



PRPG | Pró-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2008

ESTUDO DE ONDAS DE GRAVIDADE E TRATAMENTO DE IMAGENS OBTIDAS POR IMAGEADOR ALL-SKY

Jamerson Rodrigues¹, Amauri Fragoso de Medeiros²

RESUMO

As camadas de emissão de aeroluminescência são muito importantes no estudo da mesosfera, pois elas são utilizadas para monitorar a temperatura e a atividade ondulatória, entre outros fenômenos, nesta região. O principal objetivo deste trabalho é analisar ondas de gravidade observadas através de um imageador "All-Sky". Além disso, realizamos um estudo sobre o tratamento das imagens coletadas, fazendo uso também de uma linguagem de programação utilizada na redução dos dados. O tratamento das imagens nesse trabalho é de vital importância para a determinação dos parâmetros das ondas de gravidade tais como comprimento de onda horizontal, velocidade de fase, período e direção de propagação.

Palavras-chave: aeroluminescência, imageadores "All-Sky", ondas de gravidade.

STUDY OF GRAVITY WAVES AND PROCESSING DATA OBTAINED FROM ALL-SKY IMAGER

ABSTRACT

The airglow layers are very important to the mesosphere study, since they are used to monitor the temperature and wave activity, among other things in this region. The present work performs a gravity waves monitoring study by capture these emissions using the imager "All-Sky", and also conducts the study on the collected data processing to the involved programming language understanding. The images processing studied in this work have vital importance for the gravity waves parameters determination such as horizontal wave-length, speed phase, period and propagation direction.

Keywords: airglow, imager "All-Sky", gravity waves.

INTRODUÇÃO

A atmosfera superior é uma fonte permanente de emissão de fótons que são liberados por átomos ou moléculas excitados acima de seu nível normal de emissão de energia. A produção desta luminescência é devida a diversos processos físicos e químicos e, em geral, ocorre através de linhas de emissões espectrais discretas. Muitas destas linhas de emissões acontecem na mesosfera e baixa termosfera, altitude entre \approx 80-100 km, como uma fina camada de largura aproximadamente entre 6 e 10 km. A luminescência atmosférica, também chamada de airglow, é em geral muito fraca para ser visível a olho nu. Para sua detecção e medida usam-se instrumentos ópticos tais como o fotômetro e o imageador.

Ondas de gravidade são oscilações que surgem principalmente na baixa atmosfera a partir de uma perturbação do equilíbrio entre a força gravitacional e a força que se origina devido ao gradiente de pressão. O estudo do comportamento das mesmas é importante devido ao fato de que elas são responsáveis pelo transporte de energia da baixa atmosfera até a alta atmosfera, alterando significativamente a dinâmica daquela região.

¹ Aluno de Curso de Física, Unidade Acadêmica de Física, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: jamerson_cg@hotmail.com

² Física, Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Física, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: afragoso@df.ufcg.edu.br

No presente trabalho fizemos uso dos dados fornecidos pelo Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba (OLAP), localizado em São João do Cariri, pesquisando formas de tratar e ajustar os mesmos.

A dinâmica da atmosfera tem despertado grande interesse da comunidade científica, tendo em vista que a mesma desempenha um papel de fundamental importância para a qualidade de vida no nosso planeta.

Metodologia

Nesta seção, etapas e metodologia a serem empregadas para o desenvolvimento da pesquisa são:

1. Estudo da teoria sobre ondas de gravidade: para um maior entendimento sobre a dinâmica atmosférica foi estudada a teoria das ondas de gravidade, assim como a aeroluminescência, que é utilizada para a observação dessas ondas. O material que utilizamos foram basicamente teses e artigos. Com esse material foi possível iniciar discussões e construir hipóteses sobre o assunto.
2. Análise de imagens a procura de ondas: a fim de analisar certos comportamentos e catalogar as características das ondas de gravidade foi empreendida a análise de diversas imagens em busca de padrões de onda, quando tais padrões ocorriam eram anotados as horas do começo e término do evento, o tipo de evento e emissão, como também o dia do evento e se a onda é vista em outra emissão. As imagens analisadas foram obtidas por um imageador instalado em São João do Cariri.
3. Estudo de Linguagem de programação: para se compreender o processo de tratamento das imagens obtidas pelo imageador em São João do Cariri buscou-se um embasamento teórico acerca da linguagem de programação envolvida no processo, com o estudo das rotinas já existentes.
4. Tratamento de imagens coletadas: Através do artigo de Wrasse (Wrasse CM et al., 2007), e da tese de doutorado de Medeiros (Medeiros, 2001) procurou-se estudar algoritmos que visavam o tratamento das imagens coletadas.
5. Demonstração de resultados: a partir das etapas anteriores buscou-se apresentar alguns resultados, segundo o tratamento de imagens.

