



Estudo dos parâmetros de ondas de gravidade em baixas latitudes durante a atividade solar máxima (2000-2001) e mínima (2006).

Virgínia Klausner, Observatório Nacional,
Paulo Roberto Fagundes, Universidade do Vale do Paraíba.

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Neste artigo, utilizou-se sondagem ionosférica através de uma ionosonda tipo CADI (*Canadian Advanced Digital Ionosonde*) localizada em São José dos Campos (23,2° S; 45,9° O; dip latitude 17,6° S) na região do máximo da anomalia equatorial, durante o período de atividade solar máxima entre setembro de 2000 a agosto de 2001 e atividade solar mínima entre janeiro de 2006 a dezembro de 2006. Neste estudo foram observados tanto dias calmos como dias geomagneticamente perturbados. Através de gráficos de alta resolução temporal (100 segundos), notou-se que o perfil vertical de densidade eletrônica observado apresentou uma forte perturbação ondulatória e tais perturbações foram atribuídas à propagação de ondas de gravidade na região F. Essas ondas foram classificadas de acordo com a variação de amplitude vertical em três grupos distintos: fraca (amplitude < 40 km), moderada (40 km ≤ amplitude ≤ 60 km) e forte (amplitude > 60 km). Este trabalho apresenta e discute os principais parâmetros (período, comprimento de onda vertical e velocidade vertical de fase) para ondas de gravidade fracas e moderadas/fortes em função do ciclo solar e da atividade geomagnética. Durante a atividade solar máxima, as ondas de gravidade fracas observadas em dias calmos apresentaram períodos entre 30 a 60 minutos, comprimentos de onda vertical entre 200 a 500 km e velocidade de fase entre 60 a 180 m/s.

Introdução

Desde o trabalho pioneiro de Hines (1960) sobre ondas de gravidade em altitudes ionosféricas, um grande número de investigações foi realizado nesta área contribuindo para o melhor entendimento das fontes de geração de ondas de gravidade, suas principais características (comprimento de onda, período e velocidade de fase), comportamento sazonal, entre outros.

As ondas de gravidade são ondas que surgem principalmente na baixa atmosfera a partir da interação entre a força de gravidade e o gradiente de pressão, e propagam-se até a alta atmosfera. Aparte dos fortes efeitos ocasionais na baixa atmosférica, a principal influência das ondas de gravidade acontece na média atmosfera, entre aproximadamente 50 e 110 km altitudes.

Sabe-se que densidade decrescente da atmosfera neutra e que as amplitudes das ondas de gravidade crescem com altitude a fim de manter o fluxo de energia constante. Então, a amplitude da onda de gravidade cresce continuamente até alcançar um nível crítico onde as ondas se quebram, depositando energia e momentum na atmosfera (Lastovicka, 2006).

Durante períodos geomagneticamente perturbados, as ondas de gravidade podem ser geradas em altas latitudes devido ao aquecimento Joule e a propagação destas ondas pode modificar a densidade eletrônica desde as altas até as latitudes equatoriais (Hunsucker, 1982). Esses efeitos ondulatórios na ionosfera com períodos de minutos a horas, também, são reconhecidos como propagação de TIDs (*Traveling Ionospheric Disturbances*). Em baixas latitudes, as ondas de gravidade podem ser geradas na baixa atmosfera por mecanismos de respostas às forças devido à topografia, convecção, vento, frente fria e etc (Sauli, 2001).

Este artigo apresenta e discute o comportamento e a variação sazonal dos parâmetros das ondas de gravidade como: período (T), comprimento de onda vertical (λ_z) e velocidade de fase vertical (V_z), em altitudes ionosféricas em função da atividade solar e atividade geomagnética.

Metodologia/ Problema Investigado

Uma vez identificada a ocorrência de oscilações na região F, foi realizada a caracterização dos parâmetros de onda (T, λ_z, V_z). Para isso, foi verificado se os gráficos de isofrequência apresentavam dois máximos de ondas consecutivos nas frequências de 7,1 e 6,3 MHz (período posterior as 08:00 UT) ou 6,1 e 5,1 MHz (períodos anteriores as 08:00 UT) bem definidos. Após listar as ondas de gravidade candidatas ao possível estudo dos parâmetros de onda, tais como: período, velocidade vertical de propagação e comprimento de onda; foram extraídos os parâmetros conforme mostra a Figura 1.

