



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **O ESTUDO DAS EMISSÕES ÓTICAS DA ATMOSFERA NA REGIÃO SUL DO BRASIL**

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

**José Valentin Bageston (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)**

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

**Dr. Hisao Takahashi (INPE, Orientador)**

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

### **COLABORADORES**

**Dr. Nelson J. Schuch (CRSPE/INPE)**

**Dr. Delano Gobbi (LASER/INPE)**

**Mai de 2003**

## **Dados de Identificação**

### **Protocolo:**

022568/2002-6

### **Bolsista:**

José Valentin Bageston

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### **Orientador:**

Dr. Hisao Takahashi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

### **Título do Projeto:**

O Estudo das Emissões Óticas da Atmosfera na Região Sul do Brasil

### **Local de Trabalho**

- Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT
- Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM-MEC
- Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/RSU/INPE-MCT
- Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT

### **Pesquisadores, Técnicos e Estudantes Colaboradores:**

- Dr. Nelson Jorge Schuch - INPE
- Dr. Delano Gobbi - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
- Eng<sup>a</sup>. Fabiola F. Bicalho Costa - INPE
- Téc. Paulo César Monteiro - INPE
- Doutorando Fabio Augusto Vargas dos Santos - INPE
- Acadêmica Sheron de Oliveira Monteiro - UFSM
- Acadêmico Marlos Rockenbach da Silva - UFSM
- Acadêmico Gustavo R. Wrasse - UFSM



## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
Capítulo 1 .....	6
1.1. INTRODUÇÃO .....	6
1.2. OBJETIVOS DO PROJETO “O ESTUDO DAS EMISSÕES ÓTICAS DA ATMOSFERA NA REGIÃO SUL DO BRASIL” .....	7
Capítulo 2 .....	8
DESENVOLVIMENTO TEÓRICO .....	8
2.1. O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA E ANOMALIA GEOMAGNÉTICA .....	8
2.2 A ATMOSFERA TERRESTRE .....	15
2.2.1 Processos físicos que influenciam sobre a variação da temperatura com a altura .....	15
2.2.2 Camadas Atmosféricas, segundo o perfil de temperatura e sua composição química. ....	16
2.2.3 Camadas Atmosféricas, segundo sua composição iônica. ....	19
2.3 DINÂMICA DA ATMOSFERA NEUTRA .....	24
2.3.1 Ventos Termosféricos .....	25
2.3.2 Ondas Planetárias .....	25
2.3.3 Marés Atmosféricas .....	25
2.3.4 Ondas de Gravidade .....	25
2.4 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA .....	26
2.5. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO ...	31
2.6 O ESPECTRO SOLAR .....	34
2.7 RADIAÇÃO ACIMA DA ATMOSFERA .....	34
2.8. TIPOS DE ESPECTROS ATÔMICOS .....	35
2.9. O MODELO DE BOHR PARA O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO .....	38
2.10. INSTRUMENTAÇÃO DO PROJETO .....	43
2.10.1 Características do Equipamento .....	43
2.10.2 Operação do Equipamento .....	45
Capítulo 3 .....	46
3.1 METODOLOGIA .....	46
Capítulo 4 .....	47
4.1 CALIBRAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO DE VARREDURA MERIDIONAL - MIS .....	47
Capítulo 5 .....	50
5.1 RESULTADOS .....	50
Capítulo 6 .....	51
6.1 CONCLUSÕES .....	51
Capítulo 7 .....	52
7.1 ATIVIDADES COMPLEMENTARES .....	52
7.1.1 Atividades Principais .....	52



7.1.2 Acompanhamento Técnico – Científico de Cientistas Japoneses em Visita ao Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT .....	52
7.1.3 Coleta de Dados das Emissões Airglow do OI 557,7nm e OI 630,0nm e Imagens de Câmeras CCD.....	53
7.1.4 Cooperação na Manutenção do Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT .....	53
7.1.5 Resumos Submetidos.....	54
AGRADECIMENTOS.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXO 1: CERTIFICADOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS.....	62
ANEXO 2: CÓPIA DOS RESUMOS SUBMETIDOS E APROVADOS .....	63



## RESUMO

O presente relata as atividades desenvolvidas pelo bolsista *José Valentin Bageston*, acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, vinculado ao Programa do PIBIC/CNPq-INPE, durante o período de *Agosto de 2002 à Maio de 2003*, no projeto “*O Estudo das Emissões Óticas da Atmosfera na Região Sul do Brasil*”.

No período de vigência da bolsa, o acadêmico buscou sempre alcançar os resultados esperados, que estavam previstos no Projeto submetido ao PIBIC/CNPq-INPE, desenvolvendo atividades que foram julgadas por seu orientador de importância para a preparação do acadêmico para o Curso de Mestrado na área em que se enquadra o Projeto – Geofísica Espacial/Aeronomia/Luminescência Atmosférica.

O aluno bolsista faz parte do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/RSU/INPE-MCT – onde se concentraram as atividades. Outras atividades de importância relevante para a formação profissional do acadêmico foram desenvolvidas junto ao Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT - onde existe o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT e na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-MCT em Sao José dos Campos/SP.



## CAPÍTULO 1

### 1.1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT - em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM-MEC - mantêm um programa de monitoramento do céu noturno, operando detectores óticos, permitindo o estudo e determinação de diversos parâmetros da Alta Atmosfera, bem como sua dinâmica no Sul do País e a sua correlação com parâmetros obtidos em outras latitudes.

Aeroluminescência, conhecida como *Airglow*, é uma emissão ótica da Alta Atmosfera, proveniente da desexcitação dos átomos e moléculas que a constituem, sendo que esta emissão de luminescência ocorre em todas as latitudes, diferentemente das Auroras que ocorrem somente em altas latitudes. O estudo desta emissão atmosférica se torna importante para conhecermos melhor os processos Físicos e Químicos da Atmosfera e ainda, por exemplo, estudar os fenômenos dinâmicos da Atmosfera (tais como Ondas de Gravidade e Marés Atmosféricas). Uma boa maneira de se conhecer tais fenômenos dinâmicos é estudar as variações temporais e espaciais destas emissões.

O desenvolvimento deste Relatório é composto de revisão bibliográfica referente ao desenvolvimento do Projeto, desenvolvida pelo bolsista. Esta revisão pretende dar maior ênfase aos assuntos: Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), Atmosfera Terrestre, Luminescência Atmosférica, dinâmica da Atmosfera e tópicos de Física Moderna. Também será apresentado neste relatório características básicas e operação do Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional (MIS - *Meridian Imaging Spectrometer*), equipamento que será instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT em São Martinho da Serra/RS, com o intuito de monitorar as emissões espectrais do Nitrogênio Ionizado,  $N_2^+$  391,4nm e 427,8nm, e do Hidrogênio na linha 486nm (H Beta). Estes dados serão utilizados para pesquisar a precipitação de partículas energéticas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, conforme objetivo do presente Projeto. Finalmente, são descritos os planos para a continuidade deste Projeto.



As informações presentes neste Relatório poderão servir de base para a continuidade do Projeto, sendo útil como referência para outros estudantes, técnicos, ou mesmo pesquisadores.

## **1.2. OBJETIVOS DO PROJETO “O ESTUDO DAS EMISSÕES ÓTICAS DA ATMOSFERA NA REGIÃO SUL DO BRASIL”**

Sabe-se, através de dados de satélites, *Sputnik V* – Agosto de 1960 e *NOAA 10* – Março de 1989, que na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), cujo centro localiza-se na região próxima ao Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, ocorrem fenômenos Geofísicos diferenciados em comparação com outras regiões, ressaltando-se a maior incidência de precipitação partículas energéticas na Alta Atmosfera, acima de 100 Km de altitude, da região da AMAS.

O objetivo deste Projeto é pesquisar os fenômenos geofísicos espaciais que ocorrem nesta Região, utilizando um Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional (*Meridian Image Spectrometer - MIS*) de alta sensibilidade, no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE–MCT, em São Martinho da Serra/RS, para monitorar as emissões espectrais do Nitrogênio Ionizado,  $N_2^+$  391,4nm e 427,8nm, e do Hidrogênio na linha 486nm (H Beta).

É importante salientar que a ionização do Nitrogênio (bem como dos demais componentes da Atmosfera) acontece principalmente pelo bombardeio de partículas energéticas (elétrons e prótons) e desta forma, as emissões *Airglow* do Nitrogênio e do hidrogênio poderão indicar uma maior incidência de partículas energéticas no Campo Geomagnético. Este estudo inclui a investigação de variações temporais e espaciais da Aeroluminescência e o efeito da Anomalia nos processos físico e químico da Alta Atmosfera.



## **CAPÍTULO 2**

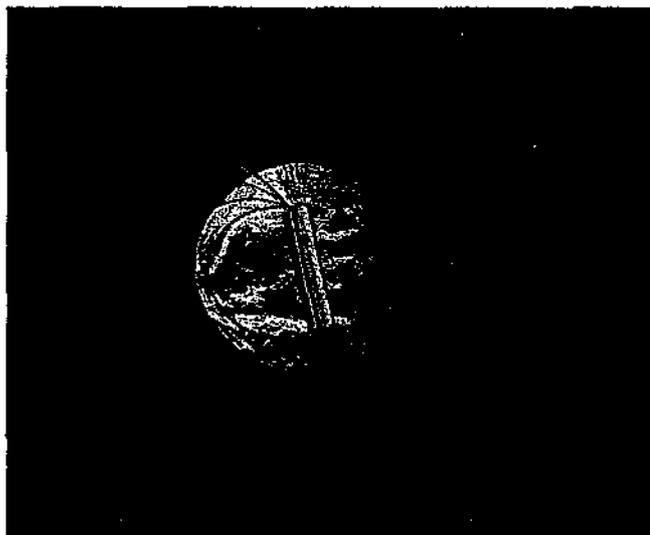
### **DESENVOLVIMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA E ANOMALIA GEOMAGNÉTICA**

O Campo Geomagnético, cuja existência só foi descoberto no século XVI, tem como principal componente o campo gerado no interior da Terra, que representa cerca de 99% do seu total. Outros campos, de intensidade muito variável, são produzidos por correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas vizinhas ao Planeta (Ionosfera e Magnetosfera).

A origem do Campo Magnético tem sido estudada por vários pesquisadores. Entre as teorias, a “Teoria do Dínamo”, é plausível candidata para explicar o mecanismo do Campo Magnético, entretanto, o modelo não explica sua reversão.

Como primeira aproximação pode-se conceber o campo magnético principal decorrer de um dipolo magnético colocado no centro da Terra e inclinado com aproximadamente  $11^\circ$  em relação ao eixo de rotação do Planeta (Figura. 2.1-1), mas com apenas essa suposição, os erros chegariam a 30% em relação ao campo real. Uma melhor aproximação exige que desloquemos o centro do dipolo cerca de 500 Km do centro geográfico da Terra ao longo da longitude  $33^\circ$  oeste (valores que correspondem a 1985). Chegamos assim, a um dipolo excêntrico, que permite reproduzir o Campo Magnético Terrestre com uma margem de erro de aproximadamente 10%. Finalmente pode-se chegar a uma derivação mais completa do campo a partir de modelos matemáticos mais complexos, que se utilizam de uma representação conhecida como expansão multipolar. Neste modelo, anomalias magnéticas podem estar associadas à irregularidades nas correntes que fluem num núcleo metálico, em estado de fusão, existente no centro da Terra, acredita-se que o Campo Geomagnético principal seja originário dessas correntes, teoria conhecida como “Teoria do Dínamo”, como mencionada.



**Figura 2.1-1: Aproximação para o Campo Magnético Terrestre <sup>[1]</sup>.**

O Campo Magnético da terra é assimétrico, sua mais baixa intensidade encontra-se numa extensa região, parte sobre o Oceano Atlântico e parte sobre o Território Brasileiro. Como consequência direta desse fenômeno – denominado “Anomalia Magnética Brasileira” ou “Anomalia Magnética do Atlântico Sul”, AMAS – o cinturão de radiação que circunda o Planeta, conhecido como cinturão de Van Allen, encontra-se rebaixado, fazendo com que a Atmosfera local receba um maior bombardeio de partículas oriundas do espaço exterior. Esta particularidade descoberta no início da era dos satélites, nos anos 50, faz da região um singular laboratório natural de pesquisas em Física, Geofísica, Geomagnetismo e Aeronomia (investigação das camadas superiores da Atmosfera). Destacam-se neste contexto os estudos dos processos relacionados com a origem das partículas incidentes, as variações em sua intensidade e os efeitos que produzem na Atmosfera local.

Medidas efetuadas ao longo dos últimos quatro séculos indicam que, numa escala de alguns milhares de anos, esta região de baixa intensidade magnética tende a se deslocar em torno do Planeta, na direção Leste-Oeste. Observações astronômicas mostram que anomalias semelhantes a essa – que resulta, fundamentalmente, da não coincidência entre os centros magnéticos e geográficos da Terra – devem ocorrer em outros planetas do Sistema Solar.

Influenciados pela geometria do Campo Magnético da Terra, as partículas energéticas que incidem sobre o Planeta ficam aprisionadas ao seu redor e passam a descrever movimentos que, de forma aproximada, podem ser descritos da seguinte forma:

- 1) Rápido movimento ao redor das linhas de campo magnético, chamado de movimento ciclotrônico;
- 2) Movimento de vaivém ao longo da linha de Campo Magnético, entre dois pontos de reflexão;
- 3) Movimento ao redor da Terra, conhecido como movimento de deriva.

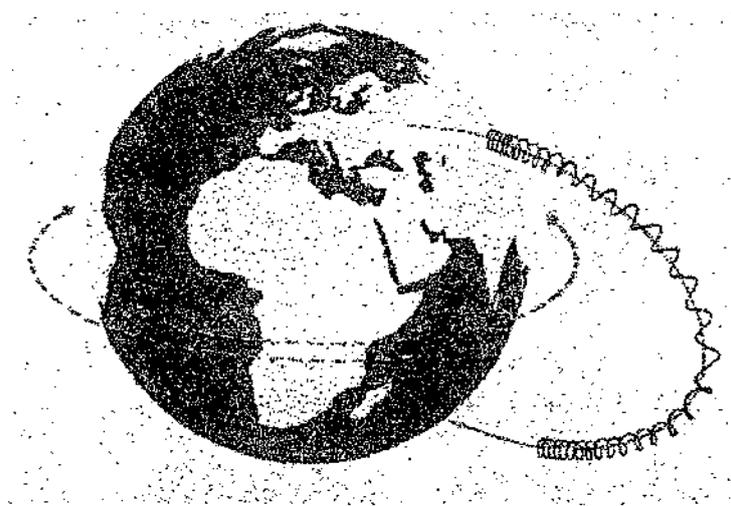


Figura 2.1-2: Movimento de partículas em torno da terra <sup>[1]</sup>.

A AMAS foi descoberta em agosto de 1960, quando Sergei N. Vernov, Pesquisador da Universidade de Moscou, submeteu à análise os dados obtidos pelo satélite Sputnik V, que levava a bordo um contador Geiger e um cintilador de iodeto de sódio, instrumentos capazes de detectar apenas elétrons e prótons que apresentassem, respectivamente, energias superiores a 8 e 60 Mega elétrons-volt (MeV),  $1 \text{ MeV} = 10^6$  elétrons-volt, verificou-se que a intensidade da radiação mostrava-se aumentada a uma altitude de 300 Km sobre a região do Atlântico Sul, próxima ao Brasil, justo onde o Campo Geomagnético era anormalmente mais fraco que o restante do Planeta, a “Anomalia Magnética Brasileira” ou “Anomalia Magnética do Atlântico Sul” (AMAS), como é mais conhecida.

A seguir mostra-se um mapa da intensidade total do Campo Geomagnético, segundo o Modelo IGRF para ano de 2000. Note-se que a intensidade do Campo Geomagnético no Sul do Brasil é muito baixa, caracterizando a AMAS.

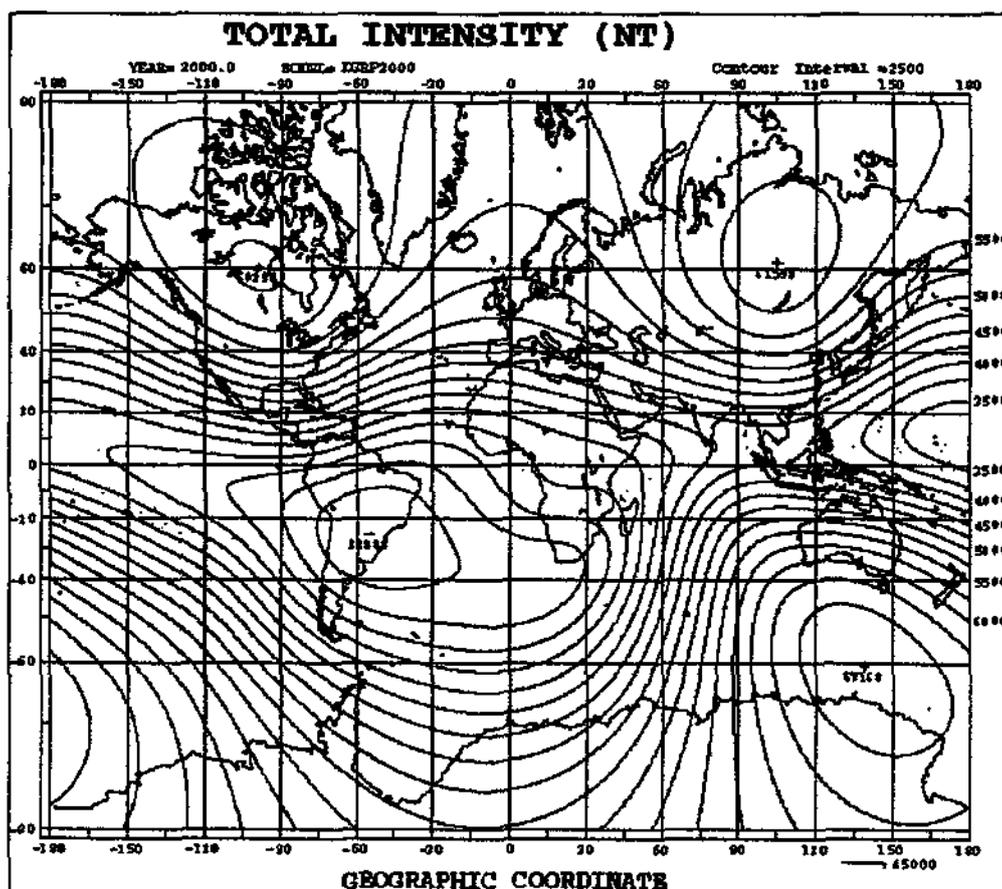
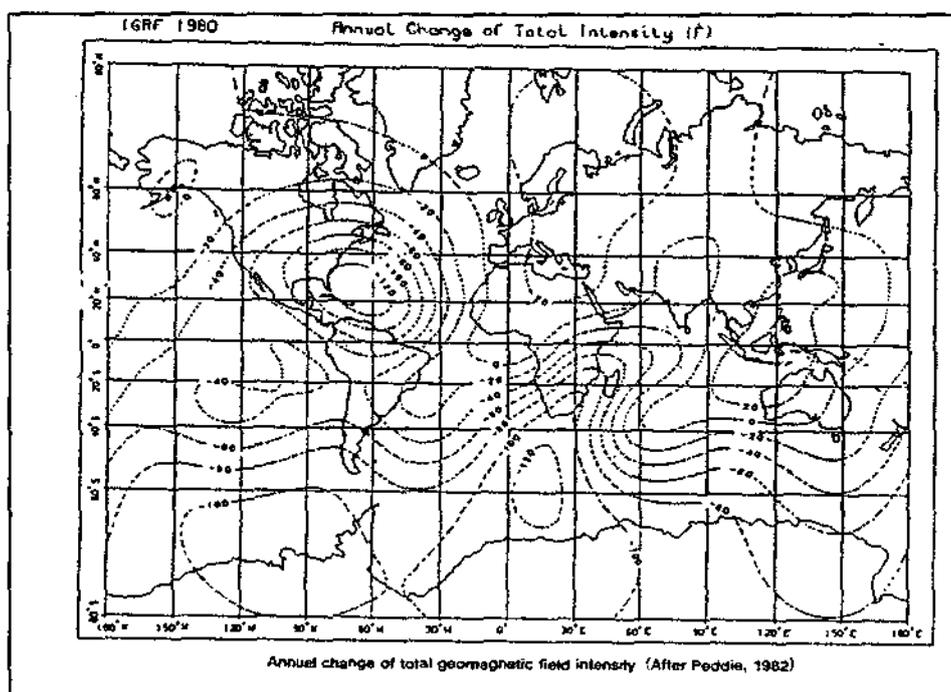


Figura 2.1-3: Intensidade total do Campo Geomagnético (nT)<sup>[2]</sup>.