Revisões dos estudos teóricos

Nesta seção revisaremos, em uma breve explanação, todo o embasamento teórico para a compreensão das Ondas de Gravidade.

Estrutura vertical atmosférica

Antes de começar o estudo sobre Ondas de gravidade é de extrema necessidade a compreensão da atmosfera, suas características, composição, como é dividida etc. Pode-se descrevê-la em uma série de camadas classificadas de acordo com suas características térmicas, pela ionização de seus constituintes ou pela densidade de partículas.

Nossa principal faixa de interesse na atmosfera se encontra entre 80 - 100 Km de altitude, faixa que divide a mesosfera e a baixa termosfera (MLT), numa camada de 6 a 10 Km de largura, que é uma grande fonte de emissões de quimiluminescência.

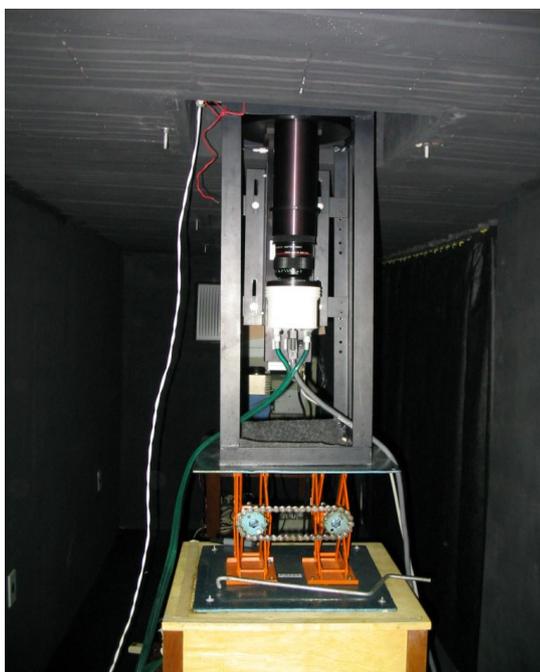


Figura 3 - Imageador localizado em São João do Cariri-Pb.
Ondas de gravidade

Ondas de Gravidade

Ondas de gravidade são ondas verticais transversais que surgem a partir do desequilíbrio do gradiente de pressão e a força gravitacional, possuem um período que varia de 5 min a 8 hrs. Suas supostas fontes encontram-se na troposfera de onde as ondas se propagariam para a média e alta atmosfera, mas também há suposições de fontes nas próprias camadas de emissão de airglow, suas principais fontes são: a topografia, as marés atmosféricas, convecção intensa, o cisalhamento de vento, os sistemas meteorológicos frontais, os ajustes de escoamentos em caso de desequilíbrio, os forçantes acompanhando a dissipação local de ondas e as interações onda-onda (FRITTS e ALEXANDER, 2003).

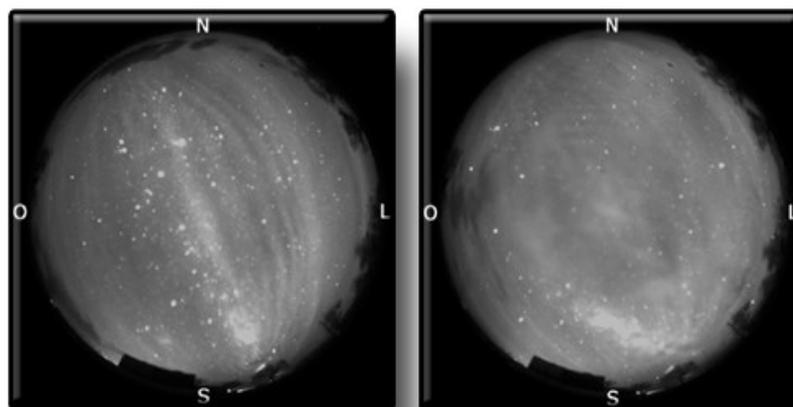


Figura 2 – Imagens feitas a partir da emissão do OH
a) Banda - 07/02/2002 - 21:51:15 (LT) - São João do Cariri
b) Ripple - 09/02/2002 - 01:09:39 (LT) - São João do Cariri

