



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)**

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

**Dr. Hisao Takahashi - Orientador**  
**Divisão de Aeronomia**  
DAE/CEA/INPE-MCT  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
INPE - MCT  
E-mail: [hisaotak@laser.inpe.br](mailto:hisaotak@laser.inpe.br)

**Santa Maria, Junho 2009**



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**

Relatório elaborado pelo bolsista:

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

E-mail: [tgirardi@lacesm.ufsm.br](mailto:tgirardi@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Hisao Takahashi** – Orientador

**Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE-MCT**

E-mail: [hisaotak@laser.inpe.br](mailto:hisaotak@laser.inpe.br)

**Dr. Nelson Jorge Schuch** - Co-Orientador

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

E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto: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 Abril/2009 a Julho/2009:**

**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/INPE-MCT

### **Colaboradores:**

- Dr. Marcelo Barcellos da Rosa – Unipampa
- Dr. Delano Gobbi – DAE/CEA/INPE – MCT
- Acadêmico Cristiano Sarzi Machado – Curso de Física – UFSM
- Acadêmico Mateus Sabadi Schuh – Curso de Engenharia Ambiental – UFSM



Cooperação Brasil – Japão em Ciências Espaciais Básicas diretamente envolvida no Projeto:

- Dr. Kazuo Makita – Takushoku University

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

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

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



**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:** 15/06/2009 18:00

**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)

Natanael Rodrigues Gomes - [natanael.gomes@lacesm.ufsm.br](mailto:natanael.gomes@lacesm.ufsm.br)

**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

**E-mail:** [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

**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	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 42</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Caitano Luiz da Silva</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Nalin Babulal Trivedi</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Odin Mendes Junior</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fernanda de São Sabbas Tavares</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Gelson Lauro Dal' Forno</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Rajaram Purushottam Kane</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Jean Carlo Santos</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 32</b>
<a href="#">Aline Seeger Santos</a>	<a href="#">Jose Fernando Thuorst</a>
<a href="#">Bernardo Henz</a>	<a href="#">Josemar de Siqueira</a>
<a href="#">Carlos Pinto da Silva Neto</a>	<a href="#">Lilian Piecha Moor</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Lucas Antunes Tambara</a>
<a href="#">Cássio Rodinei dos Santos</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Celito Muck Felipetto</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Claudio Machado Paulo</a>	<a href="#">Luis Fernando Nicolini</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nikolas Kemmerich</a>
<a href="#">Eduardo Escobar Bürger</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Eduardo Weide Luiz</a>	<a href="#">Ricardo Cartier dos Santos</a>
<a href="#">Felipe Cipriani Luzzi</a>	<a href="#">Rodrigo da Rosa Azambuja</a>
<a href="#">Fernando de Souza Savian</a>	<a href="#">Rubens Zolar Gehlen Bohrer</a>
<a href="#">Guilherme Aluizio Steffens Lorenset</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Guilherme Grams</a>	<a href="#">Thalis José Girardi</a>
<a href="#">Guilherme Simon da Rosa</a>	<a href="#">Tiago Jaskulski</a>
<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>	<a href="#">Willian Rigon Silva</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 2</b>
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	



Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none"><li><a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li><li><a href="#">Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR</a></li><li><a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li><li><a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a></li></ul>	

Relações com o setor produtivo	Total: 0
--------------------------------	----------

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	42
Estudante(s)	32
Técnico(s)	2

 **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, 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](#)
- [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](#)

[Cristiano Sarzi Machado](#)

[Eduardo Weide Luiz](#)

[Felipe Cipriani Luzzi](#)

[Guilherme Aluizio Steffens Lorensen](#)

[Guilherme Grams](#)

[Lilian Piecha Moor](#)

[Rodrigo da Rosa Azambuja](#)

[Thalis José Girardi](#)

**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**

Gostaria de agradecer 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 Prof. 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/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, por ter acreditado em meu caráter e dedicando-se a mim desde a minha primeira semana como acadêmico, tanto de maneira profissional quanto pessoal.

Meus sinceros agradecimentos: (i) aos funcionários, servidores do CRS/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/INPE - MCT.

Aos meus colegas do Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica: Cristiano Sarzi Machado, Carlos Pinto da Silva Neto e Rodrigo da Rosa Azambuja; e aos demais colegas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, com quem tenho o prazer de conviver e trabalhar.

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



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	1
RESUMO .....	3
INTRODUÇÃO.....	4
1. A ATMOSFERA TERRESTRE.....	5
1.1. A Atmosfera, conforme seu perfil de temperatura .....	6
1.2. A Atmosfera, conforme seus processos físicos .....	8
1.3. A Atmosfera, conforme sua composição iônica.....	8
2. O CAMPO GEOMAGNÉTICO.....	13
3. A ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.....	15
4. LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA .....	17
4.1. As linhas de emissão do Oxigênio Atômico.....	21
4.2. As bandas de emissão da Hidroxila – OH(2II) .....	24
5. IRREGULARIDADES NA REGIÃO F DA IONOSFERA .....	26
6. MEDIDAS DA TEMPERATURA NA REGIÃO DA MESOPAUSA.....	28
7. INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA .....	30
7.1. O dispositivo CCD (Charge Coupled Device) .....	31
7.2. Fotômetro FOTSUL .....	32
7.3. Imageador <i>All-Sky</i> .....	34
8. PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	36
9. PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR.....	37
10. RESULTADOS E CONCLUSÃO .....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – A estrutura da Atmosfera Terrestre. Fonte: Adaptada de Brasseur e Solomon (1986, p. 33).....	6
Figura 1.2 – Representação esquemática da Magnetosfera. Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/magfield.jpg">http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/magfield.jpg</a> .....	9
Figura 1.3 – Cinturão de radiação de Van Allen. Fonte: <a href="http://br.geocities.com/saladefisica5/leituras/vanallen.htm">http://br.geocities.com/saladefisica5/leituras/vanallen.htm</a> .....	10
Figura 1.4 – Perfil vertical da Ionosfera. Fonte: Robert & Andrew, 2000. Página 30...11	
Figura 1.5 – 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 .....	12
Figura 2.1 – Dipolo Magnético Terrestre. Fonte: <a href="http://www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/">www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/</a> .....	13
Figura 3.1 – Posicionamento da AMAS no ano de 2001. Fonte: <a href="http://science.nasa.gov/sama/picture01">http://science.nasa.gov/sama/picture01</a> .....	15
Figura 3.2 – Carta magnética de inclinação, declinação e intensidade total do Campo Geomagnético. Fonte: <a href="http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/map/t-m.pdf">http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/map/t-m.pdf</a> .....	16
Figura 4.1 – As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o Perfil de temperatura da atmosfera da Terra. Fonte: Maekawa (2000, p.4).....	18
Figura 4.2 – Espectro eletromagnético. Fonte: <a href="http://www.dhnet.org.br/.../images/espectro.gif">www.dhnet.org.br/.../images/espectro.gif</a> .....	19
Figura 4.3 – Espectro da aeroluminescência noturna de algumas emissões importantes. Fonte: Adaptada de Johnston (1993, p. 215).....	20
Figura 4.4 – Diagrama de nível de energia para o oxigênio atômico. Fonte: Krassovsky (1962, p. 912).....	21
Figura 4.5 – Localização da camada de hidroxila na atmosfera terrestre. Fonte: <a href="http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos_lecture_br.html">http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos_lecture_br.html</a> .....	25



Figura 5.1 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético. Fonte: <a href="http://www.ondascurtas.com/images/bolhaionosferica.jpg">http://www.ondascurtas.com/images/bolhaionosferica.jpg</a> .....	26
Figura 6.1 – 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). .....	29
Figura 7.1 – Prédio 5 do Observatório Espacial do Sul .....	31
Figura 7.2 – Imagem do fotômetro Zenital FOTSUL, instalado no Observatório Espacial do Sul.....	33
Figura 7.3 – Diagrama de Bloco do sistema do FOTSUL, com o esquema de coleta e armazenamento de dados.....	33
Figura 7.4 – Imageador “All-Sky” com câmara fotográfica. Fonte: Mendillo et al. (1982) .....	34
Figura 7.5 – Diagrama em blocos de um imageador “All-Sky” típico com câmara CCD. Fonte: Medeiros (1999) .....	35



## RESUMO

O presente relatório expõe as atividades desenvolvidas pelo bolsista **Thalis José Girardi**, acadêmico do curso de Física Bacharelado, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período compreendido entre Março e Junho de 2009, com relação à seguinte linha de pesquisa: ***“ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA IONOSFÉRICA NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DA AMÉRICA DO SUL”***.

