

**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 2014



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

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

Processo: 139335/2013-7

Aluno Bolsista no período de agosto/2013 a Julho/2014:

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/INPE-MCTI

Colaboradores:

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

Doutoranda **Danielle Cristina de Moraes Amorim** DAE/CEA/INPE – MCTI

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

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

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCTI – UFSM, através do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/CRS/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 Geofísica Espacial Danielle Cristina de Moraes Amorim por sua ajuda e sua amizade.

Meus sinceros agradecimentos:

Aos funcionários, servidores do CRS/INPE – MCTI e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infraestrutura 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/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: 06/08/2013 12:08

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 2011 a 2014

Tipo de produção	2011	2012	2013	2014
Produção bibliográfica	2	2	2	0
Produção técnica	2	2	2	0
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: 23/08/2013 17:08

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-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), Australia (University of Tasmania), Armênia



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2014

(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 Cósmicos, 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 Geoespaço 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: 53
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	Odin Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Osmar Marchi dos Santos
Everton Frigo	Otávio Santos Cupertino Durão
Ezequiel Echer	Pawel Rozenfeld
Fabiano Luis de Sousa	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda de São Sabbas Tavares	Polinaya Muralikrishna
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Rajaram Purushottam Kane
Geilson Loureiro	Renato Machado
Gelson Lauro Dal' Forno	Ricardo Augusto da Luz Reis
Guilherme Simon da Rosa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Gustavo Fernando Dessbesell	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Hisao Takahashi	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Igor Freitas Fagundes	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Jean Pierre Raulin	William do Nascimento Guareschi
João Baptista dos Santos Martins	
Estudantes	Total: 22
Anderson Vestena Bilibio	Lucas Lourencena Caldas Franke



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2014

Ândrei Camponogara	Maurício Ricardo Balestrin
Andreas Vestena Bilibio	Michel Baptistella Stefanello
Bruno Knevitz Hammerschmitt	Miguel Rossatto Bohr
Claudio Machado Paulo	Pietro Fernando Moro
Dimas Irion Alves	Rodrigo Passos Marques
Fernando Landerdahl Alves	Tális Piovesan
Guilherme Paul Jaenisch	Thales Nunes Moreira
Iago Camargo Silveira	Thales Ramos Mânica
José Paulo Marchezi	Tiago Bremm
Leonardo Zavareze da Costa	Vinícius Deggeroni

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

Linhas de pesquisa	Total: 4
---------------------------	-----------------

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Indicadores de recursos humanos do grupo

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		53
Estudante(s)		22
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](#)
[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](#), [Geespaço](#), [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](#)
[Everton Frigo](#)
[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 Knevitiz Hammerschmitt](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)



[Leonardo Zavareze da Costa](#)

[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.



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 2013 a Julho de 2014, com o seguinte tema de pesquisa: “ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F”. Neste estudo foi investigada a ocorrência de Distúrbios Ionosféricos Propagantes de Média Escala (MSTIDs) em pontos geomagnéticos conjugados, utilizando imagens *all-sky* da emissão OI 630,0 nm, obtidos por imageadores instalados no Observatório Espacial do Sul (29.4 ° S, 53,8 ° W), em São Martinho da Serra-RS, Brasil e no Observatório de Arecibo (18.3° N, 66.7° W) Porto Rico. As imagens obtidas mostram a ocorrência de MSTIDs simultaneamente em ambos os hemisférios, ao longo da linha de campo geomagnético B. Para verificar a flutuação na fase do sinal de GPS obtivemos a variação do conteúdo eletrônico total da ionosfera (TEC) para os pontos geomagnéticos conjugados: Santa Maria (29.7° S, 53.7° W) e Ilhas Virgens (17.7° N, 64.7° W), foram detectadas pequenas flutuações de fase de GPS para o hemisfério Norte e Sul. Observações utilizando digissonda instaladas nas Ilhas Malvinas (51.4° S, 57.5° W) e em Porto Rico (18.5° N, 67.1° W) mostraram que o plasma da região F da ionosfera é deslocado abruptamente para alturas superiores quando as MSTIDs passam pelo campo de visão dos imageadores, caracterizando uma diminuição na intensidade de airglow observada nas imagens, provocando a ocorrência de *spread-F*.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
IONOSFERA	14
LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA	16
Emissões	16
Linha de emissão (OI 557,7 nm)	17
Linha de emissão (OI 630,0 nm)	18
Linha de emissão (OI 777,4 nm)	18
Irregularidades na região F da ionosfera	19
Imageador <i>all-sky</i>.	19
Câmera CCD	22
Digisonda	23
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
CONCLUSÕES	31
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.	15
Figura 2: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.	16
Figura 3: Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.	20
Figura 4: Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.	21
Figura 5: Campo de visão do imageador all-sky instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS.	21
Figura 6: A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.	22
Figura 7 – Sequência de imagens <i>all-sky</i> da emissão OI 630.0 nm, para a noite de 26-27/12/2011, que ilustra a passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra.	24
Figure 8: Sequência de imagens <i>all-sky</i> da emissão OI 630.0 nm, para a noite de 26-27/12/2011, que ilustra a passagem de MSTIDs sobre Porto Rico.	25
Figura 9: Flutuações de fase no sinal de GPS (ROT) obtidas a partir de satélites diferentes, para o dia 26-27/12/2011. (A) ROT calculado para Santa Maria (B) ROT calculado para Ilhas Virgens.	26
Figura 10: Ionogramas obtidos para a noite 26-27/11/2011 com a digissondas instalada nas Ilhas Malvinas. Esta sequência mostra a ocorrência de spread-F, no mesmo intervalo de tempo que as imagens de <i>all-sky</i> registam a passagem da banda escura sobre São Martinho da Serra.	27
Figura 11: Ionogramas obtidos para a mesma noite de 26-27/11/2011 com a digissonda instalada em Porto Rico. Esta sequência mostra a ocorrência de spread-F, no mesmo intervalo de tempo que as imagens de <i>all-sky</i> registam a passagem de MSTIDs sobre Porto Rico.	28
Figure 12: (a) Temporal variation of ionospheric parameters h'F, hmF2 and foF2 for night of 26-27/12/2011, digisonde installed at Falkland Islands (51.4° S, 57.5° W). (b) Temporal variation of ionospheric parameters h'F, hmF2 and foF2 for night of 26-27/12/2011, digisonde installed at Puerto Rico.	29



INTRODUÇÃO

As observações 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). 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.