Figura 4 – Imagens de bandas e ripples

A linguagem de programação

A linguagem de programação utilizada na análise dos dados é tida como uma linguagem de alto desempenho. Ela mostra-se como um meio computacional completo para análises interativas e visualização de dados. Consegue integrar em sua linguagem um conjunto de dados com numerosas análises matemáticas e técnicas de exibição de gráficos. Os usuários podem fazer uso de comandos e aplicações pré-definidas da linguagem. É interessante que simples comandos, sem a exigência de técnica de programação mais acurada, proporcionam excelentes resultados. Além disso, os usuários podem criar sofisticadas funções e programas para um fim específico.

A figura a seguir mostra o ambiente de programação:

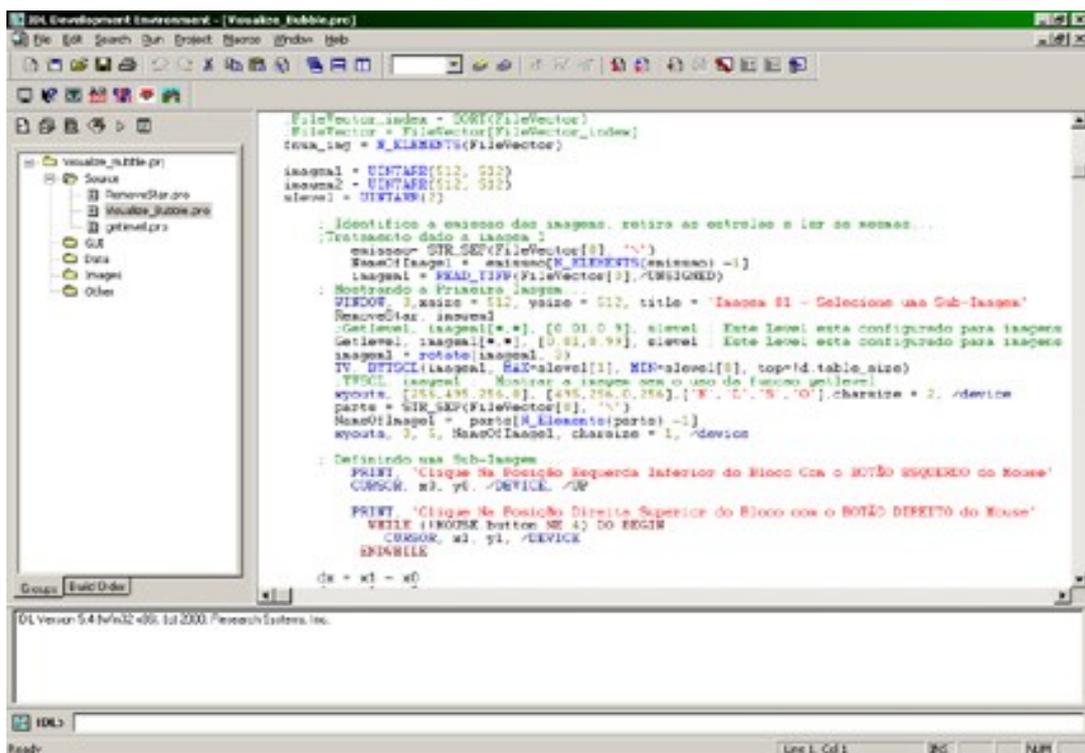


Figura 5 – Ambiente de programação

Houve uma preocupação em aprender algumas técnicas de programação e a linguagem de programação acima citada por diversos fatores, entre eles estão:

- As visualizações das imagens produzidas pelo imageador, assim como as determinações dos parâmetros das ondas de gravidade eram feitas em softwares implementados. Problemas que por ventura aconteciam durante estas situações podiam ser corrigidos sem muita dificuldade.
- O tratamento que as imagens recebiam era realizado através de rotinas pré-definidas da linguagem. Os realces dados deixavam a imagem mais nítida de maneira que os eventos eram vistos com mais facilidade. Entender como as rotinas funcionavam era importante.