As atividades desenvolvidas pelo bolsista 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/CIE/INPE-MCT –, em Santa Maria, RS e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT –, em São Martinho do Sul, RS.

Durante o período de vigência da bolsa o acadêmico atua 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/CIE/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.

É conveniente para o sensoriamento remoto da alta atmosfera, a observação da Aeroluminescência, uma vez que as medidas de variações temporais e espaciais das intensidades das emissões possibilitam o estudo de várias propriedades da região da alta atmosfera, tais como seus processos químicos, iônicos e dinâmicos, geração de emissões ópticas, geração e propagação de irregularidades do plasma ionosférico, ondas atmosféricas, temperatura da mesosfera superior, entre outras propriedades.

Para a obtenção de dados sobre a Aeroluminescência Atmosférica e suas variações no Sul do Brasil foram utilizados o fotômetro FOTSUL e um imageador “All Sky”. Ambos estão sendo operados no Observatório Espacial do Sul (29°S, 53°O), juntamente com o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/CRS/INPE-MCT, em São Martinho da Serra – RS.

Nos capítulos iniciais é elaborada uma revisão teórica sobre aspectos que envolvem o estudo da atmosfera planetária, expondo os conceitos de maior relevância envolvidos na execução deste trabalho.

A instrumentação e metodologia intrínsecas a este trabalho são discutidas e apresentadas, com ênfase na instrumentação fotométrica para o estudo da Luminescência Atmosférica.

Por fim, os resultados obtidos são apresentados e analisados.

## **1. A ATMOSFERA TERRESTRE**

A atmosfera terrestre é constituída de uma combinação de gases que envolvem o planeta, permanecendo ligada a Terra pela ação da força da gravidade. 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 de 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.

A homosfera, que é a parte mais homogênea da atmosfera terrestre, é composta principalmente de nitrogênio (78,08%), oxigênio (20,94%), argônio (0,93%), dióxido de carbono (0,03%) e vapor de água (1%). O restante da atmosfera possui uma concentração heterogênea de componentes, que variam conforme a altura. Essa complexa estrutura pode ser classificada de acordo com vários fatores, como perfil de temperatura, processos físicos dominantes e composição iônica. A Figura 1.1 mostra o perfil desta estrutura, baseada na temperatura, na composição química e nos processos físicos dominantes.

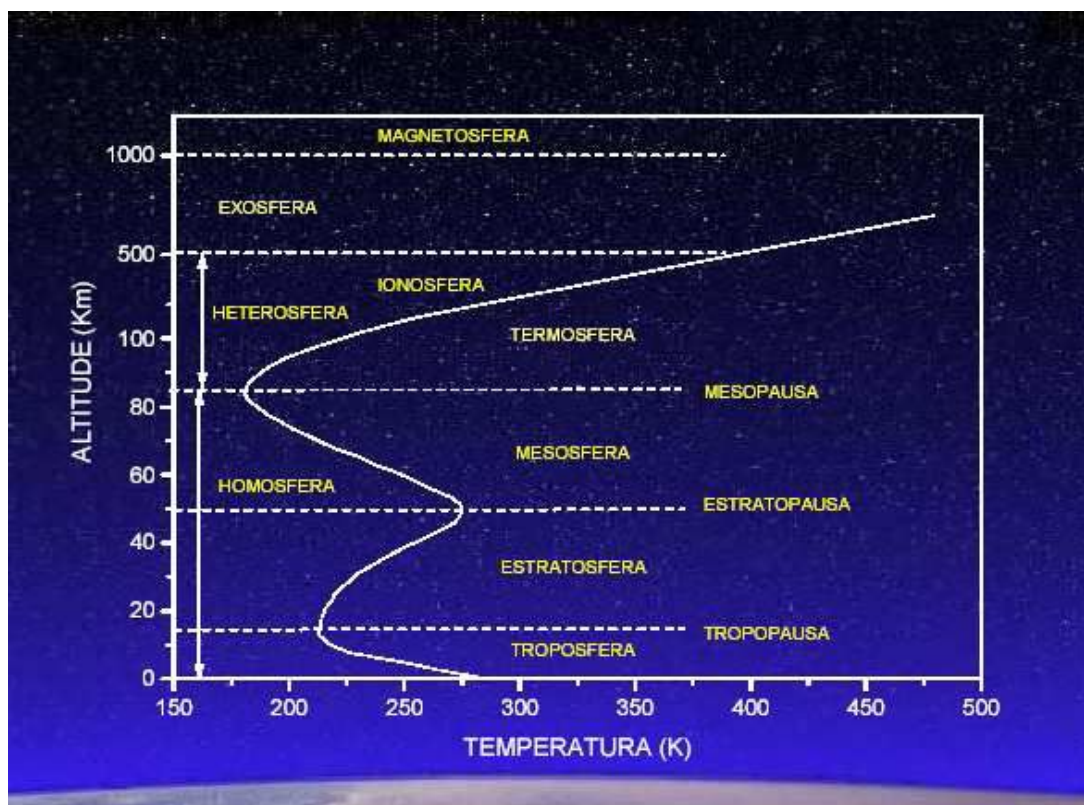


Figura 1.1 – A estrutura da Atmosfera Terrestre.  
Fonte: Adaptada de Brasseur e Solomon (1986, p. 33).

## 1.1. A Atmosfera, conforme seu perfil de temperatura

Do ponto de vista de sua temperatura, a atmosfera subdivide-se em:

### Troposfera

Região que se estende da superfície terrestre até a altura de aproximadamente 15 km, dependendo da latitude. A temperatura diminui numa taxa de  $7 \text{ K.km}^{-1}$ , 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.

### Estratosfera

Situa-se acima da troposfera, 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.

### **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.

### **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 é a condução, sendo mínima a convecção.

As regiões atmosféricas entre essas camadas compõem zonas de transição, onde ocorre inflexão na temperatura, havendo um gradiente de temperatura nulo. Essas zonas de transição são:

### **Tropopausa**

Região 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.

### **Estratopausa**

É a camada 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.

### **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.

## **1.2. A Atmosfera, conforme seus processos físicos**

De acordo com seus processos físicos a atmosfera pode ser classificada em:

### **Homosfera**

Esta camada estende-se da superfície terrestre até 100 km de altitude. Nessa região a mistura entre os gases é praticamente uniforme.

### **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.

### **Exosfera**

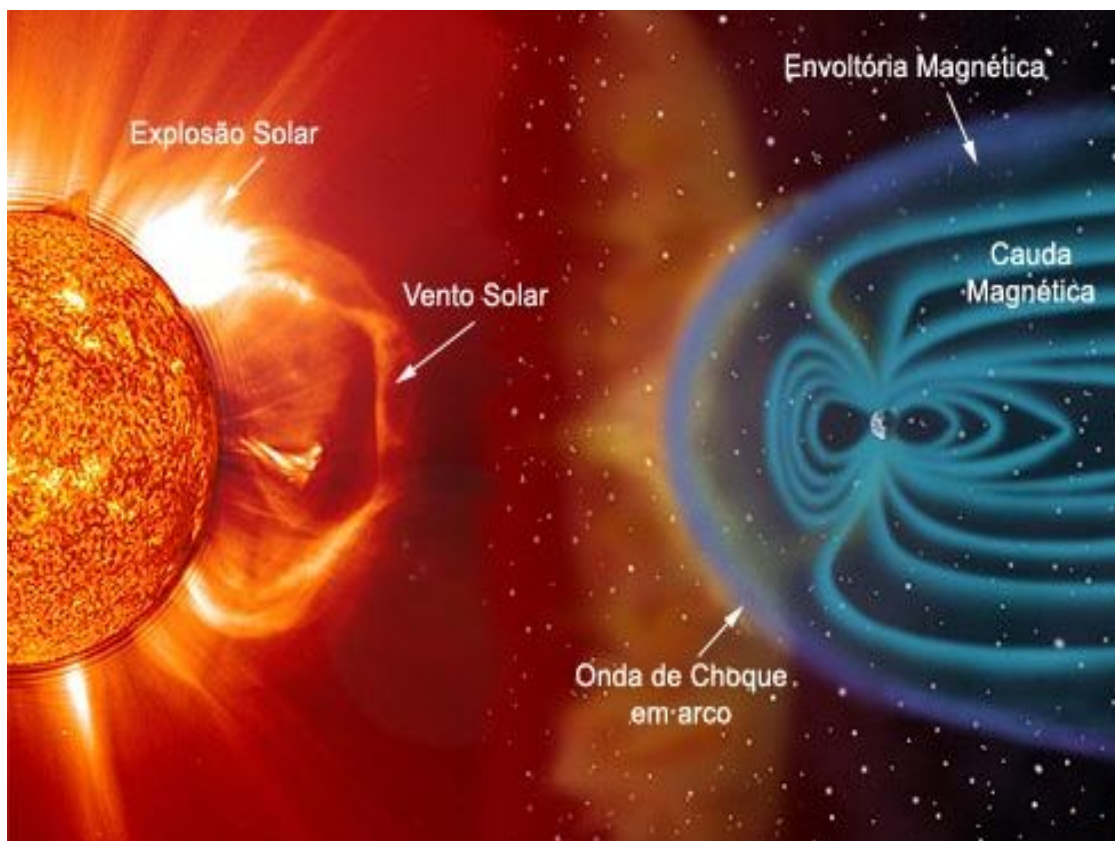
Camada localizada acima de 500 km de altitude. Nessa região o ar é muito rarefeito e colisões entre moléculas ocorrem sem muita frequência. As partículas constituintes da atmosfera que são mais leves, como o H e He, são constantemente perdidas para o meio interplanetário.

