



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



ESTUDO DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA E ANÁLISE DE ONDAS DE GRAVIDADE OBSERVADAS NO OES EM SÃO MARTINHO DA SERRA-RS

Andressa Gularte Flores Machado Paines

Relatório final bolsa de iniciação
científica, orientada pelo Dr. José
Valentin Bageston.

INPE
Santa Maria - RS
2022

RESUMO

Este projeto tem como objetivo desenvolver o estudo teórico sobre a atmosfera terrestre e aprofundar-se nos estudos do fenômeno de luminescência atmosférica e suas aplicações para o monitoramento e estudo da dinâmica da alta atmosfera terrestre. A partir dos conhecimentos adquiridos na etapa de revisão bibliográfica, com a leitura de livros e dissertações sobre o fenômeno, a progressão do estudo parte para a análise das ondas de gravidade, suas origens na baixa e média atmosfera e seus impactos na alta atmosfera, incluindo a região ionizada da atmosfera terrestre. Na etapa de análise, se fez necessária a aplicação de técnicas de programação, e nesse caso a linguagem IDL (Interactive Data Language) para realizar o tratamento dos dados das imagens de luminescência obtidas a partir do imageador all-sky operado no Observatório Espacial do Sul (OES/INPE), localizado em São Martinho da Serra-RS para a linearização destas imagens de aeroluminescência. Os dados utilizados foram coletados entre 2017 e 2018. Nesse trabalho será apresentada uma revisão teórica do tema estudado, exemplos de dados coletados, a metodologia de análise, incluindo o processo de linearização das imagens, e exemplos de resultados obtidos.

Palavras-chave: Aeronomy. Atmospheric luminescence. Gravity waves.

ABSTRACT

This project aims to develop the theoretical study of the Earth's atmosphere and to deepen the study of the atmospheric luminescence phenomenon and its applications for monitoring and studying the dynamics of the Earth's upper atmosphere. From the knowledge acquired in the literature review stage, with the reading of books and dissertations about the phenomenon, the progression of the study starts for the analysis of gravity waves, their origins in the low and middle atmosphere and their impacts in the high atmosphere, including the ionized region of the Earth's atmosphere. In the analysis stage, it was necessary to apply programming techniques, and in this case the IDL language (Interactive Data Language) to perform the data processing of the luminescence images obtained from the all-sky imager operated at the Southern Space Observatory (OES/INPE), located in São Martinho da Serra-RS for the linearization of these aeroluminescence images. The data used were collected between 2017 and 2018. In this work, a theoretical review of the studied theme, examples of collected data, the analysis methodology, including the process of linearization of the images, and examples of obtained results will be presented.

Keywords: Aeronomy. Atmospheric luminescence. Gravity waves.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 Estudo da atmosfera e interação das ondas de gravidade.....	2
3 A Luminescência Atmosférica: OH e as Bandas de Meinel.....	3
4 SÍTIO DE OBSERVAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO.....	4
5 CONCLUSÃO.....	5

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre é formada por diversas camadas, cada qual com suas características e aplicações em diversos campos de estudo da ciência. Neste projeto vamos abordar em específico a mesosfera e a ionosfera da Terra.

- 1. Mesosfera:** Localizada entre a termosfera e a estratosfera a partir de 80 km de altura, com relação ao nível do mar, e uma espessura de aproximadamente 35km é considerada a camada mais fria de nossa atmosfera. Sua temperatura média varia entre -10 a -100°C e é uma região de difícil acesso e exploração, sua localização não permite que balões meteorológicos e aviões alcancem e também impossibilita que satélites permaneçam em órbita por conta da baixa altitude. Por ser uma região de baixa densidade, o ar rarefeito possibilita a maior incidência de radiação oriunda de nosso sol.
- 2. Ionosfera:** Parte da parcela superior da mesosfera, a ionosfera é uma região de alto índice energético com muitas propriedades e aplicações diversas em nossa contemporaneidade nas pesquisas científicas de campo tecnológico. Por ser uma área situada entre 100 e 1000 km, aproximadamente, os gases que a formam acabam por se tornarem pouco densos, permitindo que a radiação se torne extrema nessa região, fazendo com que ocorra a ionização dos átomos e formando uma camada de elétrons. Isso possibilita, por exemplo, o funcionamento de tecnologias como o GPS e a propagação de ondas de rádio. A ionosfera não representa uma camada imutável, mas exatamente o oposto disso, por conta da grande ocorrência de radiação a sua forma carece de estabilidade, então certas áreas podem encolher ou se expandir dependendo de seu teor energético. Devido a isso não existem dados concretos sobre sua espessura, pois a mesma tem uma grande variabilidade.

