



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL

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

PROCESSO Nº 111232/2009-0

**Thalis José Girardi - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica
LMLA/CRS/CCR/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE – MCT
E-mail: tgirardi@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Hisao Takahashi - Orientador
Divisão de Aeronomia
DAE/CEA/INPE-MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: hisautak@laser.inpe.br**

Santa Maria, Junho 2010



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

**ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO
DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL**

PROCESSO Nº 111232/2009-0

Relatório elaborado pelo bolsista:

Thalis José Girardi - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: tgirardi@lacesm.ufsm.br

Dr. Hisao Takahashi – Orientador

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE-MCT

E-mail: hisaotak@laser.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-Orientador

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br





DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título: ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL

Aluno Bolsista no período de Agosto/2009 a Julho/2010:

Thalis José Girardi

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Hisao Takahashi.

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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



Colaboradores:

- Dr. Marcelo Barcellos da Rosa – (DEQ – LACESM)/CT/UFSM;
- Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo – CRS/CCR/INPE;
- Dr. Delano Gobbi – DAE/CEA/INPE – MCT;
- Dr. Ricardo Buriti – UFCG, Campina Grande – Paraíba;
- Cristiano Sarzi Machado – LASER/DAE/CEA/INPE – MCT;
- Carlos Pinto da Silva Neto – Curso de Meteorologia – UFSM;
- Erikson Magno Gomes de Oliveira – Curso de Meteorologia – UFSM;

COOPERAÇÃO BRASIL – JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS.

Diretamente envolvido no Projeto:

- Dr. Kazuo Makita – Takushoku University

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

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

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



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Thalis José Girardi

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Thalis José Girardi

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 07/06/2010 14:06

E-mail:

Homepage: <http://www.inpe.br/crs/>

Grupos de pesquisa que atua na instituição

[Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#) - INPE

Linhas de pesquisa que atua

[AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Hisao Takahashi](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2007 a 2010

Tipo de produção	2007	2008	2009	2010
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	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, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo





Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 29/05/2010 18:15

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: Coordenação de Gestão Científica - CIE

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 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, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, 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 (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e 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, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. 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: 46

[Ademar Michels](#)

[Jean Pierre Raulin](#)

[Alan Prestes](#)

[Joao Paulo Minussi](#)

[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)

[Jose Humberto Andrade Sobral](#)

[Alisson Dal Lago](#)

[Juliano Moro](#)

[Antonio Claret Palerosi](#)

[Lucas Ramos Vieira](#)

[Barclay Robert Clemesha](#)

[Mangalathayil Ali Abdu](#)

[Caitano Luiz da Silva](#)

[Marcelo Barcellos da Rosa](#)

[Carlos Roberto Braga](#)

[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)

[Cassio Espindola Antunes](#)

[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)

[Clezio Marcos De Nardin](#)

[Nalin Babulau Trivedi](#)



Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eurico Rodrigues de Paula	Odin Mendes Junior
Ezequiel Echer	Osmar Pinto Junior
Fabiano Luis de Sousa	Otavio Santos Cupertino Durão
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Pawel Rozenfeld
Fernanda de São Sabbas Tavares	Petrônio Noronha de Souza
Fernando Luís Guarnieri	Polinaya Muralikrishna
Gelson Lauro Dal' Forno	Rafael Lopes Costa
Hisao Takahashi	Rajaram Purushottam Kane
Ijar Milagre da Fonseca	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Jean Carlo Santos	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes

Total: 22

Carlos Pinto da Silva Neto	Igor Freitas Fagundes
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Antunes Tambara
Claudio Machado Paulo	Lucas Lopes Costa
Dimas Irion Alves	Lucas Lourencena Caldas Franke
Edson Rodrigo Thomas	Luciano Homercher Dalsasso
Eduardo Escobar Bürger	Nikolas Kemmerich
Eduardo Weide Luiz	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Felipe Cipriani Luzzi	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Fernando de Souza Savian	Thalis José Girardi
Guilherme Grams	William do Nascimento Guareschi
Guilherme Simon da Rosa	Willian Rigon Silva

Técnicos

Total: 2

Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

Linhas de pesquisa

Total: 4

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Relações com o setor produtivo

Total: 0

Indicadores de recursos humanos do grupo

Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	46
Estudante(s)	22
Técnico(s)	2



Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

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

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:

[Barclay Robert Clemesha](#)
[Caitano Luiz da Silva](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Max Wrasse](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)

Estudantes:

[Carlos Pinto da Silva Neto](#)
[Cássio Rodinei dos Santos](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[Eduardo Weide Luiz](#)
[Felipe Cipriani Luzzi](#)
[Guilherme Grams](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Thalis José Girardi](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

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.



AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família: meu Pai, Valmir José Girardi, minha Mãe, Regina Nicolini Girardi, minhas irmãs Valquíria Girardi e Pricila Girardi e minha tia Marisa Nicolini, por todo apoio, carinho e incentivo que estou ganhando.

Ao Dr. Hisao Takahashi, da Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT, pela dedicação e orientação nas minhas atividades de Iniciação Científica.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT, meu mentor, por todo apoio, dedicação e orientação que tem me prestado.

Ao Dr. Marcelo Barcelos da Rosa por ter colaborado com a execução do meu projeto de pesquisa, por ter sido franco comigo desde a nossa primeira conversa e por ter me incentivando a traçar metas, deixando clara a existência de limitações e do desenvolvimento profissional e pessoal que poderia surgir dessas limitações.

Aos meus colegas do Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica: Carlos Pinto da Silva Neto e Erikson Magno Gomes de Oliveira; e aos demais colegas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, com quem tenho o prazer de conviver e trabalhar.

Ao mestrando em Geofísica Espacial, Cristiano Sarzi Machado por todo apoio que me deu desde que eu iniciei neste projeto e pela sua amizade.

Meus sinceros agradecimentos: (i) aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada; (ii) ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na iniciação científica e tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; (iii) ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri e a Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, Sra. Egidia Inácio da Rosa, 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 - MCT.

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



SUMÁRIO

RESUMO	3
INTRODUÇÃO.....	4
1. O SOL.....	5
1.1. Vento Solar	5
1.2. Ejeções coronais de massa.....	6
1.3. Ciclo Solar	7
1.4. Tempestades geomagnéticas.....	8
2. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	9
3. A ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.....	11
4. A ATMOSFERA TERRESTRE.....	13
4.1. Divisão da atmosfera de acordo com a temperatura	14
4.1.1. Troposfera.....	14
4.1.2. Tropopausa	14
4.1.3. Estratosfera	14
4.1.4. Estratopausa.....	14
4.1.5. Mesosfera	15
4.1.6. Mesopausa	15
4.1.7. Termosfera.....	15
4.2. Divisão da atmosfera de acordo com seus processos físicos	15
4.2.1. Homosfera	15
4.2.2. Heterosfera.....	15
4.2.3. Exosfera.....	16
4.3. Divisão da atmosfera conforme sua composição iônica.....	16
4.3.1. Magnetosfera	16
4.3.2. Ionosfera	18
5.1. As linhas de emissão do Oxigênio Atômico.....	24
5.1.1. Linha Vermelha (OI 630,0 nm).....	25
5.1.2. Linha Verde (OI 557,7 nm).....	26
5.1.3. OI 777,4 nm.....	27
5.2. As bandas de emissão da Hidroxila – OH (2II).....	27



6.	IRREGULARIDADES NA REGIÃO F DA IONOSFERA	29
7.	MEDIDAS DA TEMPERATURA NA REGIÃO DA MESOPAUSA.....	31
8.	INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA	33
8.1.	O dispositivo CCD (Charge Coupled Device).....	34
8.2.	Fotômetro FOTSUL.....	36
8.3.	Imageador “All-Sky”	37
8.4.	Tratamento dos dados	40
9.	RESULTADOS.....	41
10.	PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	50
11.	PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR.....	51
12.	RESULTADOS E CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS	57



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ejeção coronal de massa fotografada pelo LASCO C2 em Dezembro de 2002;.....	6
Figura 1.2 - Atividade solar relacionada com o ciclo solar;.....	7
Figura 2.1 – Dipolo Magnético Terrestre;.....	9
Figura 3.1 – Mapa magnético terrestre;.....	11
Figura 3.2 – Carta magnética terrestre com intensidade total do Campo Geomagnético;.....	12
Figura 4.1 – A estrutura da Atmosfera Terrestre;.....	13
Figura 4.2 – Representação esquemática da Magnetosfera;.....	17
Figura 4.3 – Cinturão de radiação de Van Allen;.....	18
Figura 4.4 – Perfil vertical da Ionosfera;.....	19
Figura 4.5 – Perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera, mostrando as regiões de concentração dos principais íons que formam a ionosfera e a estrutura das camadas;.....	20
Figura 5.1 – Espectro eletromagnético;.....	21
Figura 5.2 – As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o Perfil de temperatura da atmosfera da Terra;.....	23
Figura 5.3 – Espectro da aeroluminescência noturna de algumas emissões importantes;.....	23
Figura 5.4 – Diagrama de nível de energia para o oxigênio atômico;.....	24
Figura 5.5 – Camadas de emissões para OH e O ₂ ;.....	28
Figura 6.1 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético;.....	29
Figura 7.1 – Comparação do perfil da temperatura atmosférica terrestre obtido por modelos atmosféricos e por dados de sondas esféricas, foguetes e radiosondas;...	32
Figura 8.1 – Localização das estações de monitoramento;.....	34
Figura 8.2 – Imagem do fotômetro zenital FOTSUL, instalado no OES;.....	36
Figura 8.3 – Diagrama de Bloco do sistema do FOTSUL, com o esquema de coleta e armazenamento de dados;.....	37
Figura 8.4 – Modelo de imageador “All-Sky”;.....	38
Figura 8.5 – Diagrama em blocos de um imageador “All-Sky” típico com câmara CCD;.....	39
Figura 9.1 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Janeiro das estações URC e OLAP;.....	41
Figura 9.2 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Fevereiro;.....	42



Figura 9.3 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Março;	42
Figura 9.4 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Abril;	42
Figura 9.5 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Maio;	43
Figura 9.6 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Junho;	43
Figura 9.7 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Julho;	43
Figura 9.8 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Agosto;	44
Figura 9.9 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Setembro;.....	44
Figura 9.10 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Outubro;.....	44
Figura 9.11 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Novembro;.....	45
Figura 9.12 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Dezembro;	45
Figura 9.13 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Janeiro;	45
Figura 9.14 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Fevereiro;.....	46
Figura 9.15 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Março;	46
Figura 9.16 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Abril;	46
Figura 9.17 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Maio;	47
Figura 9.18 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Junho;	47
Figura 9.19 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Julho;	47
Figura 9.20 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Agosto;	48
Figura 9.21 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Setembro;.....	48
Figura 9.22 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Outubro;.....	48
Figura 9.23 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Novembro;.....	49
Figura 9.24 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Dezembro;	49

RESUMO

O Relatório descreve as atividades desenvolvidas pelo aluno **Thalis José Girardi**, acadêmico do Curso de Física Bacharelado, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período compreendido entre Agosto de 2009 e Julho de 2010, com relação à seguinte linha de pesquisa do Projeto: ***“ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL”***.

As atividades desenvolvidas pelo aluno contaram com a colaboração da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM-MEC – através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM - MEC – em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT – através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT –, em Santa Maria, RS e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE - MCT –, em São Martinho da Serra, RS.

Durante o período de vigência da bolsa o acadêmico atuou diretamente na operação de equipamentos, bem como na redução e manutenção do banco de dados do Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/CRS/CCR/INPE - MCT, no Observatório Espacial do Sul e no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – LMLA/CRS/CIE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS.

INTRODUÇÃO

A Luminescência Atmosférica ou Aeroluminescência é um fenômeno óptico da Atmosfera Terrestre que ocorre entre 80 e 300 km de altitude, consistindo na emissão da radiação eletromagnética pelos constituintes atmosféricos em decorrência de processos de reações fotoquímicas e iônicas.

A observação do fenômeno é útil para o sensoriamento remoto da média e da alta atmosfera, uma vez que as medidas de variações temporais e espaciais fornecem importantes informações sobre processos físicos (propagação de ondas, ventos e temperatura) e químicos (reações entre os constituintes) desta região.

Nos capítulos iniciais é feita uma revisão teórica sobre Clima Espacial, interações entre o Sol e a Terra, formação do campo geomagnético, Anomalia Magnética do Atlântico Sul, camadas atmosféricas, irregularidades ionosféricas e medidas de temperatura na mesopausa terrestre.

É apresentada uma descrição dos equipamentos utilizados para monitoramento das emissões de aeroluminescência, dando-se ênfase ao funcionamento de fotômetros câmeras imageadoras e também do dispositivo *Charge Coupled Device*. São apresentados comentários sobre as localizações das estações de monitoramento, e dos equipamentos operados nelas e tópicos do tratamento dos dados.

São apresentadas as médias mensais de emissões, as atividades que foram desenvolvidas, as atividades planejadas e as conclusões.

1. O SOL

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, influenciando diretamente em fenômenos físicos do nosso planeta (como a aeroluminescência e a geração de irregularidades ionosféricas) e provocando vários distúrbios no geoespaço como o comprometimento dos dados provenientes de satélites e redução da vida útil dos mesmos, interferência em sistemas de geoposicionamento e danos em sistemas tecnológicos (tanto terrestres, quanto espaciais).

O nome Clima Espacial é atribuído à área do conhecimento que estuda o conjunto de condições que mudam constantemente no espaço interplanetário como resposta a atividade solar e como isso afeta os astros. Segundo R. Russel, o vento solar, a radiação eletromagnética e o campo magnético interplanetário são exemplos de condições.

Em seguida disserta-se sobre alguns fenômenos e características do Sol (vento solar, ejeções de massa coronais, tempestades magnéticas e ciclo solar) que influenciam na variação das emissões de aeroluminescência.

1.1. Vento Solar

Em decorrência da diferença de pressão entre os gases da coroa solar e do espaço interestelar nas proximidades do Sol a coroa solar está constantemente emitindo um plasma (gás de íons e elétrons), que é chamado de vento solar. O vento solar, composto principalmente de elétrons e prótons, espalha-se por todo meio interplanetário, passando pela Terra com uma velocidade média de 400-500 km/s e densidade média de 5 partículas por cm^3 (Brandt, 1970). Seu fluxo propaga-se até um ponto onde a pressão do vento interestelar e do vento solar se equilibram, chamada de heliopausa, uma grande onda de choque, cuja localização não é muito bem estabelecida. Estima-se que a heliopausa esteja localizada em torno de 100 UA (Da Silva, 2005).

1.2. Ejeções coronais de massa

As ejeções coronais de massa (CMEs, da sigla em inglês, *coronal mass ejections*) consistem em desprendimentos de plasma do Sol, em seguida se propagando do meio interplanetário. Após a ejeção estas estruturas propagam-se pelo espaço interplanetário, quando passam a ser denominadas ICME (da sigla em inglês, *interplanetary coronal mass ejections*). Quando as ICMEs interagem com o campo magnético terrestre produzem distúrbios geomagnéticos. Devido a sua velocidade de várias centenas de km/s as ICMEs estão acompanhadas de ondas de choque.

A figura 1.1 representa uma CME fotografada em Dezembro de 2002.

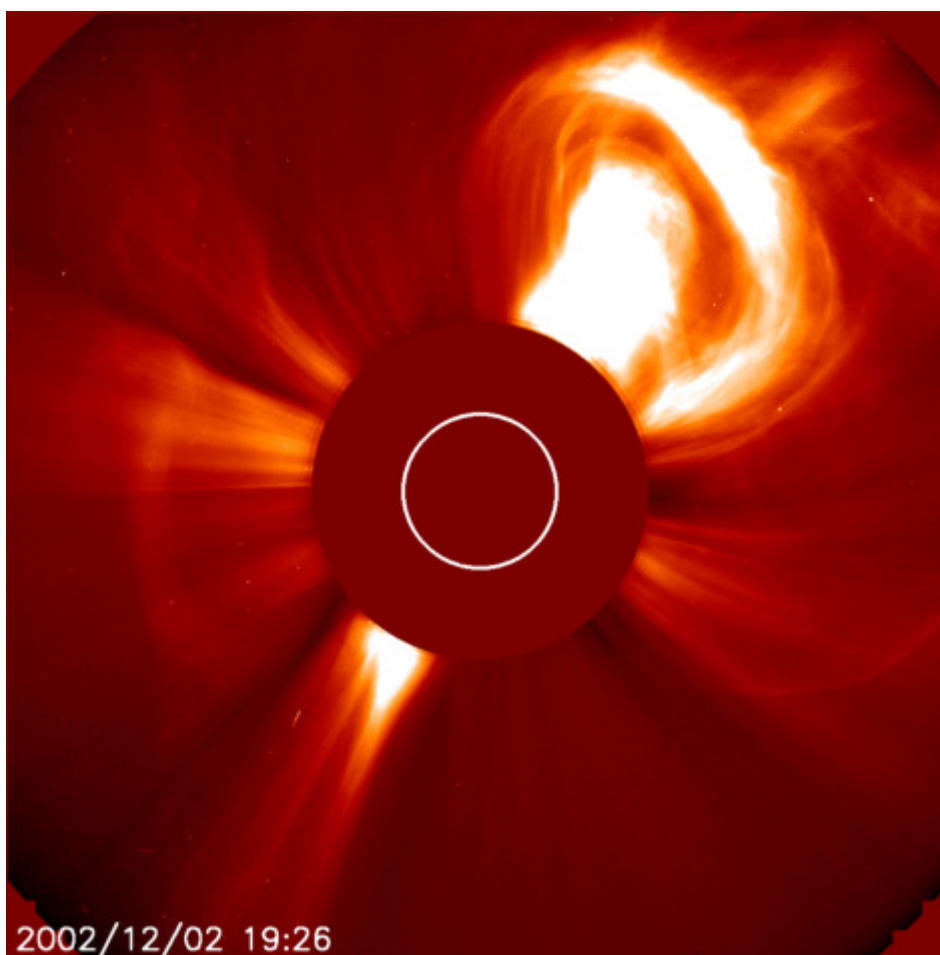


Figura 1.1 – Ejeção coronal de massa fotografada pelo LASCO C2 em Dezembro de 2002;
Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/20021202c2cme.html>

1.3. Ciclo Solar

O Sol possui um ciclo de atividade de 11 anos, em que são identificadas quatro fases distintas: fase de mínimo solar, fase ascendente, fase de máximo solar e fase descendente, conforme a figura 1.2. O período de mínimo é caracterizado por baixo número de manchas solares, esse número vai crescendo até atingir a máxima atividade e, então, volta a decrescer.