## **1.3. A Atmosfera, conforme sua composição iônica**

De acordo com a sua composição iônica, a atmosfera é identificada como Ionosfera ou Magnetosfera. Uma breve descrição dessas regiões é exposta a seguir.

### **Magnetosfera**

A magnetosfera, conforme representação esquemática vista na figura 1.2 é uma região envoltória ao Planeta Terra, constituindo a parte exterior da atmosfera, onde o campo magnético controla os processos eletrodinâmicos da atmosfera ionizada. Essa região surge da incidência da radiação sobre a atmosfera permeada pelo campo magnético, agindo como um obstáculo ao vento solar, composto por partículas energeticamente carregadas. Situa-se logo acima da ionosfera.



**Figura 1.2 – Representação esquemática da Magnetosfera.**

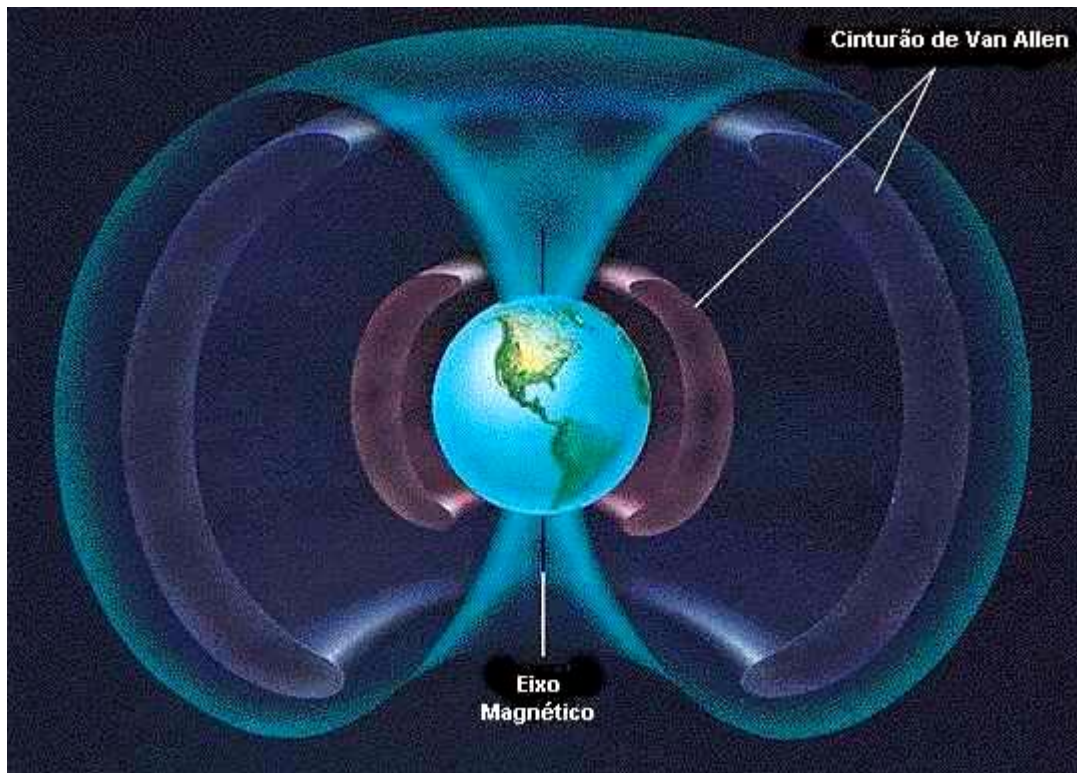
Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/magfield.jpg>

Em 1958 foram descobertas, dentro da Magnetosfera, imensas regiões de radiação, agora conhecidas como cinturões de radiação Van Allen (figura 1.3). Elas contêm prótons e elétrons energéticos presos pelo campo magnético da Terra (Coutinho, 1974). 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, a região de radiação do cinturão de Van Allen mais interno se aproxima em maior intensidade 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 1.3 – Cinturão de radiação de Van Allen.**  
Fonte: <http://br.geocities.com/saladefisica5/leituras/vanallen.htm>

### **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 1.4 apresenta a ilustração de um perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera.

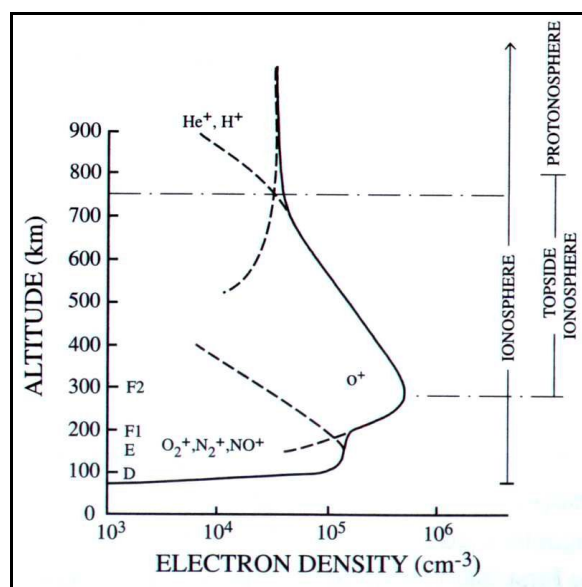


Figura 1.4 – Perfil vertical da Ionosfera. Fonte: Robert & Andrew, 2000. Página 30

### 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- $\alpha$ .

### 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- $\beta$  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 é 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 é 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 1.5 representa um perfil de composição iônica para a Ionosfera diurna e noturna.

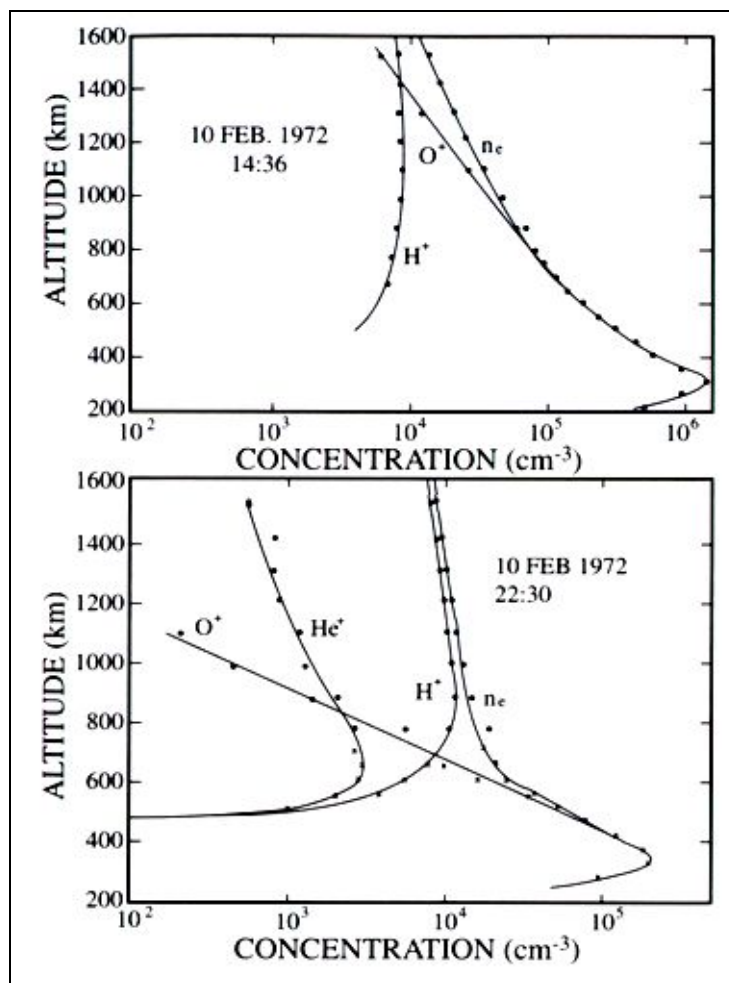


Figura 1.5 – Perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera, mostrando as regiões de concentração dos principais íons que formam a ionosfera e a estrutura das camadas.  
Fonte: Robert & Andrew, 2000. Página 334

