



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

# Estudo da Luminescência Atmosférica e análise de ondas de gravidade observadas no OES em São Martinho da Serra-RS

Emyli Nothen

Relatório de Iniciação Científica  
do programa PIBIC, orientado pelo  
Dr. José Valentin Bageston

INPE  
Santa Maria  
2021



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

# Estudo da Luminescência Atmosférica e análise de ondas de gravidade observadas no OES em São Martinho da Serra-RS

Emyli Nothen

Relatório de Iniciação Científica  
do programa PIBIC, orientado pelo  
Dr. José Valentin Bageston

INPE

Santa Maria

2021

## I. Agradecimentos

À Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

À minha filha e minha família, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu namorado, sempre por me apoiar e incentivar.

Ao meu professor orientador Dr. José Valentin Bageston pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo.

Também agradeço à Universidade Federal de Santa Maria e aos seus docentes que me incentivaram a percorrer o caminho da pesquisa científica.

## II. RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a análise de dados e o processamento de imagens do imageador *all-sky* de luminescência atmosférica e ondas de gravidade, operado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRCRS/COCRE-INPE em São Martinho da Serra-RS). O sistema consiste em uma lente *fisheye* que é capaz de observar um campo de visão de até 180 °. A metodologia utilizada consiste em revisões bibliográficas de teses, dissertações, resumos, artigos e livros da área em questão (Aeronomia) e o estudo das ondas de gravidade observadas na Mesosfera, com o uso da linguagem de programação em IDL para o processamento de dados e análise das imagens. No entanto, no pré-processamento é feita a seleção das imagens considerando as características físicas, identificando se está utilizável para a análise ou não. Assim, partindo do princípio de que a luminescência é uma luz que é emitida de forma direta ou indiretamente pela radiação solar, continuamente por toda atmosfera terrestre, dia e noite, o imageamento da mesma permite a visualização das ondas de gravidade. Neste trabalho, as ondas observadas foram no período noturno, pois durante o dia a presença da radiação solar torna o espectro de difícil descontaminação da imagem. As ondas de gravidade representam uma das formas de propagação de perturbações oscilatórias, que podem se propagar horizontalmente e verticalmente pela atmosfera. Dessa forma, a geração das ondas é causada por algum mecanismo que perturba uma parcela de ar de seu equilíbrio e a propagação desta perturbação em forma de onda é condicionada pela estabilidade atmosférica. As principais fontes de geração de ondas são fenômenos meteorológicos, como tempestades que causam convecções térmicas. Nas análises dos dados das imagens do OES, são considerados os dias e os horários de ocorrências dessas ondas de gravidade que podem ser divididas em grupos como *ripples* e bandas. Diante disso, o presente trabalho descreve a metodologia empregada para determinar os parâmetros característicos das ondas de gravidade como comprimento de onda, fase, período, velocidade de propagação, direção e sentido das ondas observadas em imagens de aeroluminescência.

### III. ABSTRACT

The objective of this work is the data analysis and image processing of the all-sky imager of atmospheric luminescence and gravity waves, operated at the Southern Space Observatory (OES / CRCRS / COCRE-INPE in São Martinho da Serra- RS). The system consists of a fisheye lens that is capable of observing a field of view of up to 180°. The application includes in bibliographic reviews of theses, dissertations, abstracts, articles and books in the area in question (Aeronomy) and the study of gravity waves observed in the Mesosphere, using the programming language in IDL for data processing and image analysis. However, no pre-processing is done to select the images considering the physical characteristics, identifying if it is usable for analysis or not. Thus, assuming that luminescence is a light that is emitted directly or indirectly by solar radiation, continuously throughout the earth's atmosphere, day and night, its imaging allows the visualization of gravity waves. In this work, the main waves observed were at night, because during the day the presence of solar radiation makes the spectrum difficult to decontaminate the image. Gravity waves represent one of the forms of propagation of oscillatory disturbances, which can propagate horizontally and vertically through the atmosphere. Thus, the generation of waves is caused by some mechanism that disturbs a portion of its balance and the propagation of this disturbance in wave form is conditioned by atmospheric stability. The main sources of wave generation are meteorological phenomena such as storms that cause thermal convection. In the analysis of data from the OES images, the days and times of occurrence of these gravity waves are considered, which can be divided into groups such as: ripples and bands. Therefore, this work tests the methodology used to determine the characteristic parameters of gravity waves such as wavelength, phase, period, propagation speed, direction and direction observed in airglow images.

