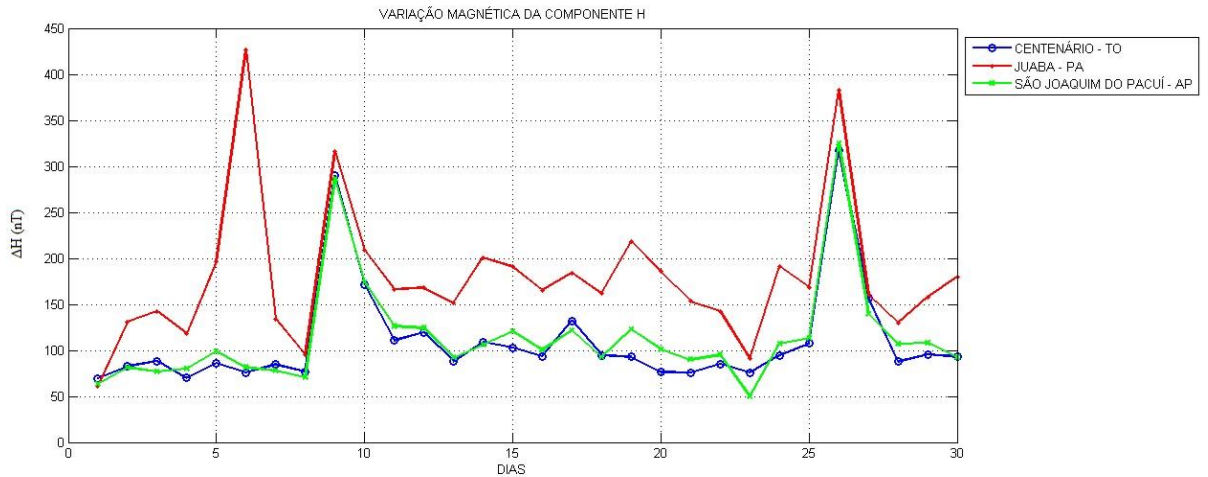


Figura 5.4. Variações magnéticas ( $\Delta H$ ) durante o mês de setembro registradas nas estações.

A Figura 5.5 mostra as amplitudes das componentes diurnas e semidiurnas da variação diária de  $\Delta H$  obtida na estação de Juaba (dip=0) que é aproximadamente 2,2 vezes maior do que o seu equivalente obtido na estação Centenário, situada a  $6.71^\circ$  de latitude magnética. Este resultado está de acordo com Reddy (1989) que estimou uma quantidade de 2,5 vezes maior que aquelas que correspondem a  $10^\circ$  de latitude magnética.

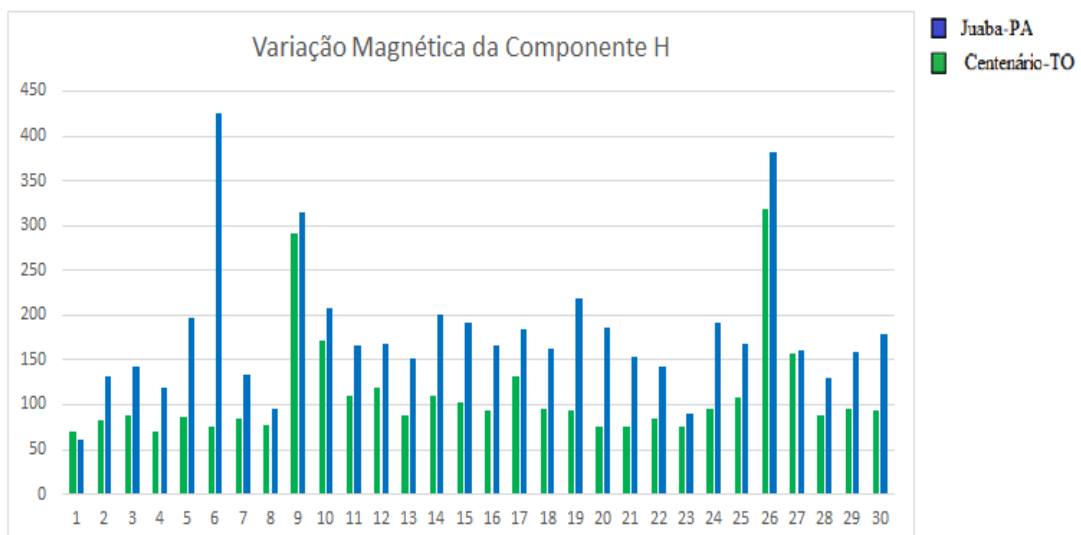
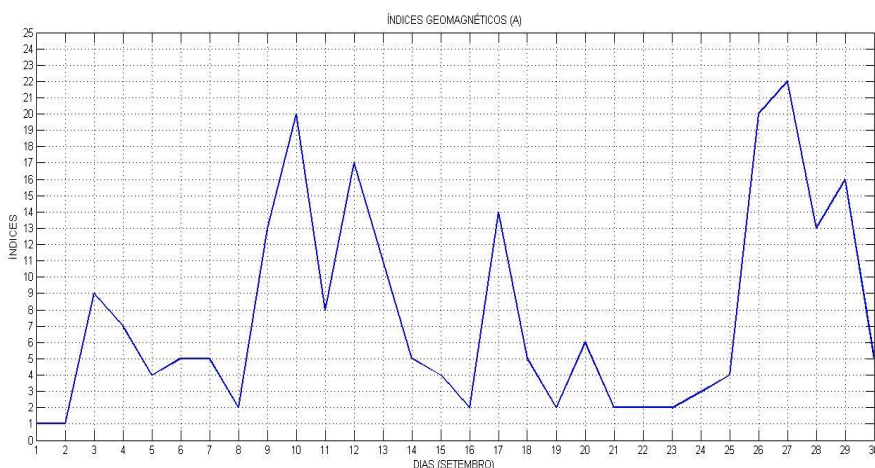


Figura 5.5. Variações magnéticas ( $\Delta H$ ) durante o mês de setembro registradas nas estações de Juaba-PA e Centenário-TO.