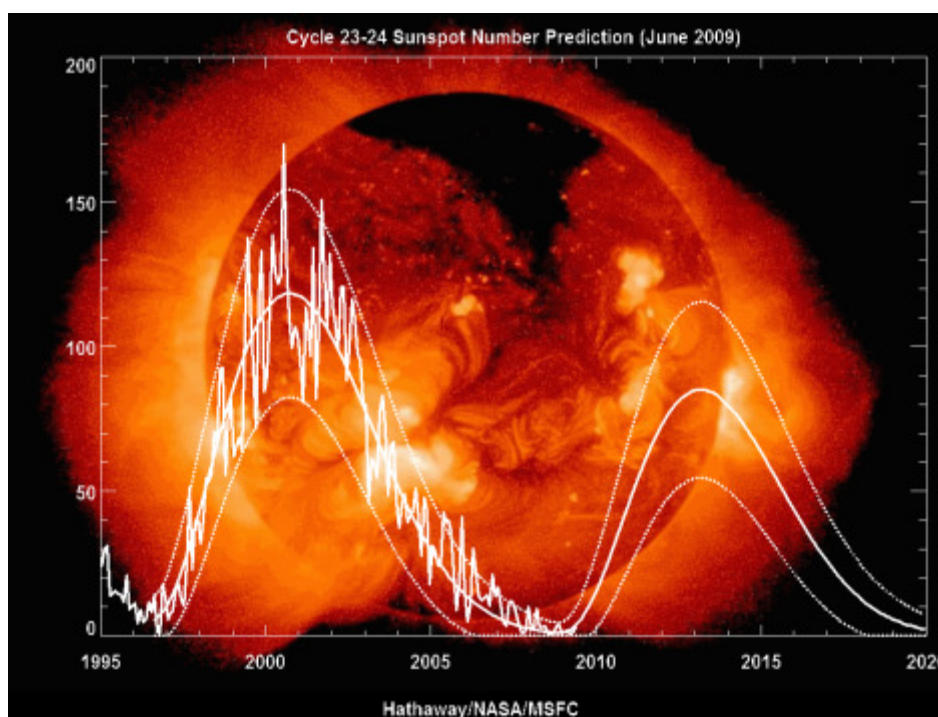


Figura 1.2 - Atividade solar relacionada com o ciclo solar;
Fonte: http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_1.gif

1.4. Tempestades geomagnéticas

Observações realizadas na metade do século XIX baseadas em magnetômetros terrestres constataram episódios de fortes flutuações no Campo Magnético Terrestre, sendo denominadas “Tempestades Geomagnéticas” ou “Tempestades Magnéticas” (Gonzalez et al, 1994).

Nesses eventos ocorre grande transferência de energia do vento solar para o campo magnético terrestre, provocando maior precipitação de partículas energéticas provenientes do sol e, conseqüentemente, intensificando as emissões da aeroluminescência.

2. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

A *Teoria do Dínamo* é atualmente a mais aceita para explicar grande parte do mecanismo do campo geomagnético (Kirchoff, 1991), porém esse modelo não explica a reversão do alinhamento do campo geomagnético.

O campo geomagnético pode ser entendido como a composição de um dipolo magnético excêntrico (atuando como componente principal do campo) e de vários outros campos secundários. Acredita-se que o componente principal do campo geomagnético origina-se no interior da Terra, resultante de correntes fluindo em um núcleo metálico em estado de fusão. Essas correntes seriam oriundas de uma ação equivalente a de um dínamo de auto-excitação, que estaria presente no núcleo terrestre, representando mais de 90% da intensidade total do campo magnético da Terra. A figura 2.1 é uma representação do campo magnético terrestre:

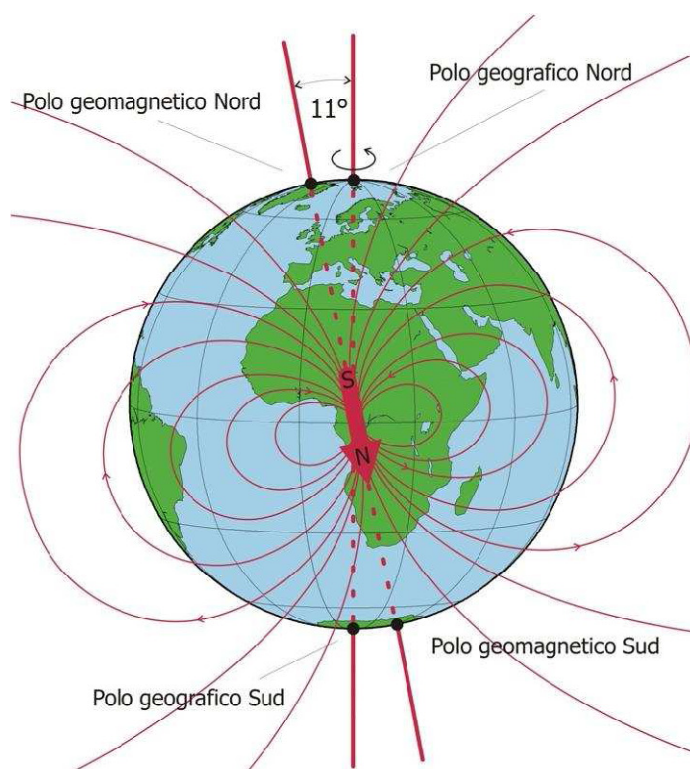


Figura 2.1 – Dipolo Magnético Terrestre;
Fonte: www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/

De acordo com a teoria, o componente principal do campo geomagnético pode ser representado como dipolo magnético colocado no centro da Terra com seu centro deslocado e inclinado $11,5^\circ$ em relação ao eixo de rotação da Terra.

Os componentes secundários do campo magnético terrestre possuem intensidade muito variável e contribuem em escala muito menor, sendo produzidos por correntes elétricas na Ionosfera e na Magnetosfera.

Um efeito da presença do campo geomagnético é sua influencia sobre o movimento de partículas carregadas, como elétrons livres e íons, que estão presentes na Ionosfera e na Magnetosfera. Além disso, a presença do campo geomagnético impede a incidência direta de partículas energéticas originárias do vento solar.

Existem basicamente dois tipos de variação magnética. Uma delas esta associada a períodos magneticamente calmos. A outra refere-se a variações mais intensas, associadas a tempestades magnéticas.

As variações diurnas calmas subdividem-se em dois tipos principais: a variação Sq, influenciada pela ação do Sol (S) em tempo calmo (q), e a variação L, mais fraca, influenciada pela Lua (L).

3. A ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) foi descoberta em 1950 e é uma região da Terra que apresenta intensidade do campo geomagnético muito baixa, resultando numa grande depressão na Magnetosfera terrestre. Esta região estende-se atualmente sobre o sul da America do Sul e sobre a região do Atlântico Sul.

Na figura 3.1 temos o mapa magnético terrestre, em que podemos visualizar a AMAS em azul escuro.

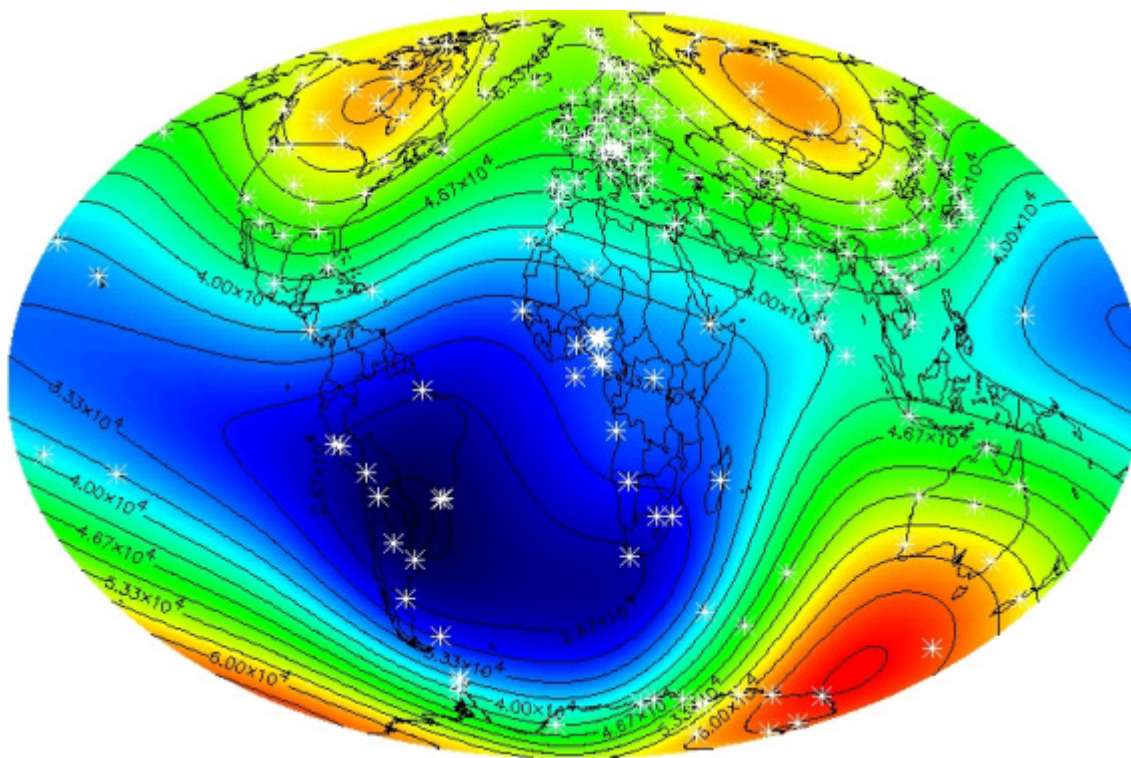


Figura 3.1 – Mapa magnético terrestre;
Fonte: NASA

No entanto, mapas sistemáticos da configuração da AMAS têm sido obtidos desde 1922, com resultados recentes indicando uma variação anual de seu centro em cerca de 0.25° para oeste e de 0.05° para norte. Na parte central da anomalia, a intensidade do campo geomagnético apresenta um mínimo global, em torno de 22.500 nT.

Em consequência da depressão na Magnetosfera, os cinturões de radiação de Van Allen são pressionados em direção à superfície terrestre, ocasionando larga precipitação de partículas energéticas na alta atmosfera da região. Como consequência, ocorre perturbações no campo geomagnético e na Ionosfera. Por esse motivo, a AMAS é um bom local de observação de fenômenos que envolvam a Alta Atmosfera (Makita, 1997). A figura 3.2 mostra o modelo IGRF da Intensidade Total do Campo Geomagnético para o ano de 2005.

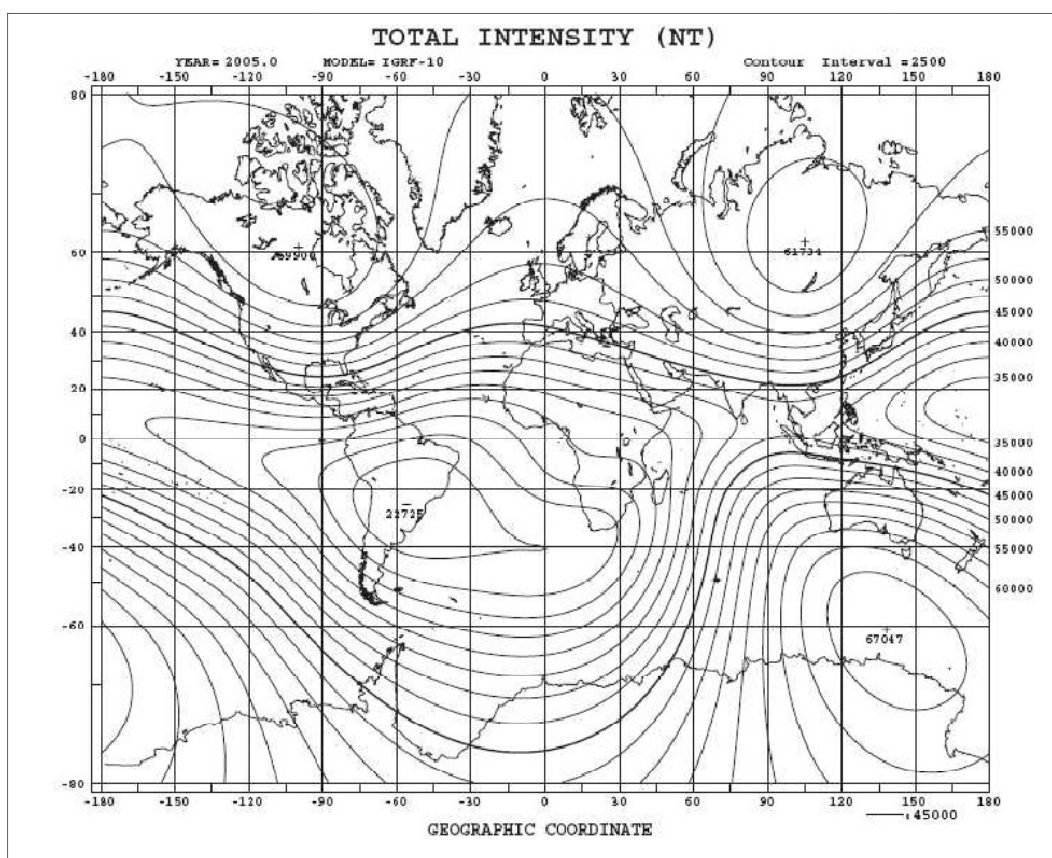


Figura 3.2 – Carta magnética terrestre com intensidade total do Campo Geomagnético;
Fonte: <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/map/t-m.pdf>

4. A ATMOSFERA TERRESTRE

A atmosfera terrestre é constituída de uma combinação de gases, que atraídos pela força gravitacional da Terra. Acredita-se que a atmosfera originou-se a partir da liberação de gases do interior da Terra. Em decorrência de estes gases serem liberados por erupções vulcânicas, os gases mais abundantes da composição da atmosfera pré-biológica eram provavelmente gás carbônico, vapor de água e hidrogênio. A única fonte de produção de oxigênio era a dissociação do vapor da água pela radiação solar, entretanto o oxigênio liberado era rapidamente consumido em outras reações com hidrogênio ou minerais da superfície. Foi com o surgimento da vida em nosso planeta que se iniciou a produção sistemática de oxigênio.

Nas próximas páginas nós veremos as divisões da atmosfera conforme temperatura, processos físicos e composição iônica. A Figura 4.1 mostra as divisões e também um gráfico da variação da temperatura em função da altitude.

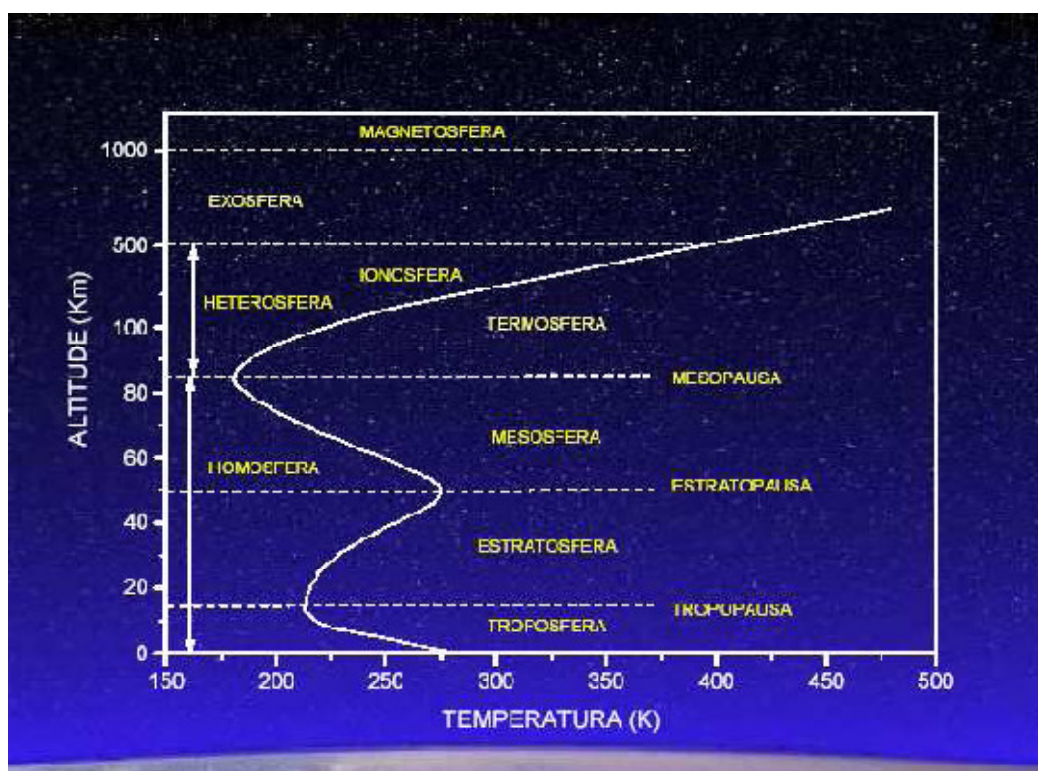


Figura 4.1 – A estrutura da Atmosfera Terrestre;
Fonte: Adaptada de Brasseur e Solomon (1986, p. 33).

4.1. Divisão da atmosfera de acordo com a temperatura

Abaixo são listadas as subdivisões da atmosfera de acordo com a temperatura e também as zonas de transição, onde ocorre inflexão na temperatura, havendo um gradiente de temperatura nulo.

4.1.1. Troposfera

Região que se estende da superfície terrestre até a altura de aproximadamente 15 km, dependendo da latitude. A temperatura diminui numa taxa de 7 K.km^{-1} , até um valor mínimo de 220 K. A convecção e a radiação são os processos mais importantes de transferência de energia, dissipando calor. A absorção direta da radiação solar no infravermelho e no visível influencia na temperatura.

4.1.2. Tropopausa

Região de transição situada entre a troposfera e a estratosfera, onde ocorre a mínima temperatura entre as duas regiões. No Equador, sua altitude é de 15 km em média, com uma temperatura de 195 K, aproximadamente. Nos pólos, sua altitude é de 8 a 10 km, com uma temperatura aproximada de 220 K.

4.1.3. Estratosfera

Situa-se acima da troposfera, aproximadamente entre 15 e 50 km de altitude. A temperatura aumenta com a altitude, ficando em torno de 270 K. Esse valor de temperatura é alcançado pela absorção e reemissão da radiação solar ultravioleta pelo ozônio atmosférico e pelo vapor de água. Na estratosfera, o processo de radiação é o principal agente dissipador de calor, enquanto a convecção deixa de ter um desempenho considerável.