Essa menor intensidade do Campo Magnético está associada à irregularidades na distribuição das correntes que fluem no núcleo ou, no seu limite com a crosta, no interior da Terra. A diminuição da intensidade Campo Geomagnético na região da AMAS exerce um efeito interessante sobre o movimento das partículas carregadas aprisionadas no cinturão interno: elas se movem ao redor da Terra, mantendo constante a intensidade do Campo Magnético nos pontos situados nos extremos da trajetória ao longo das linhas de campo (denominados pontos de reflexão, uma vez que neles é invertido o sentido do movimento das partículas). Na região sobre a AMAS, a altura do ponto de reflexão é sensivelmente reduzida (de modo a manter constante a intensidade do campo nos pontos de reflexão), encontrando regiões mais densas da Atmosfera aumentando assim a possibilidade de que partículas mais energéticas precipitem nestas regiões.

A região central da AMAS é o ponto da superfície da Terra onde há menor intensidade do Campo Magnético, mas sua variação, é diferente de ponto para ponto na superfície

terrestre. A Figura 2.1-4 mostra as mudanças anuais da intensidade do Campo Geomagnético total, examinado por Peddie (1982).



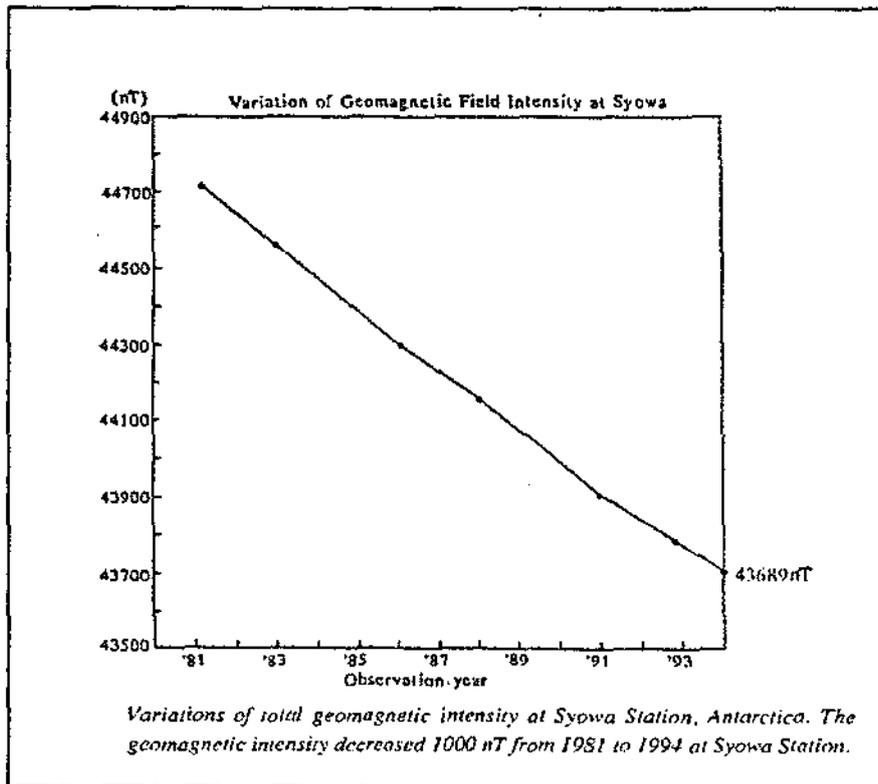
**Figura 2.1-4: Mudanças anuais na intensidade do Campo Geomagnético <sup>[2]</sup>.**

Nesta Figura um grande decréscimo (aproximadamente 100nT/ano) é visto nas Ilhas Indianas Ocidentais, no Sul da África e Península Antártica. Estas regiões circundam a América do Sul, onde, a intensidade do Campo Geomagnético é muito fraca. Se o decréscimo médio não sofrer mudanças, no futuro (daqui à aproximadamente 600 anos) o Campo Geomagnético deverá desaparecer nestas regiões.

A Figura 2.1-5 mostra a variação do Campo Geomagnético, obtido pela estação Syowa, através de dados coletados de 1981 a 1994.

Porém o decréscimo médio no centro da Anomalia Magnética Brasileira não é tão grande (aproximadamente 30nT/ano), mostrando que tal Anomalia está se expandindo ao redor desta região.

Outro tipo de anomalia, contrária a AMAS, é verificado no Continente Eurasiano, (Sibéria e Europa), onde a intensidade do Campo Geomagnético está aumentando (aproximadamente 20nT/ano). Esta anomalia é conhecida como Anomalia Geomagnética Siberiana, onde a intensidade é extremamente grande (>60000nT).

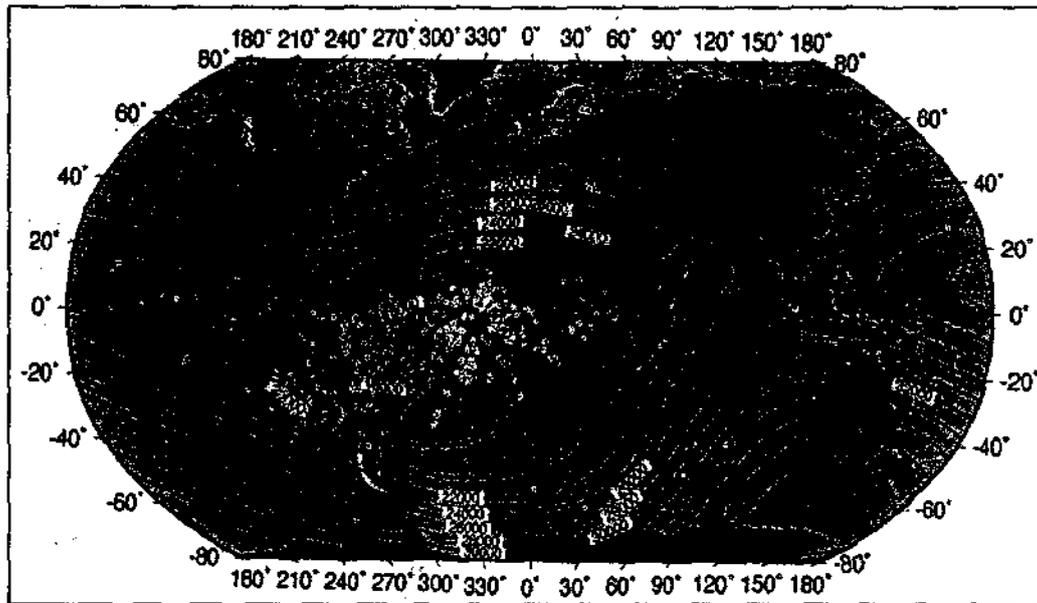


**Figura 2.1-5: Variação total do Campo Geomagnético (Estação de Syowa - 1981 a 1994)<sup>[9]</sup>.**

Outro fato interessante em relação às variações do Campo Geomagnético é que estas variações são responsáveis pelas inversões dos pólos Geomagnéticos que ocorrem em longos tempos. É registrado que o presente Campo Geomagnético apareceu à 700 mil anos. Contudo, inversões geomagnéticas de curto período freqüentemente ocorreram nestes 700 mil anos.

A anomalia mais pesquisada é a Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, pois, partículas de alta energia, vindas do Sol ou de outras galáxias distantes cheguem em baixas altitudes. Isso pode ser confirmado pelo fluxo de elétrons com energia maior que 300Kev, que foram detectadas pelo satélite NOAA-10 na altitude de 815 Km, durante o período de 11-20 de Março de 1989. Este período inclui uma grande “Tempestade Geomagnética”, durante um período de intensa atividade solar (máximo solar), de 13-14 de Agosto de 1989 (Allen e outros, 1989). Durante as Tempestades Geomagnéticas, ou seja, quando há uma maior atividade solar, espera-se que a intensidade da Aeroluminescência e das Auroras seja elevada significativamente.

A Figura 2.1-6 demonstra que há, realmente, uma maior precipitação de partículas sobre a região da AMAS.



**Figura 2.1-6: Campo Geomagnético total, mostrando os locais que registraram danos em sensores a bordo de satélites<sup>[4]</sup>.**

A Figura 2.1-6 mostra o Campo Geomagnético Total em torno de 1.338 Km de altitude (IGRF 1995). Os pontos amarelos são os locais onde o satélite TOPEX teve problemas de 1992 a 1998. O ponto marcado com a estrela vermelha é o local onde um Spectrorradiômetro, (MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), um dos principais instrumentos da NASA a bordo de espaçonave, se tornou inoperante ao passar pelo leste da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), mostrando que a Anomalia afeta equipamentos a bordo de satélites, além de causar danos à pessoas a bordo de espaçonaves. Os quadrados pretos mostram dois Observatórios Geomagnéticos próximos a AMAS.

Prótons e elétrons que precipitam no cinturão de radiação (Cinturão de Van Allen) têm energias da ordem de MeV e KeV respectivamente, e sua densidade, ou seja, a quantidade de partículas que precipitam varia de acordo com a atividade solar. Essas partículas e íons pesados podem ser um importante diagnóstico para as possíveis causas de problemas em satélites ao passarem pela região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Muitas pesquisas têm sido realizadas para investigar os efeitos da Anomalia e prevenir maiores danos em equipamentos a bordo de satélites ou até mesmo, os seres humanos que se encontram no espaço. Assim, se torna importante a investigação desses



fenômenos das mais diversas formas, e uma maneira é através do estudo da Aeroluminescência na região da AMAS.

## 2.2 A ATMOSFERA TERRESTRE

A Atmosfera Terrestre foi formada a aproximadamente 5 bilhões de anos a partir da liberação de gases do interior da Terra recém criada. A camada gasosa que envolve a Terra, composta de nitrogênio, oxigênio, gás carbônico, vapor d'água e outros gases e impurezas, tem cerca de 1000 Km de altura e pode ser classificada segundo diversas formas. O que veremos adiante é a divisão segundo dois parâmetros: a temperatura e a composição iônica.

Nossa Atmosfera é praticamente transparente à radiação solar e opaca à radiação planetária, ou seja, a radiação solar é absorvida pela superfície sólida, mas sua emissão é absorvida pela Atmosfera. Esta por sua vez reemitirá a energia recebida, da qual uma parte será reabsorvida pela superfície e assim por diante. A característica de aprisionamento de energia irradiada em comprimentos de onda muito longo é conhecido como Efeito Estufa. Assim, a Atmosfera, principalmente nas camadas inferiores, atua como fonte secundária de energia, o que resultará numa Temperatura Efetiva ( $T_e$ ) maior. Dessa forma a superfície do Planeta não é aquecida apenas pela radiação solar direta, mas também pela radiação solar secundária da Atmosfera e de forma que a Temperatura da Superfície ( $T_s$ ) poderá ser maior que a Temperatura Efetiva ( $T_e$ ). Essa diferença se dá devido à presença de gases em torno do Planeta, o que permite a ocorrência de diversos processos físicos, que poderão em maior ou menor escala, alterar a temperatura da superfície.

### 2.2.1 Processos físicos que influenciam sobre a variação da temperatura com a altura

- **Convecção:** este processo é mais importante nas camadas inferiores, ou seja, na Baixa Atmosfera, afetando a temperatura na superfície terrestre, sendo este processo responsável pela diminuição da temperatura em cerca de 60K. A convecção é um processo de transporte de fluido decorrente de sua expansão, processo importante do ponto de vista meteorológico.



- **Absorção:** é o processo pelo qual as moléculas que constituem a Atmosfera absorvem a radiação solar diretamente, principalmente no Ultra-Violeta (UV) e no Extremo Ultravioleta (EUV), essa absorção ocorre em comprimentos de onda pequenos em relação à todo o Espectro. Na Alta Atmosfera da Terra existem moléculas que absorvem energia proveniente diretamente do Sol, e sendo esta região de baixa densidade, a remoção de energia na forma de calor desta região é muito pequeno, portanto esta região é de temperaturas elevadas.
- **Radiação:** Este processo é mais importante nas camadas mais baixas da Atmosfera, onde a densidade é suficientemente elevada.
- **Condução:** Este processo é resultante das colisões diretas entre as moléculas. É um mecanismo relativamente ineficiente para remoção de energia na forma de calor dos gases, mas é de grande importância na Termosfera Terrestre (90 a 300 Km), onde a convecção é inibida e não existe radiação infravermelho, devido à rarefação das partículas.

### **2.2.2 Camadas Atmosféricas, segundo o perfil de temperatura e sua composição química.**

A Atmosfera pode ser classificada com relação ao seu *perfil de temperatura* ou de acordo com sua *composição*.

#### **Segundo o Perfil de Temperatura**

*Troposfera:* camada mais próxima da superfície da Terra, a qual é mais importante sob o ponto de vista meteorológico, pois é a região onde ocorre a maior parte dos fenômenos meteorológicos, estende-se aproximadamente até uma altura de 15 Km (dependendo da latitude). Nessa faixa a temperatura decresce com a altura diminuindo de 290K (17°C) na superfície, até 220K (-53°C) em aproximadamente 15Km. Esta diminuição é devida a expansão adiabática da Atmosfera, que foi aquecida pela energia na forma de calor cedida pelo solo que absorveu radiação solar.

*Estratosfera:* camada compreendida entre 15 e 50 Km de altura, nesta camada a temperatura aumenta com a altura, chegando a um máximo em 50 Km, atingindo uma temperatura de 300K (27°C). Este aumento da temperatura é resultado da absorção da radiação solar no ultravioleta (200 - 300nm).

**Mesosfera:** camada cuja temperatura decresce com a altura, localizada entre 50 e 90 Km de altura, esta é a região mais fria da Atmosfera, atingindo um mínimo de 190K (-83°C) em aproximadamente 90 Km de altura. Como praticamente não existe absorção de radiação em altitudes bem acima da Estratopausa (região que separa a alta Estratosfera e a baixa Mesosfera), a Mesosfera tende a diminuir sua temperatura devido à expansão adiabática do ar, como no caso da Troposfera. A Estratosfera e a Mesosfera constituem a chamada Média Atmosfera

**Termosfera:** camada mais externa, onde a temperatura cresce rapidamente com a altura, caracterizada por altas temperaturas, atingindo um máximo de aproximadamente 1000K (727°C), denominada *temperatura exosférica* e denotada por  $T_{\infty}$  ou  $T_E$ . A maior absorção da radiação ultravioleta nessa região, é responsável pelas altas temperaturas.

As regiões de transição entre as camadas são caracterizadas por gradientes de temperatura nulos, estas regiões são as seguintes:

**Tropopausa:** localizada entre a Troposfera e Estratosfera, ocorre nessa região, em torno de 15 Km, um mínimo de temperatura de aproximadamente 195K (-78°C);

**Estratopausa:** separa a alta Estratosfera e a baixa Mesosfera, localizada em torno de 50 Km de altitude com temperatura em torno de 270K (-3°C);

**Mesopausa:** região que separa a Mesosfera da Termosfera, localizada aproximadamente em 85 Km de altitude, com temperatura em torno de 190K (-83°C), que é considerada a mais baixa temperatura da Atmosfera.

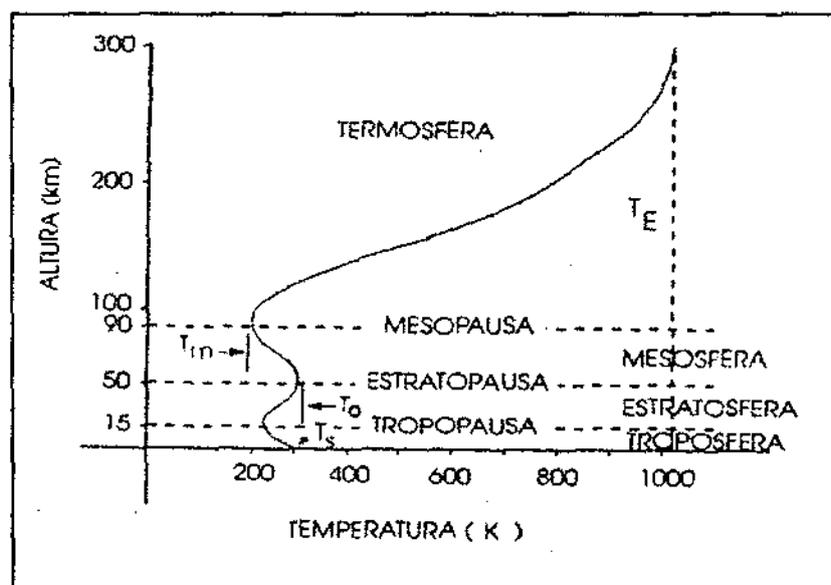


Figura 2.2.2-1: Localização das camadas da Atmosfera neutra em função da variação da temperatura atmosférica com a altura<sup>[5]</sup>.

Na Figura 2.2.2-1,  $T_o$  é causada pela absorção direta de UV solar por  $H_2O$  e  $O_3$ , e  $T_E$  por absorção direta de EUV e UV, que dá origem à partículas ionizadas da Ionosfera. Os processos de remoção de calor são: convecção na Troposfera, condução na Termosfera e radiação na Mesopausa. A temperatura mínima da Atmosfera,  $T_m$ , é uma característica da Mesopausa.

### **Segundo a composição química**

Sabe-se que a Atmosfera Terrestre é uma mistura de gases, dos quais o nitrogênio é o mais abundante, dessa maneira podemos dividi-la também em camadas, segundo a abundância de constituintes.

Até uma altura de aproximadamente 100 Km, a mistura de gases é praticamente constante, i. e., até essa altura a proporção de mistura de um certo gás se mantém. Esta região inferior da Atmosfera é chamada *Homosfera*. Na homosfera, a proporção volumétrica de  $N_2$  é de 78% e de  $O_2$  de 21%, sendo os gases restantes o argônio (Ar), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), os gases nobres e outros em porções ainda menores. Embora pouco abundantes,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $O_3$  têm grande importância devido a sua capacidade de absorver diretamente a radiação solar. O ozônio tem a função de uma verdadeira cortina protetora, pois absorve os raios ultravioletas solares, letais para a vida animal.

A *Heterosfera* é região onde os gases se distribuem quase independente um do outro, ou seja, se distribuem de acordo com suas próprias escalas de altura e não há mais mistura proporcional, esta região fica aproximadamente entre de 100 Km e 500 Km. Porém já acima de 200 Km, o nitrogênio e o oxigênio moleculares deixam de ser os componentes majoritários, esta função passa respectivamente para oxigênio atômico, hélio e hidrogênio, à medida que aumenta a altura. Existe ainda a região denominada *Exosfera*, que é a região localizada acima de 500 Km, onde predominam os gases leves (hélio, hidrogênio, nitrogênio).

Na Figura 2.2.2-2 mostra-se a variação da concentração de alguns componentes atmosféricos em função da altura, da superfície terrestre até 1000 Km, de acordo com o Modelo U.S. Standard 1976.

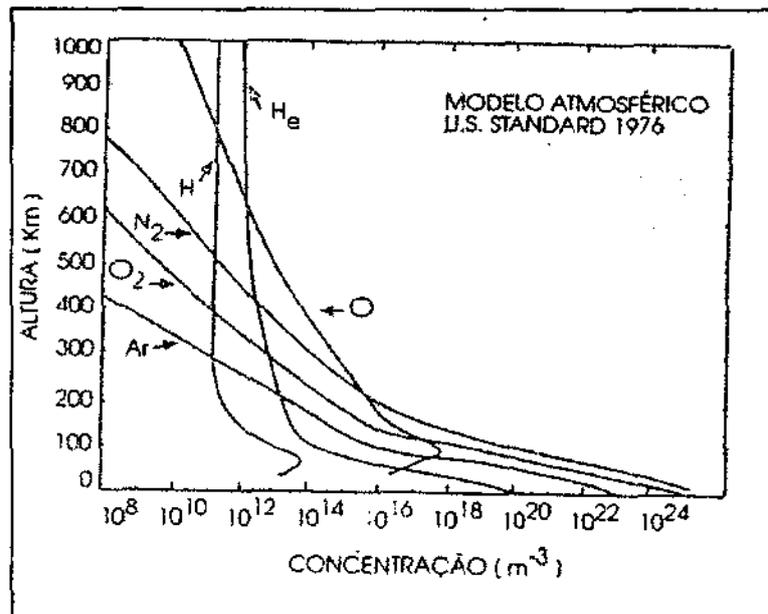


Figura. 2.2.2-2: Variação de alguns componentes do ar atmosférico com a altura<sup>[5]</sup>.

Na região mais externa da Atmosfera, Exosfera (acima de 500 Km), as colisões entre moléculas e átomos são pouco freqüentes, as partículas neutras deslocam-se, portanto, em órbitas balísticas no campo gravitacional. Esta é uma região onde há perda constante de partículas para o espaço. Na Exosfera pode referir-se à *Heliosfera* em que predomina o Hélio (He) e à *Protonosfera* em que o Hidrogênio é o mais abundante.

### 2.2.3 Camadas Atmosféricas, segundo sua composição iônica.

Do ponto de vista da concentração de íons livres na Atmosfera (os quais afetam ondas eletromagnéticas), é importante definir ainda a *Ionosfera*.