Lembrando que o período de oscilação de uma onda é o tempo total de uma oscilação completa, mostrado na Figura 1 como a diferença de tempo entre os dois máximos da onda para uma mesma frequência, $\Delta T = T_1 - T_2$. E, sabendo os resultados do deslocamento em altura e tempo, é possível, então, calcular a velocidade de fase vertical, que é dada por $V_z = \Delta h / \Delta t$ (m/s).

Este estudo, também, fez distinção entre períodos geomagneticamente calmos e perturbados. Para estabelecer o grau de perturbação do campo magnético terrestre (dias geomagneticamente calmos e dias perturbados) utilizou-se o índice Dst (*Disturbance storm time*).

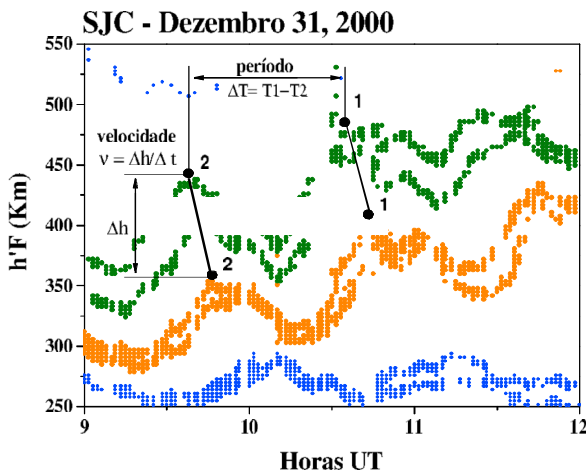


Figura 1 – Obtenção dos parâmetros de onda através de gráfico da isofreqüência, tais como o período (variação de tempo de pico a pico) e velocidade (variação entre a altitude e tempo de propagação do pico entre duas freqüências de 7,1 e 6,3 MHz).

Como critério de análise foi considerado como dias perturbados aqueles com índice Dst inferior a 50 nT

Resultados

O estudo dos parâmetros de onda é de grande relevância dada à importância da propagação de ondas de gravidade e conseqüentemente, a sua influência na variação do perfil de densidade eletrônico ionosférico. Os parâmetros de onda como: período (T), comprimento de onda vertical (λ_z) e velocidade de fase vertical (V_z), são necessários para o estudo e a caracterização dessas estruturas.

As Figuras 2 e 3 mostram a variação dos parâmetros de onda (período (T), comprimento de onda vertical (λ_z) e velocidade vertical de fase (V_z)) para as ondas de gravidade fracas e para ondas de gravidade moderadas/fortes, respectivamente. Cada Figura é composta de três gráficos que apresentam: o período das ondas de gravidade (T) em função de minutos, comprimento de onda (λ_z) em função de quilômetros e velocidade vertical de fase (V_z) em função de metros por segundos; para ambos os períodos de atividade solar máxima (setembro, 2000 – agosto, 2001) e atividade solar mínima (janeiro de 2006 – dezembro de 2006). Os pontos dos gráficos na cor azul clara representam a média mensal dos parâmetros (T, λ_z, V_z) para dias calmos, os pontos na cor azul representam os valores

dos parâmetros diários para os dias calmos, os pontos na cor vermelha representam os valores diários para os dias geomagneticamente perturbados e os pontos na cor preta representam a média mensal dos parâmetros (T, λ_z, V_z) para dias perturbados.

Na Figura 2, observa-se a maior presença de dados de ondas de gravidade fracas para o período de atividade solar máxima do que para a atividade solar mínima. Também, observa-se que os valores dos parâmetros não dependem da atividade geomagnética, uma vez que os dados não apresentam variações características para dias calmos (pontos azuis) e para dias perturbados (pontos vermelhos).

Na Figura 3, também, observa-se a maior ocorrência de ondas de gravidade moderadas e fortes para o período de atividade solar máxima do que para a atividade solar mínima. Também, nota-se que os valores dos parâmetros (T, λ_z, V_z) não dependem da atividade geomagnética, uma vez que os dados não apresentam variações características para dias calmos e para dias geomagneticamente perturbados.

