

**IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO  
ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA  
REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA**

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

**Gabriel Augusto Giongo**  
(UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica  
CRS/INPE - MCTI  
E-mail: gabrielgiongo@hotmail.com

**Dr. Alexandre Alvares Pimenta**  
(LASER/DAE/CEA/INPE – MCTI, Orientador).  
E-mail: pimenta@laser.inpe.br

**Julho de 2015**



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:**

### **Título:**

## **IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA.**

**Processo: 101763/2015-8**

### **Aluno Bolsista no período de fevereiro/2015 a Julho/2015:**

**Gabriel Augusto Giongo**

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Orientador:**

**Dr. Alexandre Alvares Pimenta.**

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI

### **Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

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

### **Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

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

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

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



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiro aos meus pais Jair Valentin Giongo e Sandra Elisa Pertile Giongo, por estarem sempre ao meu lado me apoiando e me ensinando a ser forte. Agradeço aos meus irmãos Jorge Luiz e Jair Henrique, e a toda minha família por todo apoio, carinho e incentivo que recebo.

Ao Dr. Alexandre Álvares Pimenta, da divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - LASER/DAE/CEA/INPE – MCTI, por sua dedicação e orientação nas minhas atividades de Iniciação Científica.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI, meu Co-orientador e Mentor, por todo apoio, dedicação e orientação que tem me prestado.

Ao meu colega de laboratório por toda sua ajuda e apoio nos meus trabalhos de pesquisas, e amigo Anderson Vestena Bilibio.

Ao grupo de alunos graduandos e pesquisadores do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI. Meus sinceros agradecimentos.

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



Estudante

## Gabriel Augusto Giongo

Endereço para acessar este espelho: [dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/9952700195433077](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/9952700195433077)

### Dados Gerais

Nome em citações bibliográficas: GIONGO, G. A.

Nível de Treinamento

Áreas de atuação:

Bolsista CNPq: • IC

Última atualização do Currículo Lattes: 10/08/2015

Contato:

Homepage:

### Grupos de pesquisa em que atua

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

### Linhas de pesquisa em que atua

Linha de pesquisa	Nome do grupo	Ações
AERONÔMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA	Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites	

### Orientadores participantes de grupos de pesquisa

Orientador	Grupo de pesquisa	Ações
Alexandre Alvares Pimenta	Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites	



## RESUMO

O Relatório expõe as atividades desenvolvidas pelo bolsista Gabriel Augusto Giongo, acadêmico do curso de Física Bacharelado, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Fevereiro de 2015 a Julho de 2015, no Projeto de Pesquisa: **“IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA”**. As atividades desenvolvidas, contaram com a colaboração da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – via Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM – em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTI – via Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI –, em Santa Maria, RS e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS. A partir de dados obtidos através do imageador *all-sky* instalado no OES, na banda de OI630 nm, tem-se estudado o fenômeno das Irregularidades no Plasma Ionosférico. Nestes dados que demonstram esses fenômenos, é que foi encontrado um caso em que a bolha alcançou grandes dimensões, chegando a regiões de media latitude. O trabalho tem como objetivo estudar a extensão latitudinal destas irregularidades.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 LUMINESCENCIA ATMOSFERICA.....</b>	<b>9</b>
<b>3 IONOSFERA .....</b>	<b>11</b>
<b>4 IRREGULARIDADES DE PLASMA DA REGIÃO F DA IONOSFERA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 BOLHAS DE PLASMA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS PROPAGANTES.....</b>	<b>14</b>
<b>5 O IMAGEADOR ALL SKY .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 O SENSOR CCD .....</b>	<b>19</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUÇÕES .....</b>	<b>20</b>
<b>7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>22</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>



## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 2.1: As camadas de emissão de aeroluminescência.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2.1: As camadas de emissão de aeroluminescência.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4.1.1: Representação esquemática da evolução de uma bolha de plasma.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 5.1: Esquematização de um imageador com câmera CCD.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5.2: Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 5.3: Campo de visão do imageador do OES.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6.1: ocorrência e movimentação de uma bolha de plasma.....</b>	<b>21</b>



## **1 INTRODUÇÃO**

A ionosfera é uma parte da atmosfera, situada entre aproximadamente 60 km a 90 km de altura, caracterizada por possuir partículas carregadas, formando um plasma fracamente ionizado. A principal causa desse fenômeno de ionização é a radiação proveniente do sol e de fontes cósmicas, que fazem as partículas interagirem com outras partículas neutras.