## 2. O CAMPO GEOMAGNÉTICO

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:

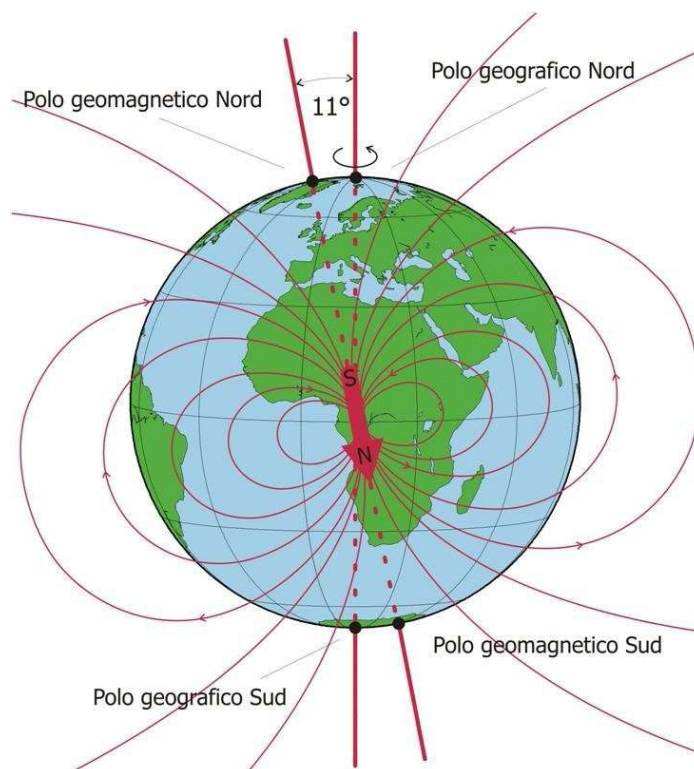


Figura 2.1 – Dipolo Magnético Terrestre. Fonte: [www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/](http://www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/)

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 e 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.

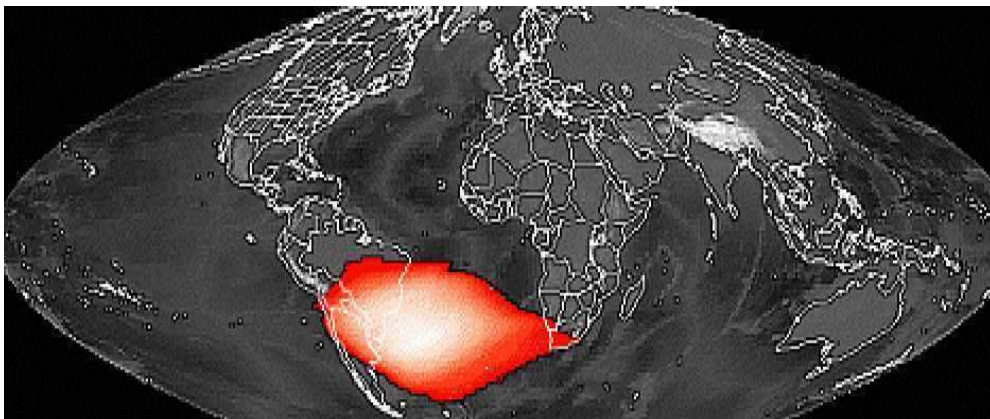
Existem basicamente dois tipos de variação magnética. Uma delas esta associada a períodos magneticamente calmos. A outra refere-se a variações mais intensas, associadas a tempestades magnéticas.

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. Caracteriza-se por ser 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 América do Sul e sobre a região do Atlântico Sul. Na figura 3.1 tem-se uma ilustração do posicionamento da AMAS para o ano de 2001.



**Figura 3.1 – Posicionamento da AMAS no ano de 2001.**

Fonte: <http://science.nasa.gov/sama/picture01>

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  $0.25^\circ$  para oeste e de  $0.05^\circ$  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.

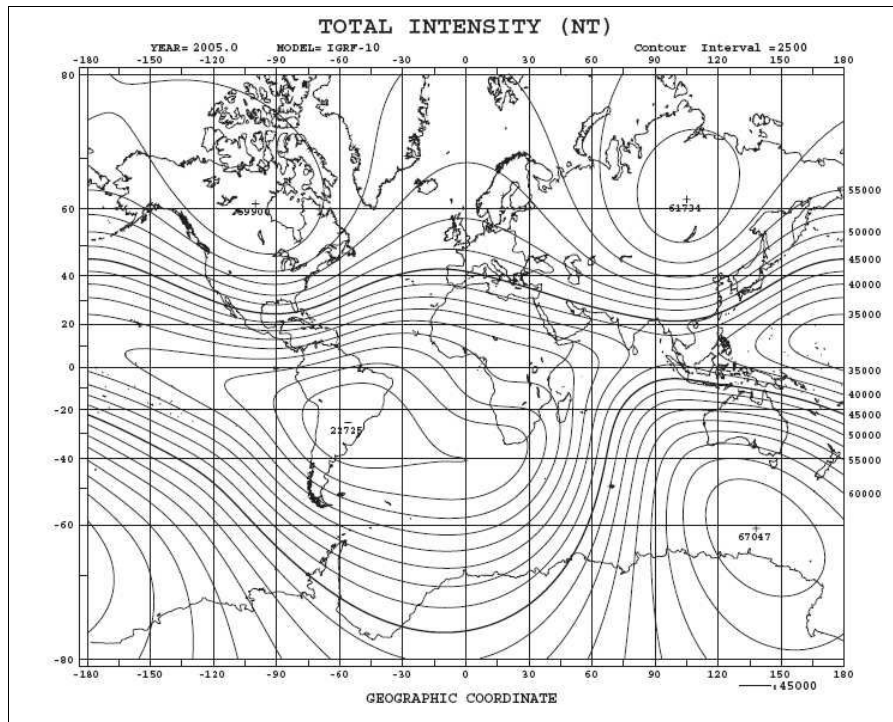


Figura 3.2 – Carta magnética de inclinação, declinação e intensidade total do Campo Geomagnético. Fonte: <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/map/t-m.pdf>

#### **4. LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA**

A existência do que hoje denominamos aeroluminescência (“airglow”) 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 luminescência atmosférica é um fenômeno óptico da atmosfera terrestre causado pela emissão de fótons pelos átomos ou moléculas excitados presentes principalmente entre 80 e 400 km de altitude.

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 ( $\lambda \sim 4\mu\text{m}$ ). As camadas de emissão de aeroluminescência de algumas espécies ao longo da atmosfera são representadas na figura 4.1.