2 ESTUDO DA ATMOSFERA E INTERAÇÃO DAS ONDAS DE GRAVIDADE

Quando observamos as interações energéticas que ocorrem na ionosfera terrestre, alguns fenômenos tornam-se mais discrepantes dentro desse ambiente de alto teor energético. Um desses fenômenos é a propagação de ondas de gravidade.

As ondas de gravidade, são um evento que nada tem em comum com as ondas gravitacionais, devemos tratar ambos de forma distinta, pois, enquanto as ondas gravitacionais dizem respeito a ondulações na curvatura do espaço-tempo causadas por eventos supermassivos de grande impacto cósmico, como a implosão ou explosão de estrelas ou colisões de grandes corpos celestes, como por exemplo as galáxias, previstas por Einstein em 1916 e somente observadas em meados de 2015, as ondas de gravidade tem uma natureza mais simples. Ondas de gravidade nada mais são do que a interação das forças de empuxo e da gravidade sobre um meio fluido. Podem ser observadas tanto em líquidos quanto em gases e sua ocorrência dependerá da estabilidade conectiva deste meio. Quando abordamos desta forma, podemos nos referir a estas ondas como ondas de flutuabilidade ou também *Bouancy Waves*, para melhor interpretação. Podem ser explicadas pelo princípio de conservação de energia e dinâmica dos fluidos. A propagação destas ondas através da matéria depende muito da estabilidade do meio e da diferença de densidades nas regiões do fluido afetado por elas.

As ondas de flutuabilidade são conhecidas como ondas de gravidade apenas devido a equação que as define. Quando se calcula a força resultante que está agindo em uma determinada parcela de um fluido, neste caso o ar, a aceleração da gravidade é priorizada.

3 A LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA: OH E AS BANDAS DE MEINEL

A aeroluminescência ou *Air Glow*, é outro fenômeno observável em camadas energéticas de nossa atmosfera. Trata-se da luminosidade do céu noturno, sua observação só é possível devido a algumas condições, como a ausência de luz da lua no céu noturno e a utilização de captura de longa exposição. Estas condições são necessárias por seu brilho ser bastante sutil apesar de presente em todo globo. Não podemos confundir a luminescência atmosférica com as auroras polares, pois estas ocorrem com determinada frequência e somente nos polos, seu brilho é muito mais visível a olho nu e sua origem é devido a incidência de radiação oriunda de ventos solares que entram em contato com nosso campo magnético, estas partículas altamente energéticas causam perturbações que são facilmente observadas sem instrumentação, as mais conhecidas são as auroras boreais, que ocorrem no céu do polo norte terrestre.

Quando nos referimos a aeroluminescência, estamos falando de um evento que começou a ser catalogado e estudado a partir de 1909, quando diferenciado das auroras polares por Rayleight em 1930. Sua ocorrência é devido a emissão de fótons por átomos excitados presentes na ionosfera, esses fótons fazem parte de linhas de emissão que vão do ultravioleta ao infravermelho. Neste trabalho serão abordadas as linhas de emissão da hidroxila.

A análise espectral do *airglow* pode ser feita a partir de diversas partículas abundantes na atmosfera, porém algumas destas linhas espectrais são de maior importância, como por exemplo as linhas de emissão do oxigênio atômico, as do duplete de sódio e as do radical hidroxila, o OH, também chamadas de Bandas de Meinel. Seu comprimento de onda tende para o espectro do infravermelho, e então entre 6600 a 9000 Å (unidade de comprimento de onda).

As emissões da hidroxila são utilizadas para a pesquisa e observação da propagação de ondas de gravidade e marés propagadas na alta atmosfera, estas ondas observadas são verticalmente transversais e de pequena oscilação em períodos de 5 min a 12 horas.

4 SÍTIO DE OBSERVAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

Neste trabalho foram utilizados dados provenientes do Observatório Espacial do Sul (OES) localizado em São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul. Lá se encontra o imageador de baixo custo, *AllSky*.

O imageador *AllSky* foi utilizado para a detecção de luminescência atmosférica no céu noturno. O instrumento conta com uma lente tipo “olho de peixe”, uma roda de filtros de luminescência, sistema óptico telecêntrico e uma lente objetiva com ajuste focal acoplada a uma câmera CCD.