4.1.4. Estratopausa

É a camada de transição situada entre a alta estratosfera e a baixa mesosfera. Situa-se em torno de 50 km de altitude, apresentando uma temperatura em torno de 270 K.

4.1.5. Mesosfera

Esta camada está localizada acima da estratosfera e está aproximadamente situada entre 50 e 90 km, localizada acima da estratosfera. A temperatura diminui com a altitude até atingir a menor temperatura da atmosfera, que é 190 K. Nestas altitudes a radiação ainda é um importante processo para a remoção do calor.

4.1.6. Mesopausa

É a região da atmosfera que determina o limite entre a mesosfera e a termosfera, situando-se em torno de 85 km de altitude, com a menor temperatura da atmosfera, que gira em torno de 190 K.

4.1.7. Termosfera

Camada atmosférica localizada aproximadamente entre 90 e 300 km de altitude. A temperatura aumenta conforme aumenta a altitude, atingindo um valor aproximado de 3000 K. Nessa região, o principal mecanismo para dissipação de energia e a condução, sendo mínima a convecção.

4.2. Divisão da atmosfera de acordo com seus processos físicos

4.2.1. Homosfera

Esta camada estende-se da superfície terrestre até 100 km de altitude. Essa região é caracterizada por possuir uma mistura praticamente uniforme dos gases, compondo-se principalmente de nitrogênio (78,08%), oxigênio (20,94%), argônio (0,93%), dióxido de carbono (0,03%) e vapor de água (1%).

4.2.2. Heterosfera

Esta situada entre 100 e 500 km de altitude. As moléculas estão distribuídas de forma heterogênea devido à tendência das moléculas gasosas se distribuírem de acordo com o seu peso e carga elétrica.

4.2.3. Exosfera

Camada localizada acima de 500 km de altitude. Nessa região o ar é muito rarefeito e colisões entre moléculas ocorrem sem muita frequência. As partículas constituintes da atmosfera que são mais leves, como o H e He, são constantemente perdidas para o meio interplanetário.

4.3. Divisão da atmosfera conforme sua composição iônica

4.3.1. Magnetosfera

A magnetosfera, conforme a representação esquemática vista na figura 4.2 é uma região envoltória ao planeta Terra, constituindo a parte exterior da atmosfera, onde o campo geomagnético controla movimento do plasma, procedente do vento solar. Essa estrutura tem sua forma dipolar distorcida devido à pressão exercida por uma onda de choque (*bow shock*) entre a magnetosfera e o vento solar e por uma cauda extensa (*magnetotail*) que se forma na direção oposta. A magnetopausa, que separa as regiões do campo magnético interplanetário da região do campo geomagnético, está a uma distância aproximada de 10 raios terrestres na face voltada para o sol e cerca de 10 vezes maior na outra direção.

A existência do campo geomagnético (e a região originada, a magnetosfera) é essencial para a vida terrestre, uma vez que ele protege a superfície terrestre de partículas de altas energias oriundas do vento solar e de parte dos raios cósmicos. O vento solar se choca com o campo geomagnético em velocidades supersônicas.

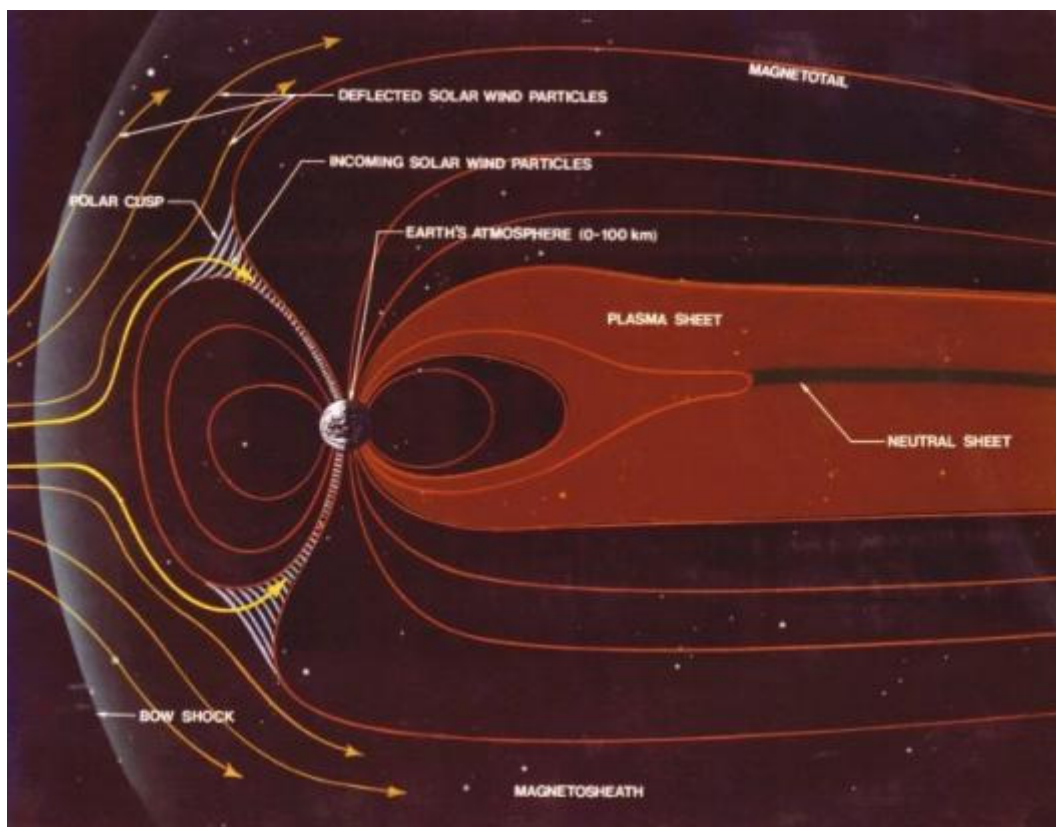


Figura 4.2 – Representação esquemática da Magnetosfera;

Fonte: <http://www.nasa.gov/>

Em 1958 foram descobertas, dentro da Magnetosfera, imensas regiões de radiação, agora conhecidas como cinturões de radiação Van Allen (figura 4.3), em homenagem ao seu descobridor. Esses cinturões contêm prótons e elétrons de alta energia entre 1-100 MeV, oferecendo grande risco aos astronautas, pois facilmente penetram em uma nave espacial que estiver nessa região. O cinturão de Van Allen é composto de duas faixas, sendo que a interior se situa entre 2200 e 5000 km, e a exterior entre 13000 e 55000 km da superfície da Terra.

Não existe uma delimitação entre os dois cinturões; eles se fundem em altitudes variáveis. Durante os períodos de intensa atividade solar, grande parte das partículas eletricamente carregadas vindas do Sol consegue romper a barreira formada pelos cinturões de radiação de Van Allen, que ao atingir a alta atmosfera produzem os fenômenos das auroras polares e das tempestades magnéticas.

Na Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS (que será estudada no próximo capítulo) a região de radiação do cinturão de Van Allen mais interno se aproxima da

superfície terrestre. A consequência é que a intensidade da radiação que penetra nessa região intensifica-se. O cinturão, ao se aproximar da superfície da Terra, reduz a espessura da camada de proteção, blindagem, do Planeta. O reduzido isolamento proporcionado pelo cinturão na região da AMAS facilita a penetração de partículas carregadas.

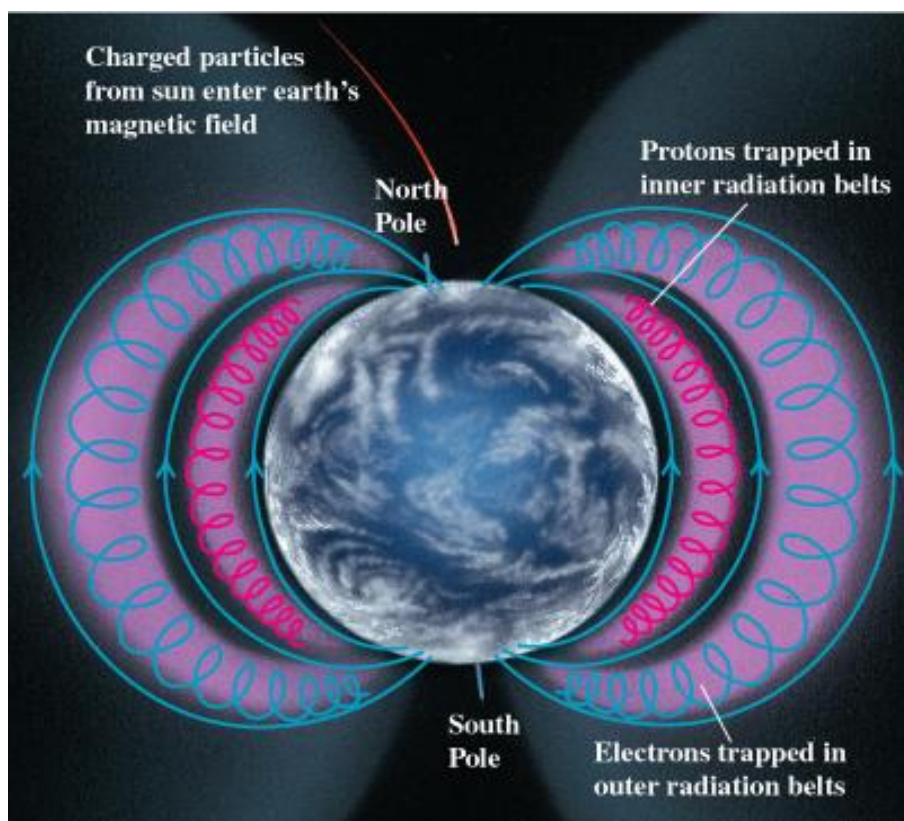


Figura 4.3 – Cinturão de radiação de Van Allen;
Fonte: http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm

4.3.2. 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 com alta densidade de cargas livres, o plasma ionosférico. Os limites dessa camada ionizada vão desde 60 km (dia) e 90 km (noite) até aproximadamente 1000 km de altitude. As fontes solares ionizantes da 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, D,

E e F. A Figura 4.4 apresenta a ilustração de um perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera.

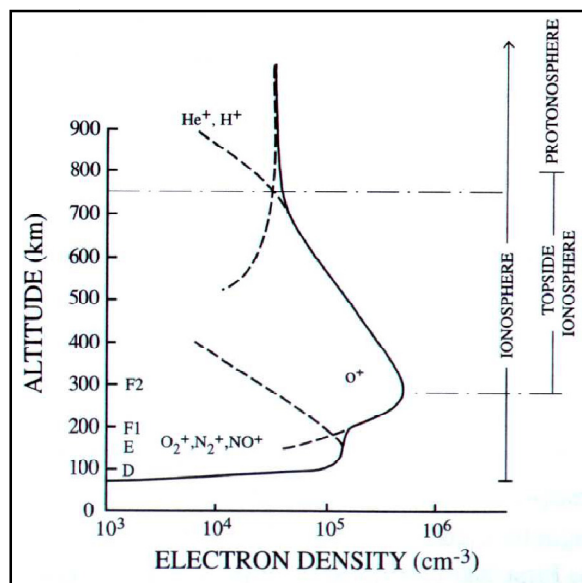


Figura 4.4 – Perfil vertical da Ionosfera;
Fonte: Robert & Andrew, 2000. Página 30

Região D

Localizando-se do limite inferior da ionosfera, que é aproximadamente 60 km até 90 km de altitude, é chamada de baixa ionosfera. Possui a menor densidade eletrônica de todas as regiões ionosféricas. Uma vez que a ionização dessa região é altamente dependente da energia solar, durante a noite ela praticamente desaparece, devido à rápida recombinação de seus íons. As radiações ionizantes predominantes são os raios X e a radiação Lyman- α .

Região E

Situada aproximadamente entre 90 e 150 km de altitude, a região E possui a maior condutividade elétrica ionosférica. Subdivide-se em camada E2, relativamente mais densa, e camada Es (esporádica) instável. As principais fontes de ionização são os raios X, a radiação Lyman- β e as radiações EVU.

Região F

Localizada logo acima da região E. Inicia em torno dos 150 km, estendendo-se até o limite superior da ionosfera, numa altitude de aproximadamente 1000 km. Subdivide-se em camada F1, F2. Estuda-se uma terceira camada, a F3. A camada F1 localiza-se

aproximadamente entre 150 e 250 km de altitude. Sua principal fonte de ionização e a radiação solar no espectro do EUV. Nesta região aparece um pico esporádico na concentração eletrônica em torno de 180. A camada F2 localiza-se aproximadamente entre 250 e 1000 km, englobando o pico de concentração iônica. Essa região e dominada por processos dinâmicos, havendo forte interação entre a ionosfera superior e os ventos termosféricos. A camada F3, ainda em estudo, possui altitude de localização dependente das condições solares, sazonais e atmosféricas. A figura 4.5 representa um perfil de composição iônica para a Ionosfera diurna e noturna.

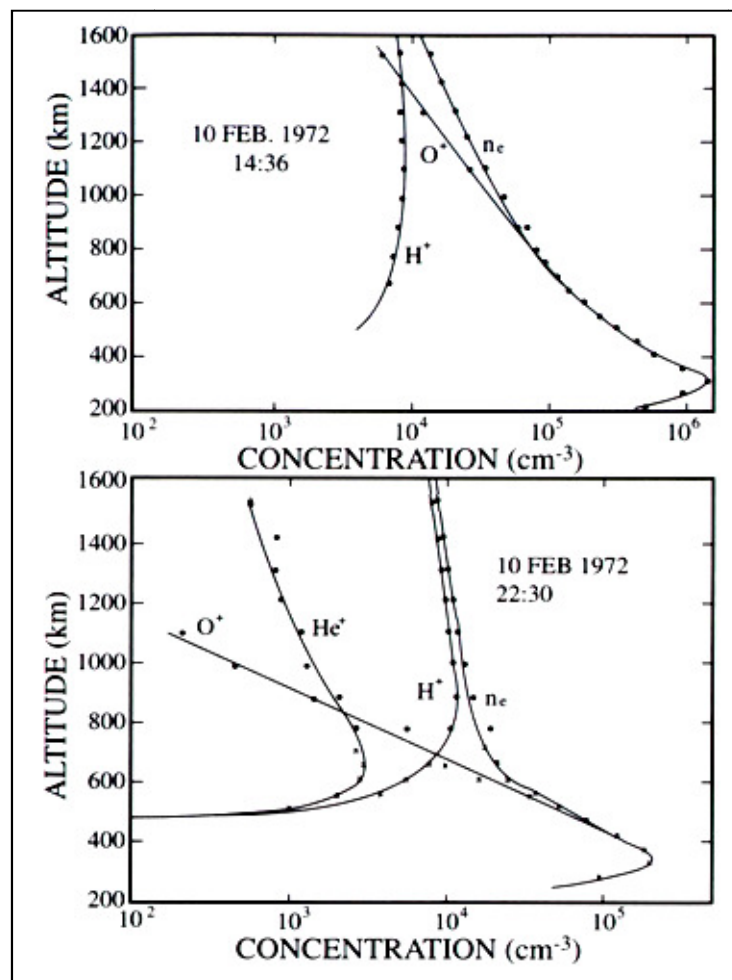


Figura 4.5 – Perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera, mostrando as regiões de concentração dos principais íons que formam a ionosfera e a estrutura das camadas;
Fonte: Robert & Andrew, 2000. Página 334

5. LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

A existência do que hoje denominamos aeroluminescência ou luminescência atmosférica foi estabelecida por Yantema (1909). No entanto, já a partir do ano 1900, vários astrônomos começaram a admitir a existência de uma componente terrestre para a luz do céu noturno. Newcomb e Burns foram os primeiros a medir esse efeito visualmente, em 1901 e 1902, respectivamente. Sydney Chapman, em 1931, propôs a teoria atualmente aceita para o mecanismo da aeroluminescência.

Em 1930, Lord Rayleigh IV conseguiu distinguir a aeroluminescência do fenômeno das auroras, denominando aquela de aurora não-polar.

A aeroluminescência é definida como uma radiação amorfa, continuamente emitida pela atmosfera de um Planeta (Chamberlain, 1961). Ao ocorrer o processo de relaxação energética, os constituintes excitados emitem uma radiação tênue e de extensa faixa espectral, que vai do ultravioleta ($\lambda \sim 250 \text{ nm}$) ao infravermelho ($\lambda \sim 4 \mu\text{m}$). A figura 5.1 apresenta o espectro eletromagnético.

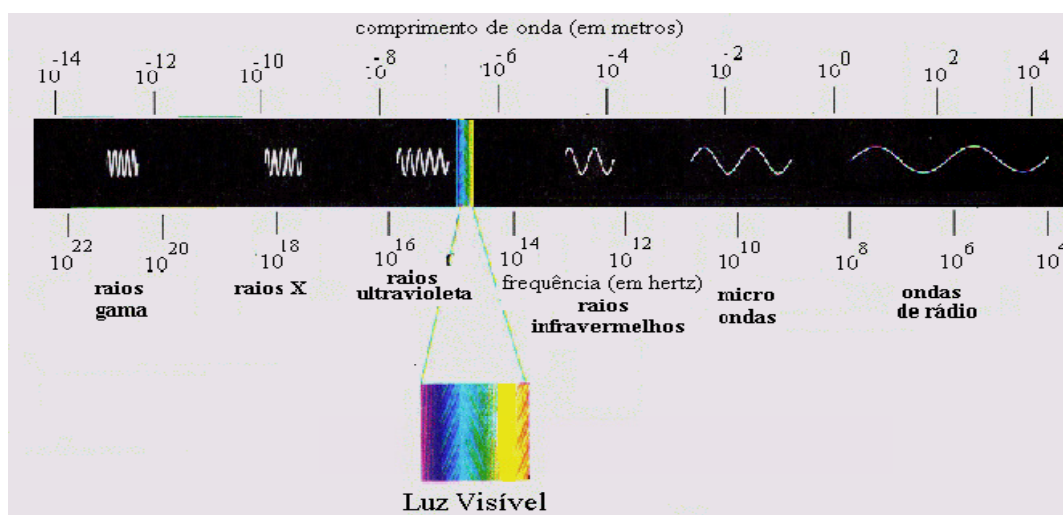


Figura 5.1 – Espectro eletromagnético;
Fonte: www.dhnet.org.br/.../images/espectro.gif

A transferência de energia proveniente da radiação solar para os átomos e moléculas da atmosfera terrestre é o principal processo responsável pela geração do fenômeno de aeroluminescência. No entanto, outros processos que desencadeiam emissões de

luminescência envolvem reações fotoquímicas entre os componentes atmosféricos. Alguns desses processos mais comuns são a ressonância, a fluorescência, a quimiluminescência e a excitação por colisões.