Na Figura 5.6, observa-se a amplitude do índice geomagnético Ap. Quanto maior a amplitude maior a atividade magnética. Podem-se observar os dez dias mais magneticamente perturbados. O monitoramento da atividade geomagnética foi feita através do índice Ap, calculado no observatório Fredericksburg (FRD), situado geograficamente em média latitude (Lat. 38.21°N e long. 282.633°E).

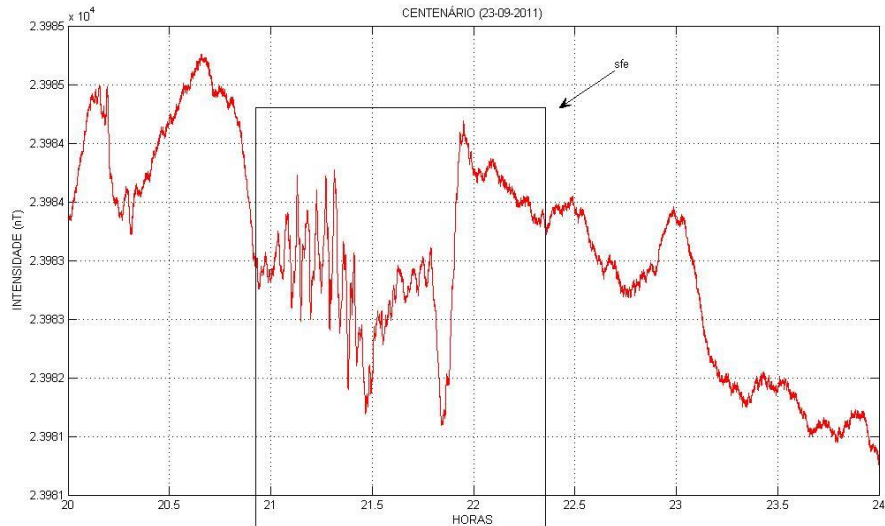
Deve-se considerar que este evento é planetário, assim as intensidades são características das coordenadas dos locais de medição. Portanto, estes valores podem ser considerados, qualitativamente, para auxiliar a identificação dos períodos mais ou menos ativos magneticamente, auxiliando e complementando os registros obtidos nas estações usadas neste trabalho.



**Figura 5.6. Amplitude do índice geomagnético (A) durante os dias analisados. (Observatório de Fredericksburg (FRD)).**

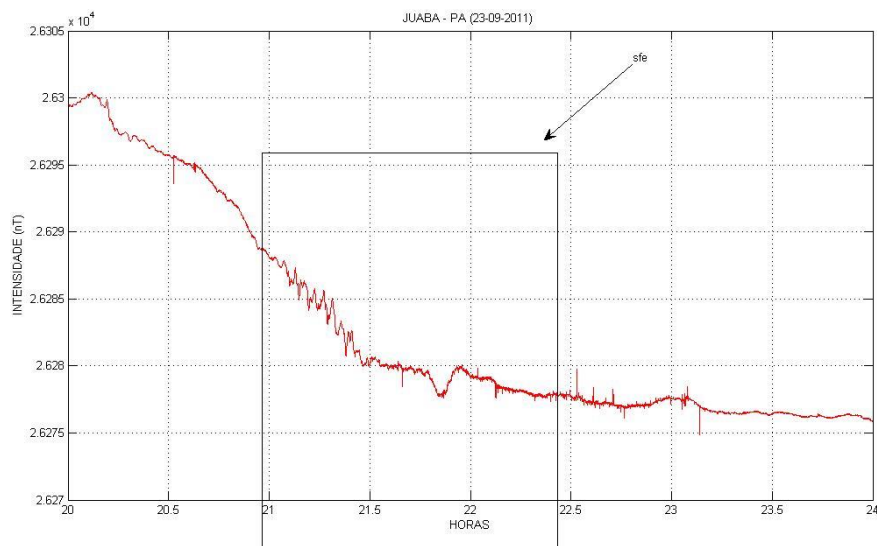
Os solar flares são classificadas de acordo com a sua intensidade B, C, M e X. Cada nível representa um aumento de dez vezes na energia de erupção e, dentro de cada classe, há um nível maior de graduação que vai de 1 a 9.

Nas Figuras da 5.7 à 5.9, pode-se comparar o modo em que cada estação reage à ocorrência de um sfe (solar flare) de classe M 1.6, com início em 20h46min e final em 22h34min para o dia 23 de setembro de 2011.



**Figura 5.7. Ocorrência de um sfe de classe M1.6, tendo início em 20h46min e terminando em 22h34min, em tempo universal UT.**

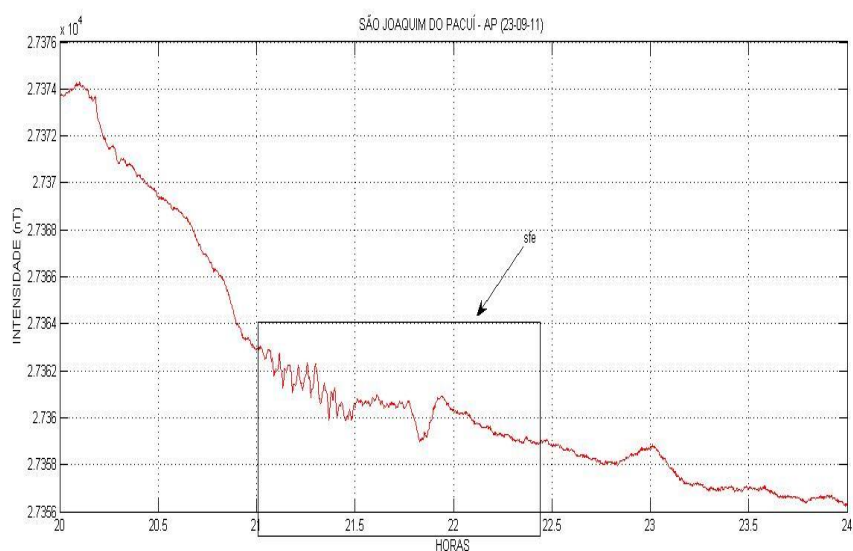
No dia 23, houve cerca de 12 sfe's de classes C e M, o primeiro começando às 01h47min e o último tendo início em 23h48min e só terminando na madrugada do dia seguinte, às 00h04 min.