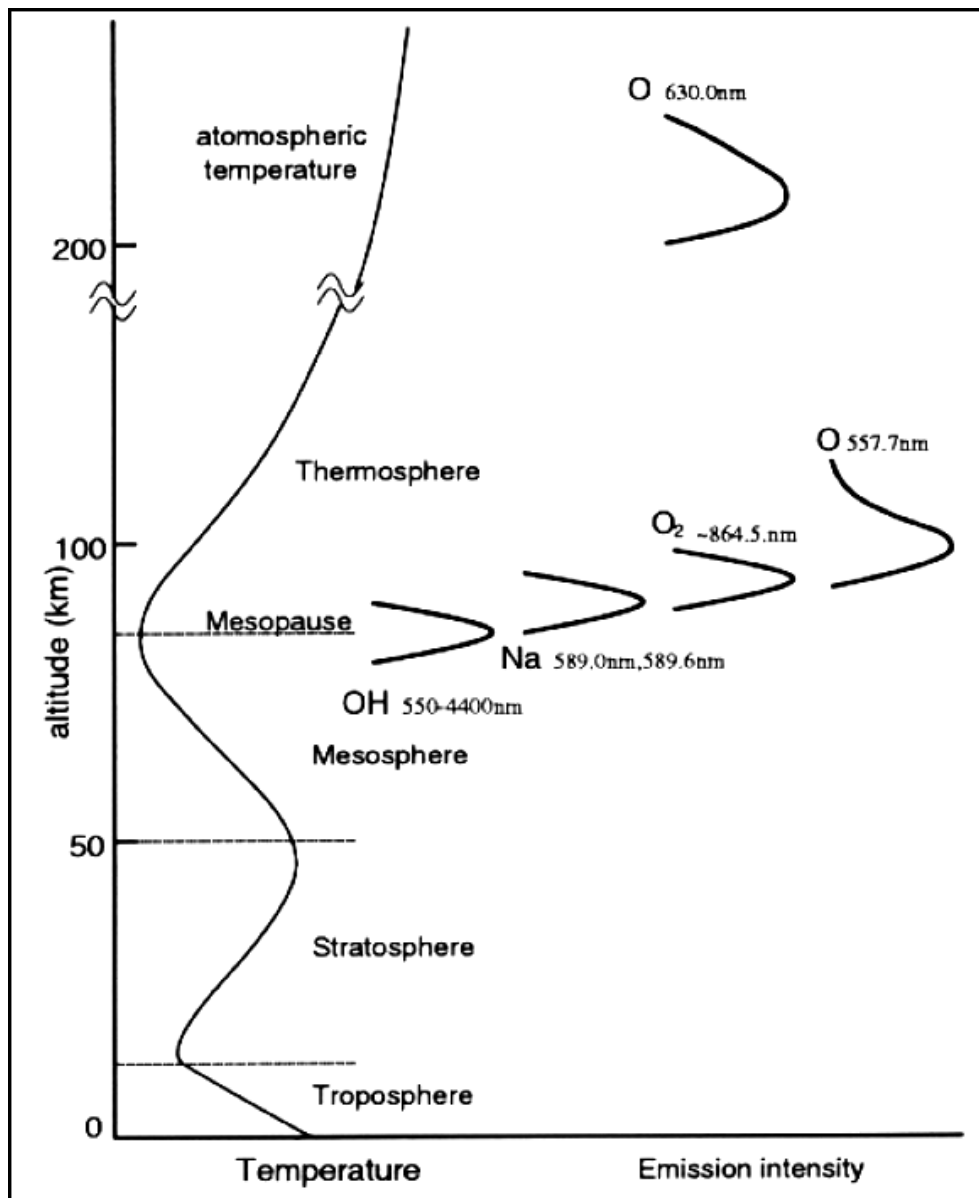


Figura 4.1 – As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o Perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

Fonte: Maekawa (2000, p.4).

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 4.2 apresenta o espectro eletromagnético.

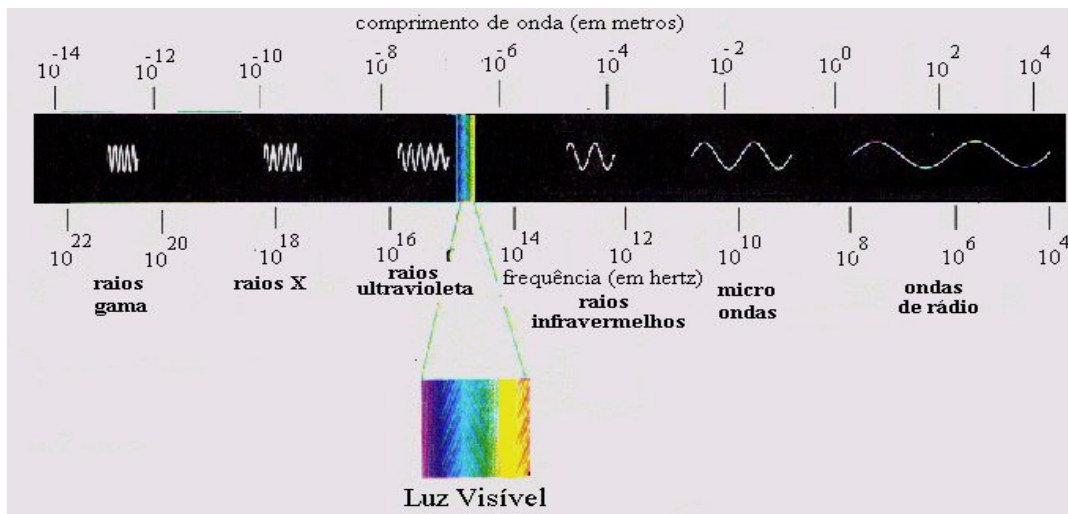


Figura 4.2 – Espectro eletromagnético. Fonte: [www.dhnet.org.br/.../images/espectro.gif](http://www.dhnet.org.br/.../images/espectro.gif)

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:

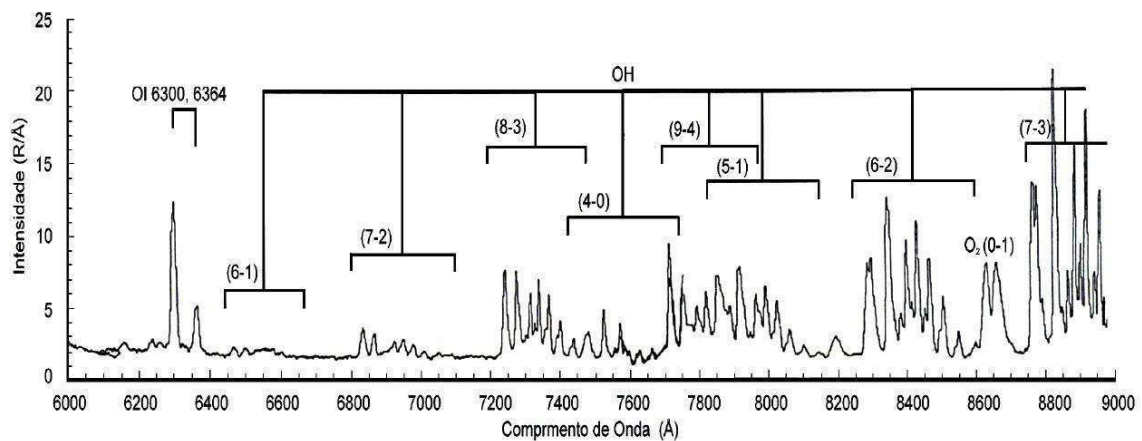
- processos químicos, iônicos e dinâmicos que regem a distribuição vertical dos vários constituintes atmosféricos;
- processos de excitação que geram emissões ópticas;
- a geração e propagação de irregularidades do plasma ionosférico;
- os processos ligados a deposição de partículas neutras energéticas 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;
- b) as bandas vibracionais e rotacionais da Hidroxila;
- c) as emissões de átomos metálicos, como o Sódio, Potássio, Magnésio e Cálcio.

Algumas das principais emissões da aeroluminescência são tratadas a seguir. Uma parte do espectro do *Nightglow* é apresentada na figura 4.3.



**Figura 4.3 – Espectro da aeroluminescência noturna de algumas emissões importantes.  
Fonte: Adaptada de Johnston (1993, p. 215).**

### 4.1. 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 4.4 ilustra os níveis de energia do oxigênio atômico relativos às várias transições eletrônicas deste átomo.