IV. LISTA DE FIGURAS Pág.

Figura 2.2.2 Gradiente vertical de temperatura .....14

Figura 3.3.4 Exemplo de onda de gravidade do tipo Ripple .....18

Figura 3.3.5 Exemplo de onda de gravidade do tipo escada, Ladder.....18

Figura 4.1.1 Imageador All- sky.....9

## V. LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- IDL - Interactive Data Language
- OES - Observatório Espacial do Sul
- MLT - Mesosphere and Lower Thermosphere
- TFD - Transformada de Fourier Discreta
- OH - Hidroxila

## VI. SUMÁRIO

Pág

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Obejtivo principal.....	3
1.2 Metas e atividades específicas.....	3
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	4
2.1 Camadas da atmosfera.....	4
2.3.1 A aeroluminescência.....	5
3. ONDAS DE GRAVIDADE.....	7
3.1 Ondas na atmosfera terrestre.....	7
3.2.1 Geração e propagação das ondas de gravidade.....	7
3.2.3 Tipos de ondas observadas com imageadores do airglow.....	8
3.4 Os principais tipos de onda observados.....	8
4 Instrumentação e metodologia.....	10
4.2.1 Processamento das imagens.....	10
5 Resultados das análises das ondas de gravidade de pequena escala..	11
6. CONCLUSÃO.....	12
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13

## VII. INTRODUÇÃO

A existência de vida no planeta terra é condicionada devido à ação da gravidade que mantém a atmosfera e as suas camadas em torno da Terra, desempenhando uma função de proteção. Na atmosfera ocorrem fenômenos oscilatórios que se propagam na região e que podem estar associados à diversos campos como temperatura, pressão e vento. Dentre eles estão os governados pela força da gravidade (ondas de gravidade), segundo (PERRET, et al, 2021) a grande maioria dos estudos relacionados às ondas de gravidade estão voltados a identificar o movimento oscilatório ao longo da atmosfera, analisar as características físicas destes eventos e relacionar a influência destes eventos na circulação e estrutura da atmosfera.

Na fluidodinâmica, ondas de gravidade são ondas geradas em um meio fluido ou na interface entre dois meios (por exemplo, entre a atmosfera e o oceano). Elas ocorrem devido à interação de duas forças: o teorema de Arquimedes, que diz que todo corpo que se encontra imerso em um fluido recebe a ação de uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do corpo que está dentro do fluido tendendo a fazer com que a matéria flutue no meio; e a gravidade, que puxa a matéria em direção à superfície. E é isso que acontece na atmosfera, segundo (MCLANDR~ESS, 1998) as ondas transportam energia e momentum de uma região a outra da atmosfera, na direção vertical e horizontal, porém é na direção vertical que o transporte é mais eficiente. É por meio desse transporte vertical de energia que as ondas se tornam um mecanismo de comunicação importante entre as diversas camadas da atmosfera, sendo de importante interesse o transporte de energia da baixa atmosfera para a mesosfera e baixa termosfera.

Particularmente, na região da mesosfera superior e baixa termosfera, conhecida como região MLT, localizada entre 80-100km, encontram-se a maioria das camadas de aeroluminescência, as quais possibilitam o monitoramento de ondas de gravidade, pois atuam como traçadoras do movimento destas ondas que se propagam para a região MLT a partir da baixa atmosfera, onde são provavelmente geradas por efeitos de topografia e convecção. Hines (1960) supôs que os distúrbios associados aos ventos na baixa atmosfera, ou às possíveis instabilidades na média atmosfera, pudessem gerar ondas atmosféricas, que poderiam propagar-se através de toda atmosfera. Dessa forma, para explicar o surgimento de instabilidades na atmosfera, que conduzam a geração das ondas de gravidade, é necessário compreender o processo de estabilidade da atmosfera; Uma das maneiras de caracterizar tais condições pode ser realizada através da distribuição vertical da temperatura atmosférica. Uma camada da atmosfera será estável ou instável dependendo do valor do seu gradiente de temperatura (VIANELLO, 1991). Através das observações da aeroluminescência noturna na região mesosférica é possível investigar as estruturas das ondas de gravidade mais diretamente, de curtos períodos (1 hora) e pequenos comprimentos de onda horizontal (6~100 km) (NAKAMURA., 1999).

