



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12981-PRE/8258

**A IONOSFERA SOBRE A REGIÃO SUL DO BRASIL –
CARACTERIZAÇÃO EM SANTA MARIA, RS**

Cleomar Pereira da Silva

*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela
Dra. Inez Staciari Batista

INPE
São José dos Campos
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**A IONOSFERA SOBRE A REGIÃO SUL DO BRASIL -
CARACTERIZAÇÃO EM SANTA MARIA, RS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

PROCESSO: 104427/2004-3

Cleomar Pereira da Silva – (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail: cleomar@lacesm.ufsm.br

Dra. Inez Staciarini Batista – (Orientadora, DAE/CEA/INPE – MCT)
E-mail: inez@dae.inpe.br

Santa Maria, Maio de 2004

Dados de identificação:

Bolsista:

Cleomar Pereira da Silva
Curso de Engenharia Elétrica
Centro de Tecnologia – CT/UFSM
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientadora:

Dra. Inez Staciarini Batista
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
São José dos Campos – SP

Colaboradores:

Dr. Clezio Marcos De Nardin – DAE/CEA/INPE-MCT
Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE-MCT
Maiquel dos Santos Canabarro – UFSM
Henrique Carlotto Aveiro – UFSM
Luzia Lux Lock – UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Sondagem Ionosférica, da Média e Alta Atmosfera Terrestre do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	8
OBJETIVO	8
CAPÍTULO 2	9
INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 3	11
SOL	11
3.1 Introdução	11
3.2 O Sol	11
3.2.1 Núcleo Solar	13
3.2.2 Zona de Radiação	13
3.2.3 Camada Intermediária	13
3.2.4 Zona de Convecção	14
3.2.5 A Fotosfera	14
3.2.6 A Cromosfera	15
3.2.7 A Coroa Solar	16
3.3 Manchas Solares	18
3.4 Atividade Solar	19
3.5 Ciclo Solar ou Ciclo de Manchas	20
3.6 Índice de Atividade Solar F10.7	21
3.7 Radiações Solares	21
3.8 Vento Solar	21
CAPÍTULO 4	23
ATIVIDADE MAGNÉTICA E INDÍCES GEOMAGNÉTICOS	23
4.1 Atividade Magnética	23
4.2 Tempestade Magnética	24
4.3 Índices Geomagnéticos	25
4.3.1 Índice Dst	25
4.3.2 Índice AE	26
4.3.2.1 Índice AU	27
4.3.2.2 Índice AL	27
4.3.3 Índice Kp	27
CAPÍTULO 5	29
IONOSFERA	29
5.1 Introdução	29
5.2 Definição de Plasma Ionosférico	30
5.3 A Ionosfera	31
5.4 Camada D	33



5.5 Camada E.....	33
5.6 Camada F1	33
5.7 Camada F2.....	34
CAPÍTULO 6.....	35
INSTRUMENTAÇÃO E PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE DADOS	35
6.1 Os Sistemas da Digissonda.....	35
6.2 Processamento Automático de Ionogramas.....	37
CAPÍTULO 7.....	41
METODOLOGIA DE ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÕES E	
ATIVIDADES COMPLEMENTARES NO CRSPE/INPE – MCT.....	41
7.1 Metodologia de Análise.....	41
7.2 Seleção do Período de Dados Analisados.....	41
7.3 Redução dos Dados e Cálculos de Derivas	44
7.4 Resultados Obtidos e Discussão	45
7.5 Atividades Complementares do Acadêmico	51
7.5.1 Congressos.....	52
7.5.2 Feiras	54
CAPÍTULO 8.....	55
8.1 CONCLUSÕES	55
8.2 GRADECIMENTOS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICE A	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3.1 – Estruturas solares: núcleo, zona de radiação, zona de convecção, fotosfera, cromosfera e coroa solar.....	12
Fig. 3.2 – Fotosfera solar com manchas solares.....	14
Fig. 3.3 – Cromosfera vista no espectro do H-alfa, mostrando regiões ativas de maior brilho e filamentos ou proeminências (linhas estreitas escuras).....	16
Fig. 3.4 – Coroa Solar no espectro da luz branca durante um eclipse solar. (1) Proeminência, (2) fluxo de plasma, e (3) buraco coronal.....	17
Fig. 3.5 – Mancha solar. No centro pode-se ver uma região mais escura, a Umbra. Em volta da Umbra há uma região acinzentada chamada Penumbra.	19
Fig. 3.6 – Diagrama borboleta de Maunder mostrando as latitudes de ocorrência das manchas solares como função do tempo para dois ciclos solares.	20
Fig. 3.7 – Imagem no comprimento do Fe XIV obtida pelo satélite Soho mostrando a distribuição espacial do vento solar.....	22
Fig. 4.1 – Medidas do vento solar e do campo magnético sobre a superfície da Terra em 15-17 de fevereiro de 1967. Acima: pressão dinâmica do vento solar. No meio: componente do campo elétrico do vento solar na direção do raio da Terra e com sentido entrando na Terra. Abaixo: índice Dst da tempestade magnética.	24
Fig. 4.2 – Componentes do campo geomagnético terrestre.....	26
Fig. 5.1 – Classificação da Atmosfera Neutra e da Atmosfera Ionizada Terrestre.	30
Fig. 5.2 – Ionização do átomo de oxigênio.....	32
Fig. 6.1 – Configuração da antena receptora de loop-cruzado.	35
Fig. 6.2 – Configuração das antenas receptoras da Digissonda.....	36
Fig. 6.3 – Ionograma das 12h45min do dia 26 de dezembro de 2003, antes da redução.	38
Fig. 6.4 – Ionograma das 12h45min do dia 26 de dezembro de 2003, depois da redução.	38
Fig. 6.5 – Parâmetros Ionosféricos Calculados pelo Programa de análise de dados SAO-X na redução efetuada pelo bolsista.	40

- Fig. 6.6 – Gráficos em função do tempo da hmF2 (linha azul escura), da foF2 (linha verde), da h'F (linha vermelha), da hmF1 (linha azul clara) e da foF1 (linha amarela). . 40
- Fig. 7.1 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha), obtidos pela análise dos dados de Digissonda de São Luís do Maranhão, reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS..... 46
- Fig. 7.2 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 (hmF2) para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha) previstos pelo modelo IRI, calculados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS..... 47
- Fig. 7.3 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de (a) novembro, dezembro e janeiro e (b) fevereiro e março sob condições calma (linha preta) e perturbada (linha vermelha), no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS..... 48
- Fig. 7.4 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de maio e agosto obtidos pela análise dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, que foram reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS..... 49
- Fig. 7.5 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de maio e agosto, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS. 50
- Fig. 7.6 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de agosto, setembro e outubro obtidos pela análise dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, que foram reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS..... 50
- Fig. 7.7 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de agosto,
-



setembro e outubro, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria,
RS. 51

CAPÍTULO 1

OBJETIVO

O objetivo inicial do Projeto era o de caracterizar o comportamento da Ionosfera da Região Sul do Brasil através da análise de dados obtidos com o Radar/Sondador Ionosférico DPS-4, o qual seria instalado em Santa Maria, RS. Por questões que não serão discutidas neste Relatório, o equipamento Digissonda modelo DPS-4 não foi instalado até a presente data. Portanto, o objetivo específico deste Projeto, o qual era a caracterização da Ionosfera sobre a região de Santa Maria foi substituído pela caracterização da Ionosfera sobre a região de São Luís do Maranhão. Isto foi feito sem qualquer prejuízo ao Projeto ou ao bolsista, uma vez que visamos à obtenção de conhecimentos de Geofísica. Além disso, para o Grupo de Pesquisa da Ionosfera, a caracterização da Ionosfera sobre São Luís do Maranhão é igualmente importante a caracterização da Ionosfera sobre Santa Maria. Deste modo, neste trabalho foram analisados dados obtidos pela Digissonda instalada em São Luís do Maranhão.

Neste contexto, novos objetivos foram adicionados ao Projeto: análise do comportamento da altura real da camada F2 da Ionosfera e comparação com os valores previstos pelo modelo Ionosférico IRI - *International Reference Ionosphere* - (Bilitza, 2001; Bilitza, 2005); estudo e entendimento dos processos de deriva eletromagnética do plasma ionosférico incluindo o pico que ocorre antes de sua inversão (*pre-reversal enhancement*).

Ao seguir estes objetivos, o bolsista adquire conhecimentos que o qualificam para uma continuação do Projeto, acompanhando a instalação do Radar/Sondador Ionosférico DPS-4 em Santa Maria. Estando já familiarizado com a redução e interpretação dos dados, se dedicaria à caracterização do comportamento da Ionosfera sobre a Região Sul do Brasil, com dados de Santa Maria – Rs, estabelecendo comparações com os dados de Cachoeira Paulista, outras estações e com modelos.

CAPÍTULO 2

INTRODUÇÃO

O estudo da Ionosfera Terrestre envolve uma série de conhecimentos físicos sobre os diversos “componentes” do sistema onde a Ionosfera está inserida, além dos diversos processos que ocorrem na própria Ionosfera. O primeiro “elemento”, e certamente o mais importante, é o Sol. A Ionosfera Terrestre é basicamente formada pela ionização dos constituintes da Atmosfera Neutra terrestre por fótons solares. O segundo elemento é o meio interplanetário, e em seguida a magnetosfera terrestre, onde está inserido o campo magnético terrestre. Ou seja, para um completo entendimento da Ionosfera teríamos que estudar e entender todos estes “elementos”. Mas, para o propósito a que se propõe este Projeto, os aspectos básicos relacionados ao Sol, o vento solar e os distúrbios magnéticos causados por ele são os tópicos mais relevantes. É importante que o bolsista tenha um conhecimento sobre a estrutura da Ionosfera Terrestre, suas camadas e mecanismos de formação e perda. Além disso, em se tratando de um Projeto que envolve análise de dados de um equipamento de sondagem geofísico, também é necessário que o bolsista obtenha as noções sobre seu princípio de funcionamento.

Assim, cobrindo os objetivos propostos de estudos destes tópicos, vamos apresentar neste Relatório os principais conceitos relacionados ao comportamento do Sol, principal fonte de ionização da Ionosfera. Verificar as condições sob as quais são formadas as distintas camadas ionizadas da Ionosfera. Entender o princípio da utilização de um radar para medição da densidade eletrônica e analisar o surgimento do pico de pré-reversão.

Inicialmente são apresentadas as estruturas internas e externas do Sol. A seguir são discutidas as variações da sua atividade, o ciclo solar de onze anos, e as suas influências através de interações com a magnetosfera terrestre transferindo energia que

ioniza a Ionosfera. As camadas da Ionosfera são caracterizadas e seus conhecidos efeitos sobre a propagação de ondas de rádio servem para obtenção de dados do comportamento. A análise e comparação destes dados com modelos ajudam a esclarecer o surgimento de certos fenômenos físicos como o pico de Pré-reversão.

Os resultados dos objetivos científicos de investigação do comportamento da Ionosfera sobre São Luís do Maranhão, sua comparação com o comportamento da Ionosfera sobre Cachoeira Paulista, SP, e sua comparação com o comportamento observado em modelos, são apresentados na seqüência do trabalho realizado em Santa Maria, RS, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Nesta seção é demonstrado a forma como foram estabelecidos critérios para a escolha dos dias a serem analisados de acordo com o fenômeno físico que se desejava observar e de acordo com a maior probabilidade de aproveitamento dos mesmos dados analisados para a realização de outros estudos. Os dados são reduzidos e analisados possibilitando a observação dos fenômenos estudados durante a fase de revisão bibliográfica.

Por fim, lembramos que o bolsista desenvolveu este Projeto de pesquisa nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE–MCT, em Santa Maria, RS, sob a co-orientação local do Dr. Nelson Jorge Schuch.

CAPÍTULO 3

SOL

3.1 Introdução

O Sol é a fonte de luz e calor que possibilita a existência de vida na Terra. Estudos do Sol fornecem modelos para que se possa entender o funcionamento das outras estrelas do universo. Ele é dividido em cinco estruturas, o núcleo, a zona de convecção, a zona de ebulição, a fotosfera, a cromosfera e a coroa solar.

O Sol está constantemente emitindo radiação e partículas. Por exemplo, na coroa solar, devido à pressão cinética ser superior a pressão gravitacional, há um escape de material, denominado vento solar. O vento solar parte do Sol radialmente em todas as direções transmitindo os efeitos das tempestades solares a todos os planetas.

Na superfície do Sol existem manchas solares, as quais dão origem as erupções solares, lançando o plasma solar ao espaço. Este pode atingir a magnetosfera terrestre causando tempestades magnéticas.

As tempestades magnéticas podem comprometer as comunicações por ondas de rádio, provocar danos a equipamentos elétricos, interferir nas linhas de transmissão de energia elétrica e ainda afetar a sincronia de naves espaciais.

3.2 O Sol

O Sol é formado basicamente por matéria no estado gasoso e altamente ionizada, comprimida pela sua própria atração gravitacional. Sua composição aproximada é de 90% hidrogênio, 10% hélio e 0,1% outros elementos, tais como: carbono, nitrogênio e oxigênio (Kivelson e Russel, 1995). A sua massa é de $1,99 \times 10^{30}$ kg, cerca de 330.000

vezes a massa da Terra. O seu raio é de 696.000 km, 109 vezes maior que o raio da Terra. A densidade do Sol é cerca de um quarto da densidade média da Terra e a pressão da superfície do Sol é da ordem de um quinto da pressão atmosférica terrestre ao nível do mar.

O interior do Sol está dividido em três partes: o núcleo, a zona de radiação e a zona de convecção. A Atmosfera solar divide-se em fotosfera, cromosfera e coroa solar. Essas estruturas solares podem ser observadas na figura 3.1.