#### A Ionosfera

Esta é a região da Atmosfera superior que se estende desde, aproximadamente 50 Km até 1000 Km, é caracterizada pela alta condutividade, devido ao elevado número de íons e elétrons livres que a compõem. A formação desta camada está associada à radiação solar incidente na Atmosfera Terrestre e, em menor grau de importância, à radiação cósmica. A radiação solar, nos espectros do Extremo Ultravioleta (EUV) e Raios-X, ao incidir sobre a Atmosfera neutra, produz uma grande quantidade de íons positivos e elétrons livres, através do processo de fotoionização ou simplesmente ionização. Estas partículas vindas principalmente do Sol colidem com átomos de gás eletricamente neutros da Atmosfera, e removem um ou mais elétrons de cada átomo. Quando estes



elétrons ficam livres, os átomos ficam carregados positivamente (íons positivos) e permanecem no espaço, juntamente com os elétrons livres. Os elétrons livres absorvem parte de energia ultravioleta que os libertou e formam uma camada ionizada.

Como a Atmosfera é atingida por radiação ultravioleta de diferentes frequências, várias camadas são formadas a diferentes altitudes. A radiação ultravioleta de alta frequência penetra mais fundo na Atmosfera, produzindo camadas ionizadas na parte mais baixa da Ionosfera. Reciprocamente, a radiação ultravioleta de menor frequência penetra menos, e formam camadas ionizadas nas regiões mais altas da Ionosfera.

Um fator importante na determinação da densidade destas camadas ionizadas é o ângulo de elevação do Sol. Como este ângulo varia com frequência, a altitude e espessura das camadas ionizadas variam, dependendo da hora do dia e da estação do ano. Outro fator na determinação da densidade da camada é conhecido como recombinação. A Recombinação é o processo oposto à ionização. Ocorre quando elétrons livres e íons positivos e elétrons livres colidem, combinam-se, resultando átomos eletricamente neutros. Tal como a ionização, a recombinação depende da hora do dia. Entre o início da manhã e o fim da tarde, o ritmo de ionização excede o ritmo de recombinação. Durante este período as camadas ionizadas atingem a máxima densidade e exercem a maior influencia nas ondas rádio. No entanto, ao anoitecer, o ritmo de recombinação excede o de ionização, causando a diminuição da densidade das camadas ionizadas. Ao longo da noite, a densidade continua a diminuir, atingindo o ponto mínimo mesmo antes do nascer do Sol. É importante compreender que este processo de ionização e recombinação varia, dependendo da camada da Ionosfera e da hora do dia.

Dessa forma, a medida que a radiação penetra na Atmosfera mais densa a produção de elétrons aumenta até um nível onde a densidade eletrônica é máxima. Abaixo deste nível, apesar do aumento na densidade da Atmosfera neutra, a produção de elétrons decresce, pois a maior parte da radiação ionizante já foi absorvida e a taxa de perda predomina sobre a taxa de produção de elétrons.

É importante salientar que a densidade de íons e elétrons na Ionosfera é suficiente para afetar a propagação das ondas eletromagnéticas.

### As camadas da Ionosfera

Em consequência das diferentes taxas de absorção e aos diferentes constituintes atmosféricos, distintas regiões são formadas na Ionosfera, as quais são designadas por D, E e F sendo a D a que se encontra a mais baixa altitude, como se pode ver na Figura 2.2.3-1. A camada F ainda é sub-dividida em duas outras camadas F1 (mais baixa) e F2 (mais alta). Atualmente se estuda uma terceira camada (F3).

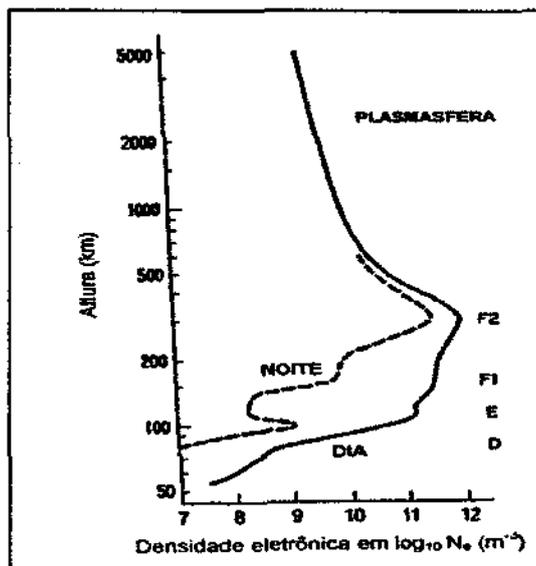


Figura. 2.2.3-1: Perfil vertical típico da Ionosfera<sup>[6]</sup>.

A presença ou ausência destas camadas na Ionosfera e a sua altitude, varia com a posição do Sol. Ao meio dia, a radiação na Ionosfera é máxima, enquanto à noite é mínima. Quando a radiação desaparece a maior parte das partículas que estavam ionizadas recombinam-se. No espaço de tempo entre estas duas condições, a posição e número de camadas ionizadas da Ionosfera mudam.

Como a posição do Sol varia diária, mensal e anualmente relativamente a um determinado ponto na Terra, o exato número de camadas presentes é difícil de ser determinado. No entanto, as seguintes proposições sobre estas camadas podem ser feitas.

**Camada D** - Esta camada está presente entre 50 e 90 km acima da terra. A ionização na camada D é baixa porque sendo a camada mais baixa é a que menos radiação recebe. A ionização desta camada é altamente dependente da atividade solar, aumentando consideravelmente em períodos perturbados. Após o pôr do Sol, a camada D desaparece por causa da rápida recombinação dos íons, comunicações em baixas e médias

segue a mesma variação diurna e sazonal (Davis, 1990). A radiação solar desempenha nesta camada um papel limitado na produção e manutenção de elétrons livres, pois, os processos de transportes e as perturbações associadas às tempestades magnéticas tornam a variação temporal e espacial desta camada extremamente complexa. Um pico de densidade eletrônica tende a atingir um valor máximo logo após o pôr do Sol, e a camada F<sub>2</sub> pode persistir por toda a noite, embora sua intensidade diminua continuamente, pois a Atmosfera neutra nesta região é suficientemente tênue para evitar que haja recombinação significativa (Beard, 1975). Valores mínimos na densidade eletrônica ocorrem pouco antes do amanhecer, devido a recombinação dos elétrons durante o período noturno (McNamara, 1991), aumentam gradativamente no decorrer do dia.

A Figura. 2.2.3-2 apresenta um gráfico onde a concentração de alguns íons positivos em função da altura são mostrados.

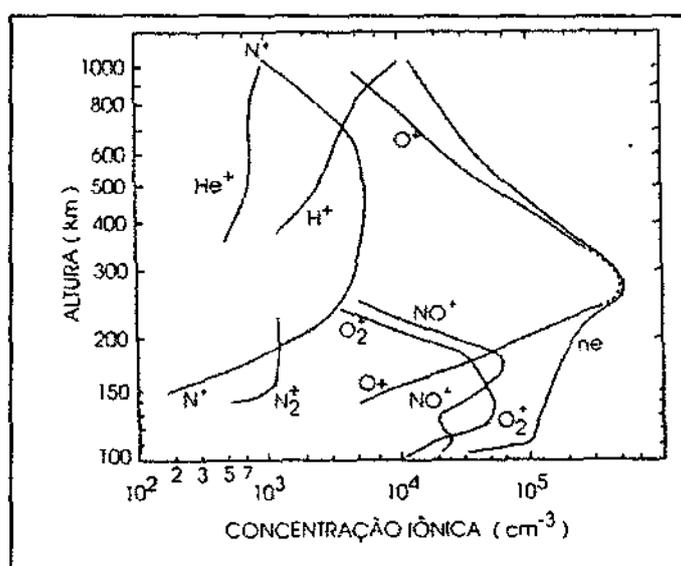


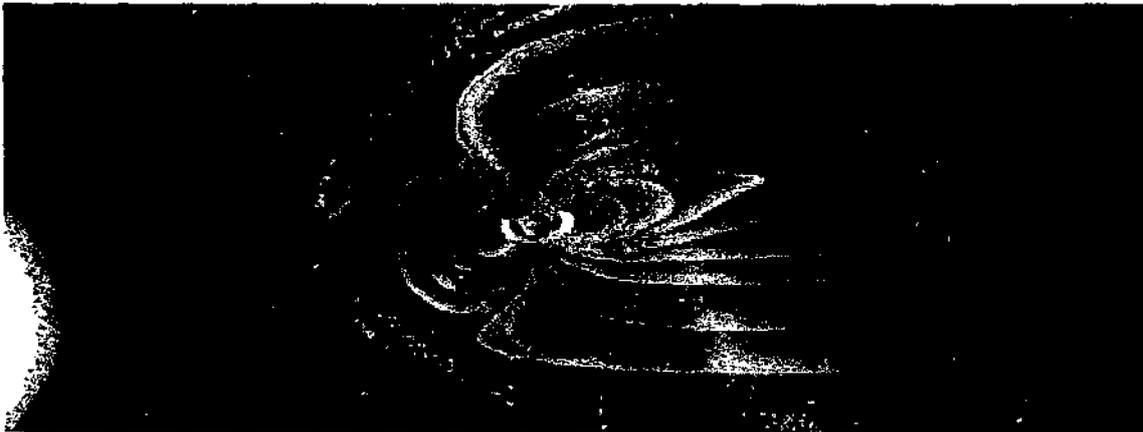
Figura. 2.2.3-2: Concentração média de alguns íons positivos<sup>[5]</sup>.

### Magnetosfera Terrestre

Do ponto de vista da dinâmica da Atmosfera, é importante definir a região da Magnetosfera Terrestre, que se encontra, após a região da Ionosfera. Esta é a camada em que o Campo Magnético da Terra controla a dinâmica das partículas carregadas. A Magnetosfera Terrestre, zona em torno da Terra na qual age seu Campo Magnético, determina o comportamento das partículas eletricamente carregadas no espaço próximo ao planeta e protege-o do Vento Solar. Quando as partículas produzidas pelas erupções

solares alcançam a Atmosfera terrestre, causam as chamadas tempestades magnéticas, que podem afetar satélites, redes tecnológicas de comunicação e a transmissão em redes de energia elétrica.

O limite externo da Magnetosfera está situado a cerca de dez raios terrestres na direção do Sol, mas pode ultrapassar 500 raios terrestres e se estender até além da Lua na direção oposta à do Sol.



**Figura. 2.2.4-1: Magnetosfera Terrestre<sup>[7]</sup>.**

Modelos teóricos previam esse formato peculiar para o limite externo do Campo Magnético Terrestre, mas ele nunca havia sido visualizado antes. As imagens da Nasa permitiram confirmar a existência dessa 'cauda' de plasma (gás presente na Magnetosfera Terrestre, altamente ionizado e composto de cargas positivas e negativas em igual número). Acredita-se que a distorção em forma de cauda seja causada pelo choque do Vento Solar com a Magnetosfera

## **2.3 DINÂMICA DA ATMOSFERA NEUTRA**

O permanente transporte de massa de ar representa a o estado dinâmico da Atmosfera e o seu movimento é caracterizado pelos ventos. A origem dos ventos está sempre associada a um gradiente de pressão, que por sua vez está associado a variações de temperatura e de densidade. Na direção vertical a Atmosfera encontra-se em equilíbrio hidrostático. O fluxo atmosférico nesta direção não pode ser mantido indefinidamente, a não ser em pequenas faixas, para fechar os circuitos de fluxos horizontais e, portanto, os



ventos são essencialmente movimentos horizontais do ar atmosférico, causado por gradientes de pressão horizontais.

Os ventos da baixa Atmosfera, principalmente os localizados na região interior da Troposfera, são os de maior interesse para a Meteorologia, por sua influência nas condições climáticas. Em Aeronomia, os ventos de interesse são os da Alta Atmosfera, principalmente os da Mesosfera e Termosfera.

Os ventos são definidos através de direção, sentido e intensidade. Em Meteorologia, direção e sentido do vento são definidos tendo em vista a direção de onde sopra o vento, mas, em Aeronomia, é costume considerar a direção para onde o vento sopra. Por exemplo, diz-se que o vento sopra para Leste (Aeronomia: *Eastward*, em inglês) ou que sopra do Oeste (Meteorologia: *Westerly*, em inglês).

### **2.3.1 Ventos Termosféricos**

São os resultados dos gradientes de pressão horizontais provocados pelo aquecimento global diurno na Termosfera. Estes ventos são importantes acima de 120 Km de altura, por seus efeitos na Ionosfera.

### **2.3.2 Ondas Planetárias**

São movimentos com períodos da ordem de dias, importantes abaixo da Mesosfera.

### **2.3.3 Marés Atmosféricas**

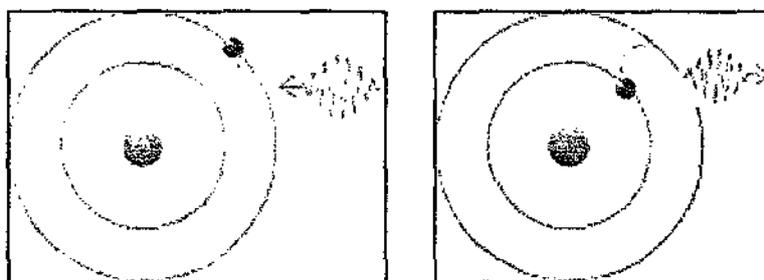
São oscilações com períodos e sub-períodos do dia solar e lunar. Sua origem está associada à absorção da energia solar direta, principalmente pelo ozônio e vapor d'água. São importantes da Mesosfera para baixo e o seu estudo requer um tratamento especializado, conhecido como teoria das marés.

### **2.3.4 Ondas de Gravidade**

São oscilações de períodos menores, da ordem de minutos a horas. Qualquer distúrbio que introduza mudanças na Atmosfera em uma escala de tempo de minutos a horas pode ser capaz de gerar ondas de gravidade. Distúrbios atmosféricos relacionados ao clima, tais como frentes meteorológicas, jatos de correntes e interações de ventos com cadeias de montanhas podem ser responsáveis pelas ondas de gravidade observadas na Alta Atmosfera (Taylor et al., 1995).

## 2.4 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

**Luminescência Atmosférica**, Segundo Chamberlain (1961), do inglês *Airglow*, pode ser definida como a radiação amorfa continuamente emitida pela Atmosfera Planetária, estendendo-se do ultravioleta distante ao infravermelho próximo, é uma luz natural proveniente principalmente da alta Atmosfera e ocorre durante o dia e a noite. A luminescência noturna, ou “*nightglow*”, ocorre em regiões da Atmosfera entre 80 e 220 km aproximadamente. A origem dessas emissões óticas deve-se a átomos ou moléculas excitadas pela radiação ultravioleta solar durante o dia e por colisões com outras moléculas ou com partículas carregadas. A absorção de radiação por átomos ou moléculas neutras, ocorre quando são atingidos por fótons e por transferência de energia tornado-se metaestáveis, à medida que os elétrons dos átomos ou moléculas retornam seus estados naturais, ou seja, ocupam o lugar de mais baixa energia, o átomo ou molécula emite a energia armazenada na forma de luz (radiação eletromagnética), este processo constitui o princípio básico das emissões óticas da Atmosfera. A Figura 2.4-1 mostra uma ilustração desse processo.



**Figura 2.4-1: Modelo que ilustra a absorção e emissão de energia por um átomo<sup>191</sup>.**

A energia absorvida pelos átomos ou moléculas pode tanto aumentar a temperatura do gás, quanto ser re-irradiada na forma de fótons. Inúmeras reações podem ocorrer na Atmosfera Superior, resultando numa luminescência tênue no céu, que é chamada de “*Airglow*”, esta radiação é relativamente constante e deve ser distinguida da Aurora, que é uma radiação altamente variável, emitida em altas latitudes e está relacionada ao fluxo de partículas solares de alta energia na Atmosfera Superior na região dos pólos da Terra.



Os primeiros relatos sobre luz atmosférica vêm de Aristóteles em 400 anos A.C. Galileu-Galilei foi quem batizou este fenômeno de Aurora. Edmond Halley (1656-1742) foi o primeiro a associar as Auroras ao Campo Magnético Terrestre. No século XVIII o pesquisador Elias Loomis percebeu que ao ocorrer uma erupção solar, apareciam Auroras entre 20 e 40 horas depois. A hipótese da existência do Vento Solar, que trás prótons e elétrons do Sol, como responsável pelas Auroras, só foi comprovada experimentalmente em 1958 com medidas feitas pelo satélite Explorer 1. Estas partículas viajam a quase  $1,4 \times 10^6$  km/h (~ 389 km/s) e quando são aprisionadas pelo Campo Magnético Terrestre, são aceleradas em direção à Atmosfera Terrestre e ao interagir com o oxigênio e nitrogênio na Alta Atmosfera, entre 100 e 300 km de altitude, emitem luz.

Ao contrário das Auroras, o Airglow foi observado somente no início do século XX (1991) por Newcomb, que atribuiu sua origem as luzes das estrelas, porém, Dufay em 1933, mostrou que esta luz era devida a luz do zodíaco, a uma luminescência proveniente da Atmosfera, esta luz do zodíaco é causada pelo espalhamento da luz solar por gases interplanetários e poeiras. É chamado de zodíaco porque seu brilho é maior na região das constelações do zodíaco (constelação de libra, escorpião, sagitário, etc.) e são mais visíveis após o entardecer. No início do século XX se sabia que o oxigênio era o responsável pela emissão das linhas no comprimento de onda de 557,7nm e 630,0nm. Rayleigh (1930) foi um grande estudioso da linha 557,7nm e para distingui-la das Auroras, chamou esta luz de “Aurora não-polar”, que mais tarde passou a se chamar de *Airglow*. Em homenagem a este pesquisador deve-se o nome da unidade de intensidade absoluta normalmente utilizado em Aeronomia<sup>1</sup>.

#### **Alguns processos pelos quais ocorre a Luminescência:**

*Ressonância:* luz emitida em uma mesma frequência (cor), a excitação é o resultado da absorção da radiação solar.

*Fluorescência:* luz emitida em baixas e diferentes frequências, resultado da absorção da radiação solar.

<sup>1</sup> I R (Rayleigh) representa a intensidade de uma fonte isotrópica que emite  $10^6$  fótons por centímetro quadrado de coluna por segundo, ou seja,  $1R = 10^6$  fótons.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

**Fotoionização:** luz emitida é resultado de partículas ionizadas em estados excitados, devido à radiação solar.

**Fotodissociação:** luz emitida é resultado de partículas neutras em estados excitados, devido à radiação solar.

**Colisões inelásticas:** luz emitida causada pelo impacto de partículas (elétrons) de alta energia que são produzidos por fotoionização. Este é o mesmo processo que causa a luminosidade Auroral, mas, neste caso (*Airglow*), os elétrons com alta energia vêm da Magnetosfera Terrestre, devido às interações com o Vento Solar.

**Quimiluminescência:** emissão resultante das reações químicas, principalmente entre os átomos de oxigênio e nitrogênio e moléculas de hidroxila em altas altitudes, entre 100 e 300 Km. A radiação solar energiza as moléculas e átomos durante o dia, e durante a noite estas moléculas e átomos retornam a seus estados fundamentais, sendo que este processo é acompanhado de emissão de luz, este processo gera o *Nightglow*.

**Excitação por Raios Cósmicos:** Os Raios Cósmicos são partículas de alta energia, porém tem uma pequena contribuição para o *Airglow*.

Durante Tempestades Magnéticas, o *Airglow* é modificado pelo efeito de aquecimento, produzindo a chamada “Stable Auroral Red (SAR) arcs”, produzindo arcos difusos que se estendem paralelamente ao Campo Geomagnético, entre 40° e 55° e a uma altitude entre 300 a 400 Km. Esta é a emissão brilhante na linha vermelha do oxigênio, mas, não é visível ao olho humano, por causa de falta de sensibilidade, que compreende uma pequena faixa do espectro eletromagnético, aproximadamente de 400nm a 700nm, ficando entre a radiação ultravioleta e o infravermelho.

### **Diferenciação do Airglow e da Aurora:**

**Extensão espacial:** *Airglow* ocorre em todo o Globo, enquanto a Aurora, somente em altas latitudes, ou seja, nos pólos (Norte e Sul);

**Luminosidade:** a luminosidade do *Airglow* é relativamente uniforme e de baixa intensidade, enquanto a Aurora tem uma luminosidade variável e de alta intensidade;

**Fonte de energia:** A principal fonte de energia para ocorrer o *Airglow* é radiação proveniente principalmente do Sol, enquanto que nas *Auroras* a principal fonte de energia é partículas muito energéticas provenientes principalmente do Vento Solar.