É nessa camada da atmosfera que se formam frequentemente as bolhas de plasma, entre outras irregularidades, mas estas são chamadas de irregularidades de grande escala. Elas se formam na região equatorial, mas podem em alguns casos, atingir a região de médias latitudes.

Equipamentos que realizam medidas óticas, como o imageador *all-sky*, instalado no OES/CRS/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,4° S; 53,8° O), é o principal meio de estudo dessas irregularidades ionosféricas. Esse equipamento capta a luminescência atmosférica em varias linhas, mas nosso estudo se detém na banda de OI 630 nm.

## 2 LUMINESCENCIA ATMOSFERICA

A luminescência atmosférica ou aeroluminescência (do inglês *airglow*) é definida como a radiação ótica amorfa, continuamente emitida pela atmosfera de um planeta (*Chamberlain, 1961*). Essa emissão é causada pelas reações químicas dos constituintes atmosféricos, devido à excitação ao absorver a radiação proveniente do sol, ou de outras fontes cósmicas. Esses constituintes, ao relaxarem emitem uma tênue luz, mas de extensa faixa espectral, que denominamos de aeroluminescência.

As camadas de emissão estão principalmente entre 80 km e 400 km de altura. A figura a seguir demonstra as principais camadas, junto com o perfil médio de temperatura da alta atmosfera.

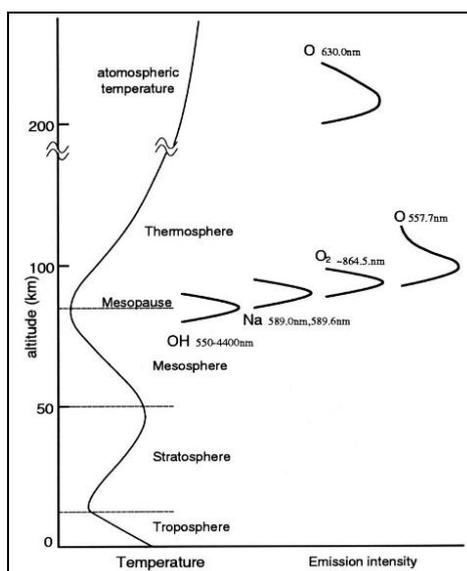


Figura 2.1: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

Fonte: MAEKAWA (2000, p.4).

Através de medidas óticas dessa luminescência, que podemos estudar as irregularidades no plasma ionosférico. Essas medidas são feitas por meio de imageadores óticos *all-sky*.

As emissões noturnas mais estudadas são as da linha de OI 557,7 nm, OI 630 nm e OI 777,4 nm. Nesse Projeto, foi analisada apenas a emissão da banda de OI 630 nm, a linha vermelha de emissão. Esta é a mais utilizada no estudo dos distúrbios no plasma ionosférico.



A linha de emissão OI 630 nm, é gerada abaixo do pico de emissão da camada F, em uma camada localizada entre 240 km e 300 km de altura, tendo esta uma espessura de aproximadamente 50 km.

A intensidade da aeroluminescência nesse comprimento de onda varia conforme a densidade de elétrons ionosféricos. Ela é mais intensa quando a densidade de elétrons é maior, nas ocasiões em que o plasma ionosférico se move para baixo. A intensidade é menos intensa quando o plasma ionosférico move-se para cima, diminuindo a densidade de elétrons ionosféricos.