Algoritmo para calibração do imageador “All-sky”

Nessa parte da pesquisa começa o estudo do tratamento das imagens coletadas. A forma que a imagem é capturada na CCD carrega consigo uma série de “defeitos”, cientes disso o algoritmo utilizado na determinação da função de transformação geométrica da lente olho de peixe foi desenvolvido por R. Maekawa no Radio Atmospheric Science Center (RASC) da Universidade de Kyoto (Maekawa, 1998), e apresentado por A. Medeiros em sua tese de doutorado (Medeiros, 2001). Esta função transforma as coordenadas de angulares para pixels. A Figura 1 mostra um esquema de observação para duas estrelas i e j na esfera celeste e a projeção das mesmas no referencial da CCD. A estrela i apresenta uma distância zenital x_i e um ângulo de azimute a_{zi} , e a estrela j apresenta uma distância zenital x_j e um ângulo de azimute a_{zj} .

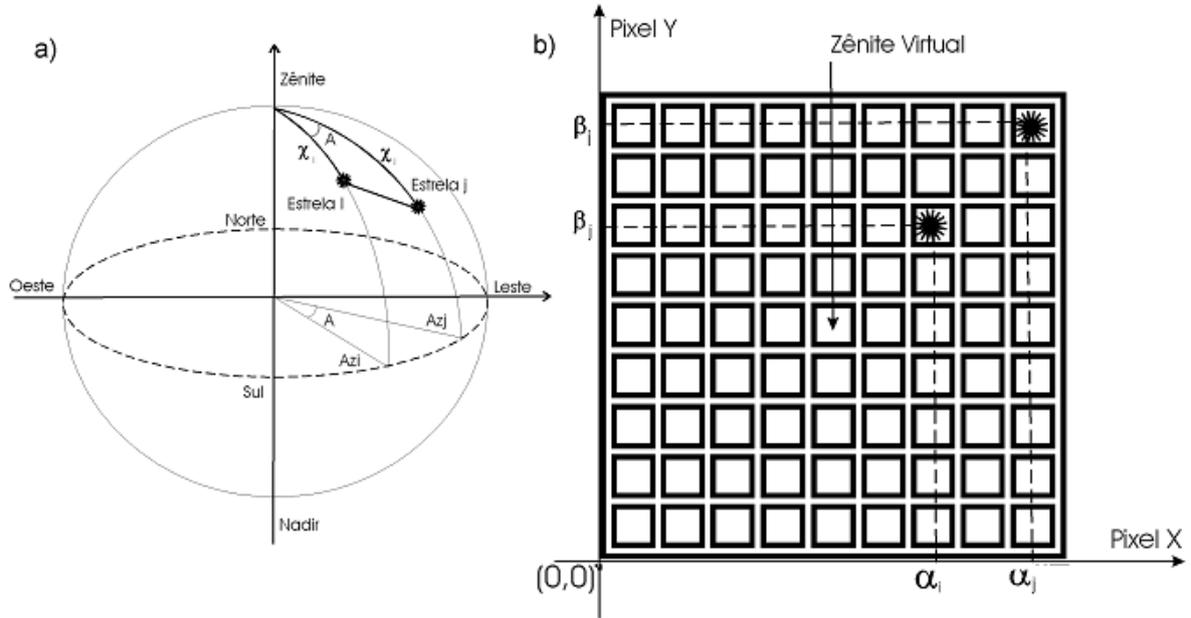


Figura 6. Esquema mostrando: a) observação das estrelas i e j na esfera celeste e, b) suas respectivas projeções no referencial da CCD. Fonte: Medeiros, 2001.

Assim como em Medeiros, 2001, a demonstração aqui foi realizada para duas estrelas, todavia, o cálculo é realizado para n estrelas (número de estrelas identificadas no fundo estelar).