**Figura 5.8. Ocorrência de um sfe classe M1.6, tendo início em 20h46min e terminando em 22h34min no tempo universal (UT).**

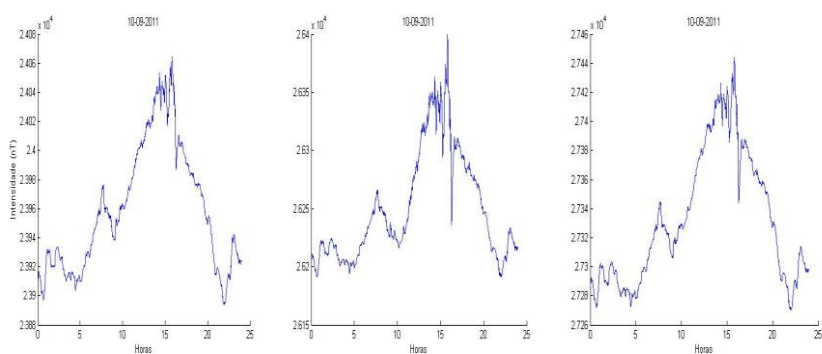


Nas Figuras 5.8 e 5.9 observa-se uma semelhança muito grande durante os efeitos do sfe, diferentemente da Figura 9, que apresenta uma morfologia bem distinta, uma vez que Centenário se encontra fora do raio de influência do EEJ.

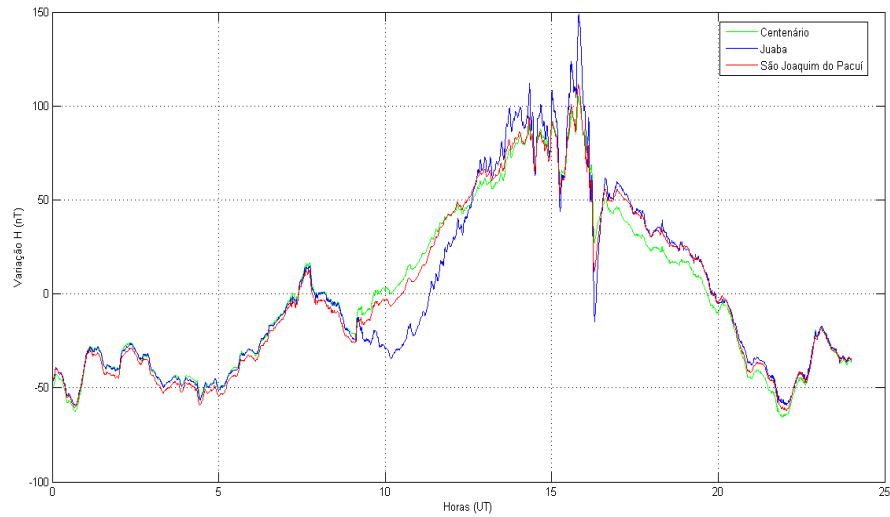


**Figura 5.9. Ocorrência de um sfe classe M1.6, tendo início em 20h46min e terminando em 22h34min em UT.**

Nas Figuras da 5.10 e 5.12, pode-se observar a morfologia apresentada em 3 dias com perturbações magnéticas nas estações de Centenário – TO, Juaba – PA e São Joaquim do Pacuí – AP.