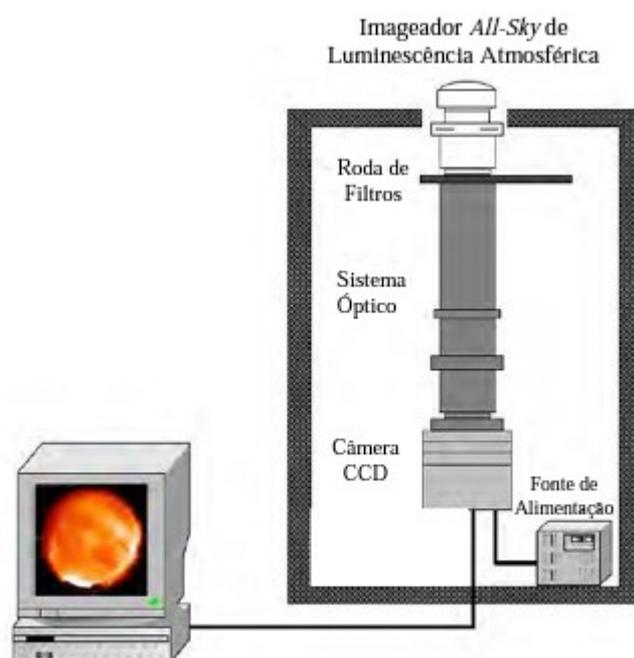


Figura 1: Esquema de um imageador utilizado para medir as emissões da luminescência atmosférica noturna
Fonte: Adaptado de Wrasse (2004).

A partir da obtenção destas imagens é feito o processamento destes dados, no caso deste projeto os dados de processamento são extraídos via aplicação de rotinas presentes no projeto criado em IDL (*Interactive Data Language*) que utiliza a transformada de Fourier para a linearização destas imagens de *airglow*.

```

;      Modified by: C. M. Wrasse (LUME/INPE), Feb, 2005
;-----
;-----
pro read_image, fname, img_orig, x_size, y_size, data, hora, exposer, temp_CCD

  if N_params() lt 1 then begin
    print, 'Incorrect number of arguments'
    print, 'Enter the correct number of arguments:'
    print, 'fname'
    return
  end

  FITS_READ, fname, image, header

  xysize = sxpar(header, 'NAXIS*')

  data=sxpar(header, 'DATE-OBS')
  hora=sxpar(header, 'TIME-OBS')
  exposer=sxpar(header, 'EXPOSURE')
  temp_CCD=sxpar(header, 'TEMPERAT')
  x_size=xysize(0)
  y_size=xysize(1)
  img_orig =uintarr(x_size,y_size)
  img_orig=image

end

```

Figura 2: Exemplo de rotina em IDL utilizada para leitura das imagens oriundas do imageador.

5 CONCLUSÃO

Durante os estudos para embasamento teórico, foi possibilitada a maior compreensão dos fenômenos de luminescência atmosférica e de ondas de gravidade, assim como a experiência no ambiente de programação em IDL, proporcionando uma aprendizagem mais completa e robusta dos temas abordados no desenvolvimento. Pode-se observar a diferença entre estes fenômenos e suas páreas com nomenclatura ou algumas características semelhantes, porém com origens e natureza física que destoam completamente entre si. Para a aquisição destes conhecimentos foi necessária a revisão de diversos artigos virtuais, materiais de dissertação e livros que abordam a complexidade da atmosfera terrestre e os eventos que nela se podem observar. Creio que um estudo mais aprofundado nas questões físicas e matemáticas envolvendo dinâmica de fluidos e ondulatória será um fator determinante para uma maior compreensão do material que foi estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SHUNK, R.W., NAGY, A. F. **IONOSPHERES: Physics, Plasma Physics and Chemistry**. 1º Edição. Cambridge, United Kingdom: Press syndicate of the University of Cambridge, 2000;

SOBRAL, J. H. A. **EXPERIMENTOS IONOSFÉRICOS E DA ALTA ATMOSFERA UTILIZANDO FOGUETES**. 1º Edição. São José dos Campos, São Paulo: Editora gráfica Carimbex, 1997;

BAGESTON, José. **Determinação da temperatura da mesosfera superior utilizando um espectro-imageador**. São Paulo: São José dos Campos, 2006;

GIONGO, Gabriel. **Estudo da propagação vertical das ondas de gravidade de pequena escala observadas na estação antártica Comandante Ferraz nos anos de 2015 a 2017**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2020;

MACHADO, Cristiano. **Estudo da variabilidade da aeroluminescência noturna na alta atmosfera terrestre**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2008;