### 3 IONOSFERA

Região da alta atmosfera caracterizada pela grande quantidade de cargas livres. Nela, ocorrem interações entre átomos e moléculas neutras com radiação ionizante, proveniente de fontes cósmicas, como o sol, principalmente o EUV (Extremo Ultravioleta), e os raios X. Devido a isto, formasse um plasma fracamente ionizado.

A ionosfera subdivide-se em algumas regiões, devido a diferença de constituintes, de absorção da radiação e da densidade eletrônica. As regiões são as seguintes:

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

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

Camada F: engloba regiões F1; F2 e F3.

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

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

A Figura 3.1 apresenta as regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica.

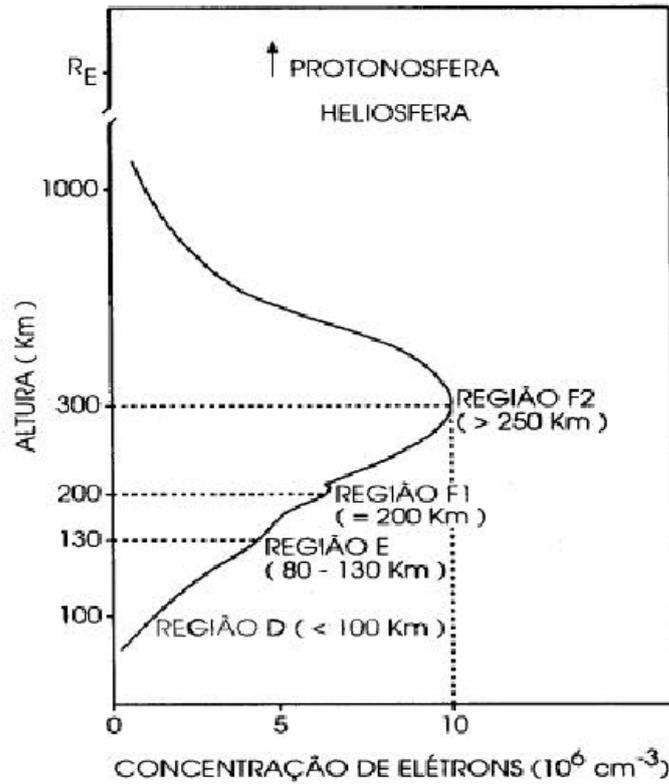


Figura 3.1: Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.  
FONTE: Kirchhoff (1991, p.77)

## **4 IRREGULARIDADES DE PLASMA DA REGIÃO F DA IONOSFERA**

As principais irregularidades no plasma ionosférico da região F da ionosfera são as bolhas de plasma e as perturbações ionosféricas propagantes (do inglês *traveling ionospheric disturbances* - TIDs)

### **4.1 BOLHAS DE PLASMA**

São definidas as bolhas de plasma quando uma região da atmosfera tem sua densidade de plasma acentuadamente reduzida em comparação ao plasma da vizinhança.

As bolhas ionosféricas desenvolvem-se no equador magnético, estendendo-se transequatorialmente ao longo das linhas de força do campo geomagnético. Podem alcançar até em torno de 10.000 km nesta direção e de 100 km a 300 km na direção perpendicular às linhas de campo (Abdu et al., 1991). Sua expansão ocorre ao longo das linhas de campo geomagnético devido a grande mobilidade dos elétrons livres sobre tais linhas.

Elas começam a ser geradas em uma altura de aproximadamente 250 km, estendem-se por todo o campo equatorial, tendo mais intensidade pelo território brasileiro. Não ocorrem durante o dia devido à condutividade iônica gerada pela radiação solar. Sua ocorrência é dependente do ciclo solar, e predomina entre a primavera e o verão, nos meses de setembro a abril. No inverno tem uma frequência mínima de ocorrência.

No território brasileiro, as bolhas de plasma observadas deslocam-se de leste para oeste com velocidade semelhante ao do plasma, esta velocidade pode variar de 100 m/s a 200 m/s antes da meia-noite. Após este horário, decai para aproximadamente 50 m/s.