A aeroluminescência pode ser nomeada de acordo com o ângulo zenital da radiação solar, podendo ser diurna (“Dayglow”), crepuscular (“Twilight”) ou noturna (“Nightglow”). A utilização de medidas noturnas da aeroluminescência é a mais usada, pois a presença da radiação solar torna o espectro complexo e com uma elevada intensidade de ruído. Para especificar a quantidade luminosa de luminescência, utiliza-se a unidade Rayleigh (R). Um Rayleigh corresponde à intensidade de uma fonte isotrópica de radiação que emite 10^6 fótons por centímetro quadrado de coluna de ar, por segundo.

Através da aeroluminescência, pode-se estudar:

- a) processos químicos, iônicos e dinâmicos que regem a distribuição vertical dos vários constituintes atmosféricos;
- b) processos de excitação que geram emissões ópticas;
- c) a geração e propagação de irregularidades do plasma ionosférico;
- d) os processos ligados a deposição de partículas neutras energéticas na alta atmosfera;
- e) ondas atmosféricas;
- f) temperatura da mesosfera superior (valor médio integrado na camada);
- g) o acoplamento entre a termosfera e ionosfera.

O comprimento de onda da emissão de aeroluminescência depende do componente atmosférico emissor. A emissão ocorre através de linhas ou bandas espectrais. Existem três espécies importantes de emissões da aeroluminescência no espectro visível:

- a) as emissões do Oxigênio Atômico e Molecular (O , O_2);
- b) as bandas vibracionais e rotacionais da Hidroxila (OH);
- c) as emissões de átomos metálicos, como o Sódio, Potássio, Magnésio e Cálcio;
- d) N_2^+ : Íon molecular de nitrogênio, 391,4 nm.

Algumas das principais emissões da aeroluminescência são tratadas a seguir. A figura 5.2 apresenta o perfil de temperatura da atmosfera terrestre de acordo com a altitude e as principais bandas de emissão da aeroluminescência; a figura 5.3 apresenta uma parte do espectro do *Nightglow*.

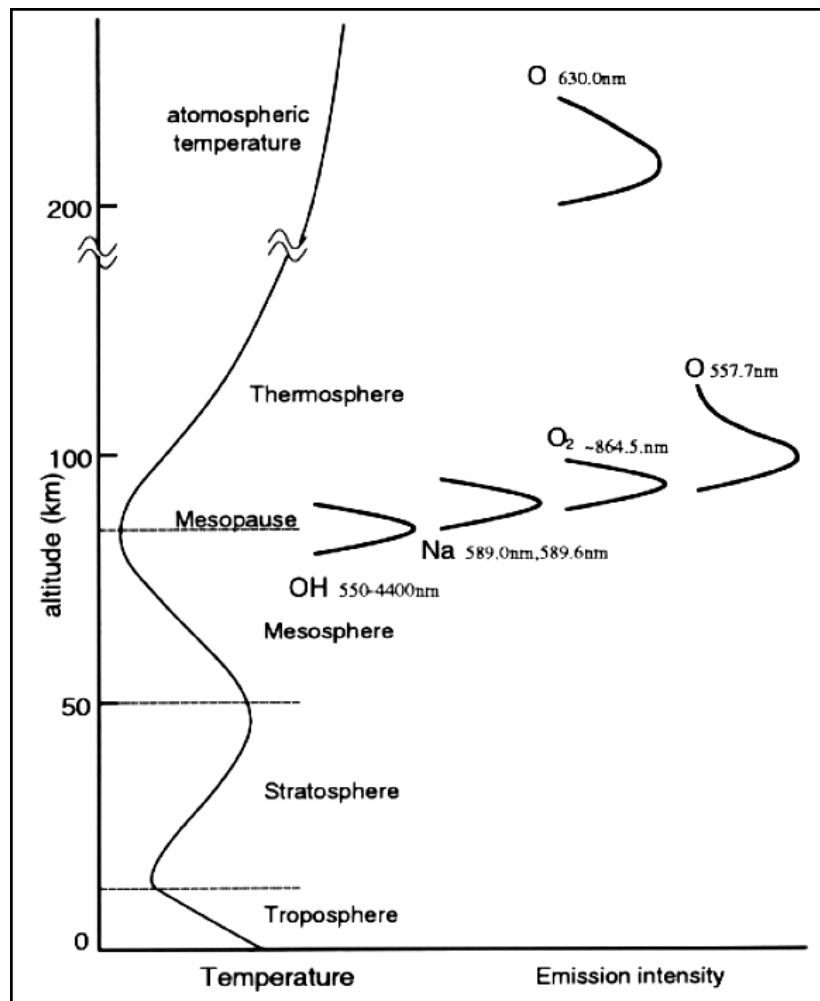


Figura 5.2 – As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o Perfil de temperatura da atmosfera da Terra;
 Fonte: Maekawa (2000, p.4).

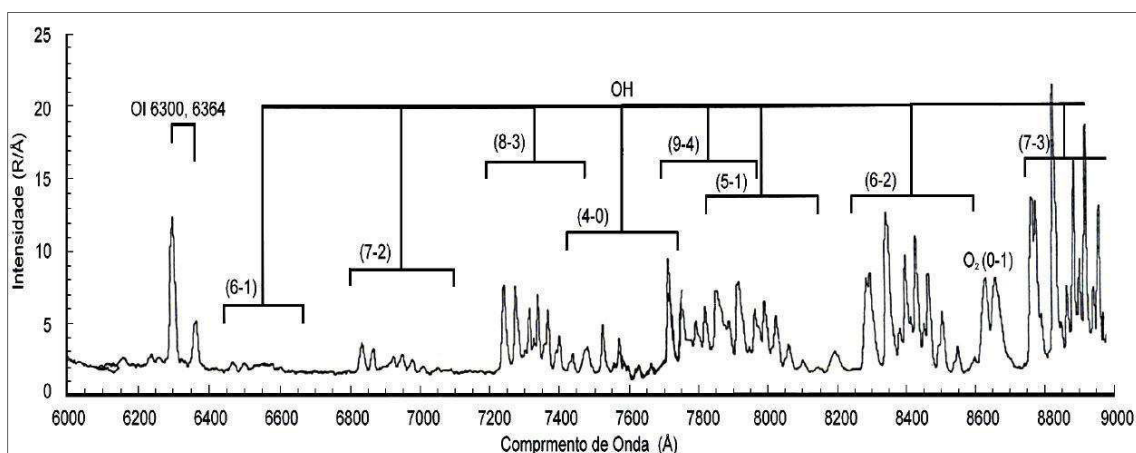


Figura 5.3 – Espectro da aeroluminescência noturna de algumas emissões importantes;
 Fonte: Adaptada de Johnston (1993, p. 215).

5.1. As linhas de emissão do Oxigênio Atômico

As linhas mais importantes de emissão da aeroluminescência do oxigênio atômico ionizado (OI) são em 630 nm – linha vermelha, 557,7 nm – linha verde e em 777,4 nm. A Figura 5.4 ilustra os níveis de energia do oxigênio atômico relativos às várias transições eletrônicas deste átomo.

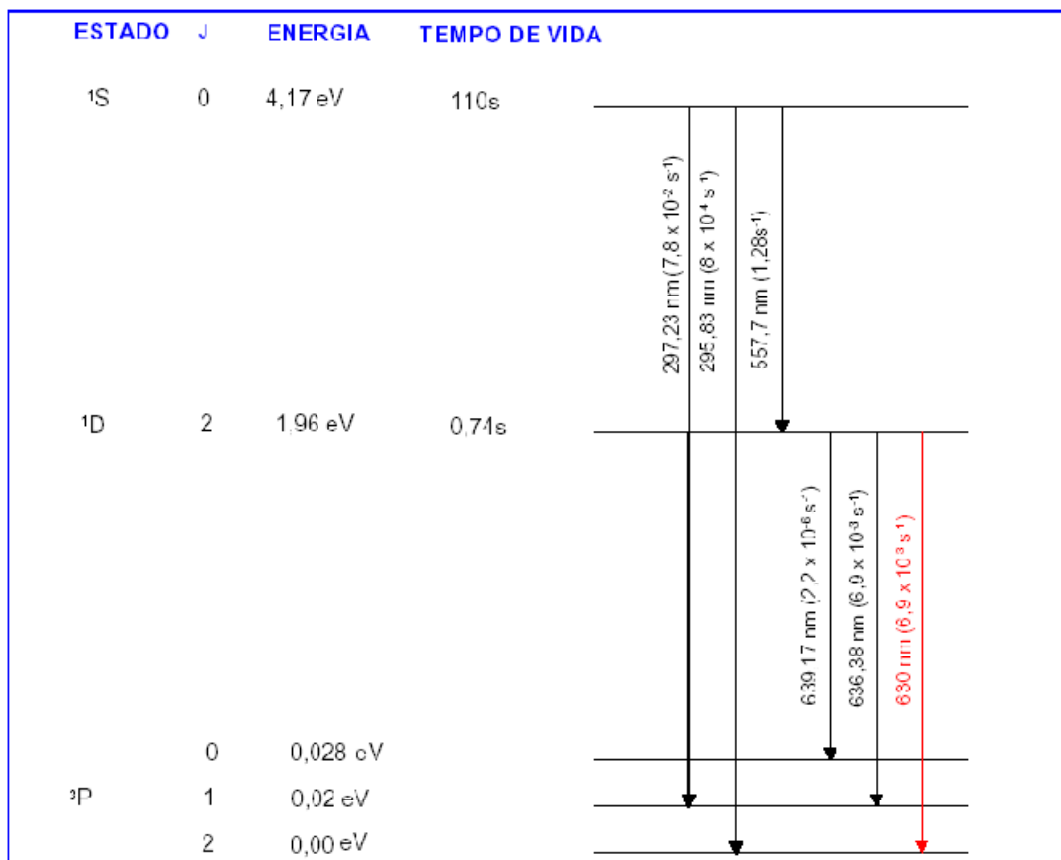


Figura 5.4 – Diagrama de nível de energia para o oxigênio atômico;
Fonte: Krassovsky (1962, p. 912).

5.1.1. Linha Vermelha (OI 630,0 nm)

A linha vermelha (630 nm) do OI é emitida pelo átomo de oxigênio no nível de energia O(¹D), que 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 O₂⁺ com elétrons da região F da ionosfera. Este processo é expresso pela seguinte reação (Whoite, 2000):

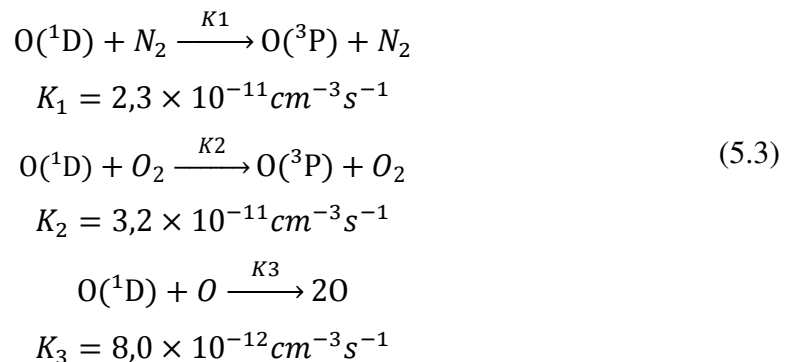


Na reação 5.1, h é a constante de Planck, ν é a frequência correspondente ao comprimento de onda 630 nm. O símbolo (*) indica que o átomo está no estado excitado. A relação de rendimento para o O(¹D) produzido como uma função de altura pode ser calculada a partir das taxas de emissão volumétrica. Neste cálculo a produção e a perda são apresentadas por Link e Cogger (1988).

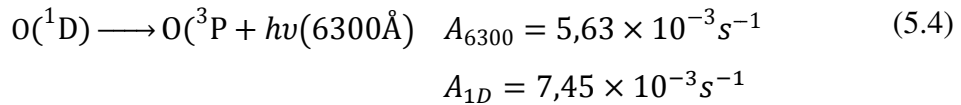
Produção:



Perda do O(¹D):



Radiação:



Com estes dados é possível calcular a taxa de emissão volumétrica através da seguinte equação:

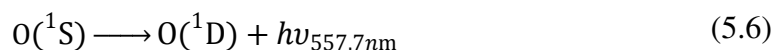
$$V_{6300} = f(^1\text{D})\alpha_1[\text{O}_2^+][e] \times \frac{A_{6300}}{A_{1D} + K_1[\text{N}_2] + K_2[\text{O}_2] + K_3[\text{O}]} \quad (5.5)$$

A linha vermelha é a mais utilizada no estudo da química e da dinâmica da região F noturna. Ela provém de uma camada de emissão com aproximadamente 50 km de espessura localizada abaixo do pico de emissão da região F, com sua fonte de emissão entre 240 e 300 km de altitude. A intensidade da aeroluminescência nesse comprimento de onda varia conforme a densidade de elétrons ionosféricos. Ela é mais intensa quando a densidade de elétrons é maior, nas ocasiões em que o plasma ionosférico se move para baixo. A intensidade é menos intensa quando o plasma ionosférico move-se para cima, diminuindo a densidade de elétrons ionosféricos.

5.1.2. Linha Verde (OI 557,7 nm)

A linha verde do oxigênio atômico possui uma fonte de emissão na região E, na altura da mesosfera e outra na região F (Takahashi, 1987). A maior parte dessa emissão surge da recombinação do oxigênio atômico na mesopausa, em médias latitudes. Em baixas latitudes, uma fração significativa desta emissão surge de processos de recombinação dissociativa na região F. As medidas fotométricas em solo obtêm a intensidade integrada das duas fontes, na região E e F. Na região F, o processo de produção do Oxigênio atômico excitado $\text{O}(1\text{S})$ e a recombinação dissociativa do íon Oxigênio Molecular com elétrons. Este processo a noite e o mesmo da emissão da linha OI 630 nm, porém a fração de produção é aproximadamente 20 % da mesma.

A emissão da linha verde é causada por um processo de recombinação dissociativa do íon oxigênio (Jacob, 1985), como pode ser visto na equação 5.6:



5.1.3. OI 777,4 nm

A emissão do OI 777,4 nm possui intensidade relativamente fraca. Ela é gerada em todas as alturas da Ionosfera, não sendo afetada de maneira significativa pelo movimento da deriva vertical do plasma ionosférico. A recombinação radioativa e a recombinação íon-íon são os dois mecanismos propostos para as emissões do oxigênio atômico que gera essa linha (Hanson, 1969).

5.2. As bandas de emissão da Hidroxila – OH (2II)

As bandas de emissão do radical hidroxila são conhecidas como bandas de Meinel. O espectro da aeroluminescência noturna da hidroxila é mostrado na figura 5.3. O mecanismo proposto para excitação do radical OH na mesopausa, consta de uma reação entre hidrogênio e ozônio (Bates e Nicolet, 1950).

A camada de emissão da aeroluminescência do OH está localizada na região da mesosfera, com um pico de emissão em torno de 87 km. A figura 5.5 aponta as camadas de emissões de aeroluminescência de hidroxila e oxigênio molecular na atmosfera.

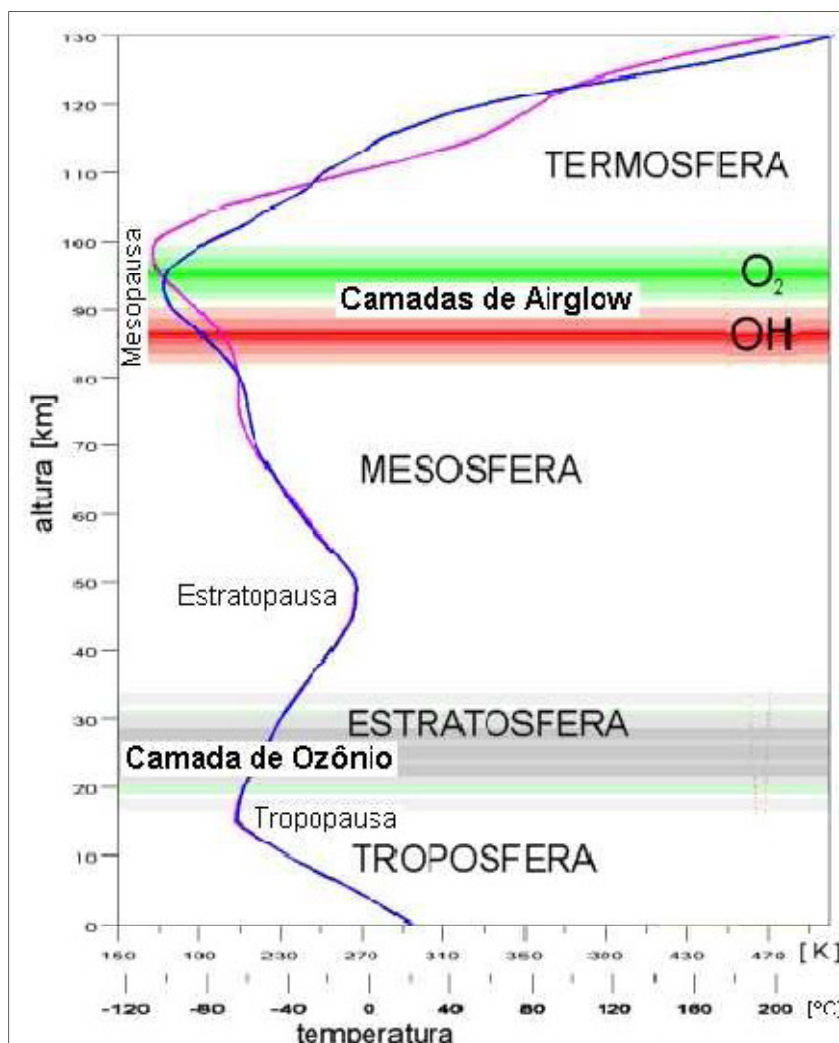


Figura 5.5 – Camadas de emissões para OH e O₂;

Fonte: http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos_lecture_br.html

As observações da aeroluminescência mesosférica fornecem informações sobre os processos dinâmicos e fotoquímicos da mesosfera superior. A aeroluminescência das emissões de hidroxila tem sido usada há pelo menos três décadas para inferir o movimento de ondas de gravidade e marés atmosféricas que se propagam na região da alta atmosfera. Observações contínuas são imperativas para o estudo do regime de ondas, que têm períodos entre 5 minutos a 12 horas na região da mesosfera superior. Além disso, a temperatura rotacional do OH (6,2) é calculada baseando-se nas intensidades relativas das linhas rotacionais, que são dependentes dos valores de temperatura.