Neste trabalho foram analisadas imagens *all-sky* com presença de MSTIDs detectadas por dois imageadores instalados em nos pontos geomagnéticos conjugados: Observatório Espacial do Sul - OES / CRS / INPE-MCTI, (29,4 ° S, 53,8 ° W), em São Martinho da Serra, RS, Brasil e Observatório de Arecibo (18,3 ° N, 66,7 ° W), em Porto Rico. Utilizando dados de receptor GPS, obtivemos a taxa de variação do Conteúdo Eletrônico Total (TEC) para dois locais geomagneticamente conjugados - Santa Maria (29,7 ° S, 53,7 ° W) e Ilhas Virgens (17,7 ° N, 64,7 ° W). Observações usando digisondas instaladas nas Ilhas Malvinas (51,4 ° S, 57,5 ° W) e Porto Rico (18,5 ° N, 67,1 ° W) mostram que o aparecimento de MSTIDs no campo de visão do imageador estava associado com o movimento de subida abrupta da ionosfera plasma região F e ocorrência de *spread-F*.

Importante mencionar que a pesquisa apresentada neste relatório foi submetida para publicação no periódico *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* (JASTP).

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 1 apresenta as regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica.

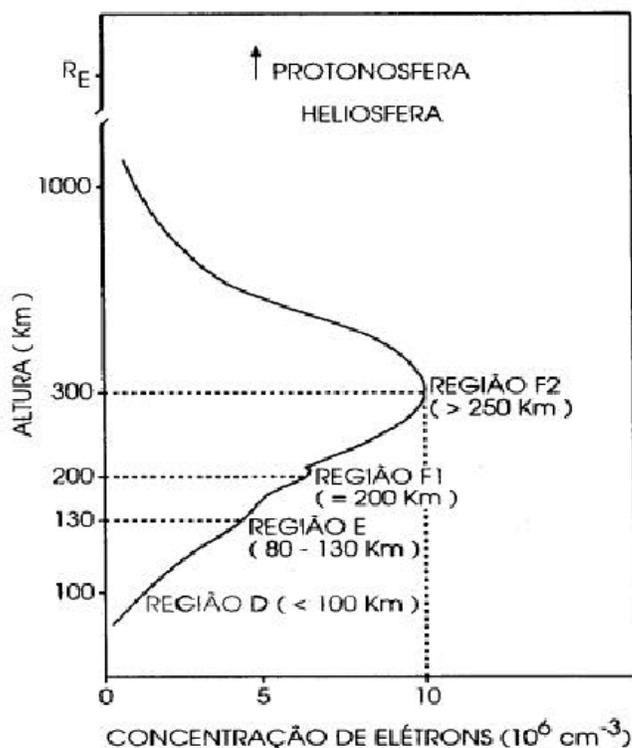


Figura 1: Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.
Fonte: Kirchoff (1991, p.77)

LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

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 2.

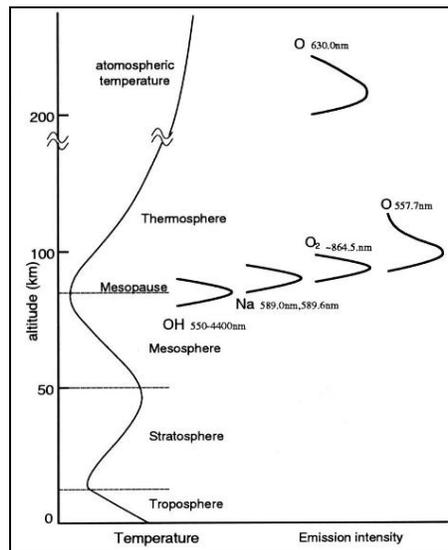


Figura 2: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

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 1 as emissões de luminescência atmosférica:

Tabela 1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.

Emissão Atmosférica	Intensidade Típica (R)	Comprimento de onda (nm)	Altura média da camada de emissão (km)
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.

Linha de emissão (OI 557,7 nm)

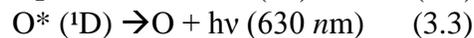
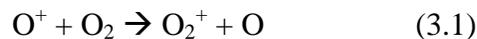
A linha de luminescência OI 557,7 nm (linha verde) possui duas fontes na atmosfera: uma camada de emissão entre 90 e 110 km de altitude, na região E da ionosfera e outra entre 220 e 300 km de altitude, na região F ionosférica. (Machado, C.S. 2011).

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).

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.

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.

Irregularidades na região F da ionosfera

Os MSTIDs são comumente observados em médias latitudes durante condições geomagneticamente calmas 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 onde é diretamente proporcional a densidade eletrônica e a quantidade de oxigênios moleculares.

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 relata a configuração de um imageador com sensor CCD.