A Alta Atmosfera Terrestre é responsável pelas emissões *Airglow* que se propagam até a superfície, onde podem ser detectadas por equipamentos muito sensíveis, como

Câmeras, Fotômetros e Espectrofotômetros. Esta radiação ocorre devido à absorção da radiação ultravioleta solar por espécies químicas presentes a cerca de 70 Km de altitude, tais como: N<sub>2</sub>, O, O<sub>2</sub> e Na. A absorção da radiação ultravioleta por estes átomos e moléculas leva-os a um estado quântico excitado, de maior energia e metaestáveis, do qual tendem a decair, retornando ao seu estado padrão emitindo radiação eletromagnética. Este processo de emissão pode ocorrer em competição com processos de perda de energia pela molécula ou átomo, devido a colisões com outros constituintes da Atmosfera, nas quais as espécies químicas excitadas perdem energia e retornam ao seu estado padrão sem emissão de radiação. Esta emissão de radiação é classificada genericamente como Aeroluminescência ou “Airglow”, que pode ser dividida em dois tipos: uma emissão instantânea, denominada “Dayglow”, na qual as radiações absorvidas são de frequências de ressonância das moléculas; o outro tipo de emissão é o “Nightglow”, que é uma emissão retardada, na qual a energia absorvida pelos átomos e moléculas é armazenada e durante a noite esta energia é liberada, por vários processos de relaxação energética, na forma de radiação eletromagnética. O *Airglow* noturno, ou “Nightglow”, contribui em noites sem lua entre 40% e 50% da luminosidade total do céu noturno, ligeiramente superior que a radiação recebida das estrelas. Observações espectroscópicas revelam que muitas linhas e bandas de emissões que se estendem desde comprimentos de onda inferiores a 0,4  $\mu\text{m}$  ao infravermelho.

**A radiação *Airglow* é permanente, relativamente fraca (luminosidade média em torno de  $2 \times 10^{-14}$  da luminosidade do sol) e ocorre nas baixas e médias latitudes na alta Atmosfera Terrestre. Esta radiação é um fenômeno principalmente da Mesosfera, estendendo-se à Termosfera. Em períodos de intensa atividade solar podem ocorrer variações espaciais e temporais da intensidade das radiações, devido à maior precipitação de partículas carregadas na Alta Atmosfera e conseqüentemente maior número de colisões com os constituintes atmosféricos, maior excitação energética destes constituintes e maior emissão luminosa.**

Algumas linhas de emissão de Aeroluminescência mais importantes são as linhas do oxigênio atômico em 557,7nm (verde) e em 630,0nm (vermelho), a linha do sódio em 589,3nm e as bandas de emissão espectral do radical OH. O pico de emissão do oxigênio atômico em 557,7nm está localizado em alturas maiores, correspondentes à

região F da Ionosfera onde os átomos de oxigênio são excitados por recombinação dissociativa, estando este pico próximo a 90 Km de altura.

#### **A Linha Vermelha (630,0nm) do Oxigênio Atômico:**

Esta linha de emissão provém de uma camada de aproximadamente 50 Km de espessura localizada abaixo do pico da região F (entre 240 e 350 Km de altitude). **A emissão vermelha do Oxigênio Atômico (630,0nm) é o mais utilizado para o estudo da dinâmica da região F Ionosférica/Termosfera noturna.** A intensidade da Aeroluminescência aumenta quando o plasma ionosférico (pico da região F) move-se para baixo e diminui quando ocorre o contrário (plasma ionosférico move-se para cima). Da mesma forma a intensidade desta emissão varia de acordo com a densidade de elétrons ionosféricos, sendo mais intensa quando existe uma maior densidade de elétrons e menos intensa quando a densidade é menor. Está estabelecido que o processo de produção do Oxigênio Atômico excitado,  $O(^1D)$ , na região F (à noite), que leva a geração desta linha de emissão (OI630,0nm) é a recombinação dissociativa do oxigênio molecular com elétrons. Observações das variações de intensidade desta emissão têm sido usadas para o estudo da Química e da dinâmica da região F ionosférica.

#### **A Linha Verde (557,7nm) do Oxigênio Atômico:**

A linha verde do oxigênio Atômico possui duas fontes de emissão, uma na região E (entre 90 e 110 Km de altitude) e outra na região F (entre 250 e 300 Km de altitude). Em médias latitudes, a maior parte desta emissão é decorrente da recombinação do Oxigênio Atômico na Mesopausa (90-110Km). Entretanto, em baixas latitudes e equatoriais, uma significativa fração desta emissão surge de processos de recombinação dissociativa na região F. **Observações de solo desta emissão medem a intensidade integrada que emana das duas fontes, isto é, regiões E e F.** O processo de produção do Oxigênio Atômico excitado  $O(^1s)$  na região F (à noite) é a recombinação dissociativa do Oxigênio Molecular com elétrons. Na região F os átomos  $O(^1s)$  resultam do mesmo mecanismo que gera o *Airglow* vermelho (recombinação dissociativa de íons de Oxigênio Molecular na Ionosfera).

A seguir mostra-se esquematicamente o diagrama das linhas de emissão do oxigênio atômico: 557,7nm, 630,0nm e 636,4nm.

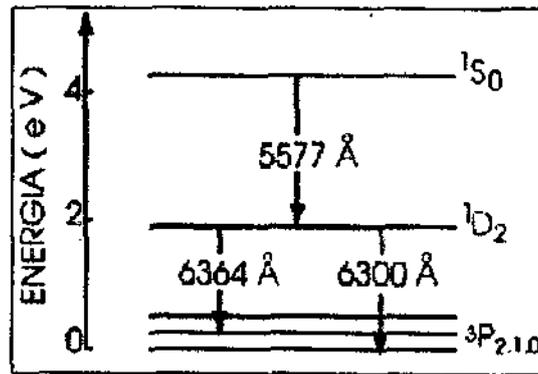


Figura 2.4-2: Diagrama de energia numa forma simplificada para as linhas de emissão do oxigênio atômico<sup>[9]</sup>.

## 2.5. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

Uma das formas mais comuns de transporte de energia no espaço é a radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético é constituído por todos os comprimentos de onda, que são divididos em regiões no espectro e possuem nomes específicos, conforme mostra a seguinte, juntamente com seus limites aproximados.

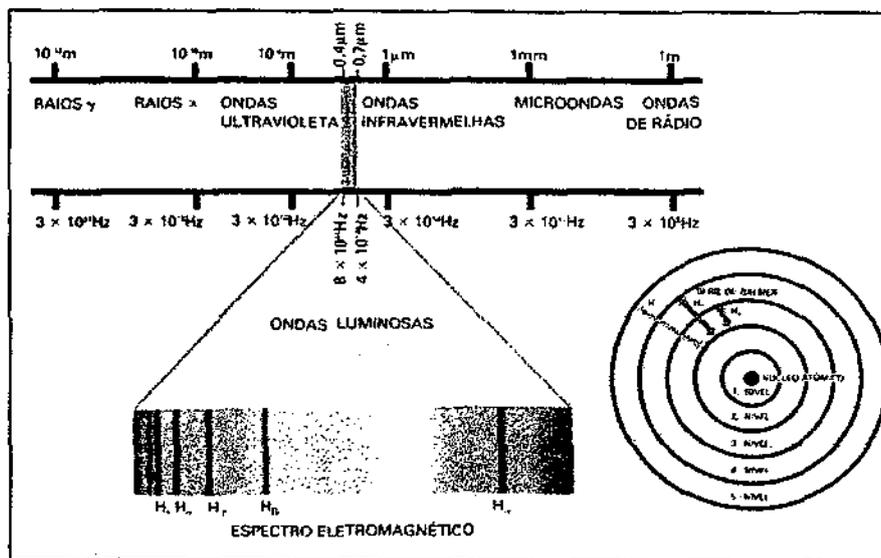


Figura 2.5-1: Espectro Eletromagnético e Modelo Atômico de Bhor para o átomo de hidrogênio<sup>[9]</sup>.



As características das ondas eletromagnéticas são determinadas pela sua frequência de oscilação entre os campos elétricos e magnéticos ( $f$ ), o comprimento de onda ( $\lambda = \frac{c}{f}$ ), ou ainda a energia associada à onda ( $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck).

Foi o estudo da radiação térmica emitida por corpos opacos que forneceu os primeiros indícios da natureza quântica da radiação, quando a radiação eletromagnética incide sobre corpos opacos, parte desta é refletida e parte é absorvida, corpos de cor clara refletem a maior parte da radiação visível incidente, enquanto os corpos escuros absorvem a maior parte dessa radiação. A radiação absorvida pelo corpo aumenta a energia cinética dos átomos que o constituem, fazendo-os oscilar mais vigorosamente em torno de suas posições de equilíbrio. Como a temperatura de um corpo é determinada pela energia cinética média de seus átomos, a absorção de radiação faz a temperatura do corpo aumentar. Acontece que os átomos contêm partículas carregadas (elétrons) que são aceleradas pelas oscilações, assim, de acordo com a teoria eletromagnética, os átomos emitem radiação, o que reduz a energia cinética dos átomos e, portanto diminui a temperatura. Quando a taxa de absorção é igual a taxa de emissão, a temperatura permanece constante e dizemos que o corpo se encontra em equilíbrio térmico com o ambiente. Assim um material que é um bom absorvedor de radiação é também um bom emissor. Um corpo em equilíbrio térmico irradia uma distribuição de ondas eletromagnéticas por unidade de área que é função apenas de sua temperatura, chamada “*radiação de corpo negro*”. Quanto maior for a temperatura, maior será a quantidade de ondas de curto comprimento, por isso, uma estrela (que se aproxima um “corpo negro”), sendo fria, irradia quase só vermelho; já uma estrela quente, irradia em todas as cores, parecendo então branca. Em temperaturas mais elevadas, o objeto brilha luz vermelho-claro ou mesmo branca.

Um corpo que absorve toda a radiação incidente e chamado *corpo negro ideal*. Em 1879, Josef Stefan descobriu uma relação empírica entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a temperatura do mesmo:

$$R = \sigma T^4$$

onde  $R$  é a potência por unidade de área,  $T$  é a temperatura absoluta (em Kelvin) e  $\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$  é denominada constante de Stefan. Cinco anos mais tarde,

Ludwig Boltzmann chegou ao mesmo resultado a partir das leis da termodinâmica clássica e por esse motivo a equação acima é denominada *lei de Stefan-Boltzmann*.

As observações revelam que, da mesma forma que a potência total irradiada ( $R$ ), a *distribuição espectral* da radiação emitida por um corpo negro depende apenas da temperatura absoluta  $T$ .

Quando uma radiação emitida por um corpo a temperatura  $T$  passa por uma fenda e é dispersa por um prisma, este dispositivo separa os comprimentos de onda da radiação incidente, este é apropriado para a parte visível do Espectro. Em outras regiões do Espectro Eletromagnético, é necessário usar outros dispositivos, tais como *redes de difração*, as quais também separam os comprimentos de onda.

Sendo  $R(\lambda)d\lambda$  a potência emitida por unidade de área com comprimento de onda entre  $\lambda$  e  $\lambda + d\lambda$ . A Figura 2.5-3 mostra os valores experimentais da distribuição espectral  $R(\lambda)$  em função de  $\lambda$  para vários valores de temperatura  $T$  entre 1.000 K e 6.000K.

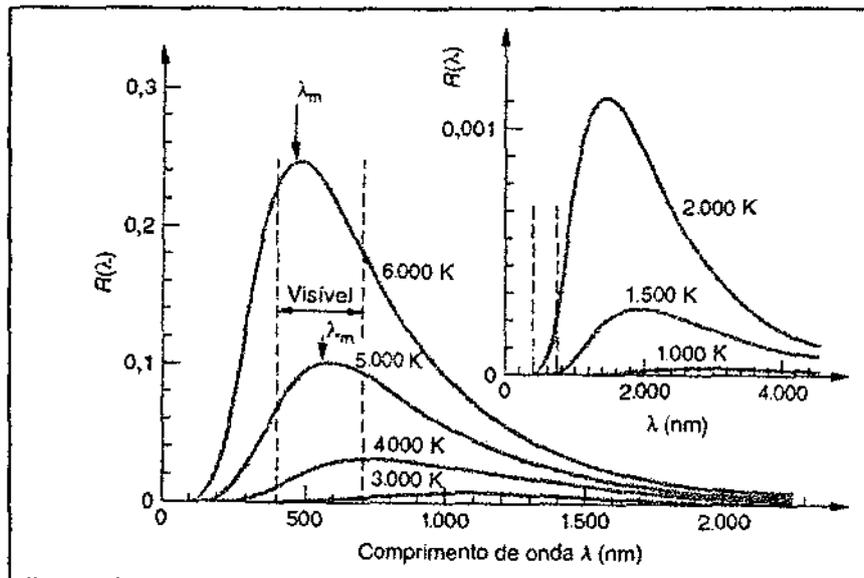


Figura 2.5-3: Função distribuição espectral  $R(\lambda)$  para várias temperaturas<sup>[10]</sup>.

As curvas  $R(\lambda)$  em função de  $\lambda$  apresentam várias propriedades interessantes. Uma delas é que o comprimento de onda para o qual a radiação é máxima varia inversamente

com a temperatura:  $\lambda_m \propto \frac{1}{T}$  ou  $\lambda_m T = \text{constante} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$

Este resultado, conhecido como *lei de deslocamento de Wien*, foi obtido pela primeira vez por Wien (Wilhelm Jan Wien, 1864-1928, físico alemão) em 1893.

## 2.6 O ESPECTRO SOLAR

A distribuição da radiação eletromagnética emitida pelo Sol aproxima-se de um corpo negro a uma temperatura ao redor de 6000 K. Esta semelhança proporciona uma base para se estimar a temperatura da superfície visível do Sol. Como o Sol não é um corpo negro perfeito, este fato leva a resultados um pouco diferentes. Usando a lei de Stefan-Boltzmann juntamente com a constante solar, pode-se estimar que a temperatura do Sol é de 5780 K. Com comprimento de onda para a intensidade máxima, 0,4750  $\mu\text{m}$  combinado com a lei de Wien, estima-se uma temperatura superficial de 6000 K.

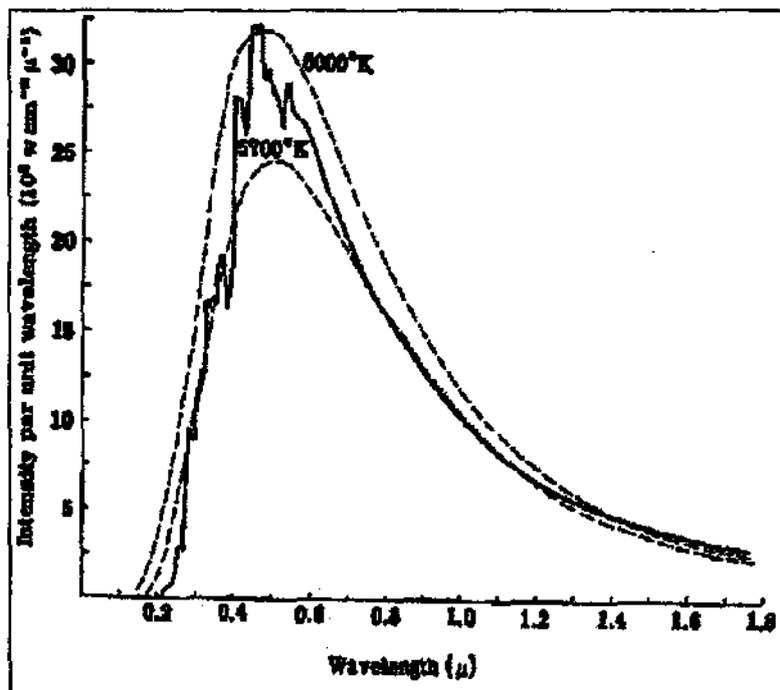


Figura 2.6-1: Espectro solar observado e espectro de um corpo negro a uma temperatura de 6000 e 5700 K <sup>[11]</sup>.

## 2.7 RADIAÇÃO ACIMA DA ATMOSFERA

A fonte de energia para aproximadamente todos os processos físicos que ocorrem na Terra é o Sol. O Sol é uma esfera gasosa com um diâmetro de  $1,42 \times 10^6$  Km e temperatura superficial de cerca de  $6 \times 10^3$  K. Acredita-se que a fonte de energia solar seja a fusão nuclear. A energia liberada desta reação é então transportada por radiação e

por convecção para a superfície, e é então emitida como radiação eletromagnética. Cada centímetro quadrado do Sol emite uma média de 6,2 KW de potência e esta energia é irradiada em todas as direções.

## 2.8. TIPOS DE ESPECTROS ATÔMICOS

Os *espectros contínuos*, emitidos principalmente pelos sólidos incandescentes, não apresentam linhas, nem claras e nem escuras, o espectro solar é um exemplo de espectro contínuo. Isto significa que no espectro se encontram todos os comprimentos de onda. O caráter de um espectro contínuo e o próprio fato da sua existência é determinado não só pelas propriedades de cada um dos átomos que irradiam, mas também pela interação destes átomos uns com os outros. Os gases não têm espectros contínuos. Por exemplo, um corpo com superfície negra irradia ondas eletromagnéticas de todas as frequências, mas a curva da dependência da energia em ordem à frequência atinge o máximo para uma determinada frequência  $f_{\text{máx}}$ , como está mostrado na Figura 2.8-1.

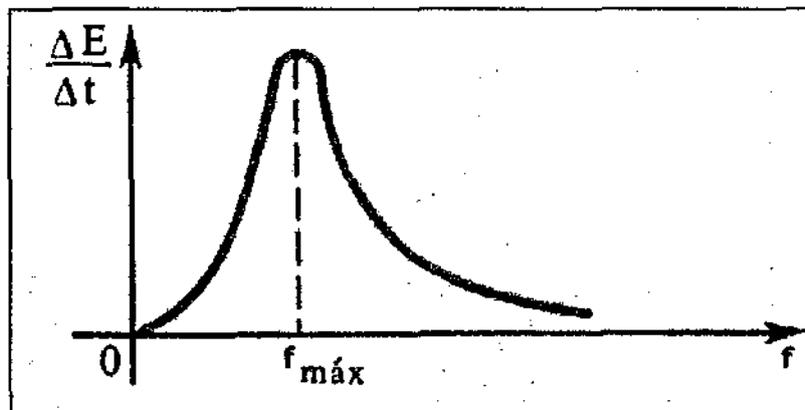


Figura 2.8-1: Curva de dependência da Energia em função da frequência para Espectros Contínuos. [12].

Os *espectros de banda* são formados por grupos de linhas muito próximas umas das outras, que parecem formar bandas contínuas. Espectros desse tipo são emitidos por pequenos pedaços de substâncias sólidas, quando colocados em uma chama ou submetidos a descargas elétricas.

Os *espectros de linha* são característicos de átomos isolados. Tanto os espectros de banda como os de linha variam de substância para substância, uma aplicação disso é que

se pode identificar os elementos e compostos presentes em um material, utilizando o espectro da amostra.

A existência de espectros de linhas significa que a substância analisada irradia luz com determinados comprimentos de onda (mais precisamente, determinados intervalos espectrais muito estreitos). Na Figura 2.8-2, mostra-se a distribuição da energia num espectro de linhas. Cada linha tem uma largura finita.

Os espectros de linhas são dados por todas as substâncias que se encontram no estado gasoso atômico (mas não molecular). Neste caso, a luz é irradiada pelos átomos que, praticamente, não interatuam. É o tipo de espectros mais importantes. Os átomos isolados de um dado elemento químico irradiam ondas de comprimentos rigorosamente determinados.

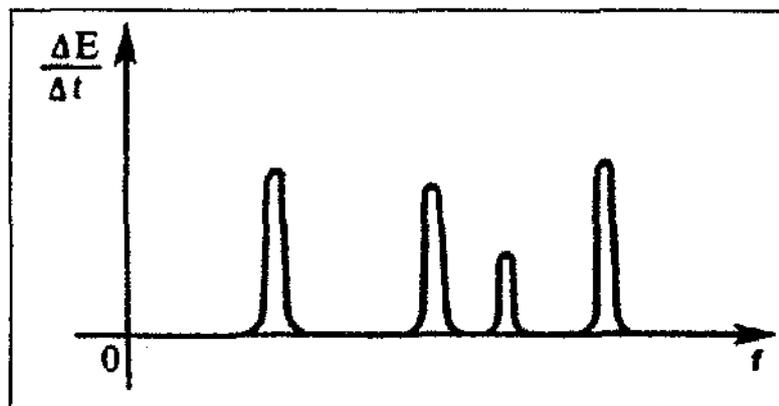


Figura 2.8-2: Espectro de Linhas - Curva de dependência da Energia em função da frequência<sup>[12]</sup>.

