

OBSERVAÇÃO DE ONDAS DE GRAVIDADE NA PENÍNSULA ANTÁRTICA: RESULTADOS INICIAIS

Bageston, J.V.¹, Wrasse, C.M.², Gobbi, D.¹, Takahashi, H.¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/DAE, Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos/SP, CEP 12227-010, Brazil. valentin@laser.inpe.br

²Universidade do Vale do Paraíba/IP&D, Av. Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos/SP, São José dos Campos SP, CEP 12244-000, Brazil. cmw@univap.br.

Resumo - Este trabalho mostra os resultados iniciais das observações de ondas de gravidade na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), localizada na Ilha Rei George, Península Antártica (62°S, 58°O). Será apresentada a metodologia, incluindo a calibração da câmera, bem como o processo de tratamento dos dados. Os resultados preliminares mostraram uma grande atividade de ondas na região da Península, durante 43 noites com boas condições de tempo foi observado um total de aproximadamente 240 eventos de onda. Destes, a maioria mostrou direções de propagação muito variada, enquanto que nos últimos dois meses as ondas tiveram direções Nordeste/Norte/Sudeste, formando uma espécie de cone de propagação centrado no norte. Os parâmetros observados apresentaram intervalos bem amplos: períodos de 5 a 85 minutos; comprimentos de onda dominantes entre 20 e 40 km e velocidades de fase entre 10 e 120 m/s. Estas observações estão de acordo com observações anteriores já realizadas na Antártica.

Palavras-chave: Antártica; Ondas de Gravidade; Mesosfera; Imageamento; Hidroxila (OH NIR)

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra - Física

Introdução

As ondas na atmosfera são geradas quando uma parcela de ar é perturbada do seu equilíbrio; sendo que esta perturbação pode ser mecânica, por exemplo, quando uma parcela de ar deslocar-se sobre uma elevação terrestre, ou térmica, por convecção. O movimento dessas ondas na atmosfera comunica a influência de uma região para a outra, através da transferência de energia e momentum (Salby, 1996). As ondas de gravidade são bem conhecidas por desempenharem um importante papel na atmosfera terrestre, destacando-se a influência das mudanças sazonais e latitudinais da atividade destas ondas no estado térmico e de circulação da atmosférica (Vincent, 1994). Os efeitos das ondas de gravidade na atmosfera são particularmente pronunciados na mesosfera polar, onde as forças aplicadas pelos processos de dissipação e quebra dessas ondas produzem um forte fluxo meridional em direção ao pólo no inverno (Fritts, 2003). Além desses efeitos, estas ondas produzem um aquecimento na mesopausa polar durante o inverno e um resfriamento durante o verão, e ainda uma reversão no gradiente latitudinal de temperatura (Fritts, 2003).

As observações das ondas de gravidade vêm sendo realizadas em grande escala em regiões de baixas e médias latitudes. Porém, em altas latitudes, como na Antártica, estas observações são esparsas e pouco se sabe das características dessas ondas. Alguns trabalhos já mostraram resultados de ondas de gravidade na Antártica,

como o cálculo do fluxo de momentum (Espy et al. 2006) e a ocorrência de Pororocas Atmosféricas, ou do inglês, *mesospheric bore* (Nielsen et al. 2006). No entanto, estes trabalhos não mostraram uma caracterização geral para as ondas lá observadas.

Neste trabalho serão apresentados os primeiros resultados obtidos de uma campanha de observação de ondas de gravidade realizada na península Antártica, mais precisamente sobre a estação brasileira Comandante Ferraz (62°S, 58°O) durante os meses de Abril à Outubro de 2007. Nesta campanha utilizou-se um imageador *all Sky* para observar as ondas de gravidade na emissão do infravermelho próximo (OH NIR).