6. IRREGULARIDADES NA REGIÃO F DA IONOSFERA

Na Ionosfera Terrestre existem extensas regiões alinhadas ao longo das linhas do Campo Geomagnético, e cujo, interior ocorre um alto grau de rarefação do plasma ionosférico (Sahai, 2000). As irregularidades ionosféricas de grande escala são denominadas bolhas de plasma. As bolhas de plasma se desenvolvem na base da camada F, logo após o pôr do Sol e estendem-se a altas altitudes, de até 1500 km. Possuem dimensões horizontais Norte – Sul muito grande, da ordem de 5000 km ao longo das linhas do campo magnético, na extensão Leste – Oeste entre a região de distúrbios de dezenas a centenas de km. Após se formar, as bolhas de plasma derivam para cima com uma velocidade que geralmente varia de 100 m/s a 500 m/s. Elas apresentam uma deriva zonal ao longo da linha do equador magnético, representada na figura 6.1, que pode chegar a aproximadamente a 200 m/s.

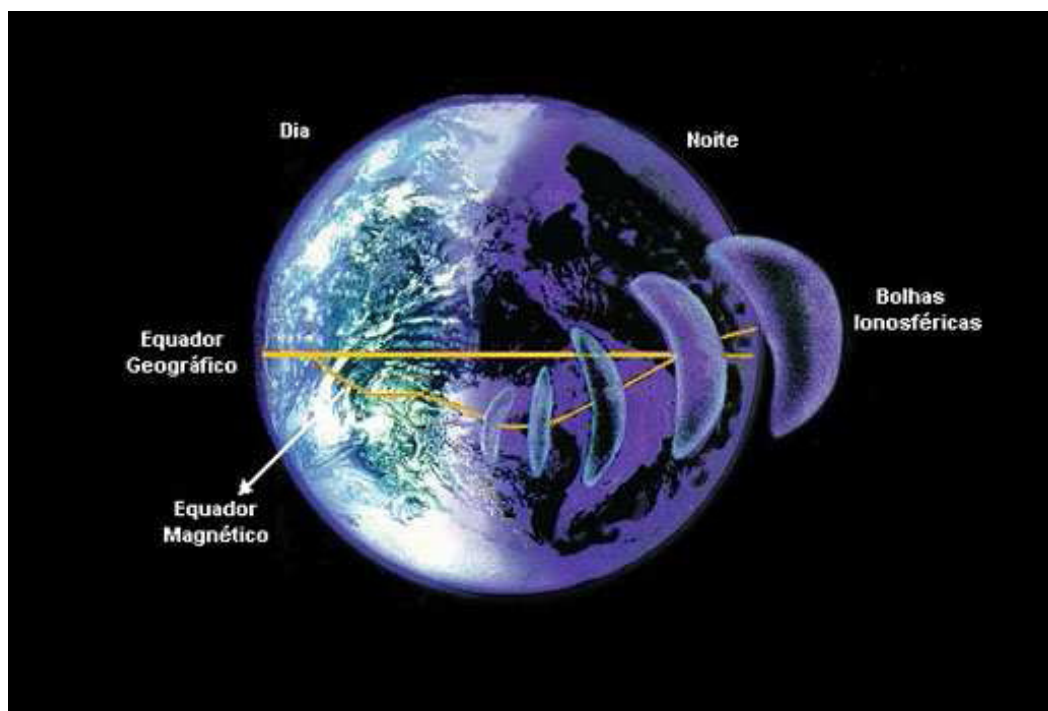


Figura 6.1 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético;
Fonte: <http://www.ondascurtas.com/images/bolhaionosferica.jpg>



Uma maneira de estudar bolhas de plasma é através do monitoramento da aeroluminescência do OI 630 nm. Isso porque a intensidade da aeroluminescência neste comprimento de onda é diretamente proporcional à densidade eletrônica e à quantidade de oxigênios moleculares.

Dentro da região das bolhas de plasma, a densidade eletrônica diminui de forma acentuada, acarretando uma redução abrupta na intensidade da aeroluminescência nessas regiões. Assim, observando a redução da intensidade da aeroluminescência do OI 630 nm é possível monitorar a ocorrência das bolhas de plasma.

7. MEDIDAS DA TEMPERATURA NA REGIÃO DA MESOPAUSA

No estudo da atmosfera terrestre, conhecer o perfil de temperatura da região da mesopausa é de extrema importância para compreender a física e a química dessa região. Sua importância é comprovada na influência que exerce nas constantes de taxa de reações químicas, nos processos de excitação da luminescência atmosférica e na formação de nuvens noctilucetas.

A maior parte do conhecimento a respeito da estrutura térmica da atmosfera terrestre é devida aos experimentos com foguetes, satélites e sensoriamento remoto a partir do solo, entretanto a região da mesopausa é de difícil acesso e apresenta incertezas na determinação da temperatura absoluta e na altura exata do mínimo da temperatura.

Alguns modelos atmosféricos criados a partir de dados experimentais, como o “U. S. Standard Atmosphere Model” e o “COSPAR International Reference Atmosphere Model” (CIRA) fornecem o perfil da temperatura atmosférica.

A Figura 7.1 representa uma comparação dos perfis da temperatura atmosférica terrestre obtidos pelos modelos atmosféricos U.S. Standard Atmosphere de 1965, U.S. Supplemental Atmosphere de 1966 e o modelo CIRA de 1965 e por dados obtidos no dia 28.07.64 às 13:06 hora local, em Novo México, usando sondas esféricas, foguetes de sondagem e radiosondas.

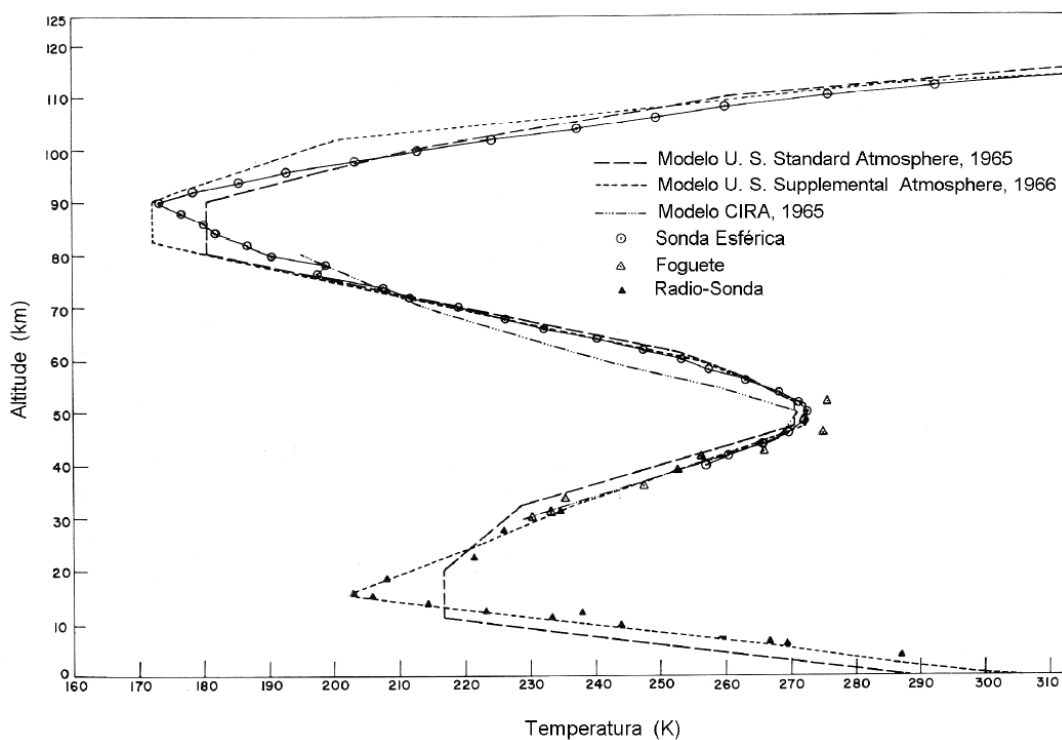


Figura 7.1 – Comparação do perfil da temperatura atmosférica terrestre obtido por modelos atmosféricos e por dados de sondas esféricas, foguetes e radiosondas;
Fonte: Adaptada de Faire e Champion (1967, p.852).

Observa-se na Figura 7.1 que na região entre 60 km e 80 km de altitude, o perfil da temperatura obtida por sondas esféricas apresenta boa concordância com os modelos “U.S. Standard” e “U.S. Supplemental”, entretanto divergem do modelo CIRA. Entre 80 e 100 km de altitude o perfil da temperatura obtida pelas sondas esféricas apresenta valores intermediários entre os modelos “U.S. Standard” e “U.S. Supplemental” e acima de 100 km apresenta boa concordância como os valores obtidos pelo modelo “U.S. Supplemental Atmosphere”. Os dados obtidos por foguetes e radiosondas não mediram a temperatura na região da mesopausa.

8. INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA

As observações óticas de aeroluminescência são efetuadas em geral de três formas:

- a) no solo;
- b) a bordo de foguete;
- c) em satélites.

O método escolhido leva em consideração a finalidade do estudo. Se o objetivo é investigar flutuações nas intensidades das emissões (variabilidade temporal), utiliza-se a fotometria de solo. Caso o objetivo seja definir o perfil vertical da camada de emissão (taxa de emissão volumétrica), geralmente se usa medidas de fotometria a bordo de foguete. Entretanto, o estudo da distribuição global do campo de radiação da aeroluminescência também pode ser obtido através de técnicas de imageamento a bordo de satélite.

Para se investigar a variação espacial do fenômeno de luminescência atmosférica, utilizam-se câmeras imageadoras de alta definição. Essas câmeras empregam dispositivos CCD (*charge coupled device*), que serão discutidos na seção 8.1. Este dispositivo é empregado em fotômetros, em substituição as células fotomultiplicadoras. No projeto trabalhou-se com um imageador com lente do tipo “All-Sky” (seção 8.3) e com fotômetros (seção 8.2). Porém temos ainda dois outros fotômetros instalados em locais distintos, cujos dados observacionais da intensidade da aeroluminescência foram utilizados para execução deste trabalho.

O bolsista não chegou a trabalhar com os dados do imageador, logo os equipamentos utilizados para coleta dos dados observacionais que foram analisados neste trabalho são:

- a) Fotômetro Fotsul, instalado no Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica do Observatório Espacial do Sul – LOLA/OES/CRS/INPE – MCT (29,4°S, 53,8°O), São Martinho da Serra, RS;
- b) Fotômetro Multi-2, instalado na Unidade Regional de Cachoeira Paulista – URC/INPE – MCT (22,7°S, 45,0°O), Cachoeira Paulista, SP;
- c) Fotômetro Multicanal, instalado no Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba – OLAP (7,3°S, 36,5°O), São João do Cariri, PB.

A localização dos observatórios das três estações de monitoramento são mostrados na figura 8.1.



**Figura 8.1 – Localização das estações de monitoramento;
Fonte: sobreposição de imagem do Google Earth**

Na seção 8.5 falaremos um pouco mais sobre o tratamento dos dados obtidos pelos fotômetros.

8.1. O dispositivo CCD (Charge Coupled Device)

Em 1969 dois cientistas da Bell Laboratórios, George Smith e Willard Boyle, criaram o primeiro dispositivo CCD, o que lhes rendeu o prêmio Nobel da Física de 2009. Devido

à sua grande sensibilidade, os dispositivos CCD passaram a ser muito empregados em vários ramos da física, principalmente na astronomia.

No estudo da aeroluminescência o dispositivo CCD é parte integrante das câmeras imageadoras. Consiste em um detector de fótons altamente sensível a luz e sua principal função é a de transferir a energia dos fótons incidentes em uma corrente de elétrons que são liberados devido ao efeito fotoelétrico.

Para representar a imagem de um objeto focalizado por um sistema de lentes, usa-se a quantidade de elétrons liberados, que é proporcional a intensidade da radiação luminosa incidente.

O detector CCD é dividido em uma grande quantidade de pequenas áreas sensíveis a luz, espaçadas regularmente na forma de linhas e colunas, os chamados pixels. Os fótons “arrancam” elétrons quando incidem sobre os pixels. Com isso, os pixels armazenam os elétrons até serem “lidos” fora da CCD, na forma de corrente elétrica. Quando o número de elétrons em cada pixel é medido pela CCD, a imagem é reconstruída.

A resolução dos sensores CCDs é definida pela quantidade de pixels, seu tamanho e a distancia entre eles.

As funções básicas que um dispositivo CCD necessita efetuar são:

- a) Geração de cargas (elétrons): esta função usa o efeito fotoelétrico;
- b) Coleta de cargas: nessa parte do processo, os elétrons são coletados nos pixels. Os locais onde os elétrons são coletados são definidos pelo arranjo de eletrodos, chamados portas condutoras;
- c) Transferência de cargas: este processo é efetuado pela manipulação da voltagem nas portas condutoras da CCD, fazendo que os elétrons sejam transferidos de um pixel para outro. No final deste processo, cada linha terá o registro vertical dos pixels de todas as colunas;
- d) Armazenamento de cargas: neste último processo, os dados são armazenados em uma linha ou coluna, são transferidos por cabo serial para um amplificador, sendo lidos posteriormente fora da CCD, como uma voltagem de saída. Com essa voltagem e possível reconstruir, pixel a pixel, a imagem original observada.

8.2. Fotômetro FOTSUL

Os fotômetros são equipamentos projetados para medir a aeroluminescência noturna, e por se tratar de um equipamento ótico situado no solo, sua utilização ocorre geralmente em noites sem nuvens.

No sistema de fotometria tradicional existe uma fonte de alta voltagem, necessária ao funcionamento de uma célula fotomultiplicadora. Como a fotomultiplicadora trabalha em alta tensão, o sistema só pode ser operado na ausência de fontes de luz artificiais e em noites em que a luminosidade proveniente da lua é baixa (período da lua nova).

O Fotômetro Zenital FOTSUL (Figura 8.2) mede a intensidade da emissão de Aeroluminescência do oxigênio ionizado nas linhas OI 557,7 nm e OI 630,0 nm. Ele é formado por um sistema de filtros de interferência óptica que selecionam o comprimento de onda a ser medido, acoplado com um tubo fotomultiplicador e um sistema eletrônico de discriminação e processamento de sinal. O fotômetro é acoplado a um computador onde é feito o armazenamento e coletas de dados.

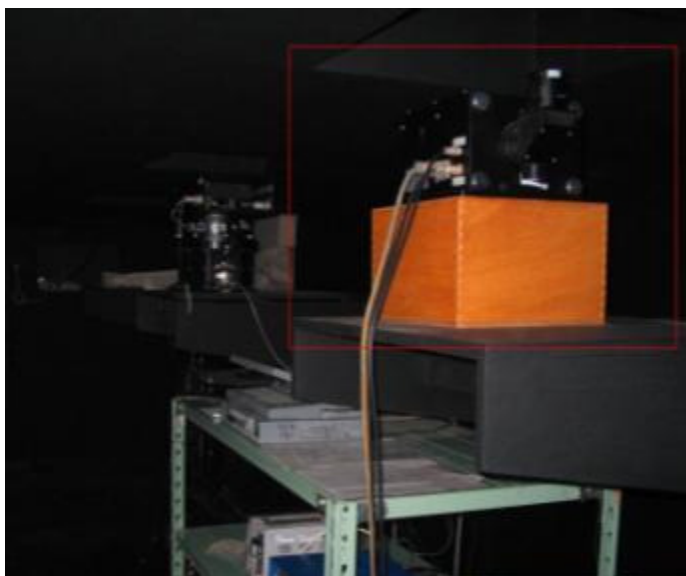


Figura 8.2 – Imagem do fotômetro zenital FOTSUL, instalado no OES;

O FOTSUL opera com quatro filtros que se alternam periodicamente para registrar a intensidade aparente de quatro comprimentos de onda distintos, sendo que dois desses

só são utilizados com a finalidade de calibrar o equipamento. A Figura. 8.3 mostra o diagrama de blocos do sistema do FOTSUL:

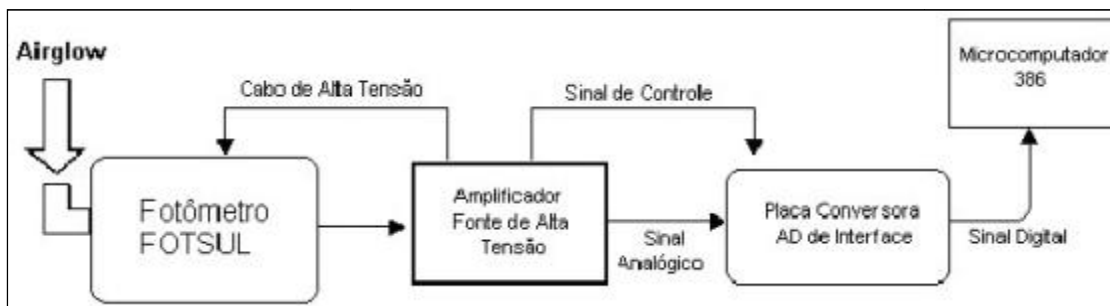


Figura 8.3 – Diagrama de Bloco do sistema do FOTSUL, com o esquema de coleta e armazenamento de dados;

O fotômetro FOTSUL encontra-se fora de uso, desde fevereiro de 2008, por apresentar problemas técnicos.

8.3. Imageador “All-Sky”

Segundo Mende e Eather (1976), o primeiro sistema de imageamento “all-sky” entrou em operação em 1975, visando investigar as emissões com origem na região auroral. Weber et. al (1978), usaram um equipamento semelhante para estudar irregularidades no plasma da região F equatorial e os seus respectivos efeitos nos sinais transmitidos por satélites. Posteriormente Mendillo et. al (1982), utilizaram esse equipamento em solo durante campanha na ilha Ascension ($7,95^{\circ}$ S, $14,38^{\circ}$ W).

A figura 8.4 mostra um dos primeiros modelos de imageador “all-sky”. Observa-se que a parte superior é constituída por uma lente denominada “all-sky”, que proporciona uma visão completa do céu local, uma vez que seu campo de visão de 180° . Logo abaixo, a lente de campo garante que toda a luz vinda da lente “all-sky” incida na lente colimadora.