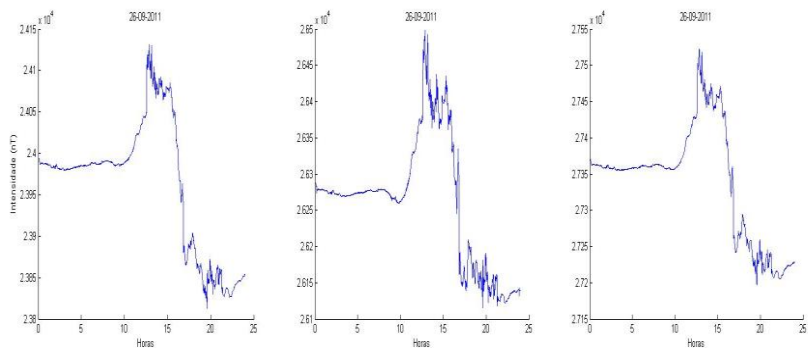


**Figura 5.10. Variação diurna em dia perturbado, em 10-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.**

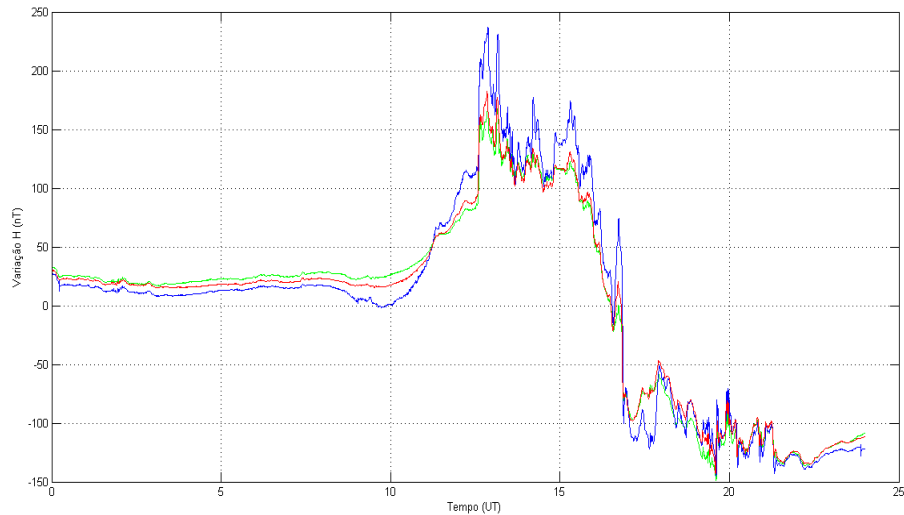


**Figura 5.11. Variação diurna em um dia perturbado, 10-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**

Na figura 5.11, observa-se a medição da variação diurna (H) nas três estações simultaneamente para o dia 10. Verifica-se uma variação da componente horizontal mais intensa em Juaba em relação às outras duas estações.

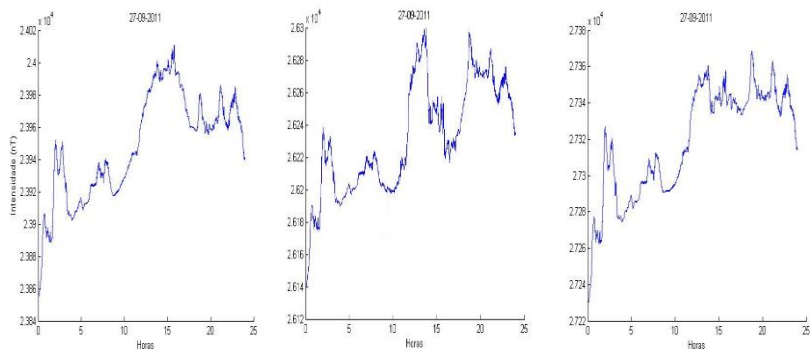


**Figura 5.12. Variação diurna em dia perturbado, em 26-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em horário UT.**



**Figura 5.13. Variação diurna em um dia perturbado, 26-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**

Na figura 5.13, verifica-se um dip mais acentuado e uma intensidade maior em Juaba, características marcantes da influência direta do EEJ na região.



**Figura 5.14. Variação diurna em dia perturbado, em 27-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.**

A morfologia entre as três estações na figura 5.14, apresentam semelhanças, diferenciando-se apenas nas intensidades das variações  $\Delta H$ . Sendo Juaba e São Joaquim do Pacuí apresentando as maiores variações devido a ação do EEJ.

As Figuras da 5.15 e 5.16 mostram os resultados comparativos entre as estações de Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, nos dias: 10 e 26 de setembro de 2011.

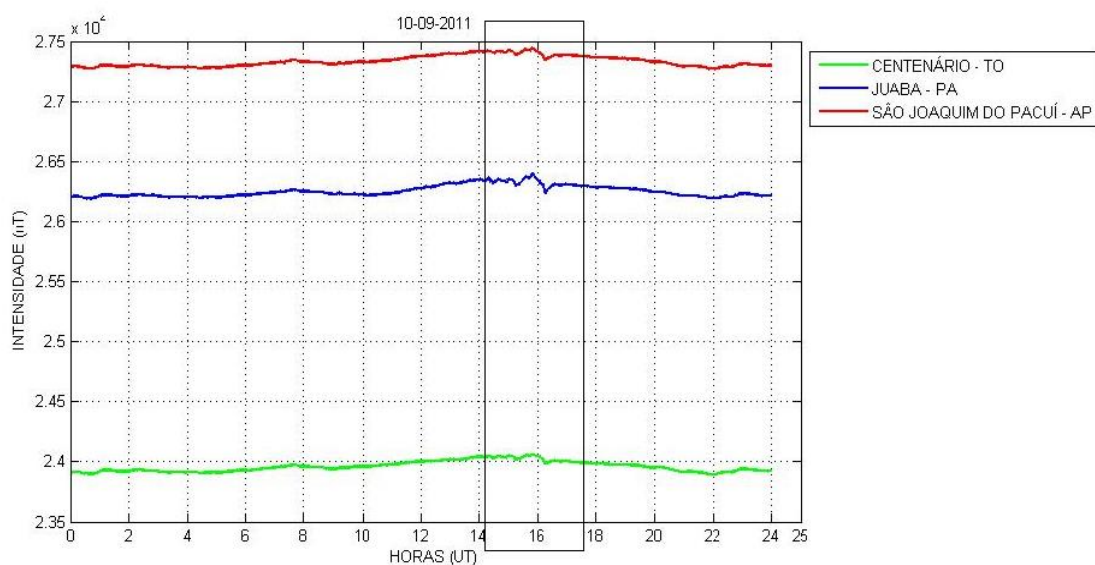


Figura 5.15. Gráfico comparativo entre as três estações em um dia magneticamente perturbado (10-09-11).

Através das morfologias, percebe-se um comportamento muito análogo entre as estações, com curvas similares. Pode-se observar também, que a estação de Juaba, por se encontrar exatamente abaixo do EEJ, apresenta uma amplitude geomagnética maior na componente H do que em qualquer outra localidade, evidenciando que o local está situado exatamente na região  $\text{dip} = 0$ .