A radiação característica emitida pelos átomos dos elementos químicos, espectros de linhas, foi estudada exaustivamente no século XIX. Quando foi observada através de um espectroscópio, esta radiação aparece como uma série de linhas de várias cores (ou comprimentos de onda), as posições e intensidades dessas linhas são características de cada elemento. Os comprimentos de onda das linhas podem ser determinados com grande precisão, os cientistas dedicaram muito tempo para descobrir e interpretar regularidades nos espectros. Um grande passo nesse sentido foi dado em 1885 quando Balmer (Johann Jakob Balmer, 1825-1898, matemático e físico suíço) descobriu que as linhas do espectro do hidrogênio nas regiões da luz visível e do ultravioleta próximo podiam ser calculadas através da fórmula empírica:  $\lambda_m = 364,4 \frac{m^2}{m^2 - 4} nm$ , onde  $m$  é um número inteiro que pode assumir valores inteiros: 3, 4, 5, ...

A Figura 2.8-3(a), mostra um conjunto de linhas do espectro do hidrogênio, conhecido como *série de Balmer*, cujos comprimentos de onda são dados pela fórmula de Balmer. Na Figura 2.8-3(b) além das cinco primeiras linhas, está indicado também o ponto além do qual não são observadas mais linhas,  $H_{\infty}$ , conhecido como limite da série; (b) as duas linhas mais próximas em 589nm,  $D_1$  e  $D_2$ , constituem a radiação principal das lâmpadas de vapor de sódio utilizada na iluminação pública; (c) está indicada uma parte da emissão do mercúrio; (d) quando um feixe de luz atravessa um tubo contendo vapor de sódio, certos comprimentos de onda são absorvidos, o que provoca o aparecimento de linhas claras na Figura 2.8-3. Observa-se que a linha 259,4nm aparece tanto no espectro de emissão, (b), como no de absorção, (d).

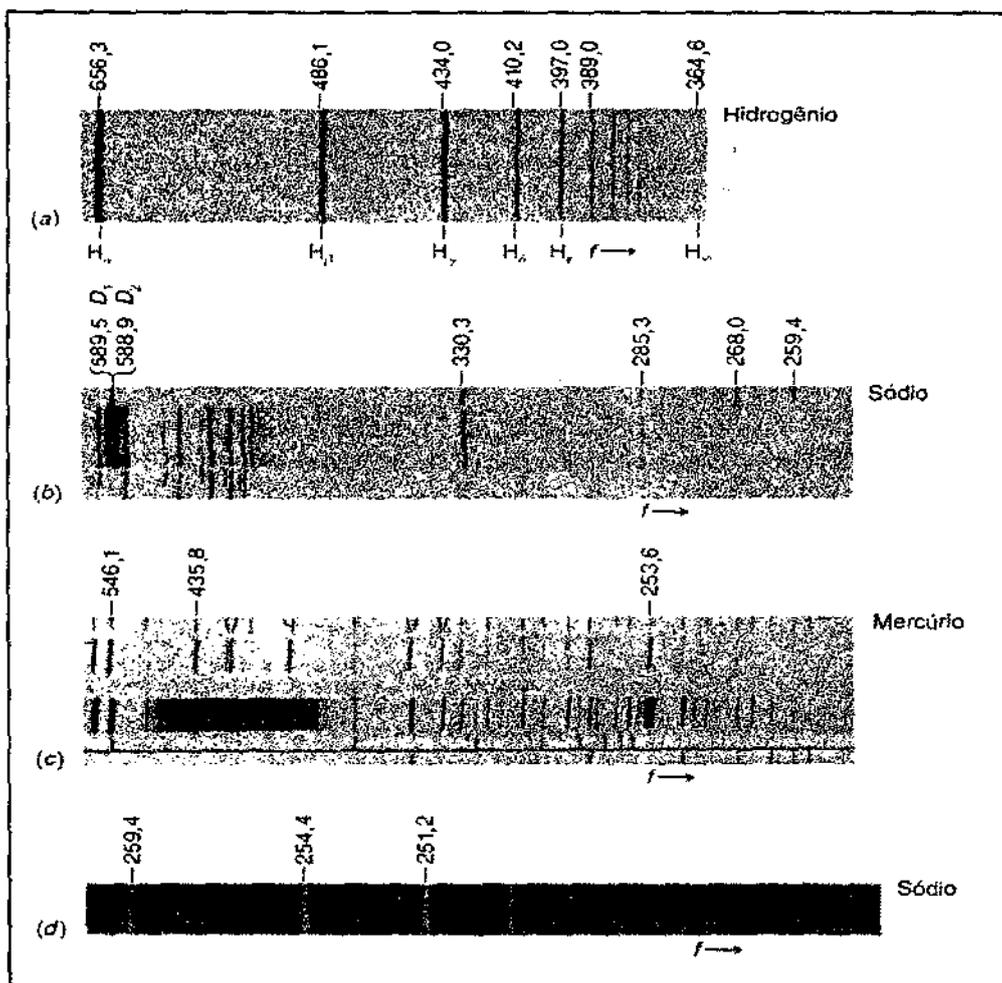


Figura 2.8-3: (a) Espectro de emissão do hidrogênio na faixa do visível e do ultravioleta próximo; (b) parte do espectro de emissão do sódio; (c) parte do espectro de emissão do mercúrio; (d) parte do espectro de emissão do sódio<sup>[9]</sup>.

Balmer acreditava que sua fórmula fosse um caso especial de uma expressão mais geral, que poderia ser usada para prever os espectros de outros elementos. Uma expressão desse tipo foi descoberta, independentemente, por J. R. Rydberg e W. Ritz, e é por isso chamada de *fórmula de Rydberg-Ritz*:

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ para } n > m.$$

Nesta equação  $m$  e  $n$  são números inteiros e  $R$  é a *constante de Rydberg*, que é a mesma para todas as linhas do espectro de um elemento e varia ligeiramente, de forma regular, de elemento para elemento. No caso do átomo de hidrogênio, o valor de  $R$  é  $R_H = 1,096776 \cdot 10^7 \cdot m^{-1}$ . No caso de elementos muito pesados,  $R$  tende para o valor limite  $R = 1,097373 \cdot 10^7 \cdot m^{-1}$ . É importante salientar que estas expressões empíricas foram usadas para prever linhas que ainda não tinham sido observadas, como as linhas do hidrogênio fora do visível.

Os *Espectros de Absorção*: assim como todas as substâncias, cujos átomos se encontram em estados excitados, irradiam ondas luminosas, cuja energia, de determinado modo, está distribuída segundo o comprimento de onda. A absorção da luz pelas substâncias também depende do comprimento de onda. Assim, o vidro vermelho deixa passar ondas que correspondem à luz vermelha e absorve as outras ondas. Se fizermos passar a luz branca através de um gás frio e não irradiante, no fundo do espectro contínuo do emissor aparecem linhas escuras. O gás absorve mais intensamente a luz que tem aquele comprimento de onda que o gás emite num estado bastante aquecido. As linhas escuras no fundo do espectro contínuo são linhas de absorção, que formam no conjunto um espectro de absorção.

## 2.9. O MODELO DE BOHR PARA O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

Em 1913, o Físico dinamarquês Niels Bohr propôs um modelo para o átomo de Hidrogênio que combinava os trabalhos de Planck, Einstein e Rutherford e que permitia prever, com notável precisão, as linhas do espectro do Hidrogênio. O modelo de Rutherford atribuía uma carga e uma massa ao núcleo, mas nada dizia sobre a carga e a massa dos elétrons. Bohr, que já havia trabalhado no laboratório de Rutherford na época

dos experimentos de Geiger e Mardsen, formulou a hipótese de que o elétron do átomo de Hidrogênio girava em torno do núcleo, atraído pela carga positiva. De acordo com a mecânica clássica a órbita tinha que ser circular ou elíptica, como as órbitas dos planetas em torno do Sol. Para simplificar os cálculos Bohr decidiu trabalhar com órbitas circulares. Um modelo desse tipo é mecanicamente estável, já que o potencial de Coulomb  $V = -kZe^2/r$  fornece a força centrípeta  $F = kZe^2/r^2 = mv^2/r$  necessária para que o elétron se mova em um círculo de raio  $r$  com velocidade  $v$ . Entretanto este modelo é eletricamente instável, pois, o elétron está sujeito a uma aceleração em direção ao centro da órbita, uma vez que pelas leis da eletrodinâmica, toda carga acelerada irradia uma onda eletromagnética.

De acordo com a Física clássica, à medida que o elétron perde energia por radiação, o raio da órbita se torna cada vez menor e a frequência da radiação cada vez maior, um processo que termina somente quando o elétron se choca com o núcleo, aniquilando o átomo, o que é ilustrado na Figura 2.9-1(a). Assim, a primeira vista, o modelo de Bohr prevê que o átomo irradia um espectro contínuo (já que a frequência de radiação varia continuamente a medida que o elétron se aproxima do núcleo) e tem uma vida muito curta, o que felizmente não ocorre na prática. A menos que sejam excitados por agentes externos, os átomos não irradiam. Ao serem excitados, ao invés de irradiarem um espectro contínuo, os átomos irradiam em apenas certas frequências bem definidas.

Frente essas dificuldades, Niels Bohr, inventou um novo modelo para o átomo de Hidrogênio. O Hidrogênio é o átomo mais simples que existe: seu núcleo tem apenas um próton e só há um elétron orbitando em torno desse núcleo. Para explicar a evidente estabilidade do átomo de Hidrogênio e, de quebra, a aparência das séries de linhas espectrais desse elemento, Bohr propôs alguns postulados. O primeiro foi o de que *os elétrons se movem em certas órbitas sem irradiar energia*, ele chamou essas órbitas de *estados estacionários*. O segundo postulado foi o de que *os átomos irradiam quando um elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro*, Figura 2.9-1(b), e a frequência  $f$  da radiação emitida está relacionada às energias das órbitas através da equação  $hf = E_i - E_f$ , onde  $h$  é a constante de Planck e  $E_i$  e  $E_f$  são as energias dos estados inicial e final.

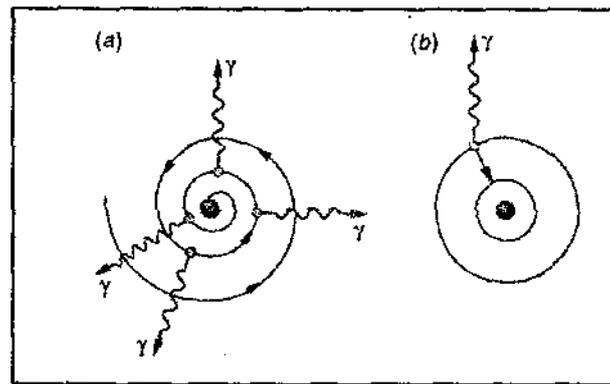


Figura 2.9-1: (a) Modelo clássico do átomo, (b) Modelo de Bohr para o átomo de Hidrogênio.<sup>[10]</sup>

Para determinar a energia dos estados estacionários, Bohr lançou mão de um terceiro postulado, hoje conhecido como *Princípio da Correspondência*, que teve conseqüências profundas: No limite de grandes órbitas e altas energias, os resultados quânticos devem coincidir com os resultados clássicos, quando os níveis de energia estão muito próximos, a quantização não deve ser importante e os cálculos clássicos e quânticos devem conduzir aos mesmos resultados.

Os raios permitidos para as órbitas podem ser calculados pela equação:

$$r_n = a_0 n^2,$$

onde  $a_0$  é uma constante chamada de raio de Bohr ( $a_0 = h / (4\pi^2 m e^2)$ ),  $h$  é a constante de Planck,  $m$  é a massa e  $e$  é a carga do elétron) e  $n$  é um número inteiro (1, 2, 3 ...). O número inteiro  $n$  identifica a órbita permitida.

Em cada órbita permitida, o elétron tem uma energia constante e bem definida, dada por:  $E = E_1 / n^2$ , onde  $E_1$  é a energia da órbita de raio mínimo. Bohr deu uma fórmula para  $E_1$ :  $E_1 = -2\pi^2 m e^4 / h^2 = -13,6 \text{ eV}$ .

Aqui as energias negativas servem para indicar "confinamento". Isto é, um objeto que tem energia negativa está confinado a uma dada região do espaço. Esse é o caso do elétron, confinado à uma órbita bem definida. Se a energia ficar positiva, o elétron fica livre, e não estará mais confinado.

Outros fatos históricos importantes, mas que aparentemente não eram do conhecimento de Bohr, eram as famosas séries espectrais, obtidas com diversos materiais. Fraunhofer as obteve analisando a parte visível da luz solar, mas as mais interessantes, no contexto do modelo de Bohr, são as séries obtidas com o hidrogênio. As mais importantes são as seguintes:



$$\text{Lyman: } 1/\lambda = R[(1/1^2)-(1/n^2)], n=2,3,4,\dots$$

$$\text{Balmer: } 1/\lambda = R[(1/2^2)-(1/n^2)], n=3,4,5,\dots$$

$$\text{Paschen: } 1/\lambda = R[(1/3^2)-(1/n^2)], n=4,5,6,\dots$$

$$\text{Brackett: } 1/\lambda = R[(1/4^2)-(1/n^2)], n=5,6,7,\dots$$

$$\text{Pfund: } 1/\lambda = R[(1/5^2)-(1/n^2)], n=6,7,8,\dots$$

Nas relações acima,  $R=1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ , é a constante de Rydberg.

Destas séries, a única que se encontra na parte visível do espectro do Hidrogênio é a de Balmer. As séries de Paschen, Brackett e Pfund, encontram-se no infravermelho, enquanto a série de Lyman representa a região ultravioleta do espectro do Hidrogênio.

Na Figura 2.9-2, apresenta-se o diagrama do átomo de hidrogênio, mostrando-se em escala de energias "permitidas" os níveis de energia (o mais baixo, com energia -13.6 eV é chamado de nível fundamental, os demais são níveis excitados) e algumas das séries: Lyman, Balmer e Paschen.

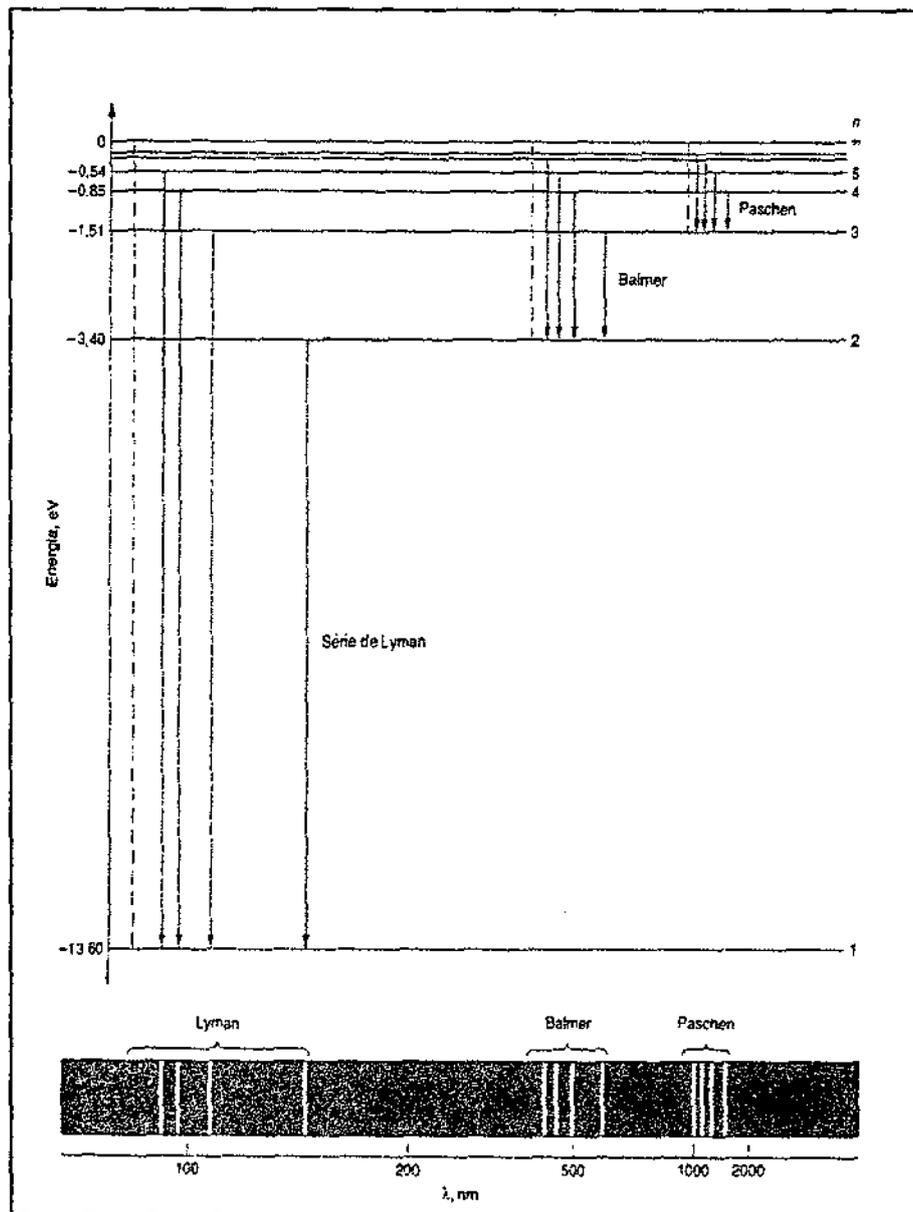


Figura 2.9-2: Diagrama de níveis de energia do átomo de hidrogênio<sup>[10]</sup>.

Este tipo de gráfico, apresentado na Figura 2.9-2, é conhecido como *Diagrama de Níveis de Energia*. Várias séries de transições entre os estados estacionários estão indicadas neste diagrama por setas verticais.

## 2.10. INSTRUMENTAÇÃO DO PROJETO

A instrumentação utilizada durante este Projeto é um Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional, MIS – *Meridian Imaging Spectrometer*, que está sendo instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT, em São Martino da Serra/RS, sua calibração está sendo concluída no OES, uma vez que, os tempos de integração de cada imagem ainda não foram definidos na sede do INPE, em São José dos Campos, pois lá o equipamento foi testado em bancada de laboratório e não coletava dados da Atmosfera.

Este instrumento tem a finalidade de coletar os dados de Airglow do Nitrogênio Ionizado, nos comprimentos de onda 391,4nm e 427,8nm, e do Hidrogênio na linha 486nm ( $H_{\beta}$  - H beta). Esta linha do Hidrogênio é a segunda linha da Série de Balmer, e está associada a transição de  $n_i = 4$  para  $n_f = 2$ , segundo o modelo de Bohr. A emissão Airglow do Hidrogênio ocorre a uma altura maior que 120 Km, e a emissão Airglow do Nitrogênio ( $N_2^+$ ) ocorre aproximadamente entre 150 – 200 Km.

### 2.10.1 Características do Equipamento

O Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional - MIS tem uma resolução espectral média entre: 0.5nm à 1.0nm, podendo observar uma região espectral de aproximadamente 80nm e um ângulo de zenital de visão de aproximadamente 160°.

O equipamento inclui uma *Câmera tipo CCD*, altamente sensível e sofisticada que só deve ser usada em condições apropriadas, ou seja, em noites totalmente escuras (sem lua). Além da câmera, acompanha o equipamento um *Sistema de Refrigeração* composto da *Unidade de Refrigeração* e a *Unidade Peltier*. Este sistema permite o ajuste da temperatura interna da câmera CCD que deve ficar praticamente constante, de modo a diminuir o ruído térmico da mesma e assim os dados não sofram muita interferência. A *Unidade Peltier* é responsável pelo controle e monitoramento da temperatura, ajustada em  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Além da câmera e do sistema de refrigeração, o Espectrômetro Imageador é constituído por um *Conjunto de Lentes, Espelhos e Rede de Difração*. As lentes têm finalidade de

colimar os raios de luz, enquanto os *espelhos* têm objetivo de direcionar os feixes de luz de modo à chegarem na câmera e a *Rede de Difração* separa os comprimentos de onda pré definidos. Ao chegar na câmera são armazenados durante o tempo de exposição definido no início da aquisição de dados. A *Unidade de Intensificação* é responsável principalmente pela intensificação do sinal e ainda transferência destes para a placa de aquisição (DT 3152) que está alojada no *Computador* onde estes dados serão tratados e gravados em arquivos *.dat*(binário) além de outros arquivos comerciais como por exemplo jpg, bmp, fit, etc, porém estes são mais utilizados para uma visualização da imagem sem tratamento, enquanto os arquivos *.dat* (padrão do equipamento) é utilizado para analisar estes dados em programas específicos em linguagem de programação tipo *IDL* por exemplo.

A Figura 2.10.1-1 mostra de maneira esquemática o Espectrômetro Imageador com suas ligações.