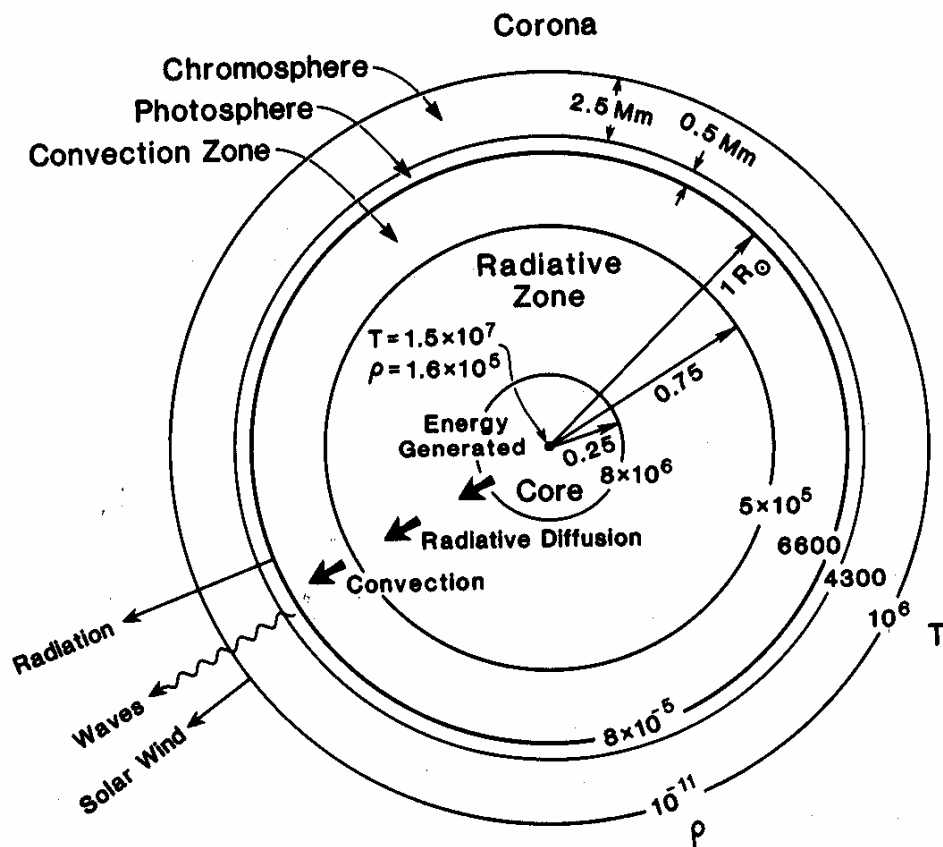


Fig. 3.1 – Estruturas solares: núcleo, zona de radiação, zona de convecção, fotosfera, cromosfera e coroa solar.

Fonte: Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

O Sol é a única estrela que está próxima o suficiente da Terra para que se possam estudar detalhes sobre sua superfície. Além disso, muitos processos físicos que ocorrem em outras partes do universo podem ser observados no Sol, possibilitando o entendimento de outras estrelas e de como elas se desenvolvem.

3.2.1 Núcleo Solar

A temperatura do núcleo é de cerca de 15×10^6 K e sua densidade é de aproximadamente 150 g/cm^3 . Ambas, temperatura e pressão diminuem com o aumento do raio. O núcleo estende-se do centro até 25% do raio do Sol, ou seja, aproximadamente 175.000 km (Bilitza, 2004). Na sua parte mais externa a temperatura é de apenas metade do seu valor inicial e a densidade é de 20 g/cm^3 .

É no núcleo solar que ocorre a reação de fusão nuclear. Nessa região os átomos de hidrogênio têm energia suficientemente alta para vencer a força elétrica repulsiva que existe entre eles e colidir, unindo-se e formando átomos de hélio. Neste processo são liberadas grandes quantidades de energia.

3.2.2 Zona de Radiação

A zona de radiação é caracterizada pelo transporte da energia na forma de luz (fótons). Ela se estende desde 25% até 70% do raio solar (Bilitza, 2004). Na parte mais externa da zona de radiação a temperatura já caiu para cerca de 7×10^6 K e a densidade para aproximadamente $0,2 \text{ g/cm}^3$.

3.2.3 Camada Intermediária

Esta camada está localizada entre a zona de radiação e a zona de convecção. Acredita-se ser nela que o campo magnético solar é gerado pelo mecanismo do dínamo magnético (Bilitza, 2004). Variações no fluxo de plasma podem criar e tornar mais

fortes as linhas de força do campo magnético. Nessa camada também ocorrem variações repentinas de composição química.

3.2.4 Zona de Convecção

A zona de convecção se estende por cerca de 2.000 km acima da camada intermediária até a superfície visível do Sol. Na base da zona de convecção a temperatura é de cerca de 2×10^6 K. A temperatura decresce com o raio chegando à apenas 5700 K na superfície, onde a densidade é de 2×10^{-7} g/cm³. O material desta zona está em constante ebulição, trazendo energia do interior do Sol, resfriando-se na superfície e retornando ao interior do Sol onde é novamente aquecido.

3.2.5 A Fotosfera

A fotosfera é a superfície visível do Sol (figura 3.2). Como o Sol é uma bola de gás a fotosfera não é sólida. A fotosfera é uma camada de 100 km de espessura que pode ser considerada extremamente fina quando comparada aos 700.000 km do raio solar (Bilitza, 2004). Na fotosfera podem ser observadas as manchas solares, os grânulos, os super grânulos e regiões mais brilhosas (*faculae*).

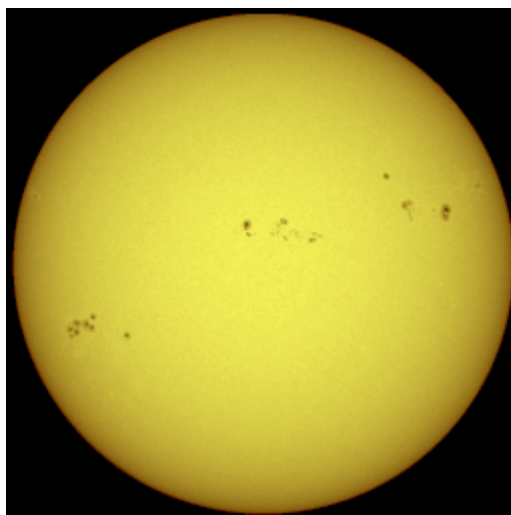


Fig. 3.2 – Fotosfera solar com manchas solares.

Fonte: Bilitza, 2004.

O período de rotação do Sol é de aproximadamente 27 dias. A Região Equatorial possui maior velocidade de rotação completando uma volta em 24 dias, enquanto as regiões polares demoram 30 dias para dar uma volta completa.

A fotosfera e as manchas solares presentes na fotosfera podem ser facilmente observadas usando-se um telescópio simples. Contudo, recomenda-se a utilização de um filtro para reduzir a intensidade da luz solar.

3.2.6 A Cromosfera

A cromosfera é uma camada irregular acima da fotosfera, ao longo da qual a temperatura aumenta de 6×10^3 K para aproximadamente 2×10^4 K.

A cromosfera pode ser vista através de telescópios com filtros que isolem espectros de radiações como a emitida pelos átomos de hidrogênio H-alfa ou a luz emitida pelo cálcio ionizado ou ainda o espectro solar na faixa do violeta, com comprimento de onda de 393,4 nm.

Na cromosfera (figura 3.3) podem ser observados as proeminências ou filamentos, as regiões ativas com maior brilho e as erupções solares (Bilitza, 2004).

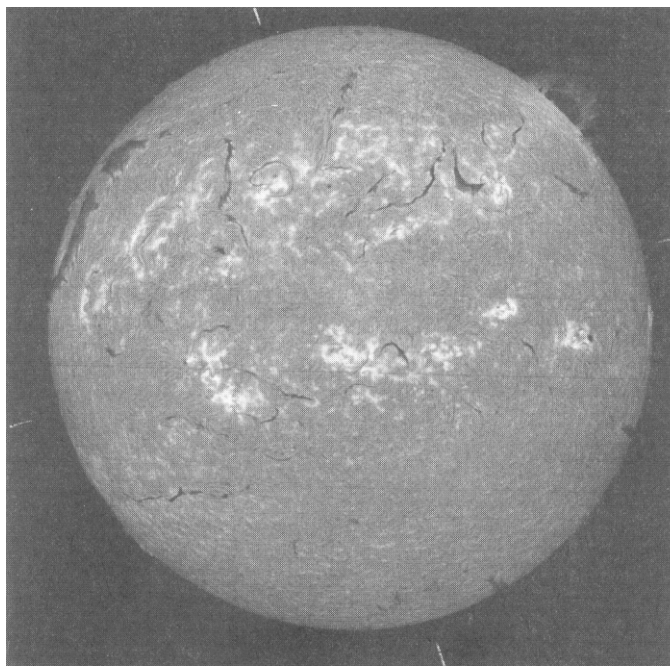


Fig. 3.3 – Cromosfera vista no espectro do H-alfa, mostrando regiões ativas de maior brilho e filamentos ou proeminências (linhas estreitas escuras).

Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

3.2.7 A Coroa Solar

A coroa solar é a camada mais externa do Sol. Ela tem mais de 10^6 km de extensão e seu limite superior não é facilmente determinável (Hargreaves, 1992). É visível durante os eclipses totais como um círculo branco ao redor do Sol (figura 3.4).

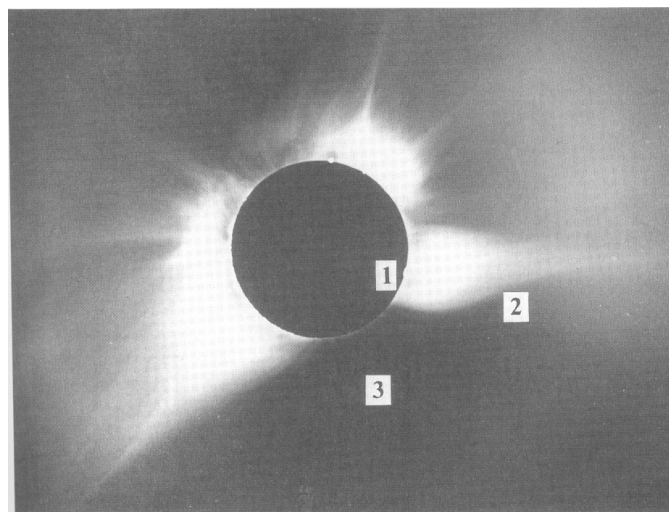


Fig. 3.4 – Coroa Solar no espectro da luz branca durante um eclipse solar. (1) Proeminência, (2) fluxo de plasma, e (3) buraco coronal.

Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

Entre a coroa solar e a cromosfera existe uma fina camada denominada Região de Transição que pode ser vista do espaço com telescópios que isolam a luz emitida pelos íons carbono (C^+), oxigênio (O^+) ou silício (Si^+). A temperatura varia muito rapidamente nessa região, indo dos 2×10^4 K na base até, aproximadamente, 1×10^6 K no topo.

A temperatura da coroa solar é de, aproximadamente, 1×10^6 K. Na órbita da Terra a temperatura da coroa solar chega aos 3×10^5 °C (Hargreaves, 1992). Quando observada no espectro visível, a coroa solar produz uma radiação que não pode ser associada ao comprimento de onda de nenhum material conhecido. Nessa temperatura o hidrogênio, o hélio, o oxigênio, o carbono e o nitrogênio não possuem mais elétrons, mas existem traços de elementos como ferro e cálcio altamente ionizados que ainda retêm alguns poucos elétrons. É possível que sejam estes os elementos responsáveis pela emissão da coroa solar no espectro visível.

No espectro dos Raios-X a coroa solar aparece com um brilho destacado em relação à fotosfera. Isso se deve à sua elevadíssima temperatura e à baixa emissão de

raios x por parte da fotosfera. Para observar a coroa solar no espectro dos Raios-X é preciso de um telescópio que, além de trabalhar com Raios-X, esteja fora da Atmosfera Terrestre.

3.3 Manchas Solares

As manchas solares podem ser observadas no espectro da luz visível como regiões escuras da superfície solar. Elas possuem temperatura cerca de 2×10^3 K inferior à temperatura da fotosfera. Esta diferença de temperatura faz com que as manchas solares brilhem menos do que as suas vizinhanças e, devido ao contraste, causa a impressão de que elas são escuras. O campo magnético das manchas solares é de cerca de 0,3 Tesla, o que é milhares de vezes mais forte do que o campo magnético da Terra e, aproximadamente, 1.000 vezes mais forte do que o campo magnético do resto da superfície solar.

O número de manchas solares pode ser calculado contando-se o número de grupos de manchas e o número de manchas individuais. O número de manchas solares é dado pela soma das manchas solares individuais, mais dez vezes o número de grupos de manchas.

As manchas solares geralmente ocorrem aos pares. Uma é positiva ou norte magnético e a outra é negativa ou sul magnético. As linhas de campo magnético saem da região norte magnético e entram na região sul magnético, unindo as duas manchas de polaridades opostas (Bilitza, 2004).

As manchas solares apresentam uma região mais escura no centro onde o campo magnético é o mais intenso e com orientação quase vertical chamada de Umbra. Em volta da Umbra existe uma região acinzentada chamada de Penumbra, com campo magnético mais fraco e horizontal (figura 3.5).