Discussão e Conclusões

Os gráficos da Figura 2 mostram que os períodos das ondas de gravidade fracas observadas durante a atividade solar máxima, estão distribuídos principalmente entre 20 e 80 minutos, tanto para os dias calmos quanto para os dias perturbados. Enquanto que, para a atividade solar mínima, os períodos das ondas apresentam distribuição máxima entre 40 e 60 minutos para dias calmos. Os comprimentos de onda vertical para ondas de gravidade fracas estão distribuídos majoritariamente entre 50 e 400 km (dias calmos) e entre 50 e 500 km (dias perturbados) durante a atividade solar máxima; e entre 50 e 400 km (dias calmos) durante a atividade solar mínima. A distribuição predominante de velocidade de fase vertical ocorreu entre 50 e 150 m/s (dias calmos e perturbados) durante a atividade solar máxima e entre 50 e 100 m/s (dias calmos) durante a atividade solar mínima. Essas características são tipicamente referentes à propagação de ondas de gravidade na região F da ionosfera (Hines, 1960; Lastovicka, 2001, Fagundes et al, 2007).

Para as ondas de gravidade moderadas e fortes observadas durante o período de atividade solar máxima, os parâmetros de onda estão distribuídos principalmente: período - entre 20 a 80 minutos (dias calmos) e entre 40 a 60 minutos (dias perturbados); comprimento de onda vertical - entre 100 a 500 km (dias calmos) e entre 100-200 e 300-600 km (dias perturbados); e velocidade de fase vertical - entre 50 a 150 m/s (dias calmos) e entre 50 a 200 m/s (dias perturbados). Para o período de atividade solar mínima, somente dias geomagneticamente calmos, os parâmetros de onda estão distribuídos: período - entre 60 a 100 minutos, comprimentos de onda vertical - entre 200 a 600 km e velocidade de fase vertical - entre 50 a 100 m/s (vide Figura 3).

Nota-se, nas Figuras 2 e 3, que os parâmetros de onda: período, comprimento de onda vertical e velocidade de

fase vertical, não apresentam variações significativas tanto para dias calmos e perturbados. Também, não apresentam variações significativas comparando os períodos de atividade solar máxima e mínima.

Portanto, observou que os valores dos parâmetros de onda (período (T), comprimento de onda vertical (λ_z) e velocidade de fase vertical (V_z)) não dependem da atividade geomagnética, uma vez que os dados não apresentam variações características para dias calmos e para dias perturbados. Como também, não dependem da atividade solar, uma vez, que os parâmetros de onda não apresentaram uma variação significativa.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento de março de 2006 a outubro de 2006 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, processo número 2005/03185-5 de novembro de 2006 a dezembro de 2007 pelo apoio financeiro.

Referências

Hines, C. O., 1960. Internal Atmospheric Gravity Waves at Ionospheric Heights, Canadian Journal of Physics, v. 38, p. 1441-1481.

Hines, C. O., 1974. Propagation Velocities and Speeds in Ionospheric Waves - Review, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, v. 36, p. 1179-1204.

Hunsucker, R. D., 1982. Atmospheric Gravity-Waves Generated in the High-Latitude Ionosphere - a Review, Reviews of Geophysics, v. 20, p. 293-315.

Fagundes, P. R.; (07 co-authors), 2007. Observations of daytime F2-layer stratification under the southern crest of the equatorial ionization anomaly region, Journal of Geophysical Research-Space Physics, v. 112.

Lastovicka, J., 2001. Effects of gravity and planetary waves on the lower ionosphere as obtained from radio wave absorption measurements, Physics and Chemistry of the Earth Part C-Solar-Terrestrial and Planetary Science, v. 26, p. 381-386.

Lastovicka, J., 2006. Forcing of the ionosphere by waves from below, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 68, p. 479-497.

Macdougall, J.; (02 co-authors), 1995. The canadian advanced digital ionosonde: design and results, URSI INAG Ionospheric Inf. Bulletin, UAG-104.