Considerando o comprimento de onda horizontal, estas ondas podem ser divididas em dois grupos. O grupo mais relevante, denominado de bandas, aparece como uma série extensiva de ondas quase monocromáticas que exibem comprimentos de onda horizontal de dezenas a centenas de quilômetros, e persistem por períodos de até 8 horas. O segundo grupo de ondas, denominado de ripples, são ondas de pequena escala que se estendem sobre áreas geográficas menores (menores que  $5000 \text{ km}^2$ ) e apresentam períodos menores do que 20 minutos (Taylor, et al. 1997) com comprimento horizontal menor do que 50 km. Essas ondas de pequena escala observadas utilizando imageadores *all-sky*, foram amplamente estudadas nos últimos 20 anos, em termos de seus parâmetros físicos e de suas características morfológicas (WRASSE, 2004; MEDEIROS et al., 2007; BAGESTON, 2009; SUZUKI et al., 2009; TAYLOR et al., 2009).

O Observatório Espacial do Sul (OES-COESU/INPE-MCTI) é um sítio observacional destinado à observações passivas, ou seja, observações com instrumentos que não emitem radiação eletromagnética; e para a identificação das ondas podem ser utilizadas diversas técnicas observacionais diretas, como imageadores, como por exemplo a análise de características físicas que é feita através de cálculos e processamentos nos dados observacionais. Com a identificação e caracterização dos eventos de ondas é possível analisar os parâmetros físicos, e como tais ondas se propagaram até a alta atmosfera. Diante disso, para fazer a análise espectral com o objetivo de se determinar as características das ondas de gravidade que se propagam por esta região. Uma vez determinada esta região aplica-se a TFD ao conjunto de dados obtendo seu espectro de potência. No trabalho de iniciação científica proposto inicialmente seriam analisados e discutidos os parâmetros físicos de ondas de pequena escala, quais as condições atmosféricas que permitem que uma onda se propague pela atmosfera e os tipos de onda observados, mas o presente trabalho focou apenas no estudo teórico da atmosfera terrestre, na instrumentação utilizada e na metodologia, além de dar o início ao processamento das imagens para obter os parâmetros das ondas de gravidade de pequena escala observadas no OES.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1. Objetivo principal

O objetivo principal desse trabalho, de modo mais amplo, é analisar os eventos de ondas de gravidade observados no OES em São Martinho da Serra- RS. E de modo mais específico esse estudo objetiva a caracterização e análise dos parâmetros físicos observados, bem como o processamento das imagens e identificação das ondas de gravidade na região de São Martinho da Serra- RS. Com esses objetivos, o trabalho visa contribuir para um maior conhecimento acerca da dinâmica das condições de propagação das ondas na atmosfera.

## 1.2 Metas e atividades específicas

As metas e atividades específicas que permitiram atingir os objetivos principais consistem em:

- Revisão bibliográfica de teses, dissertações, resumos, artigos e livros da área em questão (Airglow)
- Estudo teórico sobre a atmosfera terrestre e o fenômeno de luminescência atmosférica (airglow)
- Estudo da programação em IDL para o processamento dos dados das imagens das ondas de gravidade
- Análise das ondas de pequena escala observadas sobre o OES, em São Martinho da Serra, RS, para o período de 2017 a 2019.

## 2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

A estrutura térmica da atmosfera, a aeroluminescência bem como as ondas de gravidade são discutidas neste capítulo. Serão mostrados, resumidamente, os aspectos teóricos mais relevantes e necessários ao presente estudo.

### 2.2.1 Camadas da atmosfera

A atmosfera terrestre é um meio fluido constituído por diversos gases, e pode ser dividida em camadas, porém é importante dizer que não existem limites físicos para divisão dessas camadas. Graças à ação da gravidade as partículas que compõe a atmosfera terrestre não se dissipam, permanecendo unidos e a divisão mais comum baseia-se no perfil vertical de temperatura conforme a Figura 2.2.