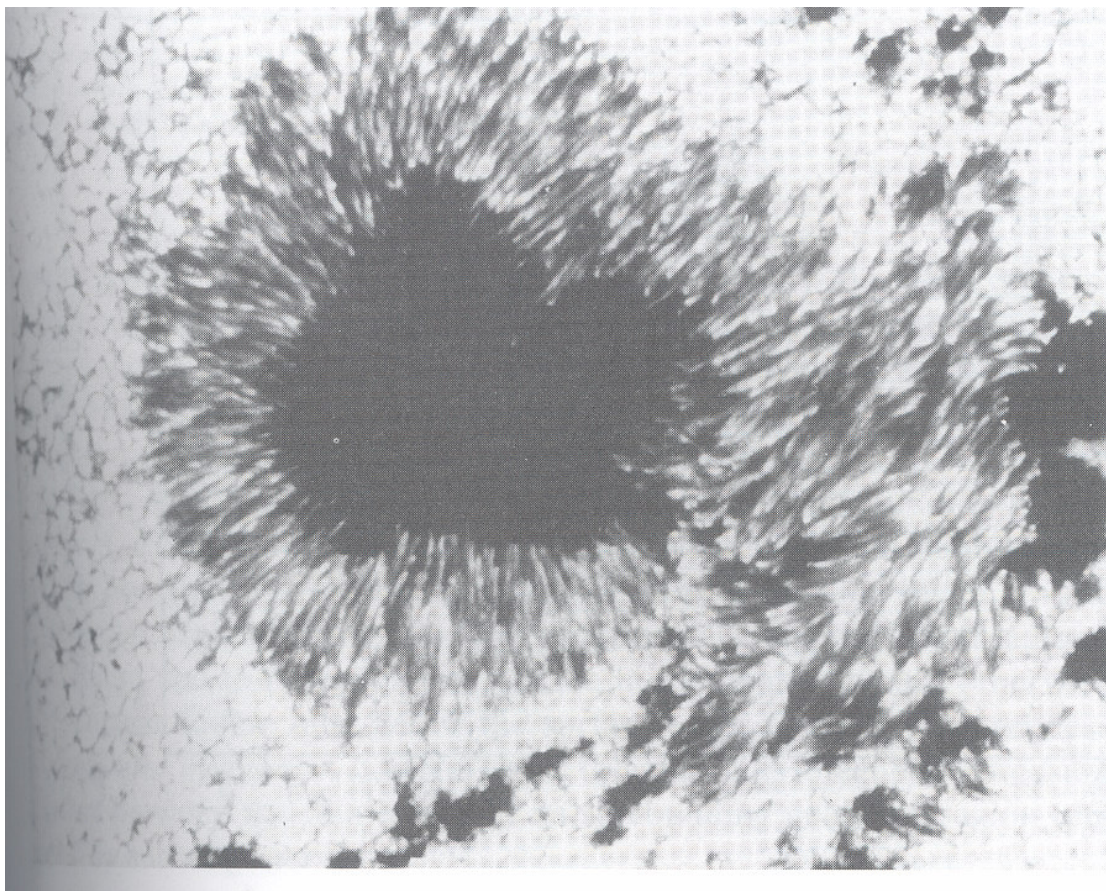


Fig. 3.5 – Mancha solar. No centro pode-se ver uma região mais escura, a Umbra. Em volta da Umbra há uma região acinzentada chamada Penumbra.

Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

3.4 Atividade Solar

Atividade solar, que é caracterizada pelo número de erupções solares, possui um ciclo chamado ciclo solar de onze anos. A contagem do número de manchas solares é uma maneira de avaliar a intensidade da atividade solar.

Outro importante indicador da atividade solar é o fluxo de energia no comprimento 10 cm. Ele é monitorado e gravado em unidade de $W.m^{-2}.Hz^{-1}$, possuindo uma alta correspondência com o número de manchas solares.

3.5 Ciclo Solar ou Ciclo de Manchas

O número de manchas solares apresenta uma variação periódica em torno de onze anos. O diagrama borboleta da figura 3.6 mostra que as manchas solares não se distribuem ao acaso sobre a fotosfera. Elas estão concentradas em duas bandas de latitude, dos dois lados do “Equador”. Inicialmente as bandas se formam em latitudes médias e em seguida movem-se em direção ao “Equador” durante o progresso do ciclo solar.

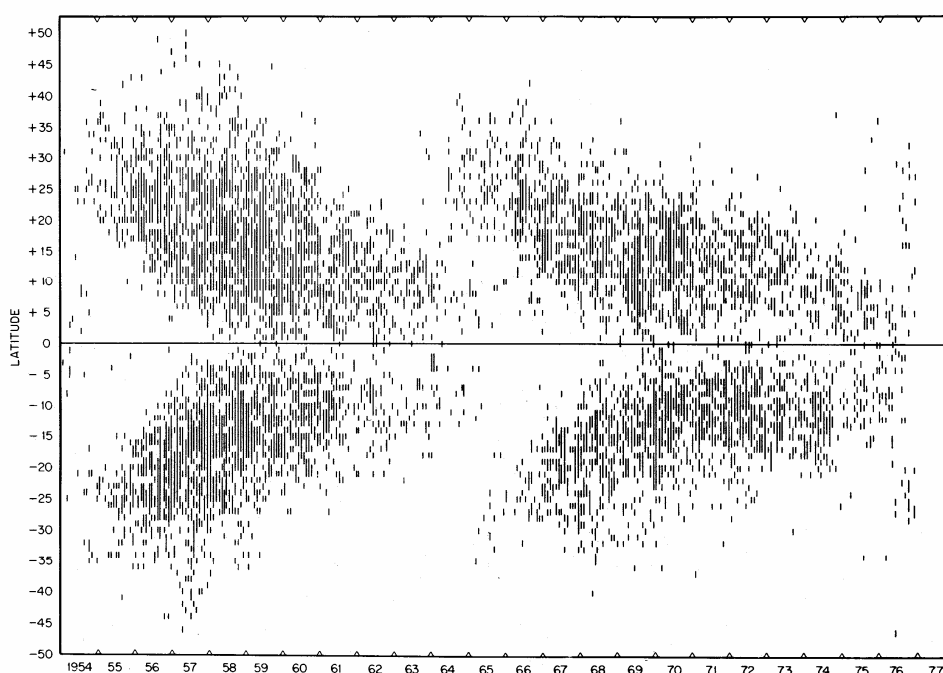


Fig. 3.6 – Diagrama borboleta de Maunder mostrando as latitudes de ocorrência das manchas solares como função do tempo para dois ciclos solares.

Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

Os registros mostram que o Sol passou por um período de inatividade prolongado durante o século XVII, chamado de Mínimo de Maunder. O Sol apresentou raras manchas solares entre 1645 e 1715. O Mínimo de Maunder coincidiu com um período em que o clima na Terra esteve mais frio do que o normal.

3.6 Índice de Atividade Solar F10.7

O F10.7 (*10.7 cm flux*) é um índice de atividade solar obtido a partir da medida da densidade do fluxo solar com comprimento de onda de 10,7 cm. Essas medidas são geralmente feitas três vezes ao dia: as 17 h, as 20 h e as 23 h (UT, ou seja, hora universal).

3.7 Radiações Solares

O Sol emite 4×10^{26} W de radiação eletromagnética, irradiando a Terra com mais de $1,4 \text{ kW/m}^2$, sendo que aproximadamente a metade chega à superfície. Correspondendo à sua temperatura de corpo negro, o Sol emite radiações no espectro da luz visível, em pequenos comprimentos de onda (ultravioleta, Raios-X e raios gama) e em longos comprimentos de onda (infra-vermelho e ondas de rádio) (Hargreaves, 1992).

O Sol emite, praticamente, em toda banda de ondas de rádio. Cada comprimento de onda corresponde à temperatura da região de onde foi emitida. Como um meio ionizado é transparente para as frequências mais altas que a frequência do plasma, o nível de emissão depende da densidade eletrônica do Sol. Ondas de 10 cm de comprimento vêm da cromosfera, enquanto as ondas métricas vêm da coroa solar.

Algumas erupções solares emitem um fluxo de prótons com energia entre 1 e 1.000 MeV, suficiente para causar modificações apreciáveis na densidade eletrônica da Ionosfera Terrestre.

3.8 Vento Solar

O vento solar foi observado pela primeira vez em 1960. É um fluxo de plasma ionizado que pode transportar campo magnético Solar. Se forma devido à diferença de pressão que existe entre a coroa solar e o espaço inter-estelar e não é uniforme, conforme mostra a figura 3.7.

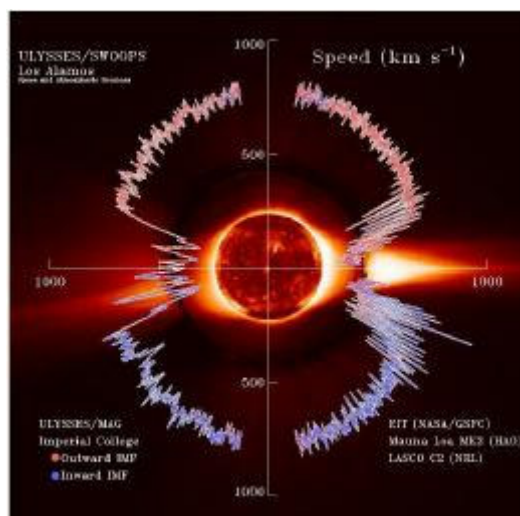


Fig. 3.7 – Imagem no comprimento do Fe XIV obtida pelo satélite Soho mostrando a distribuição espacial do vento solar.

Fonte: Bilitza, 2004.

O vento solar é composto em sua maior parte por átomos de hidrogênio ionizados ou prótons e elétrons em quantidades aproximadamente iguais. Ele possui também cerca de 5% de hélio ionizado e uns poucos íons de elementos mais pesados (Kivelson e Russel, 1995).

Na órbita da Terra a velocidade do vento solar normalmente está entre 200 e 700 ou 800 km/s e sua temperatura é de 10^5 K (Hargreaves, 1992). O plasma é considerado frio e carrega a maior parte da sua energia, cerca de 10^{-4} W/m², na forma de energia cinética.

CAPÍTULO 4

ATIVIDADE MAGNÉTICA E INDÍCES GEOMAGNÉTICOS

4.1 Atividade Magnética

O campo magnético da magnetosfera terrestre é produzido por uma superposição de campos magnéticos de várias fontes (Kivelson e Russel, 1995). Entre as fontes mais importantes estão o fluxo do magma no interior da Terra, as correntes elétricas ionosféricas do sistema de dínamo global, tais como o eletrojato equatorial e o eletrojato auroral.

O campo magnético do vento solar pode interagir com a magnetosfera terrestre, anulando as suas linhas de campo e abrindo caminho para que partículas de alta energia penetrem em seu interior. Para que ocorra essa interação, os parâmetros mais importantes são a orientação do campo magnético transportado pelo do vento solar e a sua pressão dinâmica. Da pressão dinâmica dependem a velocidade e a densidade do vento solar.

As variações da atividade magnética terrestre estão diretamente relacionadas com as variações solares. Quando o ciclo solar de onze anos passa por seu máximo o número de tempestades solares tende a aumentar. Aquelas tempestades solares direcionadas para a Terra provocam tempestades magnéticas devido a sua interação com o campo magnético terrestre. A atividade magnética também é modulada pela localização da Terra sobre a sua órbita ao redor do Sol, o que causa variações anuais e semi-anuais que podem ser detectadas pelos índices magnéticos.

4.2 Tempestade Magnética

Uma tempestade magnética ocorre quando uma tempestade solar em direção a Terra interage com o campo magnético terrestre. Neste caso, as modificações no campo magnético, terrestre decorrentes desta interação, registram uma compressão das linhas de campo magnético terrestre, seguida por uma redução acentuada da intensidade do campo e, posteriormente, por uma fase de recuperação. Durante estas fases, registradas através do monitoramento das componentes do campo magnético terrestre, ocorre penetração de partículas para as regiões aurorais e para os cinturões de radiação. A figura 4.1 mostra um exemplo de uma tempestade magnética de curta duração registrada através do índice Dst.

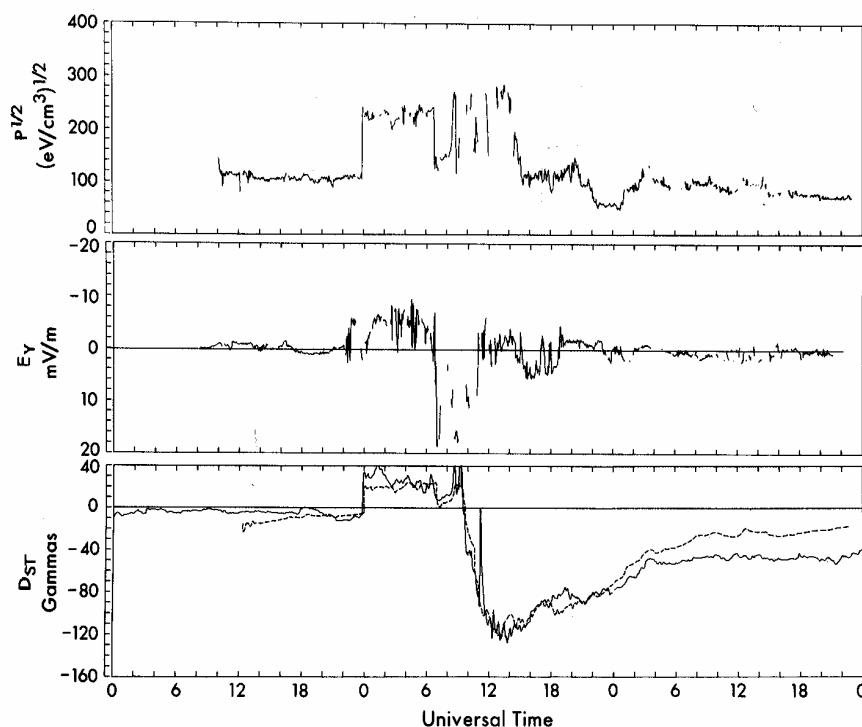


Fig. 4.1 – Medidas do vento solar e do campo magnético sobre a superfície da Terra em 15-17 de fevereiro de 1967. Acima: pressão dinâmica do vento solar. No meio: componente do campo elétrico do vento solar na direção do raio da Terra e com sentido entrando na Terra. Abaixo: índice Dst da tempestade magnética.

Fonte: Kivelson e Russel, 1995.

Uma tempestade magnética começa com um aumento súbito do campo magnético que pode durar muitas horas. Esta fase inicial é seguida por uma rápida e, algumas vezes, forte diminuição do índice D_{st} . Esta é a fase principal da tempestade. Na fase de recuperação, o índice D_{st} começa a se recuperar rapidamente num primeiro estágio seguido de uma recuperação lenta a seguir. Uma tempestade magnética típica pode durar de 1-5 dias. A primeira fase pode durar de até 24 horas. A fase de recuperação pode durar alguns dias. Tempestades magnéticas da ordem de 50-100 nT podem ocorrer quase todo mês. Muitas vezes por ano ocorrem tempestades de 150-300 nT. Mas tempestades que excedem 500 nT só ocorrem umas poucas vezes durante um ciclo solar (Kivelson e Russel, 1995).

4.3 Índices Geomagnéticos

Nesta seção vamos descrever, um a um, os principais índices geomagnéticos, os quais consideramos importantes para o desenvolvimento de nossa pesquisa e que, portanto, foram estudados na fase inicial do Projeto, conforme os objetivos propostos.