Sauli, P.; (01 co-author), 2001. Tropospheric events and possible related gravity wave activity effects on the ionosphere, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 63, p. 945-950.

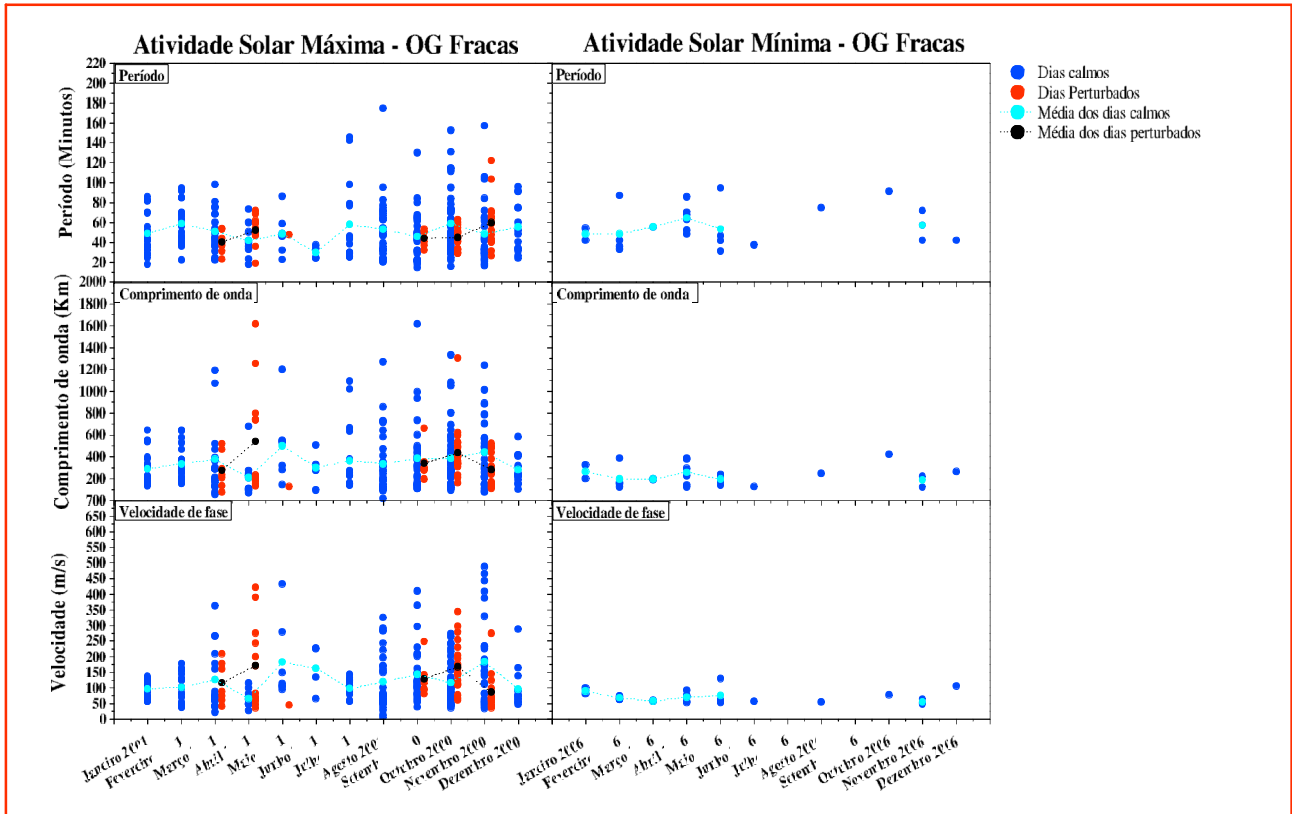


Figura 2 - Gráficos dos períodos, comprimentos de onda e velocidades das ondas de gravidade fracas para os meses de setembro, 2000 a agosto, 2001(atividade solar máxima) e de janeiro, 2006 a dezembro, 2006 (atividade solar mínima). Os pontos azuis claros, azuis, vermelhos e pretos indicam a média diária dos parâmetros para dias calmos, valores para dias calmos, valores para dias geomagneticamente perturbados e média diária dos parâmetros para dias perturbados, respectivamente.