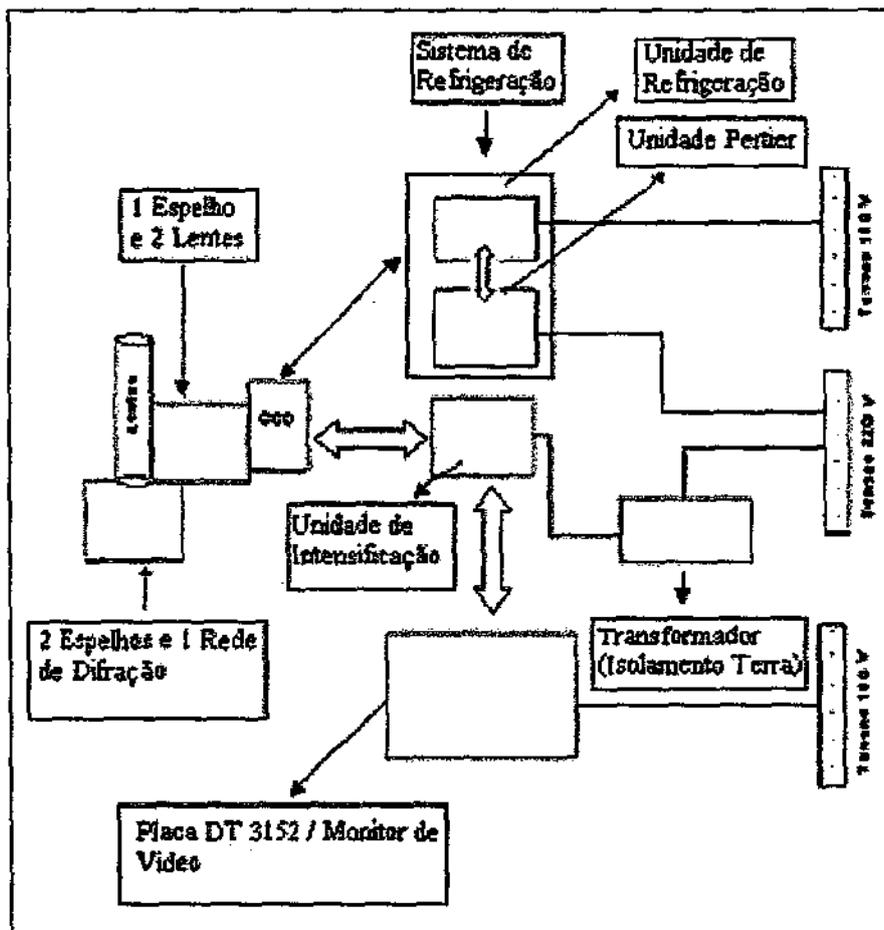


Figura 2.10.1-1: Diagrama do Espectrômetro Imageador (MIS).

Na Figura 2.10.1-2 mostra-se de maneira mais geral os componentes do MIS e o caminho percorrido pela luz no interior do equipamento.

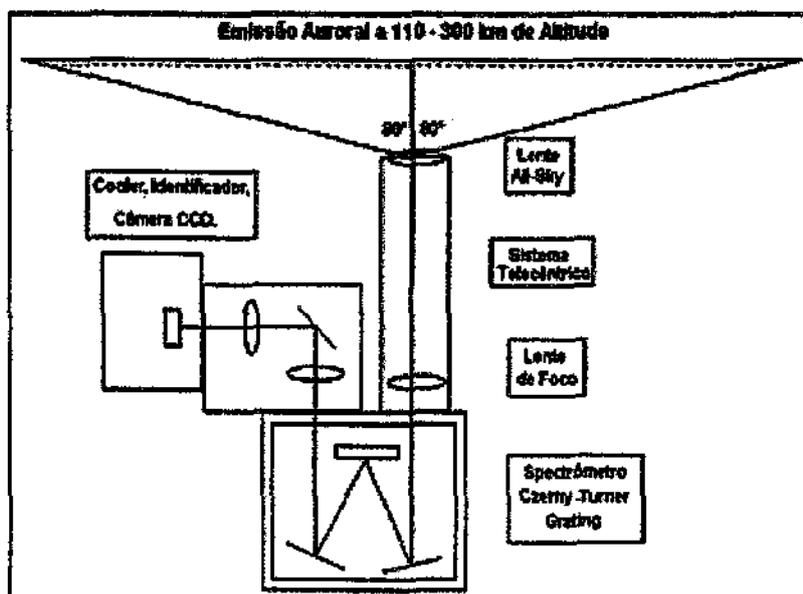


Figura 2.10.1-2: Diagrama de Blocos do MIS

## 2.10.2 Operação do Equipamento

A operação do MIS deve ser feita somente em boas condições de tempo, ou seja, noites sem lua e sem chuva, de modo que a luminosidade que chegue à lente seja devido principalmente à Luminescência Atmosférica. Para facilitar o uso do equipamento foi criado um manual técnico básico de operação, este manual consta das informações básicas para o uso do equipamento.

A operação do equipamento pode ser feita de dois modos:

- **Modo Manual:** quando o operador define o número de exposições (número de imagens), bem como o intervalo de exposição da imagem diretamente no monitor, onde está sendo exibida a primeira tela sem dados.
- **Modo Automático:** O operador utiliza programas prontos (utilizando linguagem específica do equipamento) para coletar dados durante um período de exposição.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 METODOLOGIA

A realização do presente Projeto, em um primeiro momento, centrou-se na revisão bibliográfica sobre Luminescência Atmosférica, para melhor entender como ocorrem os processos Físico e Químico da Alta Atmosfera, a qual foi feita por meio de literatura especializada, dentre as quais pode-se citar artigos científicos, relatórios, livros, revistas e pesquisa na rede internet. Foi efetuada uma revisão de literatura especializada sobre assuntos de Física pertinentes ao Projeto, por exemplo: Campo Geomagnético, Anomalias Geomagnéticas, Atmosfera Terrestre, Espectro Eletromagnético, Espectros de Emissão, Óptica, dentre outros. Além disso, fez-se um estudo referente à parte técnica do equipamento.

Para ter uma familiarização com o Espectrômetro Imageador (MIS) foram feitas visitas técnicas à laboratórios na sede do INPE, em São José dos Campos/SP, entre 15 a 19 de julho de 2002 e de 11 a 20 de fevereiro de 2003, participando de reuniões com os pesquisadores que atuam na área de Luminescência Atmosférica do Instituto e participação na coleta de dados da calibração do equipamento, quando em bancada.

A instalação do Espectrômetro Imageador no Observatório Espacial do Sul, ocorreu entre 13 a 16 de maio do corrente ano, testando os últimos detalhes, como tempo de integração de imagem, por exemplo. Após a instalação passará a ser feita coleta de dados de emissões do Nitrogênio Ionizado, nos comprimentos de onda 391,4nm e 427,8nm, e do Hidrogênio na linha 486nm ( $H_{\beta}$  - H beta). Estas emissões serão gravadas e armazenadas em um banco de dados, as quais serão analisadas, com a finalidade de correlacionar dados com a precipitação de partículas na Atmosfera da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

## CAPÍTULO 4

### 4.1 CALIBRAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO DE VARREDURA MERIDIONAL - MIS

A calibração do equipamento foi realizada na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em São José dos Campos/SP. Inicialmente foram feitos testes para verificar a temperatura interna da câmera, que não deve ser muito elevada (temperatura ambiente), sendo necessário operar em temperatura aproximada de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Isto porque o ruído interno é muito grande para altas temperaturas.

No período de 11 a 20 de fevereiro de 2003 foram realizados os primeiros testes em bancada com lâmpadas de Mercúrio (Hg), Neônio (Ne), Kriptônio (Kr) e Argônio (Ar). Foram obtidos bons resultados com as lâmpadas de Mercúrio (Hg) e Neônio (Ne), onde foi possível verificar o bom funcionamento do equipamento. As imagens das linhas obtidas das duas lâmpadas de Mercúrio (Hg) e Neônio (Ne) são apresentadas respectivamente nas Figuras 4.1-1 e 4.1-2.

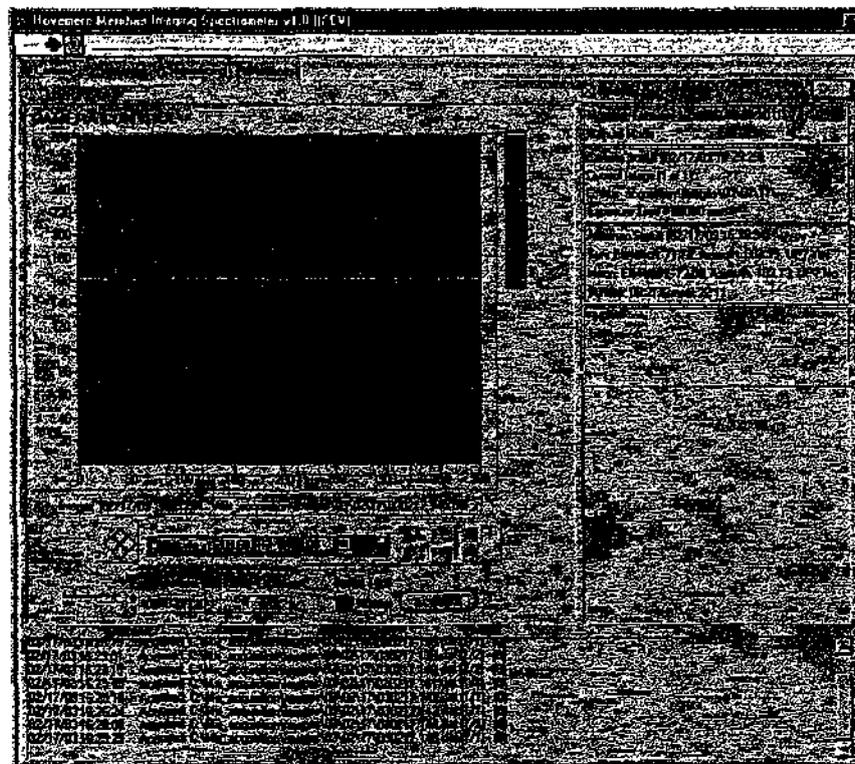


Figura 4.1-1: Espectro de linha obtido em calibração com a lâmpada de Hg.

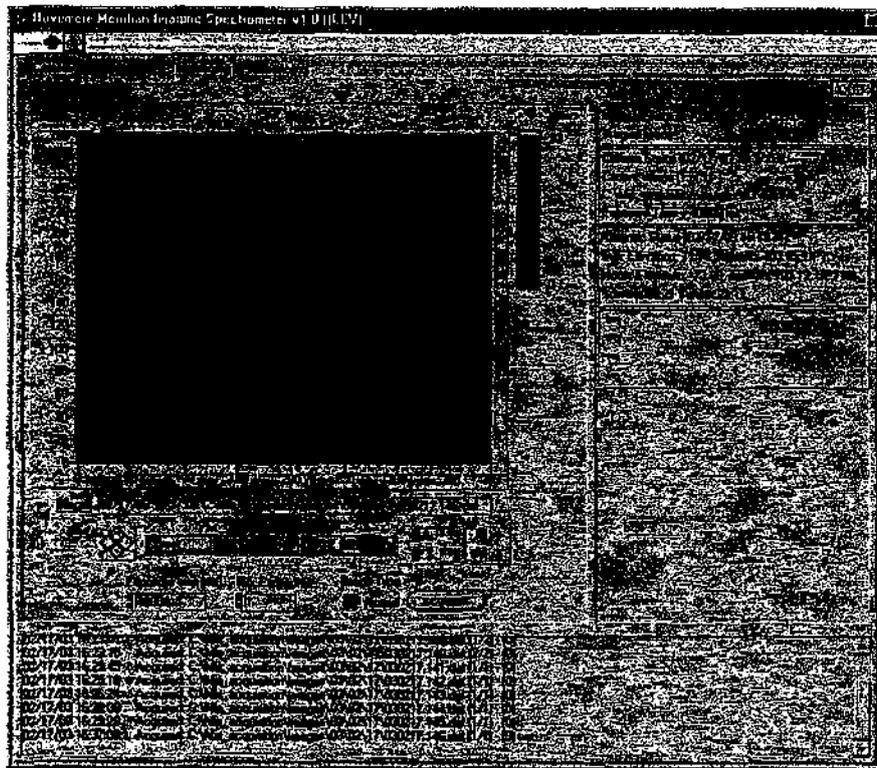


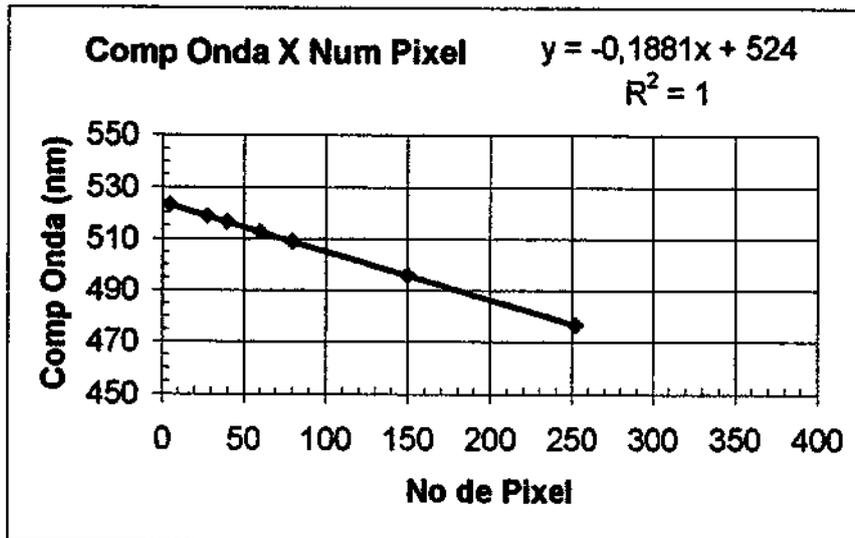
Figura 4.1-2: Espectro de linha obtido em calibração com a lâmpada de Ne.

Utilizando as demais lâmpadas (Ar, Kr) não foi possível visualizar suas respectivas linhas de emissão.

Com os dados das lâmpadas de Mercúrio (Hg) e Neônio (Ne) foi possível plotar o gráfico do N° de Pixel X Comprimento de onda (nm), apresentado na Figura 4.1-3, juntamente com os dados tabelados correspondentes que são apresentados na Tabela 4.1-1.

Tabela 4.1 -2: N° de Pixel X Comprimento de onda (nm) utilizando os dados das lâmpadas de Mercúrio (Hg) e Neônio (Ne).

N° de Pixel	Comp. Onda (nm)	Elemento
5	523,06	Ne
28	518,736	Ne
40	516,48	Ne
60	512,72	Ne
80	508,96	Ne
150	495,8	Hg
252	476,6	Ne



**Figura 4.1-3: Gráfico dos dados de calibração/N° de Pixel X Comprimento de Onda**

## CAPÍTULO 5

### 5.1 RESULTADOS

Os resultados obtidos até o momento são basicamente relacionados ao conhecimento teórico acerca de Luminescência Atmosférica e os processos Físico e Químico envolvidos nas emissões óticas da Alta Atmosfera e conhecimentos sobre o fenômeno das anomalias geomagnéticas, em especial a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Destaca-se o conhecimento técnico sobre o Espectrômetro Imageador (MIS – *Meridian Imaging Spectrometer*). Pode-se citar ainda a importância da oportunidade da aplicação dos conhecimentos adquiridos no Curso de Graduação em Física, o qual faz parte o bolsista, bem como o aprimoramento dos mesmos, através de revisões bibliográficas, e a aquisição de novos conhecimentos, nas áreas de Geofísica Espacial e Geomagnetismo, na área específica de Aeronomia e Luminescência Atmosférica.

Os resultados referentes a dados de observações no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, que é administrado pela parceria: INPE – UFSM, ainda não estão disponíveis, visto que o equipamento (MIS) foi instalado neste mês de maio do corrente ano e durante o período de instalação, 13 a 16 de maio de 2003, foram feitos testes de bancada utilizando lâmpadas de Neônio (Ne) e Mercúrio (Hg) para verificar o funcionamento do equipamento, os dados de emissões do céu noturno não foi possível ainda de observar, visto que no período de instalação do equipamento eram noites muito claras (período de lua cheia) sendo o ideal fazer coleta de dados em noites de lua nova.

As perspectivas futuras deste projeto são coletar dados de emissões do céu noturno, através do Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional - MIS, esses possivelmente serão trabalhados pelo bolsista durante o Curso de Mestrado, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCT.



## **CAPÍTULO 6**

### **6.1 CONCLUSÕES**

As atividades de Iniciação Científica que foram e estão sendo realizadas pelo acadêmico no Laboratório de Ciências Espaciais e Santa Maria - LACESM/CT/UFSM-MEC, em conjunto com o Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE-MCT e o Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT deram a oportunidade de aplicar substancialmente seus conhecimentos muito além dos adquiridos no Curso de Graduação em Física da UFSM, bem como o seu aprimoramento, com aquisição de novos conhecimentos nas áreas de Geofísica Espacial e Geomagnetismo, na área específica de Aeronomia e Luminescência Atmosférica, e em outras áreas da Física relacionada ao Projeto e o desenvolvimento de sua empatia e capacidade de trabalho e interações inter-pessoais em grupos de pesquisas.



## CAPÍTULO 7

### 7.1 ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Nesta etapa estão descritas as atividades práticas desenvolvidas pelo bolsista no período vigente da bolsa. Deve-se salientar que algumas das atividades desenvolvidas não estão diretamente envolvidas com o Projeto, mas que foram de grande valia no desenvolvimento técnico-científico do aluno.

#### 7.1.1 Atividades Principais

As principais atividades desenvolvidas pelo bolsista concentraram-se em:

- Revisão bibliográfica de Luminescência Atmosférica e outros assuntos pertinentes ao Projeto;
- Estudo da parte técnica do Espectrômetro Imageador (MIS – *Meridian Imaging Spectrometer*);
- Duas visitas técnicas à sede do INPE, em São José dos Campos/SP, nos períodos de 15 a 19 de julho de 2002 e de 11 a 20 de fevereiro de 2003, onde participou de reuniões e de trabalhos em bancada de laboratório para a calibração do MIS.
- Acompanhamento e participação na instalação do Espectrômetro Imageador (MIS) no Observatório Espacial do Sul - OES/URSPE/INPE-MCT, no período de 13 a 16 de maio de 2003.

#### 7.1.2 Acompanhamento Técnico – Científico de Cientistas Japoneses em Visita ao Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT

Durante o período de vigência da bolsa, ocorreram visitas de pesquisadores japoneses, colaboradores na área de Aeroluminescência ao Observatório Espacial do Sul - OES/URSPE/INPE-MCT:

- Dr. Kazuo Makita (National Institute of Polar Research – NPIR): observações para a aquisição de dados de Aeroluminescência, operando um Fotômetro zenital



(FOTSUL) nas linhas do Oxigênio Atômico OI557,7nm e OI630,0nm; duas Cameras CCD.

**Período:**

28 de Fevereiro a 08 de Março de 2003;

- Dr. M. Nishino (Solar Terrestrial Environment Laboratory – Nagoya University Toyokawa): Manutenção de Riômetro Imageador e Riômetro Simples, que mede a radiação de fundo da Atmosfera. Instalação da Antena Detectora de Tempestades (Lighting Detector), cuja função é detectar a direção e intensidade de raios em Tempestades Atmosféricas (Descarga Elétrica Atmosférica).

**Período:**

28 de Fevereiro a 08 de Março de 2003;

Devido a estas interações com os cientistas japoneses, o aluno bolsista adquiriu maiores conhecimentos nesta área de pesquisa (Luminescência Atmosférica/Aeronomia), além de aprender sobre outros equipamentos que não àqueles ligados diretamente ao Projeto em questão.

### **7.1.3 Coleta de Dados das Emissões Airglow do OI 557,7nm e OI 630,0nm e Imagens de Câmeras CCD.**

O aluno participa do grupo de trabalho de coleta de dados de Aeroluminescência no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT. São coletas, que são feitas todos os meses em noites propícias para este trabalho, ou seja, noites sem Lua e não nublado. Os dados de intensidade de Emissões Airglow do Oxigênio, nas linhas OI 557,7nm e 630,0nm, e imagens de câmeras CCD. Estes equipamentos estão locados no prédio 5 do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra. Estas atividades contribuíram para o treinamento do aluno, para missões/programas de observações.

### **7.1.4 Cooperação na Manutenção do Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.**

O Prédio 5 do Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT foi construído no intuito de abrigar o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT (Figura 7.1.4-1). Os Prédios 5 e 6 comportam os equipamentos e experimentos ópticos do Observatório Espacial do Sul, relativos à Luminescência Atmosférica.



**Figura 7.1.4-1: Prédios 5 e 6 do OES/RSU/INPE-MCT, onde está instalado o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica do Observatório Espacial do Sul, São Martinho da Serra, RS.**

O Espectrômetro Imageador de Varredura Meridional – MIS veio a complementar os experimentos relativos à Luminescência Atmosférica realizados no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE – MCT. Tal equipamento foi instalado durante campanha realizada de 13 a 16 de maio do corrente ano no Prédio 6 do OES.

Além do equipamento citado, encontram-se em operação, no Prédio 5 do OES, dois fotômetros zenitais e três imageadoras com dispositivo CCD.