4.3.1 Índice Dst

O índice Dst é deduzido a partir da variação da magnitude do campo magnético terrestre projetado no plano horizontal. Esta componente do campo magnético é tomada por magnetômetros de observatórios magnéticos em latitudes equatoriais. Sua unidade de medida é o nano tesla (nT).

As componentes do campo magnético terrestre são apresentadas na figura 4.2. \mathbf{B} é o vetor campo magnético; F é a magnitude ou a intensidade de \mathbf{B} , originalmente referida como a força total; X , Y e Z são as três componentes cartesianas do campo, medidas no sistema de coordenadas geográficas. X aponta no sentido norte, Y para leste e Z aponta para o centro da Terra. A magnitude do campo projetada no plano horizontal é chamada de componente H . Esta projeção faz um ângulo D (declinação) com a componente na direção norte do campo magnético. O ângulo I (inclinação), também

conhecido como ângulo de penetração (do inglês, *dip*), é medido entre a componente horizontal H e o vetor campo magnético B .

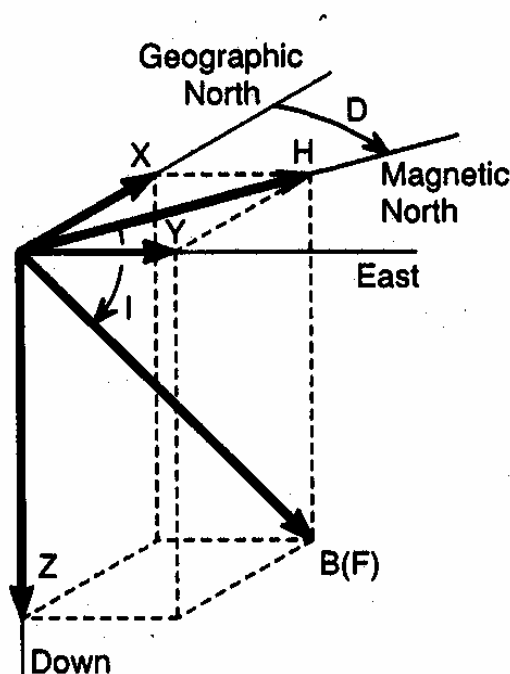


Fig. 4.2 – Componentes do campo geomagnético terrestre.

Fonte: Kivelson e Russel, 1995

4.3.2 Índice AE

O índice AE (*auroral electrojet*) é um índice representativo do eletrojato auroral. Ele expressa o módulo da atividade do eletrojato possibilitando uma medida do total da energia dissipada na Ionosfera auroral. Assim como o índice Dst, ele é calculado a partir da variação da componente horizontal H do campo magnético. Contudo, para o índice AE são tomadas de 13 estações de magnetômetros distribuídos nas zonas aurorais, principalmente no hemisfério norte (Davis e Sugiura, 1966). Para sua construção, são escolhidos, entre os valores instantâneos das componentes H das 13 estações, o maior e o menor valor registrado. Em seguida tomamos a diferença entre estes valores registrados de componente H .

Um interessante aspecto deste índice é que, ao invés da diferença entre o maior e o menor valor escolhidos entre as 13 estações, ele também pode ser expresso somente em

termos do maior valor (ou mais positivo), assim como pode ser expresso somente em termos do menor valor (ou mais negativo). Neste caso, ele recebe uma nomenclatura especial. Ele é denominado *Auroral Upper* (AU) quando ele é expresso somente em termos do maior valor (ou mais positivo) e ele é denominado *Auroral Lower* (AL) quando ele é expresso somente em termos do menor valor (ou mais negativo). Assim, índice AE pode ser definido como sendo a diferença algébrica entre os índices AU-AL.

4.3.2.1 Índice AU

O índice AU (*Auroral Upper*) pode ser considerado como sendo o envelope superior da variação componente horizontal H do campo magnético medido por 13 estações magnéticas na zona auroral do hemisfério norte. Ele é sempre positivo e é considerado como sendo o valor máximo da componente horizontal H do campo magnético registrado entre as 13 estações. Ele expressa a máxima intensidade do eletrojato auroral dirigido para leste sendo, assim, uma boa referência da capacidade de resposta da magnetosféra as variações do meio interplanetário.

4.3.2.2 Índice AL

O índice AL (*Auroral Lower*) pode ser considerado como sendo o envelope inferior da variação componente horizontal H do campo magnético. Ele também é calculado a partir da variação da componente horizontal H do campo magnético, medida em 13 estações localizadas na zona auroral do hemisfério norte. O índice AL é sempre negativo e é considerado como sendo o valor mínimo da componente horizontal H do campo magnético registrado entre as 13 estações. Ele expressa a máxima intensidade do eletrojato auroral dirigido para oeste sendo, assim, uma boa maneira de se acompanhar a evolução de uma tempestade eletromagnética.

4.3.3 Índice Kp

O índice Kp (Bartels et al., 1939) é obtido a partir de uma média que envolve 13 estações de magnetômetros distribuídas entre 46° e 63° ao norte e 46° e 63° ao sul do equador geomagnético. O nível local de distúrbio magnético K é obtido através da diferença entre o maior e o menor valor observado na componente horizontal H do



campo magnético. Os valores para o índice K variam de 0 (muito calmo) a 9 (muito perturbado) em uma escala logarítmica que possui cada intervalo subdividido em três partes.

CAPÍTULO 5

IONOSFERA

5.1 Introdução

A Atmosfera Terrestre é a denominação dada a camada de gases que envolve a Terra. Ela pode ser classificada levando-se em consideração a sua temperatura, a sua composição, a dificuldade que impõem ao escape gasoso ou o seu estado de ionização.

Com relação à temperatura a Atmosfera pode ser dividida em Troposfera (do solo até aproximadamente 10 km de altura), Estratosfera (entre 10 e 50 km), Mesosfera (entre 50 e 80 km) e Termosfera (acima de 80 km).

Pela classificação quanto ao estado de ionização a Atmosfera é dividida em Atmosfera Neutra e Atmosfera Ionizada. A Atmosfera Neutra estende-se do nível do solo até a altura de escape gasoso. Ela pode ser considerada como o componente majoritário e densidade decrescente da ordem de 10^9 para 10^6 cm^{-3} na região onde encontra-se a sua porção ionizada (Kivelson e Russell, 1995). A Atmosfera Ionizada, ou simplesmente, Ionosfera é a porção ionizada da Atmosfera Neutra. Ela pode ser considerada como um constituinte minoritário da Atmosfera Terrestre, e possui uma densidade variável com altura da ordem de 10^4 a 10^6 cm^{-3} . Essa densidade está distribuída em forma de um pico e concentra-se em uma região específica, embebida no perfil atmosférico, a qual será apresentada e discutida a seguir.

A figura 5.1 apresenta as diferentes classificações da Atmosfera Neutra e da Atmosfera Ionizada Terrestre. Nesta figura podemos ver que a Ionosfera e a Termosfera designam basicamente a mesma região, porém suas denominações baseiam-se em critérios diferentes para a divisão da Atmosfera.

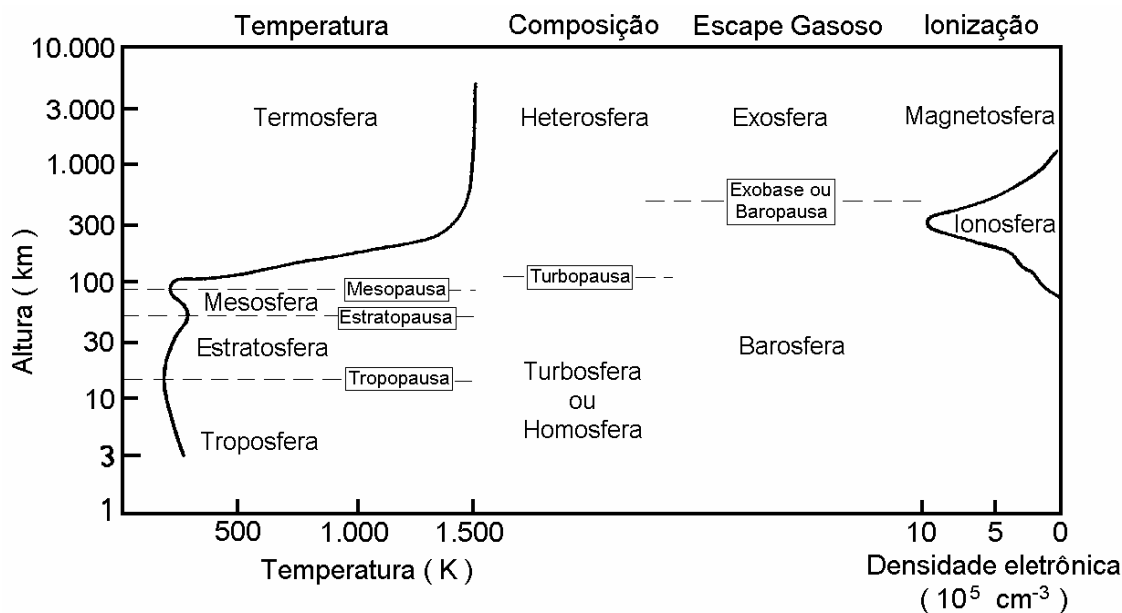


Fig. 5.1 – Classificação da Atmosfera Neutra e da Atmosfera Ionizada Terrestre.

FONTE: Hargreaves (1992, p.99).

5.2 Definição de Plasma Ionosférico

A Ionosfera pode ser definida como um plasma, pois apresenta todas as propriedades deste estado da matéria: um meio ionizado, com alta temperatura, macroscopicamente neutro.

O significado da afirmação que plasma é um meio ionizado é que este possui, em sua composição, íons e de elétrons livres convivendo juntos, sob altas temperaturas, num estado de equilíbrio dinâmico de maneira que o efeito líquido é o de não eficiência dos processos de recombinação.

O plasma é dito macroscopicamente neutro porque possui o mesmo número de elétrons e de íons ($n_e \cong n_i$). Uma determinada carga em desequilíbrio que por ventura venha a ser introduzida no interior do plasma não apresenta força elétrica de interação significativa sobre outras cargas que estejam a uma distância maior do que um comprimento de Debye (λ_D).

O comprimento de Debye é definido para o plasma como sendo:

$$\lambda_D \equiv \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi e^2 n_e}}, \quad (5.1)$$

onde k é a constante de Boltzmann, T_e é a temperatura do elétron, e é a carga do elétron, e n_e é a densidade de elétrons.

O plasma ideal apresenta comportamento coletivo, ou seja, predominam as forças de interação de longo alcance, como a da Lei de Coulomb, e não as forças de pequeno alcance, como colisões. O mesmo não é verdade para o plasma real encontrado, por exemplo, em algumas camadas da Ionosfera como na Camada D e na Camada E. Nestas camadas o grande número de partículas neutras torna a força de colisão entre as moléculas tão significativa quanto a força de interação elétrica entre os íons e elétrons do plasma.

5.3 A Ionosfera

A Ionosfera é a região ionizada que está compreendida entre, aproximadamente, 50 km e 1000 km de altitude. Ela é formada pela ionização dos gases atmosféricos, formando plasma ionosférico. Devido à sua composição, a Ionosfera interfere na propagação de ondas de rádio, podendo refratar, refletir ou até absorver as mesmas.

O principal processo de produção da Ionosfera é a fotoionização devido aos Raios-X solares e a radiação Extra Ultra-Violeta (EUV). Também contribuem para a ionização linhas importantes, especialmente para a região E, como a Lyman- α . Os fótons colidem com os elementos neutros da Atmosfera transferindo energia para estes, a qual será usada para arrancar elétrons. A figura 5.2 ilustra o processo de ionização para o átomo de oxigênio.

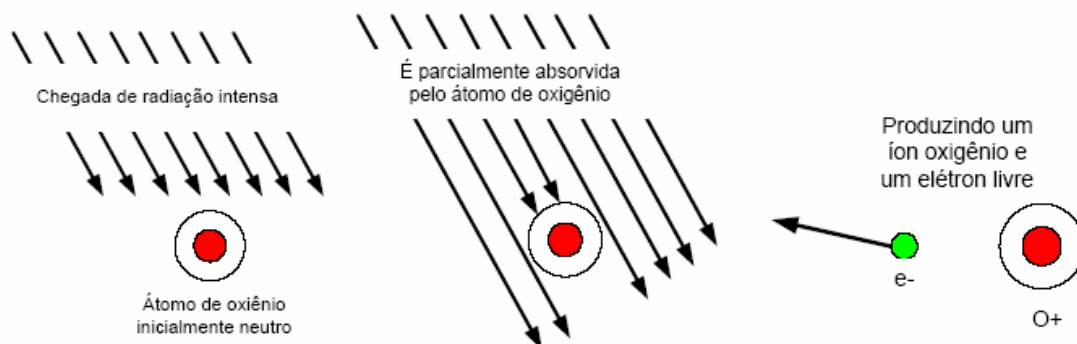


Fig. 5.2 – Ionização do átomo de oxigênio.

FONTE: Oliveira, 2005.

Os raios cósmicos, também se apresentam como outra fonte de ionização. A ionização ocorre por impacto, quando a energia cinética da partícula cósmica é maior do que o potencial de ionização do elemento neutro atmosférico.

Os íons e os elétrons livres tendem a se recombinarem, gerando novamente elementos neutros. Portanto, a densidade eletrônica da Ionosfera depende de um equilíbrio estabelecido entre as velocidades relativas de ionização e de perda. A relação a seguir, equaciona os processos de produção e perda. Nesta equação também vemos o termo de dependência temporal da densidade eletrônica e um termo de transporte, o qual introduz e/ou retira plasma por processos dinâmicos:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (Nv) \quad (5.2)$$

Nesta equação q é a taxa de produção, L é a taxa de perda e $\nabla \cdot (Nv)$ expressa a produção/perda de elétrons pelo transporte, sendo v a velocidade.

A densidade eletrônica é diretamente proporcional à densidade de radiação ionizante e à concentração de partículas ionizáveis. Como a densidade de radiação ionizante cresce com o aumento da altura enquanto a concentração de partículas ionizáveis decresce, a densidade eletrônica da Ionosfera varia com a altura passando por um máximo em torno dos 300 km de altitude.