Metodologia

O presente trabalho está fundamentado na observação das ondas de gravidade pela técnica de imageamento óptico da emissão atmosférica da hidroxila, OH, que ocorre em torno da altura de 87km. Para se observar estruturas de ondas nas emissões atmosféricas, são necessárias as condições céu noturno e sem a presença da lua. Outro ponto importante é a caracterização espacial e temporal das ondas observadas. Para isso, é necessário realizar o procedimento de calibração do imageador, e um pré-requisito é as imagens estarem bem focalizadas. A imagem utilizada no processo de calibração é mostrada na Figura 1(A), onde se destacam algumas estrelas daquelas selecionadas para a calibração. Na Figura 1 (B) é mostrado um mapa estelar gerado

pelo programa *SkyMap* para as coordenadas geográficas da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) no mesmo horário da Figura 1(A).

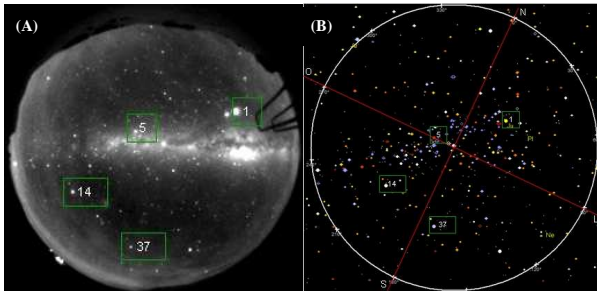


Figura 1 - Exemplo de identificação das estrelas vistas pelo imageador (A), e comparação com o mapa estelar obtido pelo *SkyMap* (B), com a finalidade de obter a função da lente. Imagens obtidas em 07/07/2007, às 19:47 Hora Local(LT).

A determinação da função da lente leva em conta os sistemas de referência da CCD e da atmosfera. A descrição matemática para obter esta função envolve a geometria para os dois sistemas de referência (CCD e atmosfera), e pode ser encontrada em Medeiros (2001). A função de transformação geométrica (Função da Lente) determinada para o imageador operado na Antártica é mostrada na Figura 2.

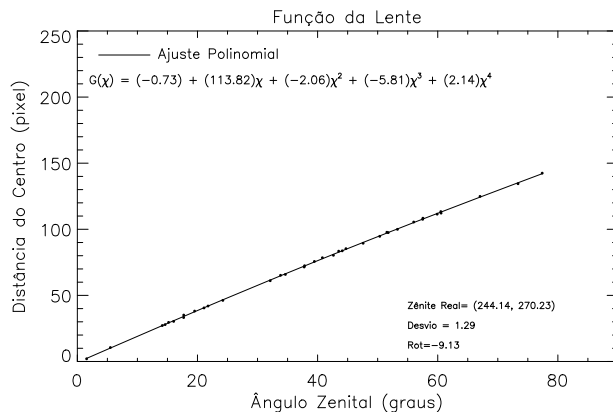


Figura 2 - Função da lente para o imageador, onde foram utilizadas 37 estrelas, das quais 06 próximas do zênite.

Posteriormente, a função da lente é utilizada para fazer a projeção da imagem original na camada de emissão (OH), considerando sua localização em uma altura média de 87 km acima da superfície da Terra. A área plana da imagem projetada tem um tamanho de 256; 512; 768 ou 1024 km², a qual depende da escala da onda e da região em que aparece na imagem. Este processo de calibração também corrige o centro da imagem (azimute) e a rotação, fazendo com que o topo da imagem seja o norte geográfico.

A metodologia de redução dos dados tem como base a Transformada de Fourier. No entanto, antes da aplicação desta técnica é necessário um pré-processamento das imagens. O pré-processamento realizado neste trabalho é

basicamente o mesmo descrito por Medeiros (2001) e Wrasse (2004). A única diferença no tratamento das imagens é a aplicação de um filtro, *Butterworth* (Oppenheim, 1989), com o objetivo de remover as baixas frequências que ocorrem devido ao ruído intrínseco contido na imagem.

Vários testes foram realizados para a filtragem, considerando as diferentes projeções das imagens. As características do filtro que geraram os melhores resultados de espectro são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do filtro utilizado

Projeção (km ²)	256	512	768
Ordem, N	2	2	2
Freq. Corte (Pixel)	8	16	42
λ Corte (km)	4	16	28
λ Passante (km)	2	8	14

A Figura 3 mostra uma imagem plana, com as estrelas já removidas, e ao lado uma imagem mostrando somente o evento de onda após a aplicação do filtro.