Sendo da a distância angular entre as duas estrelas na esfera celeste e dp como a distância linear entre as mesmas duas estrelas na CCD, podemos escrever a relação entre estas duas medidas, que é facilmente observada na esquematização acima. Logo é possível escrever:

$$\begin{aligned}
 da &\rightarrow \sqrt{\chi_i^2 + \chi_j^2 - 2\chi_i\chi_j \cos|az_i - az_j|} \\
 dp &\rightarrow \sqrt{(\alpha_i - \alpha_j)^2 + (\beta_i - \beta_j)^2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

A partir de (1) podemos tirar a relação de proporcionalidade entre da e dp como segue:

$$dp = \frac{\sqrt{(\alpha_i - \alpha_j)^2 + (\beta_i - \beta_j)^2}}{\sqrt{\chi_i^2 + \chi_j^2 - 2\chi_i\chi_j \cos|az_i - az_j|}} da
 \tag{2}$$

Podemos escrever (2) da seguinte forma:

$$dp = k^2 da
 \tag{3}$$

onde k^2 é a relação de proporção ($\text{pixel}^2/\text{radiano}^2$) da distância entre as estrelas na CCD (distância linear entre dois ponto) e no céu (distância angular dada pela lei dos co-senos) e é dado por:

$$k^2 = \frac{(\alpha_i - \alpha_j)^2 + (\beta_i - \beta_j)^2}{\chi_i^2 + \chi_j^2 - 2\chi_i\chi_j \cos|az_i - az_j|}
 \tag{4}$$

As distâncias zenitais (na CCD em pixels) para as duas estrelas são dadas pelas seguintes equações:

$$(x - \alpha_i)^2 + (y - \beta_i)^2 = k^2 \chi_i^2 \quad (5)$$

$$(x - \alpha_j)^2 + (y - \beta_j)^2 = k^2 \chi_j^2 \quad (6)$$

As equações (5) e (6), porém, só seriam válidas se não existisse incertezas associadas às coordenadas do zênite. Levando em consideração estas incertezas as coordenadas do zênite são dadas por:

$$(x + dx, y + dy) \quad (7)$$

e as distância zenitais das estrelas passam a ser escritas da seguinte forma:

$$(x + dx - \alpha_i)^2 + (y + dy - \beta_i)^2 = k^2 \chi_i^2 \quad (8)$$

$$(x + dx - \alpha_j)^2 + (y + dy - \beta_j)^2 = k^2 \chi_j^2 \quad (9)$$

A solução do sistema formado pelas equações (8) e (9) dá a solução de primeira ordem para dx e dy através das seguintes expressões:

$$dx = \frac{c(y - \beta_j) - d(y - \beta_i)}{2(x - \alpha_i)(y - \beta_j) - 2(x - \alpha_j)(y - \beta_i)} \quad (10)$$

$$dy = \frac{c(x - \alpha_j) - d(x - \alpha_i)}{2(y - \beta_i)(x - \alpha_j) - 2(y - \beta_j)(x - \alpha_i)} \quad (11)$$

Onde c e d são dados por:

$$c = k^2 \chi_i^2 - (x - \alpha_i)^2 - (y - \beta_i)^2 \quad (12)$$

$$d = k^2 \chi_j^2 - (x - \alpha_j)^2 - (y - \beta_j)^2 \quad (13)$$

A determinação das coordenadas de zênite é obtida através da solução numérica incrementada por ζ das seguintes equações:

$$x^{(\zeta+1)} = x^{(\zeta)} + dx^{(\zeta)} \quad (14)$$

$$y^{(\zeta+1)} = y^{(\zeta)} + dy^{(\zeta)} \quad (15)$$

Tomando com solução incremental de primeira ordem $(x^{(0)}, y^{(0)})$ o zênite virtual (dimensões da CCD divididas por 2) e utilizando as equações (7), (8), (9), (10) e (11), pois para $\zeta = \zeta + 1$, dx e dy convergem rapidamente. O resultado para n estrelas será:

$$x[i, j] = x_n^{(\zeta+1)}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (16)$$

$$y[i, j] = y_n^{(\zeta+1)}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (17)$$