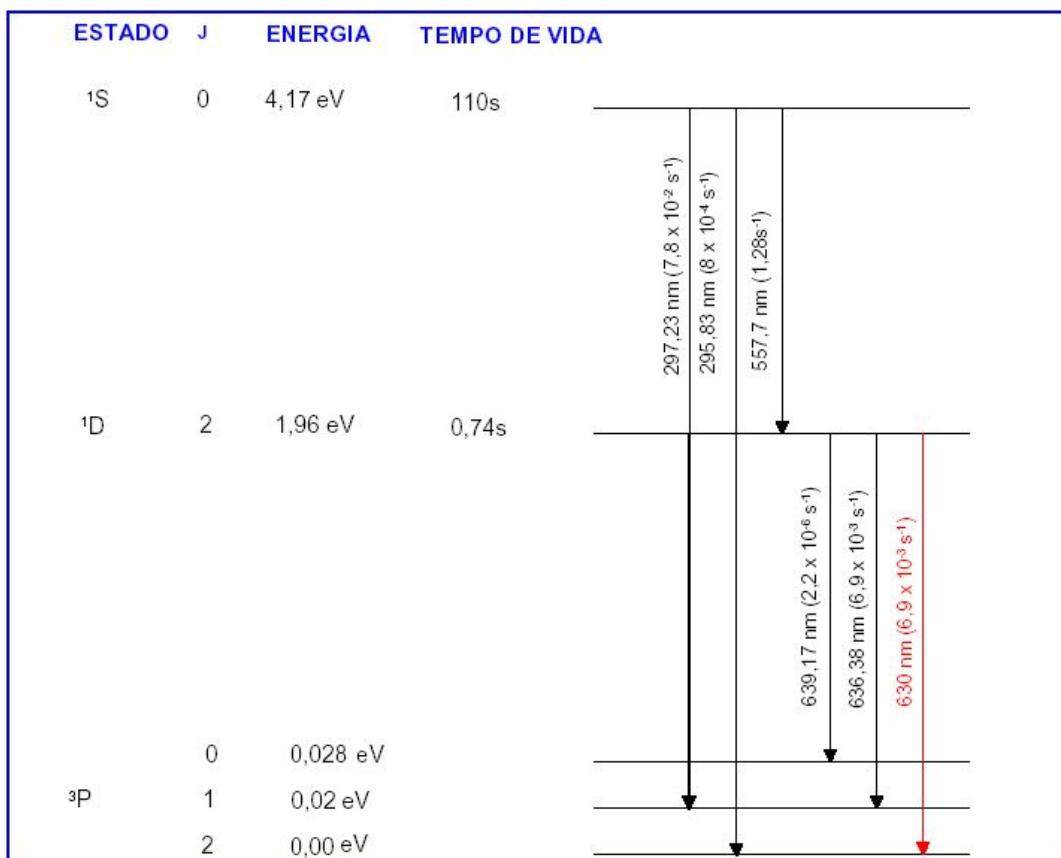


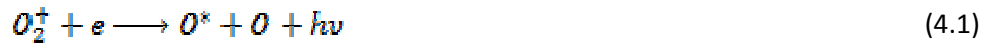
Figura 4.4 – Diagrama de nível de energia para o oxigênio atômico.

Fonte: Krassovsky (1962, p. 912).

#### Linha Vermelha

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  $O_2^+$  com elétrons da região F Ionosférica. Este processo é expresso pela seguinte reação (Whoite, 2000):

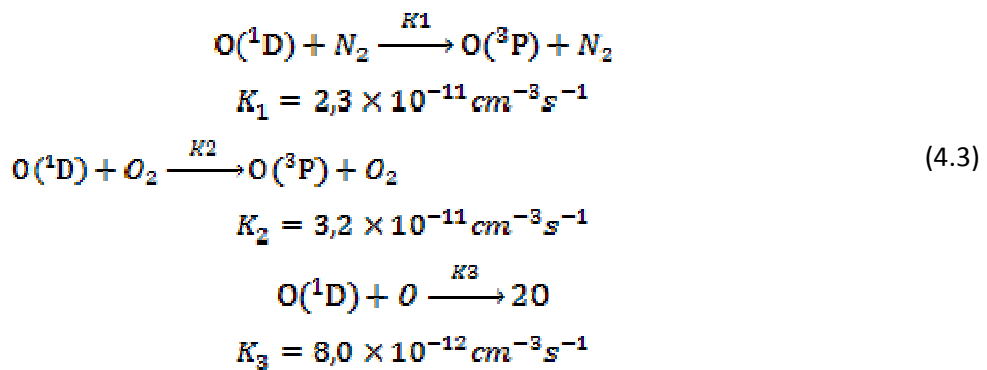


Na reação 4.1,  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  é a frequência correspondente ao comprimento de onda 630 nm. O símbolo (\*) indica que o átomo está no estado excitado. A relação de rendimento para o  $O(^1D)$  produzido como uma função de altura pode ser calculada a partir das taxas de emissão volumétrica. Neste cálculo a produção e a perda são apresentadas por Link e Cogger (1988).

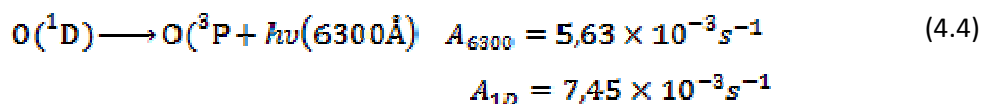
Produção:



Perda do  $O(^1D)$ :



Radiação:





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

$$V_{6300} = f(^1D)\alpha_1[O_2^+][e] \times \frac{A_{6300}}{A_{1D} + K_1[N_2] + K_2[O_2] + K_3[O]} \quad (4.5)$$

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.

### Linha Verde

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 medias latitudes. Em baixas latitudes, uma fração significativa desta emissão surge de processos de recombinação dissociativa na região F. As medidas fotométricas em solo obtém a intensidade integrada das duas fontes, na região E e F. Na região F, o processo de produção do Oxigênio atômico excitado O(1S) e a recombinação dissociativa do íon Oxigênio Molecular com elétrons. Este processo a noite e o mesmo da emissão da linha OI 630 nm, porem a fração de produção e aproximadamente 20 % da mesma.

A emissão da linha verde e causada por um processo de recombinação dissociativa do íon oxigênio (Jacob, 1985), como pode ser visto na equação 4.6:



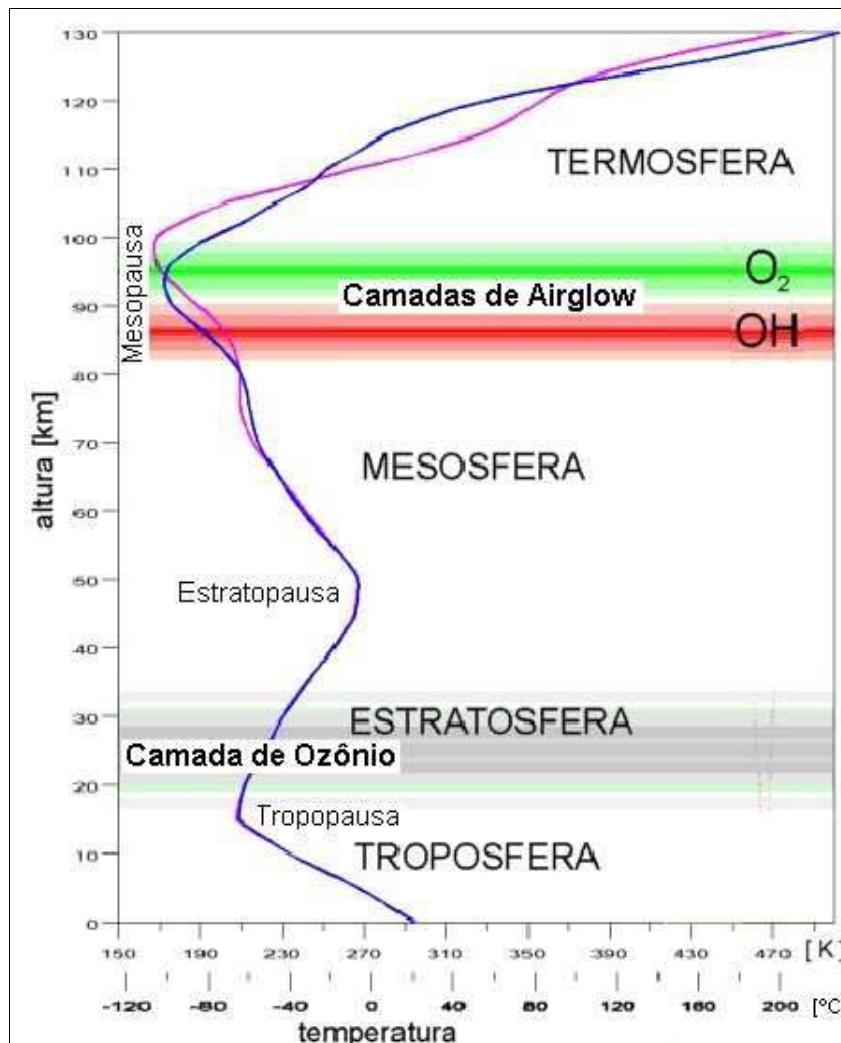
**OI 777,4 nm**

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).

**4.2. As bandas de emissão da Hidroxila – OH(2Π)**

As bandas de emissão do radical hidroxila são conhecidas como bandas de Meinel. O espectro da aeroluminescência noturna da hidroxila é mostrado na figura 4.3. 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 4.5 aponta a camada de hidroxila na atmosfera.