A Figura 4.1.1 demonstra esquematicamente, a evolução temporal e espacial de uma bolha de plasma.

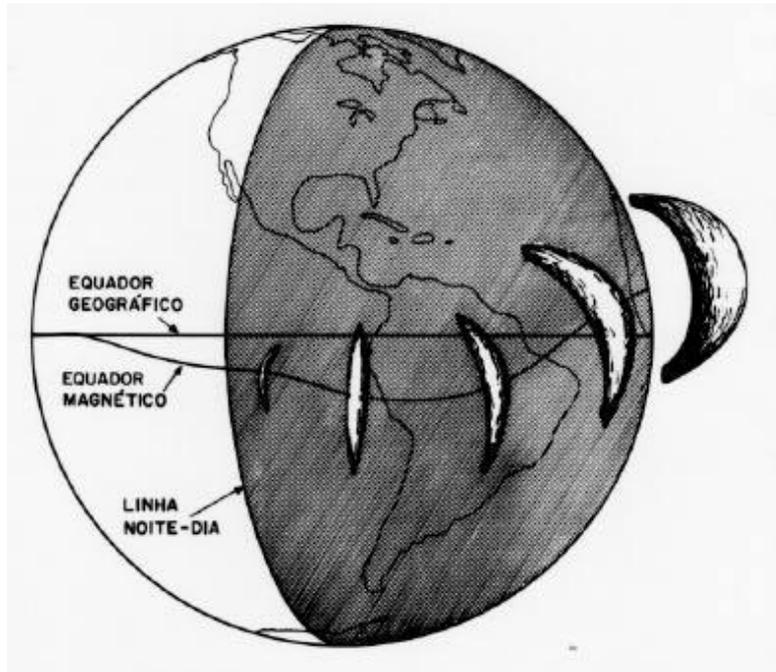


Figura 4.1.1: Representação esquemática da evolução de uma bolha de plasma.  
FONTE: Sobral (1999).

## 4.2 PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS PROPAGANTES

As TID's são estruturas ondulatórias que se propagam pela ionosfera, como flutuações na densidade do plasma. Elas têm um vasto intervalo de velocidades e frequências.

Existem dois tipos de TID's, de acordo com seus períodos:

- *Large scale* TIDs (LSTIDs), com períodos de 30-60 min. até algumas horas e velocidades de propagação maiores que 300 m/s. Se movimentam no sentido polo-equador.
- *Medium scale* TIDs, ou MSTIDs, cujos períodos variam entre de 30-60 min. até algumas horas, possuindo velocidades iguais ou inferiores a 300 m/s (Hocke e Schlegel, 1996). Movimentam-se de sudeste para noroeste no hemisfério sul, e de nordeste para sudoeste no hemisfério norte.

Existem varias formas de detecção das MSTID's, mas as medidas óticas através de imageadores *all-sky* na banda de 630 nm são as mais usadas. As observações óticas com imageadores *All-Sky*, a intensidade da emissão OI 630.0 nm é proporcional à densidade eletrônica na base da camada F e aos movimentos verticais da mesma.



Em suma, as MSTID's se formam em medias latitudes e diferem das bolhas de plasma, pela orientação, e pela direção de propagação. Enquanto as bolhas de plasma se formam no equador, e se orientam com as linhas de campo magnético da Terra.

## **5 O IMAGEADOR *ALL SKY***

De todos os instrumentos usados na aeronomia, para o estudo de distúrbios ionosféricos, o imageador *all-sky* tem se demonstrado um dos mais importantes. Ele é um instrumento ótico de alta definição bastante utilizado para se investigar a morfologia e a dinâmica atmosférica, utilizando a luminescência atmosférica como mecanismo traçador.

O imageador funciona com uma lente *all-sky* na parte superior, cujo ângulo de visão é de 180°, ou seja, ele capta a luz de todo o céu do local onde está instalado. Ele possui vários filtros de interferência que selecionam um determinado comprimento de onda. Esses filtros precisam ser bastante seletivos, pois a intensidade de algumas linhas do espectro é relativamente baixa, como é o caso da emissão OI 630 nm.