Considerando apenas as estrelas ao redor do zênite (n_z) na imagem, o número dos possíveis valores obtidos para os pares de coordenadas $(x[i, j], y[i, j])$ de zênite será dado por $n_z(n_z-1)/2$. A partir das possíveis coordenadas para zênite, assumimos as coordenadas mais próximas possíveis do zênite virtual (\tilde{x}, \tilde{y}) , e um erro inerente ε e em pixel. Em seguida, obtém-se as coordenadas do zênite real através de uma média de todo o conjunto de possíveis coordenadas que estão dentro do intervalo de erro permitido da seguinte forma:

$$\sum_{(n_{zx} \rightarrow n_{zx}+1)} = \sum_{\text{onde } \{(\tilde{x}, \tilde{y})\}}^{n_z} x[i, j] \Rightarrow x_c = \frac{\sum n_{zx}}{n_{zx}} \quad (18)$$

$$\sum_{(n_{zy} \rightarrow n_{zy}+1)} = \sum_{\text{onde } \{(\tilde{x}, \tilde{y})\}}^{n_z} y[i, j] \Rightarrow y_c = \frac{\sum n_{zy}}{n_{zy}} \quad (19)$$

Onde (x_c, y_c) são as reais coordenadas do zênite.

Determinada as coordenadas do zênite, o próximo passo será encontrar a função de transformação geométrica da lente. O primeiro passo é calcular o azimute para cada estrela identificada utilizando as coordenadas reais do zênite através da seguinte Equação:

$$az_p = \arctan \left[\frac{x_c - \alpha_p}{\beta_p - y_c} \right], \quad \forall p = 1, \dots, n \quad (20)$$

Onde α e β correspondem as coordenadas em pixel de cada estrela identificada na imagem. A partir dos azimutes calculados podemos determinar a correção para o azimute de cada estrela da seguinte forma:

$$\delta(m) = az_i(m) - az_p(m), \quad \forall p = 1, \dots, n \quad (21)$$

Onde $az_i(m)$ corresponde aos azimutes de cada estrela identificada na imagem e $az_p(m)$ corresponde aos azimutes calculados a partir das coordenadas do zênite real. A rotação média será dada por:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta(m)}{n} \quad (22)$$

Para determinar a função da lente calculamos a distancia zenital (do centro da imagem) para cada estrela utilizando a seguinte expressão:

$$d_p(\chi) = \sqrt{(\alpha_p - x_c)^2 + (\beta_p - y_c)^2}, \quad \forall p = 1, \dots, n \quad (23)$$

Em seguida aplica-se o método dos mínimos quadrados no conjunto de distâncias zenitais calculadas:

$$\sum_{k=1}^n \left[G(\chi_p) - d_p \right]^2 = S, \quad (24)$$

com o polinômio de ajuste escolhido para $G(\chi_p)$ sendo da forma $G(\chi) = \sum_l a_l \chi^l$. A Figura 2 resume todo o procedimento adotado acima. A Figura 2(a) mostra um esquema que representa a imagem original na CCD.