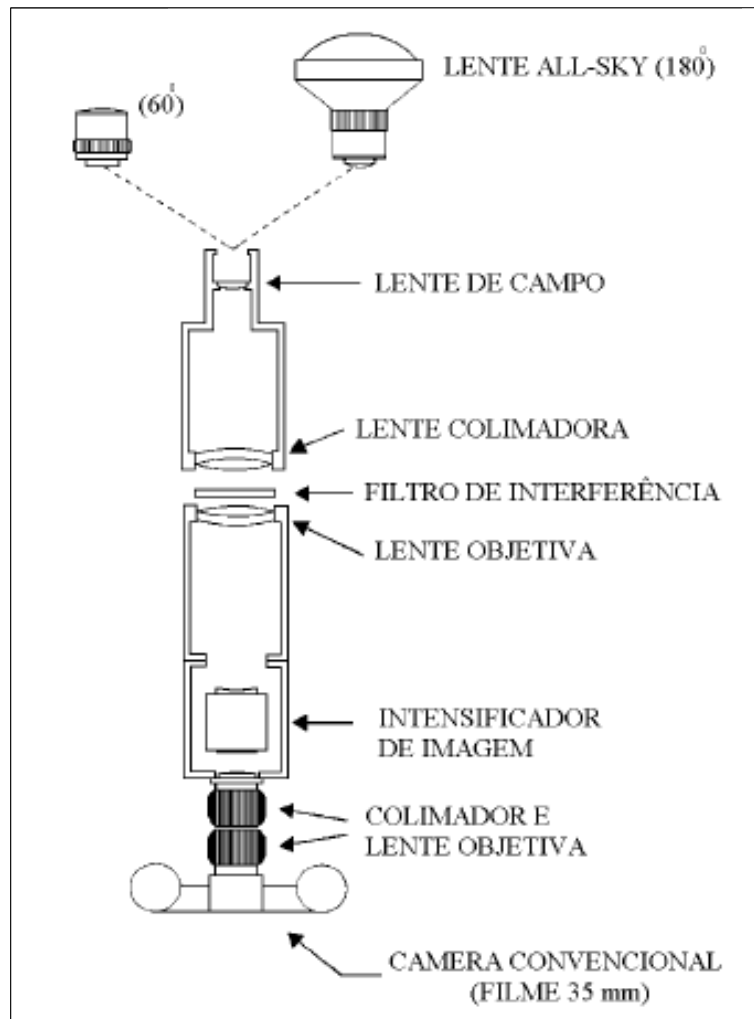


Figura 8.4 – Modelo de imageador “All-Sky”;
Fonte: Mendillo et al. (1982)

Atualmente, as imagens são digitais e a câmara convencional foi substituída por câmaras CCD. Os imageadores, então, são constituídos por uma lente tipo “all-sky”, um sistema telecêntrico, uma roda de filtros de interferência, um sistema de re-imageamento, uma câmara CCD, um sistema de refrigeração e um microcomputador. A Figura 8.5 representa um típico Imageador “All-Sky” com dispositivo CCD.

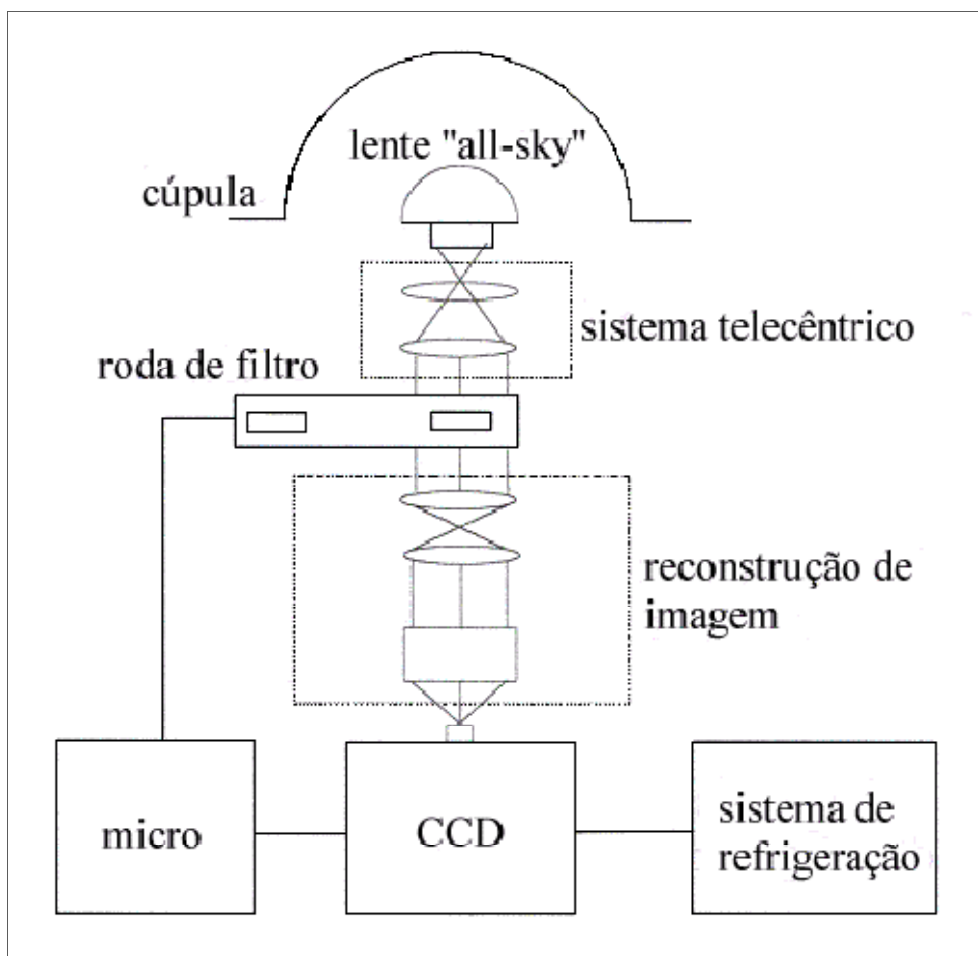


Figura 8.5 – Diagrama em blocos de um imageador “All-Sky” típico com câmara CCD;
Fonte: Medeiros (2002)

A câmara possui tempo de exposição de 50 segundos e registra imagens digitais em intervalos de tempo de um minuto. Sua resolução é determinada por sua geometria. Um pixel pode variar de poucos micrômetros a $48 \mu\text{m}$ e área total de 1 a 24 cm^2 .

O sistema de refrigeração reduz a temperatura da câmara CCD, de forma a minimizar o ruído térmico gerado pelos componentes elétricos e eletrônicos da própria câmara. Já o microcomputador é usado no controle da roda de filtros e no processo de aquisição de dados.

No dia 14 de Novembro de 2009 uma forte tempestade derrubou e molhou o imageador “All-Sky” e os demais equipamentos instalados no Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica do Observatório Espacial do Sul. Espera-se que estes equipamentos sejam consertados até Outubro deste ano.

8.4. Tratamento dos dados

O bolsista teve acesso a dados relativos à intensidade da luminescência atmosférica do OI 557,7 nm e do OI 630,0 nm correspondentes ao período compreendido entre 2001 e 2006. Estes dados, conforme exposto no início do capítulo, foram obtidos por três fotômetros instalados no Observatório Espacial do Sul, no Centro Espacial de Cachoeira Paulista e no Observatório de Luminescência da Paraíba.

Inicialmente seria eliminado o *background* destes dados. Em seguida seriam traçados perfis mensais das emissões. Para isso foram utilizados dados normalizados com a finalidade de amenizar possíveis erros de leitura dos equipamentos. O bolsista recebeu os perfis mensais dos dados do OES e do URC prontos, entretanto verificou-se que os perfis dos dados do OES estavam com problemas, sendo necessário reiniciar o tratamento destes dados. Os perfis mensais referentes aos dados do OLAP foram elaborados pelo bolsista.

Estão sendo traçados os perfis de três estações para podermos investigar a existência de possíveis correlações ou anti-correlações entre eles. Uma vez que o objetivo central do trabalho é investigar o fenômeno da aeroluminescência no sítio de observação localizado no OES escolhemos uma estação localizada na mesma latitude geomagnética (URC) e uma estação localizada em uma latitude geomagnética diferente (OLAP) para esta comparação.

9. RESULTADOS

As figuras entre a figura 9.1 e a figura 9.12 apresentam perfis mensais de emissões de luminescência atmosférica de OI 557,7 nm, sendo que a figura 9.1 corresponde ao mês de Janeiro, a figura 9.2 a Fevereiro, a figura 9.3 a Março e assim sucessivamente até a figura 9.12 que corresponde a Dezembro.

As figuras entre a figura 9.13 a figura 9.24 apresentam perfis mensais de emissões de luminescência atmosférica de OI 557,7 nm, sendo que a figura 9.13 corresponde ao mês de Janeiro, a figura 9.14 a Fevereiro, a figura 9.15 a Março e assim sucessivamente até a figura 9.24 que corresponde a Dezembro.

Os gráficos da esquerda são relativos aos dados recolhidos pelo fotômetro Multi-2 e os da direita pelo fotômetro Multicanal.

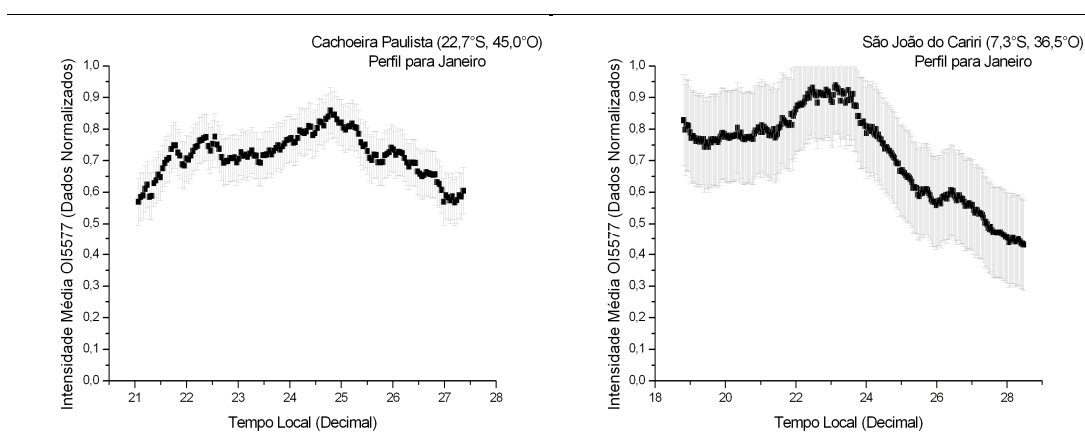


Figura 9.1 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Janeiro das estações URC e OLAP;

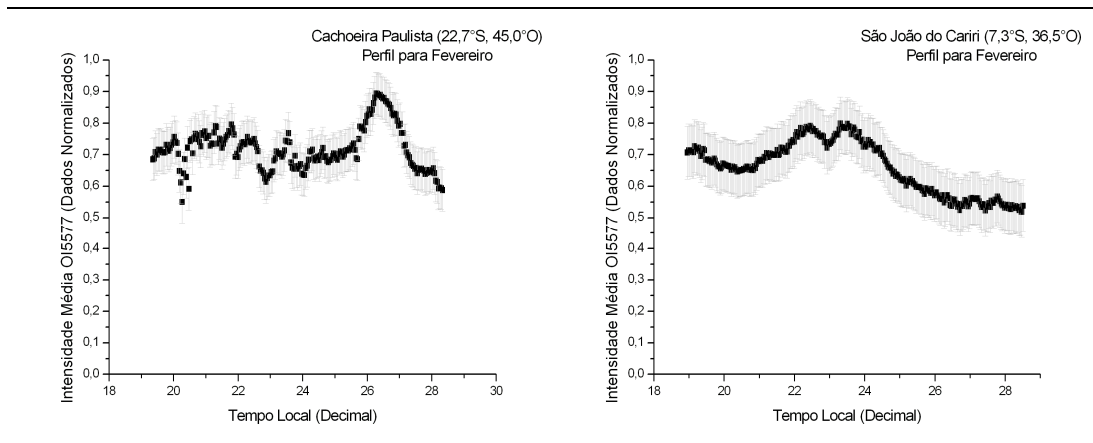


Figura 9.2 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Fevereiro;

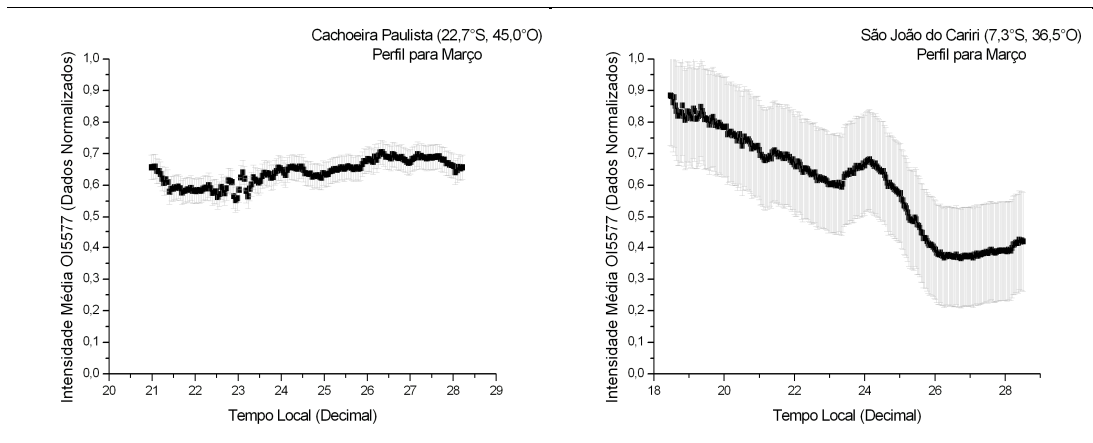


Figura 9.3 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Março;

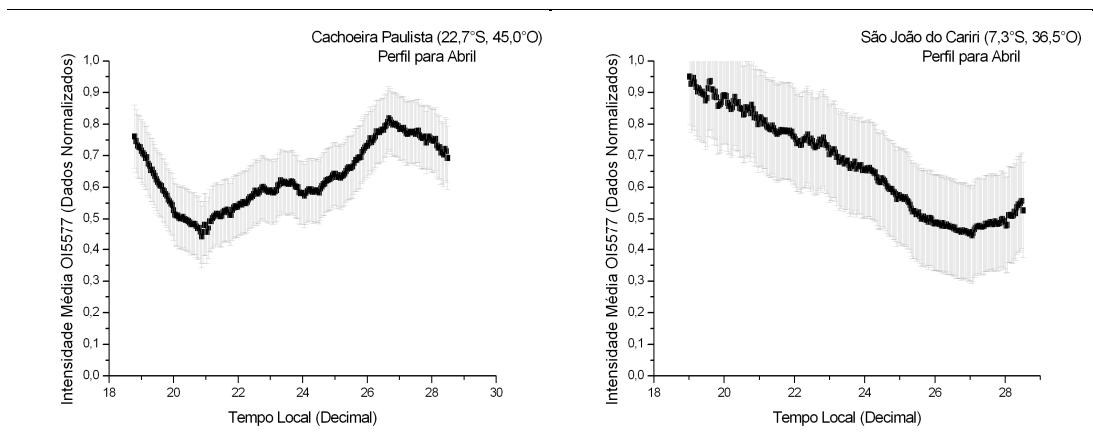
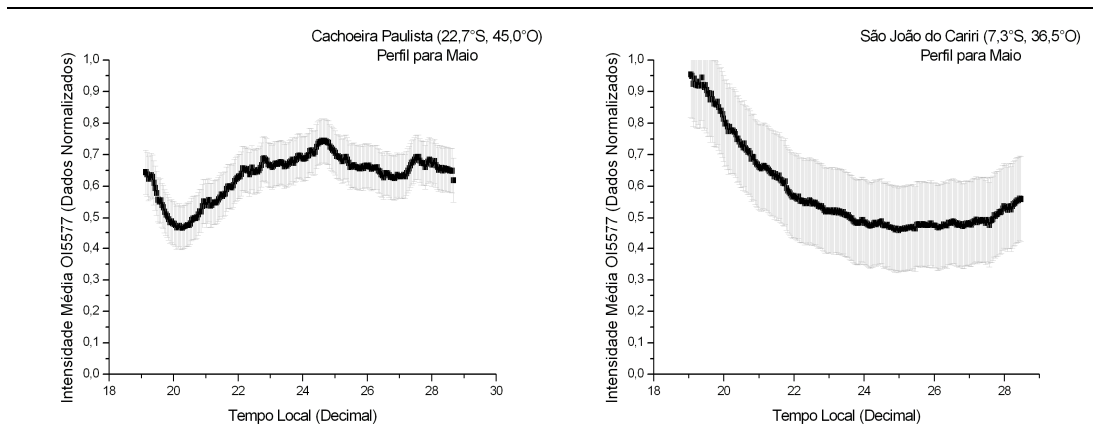
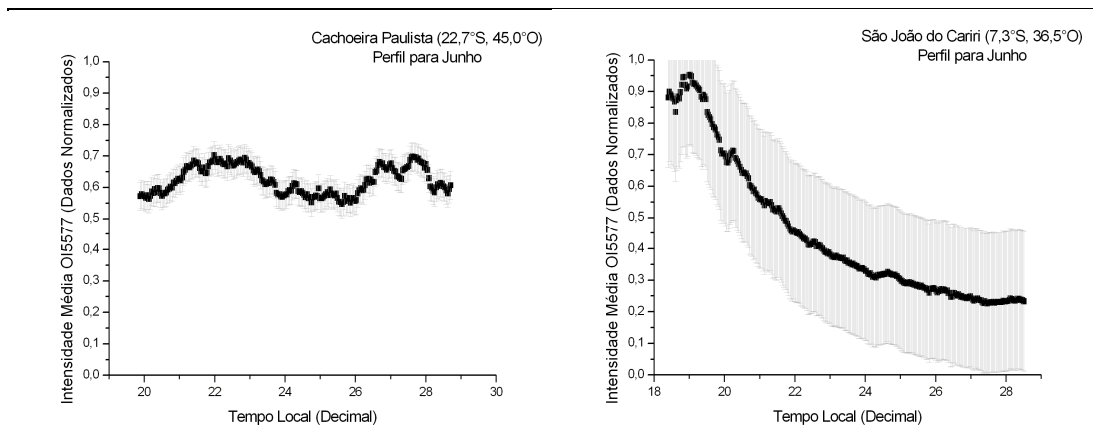
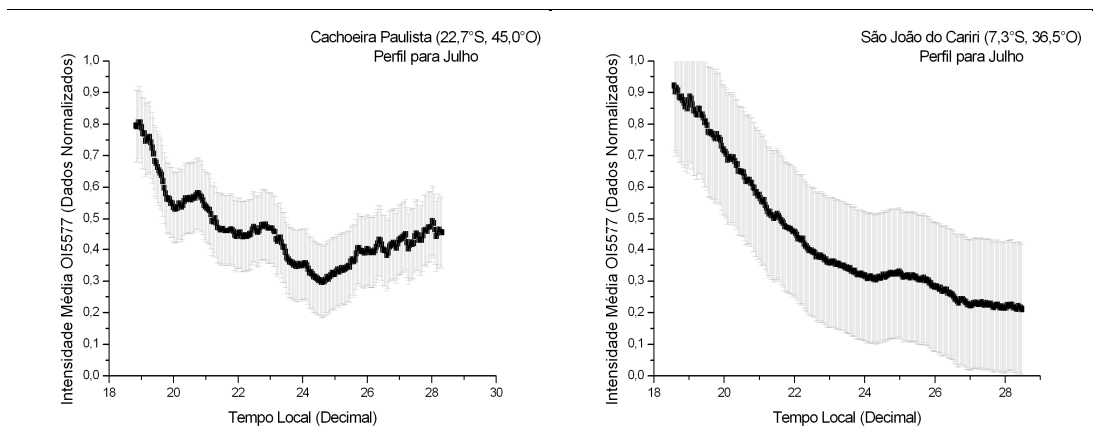