O imageador *all-sky* detecta as variações na aeroluminescência, registrando na forma de imagens. Através destas imagens, que podemos estudar variações na atmosfera, e eventuais fenômenos ionosféricos.

Em equipamentos mais antigos, o registro das imagens obtidas era feito em filmes fotográficos. No entanto, com o advento e popularização dos sensores CCD (*Charge Coupled Device*), os dados de imagens são digitais, sendo a câmara convencional substituída por CCDs.

Os imageadores são constituídos por uma lente tipo *All-Sky*, um sistema telecêntrico de lentes, uma roda de filtros de interferência, um sistema de re-imageamento, uma câmara CCD, uma fonte de alimentação e um sistema de refrigeração. O controle de aquisição de dados é feito por um microcomputador. A Figura 5.1 ilustra a configuração de um imageador com sensor CCD.

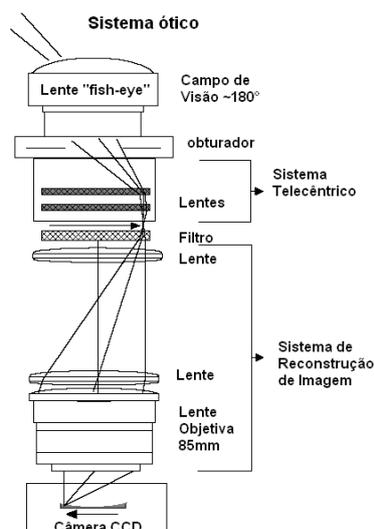


Figura 5.1: Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência. FONTE: Wrasse (2004).

Um imageador multi espectral, possui uma roda de filtros, cada qual monitora uma frequência da luminescência atmosférica, como por exemplo, o OI 630 nm, essa roda gira de acordo com o tempo programado.

A operação ideal do imageador *All-Sky* ocorre em noites claras onde o céu não esteja encoberto e não exista presença relevante de fontes externas de luz, como luzes de cidades ou presença de lua refletindo a luz solar. Por esse motivo, o período de observação se restringe a cerca de treze dias por mês, no período de lua nova.

O imageador “all-sky” do LASER / INPE: instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, foi adquirido com recursos da FAPESP, por meio de um projeto aprovado pelo Dr. Alexandre Álvares Pimenta. Esse imageador trata-se de um imageador monocromático com filtros de 4 polegadas e uma câmera CCD de 2048 x 2048 pixels. A Figura 5.2 a seguir mostra o equipamento instalado em São Martinho e a Figura 5.3 mostra o campo de visão do imageador.

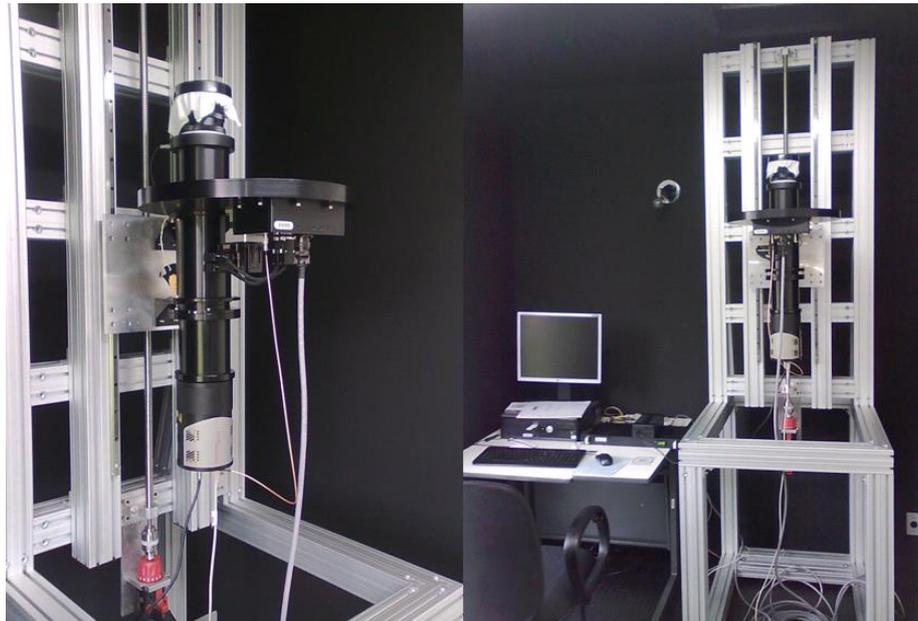


Figura 5.2: Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.