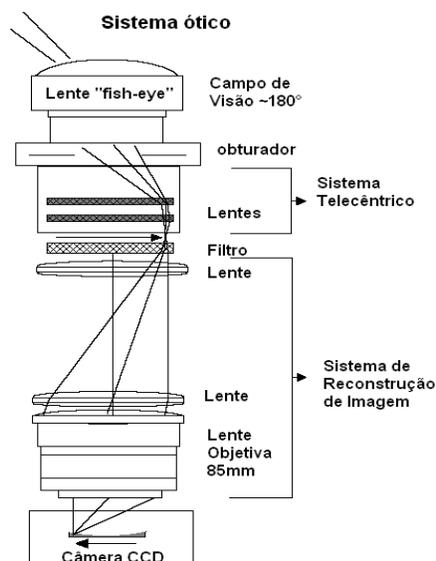


Figura 3: Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.
 Fonte: Wrasse (2004).

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 4 a seguir mostram o equipamento instalado em São Martinho e a Figura 5 mostra o campo de visão do imageador.

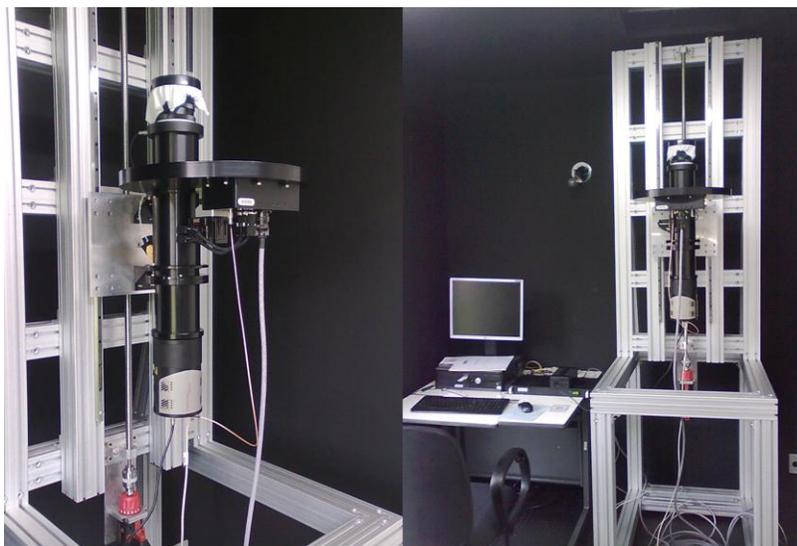


Figura 4: Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.

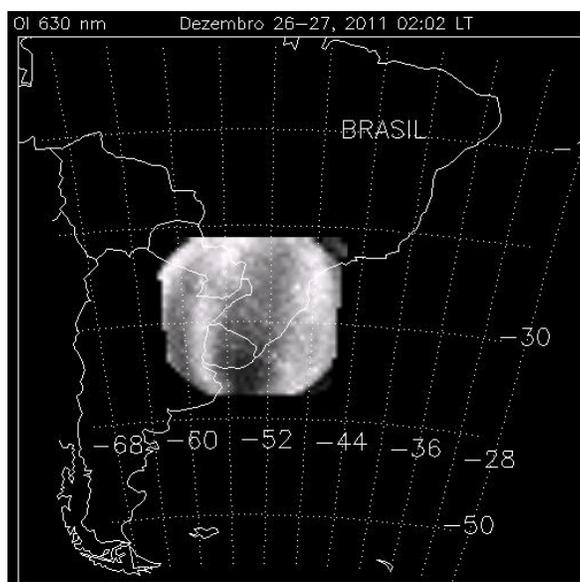


Figura 5: Campo de visão do imageador all-sky instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS.

O imageador possui lentes que resultam em uma imagem telocêntrica, 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 6.

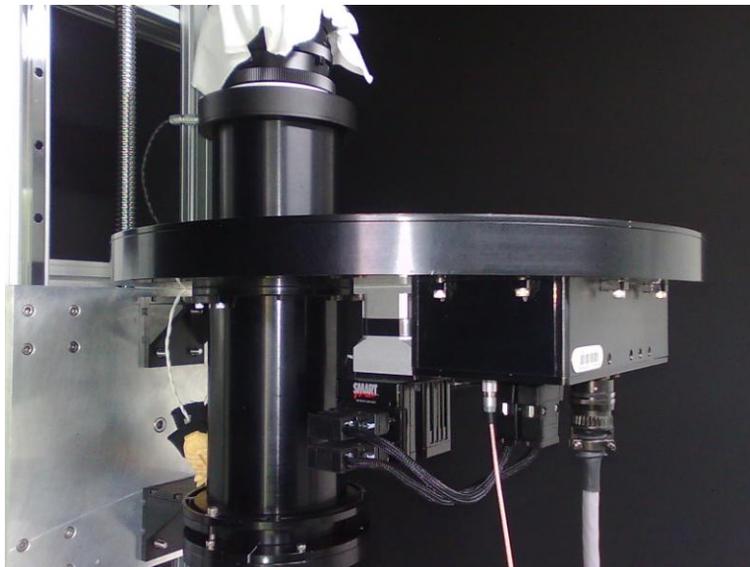


Figura 6: A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.

Câmera CCD

O modelo da câmera CCD que equipa o imageador é o PI/Acton Pixis: 2048 B. É um sensor do tipo retroiluminado (*back-illuminated*) com uma grade de 2048 X 2048 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.

Digissonda

A digissonda é um instrumento de rádio sondagem utilizado para de 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.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Imagens com a passagem de MSTIDs em ambos os hemisférios foram obtidas para as noites geomagnéticas calmas 26-27/12/2011. Através das imagens “all-sky” da emissão OI 630,0 nm obtidas foi possível observar a ocorrência simultânea de MSTIDs em pontos geomagnéticos conjugados no hemisfério norte e no hemisfério sul, ligados pela mesma linha de campo magnético B.