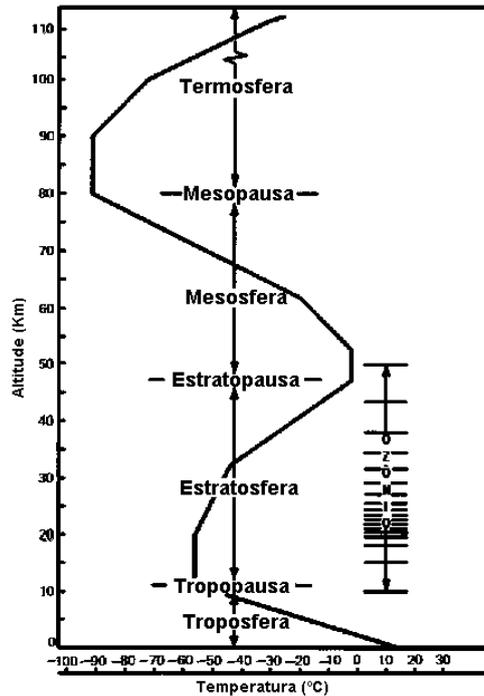
A camada mais próxima da superfície é a troposfera, onde a temperatura decresce com a altitude que se estende a uma altitude média de 12 km (~ 20 km no equador e ~ 8 km nos pólos). Nesta camada a taxa de variação vertical da temperatura tem valor médio de 6,5°C/km. A emissão e absorção de radiação na faixa do infravermelho por moléculas, tais como o vapor d'água e o dióxido de carbono, fornecem um mecanismo de transferência de calor eficiente nesta região (BAGESTON, 2010).

A camada seguinte, é a estratosfera, se estende até ~50 km. Inicialmente, por uns 20 km, a temperatura permanece quase constante e depois cresce até o topo da estratosfera, a estratopausa. As temperaturas mais altas ocorrem na estratosfera porque é nesta camada que o ozônio está concentrado. o ozônio absorve radiação ultravioleta do sol. E então, conseqüentemente, a estratosfera é aquecida.

Na camada acima da estratosfera, encontra-se a mesosfera a temperatura da mesosfera apresenta queda à medida que a altitude aumenta, possuindo gradiente vertical de temperatura positivo. Quanto mais se eleva a altitude, mais o ar torna-se rarefeito, e é nessa camada que ocorrem as emissões de aeroluminescência. A termosfera é também chamada de ionosfera. Esse nome é dado porque nessa camada concentra-se uma grande quantidade de íons (partículas carregadas de eletricidade). Diferente do que acontece na mesosfera, a temperatura na termosfera volta a elevar-se à medida que há aumento da altitude, podendo chegar a 1500° C em seu limite superior.

Essa camada representa apenas 1% da atmosfera e atua na retenção da radiação solar. É nela também que ocorre o fenômeno conhecido como aurora boreal. A Figura 2.2 representa o perfil vertical de temperatura, demonstrando como a temperatura se comporta conforme a altitude.

Figura 2.2.2 Gradiente vertical de temperatura.



Fonte: BRIEN, J.O et al (1963)

### 2.3.1 AEROLUMINESCÊNCIA

A luminescência é o brilho natural da atmosfera terrestre que é emitida pelos componentes da atmosfera presentes principalmente entre 80 e 400 km de altitude, na mesosfera superior e baixa termosfera. Após a excitação destes pela forma direta radiação solar ou mesmo indiretamente pelas reações fotoquímicas e iônicas. É definida como uma radiação amorfa, continuamente emitida pela atmosfera de um planeta (CHAMBERLAIN, 1961). Ao ocorrer o processo de relaxação energética, os constituintes excitados emitem uma radiação tênue e de extensa faixa espectral, que vai do ultravioleta ( $\lambda \sim 250 \text{ nm}$ ) ao infravermelho ( $\lambda \sim 4 \mu\text{m}$ ). Uma das características da aeroluminescência é que a sua emissão ocorre o tempo todo, mas é durante a noite que as suas emissões podem ser bem definidas e captadas por sensores ópticos, e diversos fenômenos podem ser estudados com essa radiação luminosa.

Porém, os produtos da reação são encontrados preferencialmente nos níveis vibracionais  $n = 7, 8, 9$  e existe a incerteza de como os níveis vibracionais mais baixos, que são responsáveis pela maior parte da emissão das bandas de Meinel, tornam-se ocupados (McDADE et al., 1987). A utilização de medidas noturnas da aeroluminescência é a mais usada, pois a presença da radiação solar torna o espectro complexo e com uma elevada intensidade de ruído. Para especificar a quantidade luminosa de luminescência, utiliza-se a unidade Rayleigh (R). Um Rayleigh corresponde à intensidade de uma fonte isotrópica (substância que possui as mesmas propriedades físicas) de radiação que emite  $10^6$  fótons por centímetro quadrado de coluna de ar por segundo (SARZI, 2008).