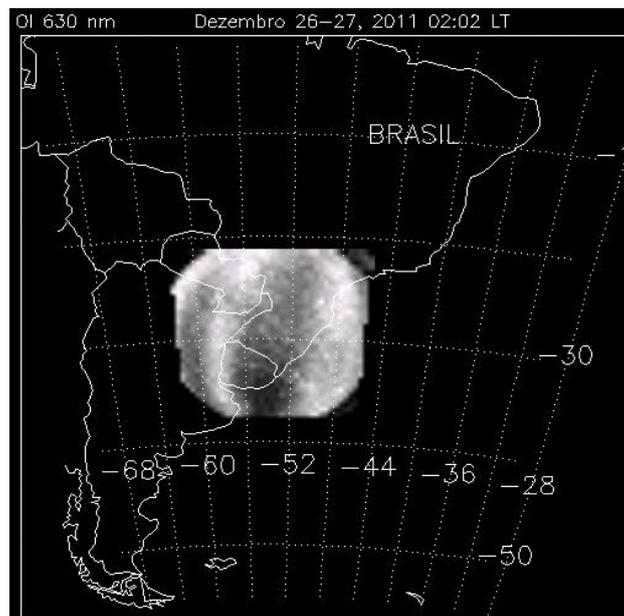


Figura 5.3: Campo de visão do imageador “all-sky” instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS.

Esse imageador possui um sistema ótico formado por lentes que produzem uma imagem telecentrica junto ao plano de interferência dos filtros. Ele opera com seis filtros óticos: o filtro destinado ao *Background Radiation*, o filtro do OI 630 nm, do OI 557,7 nm, do OI 777,7 nm, do sódio em 589 nm e do  $N_2^+$  em 428,7 nm.

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

## **5.1 O SENSOR CCD**

O sensor CCD é um detector sensível à luz, cujo princípio de funcionamento é o efeito fotoelétrico, constituído de um material semicondutor. Ele é dividido em pixels, igualmente espaçado em linhas e colunas. Ao incidirem sobre o sensor, os fótons arrancam elétrons que são lidos na forma de corrente elétrica fora do CCD, ao se medir o número de elétrons, a imagem é formada.

A resolução dos sensores CCD é definida pela quantidade de pixels, o tamanho de cada pixel, a distância entre eles, pelo tempo de exposição e pelo tamanho total do arranjo.

O modelo da câmera CCD que equipa o imageador instalado no OES, em São Martinho, é o PI/Acton Pixis: 2048B. É um sensor do tipo retroiluminado (back-illuminated) com uma grade de 2048X2048 pixels, cada um com dimensão de 13,5 X 13,5  $\mu\text{m}$ . É um equipamento de baixo ruído projetado para aplicações que exigem imagens com grande campo de visão. Seu sistema de refrigeração garante temperaturas abaixo de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sua eficiência quântica elevada e baixo nível de ruído dos componentes eletrônico a tornam ideal para sensoriamento de fenômenos com baixo nível de emissão de luz.



## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Como entrei somente recentemente Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica do CRS/INPE - MCTI tive poucas atividades realizadas. No dia 19 de março realizei uma visita, guiada pelo meu colega Anderson Vestena Bilibio, ao OES/CRS/INPE-MCTI. Onde pude conhecer as dependências do imageador que usamos para o estudo dos distúrbios.