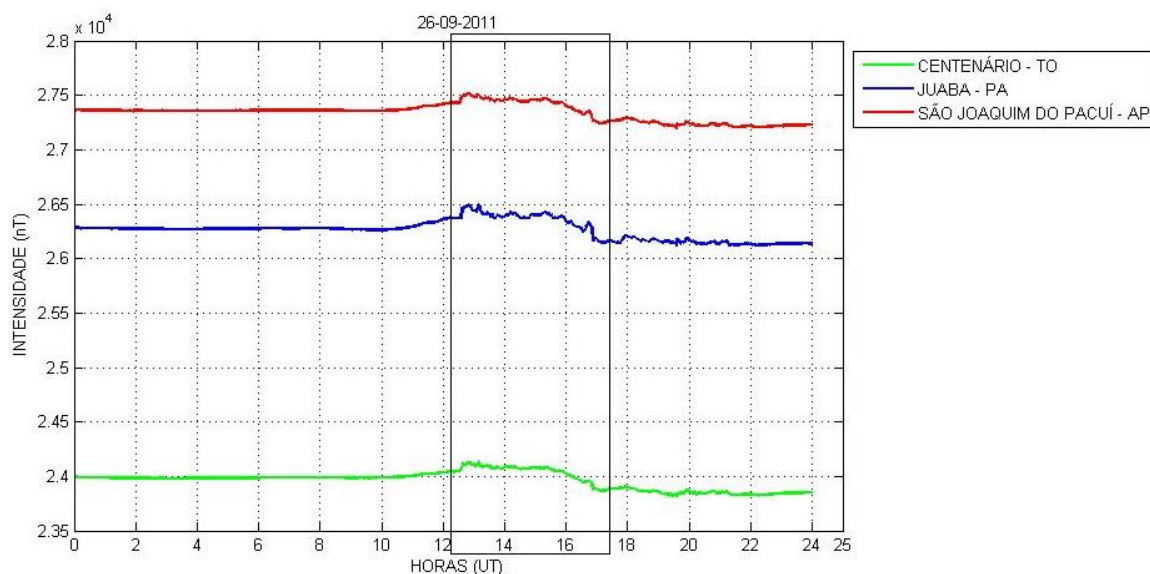


Figura 5.16. Gráfico comparativo entre as três estações em um dia magneticamente perturbado (26-09-11).

Em uma escala menor, há fenômenos que apresentam similaridade em todos os locais de medição, assim como existem outros que somente são registrados em um único local.

## Componente Z

Para a análise da componente vertical (Z), deve-se considerar a geologia da região, pois dependendo da parte crustal os valores podem sofrer variações diferenciadas. As Figuras de 5.17 a 5.18 mostram a morfologia das variações magnéticas em um dia magneticamente calmo (01-09-11) e dias perturbados (16-09-11 e 23-09-11), nas estações de Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí, respectivamente. Podem-se perceber as diferenças consideráveis nos registros, mostrando a forte influência da crosta regional nos valores da componente vertical do campo.

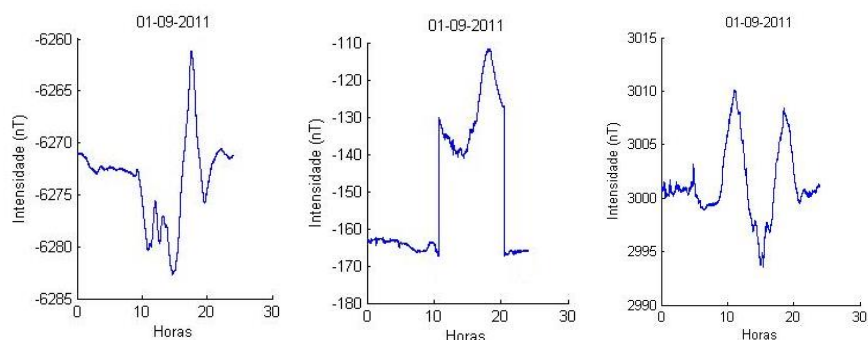


Figura 5.17. Variação diurna em dia calmo, em 01-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.

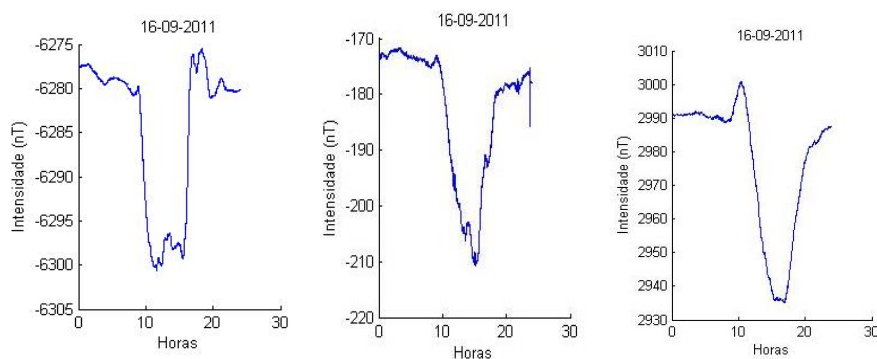
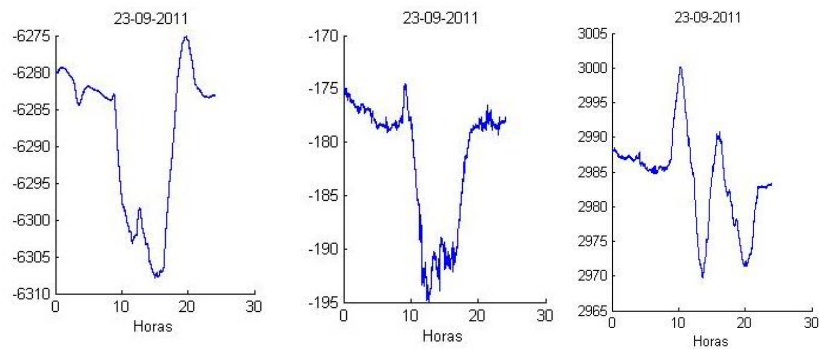
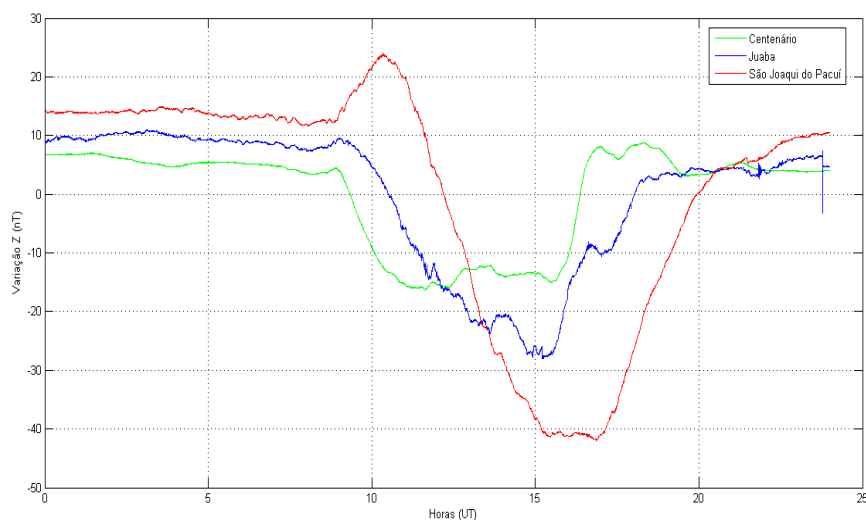