Contudo, os constituintes da Atmosfera Neutra não apresentam uma distribuição uniforme com altura. Além disso, algumas radiações ionizantes são mais penetrantes que outras. Deste modo, é natural que a Ionosfera apresenta diferentes picos de densidade em diferentes alturas. De fato, ela pode ser dividida em camadas. Além disso, essa densidade apresenta variabilidade conforme a hora do dia, a estação do ano e as condições solares.

5.4 Camada D

A Camada D se estende de aproximadamente 60 km a 90 km de altura. Ela é responsável por grande parte da absorção das ondas de rádio. Durante o dia, esta camada é ionizada, principalmente, pelos Raios-X e Lyman- α e durante todo o período, pelos raios cósmicos. Durante a noite ela sofre uma redução acentuada na sua densidade eletrônica devido à redução nas fontes de ionização solares enquanto que os processos de recombinação permanecem praticamente inalterados.

5.5 Camada E

A Camada E está localizada entre, aproximadamente, 90 e 140 km de altura. Ela é formada, basicamente, pela absorção da radiação ultravioleta com comprimento de onda entre 80 e 102,7 nm (Hargreaves, 1999). Os principais íons encontrados nesta camada são o N_2^+ , O_2^+ , O^+ e NO^+ . Nesta camada encontram-se ainda íons metálicos de origem meteórica tais como: Fe^+ , Mg^+ , Ca^+ e Si^+ .

5.6 Camada F1

Essa camada pode ser formada como um pico no perfil ou uma inflexão na curva devido a competição entre os processos de perdas lineares e quadráticas. A Camada F1 é situada aproximadamente entre 160 e 180 km de altura. Ela é mais frequentemente observada durante o dia, pois apresenta grande redução na sua densidade eletrônica

durante a noite. Ela é formada pela absorção de radiação solar com comprimento de onda de 20 a 90 nm e seus principais íons são o NO^+ e o O^+ (Hargreaves, 1992).

5.7 Camada F2

A Camada F2 é a camada mais importante da Ionosfera Terrestre, pois ela concentra quase que a totalidade da densidade eletrônica do perfil de densidades. Ela apresenta um pico de densidade eletrônica por volta dos 300 km e é composta principalmente pelo íon (O^+). No período noturno, o seu perfil de densidade eletrônica mostra uma ascensão no pico de densidade a medida que avançamos na noite. Esse movimento ascendente torna-se descendente no período da madrugada. Também possui irregularidades de plasma (bolhas) que modificam o perfil de densidade eletrônica.

Na camada F2 da Ionosfera ocorrem processos dinâmicos e fenômenos importantes como bolhas de plasma, pico de pré-reversão, anomalia Appleton, etc.

CAPÍTULO 6

INSTRUMENTAÇÃO E PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE DADOS

6.1 Os Sistemas da Digissonda

O Sistema Digissonda adquirido pelo CRSPE/INPE – MCT, para ser instalado em Santa Maria é semelhante ao Sistema Digissonda instalado em São Luís, modelo 256, visto que o de São Luís do Maranhão é fixo e o de Santa Maria, RS, trata-se de um Sistema Digissonda Portátil. Entretanto, os recursos de redução de dados são os mesmos, justificando um aprendizado do aluno com a análise, interpretação e mesmo a redução de dados do Sistema de Digissonda de São Luís do Maranhão. O Sistema de Digissonda é constituído de uma antena transmissora, quatro antenas receptoras tipo loop-cruzado (figura 6.1) dispostas conforme a figura 6.2, um computador para controle da transmissão-recepção e outro para armazenamento e transmissão dos dados (Reinisch et al., 1989).

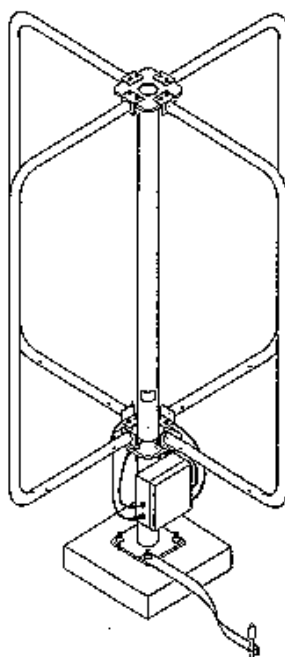


Fig. 6.1 – Configuração da antena receptora de loop-cruzado.

FONTE: University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research.

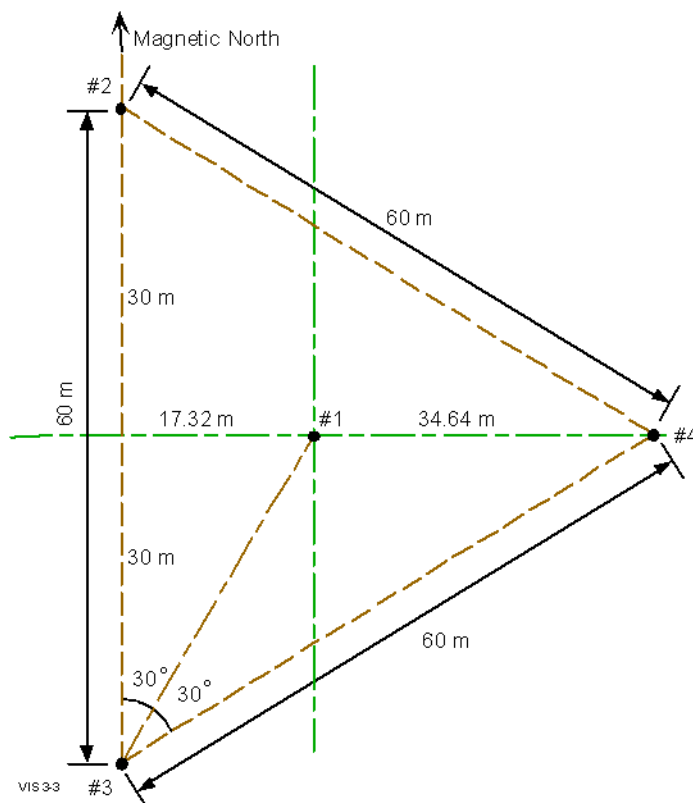


Fig. 6.2 – Configuração das antenas receptoras da Digissonda.

FONTE: University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research.

As sondagens de densidade eletrônica são normalmente feitas em intervalos de 15 minutos. Porém, a Digissonda pode ser programada para sondar em intervalos diferentes de acordo com os estudos pretendidos. Durante cada sondagem, é emitida uma seqüência de pulsos eletromagnéticos de onda senoidal, com frequência variável entre 1 e 25 MHz. As ondas, que são refletidas em diferentes alturas e de acordo com a densidade eletrônica, são captadas pelas antenas receptoras (figura 6.2). O sinal captado sofre um pré-processamento digital e em seguida é arquivado.

6.2 Processamento Automático de Ionogramas

A princípio, esse sistema foi desenhado para minimizar a figura do operador, mesmo na interpretação dos ionogramas. Essa interpretação ficaria a cargo do programa interpretador *Artist*, incluído no sistema de recepção. Na região brasileira, de uma maneira geral, o programa interpretador não apresenta a eficiência desejada. Deste modo, um operador faz uma revisão da interpretação automática e efetua as correções necessárias usando o programa SAO-X. Durante a revisão, o operador tem a sua disposição uma visualização gráfica dos parâmetros ionosféricos, o ionograma (figura 6.4). A seqüência de pontos vermelhos corresponde ao traço ordinário. O operador deve garantir que a base desse traço foi marcada. Dessa maneira o programa efetuará os cálculos de determinação dos parâmetros ionosféricos corretamente. Todavia, existe um outro traço determinado pela seqüência de pontos verdes, o traço extraordinário. Se a base deste traço for marcada, ao invés de marcar a base o traço ordinário, os cálculos dos parâmetros ionosféricos estarão errados.

A figura 6.3 apresenta o resultado da interpretação automática do programa interpretador *Artist* para o horário 12h45min do dia 26 de dezembro de 2003. É visível o erro cometido na determinação do parâmetro altura real do pico da camada F2 (hmF2). Para efeito de comparação, na figura 6.4 são apresentados os resultados da correção realizada pelo operador.

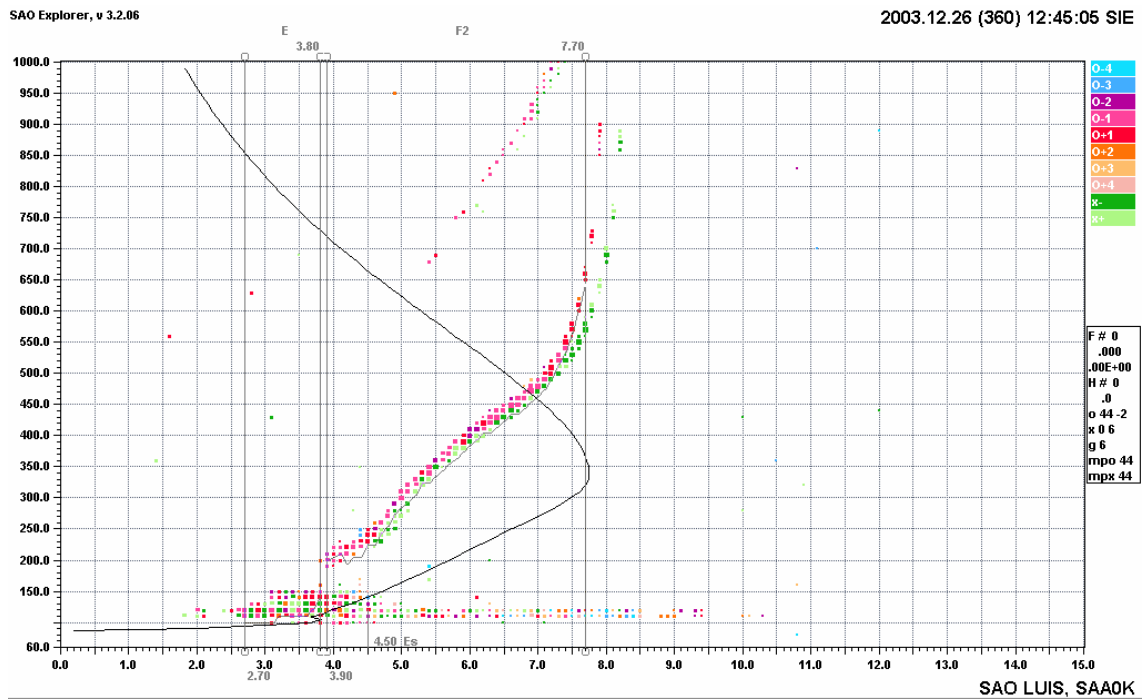


Fig. 6.3 – Ionograma das 12h45min do dia 26 de dezembro de 2003, antes da redução.

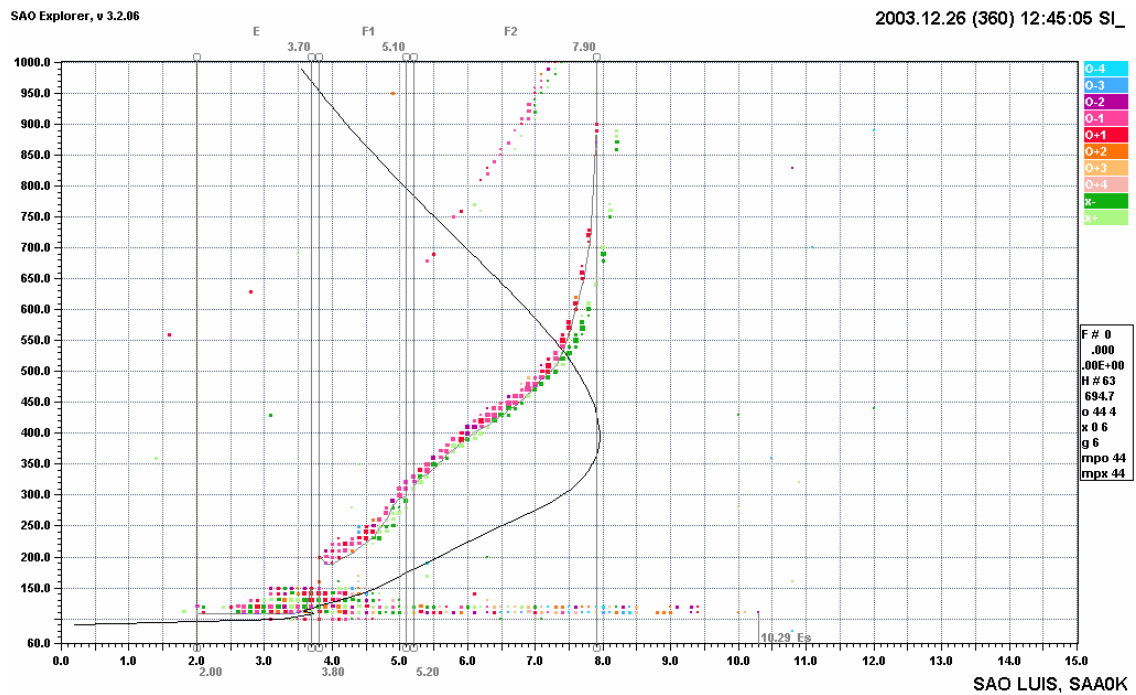


Fig. 6.4 – Ionograma das 12h45min do dia 26 de dezembro de 2003, depois da redução.

A partir do Ionograma corrigido (figura 6.4) podem ser determinados uma série de parâmetros Ionosféricos. A tabela 6.1 apresenta alguns desses parâmetros obtidos do Ionograma através da análise de dados da Digissonda usando o programa SÃO-X.

Tabela 6.1 – Parâmetros que podem ser obtidos do Ionograma através da análise de dados da Digissonda usando o programa SÃO-X.

FONTE: University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research.