Infelizmente o imageador que tínhamos, não encontrasse disponível no local desde 2013, ele foi transferido para Cachoeira Paulista. Mas mesmo com a falta do principal equipamento, temos uma base considerável de dados.

Aprendi e fiz o uso de programação em IDL, que é a linguagem que usamos para gerar a rotina que passa a sequência de imagens, obtidas pelo imageador all-sky, como um pequeno vídeo. Esta sequência de imagens passando é a forma como observamos a ocorrência dos distúrbios, tanto as bolhas de plasma como as MSTID's.

A seguir na Figura 6.1 temos uma sequência de imagens tiradas do nosso banco de informações, que foram obtidas pelo *all-sky* instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,4° S; 53,8° O), na banda de OI 630 nm.

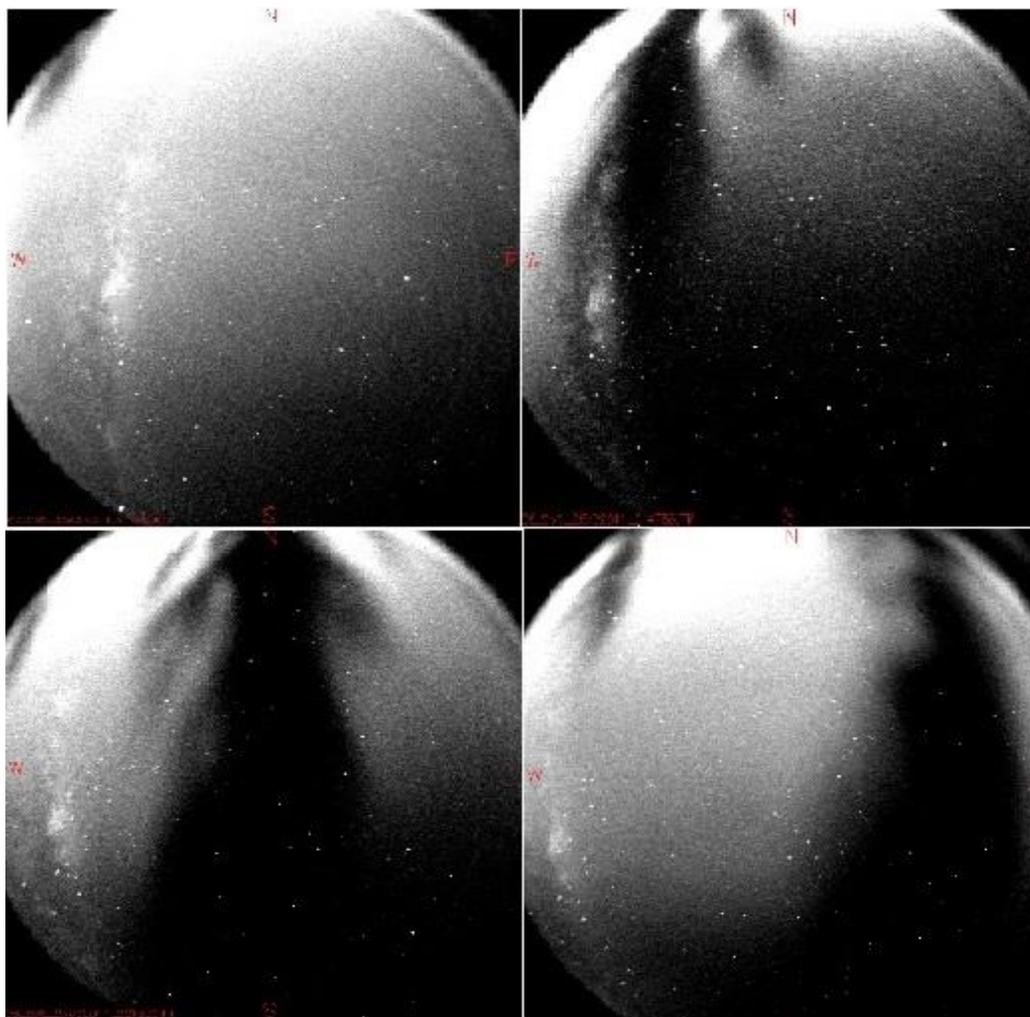


Figura 6.1: ocorrência e movimentação de uma bolha de plasma, cujas dimensões alcançam medias latitudes. Imagem observada na emissão OI 630 nm, obtida com o imageador all-sky, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,4° S; 53,8° O) na noite de 25/09/11.