No hemisfério sul visualizamos a passagem de bandas escuras através do campo de visão do imageador, alinhadas de nordeste a sudoeste, propagando-se para o noroeste. Para a mesma noite no hemisfério norte visualizou bandas escuras alinhadas de noroeste para sudeste propagando-se para sudoeste. As bandas escuras apresentadas nesse presente trabalho representam a assinatura ótica das MSTIDs não estando relacionadas com as irregularidades de plasma geradas na região equatorial. É possível que ondas de gravidade provenientes da baixa atmosfera estejam agindo como um mecanismo de disparo para a geração da instabilidade Perkins.

Perkins (1973) 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. Kelley (2003) sugere que as bandas escuras podem ser geradas por campos elétricos ou ventos, caso não houver um campo elétrico ou vento neutro, a ionosfera simplesmente se desloca para baixo e se recombina.

As estruturas aparecem simultaneamente nos locais conjugados, Tal resultado sugere que o campo elétrico da ionosfera desempenha papel importante na geração de MSTIDs (Shiokawa, K., et al. 2005) e (Otsuka, et.al 2004).

Um campo elétrico pode ser transmitido ao longo do campo geomagnético B de um hemisfério para o outro, sem atenuação, devido à elevada condutividade elétrica paralela para B, e forçaria o plasma ionosférico em ambos os hemisférios para mover em direções perpendiculares a B. Com isso pode se explica por que os campos elétricos polarização desenvolvem papel importante na geração de MSTIDs, uma vez que as estruturas de bandas

escuras foram observadas simultaneamente nos hemisférios norte e sul conectados por linhas de campo geomagnéticas.

A Figura 7 mostra uma sequência de imagens *all-sky* da emissão OI 630.0 nm obtido durante a noite de 26-27 de dezembro de 2011. As imagens mostram a ocorrência de MSTID entre 04:23 UT e 06:44 UT, alinhadas de nordeste a sudoeste, propagando-se para o noroeste, em condição geomagneticamente calma ($k_p = 0$). Na imagem gravada às 04:23 UT, o céu encontrava-se nublado.

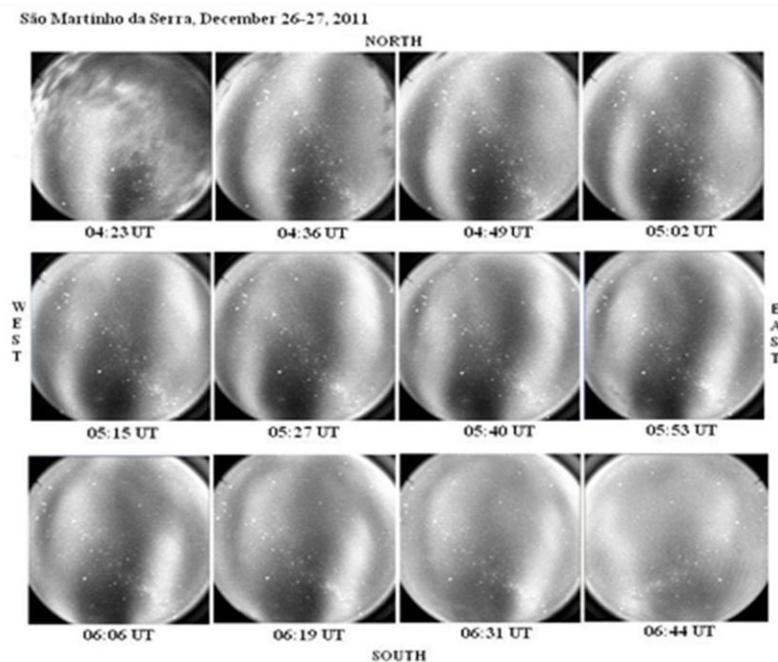


Figura 7 – Sequência de imagens *all-sky* da emissão OI 630.0 nm, para a noite de 26-27/12/2011, que ilustra a passagem de MSTIDs sobre São Martinho da Serra.

Para o mesmo dia observamos na figura 8 a passagem da banda escura pelo campo de visão do imageador localizado em Porto Rico. O céu está bastante nebuloso por esse motivo não temos toda a sequência de imagens da noite do dia 26-27 de dezembro de 2011. A banda escura é alinhada de noroeste para sudeste propagando-se para sudoeste.