Descrição	Unidades	Precisão
foF2 : F2 layer critical frequency, including the adjustment by the true height profile algorithm	MHz	at least quarter of frequency increment
foF1 : F1 layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
fmin: minimum frequency of ionogram echoes	MHz	1 frequency increment
foEs : Es layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
fminF : Minimum frequency of F-layer echoes	MHz	1 frequency increment
fminE : Minimum frequency of E-layer echoes	MHz	1 frequency increment
foE : E layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
fxI : Maximum frequency of F-trace	MHz	1 frequency increment
h'F : Minimum virtual height of F trace	km	1 height increment
h'F2 : Minimum virtual height of F2 trace	km	1 height increment
h'E : Minimum virtual height of E trace	km	1 height increment
h'Es : Minimum virtual height of Es trace	km	1 height increment
FF : Frequency spread between fxF2 and fxI	MHz	1 frequency increment
FE : Frequency spread beyond foE	MHz	1 frequency increment
hmF2: peak height of F2 layer	km	
hmF1: peak height of F1 layer	km	
foF2p : predicted value of foF2	MHz	± 2.0 MHz
fminEs : minimum frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment
yF2 : half thickness of the F2 layer, parabolic model	km	100 m
yF1 : half thickness of the F1 layer, parabolic model	km	100 m
TEC : total electron content	10^{16} m^{-2}	-
Scale height at the F2 peak	km	1km
foEa, critical frequency of auroral E layer	MHz	1 frequency increment
h'Ea, minimum virtual height of auroral E layer trace	km	1 height increment
foP, highest ordinary wave critical frequency of F region patch trace	MHz	1 frequency increment
fbEs, blanketing frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment

Para os propósitos deste Projeto, os parâmetros ionosféricos que foram selecionados para redução pelo bolsista foram: a altura real do pico da camada F2 (hmF2), a altura real do pico da camada F1 (hmF1), a altura virtual da base da camada F (h'F), a frequência ordinária do pico da camada F2 (foF2) e a frequência ordinária do pico da camada F1 (foF1). Estes parâmetros podem ser vistos com a marcação de seleção ao lado esquerdo na figura 6.5. Quando selecionados, como mostra a figura 6.5, o programa SAO-X faz a exibição gráfica dos parâmetros calculados em uma nova janela (figura 6.6).

Total records: 96 Station Number: 903 Name: SAO LUIS Model: DGS-256 URSI code: SAA0K							
Show	Color	Title	Value	Q	D	Flags	Characteristic description
<input checked="" type="checkbox"/>	Blue	hmF2	425.4	/		V	Peak height F2-layer
<input checked="" type="checkbox"/>	Green	foF2	8.250	/		EV	F2 layer critical frequency
<input checked="" type="checkbox"/>	Red	h'F	199.3	/		V	Minimum virtual height of F trace
<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	hmF1	200.9	/		V	Peak height F1-layer
<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow	foF1	5.35	/		EV	F1 layer critical frequency

Fig. 6.5 – Parâmetros Ionosféricos Calculados pelo Programa de análise de dados SAO-X na redução efetuada pelo bolsista.

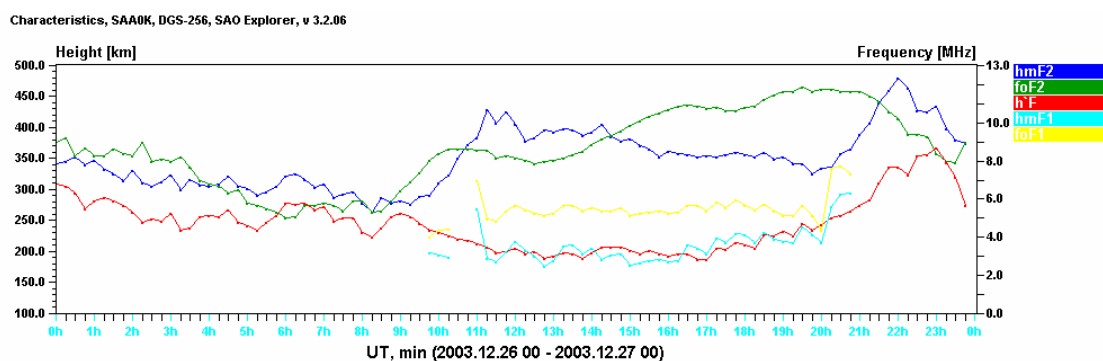


Fig. 6.6 – Gráficos em função do tempo da hmF2 (linha azul escura), da foF2 (linha verde), da h'F (linha vermelha), da hmF1 (linha azul clara) e da foF1 (linha amarela).

CAPÍTULO 7

METODOLOGIA DE ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÕES E ATIVIDADES COMPLEMENTARES NO CRSPE/INPE – MCT.

7.1 Metodologia de Análise

A metodologia de análise de dados realizada em Santa Maria, no CRSPE/INPE – MCT, obtidos pela Digissonda de São Luís do Maranhão, foi estabelecida em concordância com a metodologia de análise de dados estabelecida pelos pesquisadores da Linha de Pesquisa da Ionosfera da Divisão de Aeronomia do INPE/MCT. Além disso, ela segue padrões internacionais estabelecidas pela *International Union of Radio Science* (URSI, do francês: Union Radio-Scientifique Internationale) em 1993 (Wakai et al., 1986).

Com relação a escolha dos dias a serem analisados, em Santa Maria, RS, os critérios foram estabelecidos de acordo com o nível de perturbação magnética no Maranhão e com uma classificação dos dias do ano de acordo com a posição da Terra na Eclíptica Celeste. Estabelecidos a metodologia e o período de análise, procedeu-se à redução dos dados propriamente dita, a qual foi feita com o programa SAO-X.

Nas seções que se seguem detalhamos os aspectos mais importantes da seleção do período de dados analisados, da redução dos dados e cálculos de derivas, além dos resultados obtidos no nosso estudo.

7.2 Seleção do Período de Dados Analisados

A escolha dos dias a serem analisados em Santa Maria, RS, foi baseada em vários critérios, dentre eles: a disponibilidade de dados de Digissonda de São Luís do Maranhão durante períodos simultâneos de operação do radar de espalhamento coerente em 50 MHz (RESCO), também instalado na região de São Luís do Maranhão. Este

critério visa o desenvolvimento de futuros trabalhos de comparações entre dados dos dois equipamentos. Entre os dados disponíveis foram escolhidos dias em torno dos solstícios e dos equinócios do ano de 2003.

Em seguida, os dias do ano de 2003 foram classificados de acordo com o nível de perturbação magnética causada pela atividade solar. Com base nos estudos dos índices de classificação de atividade magnética, os quais foram apresentados nos capítulos anteriores, optou-se pelo índice de atividade magnética relacionado com a corrente anelar K_p . Os dias de sondagens que apresentaram, em qualquer horário do dia, um índice K_p maior que 3+ foram classificados como dias perturbados, todos os demais foram considerados calmos.

Com relação a classificação dos dias do ano de 2003 de acordo com a posição da Terra na Eclíptica Celeste, os dias foram separados em quadro períodos: em torno do solstícios de verão e inverno e dos equinócios de primavera e outono. Para esta classificação, o período compreendido entre o equinócio de outono (21/03/2003) e o solstício de inverno (22/06/2003) do Hemisfério Sul foi dividido em duas partes iguais, cada uma com 46 dias. Foram considerados pertencentes ao outono os dias 22/03/2003 a 06/05/2003 e pertencentes ao inverno os dias 07/05/2003 a 21/06/2003.

O período compreendido entre o solstício de inverno (22/06/2003) e o equinócio de primavera (23/09/2003) do Hemisfério Sul foi dividido em duas partes iguais, cada uma com 46 dias. Foram considerados pertencentes ao inverno os dias 23/06/2003 a 07/08/2003 e pertencentes à primavera os dias 08/08/2003 a 22/09/2003.

O período compreendido entre o equinócio de primavera (23/09/2003) e o solstício de verão (22/12/2003) do Hemisfério Sul foi dividido em duas partes. Foram considerados pertencentes à primavera os 44 dias de 24/09/2003 a 06/11/2003 e pertencentes ao verão os 45 dias de 07/11/2003 a 21/12/2003.

Ainda, os últimos 9 dias do ano (de 23/12/2003 a 31/12/2003) e os primeiros 35 dias do ano (01/01/2003 a 04/02/2003) foram considerados pertencentes ao verão. Os dias de 05/02/2003 a 20/03/2003 foram considerados pertencentes ao outono.

Para simplificação, a partir de agora o período de 05/02/2003 a 06/05/2003 será referenciado como outono. O período de 07/05/2003 a 07/08/2003 será referenciado como inverno. O período de 08/08/2003 a 06/11/2003 será referenciado como primavera. E, o período de 07/11/2003 a 31/12/2003 somado ao período de 01/01/2003 a 04/02/2003 será referenciado como verão.

A classificação dos dados deste estudo, de acordo com os critérios expostos, é apresentada na tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Classificação dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, dos dias do ano de 2003, selecionados para análise em Santa Maria no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, de acordo com a atividade magnética e com as estações do ano.

Condição Magnética	Estação	Meses	Dias
Calma	Solstício de Verão	Novembro	19
		Dezembro	16, 17, 18, 19, 23, 26
	Solstício de Inverno	Maio	20
		Agosto	05
	Equinócio de Primavera	Agosto	27
		Setembro	15
		Outubro	23
	Equinócio de Outono	Fevereiro	24, 25
		Março	24, 25, 26
	Perturbada	Solstício de Verão	Janeiro
Equinócio de Outono		Fevereiro	19, 20

7.3 Redução dos Dados e Cálculos de Derivas

A redução dos dados é feita através da intervenção de um pesquisador sobre a redução automática dos dados coletados pela Digissonda. Isto é feito através do programa interpretador SAO Explorer (SAO-X).

Com a utilização deste programa interpretador é possível de se obter parâmetros característicos dos ionogramas mencionados anteriormente. Para os propósitos de nosso Projeto nós extraímos dos ionogramas altura real do pico da camada F2 (hmF2), obtida com a ajuda do modelo NHPC (Huang e Reinisch, 1996) integrado ao SAO-X, e altura virtual da base da camada F (h'F), obtida diretamente do ionograma.

O parâmetro hmF2 é utilizado para comparação do comportamento da camada F2 entre períodos distintos do ano, de acordo com o nível de atividade magnética. Esse mesmo parâmetro é utilizado também para a comparação com os resultados previstos pelo modelo IRI. O parâmetro h'F é utilizado na forma de sua derivada temporal ($\Delta h'F / \Delta t$). Sob determinadas circunstâncias a derivada temporal ($\Delta h'F / \Delta t$) do parâmetro h'F pode ser representativa da deriva vertical da camada F da Ionosfera.

Os resultados observados nos nossos cálculos foram comparados com cálculos efetuados a partir de simulações de perfis de densidade eletrônica utilizando-se o modelo IRI, versão 2000-2005, disponível *on line* (Bilitza, 2001; Bilitza, 2005). Essas simulações foram efetuadas pela nossa equipe de pesquisa nas dependências do CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS. O parâmetro obtido para a comparação com dados da Digissonda foi a altura real do pico da camada F2 (hmF2).

As velocidades de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$), calculadas a partir dos dados da Digissonda, foram obtidas pela seguinte relação (Abdu et al., 1981 e Bittencourt e Abdu, 1981):

$$V_z = \frac{\Delta h' F}{\Delta t} \quad , \quad (7.1)$$

onde $\Delta h' F$ é a variação da altura virtual da camada F e Δt é o intervalo de tempo decorrido entre duas sondagens sucessivas. É importante ressaltar que a deriva assim calculada só é representativa da deriva eletromagnética vertical do plasma ionosférico, nos horários próximos ao pôr do Sol, quando a camada F se encontra em altitudes nas quais os efeitos de recombinação são menos importantes.

7.4 Resultados Obtidos e Discussão

Inicialmente, os períodos calmos e perturbados do solstício de verão e do equinócio de outono obtidos pela análise, em Santa Maria, RS, dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, são comparados com os resultados dos períodos calmos e perturbados do solstício de verão e do equinócio de outono, previstos pelo modelo IRI para a mesma localidade. Isto foi feito porque a maior ocorrência de bolhas de plasma no setor Brasileiro ocorre em torno dos solstícios de verão, enquanto a maior incidência de bolhas no setor Peruano é distribuída em torno dos equinócios (ver, por exemplo, Batista, 1985).

Os gráficos da figura 7.1 mostram a variação horária da altura real do pico da camada F2 para os períodos de solstício verão e equinócio de outono sob condições calma e perturbada obtidos pela análise dos dados da Digissonda. Para obtenção das variações horárias da altura real da camada F2 foi tomada a média aritmética simples entre as amostras de dias consecutivos correspondentes ao mesmo horário. Os dias utilizados podem ser encontrados na tabela 7.1.

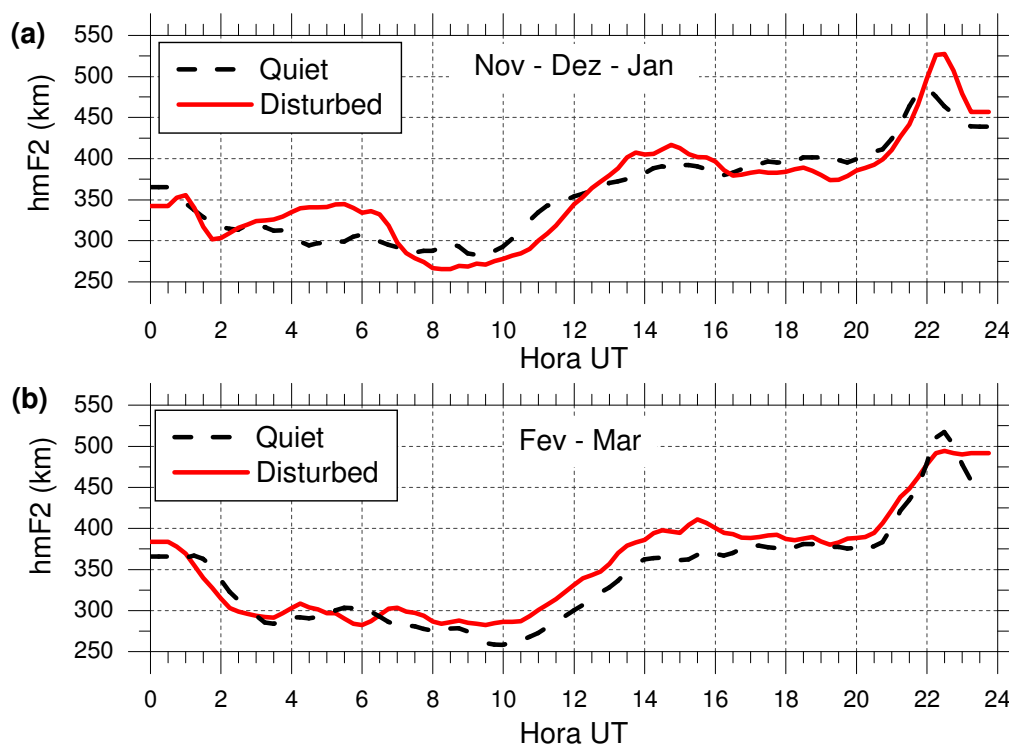


Fig. 7.1 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha), obtidos pela análise dos dados de Digissonda de São Luís do Maranhão, reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS.