Essas imagens da Figura 6.1 mostram a ocorrência de uma bolha de plasma, no dia 25 de setembro de 2011, que começou a se formar por volta das 21h00min, prolongando-se até às 22h40min.

A bolha de plasma é a mancha preta na borda superior esquerda da primeira imagem da Figura 6.1. Ela vai se propagando para a direita, enquanto aumenta suas dimensões e a quantidade de ramificações. Uma observação importante é a de que, mesmo as bolhas se formarem na região equatorial do campo magnético, elas podem em alguns casos chegar a regiões de media latitude. Essa sequencia de imagens demonstra esse caso.



## **7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste Relatório Final foi feita uma revisão bibliográfica e conceitual sobre o tema da aeronomia e aeroluminescência, enfatizando os conceitos por trás desta área da geofísica, assim como a instrumentação mais utilizada na observação dos fenômenos ionosféricos.

Vimos e estudamos a ocorrência de uma bolha de plasma, em um caso que suas dimensões foram bem grandes, e suas ramificações chegaram próximas as regiões de medias latitudes.

Percebemos que é necessário aprofundar nosso estudo nessa área, pois vem se descobrindo que as irregularidades que ocorrem na ionosfera causam perturbações nos sinais eletromagnéticos dos sistemas de telecomunicações, como radio e tv, e nos sinais de GPS.

Sendo assim é extremamente necessário que busquemos melhorar nosso conhecimento nessa área, tendo em vista que interfere diretamente no desenvolvimento social, econômico e tecnológico de nossa Sociedade.

Ainda há algumas tarefas a serem concluídas no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica do CRS/INPE - MCTI, tais como: análise e redução de dados, vindos do imageador *all-sky* do OES/CRS/INPE-MCTI; Estudo da bibliografia e revisão da mesma.

Durante as atividades, pude aprender muito sobre os assuntos abordados no texto. Aprofundando meus conhecimentos na área de Geofísica Espacial, tendo a oportunidade de complementar meu curso em Física, com conhecimento aplicado de uma forma prática.



## 8 REFERÊNCIAS

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

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

C. Martinis and M. Mendillo; Equatorial spread F-related airglow depletions at Arecibo and conjugate observations. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, A10310, doi:10.1029/2007JA012403, 2007.

Girardi, T. J. **Estudo da aeroluminescência ionosférica na região da anomalia geomagnética da América do Sul**. 2009. Relatório de projeto (iniciação científica) – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria RS. 2009.

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

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

Bageston, J. V. **Determinação da temperatura da mesosfera superior utilizando espectro - imageador**. 2005. 139p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

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



Sahai, Y.; Fagundes, P.R.; Bittencourt, J.A. Transequatorial F-region ionospheric plasma bubbles: solar cycle effects. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.62, p. 1377-1383, 2000.

Santana, C. D. **Estudos da evolução temporal/espacial das derivas das depleções de plasma ionosféricos, por imagens digitais da aeroluminescência OI 630 nm noturna**. 2001. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

Siqueira J. de. **Desenvolvimento de instrumentação para medidas geomagnéticas de baixo ruído a bordo de satélites científicos – magnetômetro de núcleo saturado**. 2009. Relatório Final de atividade (iniciação científica). - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria RS. 2009.

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

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

Chen F.F., Huddleston R.H. e Leonard S. L., Plasma diagnostic technique, 1965, Academic.

Massi M., Formação e caracterização de plasma-duplo com geração do plasma-fonte por acoplamento indutivo de RF, 1994, Tese de mestrado, ITA, São Paulo.