Figura 5.18. Variação diurna em dia calmo, em 16-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.



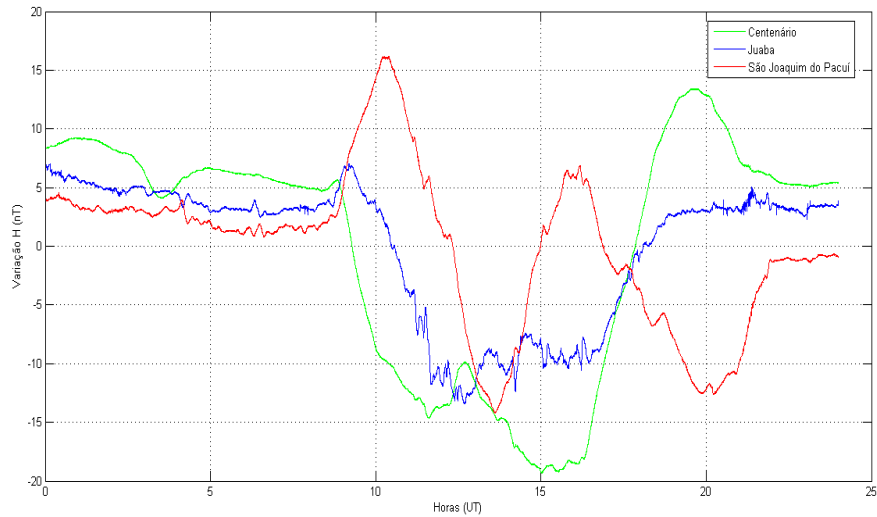
**Figura 5.19. Variação diurna em dia calmo, em 23-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente em UT.**

Nas figuras 5.20 à 5.21, verificam-se as variações diurnas em um dia calmo nas três estações juntas.



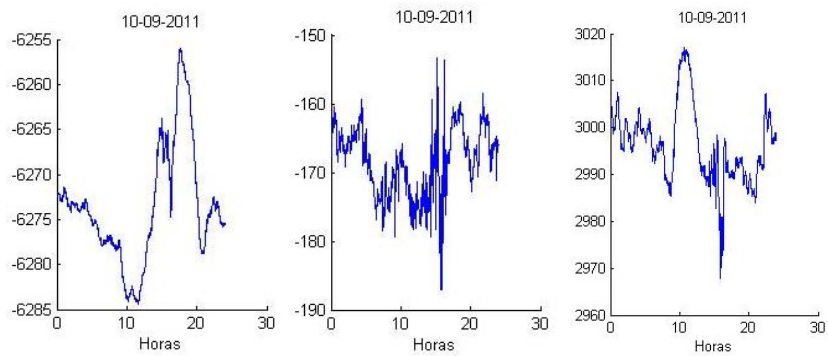
**Figura 5.20. Variação diurna em um dia calmo, 16-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**

Verifica-se na figura 5.20, que na estação de São Joaquim do Pacuí, a variação foi mais intensa do que em relação as outras estações neste dia calmo. Apesar da maior variação em São Joaquim do Pacuí, Juaba teve um comportamento morfológico semelhante, porém com uma variação menos intensa. Tal semelhança entre São Joaquim do Pacuí e Juaba provavelmente se deva a semelhança geológica entre as duas estações.

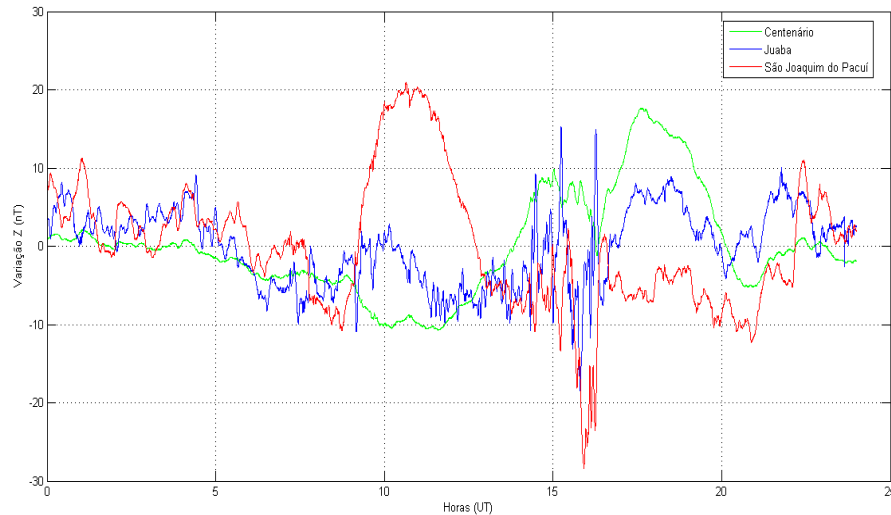


**Figura 5.21. Variação diurna em um dia calmo, 23-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**

Observa-se que não há semelhanças entre as morfologias nas figuras 5.20 e 5.21, tal fato, se deve possivelmente a diferenças de geológicas de cada estação. Nas figuras 5.22 e 5.23, reflete o comportamento em um dia perturbado para a componente Z nas três estações.