**Figura 4.5 – Localização da camada de hidroxila na atmosfera terrestre.**  
Fonte: [http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos\\_lecture\\_br.html](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.

## 5. 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 5.1, que pode chegar a aproximadamente a 200 m/s.

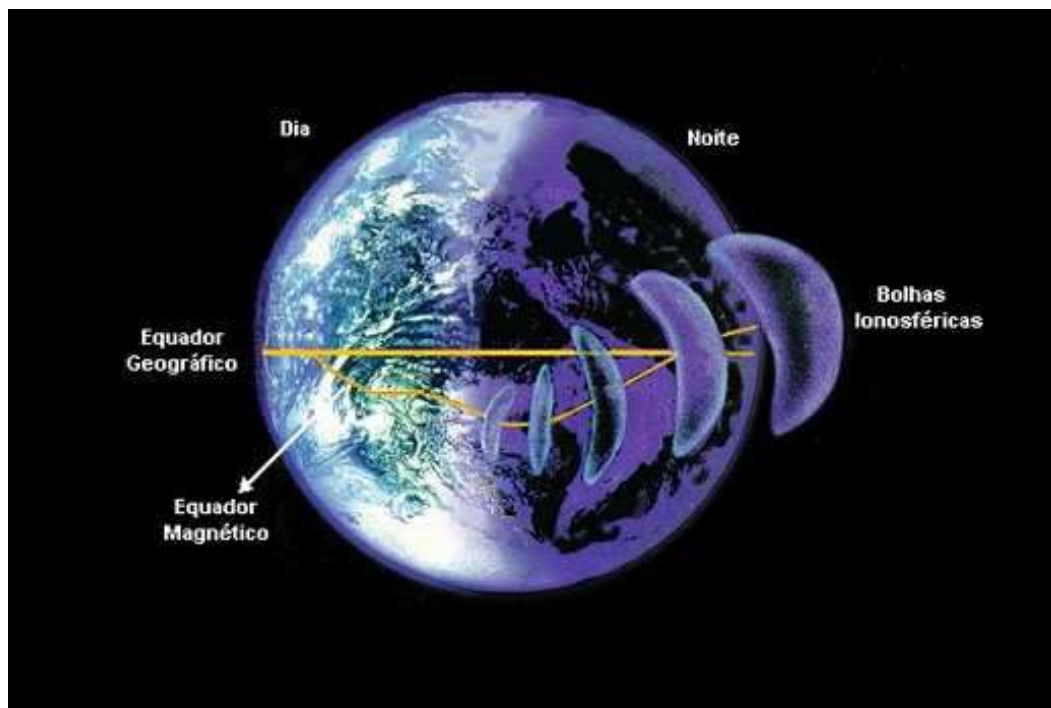


Figura 5.1 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético.  
Fonte: <http://www.ondascurtas.com/images/bolhaionosferica.jpg>



Uma das maneiras para estudar bolhas de plasma é através do uso da técnica 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.

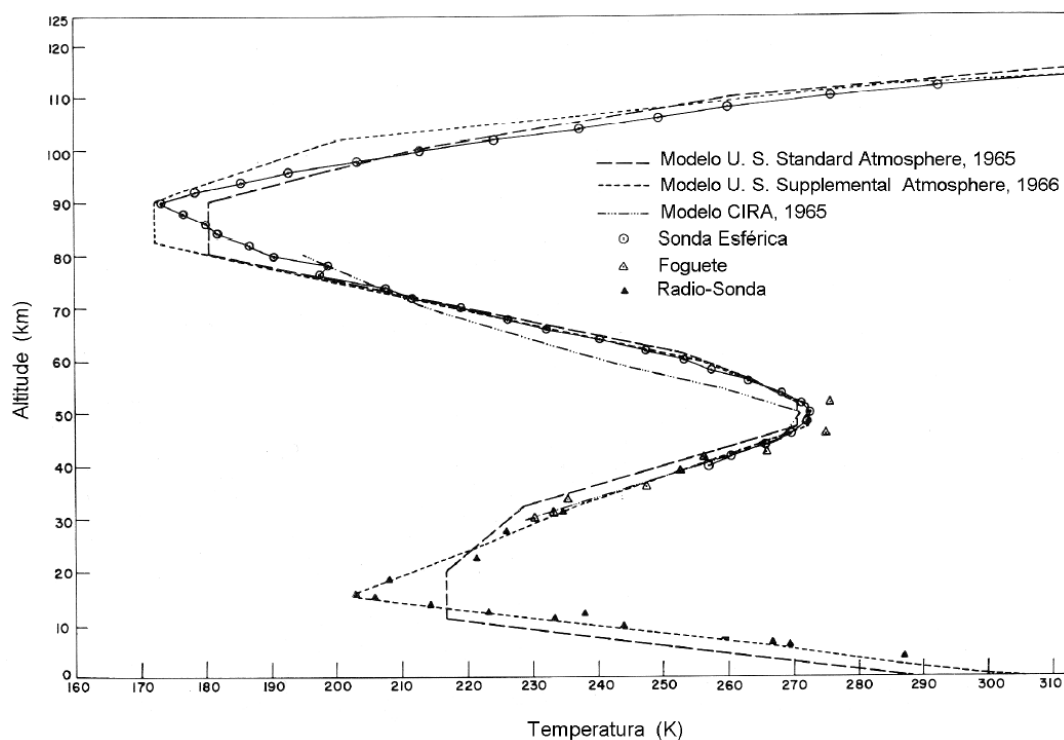
## **6. MEDIDAS DA TEMPERATURA NA REGIÃO DA MESOPAUSA**

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 noctilucentes.

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 6.1 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 6.1 – 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 6.1 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.

## 7. 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*. Este dispositivo é empregado em fotômetros, em substituição as células fotomultiplicadoras.

Na Figura 7.1 vemos o prédio 5 do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE-MCT (29° S, 53° O), onde está situado o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/CRS/INPE – MCT,

O LOLA utiliza algumas técnicas que envolvem a operação de imageadores e fotometria para efetuar as medidas e monitoramento da luminescência atmosférica. Os equipamentos envolvidos serão descritos a seguir.





**Figura 7.1 – Prédio 5 do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.**

## **7.1. O dispositivo CCD (Charge Coupled Device)**

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, e 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 e 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.

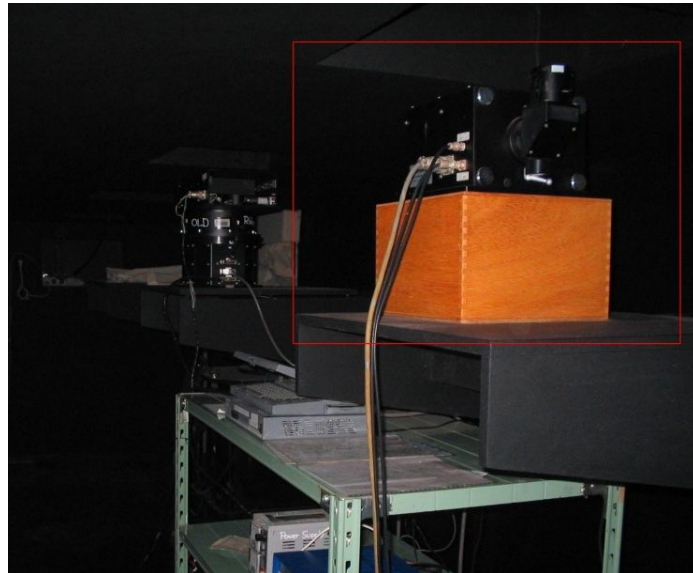
## **7.2. Fotômetro FOTSUL**

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 sem lua no céu noturno (lua nova).