Figura 9.4 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Abril;

**Figura 9.5 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Maio;****Figura 9.6 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Junho;****Figura 9.7 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Julho;**

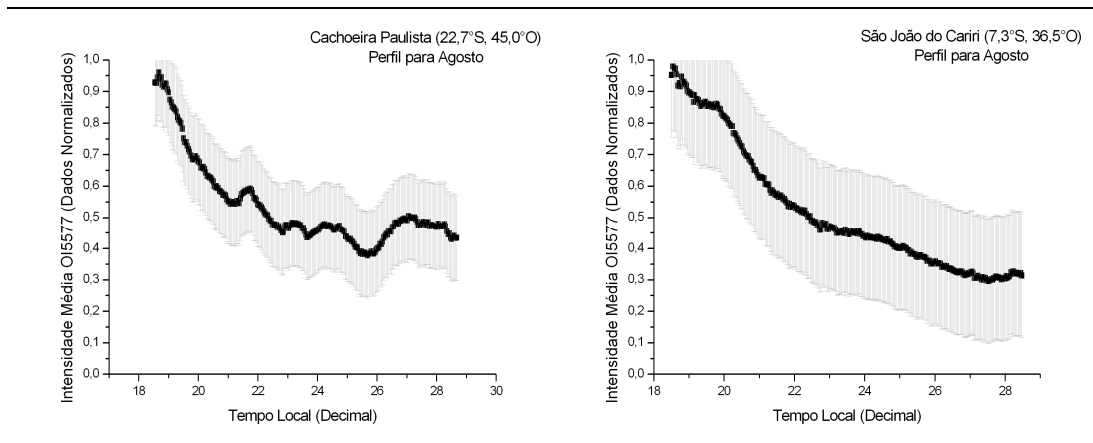


Figura 9.8 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Agosto;

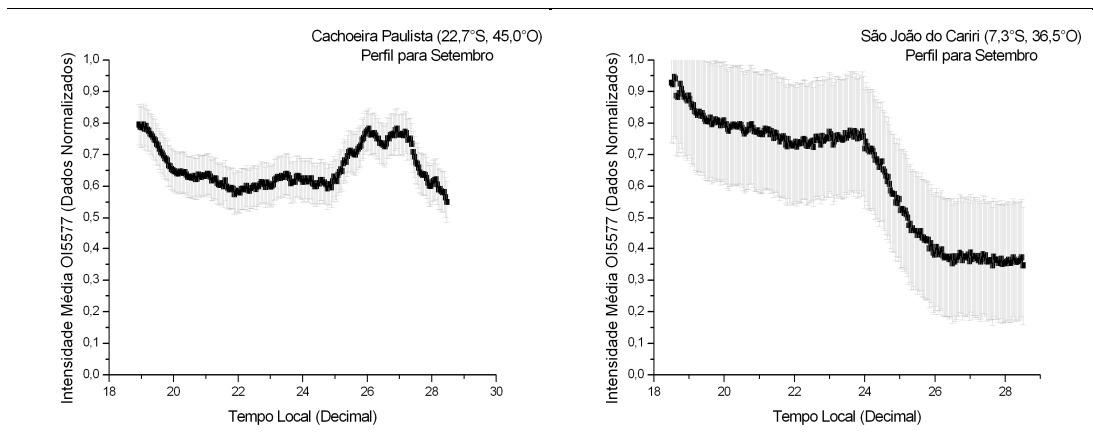


Figura 9.9 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Setembro;

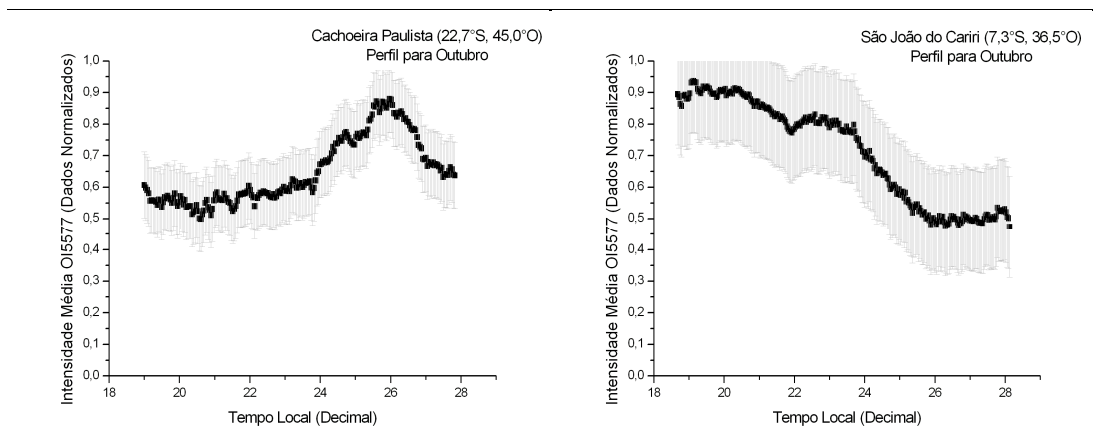


Figura 9.10 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Outubro;

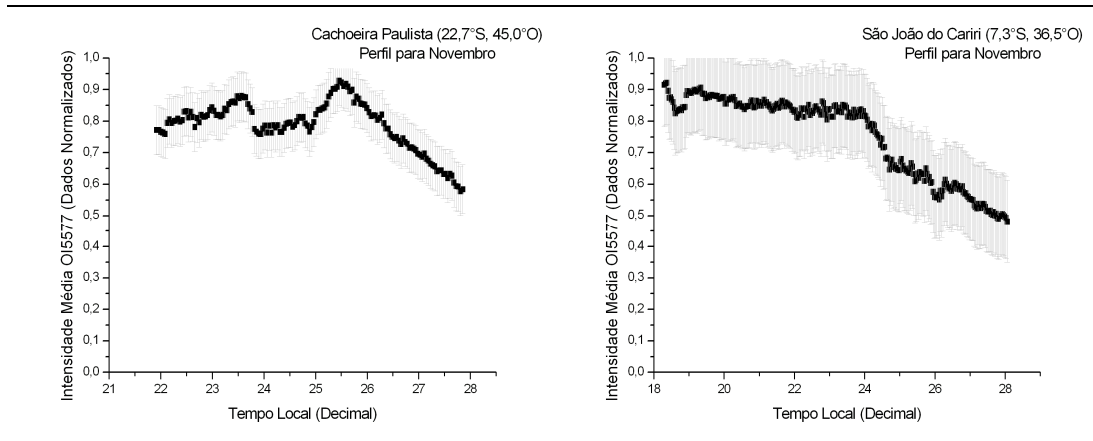


Figura 9.11 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Novembro;

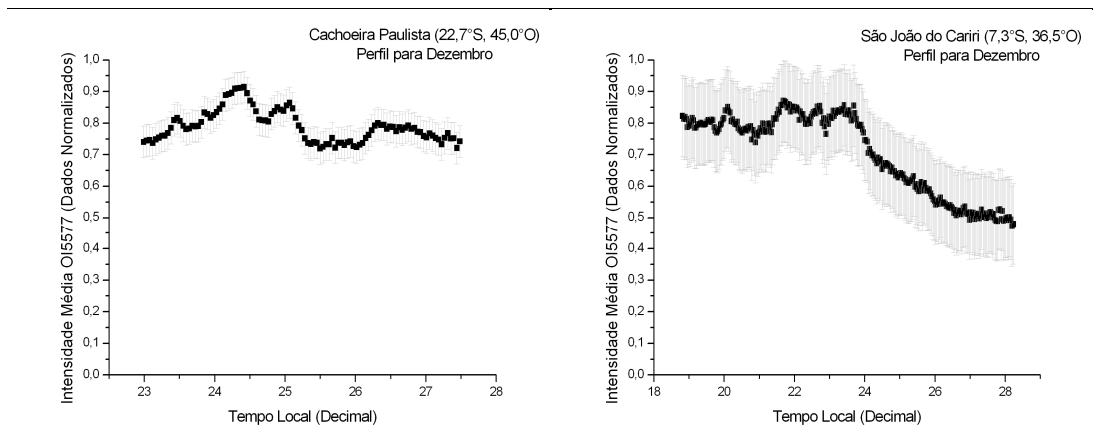


Figura 9.12 – Perfis da aeroluminescência de OI5577 para Dezembro;

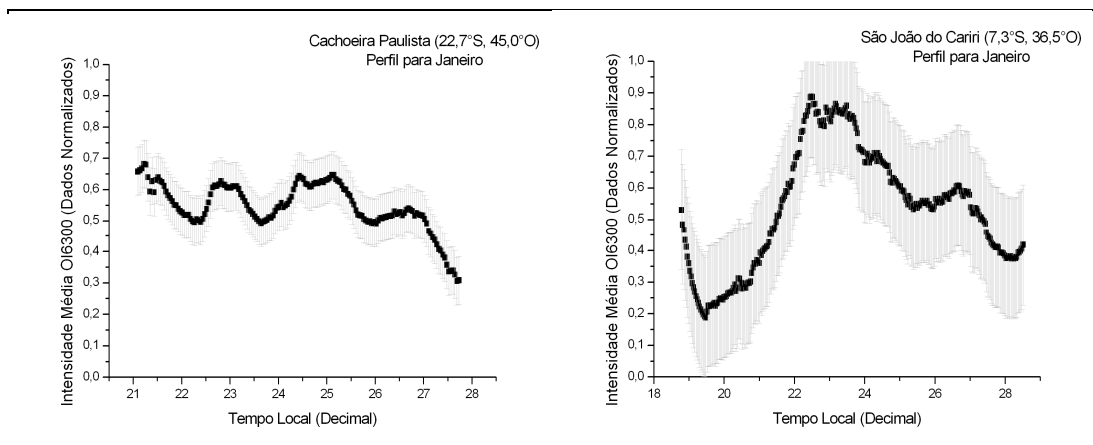


Figura 9.13 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Janeiro;

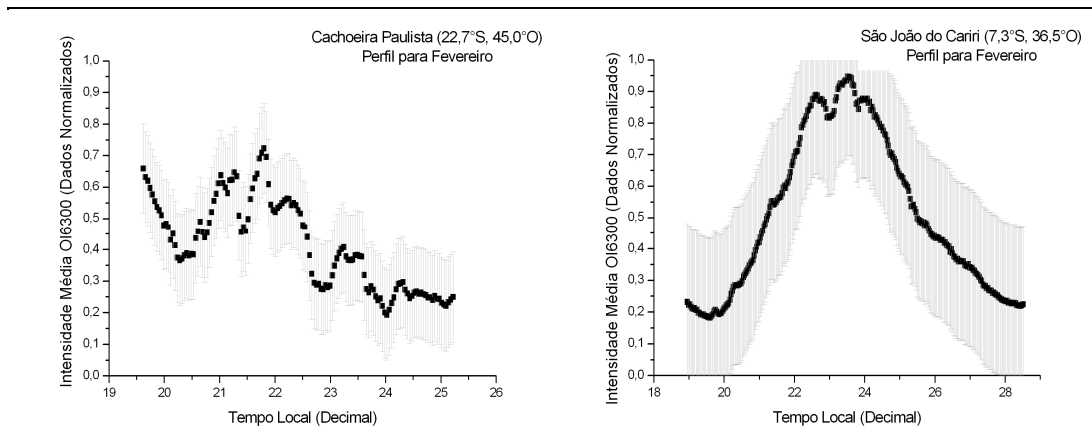


Figura 9.14 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Fevereiro;

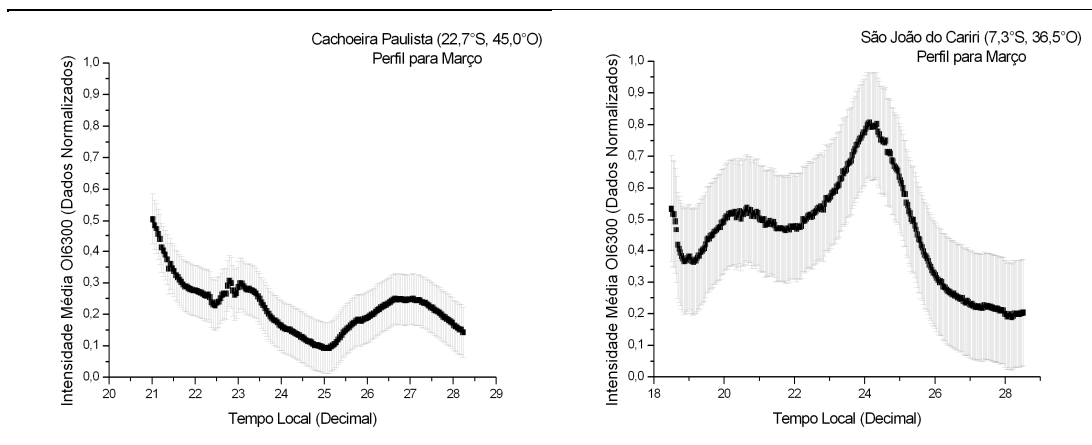


Figura 9.15 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Março;

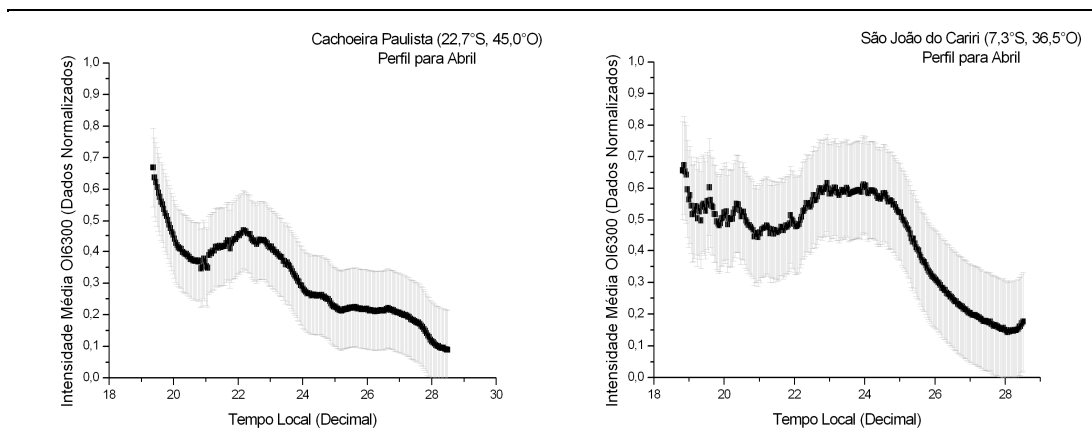


Figura 9.16 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Abril;

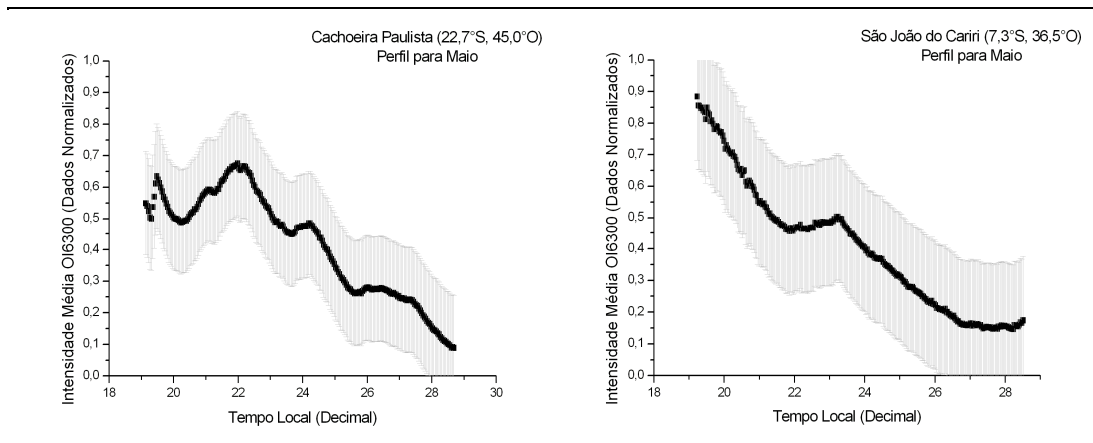


Figura 9.17 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Maio;

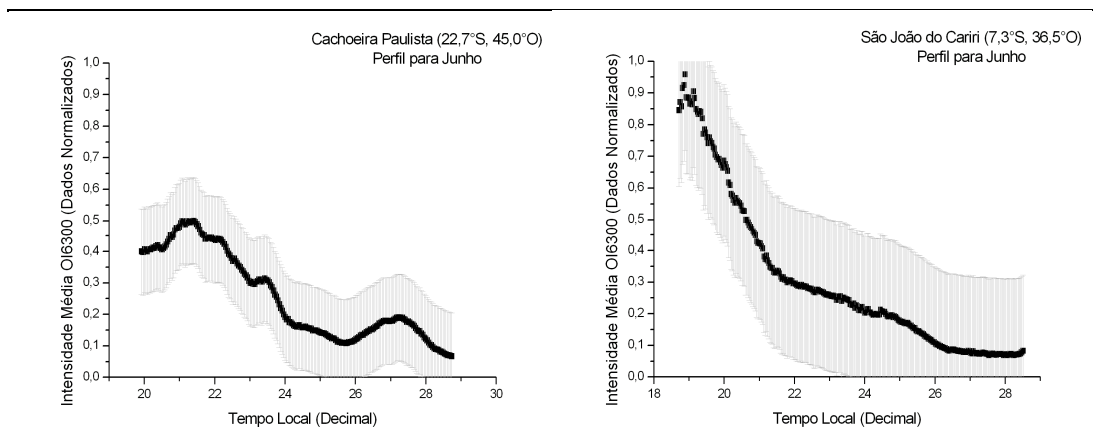


Figura 9.18 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Junho;