**Figura 5.22. Variação diurna em dia perturbado, em 10-09-11 em Centenário, Juaba e São Joaquim do Pacuí respectivamente, em UT.**



**Figura 5.23. Variação diurna em um dia perturbado, 10-09-11, medido nas três estações simultaneamente.**

Na figura 5.23, verifica-se que a flutuação nas pulsações geomagnéticas foram muito mais perturbadas nas estações de Juaba e São Joaquim do Pacuí devido a maior influência do EEJ, já em Centenário, percebe-se uma atividade menos turbulenta, uma vez que a mesma se encontra fora da faixa de ação do EEJ.

Observa-se que em módulo, o valor da componente Z em São Joaquim do Pacuí é mais elevado devido a influência da latitude e de sua topologia geológica. Na medida em que se aproxima do dip equatorial, verifica-se uma inversão no sinal. Na Figura 5.24, observa-se a amplitude média da componente Z.



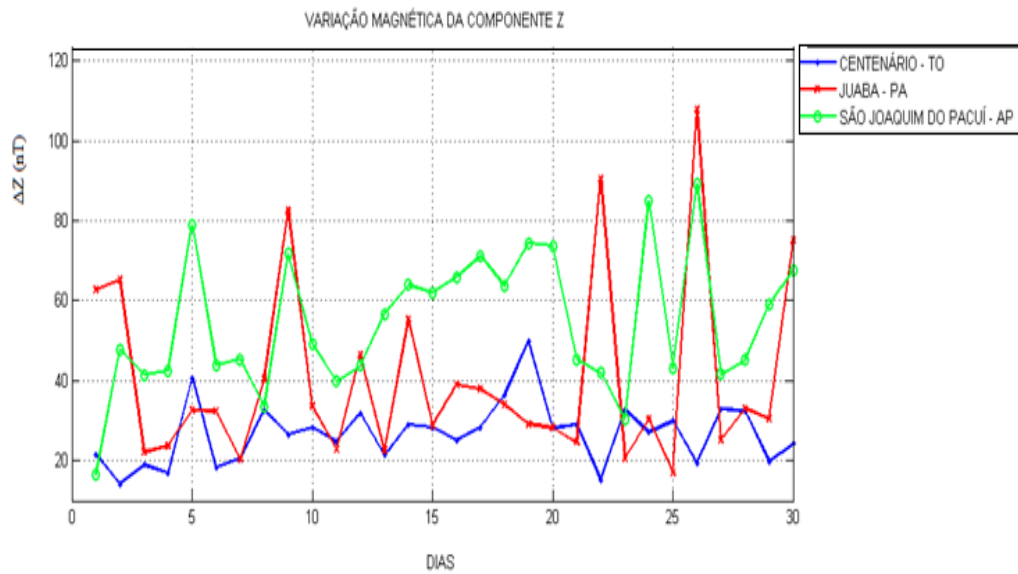


Figura 5.24. Amplitudes médias ( $\Delta z$ ) durante o mês de setembro registrado nas estações.

Na figura 5.24, pode-se verificar uma variação  $\Delta Z$  inferior em Centenário, já em Juaba e São Joaquim do Pacuí sua intensidade é bem superior. Tal comportamento se deve a diferenças na geologia entre as estações, uma vez que, quanto maior a permeabilidade magnética do solo, maior será a variação em  $\Delta Z$ . Reforçando que, não somente a componente geológica, em cada região, afeta a intensidade a variação  $\Delta Z$  mas também sua proximidade ao EEJ.

## CONCLUSÕES:

Através dos estudos das perturbações geomagnéticas nas seis estações distribuídas perpendicularmente ao EEJ, foi possível identificar um aumento significativo na intensidade da variação da componente horizontal (H) do campo magnético, especialmente nas estações mais próximas do equador magnético ( $Dip = 0$ ). Assim como a latitude, a altitude é um fator determinante no valor da componente horizontal e das suas variações. Entretanto, como as estações estão situadas em locais onde a altitude tem valores muito próximos, torna-se praticamente desprezível considera-las na análise das variações das componentes do campo geomagnético local.

Considerando um dia magneticamente sem perturbações, de maneira geral, do período noturno de um dia até as 10:00 horas (UT) do dia imediatamente seguinte, a componente horizontal do campo magnético sofre pequenas flutuações, aumentando de intensidade de acordo com a posição diurna do Sol em relação à Terra e atinge intensidade máxima, aproximadamente às 15:00 horas (UT). Depois decai suavemente até atingir o seu nível de estabilização que acontece aproximadamente às 20:00 horas (UT).

Quanto a componente vertical do campo magnético (Z) a mesma é significativamente influenciada pela geologia do local. Neste trabalho foi observado um comportamento distinto, em Z, na estação de Centenário, podendo indicar uma diferenciação geológica com os locais das demais estações.