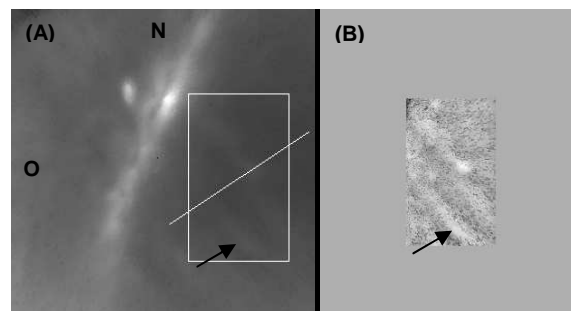


Figura 3 - Exemplo de uma imagem obtida em 09 de Julho de 2007, às 23:39 Hora Local (LT). Em (A) é mostrada a imagem projetada em 512 km² com as estrelas removidas. O retângulo enfatiza o evento a ser analisado, e a reta representa sentido de propagação da onda. Em (B) é mostrada a área selecionada do evento após a aplicação do filtro. As setas indicam a mesma crista de onda vista nas duas imagens.

Na Figura 4 é mostrado o espectro-cruzado médio resultante da análise de Fourier no evento mostrado na Figura 3. Este resultado foi obtido utilizando um total de 10 imagens. A Tabela 2 mostra o resultado para os parâmetros da onda analisada, onde se destaca o primeiro harmônico, de amplitude mais significativa.

Tabela 2 - Parâmetros da onda de gravidade mostrada na Figura 3.

Amp	λ_n (km)	ϕ (°)	τ (min)	V_{fase} (m/s)
1.00	35.50	56.31	6.33	93.50
0.41	32.38	34.70	48.91	11.03
0.23	55.53	282.53	247.18	3.74
0.22	63.51	29.74	280.78	3.77
0.21	31.94	356.42	64.74	8.22

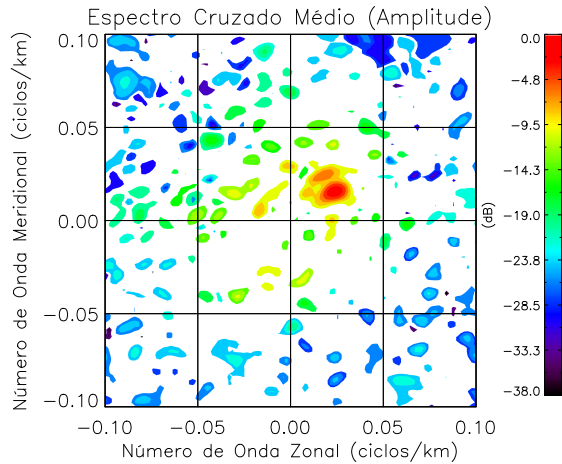


Figura 4 - Espectro não-ambíguo, resultante da aplicação da FFT-2D no evento mostrado na Figura 3(B). Neste processo foram utilizadas 10 imagens tomadas a cada duas, o que representa um intervalo temporal entre as imagens de aproximadamente 1 minuto.

Resultados

Durante a campanha, foram registradas 84 noites de observações durante o período de lua nova, sendo que destas, foi possível identificar atividade de ondas de gravidade em 43 noites. Nas demais noites o tempo permaneceu totalmente encoberto, impossibilitando a identificação de eventos. Em relação à estatística das observações deve-se salientar que no mês de Março não teve nenhuma observação efetiva devido ao tempo demandado para a instalação da câmera e também devido às condições de tempo. No mês de Abril foi realizado o processo de calibração do foco, tendo somente uma noite de dados obtida em boas condições. A Figura 5 mostra a estatística geral das observações, incluindo todo período de operação do imageador.