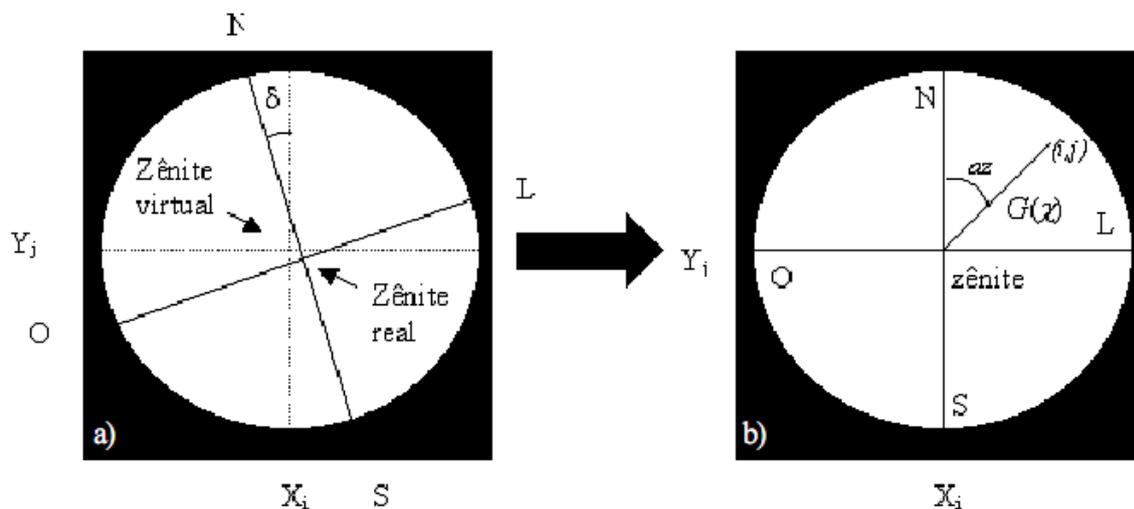


Figura 7. Esquemas mostrando: a) imagem original obtida na CCD e b) imagem corrigida. Fonte: Medeiros, 2001.

Nota-se que existe um deslocamento do zênite real em relação ao zênite virtual (dimensões da CCD dividido por 2). Também existe uma rotação (azimutal) da imagem, ou seja, o norte geográfico da imagem não corresponde ao norte geográfico no referencial da CCD. Assim, devido aos dois deslocamentos (zenital e azimutal) da imagem na CCD, se faz necessário uma correção antes da determinação da função da lente. A Figura 2(b) mostra um esquema da imagem corrigida, onde a função da lente relaciona a distância medida do centro da imagem a qualquer ponto da CCD.

Processamento de imagens

Pré-processamento de imagens

Nessa seção irá se explicar, de uma forma geral, uma série de passos para um pré-processamento das imagens obtidas pelo imageador, como mencionado anteriormente as imagens obtidas carregam consigo uma série de “defeitos”, o que irá ser mostrado agora visa melhorar a análise dessas imagens. Uma imagem de aeroluminescência pode ser descrita em termos de uma matriz de pixels, igualmente espaçada, onde cada pixel pode ser identificado pelos índices (i, j) da matriz e pelo valor que quantifica a intensidade luminosa, associada a um tom de cinza, na posição (i, j) da imagem (Weeks, 1996). O primeiro passo do pré-processamento visa alinhar o topo da imagem com o norte geográfico. Neste caso, a imagem sofre uma transformação de rotação sob um ângulo adequado, de modo que o topo da imagem corresponda ao norte geográfico, note que esse paço já foi descrito em mais detalhes na seção anterior.

O segundo passo do pré-processamento das imagens consiste em remover as estrelas das imagens. A remoção das estrelas é necessária devido às suas acentuadas luminosidades localizadas, ocasionando uma possível contaminação do espectro das ondas em altas frequências (Maekawa, 2000).

No terceiro passo do pré-processamento, as imagens originais são mapeadas para um novo sistema de coordenadas, pois a projeção do céu noturno sobre a câmera CCD é distorcida devido ao formato da lente olho de peixe (fisheye). Este problema é tratado com sucesso por Hapgood & Taylor (1982) e Garcia et al. (1997) através de um algoritmo que mapeia a imagem original em novas coordenadas, denominadas coordenadas geográficas. Neste novo sistema de coordenadas o zênite está localizado na origem do sistema, onde x e y são os eixos nas coordenadas leste-oeste e norte-sul, respectivamente, note mais uma vez que um método muito semelhante foi apresentado na seção anterior.

A quarta etapa do pré-processamento das imagens é a determinação da fração da flutuação de intensidade das imagens. A fração de flutuação fornece uma medida relativa percentual sobre o quanto a

intensidade em um determinado pixel variou num determinado instante. Devido ao fato do imageador não fornecer valores absolutos de intensidade luminosa, a fração da flutuação de intensidade é um bom parâmetro quando se deseja conhecer a variação da luminosidade das camadas de aeroluminescência. O cálculo da fração da flutuação de intensidade é determinado pela seguinte expressão (Garcia et al., 1997):

$$\frac{\Delta I}{\bar{I}} = \frac{I - \bar{I}}{\bar{I}} \quad (25)$$

onde I representa a intensidade luminosa contida numa imagem qualquer da noite e \bar{I} a imagem média de toda a noite. Na quinta etapa do pré-processamento, as imagens são filtradas por um filtro do tipo passa-alta, com frequência de corte de 5 km. No sexto e último passo do pré-processamento, submete-se a imagem a uma função de ponderação. A função adotada neste estudo é a janela de Hanning, a qual visa minimizar os lóbulos laterais dos picos significantes do espectro. Esta função pode ser expressa pela seguinte relação (Coble et al., 1998):

$$H(i, j) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\Pi}{S_i} i \right) \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\Pi}{S_j} j \right) \quad (26)$$