Foi possível concluir que realmente o EEJ exerce uma forte influência no campo geomagnético das regiões de baixas latitudes e nas suas variações. Esta interferência ocorre de maneira significativa, de acordo com a geologia local e com as suas distâncias da região central do EEJ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Parkinson, W. D., Introduction to Geomagnetism, 1983.
- [2] Chapman, S., and J., Bartels Geomagnetism, reprint, 2 vols, 1049pp. University Press, Oxford, 1940.
- [3] Miguel, Luis de; Geomagnetismo, 3° ed.1980.
- [4] Campbell, W.H. Introduction to Geomagnetic Fields. Cambridge University Press, 1997.
- [5] Jacobs, J.A., Geomagnetism, Vol. 3, 1989, Institute Of Earth Studies, the University Of Wales, Aberystwyth, Dyfed, UK.
- [6] Merrill, R. T., McElhinny, M.W., McFadden, P. L., 1998. The magnetic field of the Earth: Paleomagnetism, the core, and the deep mantle, Vol. 63 (International Geophysics Series.), Elsevier, Academic Press, Amsterdam.
- [7] Benyosef, notas de aula, disciplina Instrumentação, 2012.
- [8] Amarante, J. A. A. 1967. Guia para a identificação e classificação das Variações Geomagnéticas de Curta Duração. Comissão Nacional de Atividades Espaciais. 29 pags.
- [9] Jacobs, J.A.; Kato, Y.; Matsushita, S.; Troitskaya, V.A. Classification of Geomagnetic Micropulsations. Journal of Geophysical Research, 69(1):180–181, Jan. 1964.
- [10] Davis, T.N., and Sugiura, M., 1966. Auroral electrojet activity indexAE and its universal time variations. Journal of Geophysical Research, 71: 785–801.
- [11] Mayaud, P.N., 1980. Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, Geophysical Monograph 22. Washington, DC: American Geophysical Union.

- [12] McPherron, R.L., 1995. Standard indices of geomagnetic activity. In Kivelson, M.G., and Russell, C.T. (eds.), *Introduction to Space Physics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 451–458. Menvielle, M., and Berthelier, A., 1991. The K-derived planetary indices—description and availability. *Reviews of Geophysics*, 29: 415–432.
- [13] Menvielle, M., and Berthelier, A., 1991. The K-derived planetary indices—description and availability. *Reviews of Geophysics*, 29: 415–432.
- [14] Forbush, S. and Casaverde M., 1961, Equatorial electrojet in Peru, Carnegie Institution of Washington Report No. 620.
- [15] Rangarajan, G.K., 1989. Indices of geomagnetic activity. In Jacobs, J.A. (ed.), *Geomagnetism*, Vol. 2. London, UK: Academic Press, pp. 323–384.
- [16] Stening, R. (1985). Modeling the equatorial electrojet. *Journal of Geophysical Research* 90: doi: 10.1029/OJGREAO000900000A2001705000001. issn: 0148-0227.
- [17] Egedal, J. 1947. The magnetic diurnal variation of horizontal force near the magnetic equator. *Terristrial Magnetic Atmospheric Electricity*, 52: 449-451.
- [18] Chapman, S. 1951. Some phenomena of the upper atmosphere. *Procedures of the Physics Society London*, B, 64: 833-843.
- [19] Onwumechilli, A. 1967. Geomagnetic variations in the equatorial zone. In Matsushita, S. & Campbell, W.H. *Physics of Geomagnetic Phenomena*. New York, Academic Press. P. 425-507.
- [20] Mareschal, M. 1986. Modelling of natural sources of magnetospheric origin in the interpretation of regional induction studies: a review. *Survey in Geophysics*, 8: 261-300
- [21] Mcnish, A. G. 1938. Heights of electric currents near the auroral zone. *Terr. Mag. Atmos. Elec.*, 43: 67-75.

- [22] Alex S, Mukherjee S (2001). Local Time dependence of the equatorial counter electrojet effect via narrow longitudinal belt. *Earth Planet Space* 53:1151-1161.
- [23] Crochet M, Hanwise C, Broche P (1979). HF radar studies of two stream instability during an equatorial counter-electrojet. *J. Geophys. Res.* 84:5223-5233.
- [24] Kane RP (1976). Dilemma of the equatorial counter electrojet and the disappearance of Esq. *Indian J. Rad. Space Phys.* 5:6-12.
- [25] Marriot RT Richmond AD Venkateswaram SV (1979). The quiet time equatorial electrojet and counter electrojet. *J. Geomag. Geoelectr.* 31:311-340.
- [26] Onwumechili CA (1997). *The equatorial electrojet.* Gordon and Breach Sci. Publ. UK.
- [27] Mayaud PN (1977). The equatorial counter electrojet – A Review of its magnetic Aspects. *J. Atmos. Terr. Phys.* 39:1055-1070.
- [28] Acuña, J.; Cabrejos, J.; Fukushima, N., 1999. Corrientes Eléctricas Alineadas Con [El Campo Geomagnético Em Bajas Latitudes Magnéticas. *Revista de Investigación de Física.* Vol 1.
- [29] Shume, E.B.et al. 2010. Variabilities of the equatorial electrojet in Brazil and Perú. *Journal of Geophysical Research*, Vol 115, A06306 p 1-9;
- [30] Sugiura, M., 1964. Hourly values of equatorial Dst for the IGY. *Annals of the International Geophysical Year*, 35: 945–948.
- [31] Rastogi, R.G.; Kitamura, T. and Kitamura, K. 2004. Geomagnetic Field Variations at the Equatorial Electrojet Station in Sri Lanka, Peredinia. *Annales Geophysical.* P 2729 – 2739.
- [32] Thomsen, M.F., 2004. Why Kp is such a good measure of magnetospheric convection. *Space Weather*, 2: S11004, doi:10.1029/ 2004SW000089.

- [33] Kane, R.P. (2002). "Some Implications Using the Group Sunspot Number Reconstruction". *Solar Physics* 205(2), 383-401, "The Sun: Did You Say the Sun Has Spots?". Space Today Online. Retrieved 12 August 2010.
- [34] Chandra, H., Simha, S. e Rastogi, R.G; 2000. Equatorial Electrojet Studies from Rocket and ground measurements. *Earth Planets Space*, 52, p 111-120.
- [35] "Time Machine". Spaceweather.com. Retrieved 2012-01-24
- [36] "Strong solar activity continues". Southgate Amateur Radio News. 25 September 2011. Retrieved 25 September 2011.
- [37] 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.