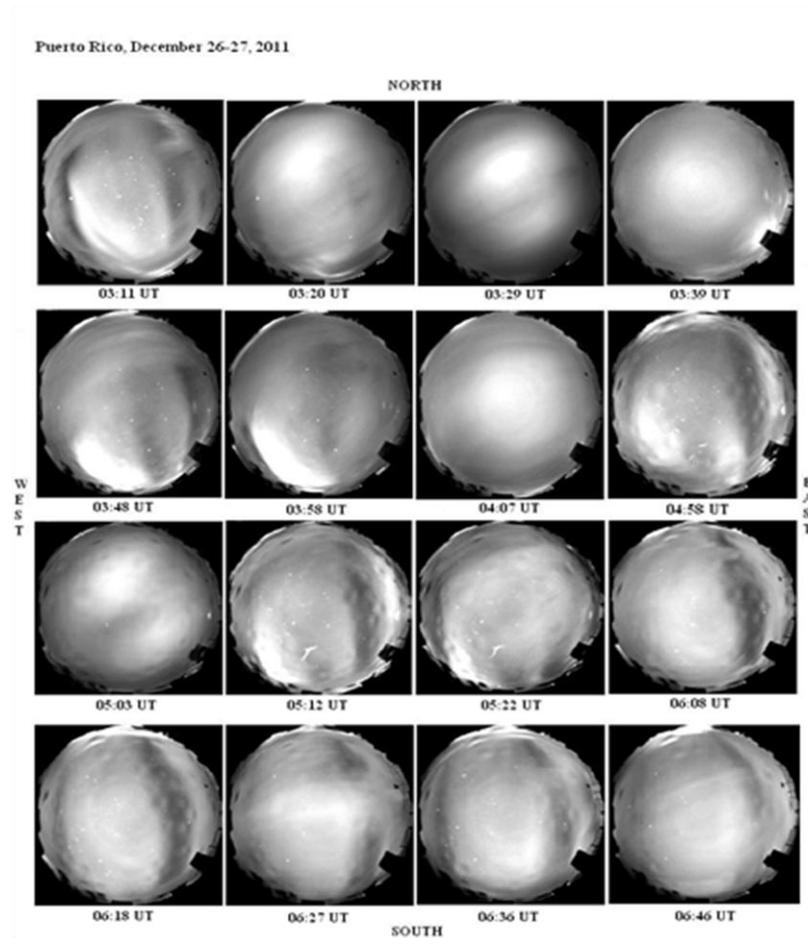


Figure 8: Sequência de imagens *all-sky* da emissão OI 630.0 nm, para a noite de 26-27/12/2011, que ilustra a passagem de MSTIDs sobre Porto Rico.

A banda escura desloca a camada F da ionosfera para alturas superiores com isso a concentração eletrônica na região diminui devido a recombinação por altura. Quando a camada desce, ocorre o contrário, a concentração eletrônica aumenta ocasionando o aumento da emissão, provocando variações no TEC. Observações de GPS foram usadas para obter a taxa de variação da TEC, este parâmetro permite identificar a presença de irregularidades ionosféricas (Aarons et al. , 1997). Martinis, C., J. (2011) mostrou que as flutuações de fase nos dados de GPS foram muito fraco (inferior a 0,25 DTEC / min) referente passagem de MSTIDs. Lee et al. (2008) relatou que alguns casos de MSTIDs provocou grande taxa de variação do TEC.

A taxa de variação do TEC são apresentados na figure 9, indicando que simultaneamente a passagem de MSTIDs provoca uma pequena variação no TEC (ROT),

no intervalo de tempo entre 00:00 UT e 00:04 UT. Importante mencionar que em ambos os hemisférios ocorreu pequenas variações do ROT, referente à passagem da banda escura pelo campo de visão dos imageadores.

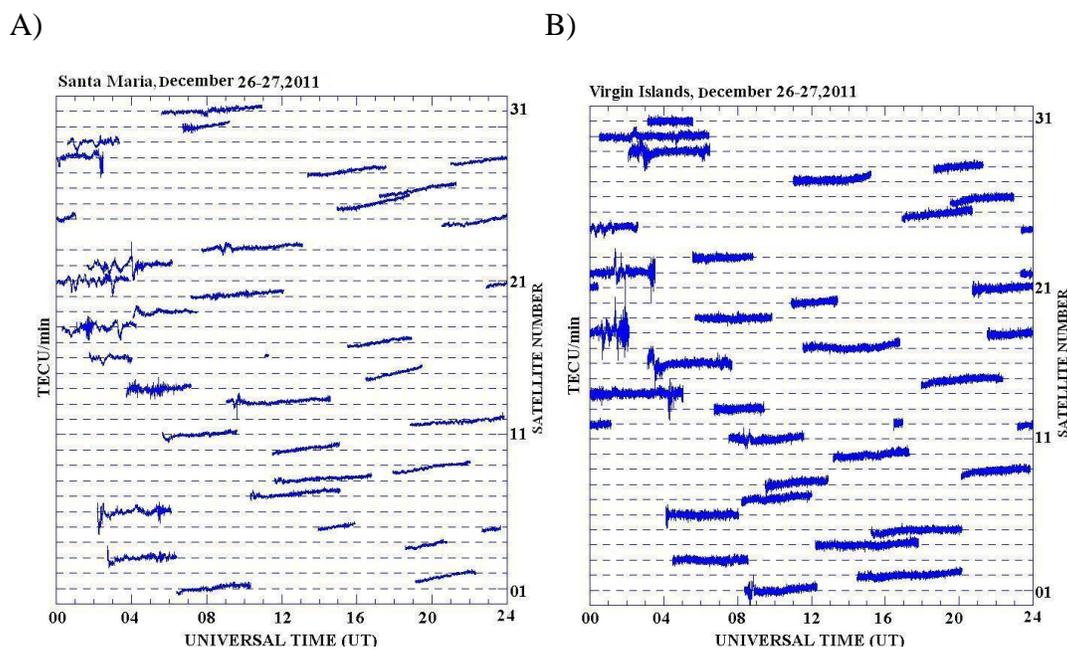


Figura 9: Flutuações de fase no sinal de GPS (ROT) obtidas a partir de satélites diferentes, para o dia 26-27/12/2011. (A) ROT calculado para Santa Maria (B) ROT calculado para Ilhas Virgens.

Em uma análise simultânea dos dados de digissonda e imagens *all-sky* foi observado que a passagem dessas bandas produz *spread-F* nos ionogramas em ambos os hemisférios, tais como ilustrados nas figuras 10 e 11. Em uma análise de imagens *all-sky* e ionogramas no setor japonês, Shiokawa F. et al. (2003) relataram que apenas entre 10% e 15% dos casos de *spread-F* estavam associados à observação de MSTID's em imagens de aeroluminescência do OI 630.0 nm.