Além disso, a luminescência é um ótimo meio traçador de ondas de gravidade, ela permite observar através das perturbações que essas ondas causam na intensidade do brilho das emissões, o monitoramento é feito através de imageadores em solo, como foi utilizado no presente trabalho. A camada de emissão da aeroluminescência do OH está localizada na região da mesosfera, com um pico de emissão em torno de 87 km, as observações da aeroluminescência mesosférica fornecem informações sobre os processos dinâmicos e fotoquímicos da mesosfera superior. A aeroluminescência das emissões de OH tem sido usada há pelo menos três décadas para inferir o movimento de ondas de gravidade e marés atmosféricas que se propagam na região da alta atmosfera (WRASSE, 2007).

Os principais constituintes atmosféricos (átomos e molécula) responsáveis pelas emissões da aeroluminescência são oxigênio atômico (OI) e molecular ( $O_2$ ), a hidroxila (OH) e o átomo de sódio (Na). A luminescência é praticamente dominada pelas emissões do OH. Cada comprimento de onda tem uma cor específica dão a ideia do tipo de átomos ou molécula responsável por essa emissão.

Neste trabalho, são utilizadas as imagens captadas à noite, pois a presença da radiação solar durante o dia torna o espectro complexo e com uma taxa de ruído significativa. Para tornar-se possível o processo de detecção da luminescência, utiliza-se um imageadores de luminescência do tipo all-sky (que observa o céu como um todo). Para esse trabalho está sendo utilizado um imageador instalado no Observatório Espacial do Sul (OES), em São Martinho da Serra – RS, que faz parte da Coordenação Espacial do Sul (COESU) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

### 3. ONDAS DE GRAVIDADE

#### 3.1 ONDAS NA ATMOSFERA TERRESTRE

A atmosfera terrestre, como resultado da força gravitacional, é um meio fluido, e por consequência disso possui a habilidade de suportar e propagar movimentos de ondas. Segundo (FRITTS e ALEXANDER, 2003). Nos últimos anos as ondas de gravidade atmosféricas constituem uma área de grande atividade de pesquisas, devido aos efeitos destas ondas na circulação, estrutura e variabilidade

As ondas de gravidade atmosféricas tomam forma a partir do empurrão e da tração entre a gravidade e a flutuabilidade; quando o ar é perturbado, a gravidade puxa o ar para baixo e a flutuabilidade do ar a empurra de volta. Dessa forma, a condição e movimento da onda é a condição de estabilidade da atmosfera, podendo também ser chamada de condição de flutuabilidade. Essas ondas, podem transferir energia e momentum de uma região pra outra da atmosfera, tais como turbulência, mistura de constituintes, aceleração do fluxo médio de ventos e geração de instabilidades dinâmicas, bem como alterações na temperatura da mesopausa e no fluxo do vento médio (BEER, 1974; MURAYAMA et al., 1992)

De acordo com suas características, as ondas de gravidade podem ser classificadas como propagantes ou evanescentes. As ondas propagantes são caracterizadas por propagarem-se tanto na horizontal quanto na vertical, enquanto que a principal característica das ondas evanescentes é que estas ondas não se propagam verticalmente, mas apenas horizontalmente. Ondas que se propagam verticalmente incluem as ondas internas de gravidade, que ao se propagarem na vertical de modo ascendente aumentam a amplitude de oscilação devido ao decréscimo de densidade da atmosfera com o aumento da altura. Não havendo dissipação de energia, a amplitude da onda torna-se tão grande, que esta pode sofrer um processo de quebra e transferir momentum e energia para o meio, acelerando ou desacelerando o fluxo básico e provocando turbulência (WRASSE, 2004).

##### 3.2.1 GERAÇÃO E PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE GRAVIDADE

De forma geral, as ondas são geradas por perturbações verticais que são capazes de induzir um movimento vertical, mas que numa atmosfera estável resiste ao movimento criando oscilações que se propagam pelas regiões estáveis. No entanto, as ondas se formam na presença de um distúrbio na estabilidade e sua propagação é permitida pela estabilidade atmosférica. (WRASSE, 2004). As ondas de gravidade depositam parte de sua energia no vento médio, ao se propagarem verticalmente, e depositam toda sua energia ao se quebrarem (BEER, 1974), e isso ocorre como por exemplo, quando as ondas atingem um nível crítico.