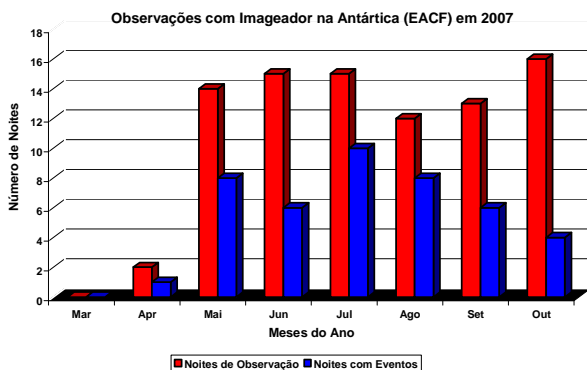


Figura 5 - Estatística para a campanha de observações de ondas de gravidade na Estação Antártica Comandante Ferraz, durante o ano de 2007.

Um dos resultados mais significativos da campanha foi o número de eventos de ondas identificado, um total de 238 eventos de onda, e ainda 5 eventos do tipo frentes.

Os parâmetros observados se apresentaram em um amplo intervalo. Os comprimentos de onda horizontal variaram de 10 a 60 km, com a maioria das ondas se concentrando entre 20 e 40 km; os períodos variaram desde 5 minutos até 85 minutos, sendo que a maioria dos eventos apresentou períodos entre 10 e 25 minutos; a velocidade de fase variou entre 10 e 120m/s, onde a maior parte apresentou velocidades entre 20 e 70m/s. A Figura 6 mostra o histograma com a distribuição dos parâmetros observados das ondas de gravidade mostrado.

As direções de propagação das ondas podem ser vistas na Figura 7. Observa-se claramente que nos meses de Maio a Agosto as ondas se propagam em direções muito distintas. Nos últimos dois meses (Setembro e Outubro) a propagação foi em direções mais preferenciais, Nordeste/Norte/Sudeste, formando uma espécie de cone de propagação centrado no norte.

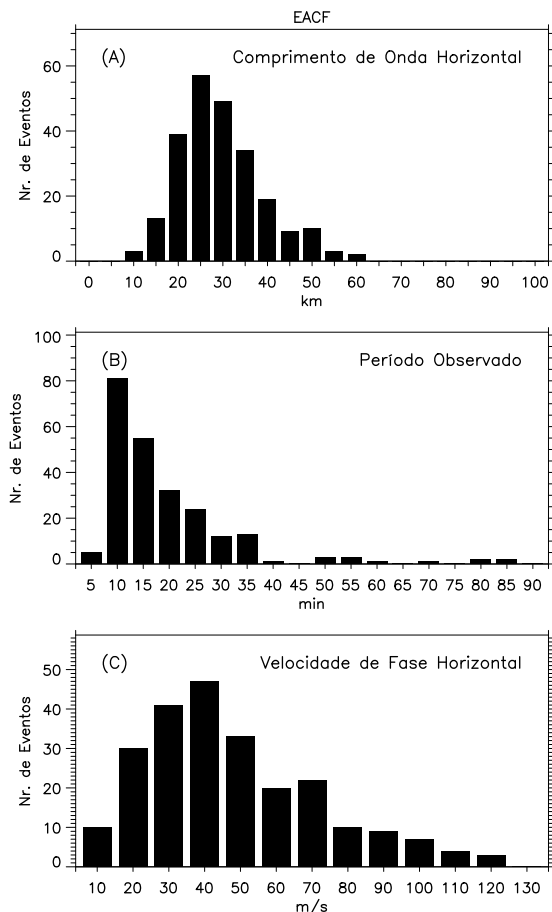


Figura 6 - Distribuição dos parâmetros observados das ondas de gravidade na Ilha Rei George, Península antártica, para o ano de 2007.

Discussão

Na campanha de observação de ondas de gravidade realizada na Península Antártica, durante o inverno de 2007, observou-se uma intensa atividade de ondas, demonstrada pelo

número de eventos identificados. Além disso, a maior parte dessas ondas se propaga para direções diversas, especialmente entre os meses de Abril e Agosto. Investigações futuras, utilizando o modelo *Ray Tracing*, poderão esclarecer se estas ondas observadas na mesosfera foram geradas na troposfera ou *in-situ*.