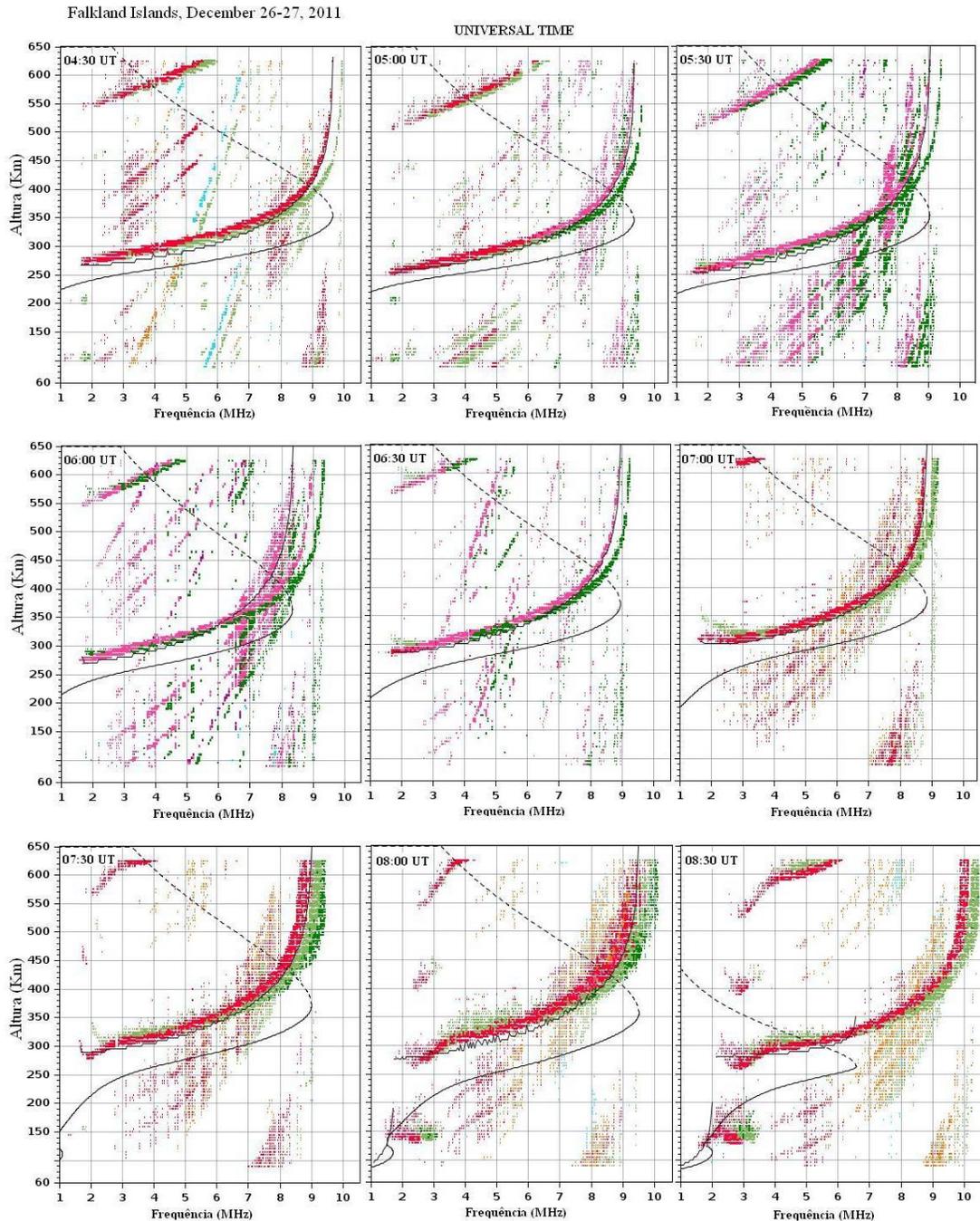


Figura 10: Ionogramas obtidos para a noite 26-27/11/2011 com a digisondas instalada nas Ilhas Malvinas. Esta sequência mostra a ocorrência de spread-F, no mesmo intervalo de tempo que as imagens de *all-sky* registam a passagem da banda escura sobre São Martinho da Serra.