Ao considerar que os ventos na atmosfera variam em função da altura, uma onda de gravidade propagante pode encontrar uma região onde o vento médio de fundo apresenta a mesma velocidade de fase da onda ( $\bar{u} = c$ ). A região onde isto ocorre é denominada de nível crítico. Quando uma onda se aproxima de um nível crítico ( $zc$ ) a frequência intrínseca da onda tende a zero ( $\hat{\omega} \rightarrow 0$ ) e por consequência, o número de onda vertical tende a infinito ( $m \rightarrow \infty$ ). Caso o tempo necessário para a onda atingir o nível crítico for muito grande ( $t \rightarrow \infty$ ), a onda será absorvida no nível crítico, em vez de ser refletida ou transmitida.

Os níveis críticos podem ocorrer tanto na baixa atmosfera, devido as correntes de jato, quanto na alta atmosfera, os quais exercem um importante efeito sobre o espectro das ondas de gravidade. Estes níveis críticos filtram as ondas com comprimentos de onda horizontal pequeno, pois essas ondas apresentam uma baixa velocidade de fase vertical (BEER, 1974).

### 3.2.3 TIPOS DE ONDAS DE GRAVIDADE OBSERVADAS COM IMAGEADORES DO AIRGLOW

No presente estudo, partir das observações de aeroluminescência é possível investigar os tipos de estruturas das ondas de gravidade. Essas ondas, em geral, são observadas na mesosfera (80-100km) por meio das emissões seguintes emissões: OH NIR; OI 557,7 nm: Na (<sup>2</sup>P) e O<sub>2</sub> (0-1) (BAGESTON, 2010). Os imageadores de airglow são mais adequados para analisar as ondas de gravidade com curtos períodos (< 1 hora), e com pequenos comprimentos de onda horizontal (< 100km) (BAGESTON, 2010).

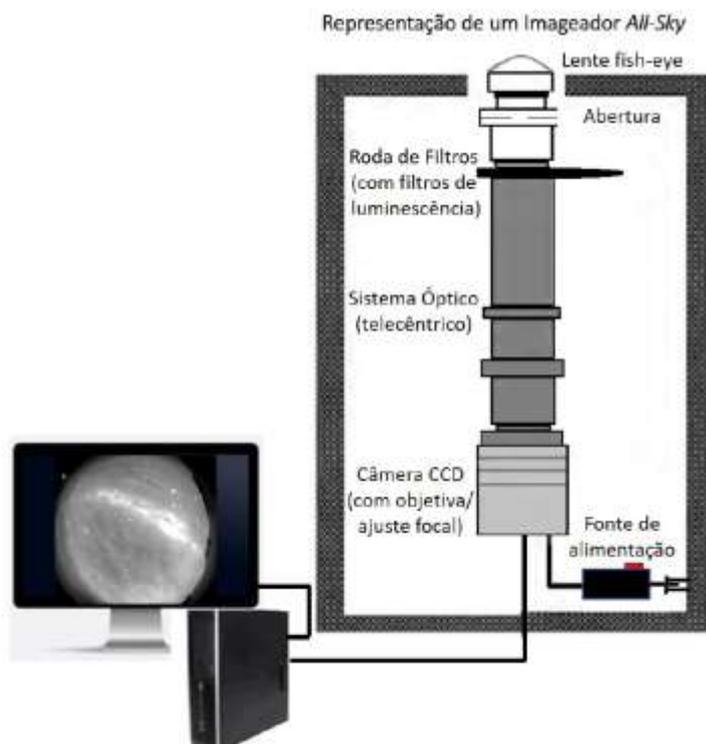
3.2.4 Os principais tipos de ondas de gravidade observados com imageadores são (BAGESTON, 2010).

- a) Bandas - usualmente aparecem como uma série extensiva de ondas quase-monocromáticas, que exibem comprimentos de onda horizontal de dezenas a centenas de quilômetros, e persistem por várias horas;
- b) Ripples - muito menores do que as bandas, se estendem sobre áreas geográficas, tipicamente menores do que 5000 km<sup>2</sup>, persistindo nas imagens por alguns minutos, em geral menor do que 45 minutos;
- c) Ladders - apresentam um padrão com característica transitória, numa forma de "escada", e com grande amplitude;
- d) Frentes mesosféricas - apresentam uma extensa, e bem definida, frente de onda que cobre grande parte da imagem, além de possuir uma alta velocidade de fase, e ao longo de sua propagação são adicionadas cristas de onda atrás da frente principal (trem de ondas).