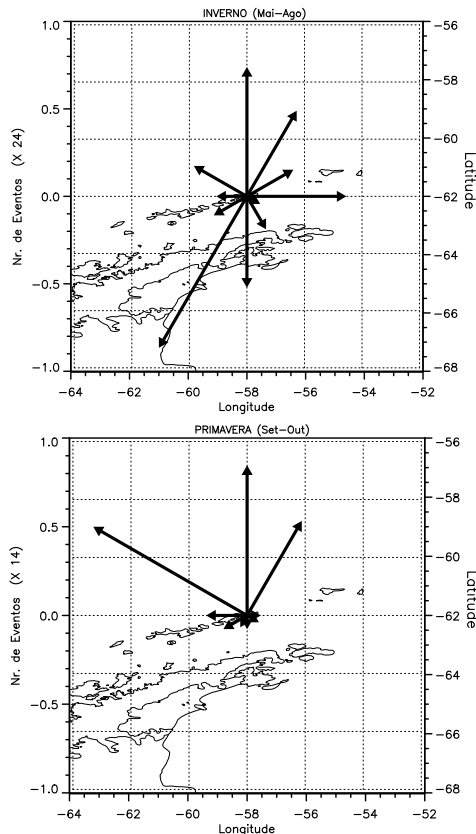


Figura 7 – Distribuição da direção de propagação das ondas de gravidade observadas na Ilha Rei George.

Em termos dos parâmetros observados, pode-se dizer que estes estão dentro dos valores esperados, uma vez que observações realizadas na estação Halley (76°S, 27°O) no inverno de 2000 mostram intervalos de valores muito próximos. Nesta época, foi observado em Halley períodos de 5 a 20 minutos; velocidade de fase de 20 a 60m/s, atingindo até 100m/s; e comprimentos de onda horizontal variando de 10 a 40 km (Moffat-Griffin, 2008).

Conclusões

Durante a campanha de observações na Antártica foram observadas 43 noites com atividades de onda, em um total de 84 noites. Neste período, identificou-se aproximadamente 240 eventos de ondas, incluindo bandas, ripples, frentes mesosféricas e cristas ou vales. Estes eventos apresentaram características bem variadas, com comprimentos de onda horizontal entre 20 e 40 km; período variando entre 5 e 25

minutos, e alguns passando de 01 hora; as velocidades de fase chegaram até 120 m/s, mas para a maioria das ondas as velocidades ficaram entre 20 e 70 m/s. Estas características são muito semelhantes às observadas em outros sítios da Antártica. As direções de propagação mostraram-se muito variadas, com uma isotropia entre Maio e Agosto e uma anisotropia em Setembro e Outubro.

Referências

ESPY, P.J.; HIBBINS, R.E.; SWENSON, G.R.; TANG, J.; TAYLOR, M.J.; RIGGIN, D.M.; FRITTS, D.C. Regional variations of gravity-wave momentum flux over Antarctica. **Annales Geophysicae**. V.24, p.81-88, 2006.

FRITTS, D. C. and ALEXANDER, M. J. Gravity wave dynamics and effects in the middle atmosphere. **Reviews of Geophysics**. V.41, n.1, p.1-64, 2003.

MEDEIROS, A. F. Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência. 2001. 187f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2001.

MOFFAT-GRIFFIN, T. Mesospheric Gravity Waves Over Halley, (76°S, 27°W): Comparisons Using an Airglow Imager and an Imaging Riometer. **Comunicação pessoal**, Cospar 2008.

NIELSEN, K.TAYLOR, M.J.; STOCKWELL, R.G.; JARVIS, M.J. An unusual mesospheric bore event observed at high latitudes over Antarctica. **Geophysical Research Letters**. V33, p. 7803, 2006.

OPPENHEIM, A.V.; SCHAFER, R.W. Discrete-time signal processing. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1989.

SALBY, M. L. Fundamentals of atmospheric physics. In: **International Geophysics**. San Diego: Ed. Academic Press, 1996.

VINCENT, R. A. Gravity-wave motions in the mesosphere and lower thermosphere observed at Mawson, Antarctica. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**. V.56, n.5, p.593-602, 1994.

WRASSE, C. M. Estudos de geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas. 2004. 253f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2004.