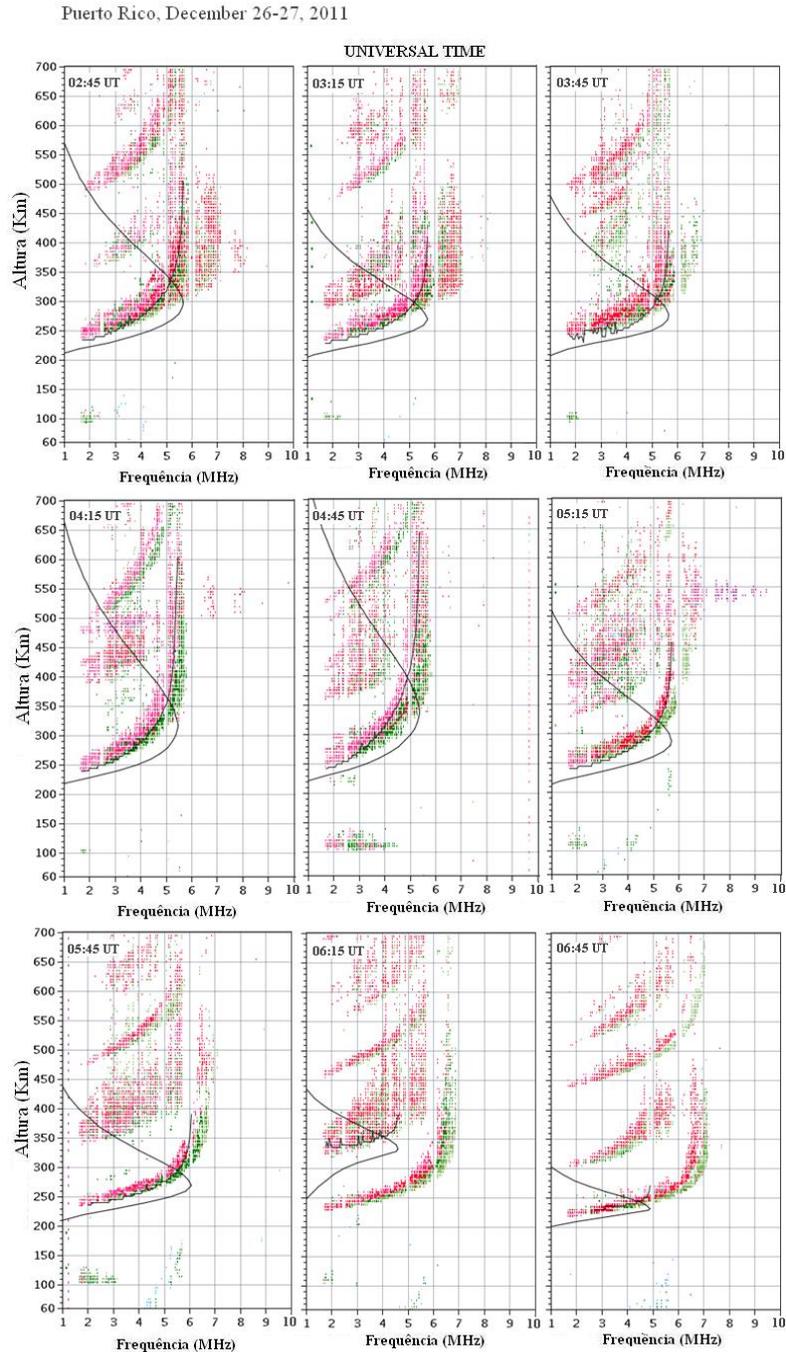


Figura 11: Ionogramas obtidos para a mesma noite de 26-27/11/2011 com a digisonda instalada em Porto Rico. Esta sequência mostra a ocorrência de spread-F, no mesmo intervalo de tempo que as imagens de *all-sky* registam a passagem de MSTIDs sobre Porto Rico.

Através dos dados de digissonda observamos a passagem da banda escura, representada por uma abrupta subida na altura do pico da camada F (hmF2) e na altura virtual da base da camada F (h'F), posteriormente um decréscimo na densidade de elétrons (Fof2), mostrado na Figura 12.

Para a digissonda instalada nas Ilhas Malvinas os parâmetros ionosféricos da figura 12-a mostram que durante o evento MSTID observado em São Martinho, ocorreu um grande aumento da camada F consequentemente um decréscimo na densidade do plasma local, que começa por volta das 04:30 UT. Para a digissonda localizada em Porto Rico os parâmetros mostrados na Figura 12-b mostram dois aumentos da camada F, posteriormente dois decréscimo na densidade de elétrons, o primeiro ocorre por volta das 02:30 UT e o segundo por volta de 07:45 UT, simultânea a passagem da banda escura por Porto Rico. As variações dos parâmetros ionosféricos não ocorrem exatamente no mesmo intervalo de tempo que visualizamos as bandas escuras nos imageadores, devido à distância Entre os sítios de observação.

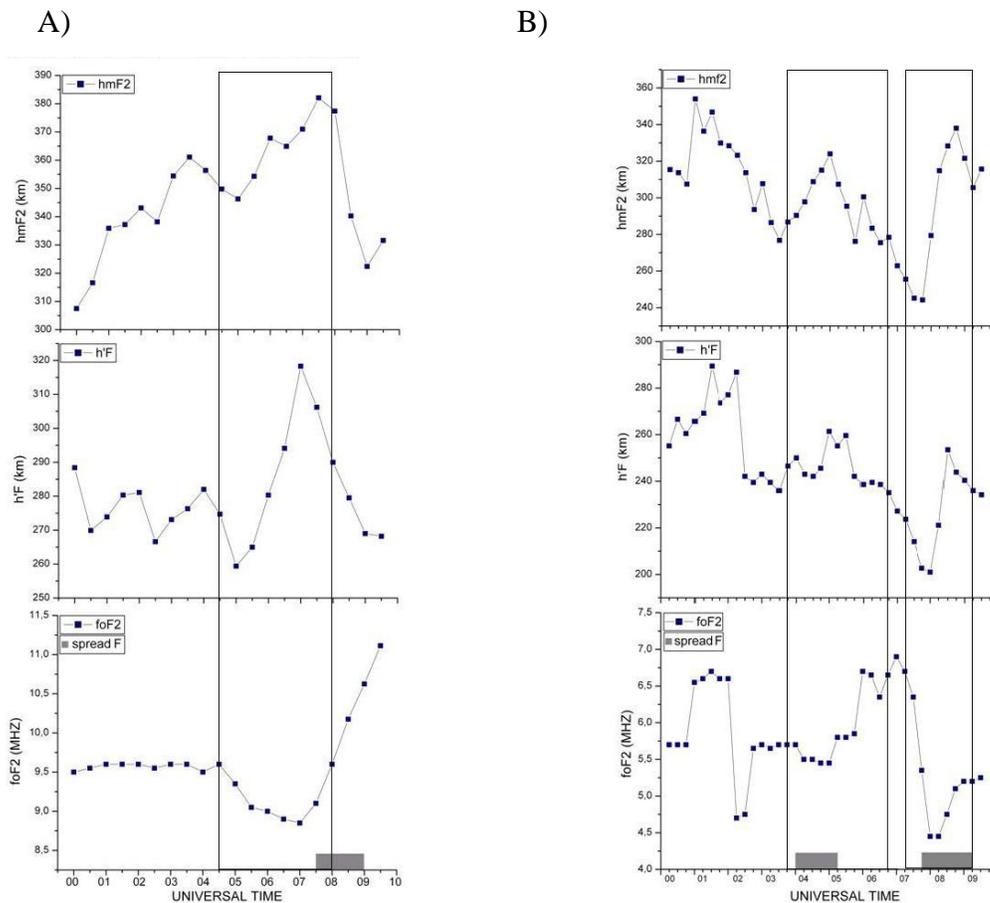


Figure 12: (a) Temporal variação dos parâmetros ionosféricos h'F, hmF2 e foF2 para a noite de 26-27/12/2011, digissonda instalada nas Ilhas Malvinas. (b) variação dos parâmetros ionosféricos h'F, hmF2 e foF2 para a noite de 26-27/12/2011, digissonda instalada em Porto Rico.