Para efeito de comparação, os gráficos da figura 7.2 apresentam as variações horárias da altura real da camada F2 previstas pelo modelo ionosférico IRI para os períodos de solstício verão e equinócio de outono sob condições calma e perturbada. O processo de obtenção utilizado foi semelhante ao empregado para os dados da Digissonda, ou seja, tomou-se a média aritmética simples entre as amostras de dias consecutivos correspondentes ao mesmo horário.

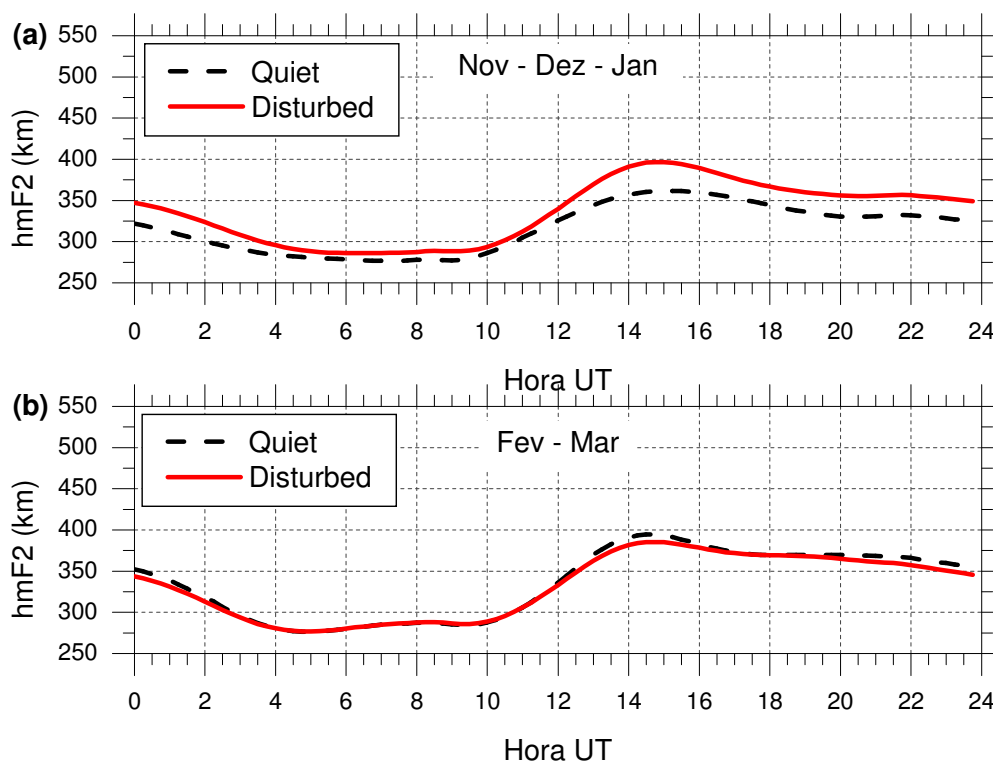


Fig. 7.2 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 (hmF2) para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha) previstos pelo modelo IRI, calculados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS.

As variações da altura real da camada F2 obtidas pela Digissonda e as previstas pelo modelo ionosférico IRI apresentam sensíveis diferenças entre os horários 18-23 horas UT. Estes resultados estão de acordo com observações anteriores feitas na região brasileira (por exemplo Abdu et al., 2004; Batista e Abdu, 2004). Nesse horário pode-se verificar a presença do pico de pré-reversão nos dados da Digissonda (figura 7.1). Mas o mesmo não está presente na previsão feita pelo modelo IRI (figura 7.2). Nos demais períodos do dia o modelo IRI apresenta uma previsão que se aproxima da condição natural encontrada na Ionosfera e observada nos dados da Digissonda.

Os gráficos da figura 7.3 mostram a variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h^F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda analisados em Santa Maria, RS, para os períodos de solstício verão e equinócio de outono sob condições calma e perturbada.

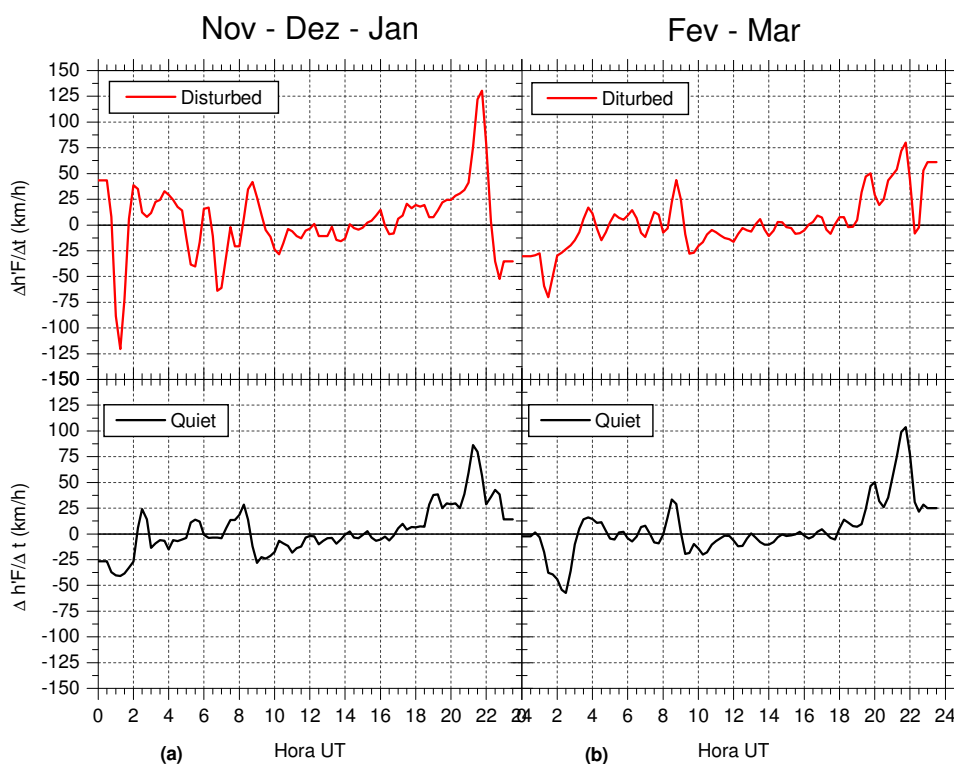


Fig. 7.3 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h^F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de (a) novembro, dezembro e janeiro e (b) fevereiro e março sob condições calma (linha preta) e perturbada (linha vermelha), no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS.

Observando-se a variação horária da velocidade de deriva ($\Delta h^F / \Delta t$) pode-se verificar que as maiores velocidades de subida da camada F se encontram entre 20-22 horas UT, aumento este, que é conhecido como pico de pré-reversão da deriva vertical. Conforme já mencionado anteriormente, somente em torno destes horários a deriva vertical pode ser calculada como a variação temporal da altura da camada.

O gráfico da figura 7.4 mostra a variação horária da altura real do pico da camada F2 para o período calmo do solstício de inverno obtido pela análise dos dados da Digissonda. Os dias analisados podem ser encontrados na tabela 7.1.

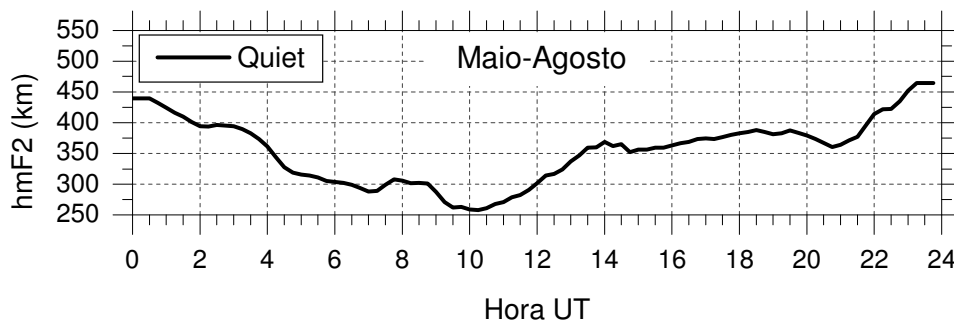


Fig. 7.4 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de maio e agosto obtidos pela análise dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, que foram reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS.

O gráfico da figura 7.5 mostra a variação da altura virtual da base da camada F por unidade de tempo ($\Delta h'F / \Delta t$), a qual é representativa da velocidade de deriva vertical para os horários em torno de 20-22h. O cálculo foi efetuado com dados de Digissonda para os dias do período calmo do solstício de inverno encontrados na tabela 7.1.

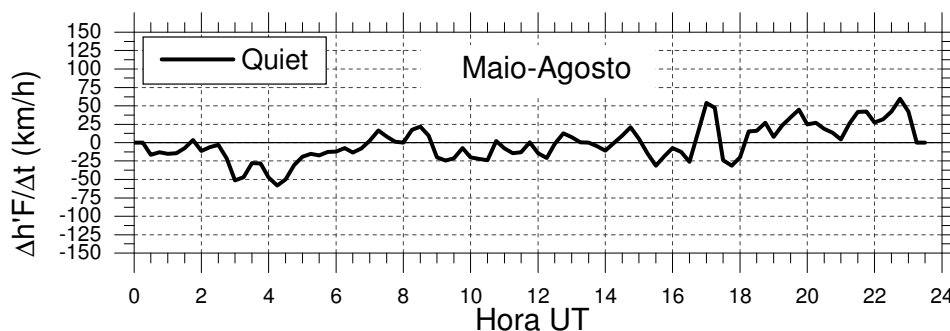


Fig. 7.5 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de maio e agosto, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS.

O gráfico da figura 7.6 mostra a variação horária da altura real do pico da camada F2 para o período calmo do equinócio de primavera obtido pela análise dos dados da Digissonda. Os dias analisados podem ser encontrados na tabela 7.1.

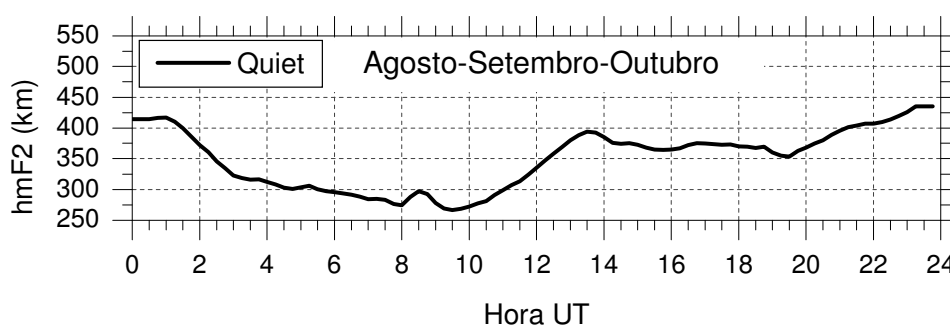


Fig. 7.6 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de agosto, setembro e outubro obtidos pela análise dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, que foram reduzidos e interpretados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS.

O gráfico da figura 7.7 mostra a variação da altura virtual da base da camada F por unidade de tempo ($\Delta h'F / \Delta t$), a qual é representativa da velocidade de deriva vertical para os horários em torno de 20-22h. O cálculo foi efetuado com dados de Digissonda para os dias do período calmo do equinócio de primavera encontrados na tabela 7.1.

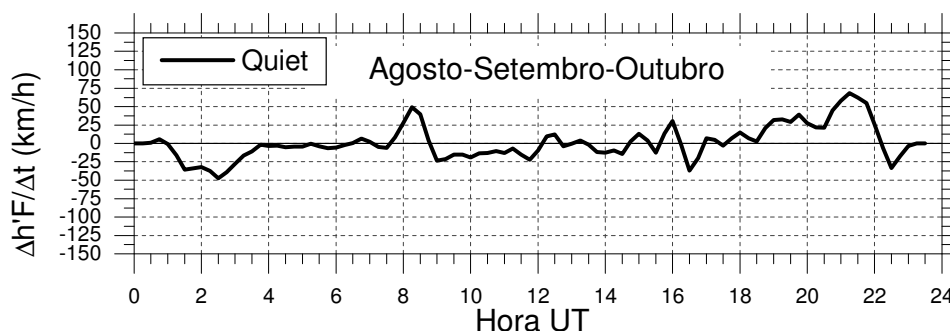


Fig. 7.7 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$) obtida a partir dos dados da Digissonda de São Luís do Maranhão analisados para os períodos de agosto, setembro e outubro, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria, RS.

7.5 Atividades Complementares do Acadêmico

O bolsista realizou, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS, treinamento com o software de análises de dados de Digissonda, o SAO-X. Este software foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisas Atmosféricas da Universidade de Massachusetts Lowell – UMLCAR para análise dos dados de Digissonda.

Em acordo com os interesses do nosso Grupo de Pesquisa, o bolsista interagiu com seus colegas de Laboratório, desenvolvendo em Santa Maria, RS, um programa em linguagem C que faz a leitura de arquivos aammddE0.sum de GPS e isola as informações de cada um dos satélites, gerando os arquivos aammddE0satnn.sum. O programa é utilizado por bolsistas ligados ao Projeto GPS, em desenvolvimento no

Observatório Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em parceria com pesquisa do DAE/CEA/INPE – MCT, para estudar o efeito das bolhas ionosféricas sobre o sinal de cada um dos satélites individualmente. Tendo como resultado esperado uma possível determinação da direção do deslocamento das bolhas de plasma.