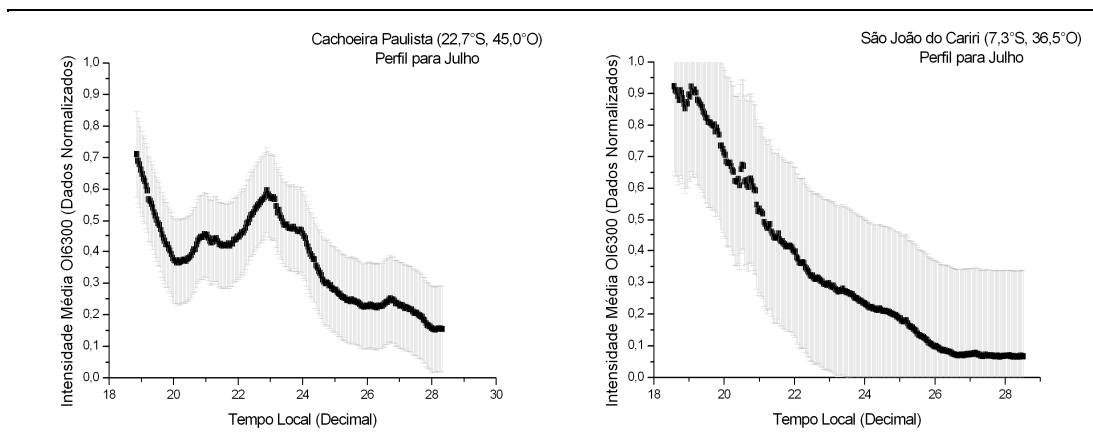
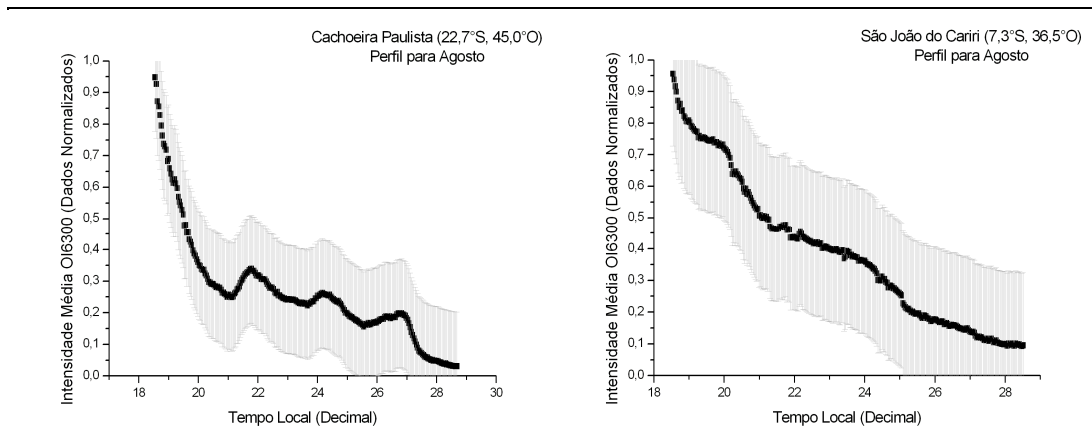
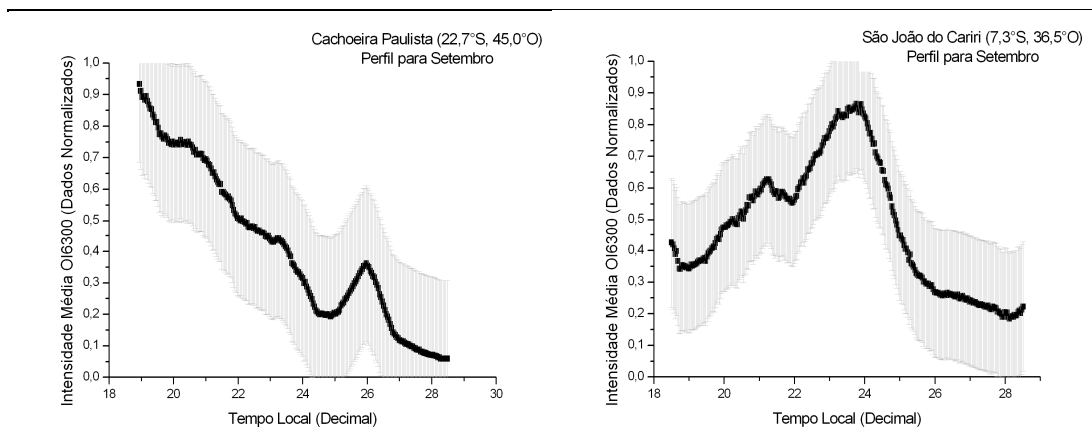
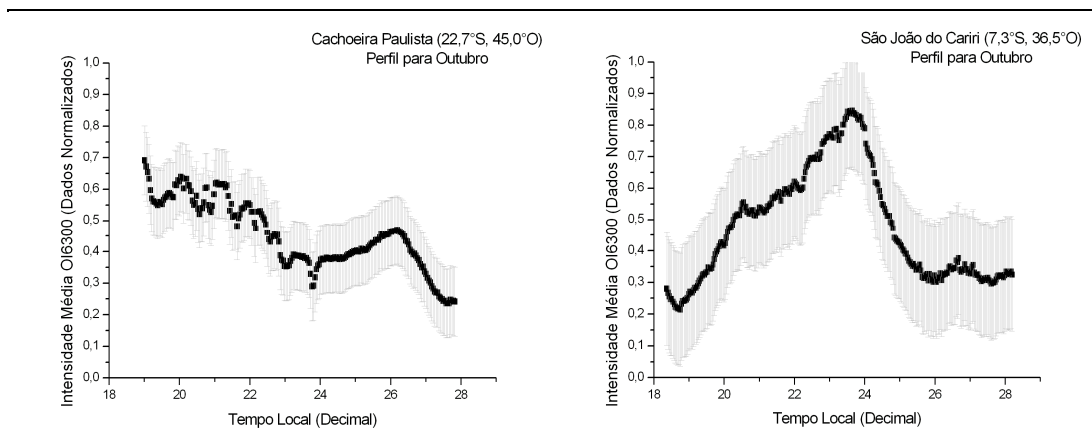


Figura 9.19 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Julho;

**Figura 9.20 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Agosto;****Figura 9.21 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Setembro;****Figura 9.22 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Outubro;**

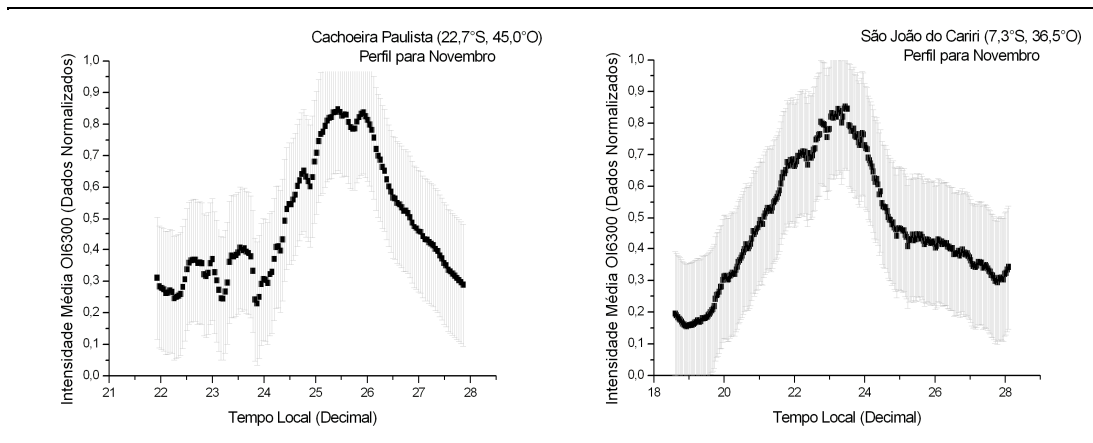


Figura 9.23 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Novembro;

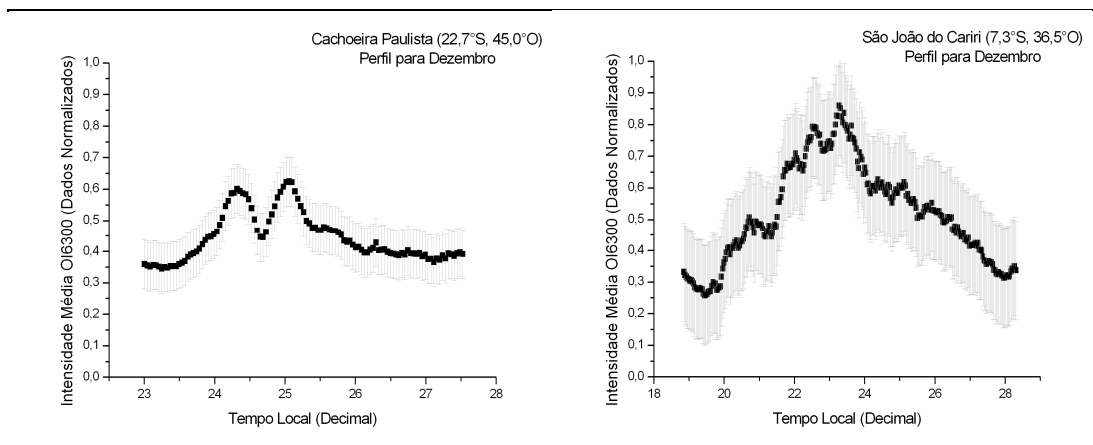


Figura 9.24 – Perfis da aeroluminescência de OI6300 para Dezembro;

10. PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Foi realizada a revisão bibliográfica em livros, artigos científicos e na internet sobre fenômenos estudados e análise de dados;

Foram realizadas campanhas mensais de coleta de dados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT em São Martinho da Serra - RS, no Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/CRS/INPE-MCT, durante o período da Lua Nova, onde se fez a operação do imageador “All-Sky” e duas outras câmeras imageadoras. Foram feitas missões técnicas de observações nos seguintes períodos:

1. Dias 27, 28 e 29 de Março de 2009;
2. Dias 24, 25 e 26 de Abril de 2009;
3. Dias 22 e 23 de Maio de 2009;
4. Dia 29 de Junho de 2009;
5. Dias 15, 21 e 22 de Agosto;
6. Dias 19 e 20 de Setembro;
7. Dias 16, 17 e 18 de Outubro.

Os dados obtidos pelos três fotômetros começaram a ser tratados. Para os dados de Cachoeira Paulista e São João do Cariri já foram elaborados os perfis mensais, entretanto para os dados de São Martinho da Serra foi necessário reiniciar o tratamento dos dados.

Tanto os dados de fotômetro, quanto os dados das câmeras imageadoras foram passados para computadores uma vez que, até então muitos dados que estavam salvos apenas em CDs foram perdidos.



11. PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR

- Continuação da realização de observação noturna, durante o período da lua nova, no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT em São Martinho da Serra/RS;
- Continuação da revisão bibliográfica sobre os fenômenos estudados, análise de dados e eventos observados;
- Análises Espectral e Wavelet de dados e interpretação junto com o orientador;
- Elaboração de trabalhos científicos e participação em congressos.

12. RESULTADOS E CONCLUSÃO

A execução do Projeto de Iniciação Científica permitiu ao bolsista a aplicação de diversos conhecimentos adquiridos ao longo do Curso de Física, além do aprimoramento daqueles que foram adquiridos ao longo do desenvolvimento das atividades do Projeto.

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. O aluno aprendeu a trabalhar com grandes quantidades de dados, com linguagens de programação e com diferentes softwares utilizados no tratamento de dados. Para isso o aluno empregou seus conhecimentos provenientes de cursos de análise de séries temporais, minerações de dados e *Wavelets*.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGESTON, J. V. Determinação da temperatura da mesosfera superior utilizando um espectro-imageador. 2005. 151 p. (INPE-14129-TDI/1080). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.18.17.25>>. Acesso em: 07 jun. 2010;

Chamberlain, J. W.; Physics of the Aurora and Airglow, American Geophysical Union, 1995;

Coutinho, E. F.; Introdução às Partículas Presas e a Anomalia Geomagnética Brasileira, Ciência e Cultura, 26(4), 329-339, 1974;

Ejiri, M. K., 2002, Mesospheric Gravity Waves Observed by all-sky Airglow Imagers, PhD Thesis, Nagoya University, Japan.

EOS; TRANSACTIONS; AMERICAN GEOPHYSICAL UNION: Ever-present South Atlantic Anomaly Damages Spacecraft. Volume 83, N° 15, 09 de Abril de 2002;

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);

JORGE, M. P. P. M.; CLEMESHA, B. R.; BATISTA, P. P.; SIMONICH, D. M. O Perfil de temperatura na região da mesopausa em São José dos Campos obtidos com radar de laser. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., 1977, São Paulo. Resumos Expandidos... 1997. p. 1125-1126. (INPE-8821-PRE/4540);

JUNIOR, O.P.; Gonzalez, W. D.; Anomalia Magnética Brasileira, *Ciência Hoje*, Vol. 9, N° 52, pp.32-35;

Makita, K.; Change of Earth Environment Due to Decreasing Geomagnetic Field The Necessity of Observation in Brazilian Geomagnetic Anomaly Region; *Rev. Takushoku University*, 40, 15-24, 1996;

Makita, K.; Okano, S.; Yukimatsu, A.; Nishino, M.; Shibasaki, K.; Yamamoto, H.; Kikuchi, T.; Nozaki, K.; Fujitaka, K.; Furukawa, M.; Takahashi, H.; Schuch, N.J.; Upper Atmosphere Observations in the Brazilian Geomagnetic Anomaly Region, *Bulletin of Science and Engineering, Takushoku University*, V. 1, No.2, 1997;

MEDEIROS, A. F. Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência. 2001. 187 p. (INPE-10478-TDI/932). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/04.16.14.15>>. Acesso em: 07 jun. 2010;

MELO, S. M. L.; TAKAHASHI, H.; CLEMESHA, B. R.; SIMONICH, D. M. An experimental study of the nightglow OH(8,3) band emission process in the equatorial mesosphere. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, v. 59, n. 5, p. 479-486, Mar. 1997. (INPE-7389-PRE/3279);

PIMENTA, A. A.; CANDIDO, C. M. N.; AMORIM, D. C. M.; SAHAI, Y.; BITTENCOURT, J. A.; FAGUNDES, P. R.; GOBBI, D. Relevant aspects of thermospheric dark band structures observed by ground-based optical and radio techniques over the Brazilian low-latitude sector under different solar activity conditions. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EQUATORIAL AERONOMY*, 12., , Crete, Greece. Proceedings... 2008.

Pinto, O. J.; González, W. D.; Anomalia Magnética Brasileira, *Ciência Hoje*, vol. 9, no 52, 31-35, 1989;

SANTANA, D. C. Estudos da evolução temporal/espacial das derivas das depleções do plasma ionosférico por imagens digitais da aeroluminescência OI 630 NM noturna. 2000. 131 p. (INPE-8179-TDI/759). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.28>>. Acesso em: 07 jun. 2010;

SANTOS, P. M. T. Estudo das derivas zonais das irregularidades de plasma ionosférico na região brasileira. 2000. 117 p. (INPE-8208-TDI/763). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000;

TAKAHASHI, H.; CLEMESHA, B. R.; SAHAI, Y.; BATISTA, P. P.; ERAS, A.; CHAVES, A. H. P.; ROSSIRE, B.; DANIEL, J. R. Rocket observations of the atomic and molecular oxygen emissions in the equatorial region. *Advances in Space Research*, v. 7, n. 10, p. 47-50, 1985. (INPE-4030-PRE/);

TAKAHASHI, H. Observações das bandas (9,4), (7,2), (6,2) e (5,1) de emissão OH na luminescência atmosférica e o mecanismo de produção da OH excitada na alta atmosfera. 1981. (INPE-2046). Tese de Doutorado - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos campos. 1981;

TAKAHASHI, H.; BATISTA, P. P.; BURITI, R. A.; GOBBI, D.; NAKAMURA, T.; TSUDA, T.; FUKAO, S. Response of the airglow OH emission, temperature and mesopause wind to the atmospheric wave propagation over Shigaraki, Japan. *Revista Eletrônica da Faculdade de Farmácia*, v. 51, n. 7-8, p. 863-875, 1999. (INPE-8389-PRE/4166);



VARGAS, F. A. Estudo do espectro das ondas de gravidade observadas em Cachoeira Paulista (23°S). 2003. 123 p. (INPE-10502-TDI/933) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/05.07.10.30>>. Acesso em: 07 jun. 2010;

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

WRASSE, C. M. Observação da temperatura rotacional da hidroxila através da aeroluminescência na região da mesosfera terrestre. 2000. 125 p. (INPE-8003-TDI/751). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2001/04.24.11.36>>. Acesso em: 07 jun. 2010;



ANEXOS

CERTIFICADOS DE TRABALHOS APRESENTADOS EM CONGRESSOS



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Ministério da
Ciência e Tecnologia



UM PAÍS DE TODOS
GOVERNO FEDERAL

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/INPE/CNPq

Conferimos o presente Certificado a **THALIS JOSÉ GIRARDI** por sua participação no Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, realizado em São José dos Campos-SP, de 06 a 08 de julho de 2009 e apresentação do trabalho intitulado: "ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL", orientado pelo(a) Prof(a). Hisao Takahashi.

São José dos Campos, 08 de julho de 2009.


Dr. José Carlos Becceneri
Coordenador Institucional do PIBIC

Certificado

Certificamos que

participou da 24ª Jornada Acadêmica Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria, entre os dias 10 e 13 de novembro de 2009, como




Comissão Executiva
24º JAI / PRPGP / UFSM



Apoio cultural