Estes aumentos são explicada como sendo devido a desvios $E_p \times B$, onde E_p é a campo elétrico de polarização dentro das estruturas MSTID. Martinis et. al. (2011) com uma configuração de câmeras dispostas em ambos os hemisférios, configuração semelhante à apresentada nesse trabalho, discute que as bandas podem ter sido por um campo elétrico, talvez do resultado do engate com as estruturas da região E.

O acoplamento eletrodinâmico entre as latitudes médias noite Es ionosfera e região F tem sido utilizado para a explicação dos campos elétricos de polarização observada na região F , elevações da região F que provocam spread-F (Tsunoda e Cosgrove, 2001). Uma relação de dispersão do acoplamento entre a camada E_s e instabilidade Perkins é descrito por (Cosgrove e Tsunoda 2004). Eles demonstraram que o sistema acoplado é instável e a interação eletrodinâmica entre instabilidades atua para aumentar a taxa de crescimento do sistema global.



CONCLUSÕES

-Para os eventos analisados, observou-se a ocorrência simultânea de MSTIDs no hemisfério Norte e Sul ao longo da linha de campo magnético B. Isso indica que os campos elétricos de polarização desempenham um papel importante na criação de MSTIDs.

-No Hemisfério Norte o alinhamento é de noroeste a sudeste, propagando em direção sudoeste. No Hemisfério Sul, os MSTIDs estão alinhados de nordeste a sudeste, propagar em direção noroeste.

-O fenômeno aqui estudado não está relacionado a distúrbios geomagnéticos.

-Em ambos os hemisférios, uma pequena variação do TEC (ROT) aconteceu simultaneamente à passagem de MSTIDs.

A passagem dessas bandas produz *spread-F* nos ionogramas em ambos os hemisférios, acentuados aumentos da região F da ionosfera e uma ascensão abrupta de camada da ionosfera com uma subsequente redução na densidade eletrônica.



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, autoestima, sua autoconfiança e segurança interna com o trato interpessoal e intrapessoal.



REFERÊNCIAS

Aarons, J., M. Mendillo, and R. Yantosca (1997), GPS phase fluctuations in the equatorial region during sunspot minimum, *Radio Sci.*, 32, 1535–1550, doi:10.1029/97RS00664.

Cosgrove, R. B., and R. T. Tsunoda (2004), Instability of the E-F coupled nighttime midlatitude ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 109, A04305, doi:10.1029/2003JA010243.

Garcia, F. J., M. C. Kelley, J. J. Makela, P. J. Sultan, X. Pi, And Musman, S. Mesoscale structure of the midlatitude ionosphere during high geomagnetic activity: Airglow and GPS observations. *Journal of Geophysical Research* v.105, n. A8, p. 18417-18427, 2000.

Kelley, M. C.; Makela, J. J.; Vlasov, M. N., Sur, A. Further studies of the Perkins stability during Space Weather Month. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 65, n. 10, p. 1071-1075, 2003.

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).

Lee, C. C., Y. A. Liou, Y. Otsuka, F. D. Chu, T. K. Yeh, K. Hoshino, and K. Matunaga (2008), Nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances detected by network GPS receivers in Taiwan, *J. Geophys. Res.*, 113, A12316, doi:10.1029/2008JA013250.

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.

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

Martinis, C., J. Baumgardner, J. Wroten, and M. Mendillo (2010), Seasonal dependence of MSTIDs obtained from 630.0 nm airglow imaging at Arecibo, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L11103, doi:10.1029/2010GL043569.

Martinis, C., J. Baumgardner, J. Wroten, and M. Mendillo (2011), All-sky imaging observations of conjugate medium-scale traveling ionospheric disturbances in the American sector, *J. Geophys. Res.*, 116, A05326, doi:10.1029/2010JA016264.

Mendillo, M.; Baumgardner, J.; Colerico, M., Nottingham, D.; Aarons, J.; Reinish, B.; Scali, J.; Kelley, M. *Investigations of thermospheric-ionospheric dynamics with 6300 A*



images from the Arecibo observatory. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, n. A4, p. 7331-7343, 1997.

Otsuka, Y., K. Shiokawa, T. Ogawa, and P. Wilkinson (2004), Geomagnetic conjugate observations of medium-scale traveling ionospheric disturbances at midlatitude using all-sky airglow imagers, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15803, doi:10.1029/2004GL020262.

Perkins, F. (1973), Spread F and ionospheric currents, *J. Geophys. Res.*, 78, 218–226, doi:10.1029/JA078i001p00218.

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.

Pimenta, A. A.; Kelley, M.; Sahai, Y. Bittencourt, J. A.; Fagundes, P. R. Thermospheric dark band structures observed in all-sky OI 630 nm emission images over the Brazilian low-latitude sector. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, v. 113, n. A1, 2008.

Shiokawa, K., Y. Otsuka, C. Ihara, T. Ogawa, and F. J. Rich (2003b), Ground and satellite observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbance at midlatitude, *J. Geophys. Res.*, 108(A4), 1145, doi:10.1029/2002JA009639.

Shiokawa, K., et al. (2005), Geomagnetic conjugate observation of nighttime mediumscale and large-scale traveling ionospheric disturbances: FRONT3 campaign, *J. Geophys. Res.*, 110, A05303, doi:10.1029/2004JA010845.

Tsunoda, R. T., and R. B. Cosgrove (2001), Coupled electrodynamics in the nighttime midlatitude ionosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 28(22), 4171–4174, doi:10.1029/2001GL013245.

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

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.