### **7.1.5 Resumos Submetidos**

Com intuito do bolsista adquirir treinamento na elaboração de Resumos/Abstracts e Artigos destinados a eventos de Iniciação Científica, bem como na apresentação de Seminários, foram submetidos e aprovados os trabalhos abaixo listados. Segue anexo (**Anexo 1: Certificados dos Trabalhos apresentados**) cópia dos respectivos certificados, bem como as cópias dos Resumos (**Anexo 2: Cópia dos Resumos submetidos e aprovados**).



**Trabalhos apresentados pelo bolsista como autor principal:**

**1. Título: “INSTALAÇÃO DO ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL SUL – OES/RSU/INPE-MCT (29°S, 53°W)”**

**Autores:** José Valentin Bageston; Nelson Jorge Schuch; Hisao Takahashi; Delano Gobbi; Fabio Augusto Vargas dos Santos; Sheron de O. Monteiro.

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002.

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

**2. Título: “ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL USANDO UM ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL”**

**Autores:** José V. Bageston, Sheron de O. Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Delano Gobbi, Hisao Takahashi

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**3. Título: “CORRELACIONADOR DIGITAL PARA MONITORAMENTO DE FONTES CÓSMICAS NA FREQUÊNCIA DE 151,5 MHz”**

**Autores:** José Valentin Bageston, Dr. Nelson Jorge Schuch, Delx C. Lunardi, Engº Rubens J. Andermann

**Evento:** Seminário de Iniciação Científica do INPE – 2002.

**Local:** Sede do INPE – São José dos Campos/SP



**Trabalhos nos quais o bolsista participou como colaborador co-autor:**

**1. Título: “AIRGLOW DEPLETIONS AND GPS SCINTILLATIONS OVER THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°S, 53°W, ~20° DIP LATITUDE)”.**

**Autores:** S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, G. R. Wrasse, J. V. Bageston, M. Landerdahl, D. B. Contreira.

**Evento:** PSMOS 2002 International Symposium on Dynamics and Chemistry of the MLT Region, October 4 - 8, 2002

**Local:** Foz do Iguaçu/PR

**2. Título: “OBSERVAÇÕES DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA REALIZADAS NO SUL DO BRASIL (29°S, 53°W)”**

**Autores:** Sheron de O. Monteiro; Nelson J. Schuch; Delano Gobbi; Hisao Takahashi; José V. Bageston; Gustavo R. Wrasse.

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

**3. Título: “INSTRUMENTAÇÃO NA BANDA DE HF PARA MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL”**

**Autores:** Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, José V. Bageston, Rafael Krummenauer.

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

**4. Título: “INSTRUMENTAÇÃO APLICADA PARA MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL”**

**Autores:** Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Noli J. Kozenieski, José V. Bageston, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**5. Título: “IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL”**

**Autores:** M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**6. Título: “OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES (29°S, 53°O)”.**

**Autores:** M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS



**7. Título: “EFEITO DE EXPLOSÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAIS DE RÁDIO COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE (29°S, 53°O)”**

**Autores:** D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, F. Rodrigues, K. Makita, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**8. Título: “OBSERVAÇÃO DE PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 17 DE ABRIL DE 2002”**

**Autores:** D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, A. Dal Lago, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**9. Título: “ESTUDO DAS CINTILAÇÕES EM SINAIS DE SATÉLITES GPS”**

**Autores:** R. Krummenauer, M. R. Signori, M. Canabarro, J. V. Bageston, S. O. Monteiro, D. B. Contreira, M. R. da Silva, F. S. Rodrigues, N. J. Schuch.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS



## AGRADECIMENTOS

Primeiro, gostaria de agradecer ao Dr. Nelson J. Schuch, chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais e Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT e Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT que, com seu constante incentivo e esforço, proporciona aos acadêmicos que atuam no âmbito da Parceria INPE-UFSM, nesta Unidade, um clima favorável ao desenvolvimento de um trabalho com criatividade, induzindo a um constante melhoramento no desempenho de nossas funções e aumentando assim, a produtividade e auto-confiança.

Aos Drs. Hisao Takahashi e Delano Gobbi pela orientação conjunta e colaboração, sempre no sentido de ajudar a desenvolver um bom trabalho.

Em especial ao meu orientador Dr. Hisao Takahashi pelo seu apoio e orientação, aos demais pesquisadores, alunos e técnicos do Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE-MCT, São José dos Campos/SP pelo apoio no desenvolvimento do Projeto, pois sem esta efetiva orientação, colaboração e dedicação a execução do Projeto não seria possível.

Não poderia deixar de agradecer aos alunos, professores e funcionários do LACESM/CT/UFSM-MEC e RSU/CRSPE/INPE-MCT, pelo excelente grupo de pessoas que formam e que sempre estão dispostos a ajudar no que for possível.

Finalmente, gostaria aqui de expressar meus sinceros agradecimentos ao Programa e a Coordenação do Programa PIBIC-CNPq/INPE-MCT pelo apoio e incentivo no desenvolvimento de minhas atividades como acadêmico do Curso de Física da UFSM e bolsista deste importante Programa. Esta ajuda foi e continuará sendo de fundamental importância para que jovens que têm muito a contribuir para o desenvolvimento do nosso País, o qual esperamos retornar este auxílio dado, através do nosso esforço e formação científica após a Pós-Graduação no INPE.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PINTO, O. J.; GONZÁLEZ, W. D.: *Anomalia Magnética Brasileira*. Ciência Hoje, Volume 9, No 52, 31-35, 1989.
- [2] MAKITA, K.; SCHUCH, N.J.; *Geomagnetic Hole*. Bulletin of Science and Engineering, Takushoku University, Vol. 7, No 2, 1999.
- [3] MAKITA, K.; *Change of Earth Environment Due to Decreasing Geomagnetic Field The Necessity of Observation in Brazilian Geomagnetic Anomaly Region*. Revista Takushoku University, Vol. 40, Nº 1, 15-24, 1996.
- [4] EOS; TRANSACTIONS; AMERICAN GEOPHYSICAL UNION: *Ever-present South Atlantic Anomaly Damages Spacecraft*. Volume 83, Nº 15, 09 de Abril de 2002.
- [5] KIRCHOFF, V.W.: *Introdução a Geofísica Espacial*, Editora da Universidade de São Paulo/SP, 1991.
- [6] FEDRIZZI, Mariangel: *Observações do conteúdo eletrônico total com dados do GPS*. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos/SP, 1999.
- [7] <http://www.uol.com.br/cienciahoje/chdia/n286.htm>.
- [8] <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica6/fisicamoderna/atomoboehr.htm>.
- [9] TORRES, Carlos Alberto P. C.: *Manchas Solares*. Ciência Hoje, Volume 2, No 09, 42-505, 1983.
- [10] TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A.: *Física Moderna*. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Terceira Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro/RJ2, 2001.
- [11] REES, M. H.: *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*. Cambridge University Press, 1989.
- [12] [http://www.process.com.br/estraca/1/tipos\\_de\\_espectros.html](http://www.process.com.br/estraca/1/tipos_de_espectros.html).
- [13] CHAMBERLAIN, J. W.: *Physics of the Aurora and Airglow*. American Geophysical Union, 1995.



- [14] COUTINHO, E. F.: *Introdução às Partículas Presas e a Anomalia Geomagnética Brasileira*. Ciência e Cultura, 26(4), 329-339, 1974.
- [15] MAKITA, Kazuo.; 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, Volume 6, No 2, 1997.
- [16] TOHMATSU, T.: *Compendium of Aeronomy*. Terra Scientific Publishing Company, Kluwer Academic Publishers, Tokyo, 1990.
- [17] WRASSE, C. M.; TAKAHASHI, H.; RETTORI, G.: *Construção de um Espectro-Fotômetro para Monitoramento da Temperatura da Mesopausa na Região Polar Antártica*. Sociedade Brasileira de Geofísica – SBGF 100, 2000.
- [18] <http://aerolume.df.ufpb.br/>.
- [19] <http://www.fisica.ufc.br/hidrogenio/hidrogenio4.htm>
- [20] <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/modeloboehr/modeloboehrconc.html>
- [21] [http://www.rep.pt/wave\\_propagation.htm](http://www.rep.pt/wave_propagation.htm).
- [22] <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/>
- [23] [www.albany.edu/facult//rgk/atm101/airglow.htm](http://www.albany.edu/facult//rgk/atm101/airglow.htm)
- [24] REES, David; SMITH, Roger W.; SIGNERNES, Fred; HENRIKSEN, Kjell; HARANG, Ove; *Observations of Auroral Spectra in the vicinity of the Polar Cusp using a Meridian Imaging Spectrometer (MIS)*. Proceedings of the Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, Andøya, August 1997.



## **Anexo 1: Certificados dos Trabalhos Apresentados**

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

**CERTIFICADO**

Certificamos que **JOSÉ VALENTIN BAGESTON**, registro nº 0262, apresentou o trabalho "ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL USANDO UM ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL" no **XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

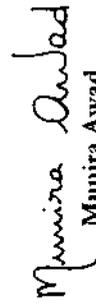
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

  
Prof. Dirmeval Rosa dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Prof. Cláudia Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão

## **PROGRAMA**

### ***Dia 23/10 – Quarta feira***

Palestra: Programa e apoios de pesquisas e Iniciação Científica da FAPERGS  
*Palestrante: Prof. Luiz Rogério Izoton (Diretor Administrativo FAPERGS)*

Palestra: Sobre funcionamento do CREA  
*Palestrante: Arg. Saint Clair (Representante do CREA-RS)*

Abertura da III Feira de Protótipos

Palestra: Registro de Propriedade Intelectual  
*Palestrante: Luis Otavio Beaklini (Diretor de Patentes)*

Seções técnicas (Salas do Prédio de Eng. de Alimentos)

### ***Dia 24/10 – Quinta feira***

Sessões Técnicas (Salas do Prédio de Eng. de Alimentos)

### ***Dia 25/10 – Sexta feira***

Sessões Técnicas ( Salas do Prédio de Eng. de Alimentos)

Avaliação do CRICTE 2002 e escolha do Próximo local para o evento

Premiação e Cerimônia de Encerramento

# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

## CERTIFICADO

Certificamos que

JOSE VALENTIN BAGESTON

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como apresentador/autor do trabalho

INSTALAÇÃO DO ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA  
MERIDIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL SUL -  
OES/CRSPE/INPE (29OS, 53OW)



Ronaldo de Jesus

Comissão Executiva  
Outubro de 2002

acenda sua idéia!

2002

UFSM

[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certificamos que **JOSÉ VALENTIM BAGESTON**, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do INPE (PIBIC/CNPQ/INPE), participou do **SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE ANO 2002 - SICINPE 2002**, realizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em 10 e 11 de junho de 2002, tendo apresentado o trabalho intitulado **CORRELACIONADOR DIGITAL PARA MONITORAMENTO DE RADIOFONTES CÔSMICAS NA FREQUÊNCIA DE 151,5 MHz**.

São José dos Campos, 12 de junho de 2002.

*José Fernando Sanches da Silva*  
Chefe do Serviço de Treinamento e Desenvolvimento

*Germano de Souza Kienbaum, PhD*  
Coordenador do PIBIC/INPE

## **CONTEÚDO PROGRAMÁTICO**

*Apresentação de Projetos de Iniciação Científica nas áreas de:*

- *ASTROFÍSICA*
- *ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS*
- *METEOROLOGIA*
- *SENSORIAMENTO REMOTO*
- *GEOFÍSICA ESPACIAL*
- *AERONOMIA*
- *COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA APLICADAS*
- *MATERIAIS*

### **COMITÊ INTERNO:**

**Germano de Souza Kienbaum, PhD** – coordenador  
**Dr. José Carlos Becceneri**  
**Dr. Elbert Einstein Nehrer Macau**  
**Dra. Tania Sausen**

### **COMITÊ EXTERNO:**

**Dr. Sylvio Ferraz Mello** - USP  
**Dr. José Roberto Leite** - USP  
**Dr. João Andrade de Carvalho Júnior** – FEG/UNESP  
**Dr. João Luis Filgueiras Azevedo** – LAE/CTA

Número: 7067

Livro: 4

Folha: 19

*J. Azevedo*  
SERVIÇO DE TREINAMENTO E  
DESENVOLVIMENTO



## **Anexo 2: Cópia dos Resumos Submetidos e Aprovados**

## **INSTALAÇÃO DO ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL SUL – OES/CRSPE/INPE (29°S, 53°W)<sup>1</sup>**

José Valentin Bageston<sup>2</sup>; Nelson Jorge Schuch<sup>3</sup>; Hisao Takahashi<sup>4</sup>; Delano Gobbi<sup>5</sup>; Fabio Augusto Vargas dos Santos<sup>6</sup>; Sheron Oliveira Monteiro<sup>7</sup>.

A Aeroluminescência (Airglow) é um fenômeno óptico que acontece na Atmosfera Terrestre pelos átomos e moléculas excitados pela radiação solar, pelo processo fotoquímico, e/ou pelas partículas energéticas. Observações de variações espaciais e/ou temporais das emissões podem ser úteis na investigação do fenômeno de Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), nos processos físico-químicos desta Região da Atmosfera. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma região de baixa intensidade no Campo Geomagnético e devido a ela, uma grande precipitação de Raios Cósmicos e de partículas do Vento Solar se dá nesta região, ocasionando perturbações no Campo Geomagnético e na Alta Atmosfera. A ionização do Nitrogênio (bem como dos demais componentes da Atmosfera) acontece na Atmosfera somente pelo bombardeio de partículas energéticas (elétrons e prótons). A existência da emissão Airglow do Nitrogênio comprova a existência da precipitação de partículas energéticas no Campo Geomagnético. Com o objetivo de investigar os fenômenos geofísicos espaciais que ocorrem nesta região de anomalia, utilizar-se-á um espectrômetro imageador de alta sensibilidade – Meridian Imaging Spectrometer (MIS) - monitorando as emissões do Nitrogênio ionizado,  $N_2^+$  391,4nm e 427,8nm. Este equipamento deverá ser instalado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE) em São Martinho da Serra (29°S, 53°W) ainda este ano de 2002. O Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica (LOLA/OES/CRSPE/INPE-MCT) em parceria com o LACESM/CT/UFSM mantêm um programa de monitoramento do céu noturno, operando detectores óticos, permitindo o estudo e determinação de diversos parâmetros da Alta Atmosfera, bem como sua dinâmica no Sul do País e a sua correlação com parâmetros obtidos em outras latitudes, de forma que o MIS vem a complementar esta instrumentação ampliando os estudos óticos da Atmosfera realizados na Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais (URS/INPE-MCT).

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido no LACESM/UFSM/CT, OES/CRSPE/INPE e na sede do INPE em São José dos Campos/SP

<sup>2</sup> Apresentador: Bolsista CNPq/INPE, aluno do curso de Física da UFSM

<sup>3</sup> Orientador: Pesquisador-chefe do CRSPE/INPE

<sup>4</sup> Co-autor: Pesquisador da DAE/INPE

<sup>5</sup> Co-autor: Pesquisador da DAE/INPE

<sup>6</sup> Co-autor: Mestrando DAE/INPE

<sup>7</sup> Co-autora: Bolsista CNPq/INPE, aluna do curso de Física da UFSM

## **ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL USANDO UM ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL**

**José V. Bageston, Sheron de O. Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Delano Gobbi, Hisao Takahashi**

Universidade Federal de Santa Maria - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima - Bairro Camobi - Caixa Postal 5021 - 97110-970 - Santa Maria - RS - Brasil  
[bageston@lacesm.ufsm.br](mailto:bageston@lacesm.ufsm.br), [hisao@laser.inpe.br](mailto:hisao@laser.inpe.br)

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS – corresponde a uma grande área do Planalto centrada na Região Sul do Brasil, atingindo o Uruguai e Argentina, caracterizada por uma baixa intensidade do Campo Geomagnético. Devido a este fato há uma maior precipitação de partículas energéticas nesta região. A Aeroluminescência – Airglow - é um fenômeno óptico que acontece na Alta Atmosfera devido à desexcitação dos átomos e moléculas excitados pela radiação solar, emitindo fótons luminosos por processos de recombinação iônica e fotodissociação. Esta emissão é modulada pela precipitação de partículas energéticas, que podem aumentar a intensidade de emissão. Observações de variações espaciais e/ou temporais das emissões podem ser úteis na investigação do fenômeno da AMAS e nos processos físico-químicos desta região da Atmosfera. Sabendo que a precipitação de partículas energéticas na Atmosfera Terrestre pode causar danos em satélites e influenciar nas telecomunicações em geral, este estudo se faz importante. Com o objetivo de investigar os fenômenos Geofísicos Espaciais que ocorrem nesta região de anomalia e especialmente a precipitação de partículas na Alta Atmosfera, está sendo instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra (29°S, 53°O) - OES/CRSPE/INPE-MCT - um Espectrofotômetro Imageador de alta sensibilidade, para monitoramento das linhas de emissões do Nitrogênio Ionizado,  $N_2^+$ , nos comprimentos de onda 391,4nm e 427,8nm. O Espectrômetro de Varredura Meridional - *Meridian Imaging Spectrometer* - MIS - tem a capacidade de observar uma região espectral com banda, em comprimento de onda de 100nm, de 380 a 480nm, com uma resolução espectral de 0,5nm. O espectro eletromagnético observado é gravado no imageador, para posterior análise. O Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica -LOLA/OES/CRSPE/INPE-MCT - e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria -LACESM/CT/UFSM-MEC - vêm mantendo um programa de monitoramento do céu noturno, operando detectores ópticos de alta sensibilidade, permitindo assim, o estudo e determinação de parâmetros da Alta Atmosfera, permitindo o estudo de sua dinâmica no Sul do País e a sua correlação com parâmetros obtidos em outras latitudes. O MIS vem, dessa forma, complementar esta instrumentação ampliando os estudos ópticos realizados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT - de maneira a conhecermos melhor a Alta Atmosfera Terrestre.

Projeto financiado pelo CNPq/INPE

# **CORRELACIONADOR DIGITAL PARA MONITORAMENTO DE FONTES CÓSMICAS NA FREQUÊNCIA DE 151,5 MHz**

José Valentin Bageston<sup>1</sup> (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)

Dr. Nelson Jorge Schuch<sup>2</sup> (CRSPE/ INPE)

Delx C. Lunardi<sup>3</sup> (UFSM); Eng<sup>o</sup> Rubens J. Andermann<sup>3</sup> (INPE)

## **RESUMO**

A Universidade de Cambridge, na Inglaterra, construiu e opera um Interferômetro em 151,5 MHz, que realizou o mapeamento de radiofontes referentes ao Hemisfério Norte. O desenvolvimento e implantação de um Rádio Interferômetro similar operando em 151,5 MHz, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, município de São Martinho da Serra/RS, tem o objetivo de complementar este estudo, realizando o mapeamento de radiofontes referentes ao Hemisfério Sul. O objetivo do trabalho foi a realização de um estudo teórico sobre a implementação do Rádio Interferômetro Protótipo, através da interação com os trabalhos desenvolvidos anteriormente pelo Projeto Radioastronomia, além do desenvolvimento de um conhecimento geral sobre a implementação deste, do qual faz parte o Projeto do Rádio Interferômetro. Para a realização dessas atividades de estudo foi necessária uma revisão bibliográfica, o que foi feito através de relatórios anteriores, trabalhos apresentados em congressos e da literatura especializada. Neste estudo são levantados tópicos relacionados à implementação do Projeto, ao motivo da instalação desse equipamento no Sul do Brasil, ou seja, quais as características oferecidas por essa região que propicia o estudo de radiofontes cósmicas na frequência de 151,5 MHz, técnicas utilizadas em Rádio-Interferometria, Técnicas de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, características do Rádio Interferômetro e futuros trabalhos a serem desenvolvidos. Os conhecimentos adquiridos através dos estudos realizados nesse período, servirão como base para o desenvolvimento de outros trabalhos, além de ter possibilitado uma interação com o Projeto e um conhecimento mais detalhado sobre o mesmo.