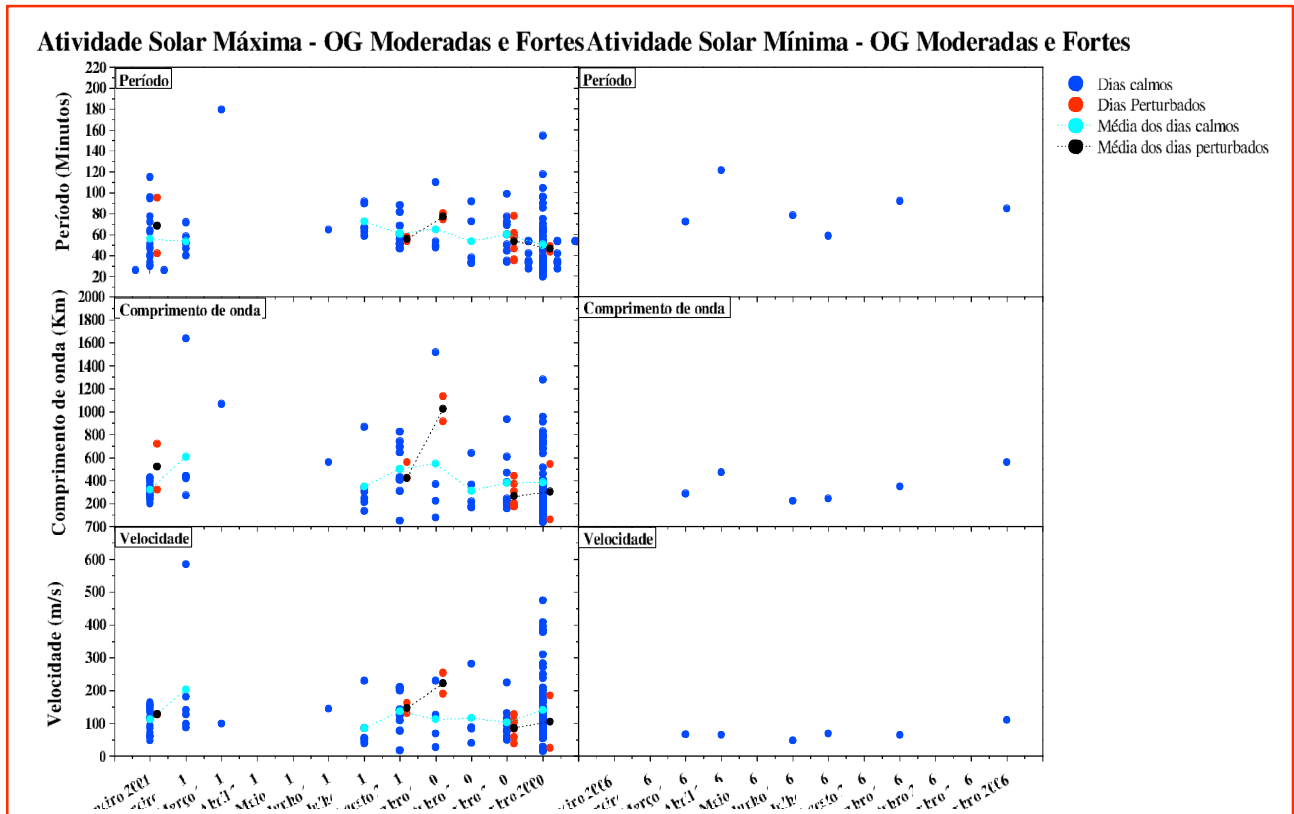


Figura 3 - Gráficos dos períodos, comprimentos de onda e velocidades das ondas de gravidade moderadas e fortes para os meses de setembro, 2000 a agosto, 2001 (atividade solar máxima) e de janeiro, 2006 a dezembro, 2006 (atividade solar mínima). Os pontos azuis claros, azuis, vermelhos e pretos indicam a média diária dos parâmetros para dias calmos, valores para dias calmos, valores para dias geomagneticamente perturbados e média diária dos parâmetros para dias perturbados, respectivamente.