Onde i e j representam as linhas e as colunas da matriz imagem, S representa o tamanho da matriz em pixels da imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Toda a pesquisa foi construída a partir das imagens obtidas pelo imageador All-Sky localizado no Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba (OLAP) em São João do Cariri. De todas as imagens eram selecionadas aquelas que apresentassem algum fenômeno ondulatório, o passo seguinte se dava no tratamento de imagens pelos métodos descritos nesse artigo através de softwares previamente desenvolvidos.

Devido à imensa versatilidade da linguagem de programação adotada, o aperfeiçoamento desses softwares se dá de uma forma muito simples, através de simples rotinas e linhas de comando integradas ao programa principal. Essa linguagem de programação permite a criação de novas variáveis a qualquer momento, o que facilita bastante o processo de programação. Um exemplo bem simples disso se dá na determinação da intensidade da emissão em determinada imagem, o que facilmente resolvido através de um simples comando "print", o único trabalho nesse caso seria o de identificar a matriz onde estaria armazenada a imagem, como já sabemos uma imagem nada mais é que uma matriz, as imagens produzidas pelo imageador possuem uma resolução de 512x512.

As imagens analisadas eram obtidas à noite, devido ao fato da luz solar causar uma grande interferência na aeroluminescência, foram encontrados fenômenos ondulatórios em 30% das noites analisadas. A faixa do OH (~87 km) mostrou-se ser a principal fonte de emissões nas imagens analisadas.

CONCLUSÕES

Após esse início de pesquisa ficou evidente que as ondas de gravidade são um importante fator na dinâmica da atmosfera, assim sendo é inegável a importância do seu estudo.

O tratamento de imagens se dá em um processo longo e desgastante, a programação, por sua vez, surge como uma poderosa ferramenta, tanto para concepção dos dados (afinal não haveria dados sem que houvesse um programa para coletá-los) quanto para o tratamento desses dados, facilitando todo o processo do tratamento de dados através da criação de novos programas e da melhora dos programas já existentes.

Assim sendo propomos para trabalhos futuros um estudo mais aprofundado sobre linguagem de programação para o desenvolvimento e criação de softwares mais eficientes.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de iniciação científica.

Ao grupo de pesquisa Aerolume pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, D. **Técnica de calibração das imagens de airglow e triangulação geométrica**. Artigo (Relatório parcial de iniciação científica). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. 2009. 13f.

COBLE, M.R. et al. **Computing two-dimensional unambiguous horizontal wavenumber spectra from OH airglow images**. 1998. 368–382f.

FRITTS, D. C. et al. **Gravity wave dynamics and effects in middle atmosphere**. v. 41. 2003. 1 – 46f.

GARCIA, F.J. et al. **Two-dimensional spectral analysis of mesospheric airglow image data**. 1997. 7374–7385f.

HAPGOOD, M.A. & TAYLOR, M.J. **Analysis of airglow image data**. 1982. 805–813f. 1982

MAEKAWA, R. **Development multi-color all sky airglow CCD imaging system**. Relatório de Pesquisa. Radio Atmospheric Science Center (RASC), Kyoto University, 1998.

MAEKAWA R. 2000. **Observations of gravity waves in the mesopause region by multicolor airglow imaging**. Artigo (Tese de Mestrado). Kyoto, Universidade de Kioto, 2000. 64f.

MEDEIROS, A. F. de. **Monografia Exigida para Exame de Qualificação de Doutorado**. Monografia (Doutorado em Geofísica Espacial). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001. 189f.

PINHEIRO, K. M. Estudo **da aeroluminescência e da dinâmica da alta atmosfera na região equatorial do Brasil**. Artigo (Relatório de iniciação científica). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. 2007. 25f.

WEEKS, J.R.A.R. **Fundamentals of electronic image processing**. 1996. 570f.

WRASSE, C. M. et al. **Determinação dos parâmetros de ondas de gravidade através da análise espectral de imagens de aeroluminescência**. Artigo (Revista brasileira de geofísica). 2007.