## 4.1 INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA

As camadas de emissão da aeroluminescência exibem consideráveis flutuações espaciais e temporais que são atribuídas à passagem de ondas de gravidade. Vários instrumentos têm sido utilizados nas últimas décadas para investigar este fenômeno, dentre eles destacam-se os fotômetros, interferômetros, espectrômetros e mais recentemente imageadores (GARCIA et al., 1997). A observação da aeroluminescência noturna na região da mesosfera, através de imageadores, tem sido empregada para investigar as estruturas de ondas de gravidade. Com estas imagens é possível caracterizar parâmetros importantes sobre estas ondas, tais como, comprimento de onda, período, direção e velocidade de propagação. O principal instrumento realizado neste trabalho foi o imageador all-sky, acoplado a um sistema óptico e lente *fish-eye* e com um CCD (dispositivo de carga acoplada) e um filtro. O CCD é um dispositivo semi-condutor, quanto maior o número de pixels maior a área que pode ser imageada, quanto menor o tamanho dos pixels maior a resolução da imagem. O sistema de uma lente *fish-eye* é capaz de observar um campo de visão de quase 180°, obtendo uma imagem quase completa do céu local.

Figura.4.1 Diagrama representativo do sistema óptico utilizado para medir as emissões da aeroluminescência.



#### 4.2.1 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

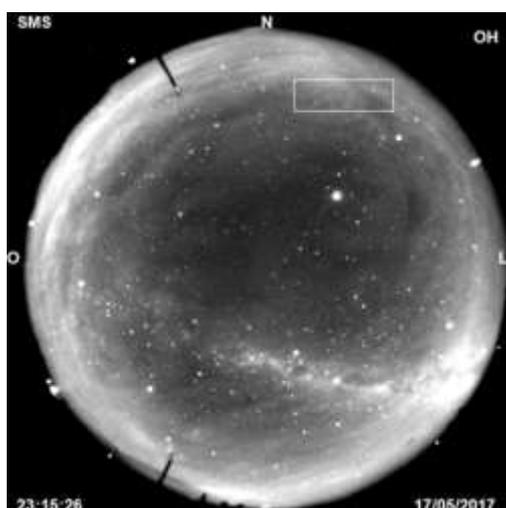
O processamento das imagens é feito no IDL, após selecionar o programa com as imagens e os dados é feita a observação dos dias que se tem eventos de onda. Após a identificação dos eventos de onda e o pré-processamento, aplica-se a análise espectral a uma sequência de imagens previamente selecionadas. A análise espectral empregada consiste na aplicação da transformada de Fourier discreta ao conjunto de imagens. O que permite extrair a direção de propagação da onda e as características de comprimento de onda horizontal, período e velocidade de fase.

#### 5. RESULTADO DAS ANÁLISES DAS ONDAS DE GRAVIDADE DE PEQUENA ESCALA

Nesta seção será apresentado os resultados referentes às análises preliminares das imagens de onda de gravidade observadas no OES em São Martinho da Serra, durante o ano de 2017, Foram observados três meses de abril à junho no período de 2017, sendo só 29 dias úteis para análise de eventos de ondas.

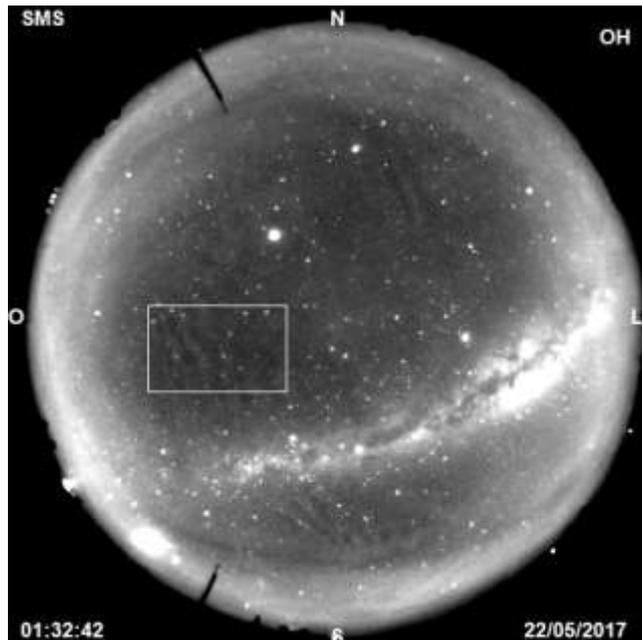
A Figura 5.1 apresenta uma imagem da camada de emissão da aeroluminescência, obtida em São Martinha da Serra, na noite de 17 de maio de 2017 às 23:00 hora local. A imagem original, 5.1, apresenta uma onda de gravidade do tipo Ripple propagando-se na direção leste rapidamente e permanecendo durante mais ou menos 15 minutos., Os parâmetros físicos obtidos deste evento de onda consistem em: comprimento de onda: 0,35 km, período de 5,9 minutos e velocidade de fase de 43,6 m/s.