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Licenciatura em Física, UFSM. E-mail: bageston@lacesm.ufsm.br

<sup>2</sup> Orientador, Pesquisador Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

<sup>3</sup> Colaboradores

## **AIRGLOW DEPLETIONS AND GPS SCINTILLATIONS OVER THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°S, 53°W, ~20° DIP LATITUDE)**

*S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, G. R. Wrasse, J. V. Bageston, M. Landerdahl, D. B. Contreira.*

Ionospheric plasma irregularities are generated after the sunset at the magnetic equator region by plasma instabilities. After generation at the bottom-side F region, plasma irregularities can grow up to high altitudes and extend along magnetic field lines and reach low magnetic latitude regions. Large-scale plasma irregularities are known as plasma “bubbles”, characterized as large plasma density depletions and they are observed using airglow and ionospheric Total Electron Content (TEC) observation techniques. There are evidences of the coexistence of small, intermediate and large-scale plasma irregularities. Early observations, February of 2001, showed signatures of ionospheric plasma bubbles on the photometer data obtained at Southern Space Observatory – SSO (29°S, 53°W, ~20° dip latitude) located in the Brazilian southern region. In order to assure the occurrence of plasma bubble over SSO, we carried out a campaign of multi-technique observations from March, 08 to 19 – 2002. During the campaign we have performed measurements of the OI 630 nm emission using a zenithal photometer, observations of the airglow emission using an all-sky imaging camera and L Band scintillations using a GPS based scintillation monitor. OI 630 nm photometer data indicated the occurrence of plasma depletions associated to strong GPS L1 scintillations. By using high elevation GPS satellites data we observed the concurrent start time of the plasma depletions and GPS scintillations. The observed scintillations were associated to small irregularities (~400 meters) coexistent with large-scale plasma depletions observed by the photometer. The plasma depletions also were observed by the camera system. The first multi-technique observation results obtained over SSO indicate plasma large depletion associated to strong GPS scintillations, considering that we observed twelve nights and six present data we can analyse. It was possible to identify, in five of these six nights, the ionospheric plasma depletion, according to airglow decreasing – photometer measurements – simultaneous to GPS scintillation measurements. The camera images make possible the plasma depletion visualization, which is represented as a dark region in the images. It's possible to verify the plasma bubble over the SSO sky in all the five observation nights that we will present.

# **OBSERVAÇÕES DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA REALIZADAS NO SUL DO BRASIL (29°S, 53°W)<sup>1</sup>**

**Sheron de O. Monteiro<sup>2</sup>; Nelson J. Schuch<sup>3</sup>; Delano Gobbi<sup>4</sup>; Hisao Takahashi<sup>5</sup>; José V. Bageston<sup>6</sup>; Gustavo R. Wrasse<sup>7</sup>.**

As Bolhas de Plasma são irregularidades ionosféricas geradas após o pôr-do-sol na Região do Equador Magnético por instabilidade de plasma conhecida como instabilidade de Rayler. Irregularidades ionosféricas de grande escala, (conhecidas como Bolhas de Plasma), ocorrem na região F da ionosfera sendo caracterizadas por grande depleção no plasma ionosférico. Estas Bolhas de Plasma constituem-se em um dos mais importantes distúrbios da ionosfera noturna na Região do Equador Magnético e de baixas latitudes (~20dip Latitude). Estudos demonstram que a redução na intensidade da aeroluminescência emitida pelo Oxigênio Atômico (OI 630 nm), é uma das manifestações da presença de bolhas ionosféricas na região de emissão. Utilizando medidas de fotômetro zenital e de um sistema de Câmeras Imageadoras instaladas no Observatório Espacial Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT - (29°S, 53°W, ~20° dip latitude) realizaram-se dentro do âmbito do convênio: INPE-UFSM observações do céu noturno, que neste trabalho comparadas com medidas de amplitude de cintilações do sinal GPS (*Global Position System*), observadas em L1 (1.575 GHz). Tais parâmetros indicam a ocorrência de bolhas de plasma sobre a Região Sul do Brasil.

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido no LACESM/UFSM/CT e OES/CRSPE/INPE

<sup>2</sup> Apresentadora: aluna do curso de Física da UFSM, bolsista CNPq/INPE - [sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br)

<sup>3</sup> Pesquisador-chefe do CRSPE/INPE

<sup>4</sup> Orientador: Pesquisador da DAE/INPE

<sup>5</sup> Pesquisador da DAE/INPE

<sup>6</sup> Aluno do curso de Física da UFSM, bolsista CNPq/INPE

<sup>7</sup> Aluno do curso de Física da UFSM

# **INSTRUMENTAÇÃO NA BANDA DE HF PARA MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL<sup>1</sup>**

Maiquel Canabarro<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>, Danieli B. Contreira<sup>4</sup>, Marlos R. da Silva<sup>5</sup>, José V. Bageston<sup>5</sup>, Rafael Krummenauer<sup>6</sup>

Um dos meios mais utilizados no monitoramento da Ionosfera é através da recepção de ondas de rádio. Estas ondas, em médias frequências (MF), e até mesmo altas frequências (HF) são refletidas ao se chocarem com a Ionosfera, em alturas que dependem da frequência da onda e da densidade do meio. O Objetivo deste trabalho é apresentar a eficiência da implementação de um sistema simples e de baixo custo para realizar estudos dos efeitos ocasionados por distúrbios ionosféricos sobre sinais de rádio-comunicação. O sistema receptor foi obtido através de uma cooperação científica internacional com a Takushoku University – Japão, e encontra-se instalado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT desde outubro de 2000. O sistema consiste de um rádio-receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF), modelo NRD-535 da JRC (Japan Radio Communication), com interface serial RS-232 possibilitando o controle do rádio por computador. Para aquisição dos dados foi desenvolvido um software que muda automaticamente as frequências de recepção, que são pré-definidas pelo usuário e adquire os valores de potência do sinal captado, transmitido via reflexão ionosférica por estações de rádio comercial. Os dados são obtidos em unidades digitais arbitrarias sendo convertidos posteriormente para unidades dBm. Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados, e os valores de potência do sinal são gravados em arquivos textos diários com amostragem de 10 segundos. A potência do sinal de 6 MHz tem sido principalmente analisada devido a sua estabilidade, em relação às outras frequências de recepção, (9.645, 9.565, 15.4MHz). Nesta banda o sinal tem apresentado variabilidade diária, sazonal e absorção do sinal durante eventos que originam aumento na densidade eletrônica ionosférica. Através dos resultados previamente obtidos, verifica-se que o sistema é eficiente para o monitoramento diário e sazonal da Ionosfera local, permitindo estudos de eventos de absorção ionosférica na faixa de 6 MHz.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE

2 - Apresentador: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

3 - Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE

4 - Co-Autores: Acadêmica do curso de Engenharia Química – CT/UFSM

5 - Co-Autor: Acadêmicos do curso Física – CCNE/UFSM

6 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

## **INSTRUMENTAÇÃO APLICADA PARA MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

**Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Noli J. Kozenieski, José V. Bageston, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch,**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil  
[maiquel@lacesm.ufsm.br](mailto:maiquel@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Atmosfera Terrestre possui uma região denominada Ionosfera caracterizada pela grande concentração eletrônica estando localizada entre 50 Km e 1000 Km acima da superfície Terrestre. De acordo com suas propriedades químicas e físicas e densidade eletrônica divide-se em 4 camadas: D, E, F1 e F2. A camada D, situada entre 60 e 90 km de altitude possui uma baixa concentração de elétrons livres e é responsável pela reflexão de ondas de rádio em baixas frequências. A

Camada E, entre 90 e 150 Km, apresenta intensa condutividade elétrica, devido as correntes elétricas que nela fluem e é responsável pela reflexão de ondas de rádio em média e altas frequências utilizando a Ionosfera como meio de propagação. Na região F, dividida em camadas F1 e F2, encontra-se o pico de densidade eletrônica em torno de 250 Km de altitude. O Laboratório de Clima Espacial Interações Terra-Sol do CRSPE/INPE-MCT, em cooperação com diversas instituições japonesas está implementando equipamentos que permitem o monitoramento contínuo e estudos de parâmetros da Ionosfera sobre o Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE-MCT. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise dos sistemas para monitoramento ionosférico e estudos do comportamento diário e sazonal da Ionosfera local através dos equipamentos instalados no Observatório. O Riômetro convencional, operando na frequência de 38.2 MHz, consiste de um simples receptor que registra a intensidade das ondas de rádio emitidas por Radiofontes através de uma antena direcional, registrando dados no intervalo de 1 segundo. Através dos dados do Riômetro é possível detectar eventos de absorção ionosférica por comparação com o sinal obtido em condições de absorção nula. O Sistema Riômetro Imageador consiste de uma rede bidimensional (4x4) de 16 antenas operando na frequência de 30 MHz, com intervalo de amostragem de 1 segundo e intervalo de varredura de imagem de 4 segundos, o software possibilita a plotagem em tempo real das variações temporais da intensidade de ruído cósmico, na forma de imagens bidimensionais. O sistema Rádio-Receptor (AM) recentemente implementado possibilita o monitoramento ionosférico através da recepção de ondas de rádio de altas frequências (HF). Para aquisição dos dados foi desenvolvido software que muda automaticamente as frequências de recepção e adquire valores de potência do sinal captado via reflexão ionosférica, por estações de rádio comercial (6, 9.645, 9.565, 15.4 MHz). O sinal de 6 MHz tem sido principalmente analisado devido a sua estabilidade e variabilidade durante eventos que acarretam aumento no processo de ionização. Foram comparados, dados obtidos com estes equipamentos e avaliados seus desempenhos para estudos da Ionosfera. Estes dados têm favorecido o monitoramento diário da Ionosfera bem como a observação de distúrbios causados por processos de ionização anômala e a conseqüente absorção de ondas de rádio.

## IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL

**Marlos R. da Silva, Maíquel Canabarro, Daniell B. Contreira, Sheron Monteiro,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil

[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

Os Raios Cósmicos são radiações naturais cujo poder de penetração é muito superior ao de qualquer outra radiação conhecida, possuem alta energia, se propagam no espaço interestelar e atinge a Atmosfera Terrestre de maneira isotrópica. Sua energia está no intervalo de  $10^9$  a  $10^{19}$  eV, sendo composta principalmente por prótons. Outras partículas estão presentes, mas em menor quantidades. Há várias razões pelas quais partículas com estas energias são importantes na previsão do Clima Espacial. Primeiro, viajam com velocidades relativísticas, próximas à da luz. Partículas de Raios Cósmicos que interagem com uma onda de choque ou uma Ejeção de Massa Coronal Solar (EMC), escapam para a parte frontal dessas estruturas, viajam mais rapidamente que o choque, trazendo o alerta da chegada da estrutura com antecedência de aproximadamente de 6 a 8 horas. Segundo, as partículas têm um grande livre caminho médio. Isto é importante porque assinaturas precursoras da chegada de um distúrbio seriam apagadas devido ao espalhamento em escalas maiores que o livre caminho médio. Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos Raios Cósmicos ambientes com uma onda de choque se aproximando. Decréscimos precursores podem ser resultados de efeitos de “cone de perdas”, no qual o instrumental do Observatório está magneticamente conectada à região de decréscimo de Raios Cósmicos a frente da onda de choque. Aumentos precursores podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na onda de choque que está se aproximando. Neste trabalho, são definidos os Raios Cósmicos, seus tipos, origem e finalmente mostrar a modulação por eles sofrida frente aos eventos Solares que alteram temporariamente a estrutura do campo Magnético Terrestre.

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE)/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.

**OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS NO  
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES (29°S, 53°O)**

**Marlos R. da Silva, Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Sheron Monteiro,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez  
Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil  
[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@lacesm.ufsm.br](mailto:gonzalez@lacesm.ufsm.br)**

Através da Cooperação Internacional entre Brasil e Japão, um protótipo do Detector de Muons (Raios Cósmicos) tem sido operado desde Março de 2001 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, localizado em São Martinho da Serra (29°S, 53°W), para observar Raios Cósmicos precursores de Tempestades Geomagnéticas. Este protótipo opera em rede internacional, juntamente com outros dois grandes detectores instalados no Japão e na Austrália, formando uma rede de detectores para a observação de Muons. O Detector por se tratar de instrumento multi-direcional foi instalado no Observatório Espacial do Sul com a finalidade de cobrir uma grande área de observação sobre a Terra, esta área é compreendida pelas regiões Atlântica e Européia, na qual a rede anterior a sua instalação não era eficaz. Planos foram aprovados pelas instituições Japonesas e Norte-Americanas para ampliar o protótipo (2x2) por um detector de muons (6x6), aumentando assim, a área de detecção de Raios Cósmicos e completando a cobertura global da rede Internacional de Detectores de Muons. O protótipo do Detector de Muons tem detectado precursores de Raios Cósmicos de várias tempestades geomagnéticas, como relatado por Munakata et al. (2000, 2001). No OES/CRSPE/INPE-MCT foram observados Decréscimos Forbush, como também precursores dos Raios Cósmicos anisotrópicos precedendo o início das Tempestades Magnéticas Geoféticas. Neste trabalho é apresentada uma descrição da rede e resultados preliminares obtidos com este protótipo.

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.

**EFEITOS DE EXPLOSÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAIS DE RÁDIO  
COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL  
OES/CRSPE/INPE (29° S, 53° O)**

**Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron de O. Monteiro, Marios R. da Silva,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Fabiano Rodrigues, Kazuo  
Makita, Nelson J. Schuch, Walter D. Gonzalez**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil  
[danieli@lacsms.ufsm.br](mailto:danieli@lacsms.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

A Ionosfera é a região da Atmosfera localizada entre 50 e 1000 Km em relação à superfície terrestre, é caracterizada pela grande concentração eletrônica e por ser responsável pela reflexão das ondas de rádio que usam esta camada como meio de propagação. As partículas carregadas são produzidas, sobretudo pela radiação ultravioleta (EUV) e por raios-x solares. Eventos de explosões solares são caracterizados pela intensificação do fluxo de raios-x, causando aumento abrupto de ionização na mais baixa Ionosfera e a conseqüente absorção de ondas de rádio. Estes eventos de absorção são observados como eventos de desvanecimento de rádio sinais e apresentam uma importante influência no desempenho de sistemas de rádio-comunicação. Este trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência de desvanecimento de rádio sinais associados a explosões solares de raios-x, utilizando um sistema rádio receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF). O sistema consiste de um rádio receptor, modelo NRD-535 da JRC (Japan Radio Company), com interface serial RS-232, que possibilita o controle do rádio por um computador dedicado. O software de controle e aquisição de dados muda automaticamente as frequências de recepção e adquire os valores de potência do sinal recebido. Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados pelo sistema receptor que está implementado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, localizado no município de São Martinho da Serra (29.43°S, 53.8°O). Foram analisados dados de potência do sinal AM, (6 MHz), transmitido pela estação de rádio Guaíba de Porto Alegre – RS, (30.02°S, 51.13°O) e dados de fluxo de raios-x proveniente do satélite GOES-8 para o ano de 2001. Verificou-se que grande parte dos eventos estudados neste período, entre 05 e 21 horas locais, foram correlacionados a explosões solares de raios-x, nas classes C ( $10^{-6} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-5} \text{ W/m}^2$ ) e M ( $10^{-5} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-4} \text{ W/m}^2$ ). O efeito imediato da explosão solar pode ser verificado causando perdas na intensidade do sinal com duração total de mais de 1 hora na maioria dos casos observados. A partir dos resultados verificou-se que o sistema permite o monitoramento da variação diária de ionização da baixa Ionosfera, e também a possibilidade de estimar a magnitude de absorção do sinal durante eventos de explosões solares. Um longo período de observações pode prover informações estatísticas sobre a relação existente entre explosões solares de raios-x e o fenômeno que produz ionização anômala nas camadas da baixa Ionosfera e absorção de ondas de rádio.

**OBSERVAÇÃO DE PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO  
RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE  
17 DE ABRIL DE 2002**

**Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron Monteiro, Marlos R. da Silva, Rafael  
Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Alisson Dal Lago, Nelson J.  
Schuch, Walter D. Gonzalez**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil  
[danieli@lacesm.ufsm.br](mailto:danieli@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpc.br](mailto:gonzalez@dge.inpc.br)

A cada intervalo de 11 anos o Sol entra em intensa atividade, período denominado máximo solar, apresentando regiões de instabilidades que podem liberar a altas velocidades grandes quantidades de matéria e energia eletromagnética na forma de ejeções de massa coronal (EMC) e explosões solares, respectivamente. Estas manifestações de intensa atividade atingem o meio interplanetário e os planetas, podendo dar lugar na Magnetosfera Terrestre às chamadas Tempestades Geomagnéticas. O principal parâmetro para o desenvolvimento das Tempestades Geomagnéticas está associado a estruturas interplanetárias com intensa e de longa duração componente do campo magnético interplanetário (CMI), na direção antiparalela a do campo geomagnético, os quais se interconectam ocorrendo um transporte efetivo de energia para a Magnetosfera. Como consequência é verificado um aumento na densidade de partículas que circundam a Terra, distúrbios nas altas camadas da Atmosfera, influência nas telecomunicações e até mesmo “blackouts”. O campo magnético da Magnetosfera Terrestre é de grande importância para os seres humanos uma vez que protege a Terra contra a entrada de partículas altamente energéticas (prótons e elétrons) e da ação direta do vento solar. O objetivo deste trabalho é analisar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem da Tempestade Geomagnética observada no dia 17 de abril de 2002, e avaliar os diversos parâmetros que permitem a detecção de uma Tempestade Magnética. Para a realização deste estudo foram utilizados dados de plasma (velocidade do vento solar, densidade e temperatura de prótons) e campo magnético interplanetário (componentes  $B$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), provenientes dos satélites WIND e ACE, que estão em operação desde os anos de 1995 e 1997, respectivamente, produzindo dados que permitem o monitoramento diário da dinâmica do meio interplanetário. Dados do índice Dst foram usados para a identificação da Tempestade Geomagnética. Este índice é construído a partir de médias globais da variação da componente horizontal ( $H$ ) do campo magnético terrestre que se torna menos intenso durante a manifestação de uma Tempestade Geomagnética, propiciando valores negativos do índice Dst. Tempestades Geomagnéticas são classificadas como intensas quando  $Dst < -100$  nT. Para o evento em estudo verificou-se que na fase principal da Tempestade, o índice Dst atingiu o valor de  $-105$  nT, sendo esta fase acompanhada por valores da componente  $B_z$  do CMI em torno de  $-22$  nT. Durante a chegada da estrutura responsável pela fase inicial da Tempestade, observou-se um aumento na magnitude do campo magnético, densidade e velocidade do vento solar, atingindo valores em torno de  $500 \text{ km s}^{-1}$  (aumento de aproximadamente  $160 \text{ km s}^{-1}$ ) em comparação ao período anterior. Estes parâmetros são de significativa importância permitindo o monitoramento contínuo do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do meio interplanetário e atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no ambiente terrestre.

## **ESTUDO DAS CINTILAÇÕES EM SINAIS DE SATÉLITES GPS**

**Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, José V. Bageston, Sheron Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Fabiano S. Rodrigues, Nelson J. Schuch**  
Universidade Federal de Santa Maria - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil  
[rafakrum@lacesm.ufsm.br](mailto:rafakrum@lacesm.ufsm.br), [marcos@lacesm.ufsm.br](mailto:marcos@lacesm.ufsm.br), [maiquel@lacesm.ufsm.br](mailto:maiquel@lacesm.ufsm.br),  
[bageston@lacesm.ufsm.br](mailto:bageston@lacesm.ufsm.br), [sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br), [danieli@lacesm.ufsm.br](mailto:danieli@lacesm.ufsm.br),  
[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [fabiano@dae.inpe.br](mailto:fabiano@dae.inpe.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Ondas de rádio em frequências acima de VHF são capazes de transpor a camada ionosférica, possibilitando a comunicação trans-ionosférica. No entanto a propagação estável dos sinais pode ser afetada ao atravessar regiões onde há irregularidades na densidade de plasma ionosférico. O fenômeno de degradação do sinal é comumente chamado de cintilação e o parâmetro mais usual que caracteriza a intensidade das flutuações no sinal é o índice de cintilação  $S_4$  definido em termos da distribuição da intensidade do sinal recebido. Cintilações são mais evidentes em regiões equatoriais e regiões de altas latitudes e se formam logo após o pôr do Sol. Períodos de máximo Solar e tempestades magnéticas são fatores determinantes na formação da instabilidade do plasma ionosférico. Efeitos como a rotação de Faraday, atraso de grupo, dispersão, deslocamento Doppler, refração e absorção, são observados nos sinais GPS que cruzam as irregularidades e podem contribuir para modelar o fenômeno de cintilações. Com o objetivo de estudar este tipo de evento, o Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE - MCT, localizado em São Martinho da Serra – RS, adquiriu, via colaboração entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e a Universidade de Cornell – USA, um conjunto de sistemas receptores GPS projetado para medir cintilações de amplitude do sinal recebido em 1,57542 GHz ( Banda L ). A instrumentação consiste de dois receptores GPS, distanciados de 50 metros e instalados na direção Leste-Oeste, placas de interface Plessey GPS, com capacidade de medir a intensidade dos sinais GPS a uma taxa de 50 amostras/segundo, além de possuir 12 canais, que processam digitalmente os sinais recebidos simultaneamente de até 12 satélites posicionados acima do horizonte com elevação acima de  $10^\circ$ . Os dados são armazenados inicialmente em disco rígido e posteriormente gravados em CD's. Para modelar o fenômeno da cintilação é preciso entender os mecanismos físicos que geram as irregularidades do plasma, portanto o monitoramento deve ser diário para que os eventos de cintilação possam ser posteriormente analisados e correlacionados. Com os modelos obtidos através dos dados coletados, pode-se otimizar a operação dos sistemas de telecomunicações trans-ionosféricos e desta forma evitar “black-outs” nos sistemas que utilizam a radio-propagação como meio de transporte de informações.