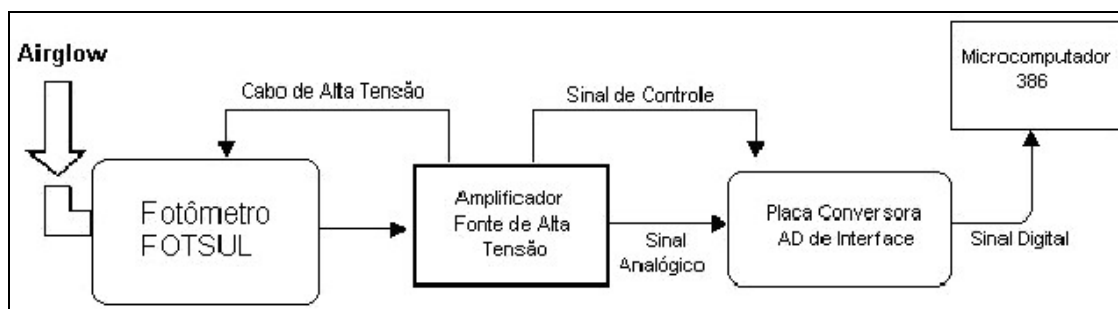
O Fotômetro Zenital FOTSUL (Figura 7.2) mede a intensidade da emissão de Aeroluminescência do oxigênio ionizado nas linhas OI 557,7 nm e OI 630,0 nm. Ele é formado por um sistema de filtros de interferência óptica que selecionam o

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 7.2 – Imagem do fotômetro Zenital FOTSUL, instalado no Observatório Espacial do Sul.**

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. 7.3 mostra o diagrama de blocos do sistema do FOTSUL:



**Figura 7.3 – 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.

### 7.3. Imageador *All-Sky*

O imageador “All-sky” é composto por uma lente em sua parte superior, que proporciona um campo de visão de 180°, além de uma lente de campo que garante que toda a luz vinda da lente “all-sky” incida na lente colimadora.

Filtros de interferência com banda estreita (bastante seletivo) são necessários, pois as intensidades de determinadas linhas do espectro eletromagnético de luminescência atmosférica noturna, tais como OI 630,0 nm e OI 557,7 nm, possuem intensidades relativamente baixas.

Na Figura 7.4 podemos ver um imageador “All-Sky” com câmera fotográfica.

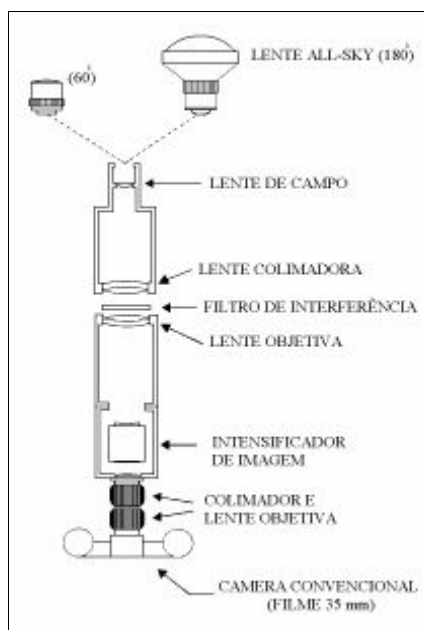
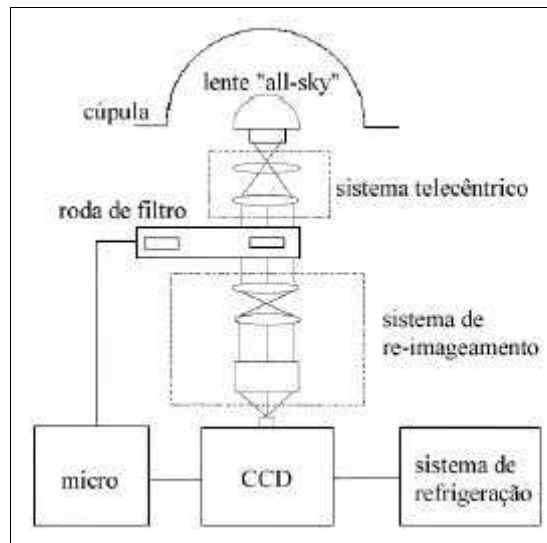


Figura 7.4 – Imageador “All-Sky” com câmera fotográfica. Fonte: Mendillo et al. (1982)

Atualmente, as imagens são digitais e a câmera convencional foi substituída por câmaras CCD (Charge Coupled Device). Os imageadores, então, são constituídos por uma lente tipo “all-sky”, um sistema telescópico, uma roda de filtros de interferência, um sistema de re-imageamento, uma câmera CCD, um sistema de refrigeração e um

microcomputador. A Figura 7.5 representa um típico Imageador “All-Sky” com dispositivo CCD.



**Figura 7.5 – Diagrama em blocos de um imageador “All-Sky” típico com câmara CCD.**  
**Fonte: Medeiros (1999)**

Conforme mencionado, a lente “All-Sky” proporciona um campo de visão de 180° do céu noturno. Esse tipo de lente introduz efeitos de compressão e curvatura da imagem, conforme se aproxima das bordas da mesma.

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  $\text{cm}^2$ .

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.

## **8. PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

Foi realizada a revisão bibliográfica na literatura científica e nos livros existentes no acervo bibliográfico do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE – MCT e nas bibliotecas Central e Setoriais da UFSM, sobre fenômenos estudados e compreensão dos dados e eventos que foram trabalhados;

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”. Foram feitas, até o momento, as seguintes três visitas/missões técnicas de observações:

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;

Nestas visitas foi feita a revisão bibliográfica sobre os fenômenos estudados e o bolsista aprendeu a utilizar o imageador “All-Sky”, bem como a fazer a análise dos dados gerados pelo equipamento sobre as emissões, que estão sendo armazenados em um Banco de Dados criado no LOLA, que está em constante manutenção.



## **9. 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 do banco dados e dos eventos observados;

- Análise de dados e interpretação junto com o orientador;

- Elaboração de trabalhos científicos e participação em congressos.

## **10. 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 Projeto.

Durante sua atuação no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – LMLA/CRS/INPE-MCT, em Santa Maria – RS e no Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/CRS/INPE-MCT, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE-MCT, em São Martinho da Serra – RS, ocorreu um aprofundamento em relação aos conhecimentos, com relação às áreas da Geofísica Espacial e Geomagnetismo, especialmente em Aeronomia.

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



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bageston, J. V.; Determinação da Temperatura da Mesosfera Superior Utilizando um Espectro Imageador, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - 14129-TDI/1080, 2005;
2. Chamberlain, J. W.; Physics of the Aurora and Airglow, American Geophysical Union, 1995;
3. Clemesha, B. R.; Jorge, M. P. P. M.; Batista, P. P.; Simonich. – D. M. O perfil de temperatura na região da mesopausa em São José dos Campos (23° S, 46° O) obtido com radar de laser – Revista Brasileira de Geofísica, 02/07/1997;
4. Coutinho, E. F.; Introdução às Partículas Presas e a Anomalia Geomagnética Brasileira, Ciência e Cultura, 26(4), 329-339, 1974;
5. EOS; TRANSACTIONS; AMERICAN GEOPHYSICAL UNION: Ever-present South Atlantic Anomaly Damages Spacecraft. Volume 83, N° 15, 09 de Abril de 2002;
6. Kirchoff, V.W.; Introdução A Geofísica Espacial, Editora da Universidade de São Paulo, 1991;
7. JUNIOR, O.P.; Gonzalez, W. D.; Anomalia Magnética Brasileira, Ciência Hoje, Vol. 9, N° 52, pp.32-35;
8. 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;
9. 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;
10. Pinto, O. J.; González, W. D.; Anomalia Magnética Brasileira, Ciência Hoje, vol. 9, no 52, 31-35, 1989;



11. Santana, D. C.; Estudo da evolução Temporal/Espacial das derivas das depleções do plasma ionosférico por imagens digitais da Aeroluminescência OI 630 nm noturna – INPE - 8179-TDI/759, 2001;

12. Santos, P. M. T.; Estudo das derivas zonais das Irregularidades de Plasma Ionosférico na região brasileira – INPE - 8208-TDI/763, 2001;

13. Takahashi, H., B. R. Clemesha; et al. Rocket observations of the atomic and molecular oxygen emissions in the equatorial region. *Adv. Space Res.*, 10: (10)47-50, 1987;

14. Takahashi, H. Observações das bandas (9,4), (8,3), (7,2), (6,2) e (5,1) da emissão OH na luminescência atmosférica e o mecanismo de produção da OH excitada na alta atmosfera. São José dos Campos, p.127. (INPE 2046-DTL/50). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1981

15. 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. *Earth Planets Space*, v.51, p. 863-875, 1999;

16. Vargas, F. A. Estudo do espectro das ondas de gravidade observadas em Cachoeira Paulista (23°S), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - 10502-TDI/933, 2003;

17. Wrasse, C. M.; Observação da Temperatura Rotacional da Hidroxila Através da Aeroluminescência na região da Mesosfera Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-8003-TDI/751, 2000;