Figura 5.1 Onda de gravidade do tipo Ripple, dentro da pequena caixa horizontal, observada no Observatório Espacial do Sul (OES), em São Martinho da Serra (SMS), com o filtro para a hidroxila, na data de 17 de maio de 2017 às 23:15 UT.



Na Figura 5.2, durante a noite de 22 de maio de 2017, foram observados eventos de onda de gravidade do tipo banda e ripples. A banda, marcada com a caixa de contorno branco, estava se propagando para sudoeste, de forma lenta e permanecendo visível durante um período de  $\pm 1$  hora. Os parâmetros físicos desta onda foram: comprimento de onda de 15,4km, período de 5,9 minutos e velocidade de fase de 43,6 m/s.

Figura 5.2 Onda de gravidade do tipo banda identificada no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra-RS, na noite de 21 para 22 de maio de 2017.



Além desses resultados iniciais de análise de dados, sendo que vários outros eventos foram analisados, mas os resultados principais desse período de bolsa foram os conhecimentos adquiridos, tanto do ponto de vista teórico, quanto metodológico e prático. Deve-se observar que a bolsista teve apenas um período de 3 meses para se dedicar ao atual projeto, que inicialmente tinha uma duração de 1 ano, por motivos particulares de uma outra bolsista o atual projeto ficou com a atual bolsista.

## 6. CONCLUSÃO

A aluna desenvolveu, durante seu projeto de iniciação científica, estudos teóricos a respeito da física da média e alta atmosfera e das ondas de gravidade atmosféricas. Considerando que a bolsista enquadrava-se como aluna suplente e formalmente atua no projeto a três meses, o trabalho foi restringido à revisões bibliográficas e ao início das análises das ondas de gravidade observadas no sítio de São Martinho da Serra, RS, especificamente no Observatório Espacial do Sul (OES/COESU/INPE-MCTI). Em breve a bolsista irá finalizar as análises estatísticas dos dados obtidos, e dará sequência ao processamento de imagem e análise espectral dos eventos de ondas identificados durante nos anos de 2017 a 2019.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGESTON, J. V. Caracterização de ondas de gravidade mesosférica na Estação Antártica Comandante Ferraz. 176 p. (INPE-16660-TDI/1618). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009-12-16 2010
- WRASSE, C. M. Estudos de geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas. Tese (Doutorado em Geofísica) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-12249-TDI/978), 2004.
- GIONGO, G. A Estudo da propagação vertical das ondas de gravidade de pequena escala observadas na estação antártica comandante ferraz nos anos de 2015 a 2017. Santa Maria, RS. 2020. Universidade Federal de Santa Maria.
- SARZI, M.C Estudo da variabilidade da aeroluminescência na alta atmosfera terrestre. (Trabalho de graduação em física) Santa Maria, 2008.
- BISMARCK A. N. K. Observação da maré lunar nas medidas de luminescência atmosférica equatorial por fotômetro multicanal.
- JAIR. S. P. A. Caracterização do movimento vertical de ondas de gravidade através de dados de radar meteorológico e imageador de aeroluminescência. Campina Grande- PB 2007
- HINES, C. O. The Upper Atmosphere in Motion. Washington: American Geophysical Union, 1974.
- BEER, T. Atmospheric waves. New York: Halsted Press; London: Adam Hilger., 1974.
- TAYLOR, M. J. et al. Characteristics of mesospheric gravity waves near the magnetic equator, Brazil, during the SpreadFEx campaign. *Annales Geophysicae*, v. 27, n. 2, p. 461–472, 2009.