Ainda durante o período de desenvolvimento deste Projeto de Iniciação Científica, em Santa Maria, RS, o acadêmico mostrou capacidade de interação com pesquisadores da comunidade científica internacional. Ele interagiu com pesquisadores japoneses em estudos de geofísica básica através da Cooperação Brasil – Japão no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

Em concordância com os objetivos de desenvolvimento científico do bolsista, ele participou de palestras, cursos, congressos e feiras, os certificados de participação encontram-se no Apêndice A deste Relatório. A seguir, listamos algumas destas atividades, assim como as informações relacionadas.

7.5.1 Congressos

O bolsista participou de congressos, os quais são listados a seguir. Os certificados de apresentador de trabalhos científicos encontram-se no Apêndice A, deste Relatório.

1 - Título: A IONOSFERA E SEUS EFEITOS SOBRE A PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE RÁDIO.

Autores: Cleomar Pereira da Silva, Nelson J. Schuch, Maiquel S. Canabarro,
Henrique Carlotto Aveiro, Diego dos Santos.

Evento: XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

Período: 19 a 21 de outubro de 2004.

2 - Título: APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DIGISSONDA MODELO DPS-4 DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE–MCT EM INSTALAÇÃO NO CENTRO DO RIO GRANDE DO SUL.

Autores: Cleomar Pereira da Silva, Maiquel S. Canabarro, Inez Staciarini Batista, Clezio M. Denardini, Nelson J. Schuch.

Evento: XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.

Local: Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR.

Período: 13 a 15 de Novembro de 2004.

3 - Título: RESULTADOS PRELIMINARES DE ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA CAMADA F IONOSFÉRICA SOB O EQUADOR MAGNÉTICO A PARTIR DE DADOS DE DIGISSONDA.

Autores: Cleomar P. Silva, Luzia L. Lock, Inez S. Batista, Clezio M. Denardini, Nelson J. Schuch, Henrique C. Aveiro.

Evento: Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Local: Salvador – BA.

Período: 11 a 14 de Setembro de 2005.

4 - Título: CARACTERIZAÇÃO DA IONOSFERA TERRESTRE NO EXTREMO SUL DO BRASIL VIA RECEPÇÃO HF DE RÁDIO PROPAGAÇÃO.

Autores: Maiquel S. Canabarro, Cleomar S. Pereira, Henrique C. Aveiro, Eurico R. de Paula, Nelson J. Schuch.

Evento: XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.

Local: Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR.

Período: 13 a 15 de Novembro de 2004.

5 - Título: RECEPTORES GPS PARA ESTUDOS DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS DURANTE TEMPESTADES MAGNÉTICAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Autores: Maiquel S. Canabarro, Eurico Rodrigues de Paula, Diego dos Santos, **Cleomar Pereira da Silva**, Nelson J. Schuch.

Evento: XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

Período: 19 a 21 de outubro de 2004.

6 - Título: TEMPESTADES MAGNÉTICAS E SEUS EFEITOS NO SINAL GPS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO.

Autores: Maiquel S. Canabarro, Eurico R. de Paula, Henrique C. Aveiro, Thiago B. Pretto, Rafael Krumenauer, Diego dos Santos, **Cleomar Pereira**, Nelson J. Schuch.

Evento: V Salão de Iniciação.

Local: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, Porto Alegre – RS.

Período: 27 a 29 de outubro de 2004.

7.5.2 Feiras

6 - Evento: FEIRA DAS PROFISSÕES – VI EDIÇÃO.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

Período: 22 a 25 de setembro de 2004.

CAPÍTULO 8

8.1 CONCLUSÕES

A caracterização da Ionosfera sobre qualquer região do País é de grande importância para as comunicações e outras áreas da atividade Humana. No caso da caracterização da Ionosfera da Região Sul do Brasil, Santa Maria está localizada a sudoeste do centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Brasileira (AMAS), região onde o campo magnético terrestre é mínimo. As partículas energéticas aprisionadas às linhas de campo magnético, que formam os cinturões de radiação, possuem um movimento em hélice, de vai-e-vem ao longo das linhas de campo, ao mesmo tempo em que sofrem deriva em volta da Terra. Durante este movimento combinado, ao passarem pela região da AMAS estas partículas se encontram em menores altitudes e, portanto, encontram a Atmosfera mais densa podendo perder energia e se precipitarem. Essa precipitação causa alteração na densidade ionosférica devido a processos secundários que decorrem. No caso da Região Equatorial, a caracterização da Ionosfera tem sua importância no monitoramento dos fenômenos da Ionosfera Termosfera Equatorial, tais como: a anomalia Appleton, as bolhas de plasma e o pico de pré-reversão. Lembramos que nessa Região está localizado o Centro Espacial do Centro de Lançamento de Alcântara do DEPDF – Comando da Aeronáutica, do Ministério da Defesa, e deve ser cientificamente melhor caracterizada e monitorada, inclusive por questões de segurança nos lançamentos de foguetes.

Infelizmente, por questões que não cabem ser discutidas neste Relatório, o equipamento “Digissonda modelo DPS-4”, adquirida em 2000 pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, não foi instalado em Santa Maria, RS, até a presente data. Mas, como o objetivo científico deste Projeto foi expandido para não ser inviabilizado e encerrando, optou-se pela caracterização da Ionosfera sobre a região de São Luís do Maranhão. Neste trabalho foram apresentados os resultados

preliminares dos estudos efetuados em Santa Maria, RS, no CRSPE/INPE – MCT, da amplitude do pico de pré-reversão entre períodos magneticamente calmos e perturbados dos solstícios e equinócios do ano de 2003, observado em dados de Digissonda sob o equador magnético. Comparações foram estabelecidas e verificou-se, em Santa Maria, RS, que, de modo geral, o modelo ionosférico IRI não consegue prever a subida da camada F nos horários após o por do Sol, observada em dados da Digissonda de São Luís do Maranhão, nas localidades situadas sob o equador magnético. Porém, para os demais períodos do dia a previsão apresenta um nível de aproximação satisfatório.

Durante o período de vigência do Projeto, o bolsista também participou em eventos científicos de importância para sua formação. Ele interagiu com pesquisadores de áreas como: Clima Espacial, Aeronomia, Geomagnetismo e Astrofísica. Dentre todos os eventos científicos mencionados na Seção 7.5.1, o de maior importância foi o XIX Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia, CRICTE, em Curitiba.

Finalmente, o bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, Projeto de pesquisa desenvolvido no âmbito da parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE-INPE/MCT, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, conclui que, as atividades relacionadas ao Sondador Digital, instalado e em operação no Observatório Espacial do INPE/MCT em São Luís do Maranhão, cumpriu o cronograma originalmente estabelecido no Projeto, como se a Digissonda de Santa Maria, RS, estivesse instalada e operacional, sendo: estudo de bibliografia científica referente ao trabalho a ser desenvolvido, treinamento, familiarização e desenvolvimento de aplicativos de software de processamento de dados da Digissonda, realização das tarefas de redução e processamento de dados, análise de dados visando os objetivos pretendidos e formação científica complementar. Portanto, consideramos este Relatório, bem como suas atividades, satisfatório.

8.2 GRADECIMENTOS

O Bolsista aproveita este Relatório para manifestar seu agradecimento ao Coordenador do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT Dr. Luiz Carlos Gadelha de Souza, por ter acreditado nas potencialidades do Acadêmico para o desenvolvimento deste Projeto Técnico-Ciêntifico, o qual permitiu ao Aluno interagir com assuntos técnicos de alta relevância. Agradece a sua Orientadora Dra. Pesquisadora Inez Staciardini Batista, Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP e seu co-orientador Dr. Pesquisador Clezio Marcos De Nardin, também da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos.

Em especial o bolsista agradece ao Dr. Nelson Jorge Schuch, chefe do RSU/CEP/INPE – MCT, e Coordenador das Ações de Implantação e Funcionamento do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, pela confiança deposita e pela orientação, não só a nível acadêmico, mas também a nível pessoal/profissional. Orientando-o em questões fundamentais para o melhor desempenho e confiança de sua vida.

Um abraço fraterno e um muito obrigado a Dra. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, e aos colegas de Laboratório, em especial aos colegas Henrique Carlotto Aveiro, Luzia Lux Lock, Maiquel dos Santos Canabarro, Diego dos Santos e Thiago Brum Pretto, pelo apoio ao longo do Projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, M. A.; Batista, I. S.; Bittencourt, J. A. **Some characteristics of spread F at magnetic equatorial station Fortaleza:** *Journal of Geophysical Research*, V. 86, n.A8, p. 6838-6842, 1981.
- Abdu, M. A.; Batista, I. S.; Reinisch, B. W.; Carrasco, A. J. **Equatorial F-layer heights, evening prereversal electric field, and night E-layer density in the American sector: IRI validation with observations:** *Advances in Space Research*, V. 34, p. 1953-1965, 2004.
- Abdu, M. A. **Equatorial spread F and ionosphere - thermosphere system:** A review, *Geophysical Research Letters*, 2, 193-209, 1993.
- Bartels, J.; Heck, N. H.; Johnston, H. F. **The three-hour-range index measuring geomagnetic activity,** *Journal of Geophysical Research*, 44, p. 411-, 1939.
- Batista, I. S., **Dinamo da região F equatorial: Assimetrias sazonais e longitudinais no setor americano,** INPE, São José dos Campos, INPE-3760(-TDL/206), 1985.
- Batista, I. S.; Abdu, M. A. **Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitudes: comparison between observations and the IRI model,** *Advances in Space Research*, V. 34, 1894-1900, 2004.
- Baker, W. G.; Martyn, D. F. **Electric currents in the ionosphere, I. The conductivity.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, V. A246, n. 913, p. 281- 294, 1953.
-

Bilitza, D. *Solar Physics*. Disponível em:
<<http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/surface.htm>> Acesso em: Set. 2004.

Bilitza, D. **International Reference Ionospheric Model - IRI**. Disponível em:
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/iri_n.htm> Acesso em: Jan. 2005.

Bittencourt, J. A.; Abdu, M. A. **Theoretical comparison between apparent and real vertical ionization drift velocities in the equatorial F region**: Journal of Geophysical Research, V. 86, n.A4, p. 2451-2454, 1981.

Davis, T.N.; Sugiura, M. **Auroral Electrojet Activity Index AE and its Universal Time Variations**. Journal of Geophysical Research 71, p. 785–801, 1966.

Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Huang, X.; Reinisch, B. W. **Vertical electron density profiles from the digisonde network**. *Advances in Space Research*, V. 18, n. 6, p.121-129, 1996.

Kivelson, M. G.; Russell, C. T. **Introduction to space physics**: Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

Oliveira, A.B.V. **Ferramentas para visualização de mapas globais do VTEC da Ionosfera**. Disponível em:
<http://www.bibl.ita.br/ixencita/artigos/ele_AlexandreBVOliveira.pdf> Acesso em: Jan. 2005.

Reinisch, W. B.; Bibl, K.; Kitrosser, D. F.; Sales, G. S.; Tang, J. S.; Zhang, Z.; Bullett, T. W.; Ralls, J. A. **The Digisonde 256 ionospheric sounder**, Wits Handbook, V. 2, p. 350-380, 1989.

University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric. **Background to Ionospheric Sounding.** Disponível em: <http://ulcar.uml.edu/digisonde_dps.html>
Acesso em: Mai. 2005.

University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric. **Standard Archiving Output (SAO) Format.** Disponível em: <<http://ulcar.uml.edu/~iag/SAO-4.htm>>
Acesso em: Mai. 2005.

Wakai, N.; Ohyama, H.; Koizumi, T.; **Manual of Ionogram Scaling,** (Revised Edition), Radio Research Laboratory, 1986.



APÊNDICE A

Certificados dos trabalhos apresentados em congressos de autoria do bolsista correspondentes aos itens 1 e 2 do sub-índice 7.5.1. Certificados dos trabalhos apresentados em congressos de co-autoria do bolsista correspondentes ao item 6 do sub-índice 7.5.1. E certificado de participação em feiras correspondentes ao item 7.5.2.

XIX JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

Melhor que uma boa idéia, só outra idéia melhor.

CERTIFICADO

Certificamos que
CLEOMAR PEREIRA DA SILVA
NELSON JORGE SCHUCH
DIEGO DOS SANTOS
HENRIQUE CARLOTTO AVEIRO
MAIQUEL DOS SANTOS CANABARRO

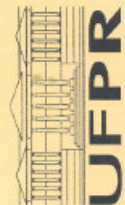
Participaram da XIX Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 19, 20 e 21 de outubro de 2004, com o trabalho:

A IONOSFERA E SEUS EFEITOS SOBRE A PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE RÁDIO

Comissão Executiva
Outubro de 2004

2004
UFSM
www.ufsm.br/jornada

Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia



CRICTE
2004



XIX CONGRESSO REGIONAL
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLOGICA EM ENGENHARIA

CERTIFICADO

O Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná
Confere o presente certificado à

CLEOMAR DA SILVA PEREIRA


por ter participado e apresentado o trabalho: **APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DIGISSONDA
MODELO DPS-4 DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE-MCT
EM INSTALAÇÃO NO CENTRO DO RIO GRANDE DO SUL**

no XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004,
organizado pelo Departamento de Eng. Elétrica / Setor de Tecnologia e realizado
nos dias 13, 14 e 15 de novembro de 2004 no Centro Politécnico da UFPR – Curitiba – PR.

Prof. Dr. Mauro Lacerda
Diretor do Setor de Tecnologia
UFPR


Prof. Dr. Marcus Vinicius Lamar
Presidente da Comissão Organizadora
CRICTE 2004





**Feira
das
Profissões**
VI Edição


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
COMISSÃO PERMANENTE DO VESTIBULAR




Certificado

A COMISSÃO PERMANENTE DO VESTIBULAR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA certifica que **CLEOMAR PEREIRA DA SILVA** participou do estande do curso de **ENGENHARIA ELÉTRICA** da UFSM, na Feira das Profissões - VI Edição, realizada no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria, no período de 22 a 25 de setembro de 2004.

Santa Maria, setembro de 2004.



Prof. Dario Trévisan de Almeida
Presidente da COPERVES



Prof. Baltazar Schirmer
Pró-Reitor de Graduação

PROGRAD **COPERVES**
UFSM

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA