



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F.

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)**

Michel Baptistella Stefanello
(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)
E-mail: michelstefanello@gmail.com

Alexandre Alvares Pimenta
Orientador
Divisão de Aeronomia Espacial
DAE/CEA/INPE – MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCTI
E-mail: pimenta@laser.inpe.br

Julho de 2013



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F.

Processo: 151391/2011-4

Aluno Bolsista no período de agosto/2012 a Julho/2013:

Michel Baptistella Stefanello

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Alexandre Alvares Pimenta.

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI

Colaboradores:

Doutorando **Cristiano Sarzi Machado** - CRS/CCR/INPE – MCTI

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – CRS/CCR/INPE - MCTI

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCTI – UFSM, através do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/CRS/CCR/INPE – MCTI com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM.



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Dr. Nelson Jorge Schuch do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI, pelo apoio que ele tem prestado em todos os campos.

Ao Dr. Alexandre Álvares Pimenta da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI, pela dedicação e orientação nas minhas atividades de Iniciação Científica no CRS;

Ao Doutorando em Geofísica Espacial Cristiano Sarzi Machado por todo apoio e pela sua amizade.

A Doutoranda em Física Lilian Piecha Moor pelo auxílio e por sua amizade.

A Doutoranda em Geofísica Espacial Danielle Amorin por sua ajuda e sua amizade.

Meus sinceros agradecimentos:

Aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCTI e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na Iniciação Científica & Tecnológica, propiciando grande crescimento profissional.

Ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCTI.

De maneira geral, agradeço a todos que de alguma forma colaboraram com a execução deste Programa de Pesquisas.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante

Michel Baptistella Stefanello

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Michel Baptistella Stefanello

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 27/05/2013 13:05

E-mail:

Homepage:

Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

Linhas de pesquisa que atua

[AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Alexandre Alvares Pimenta](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2010 a 2013

Tipo de produção	2010	2011	2012	2013
Produção bibliográfica	0	2	2	1
Produção técnica	0	2	2	1
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa

Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 27/05/2013 10:59

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes -

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão:

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

Home page: http://

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com Pesquisadores da: UFSM (CT-



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2013

LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON e DPD/UNIVAP no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA (Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cômicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatelites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Espaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos

Pesquisadores

Total: 52

Adriano Petry	Jose Humberto Andrade Sobral
Alexandre Alvares Pimenta	Juliano Moro
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Lilian Piecha Moor
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Andrei Piccinini Legg	Lucas Ramos Vieira
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braga	Marlos Rockenbach da Silva
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulau Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Osmar Marchi dos Santos
Ezequiel Echer	Otavio Santos Cupertino Durão
Fabiano Luis de Sousa	Pawel Rozenfeld
Fernanda de São Sabbas Tavares	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Polinaya Muralikrishna
Geilson Loureiro	Rajaram Purushottam Kane
Gelson Lauro Dal' Forno	Renato Machado
Guilherme Simon da Rosa	Ricardo Augusto da Luz Reis
Gustavo Fernando Dessbesell	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2013

[Jean Pierre Raulin](#)

[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

[João Baptista dos Santos Martins](#)

[William do Nascimento Guareschi](#)

Estudantes	Total: 25
Anderson Vestena Bilibio	Lucas Camponogara Viera
Ândrei Camponogara	Lucas Lourencena Caldas Franke
Andreos Vestena Bilibio	Maurício Ricardo Balestrin
Bruno Knevitz Hammerschmitt	Michel Baptistella Stefanello
Cassiano Vasconcelos dos Santos	Miguel Rossatto Bohr
Claudio Machado Paulo	Pietro Fernando Moro
Dimas Irion Alves	Rodrigo Passos Marques
Felipe de Souza Nogueira Coelho	Tális Piovesan
Fernando Landerdahl Alves	Thales Nunes Moreira
Guilherme Paul Jaenisch	Thales Ramos Mânica
Iago Camargo Silveira	Tiago Bremm
José Paulo Marchezi	Vinícius Deggeroni
Leonardo Zavareze da Costa	

Técnicos	Total: 0
-----------------	-----------------

Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIADESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BRMAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMOMEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL	

Relações com o setor produtivo	Total: 1
<ul style="list-style-type: none">ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA PPROV	

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	52
Estudante(s)	25
Técnico(s)	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geoespaço](#), [Geomagnetismo](#); [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetros/Imageadores; Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Eletrojato Equatorial; Interações Sol - Terra; Ionosfera - Digissonda - Radares; Mesosfera - Radares - Rastros Meteóricos;

Pesquisadores:

[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Barclay Robert Clemesha](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)
[Renato Machado](#)

Estudantes:

[Anderson Vestena Bilibio](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Thales Ramos Mânica](#)



[Tiago Bremm](#)

Árvore do conhecimento:

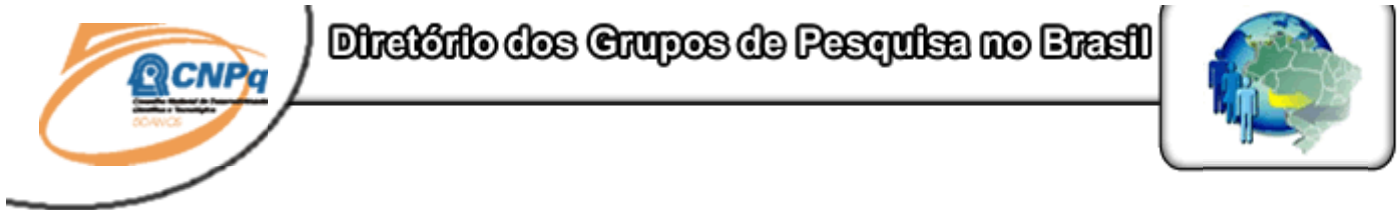
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Aeronomia;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Interações Sol - Terra;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos, dinâmica eletricidade da Atmosfera e seus(TLEs), observando com radares, GPS, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés; Pesquisas com radares e digissonda da dinâmica da Troposfera, Estratosfera, Ionosfera e Alta Atmosfera, investigando o acoplamento vertical e transporte de energia do Sistema Atmosfera-Ionosfera na Região Sul Brasileira. Vice-Líder: Marcelo Barcellos da Rosa.



Linha de Pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Linha de pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Goespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Campo Magnético Interplanetário; Muons; Raios Cósmicos; Tempestade Geomagnética;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Jean Pierre Raulin](#)



[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Rajaram Purushottam Kane](#)
[Renato Machado](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Andreas Vestena Bilibio](#)
[Bruno Knevez Hammerschmitt](#)
[Cassiano Vasconcelos dos Santos](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Tális Piovesan](#)
[Thales Nunes Moreira](#)
[Thales Ramos Mânica](#)
[Tiago Bremm](#)
[Vinícius Deggeroni](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.



“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes”

(Isaac Newton)



RESUMO

O Relatório apresenta atividades desenvolvidas pelo bolsista Michel Baptistella Stefanello, acadêmico do curso de Física Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Agosto de 2012 a Julho de 2013, com o seguinte tema de pesquisa: “ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F”. As atividades desenvolvidas, contaram com a colaboração da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – via Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM – em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTI – via Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI –, em Santa Maria, RS e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS. Durante o período de vigência da bolsa o acadêmico em paralelo as suas atividades de pesquisas do Projeto colaborou com a manutenção e operação do equipamento *all-sky* no Observatório Espacial do Sul e na redução e manutenção do banco de dados do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – LMLA/CRS/CCR/INPE - MCTI, em Santa Maria - RS, em parceria com a Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI, em São José dos Campos - SP.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
2.1 IONOSFERA	16
LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA	18
3.1 Emissões	18
3.2 Linha de emissão (OI 557,7 nm)	20
3.3 Linha de emissão (OI 630,0 nm).....	21
3.4 Linha de emissão (OI 777,4 nm)	22
3.5 Irregularidades na região F da ionosfera	22
3.6 Imageador <i>all-sky</i>	23
3.7 Câmera CCD	27
3.8 Digissonda.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
CONCLUSÕES	36
PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.	17
Figura 3.1 As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.	19
Tabela 3.1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.	20
Figura 3.2 - Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.	24
Figura 3.3 – Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.	25
Figura 3.4 – Campo de visão do imageador all-sky instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS.	25
Figura 3.5 - A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.	26
Figura 3.6 – Ionograma obtido nas Ilhas Malvinas no dia 26/12/2011 às 23:30 UT.	28
Figura 3.7 - Significado do código de cores localizado no canto superior direito em um ionograma.	28
Figura 5.1 – Registro da passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra na noite de 26-27/11/2011... 	30
Figura 5.2 – Ionogramas obtidos através de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas na noite de 26-27/11/2011. A sequência mostra a ocorrência de <i>spread-F</i>	31
Figura 5.3 - Variação temporal dos parâmetros ionosféricos H'F, HmF2 e Fof2 para a noite de 26-27/11/2011, obtida através de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas.	32
Figura 5.4 – Registro da passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra na noite de 26-27/12/2011... 	33
Figura 5.5 – Ionogramas obtidos através de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas na noite de 26-27/12/2011. A sequência mostra a ocorrência de <i>spread-F</i>.	34
Figura 5.6 - Variação temporal dos parâmetros ionosféricos HmF2 e Fof2 para a noite de 26-27/12/2011, obtida através de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas	35



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A observação e o estudo dos distúrbios ionosféricos propagantes são de muita importância para obter informações sobre a alta atmosfera, entender os processos dinâmicos da alta atmosfera e ionosfera. Neste trabalho apresentamos medidas de Distúrbios Ionosféricos Propagantes (MSTIDs) (do inglês, Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbances).

O MSTID é uma irregularidade que se caracteriza por estruturas ondulatórias que se propagam na região F da ionosfera de baixas e médias latitudes, podendo gerar o *spread-F*. Sua origem é atribuída a processos de instabilidades eletrodinâmicas explicadas pela teoria de instabilidade de plasma Perkins.

No estudo dos MSTIDs, as técnicas de imageamento ótico são amplamente empregadas, a fim de se analisar as características morfológicas e dinâmicas do fenômeno. A assinatura ótica dos MSTIDS obtida a partir de imageadores *all-sky* é constituída por bandas de depleção da emissão OI 630,0 nm, muitas vezes alternadas por regiões de maior intensidade da emissão. Essas estruturas são conhecidas como bandas escuras ou bandas termosféricas e se propagam tipicamente na direção sudeste para noroeste no hemisfério sul (com alinhamento nordeste – sudoeste) e de nordeste para sudoeste no hemisfério norte.

Como a intensidade da emissão OI 630,0 nm é dependente da densidade eletrônica e dos movimentos verticais da região F, a emissão varia conforme o plasma da região F executa movimentos de subida ou descida, relacionados à propagação de um MSTID na ionosfera.

Nesse trabalho foram analisadas imagens *all-sky* com presença de MSTIDs detectadas por imageador *all-sky* instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,28°S, 53,82°O, dip latitude 18,57°S) na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. As imagens analisadas foram do ano de 2011 (atividade solar ascendente), juntamente com as imagens foram analisados dados de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas (51.4° S, 57.5° O).

CAPÍTULO 2

2.1 IONOSFERA

Região da Atmosfera Terrestre constituída por interações entre os átomos e moléculas neutras da atmosfera com fontes ionizantes solares e cósmicas, gerando um plasma fracamente ionizado com densidade de cargas livres, o plasma ionosférico. A densidade desses íons e elétrons é suficiente para afetar a propagação de ondas eletromagnéticas. As fontes solares que ionizam a ionosfera são principalmente as radiações no EUV (Extremo Ultra-Violeta), e os raios X. Em consequência dos diferentes constituintes, taxas de absorção e densidades eletrônicas, a ionosfera subdivide-se em três regiões.

- Camada D: Região que se encontra abaixo da ionosfera, situada entre 60 e 90 km de altitude, possui baixa concentração de elétrons. Radiações ionizantes predominantes são os raios X e a radiação Lyman- α .

- Camada E: Esta região apresenta como maior propriedade a condutividade, sendo de uma importância devido às correntes elétricas, é situada entre 90 e 150 km de altitude.

- Camada F: engloba regiões F₁; F₂ e F₃.

A região F₁ é constituída pela ionização do oxigênio atômico O, pelos raios EUV (extremo ultravioleta), o qual produz elétrons livres e O⁺.

A região F₂ constituída também, de elétrons livres e O⁺. A concentração de elétrons nessa região varia com a atividade solar. Durante o período do dia, apresenta os maiores valores de concentração de elétrons livres. Durante o período da noite, ocorre uma diminuição na concentração, porém essa região não desaparece.

A Figura 2.1 apresenta as regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica.

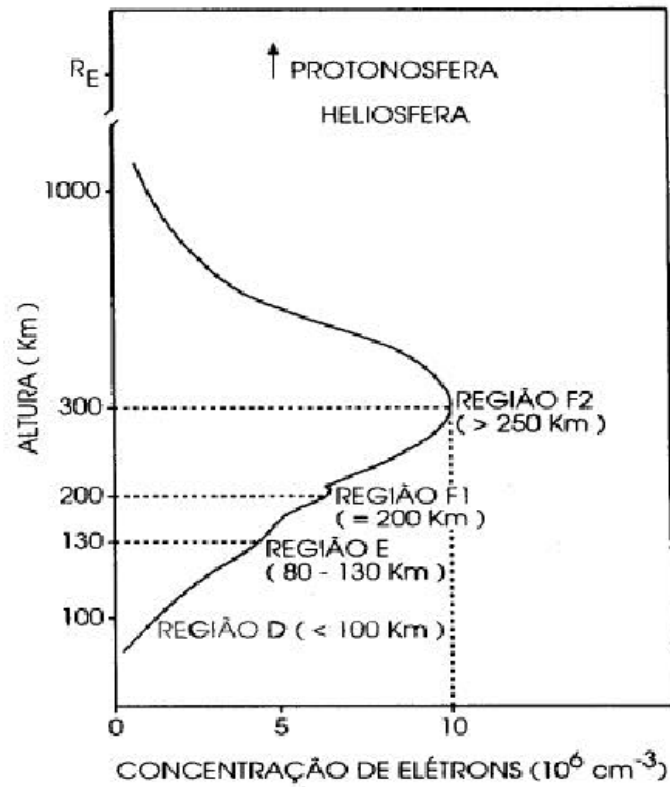


Figura 2.1- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

Fonte: Kirchhoff (1991, p.77)

CAPÍTULO 3

LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

3.1 Emissões

A luminescência atmosférica é um fenômeno óptico da atmosfera planetária, caracterizado pela emissão de fótons pelos átomos ou moléculas excitados presentes principalmente entre 80 e 400 km de altitude. Ela é definida como uma radiação amorfa, continuamente emitida pela atmosfera de um Planeta (CHAMBERLAIN, 1961).

Ao ocorrer o processo de relaxação os elementos químicos emitem através de bandas e linhas espectrais uma radiação de extensa faixa espectral denominada aeroluminescência. Ou seja: primeiro ocorrem processos físicos e químicos que excitam os constituintes. Essa excitação tem sua origem na energia solar, em diversos comprimentos de onda. Depois disso, ocorre a liberação de energia, quando os átomos ou moléculas passam para os seus estados de equilíbrio energético.

Os agentes emissores de aeroluminescência estão presentes na atmosfera entre 80-400 km de altura como mostra a Figura 3.1

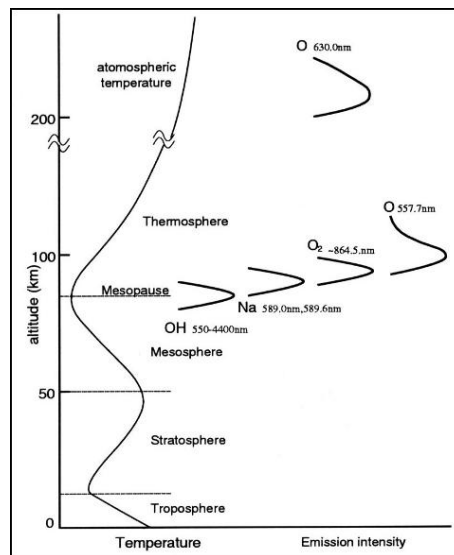


Figura 3.1 As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

Fonte: Maekawa (2000, p.4).

Através de observação feita por um imageador *all-sky* podemos investigar as emissões de aeroluminescência atmosférica, na região F da atmosfera de OI 777,4 nm, OI 557,7 nm, OI 630,0 nm.

A aeroluminescência pode ser denominada conforme sua ocorrência de acordo com o ângulo zenital da radiação solar, podendo ser diurna (*Dayglow*), crepuscular “*Twilight*” ou noturna (*Nightglow*).

As observações de emissão noturnas são as mais usadas, pois a presença de radiação aumenta a intensidade de ruído nas imagens.

Através da aeroluminescência podemos estudar:

- Os processos químicos, iônicos e dinâmicos que regem a distribuição vertical dos vários constituintes atmosféricos.
- Processos de excitação que geram emissões óticas.
- A geração e propagação de irregularidades no plasma da região F da ionosfera noturna.
- Os processos ligados à deposição de partículas neutras energéticas na alta atmosfera.

- O acoplamento entre a termosfera e ionosfera.
- As ondas atmosféricas.

A seguir podemos ver na Tabela 3.1 as emissões de luminescência atmosférica:

Tabela 3.1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.

<i>Emissão Atmosférica</i>	<i>Intensidade Típica (R)</i>	<i>Comprimento de onda (nm)</i>	<i>Altura média da camada de emissão (km)</i>
OI 557,7 nm	60	557,7	250-300
OI 630,0 nm	300	630,0	250-300
OI 777,4 nm	20	777,4	300-400

Fonte: Pimenta (2003) p.67.

3.2 Linha de emissão (OI 557,7 nm)

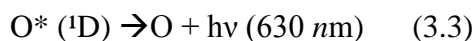
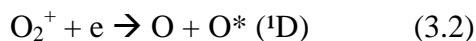
A linha de luminescência OI 557,7 nm (linha verde) possui duas fontes na atmosfera: uma camada de emissão entre 90 e 110 km de altitude, na região E da ionosfera e outra entre 220 e 300 km de altitude, na região F ionosférica. (MACHADO, C.S. 2011).

Ela surge na sua maior parte da recombinação do oxigênio atômico. As Observações feitas do solo desta emissão medem a intensidade integrada das duas fontes, isto é, das regiões E e F. Já está bem estabelecido que o processo de produção do oxigênio atômico excitado $O(^1S)$ na região F é a recombinação dissociativa do íon oxigênio molecular com elétrons. Na região F os átomos $O(^1S)$ resultam do mesmo mecanismo que gera a linha vermelha (recombinação dissociativa de íons de oxigênio molecular na ionosfera). O tempo de vida da transição do estado $O(^1S)$ na região F é aproximadamente 0,74 segundos (PETERSON et al. 1966).

3.3 Linha de emissão (OI 630,0 nm)

A linha vermelha (630,0 nm) do OI é emitida pelo átomo de oxigênio no nível de energia $O(^1D)$. Ao decair libera o excesso de energia na forma de radiação eletromagnética. O nível $O(^1D)$ é gerado a partir do processo de recombinação dissociativa do íon molecular O_2^+ com elétrons da região F da ionosfera (WHOITE, 2000):

As equações a seguir representam as reações químicas que geram a emissão OI 630 nm na região F:



Onde,

O_2 = oxigênio molecular

O_2^+ = íon do oxigênio molecular;

O^* = átomo de oxigênio excitado;

e = elétron ;

h = energia do fóton.

A linha de emissão OI 630,0 nm possui uma extensão de aproximadamente 50 km na atmosfera em uma faixa de altura de 220-300 km. É a emissão mais utilizada no estudo da química e dinâmica da região F da ionosfera noturna. A intensidade da luminescência nesse comprimento de onda varia conforme o movimento vertical do plasma ionosférico, aumentando ou diminuindo quando o plasma ionosférico move-se para baixo ou para cima, respectivamente. Em geral, a intensidade desta linha de emissão está entre aproximadamente 50 e 300 Rayleighs.

3.4 Linha de emissão (OI 777,4 nm)

É uma das menos utilizadas, devido sua intensidade ser muito fraca. Essa linha é resultado da transição do oxigênio atômico, tem intensidade fraca (aproximadamente de 20 Rayleighs) e depende fortemente da concentração eletrônica, Sua maior intensidade se dá durante a atividade solar máxima, período em onde a densidade eletrônica da ionosfera é mais alta. A emissão é gerada em todas as alturas da ionosfera, sendo seu pico em torno de 350 km, região do pico de densidade eletrônica da região F. Os dois mecanismos de recombinação são: recombinação radiativa e recombinação íon-íon.

3.5 Irregularidades na região F da ionosfera

Os MSTIDs são comumente observado em médias latitudes durante condições geomagneticamente calmas ($K_p \leq 3$), e se apresentam como uma ou mais faixas alternadas, escuras e claras, em imagens da emissão do 630,0 nm. Uma característica importante é que no hemisfério sul estas ondas podem ser observadas ao sul da região da crista com direção de propagação para o noroeste. (MENDILLO et al., 1997; GARCIA et al., 2000; SHIOKAWA et al., 2003; PIMENTA et al., 2008; MARTINIS et al., 2010).

Para explicar o fenômeno de *spread-F* de médias latitudes, Perkins (1973) criou um modelo de instabilidade. Ele mostrou que em médias latitudes a camada F ionosférica deve ser levada ao equilíbrio contra a ação da gravidade, por um campo elétrico para o leste ou um vento neutro para o sul no hemisfério norte. O mecanismo de geração das MSTIDs é aceito atualmente é a instabilidade de Perkins.

Apesar de muitos estudos na área, a obtenção da sua fonte geradora não é fácil. Alguns estudos relacionam as MSTIDs a fenômenos meteorológicos como tempestades. Onde Estas produzem ondas de gravidade as quais, se propagando em regiões da baixa ionosfera, acarretam perturbações através de colisões entre partículas neutras e ionizadas.

A diferença entre bolhas de plasma e MSTIDs é basicamente que as bolhas de plasma se formam no equador magnético e se movimentam ao longo das linhas de campo, enquanto as MSTIDs são formadas em médias latitudes e se movimenta de sudeste para noroeste no hemisfério sul. Além disso, os mecanismos de geração desses fenômenos são diferentes.

Podemos estudar esses distúrbios ionosféricos através do monitoramento do OI 630.0 nm, onde a intensidade de aeroluminescência nesse comprimento de onda é diretamente proporcional a densidade eletrônica e a quantidade de oxigênios moleculares.

3.6 Imageador *all-sky*.

O imageador *all-sky* é um instrumento de alta definição, ele é bastante usado para se estudar a morfologia e a dinâmica da atmosfera. Utiliza a luminescência como mecanismo de definição. O instrumento detecta mudanças de intensidade de luminescência atmosférica, registrando essas informações em imagens. Essas imagens são importantes para se investigar e estudar o comportamento da atmosfera, e observar fenômenos ionosféricos, como bolhas de plasma, MSTIDs e blobs.

A Figura 3.2 relata a configuração de um imageador com sensor CCD.

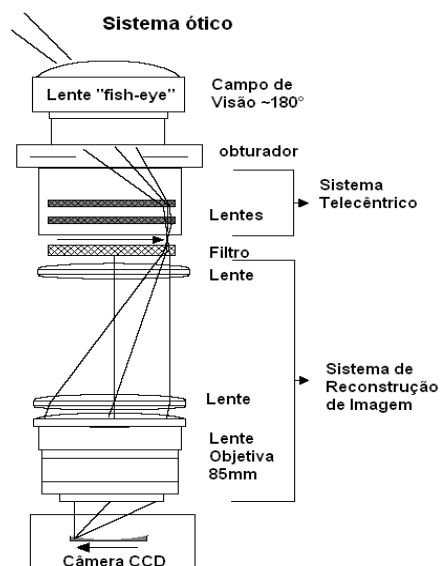


Figura 3.2 - Esquemática de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.
Fonte: Wrasse (2004).

Um imageador multi-espectral monitora várias emissões de luminescência atmosférica, possuindo mais que um filtro de interferência. O monitoramento ideal feito pelo imageador *all-sky* é realizado em noites claras onde o céu esteja “limpo”, ou seja, não encoberto, e sem a presença de fontes externas de luz, e sem a presença de lua refletindo a luz solar. Devidos a todos esses fatores, o monitoramento é muito restringido.

O imageador *all-sky* do LASER / INPE: instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, foi adquirido pelo INPE conveniado com a FAPESP, por meio do Dr. Alexandre Álvares Pimenta. Esse imageador trata-se de um imageador monocromático com filtros de 4 polegadas e uma câmera CCD de 2048 x 2048 pixels. A Figura 3.3.1 a seguir mostram o equipamento instalado em São Martinho e a Figura 3.3.2 mostra o campo de visão do imageador.

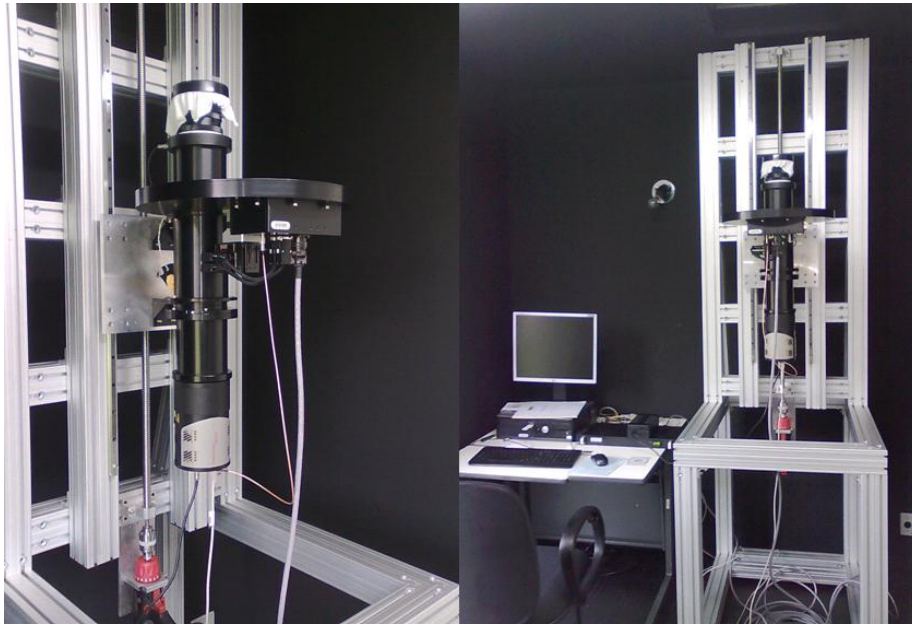


Figura 3.3 – Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.

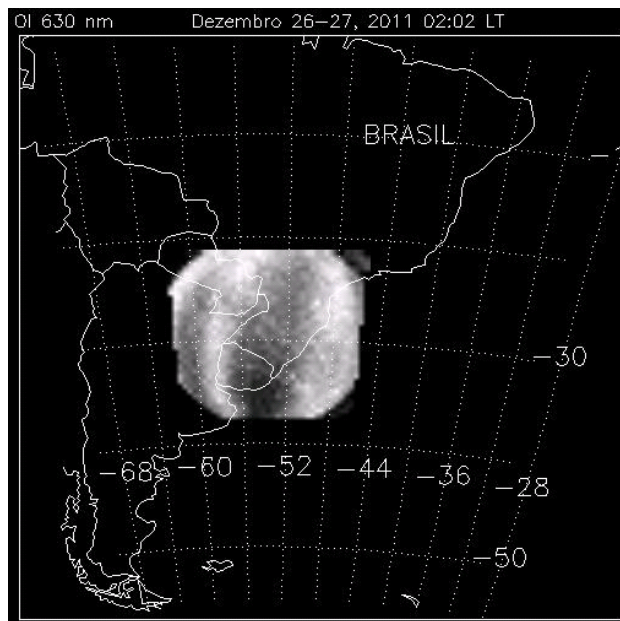


Figura 3.4 – Campo de visão do imageador all-sky instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS.

O imageador possui lentes que resultam em uma imagem telecentrica, juntos ao plano dos filtros de interferência, que possui 4 polegadas de diâmetro. O imageador, funcionar com 6 filtros: OI 630,0 nm OI 777,7 nm, OI 555,7 nm , Na em 589 nm e N_2^+ em 428,7 nm.

O equipamento possui um sistema de reconstrução de imagem acromática sobre o sensor CCD. O sistema ótico foi projetado para ser utilizado com um sensor CCD de 27,6 X 27,6 mm. A lente primária frontal é do tipo *all-sky* (ou Fish-Eye) modelo Mamiya com distância focal de 37 mm e ângulo de abertura de aproximadamente 180 graus. O sistema de lentes telecêntricas consiste em um par de lentes plano-convexas localizado entre o obturador e a roda de filtros, garantindo uma imagem centrada em cima do filtro de interferência. A roda de filtros é mostrada na Figura 3.3.4.

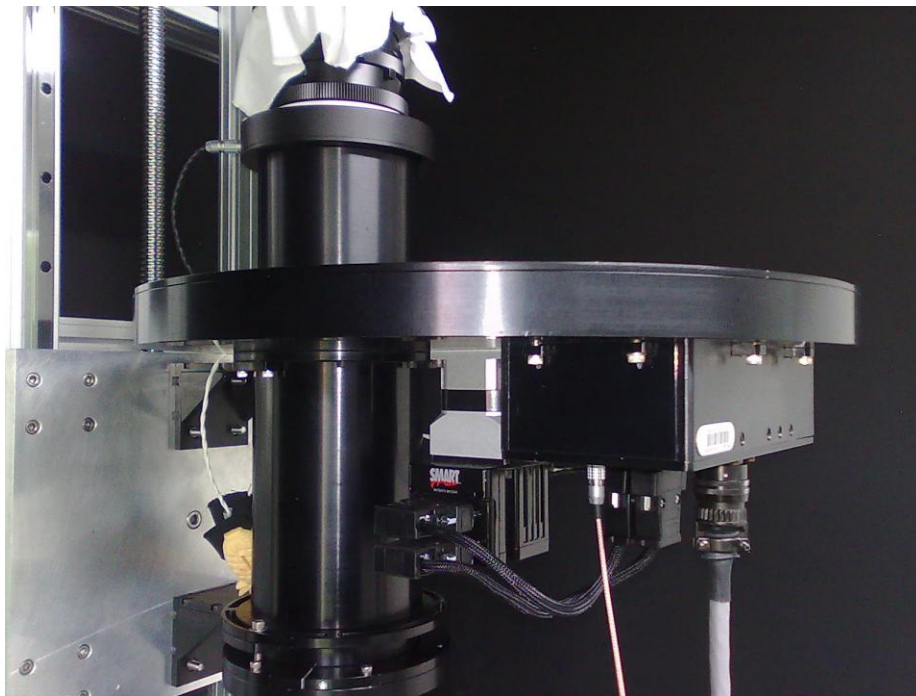


Figura 3.5 - A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.

3.7 Câmera CCD

O modelo da câmera CCD que equipa o imageador é o PI/Acton Pixis: 2048B. É um sensor do tipo retroiluminado (*back-illuminated*) com uma grade de 2048X2048 pixels, cada um com dimensão de 13,5 X 13.5 μm . É um equipamento de baixo ruído projetado para aplicações que exigem imagens com grande campo de visão. Seu sistema de refrigeração garante temperaturas abaixo de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sua eficiência quântica elevada e baixo nível de ruído dos componentes eletrônicos e a tornam ideal para sensoriamento de fenômenos com baixo nível de emissão de luz.

3.8 Digissonda

A digissonda é um instrumento de rádio sondagem utilizado para medir o perfil de densidade eletrônica da ionosfera. A digissonda possui um sistema transmissor-receptor que emite pulsos de energia eletromagnética de frequência variável, o sinal emitido na vertical é refletido pela ionosfera e em função do tempo decorrido entre transmissão e recepção do pulso e resultam em ionogramas.

Os ionogramas são representações gráficas produzidas pelas digissondas que mostram a variação da altura virtual em função da frequência onde se deu a reflexão.

A Figura 3.5.1 mostra um exemplo de ionograma, e na Figura 3.5.2 mostra o significado das cores.

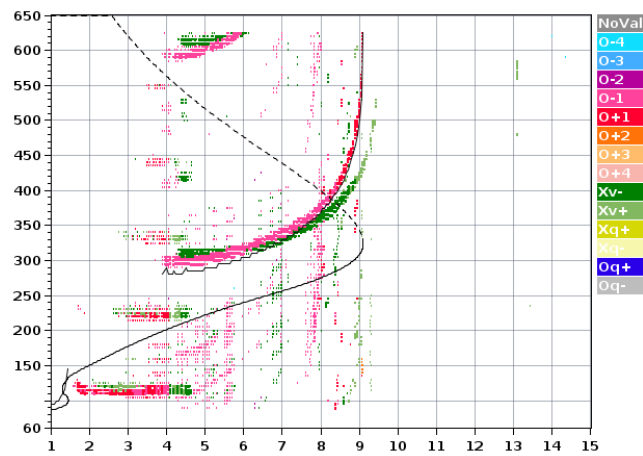


Figura 3.6 – Ionograma obtido nas Ilhas Malvinas no dia 26/12/2011 às 23:30 UT.

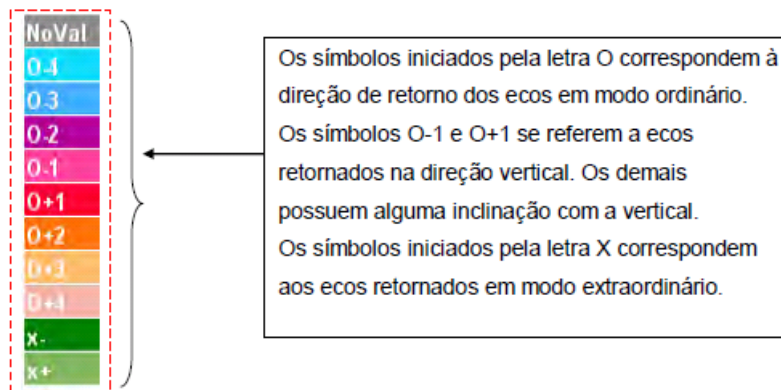


Figura 3.7 - Significado do código de cores localizado no canto superior direito em um ionograma.

Fonte: Amorin (2010).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O fenômeno das MSTIDs visualizado nas imagens *all-sky* da emissão OI 630,0 nm como bandas escuras, trata-se de uma instabilidade de plasma ionosférica, onde o plasma da camada F é empurrado para alturas superiores, causando a redução na intensidade da emissão OI 630,0 nm.

Com as imagens obtidas pelo imageador *all-sky* observou que as MSTIDs são alinhadas de nordeste a sudoeste, propagando-se para o noroeste. As bandas escuras provavelmente são geradas em médias latitudes e ocorrem durante períodos geomagneticamente calmos, e seu mecanismo de geração é atribuído a instabilidade de Perkins. (AMORIM,2010).

Nesse trabalho foram reduzidos 3 parâmetros ionosféricos, altura virtual da base (H'F), altura de pico (HmF2) e frequência crítica da onda ordinária (FoF2) da camada F obtidos através dos ionogramas.

Os resultados iniciais de (AMORIM 2010) indicam que somente as MSTIDs que se propagam de sudeste para noroeste é que produzem espalhamentos (*spread-F*) vistos nos ionogramas das digissondas.

A seguir serão apresentados casos de MSTIDs analisados no trabalho, os ionogramas, juntamente com a variação dos parâmetros H'F, HmF2 e FoF2

- 1º Caso:

Na Figura 5.1 é apresentada uma sequência de imagens *all-sky* da emissão OI 630,0 nm.

Pode-se observar na sequência de imagens, uma banda escura que surge no campo de visão do imageador por volta das 23:48 LT e se propaga a partir do sudeste atravessando o campo de visão do imageador, propagando-se para noroeste.

A noite do dia 26-27/11/2011 trata-se de uma noite geomagnética calma, Kp: 1-, 0, 1, 1, 1, 1-,1

São Martinho da Serra, Novembro 26-27, 2011

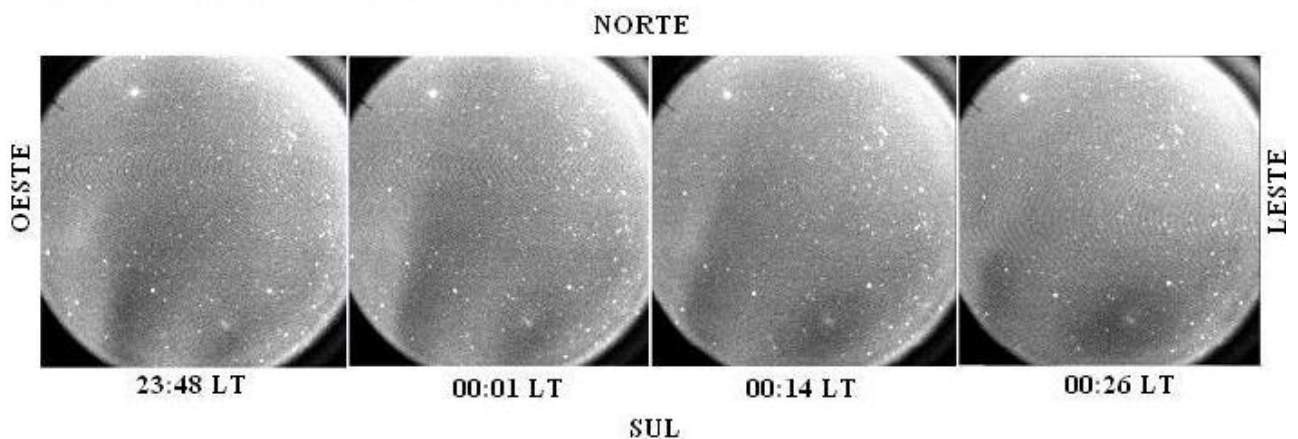


Figura 5.1 – Registro da passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra na noite de 26-27/11/2011

Foi registrado espalhamento nos ionogramas obtidos pela digissonda instalada nas Ilhas Malvinas, que é mostrado na Figura 5.2, para a mesma noite de 26-27/11/2011.

Os espalhamentos mostrados na Figura 5.2 e as flutuações dos parâmetros da ionosfera apresentados na Figura 5.3 coincidem com o horário de propagação do fenômeno sobre o campo de visão do imageador.

Ambos os equipamentos estão no mesmo fuso horário.

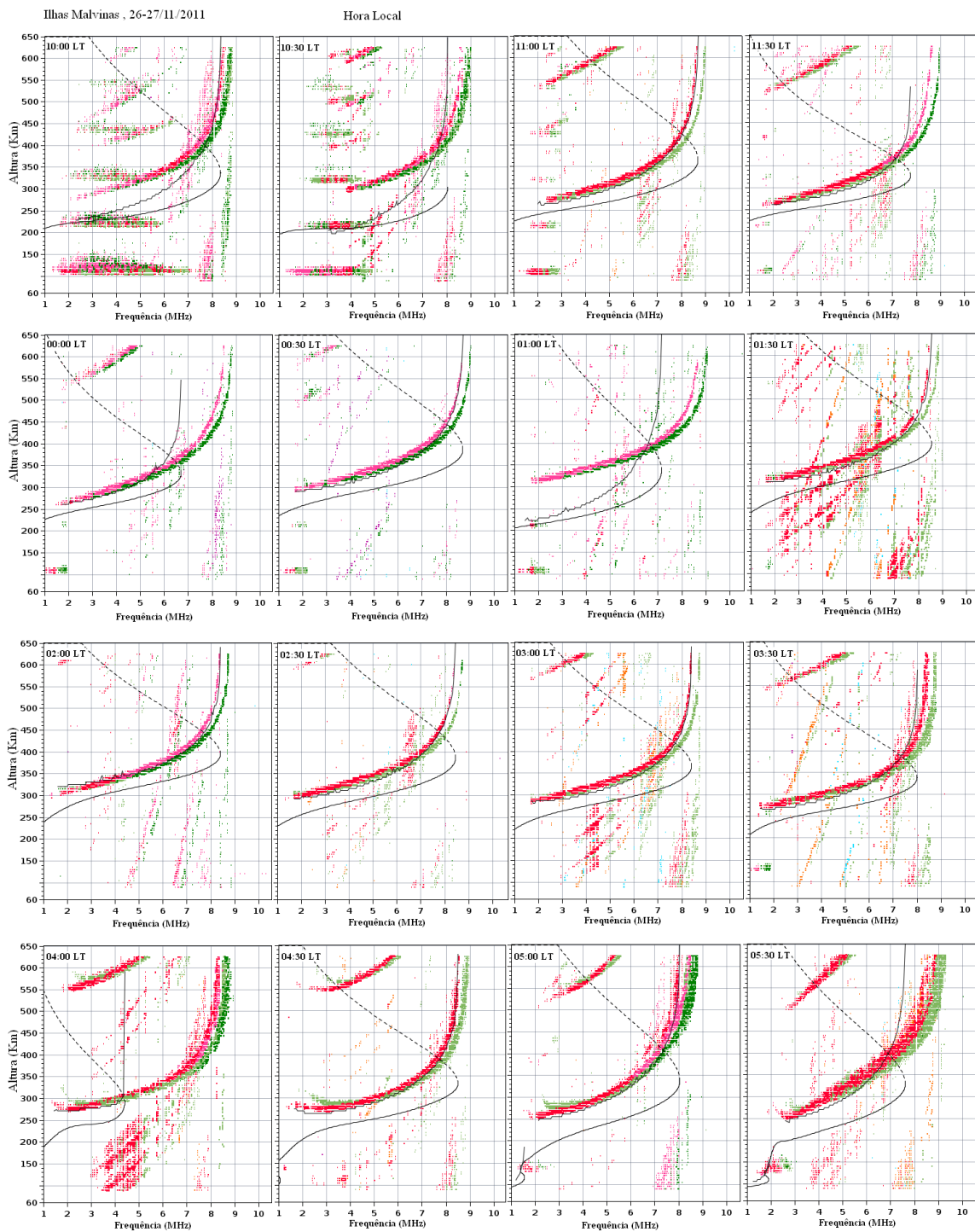


Figura 5.2 – Ionogramas obtidos através de uma digisonda instalada nas Ilhas Malvinas na noite de 26-27/11/2011. A sequência mostra a ocorrência de *spread-F*

São Martinho da Serra, 26-27 de Novembro de 2011

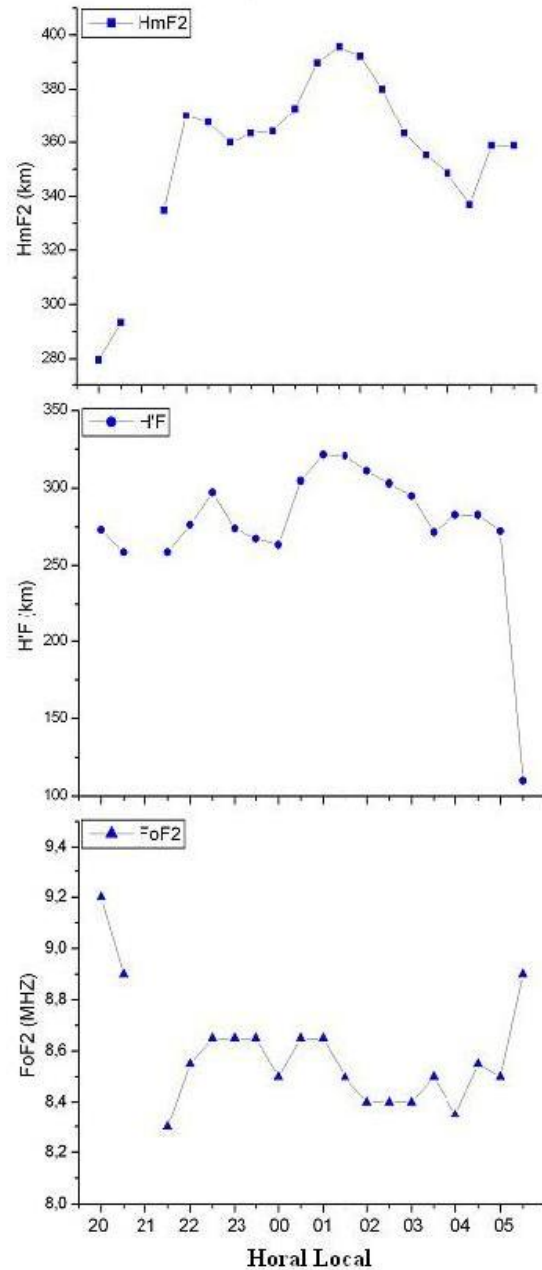


Figura 5.3 - Variação temporal dos parâmetros ionosféricos H'F, HmF2 e FoF2 para a noite de 26-27/11/2011, obtida através de uma digisonda instalada nas Ilhas Malvinas.

- 2º Caso:

As imagens da Figura 5.4 mostram outro evento de MSTIDs, que se da por volta das 01:23LT para uma noite geomagneticamente calma, Kp: 0, 0, 0+, 0, 0+, 0+, 0.

Figura 5.5 apresenta os ionogramas que ilustram a ocorrência de *spread-F* nas Ilhas Malvinas. Na figura 5.6 é apresentado a variação temporal dos parâmetros H'F, HmF2 e FoF2.

São Martinho da Serra, Dezembro 26-27, 2011.

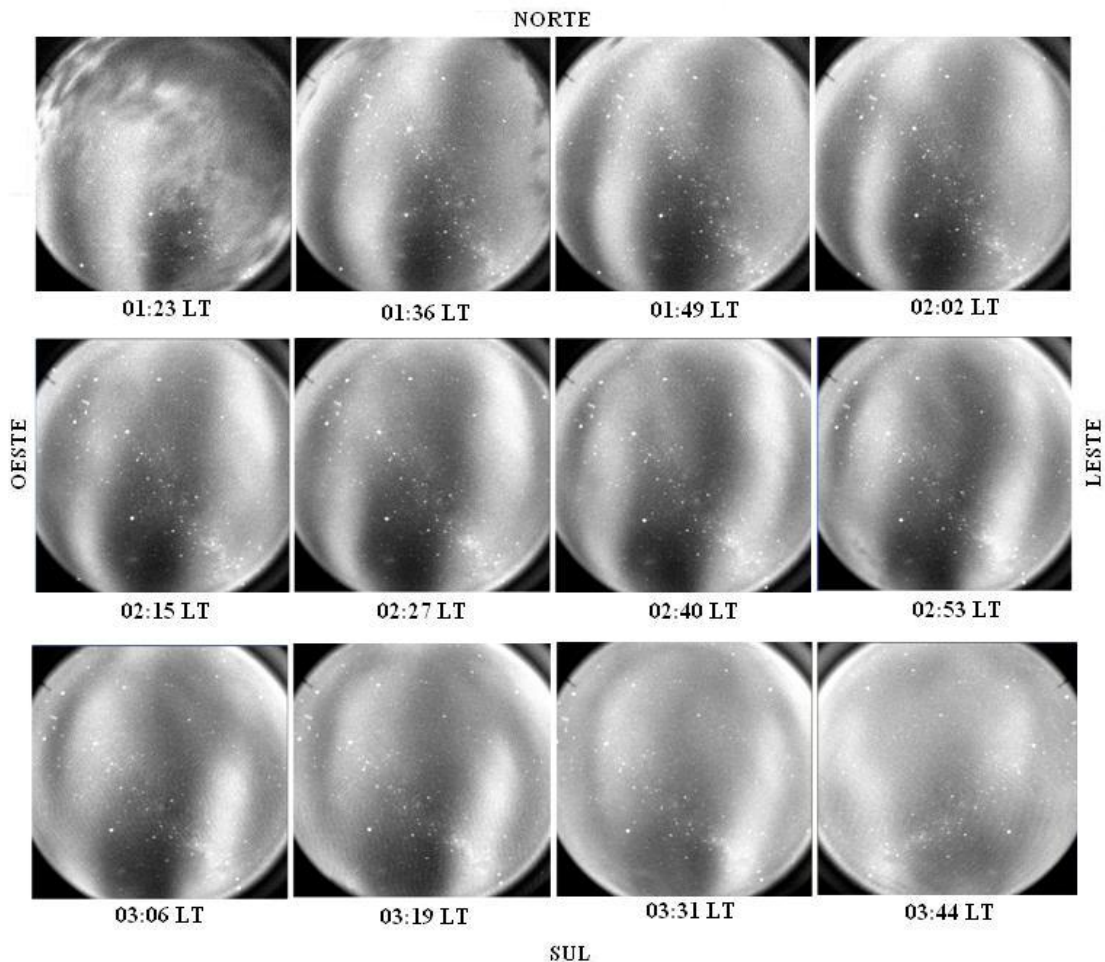


Figura 5.4 – Registro da passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra na noite de 26-27/12/2011

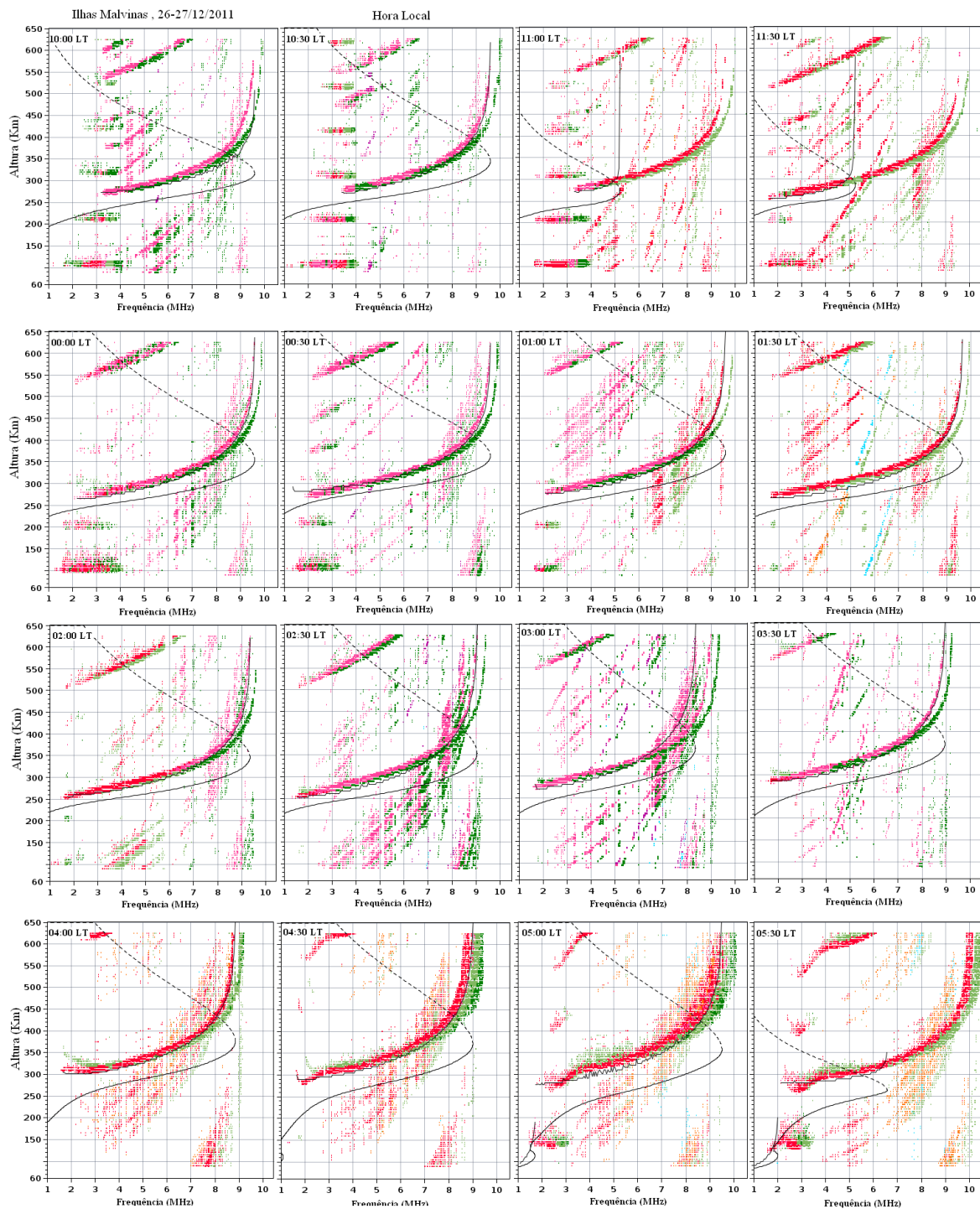


Figura 5.5 – Ionogramas obtidos através de uma digisonda instalada nas Ilhas Malvinas na noite de 26-27/12/2011. A sequência mostra a ocorrência de *spread-F*.

São Martinho da Serra, 26-27 de Dezembro de 2011

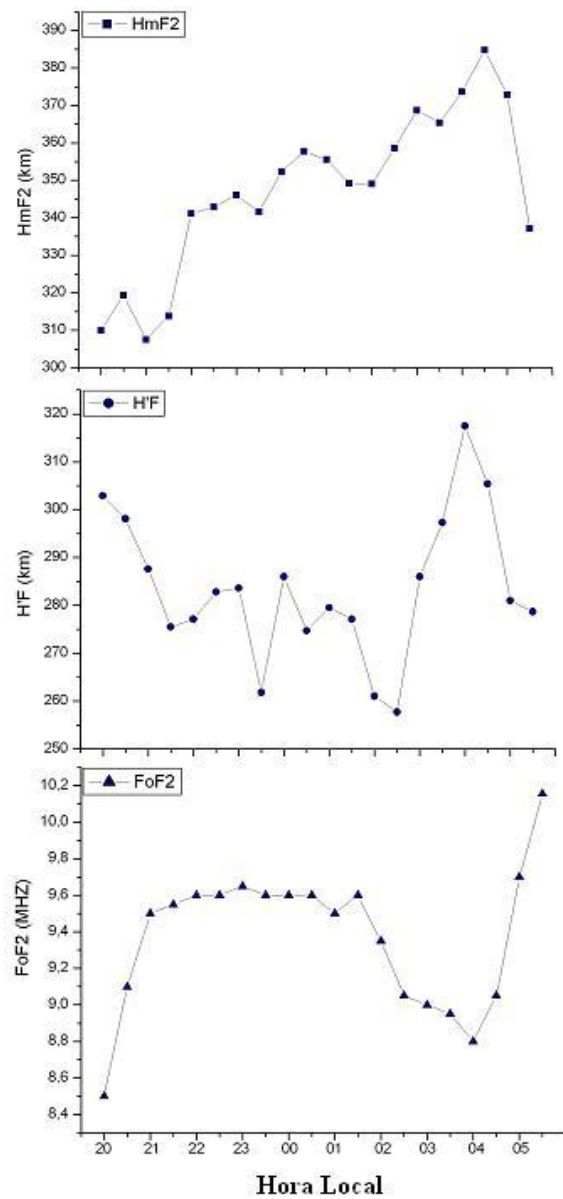


Figura 5.6 - Variação temporal dos parâmetros ionosféricos HmF2 e FoF2 para a noite de 26-27/12/2011, obtida através de uma digissonda instalada nas Ilhas Malvinas



CONCLUSÕES

Foram analisadas imagens obtidas pelo imageador *all-sky* na emissão OI 630,0 nm localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS, (29,28°S, 53,82°O).

As bandas escuras que são as assinaturas óticas do fenômeno MSTID têm a característica de se alinhar sudoeste a nordeste e direção de propagação de sudeste para noroeste.

O fenômeno não está relacionado a distúrbios geomagnéticos.

A banda escura vista nas imagens *all-sky* trata-se da diminuição da emissão devido à subida do plasma da região F da ionosfera ionosférica e consequente diminuição do processo de recombinação que dá origem à emissão OI 630 nm.

Foram analisados dados de uma digissonda localizada nas Ilhas Malvinas (51.4°S, 57.5°O). Nos ionogramas das Ilhas Malvinas foram observados ao espalhamento do sinal (*spread-F*), para a mesma noite que foi detectadas MSTIDs pelo imageador *all-sky* instalado em São Martinho.

As MSTIDs têm sua origem em médias latitudes no hemisfério Sul, sendo provavelmente geradas pelo mecanismo de instabilidade Perkins.



CAPÍTULO 6

PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR

- Redução dos dados, tratamento das imagens e cálculo da velocidade das MSTIDs
- Estudo estatístico das MSTIDs – comportamento sazonal e estudo dos efeitos provocados pelas MSTIDs nos sinais de GPS e sinais de radiofrequência.



CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução do Trabalho do Projeto de Pesquisa ajudou o bolsista a aplicar os novos conhecimentos ao longo do Curso de Física.

Durante sua atuação no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica e no Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica o bolsista aprofundou seus conhecimentos relacionados com as áreas da Geofísica Espacial, Geomagnetismo, especialmente em Aeronomia.

É preciso enfatizar que as atividades de Iniciação Científica foram essenciais para o desenvolvimento científico do bolsista, contribuindo para sua formação pessoal e profissional, visto que estimulou fortemente o interesse pela Ciência e o desenvolvimento de suas potencialidades técnico-científicas.

O bolsista teve grande desenvolvimento pessoal com as atividades de mentoreamento, com o Dr. Nelson Jorge Schuch, ressaltando em especial o aumento de sua empatia, auto-estima, sua auto-confiança e segurança interna com o trato interpessoal e intrapessoal.



REFERÊNCIAS

Amorim, D. C. M. **Caracterização de distúrbios ionosféricos propagastes na região de baixas latitudes no setor brasileiro associados a Instabilidade de plasma perkins gerada em médias latitudes.** 2010. 134p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.

Machado, Cristiano Sarzi. **Estudo de ocorrência de bandas claras utilizando luminescência atmosférica da região F de baixas latitudes em função do ciclo solar.** 2011. 135p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Introdução à geofísica espacial.** São José dos Campos: INPE, 1991. 149 p. ISBN 85-7233-001-1. (INPE-7306-RPQ/700).

Maekawa, R. **Development multi-color all sky airglow CCD imaging system.** Kyoto University, Dec, 1998 (RASC Research Report).

Moor, Lilian Piecha. **Estudo das irregularidades Ionosféricas as região F durante um período de atividade Solar Mínima.** 2011. 161p. Dissertação (Mestrado em Física e Astronomia) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos. 2011.

Peterson, V.I; Steiger, W.R. F-region nightglow emissions of atomic oxygen. **Journal of Geophysical Research**, v.71, no.9, p. 2267-2277, 1966.

Pimenta, Alexandre Álvares. **Estudos da deriva zonal e Dinâmica das Bolhas de Plasma na região Tropical.** 2003. 184p. Tese (doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.



Woithe, J, 2000, **Optical studies of the mesospheric region**, PhD Thesis, University of Adelaide, Australia.

Wrasse, Cristiano Max. **Observação da temperatura rotacional da hidroxila através da aeroluminescência na região da mesosfera terrestre**. 2000. 125p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

Wrasse, Cristiano Max. **Estudos de Geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas**. 2004. 253p. Tese (doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.