

## VARIAÇÕES DA MARÉ DIURNA MERIDIONAL: UM ESTUDO COMPARATIVO

Júlio Mannuel TAVARES DINIZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Meteorologia, Depto. Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: Julio\_mannuel@hotmail.com

**RESUMO.** A partir do desenvolvimento de equipamentos e técnicas de pesquisas diversas ciências vêm apresentando nos últimos anos uma significativa evolução. Um exemplo dessas ciências é aquela que se destina ao estudo da dinâmica da atmosfera terrestre. A fim de contribuir para o conhecimento dos fenômenos atmosféricos o presente trabalho tem como objetivo o estudo das marés atmosféricas, observadas sobre Cachoeira Paulista-SP e em São João do Cariri-PB. Para esse estudo utilizou-se dados coletados por radares meteorológicos durante todo o ano de 2005. A partir da análise dos resultados verificou-se que as amplitudes das marés oriundas de Cachoeira Paulista-SP são superiores na maior parte do tempo as observadas em São João do Cariri-PB.

**Palavras-chave:** dinâmica da atmosfera; marés atmosféricas; radares meteorológicos.

**ABSTRACT.** *Variations of diurnal tide meridional: a comparative study.* From the development of equipment and research techniques various sciences have shown in recent years a significant evolution. An example those sciences is one that studies the dynamics of Earth's atmosphere. In order to contribute to the knowledge of atmospheric phenomena this work aims to study the atmospheric tides, observed over Cachoeira Paulista-SP and São João do Cariri-PB. For this study have been used data collected by meteor radars throughout the year 2005. From the analysis of the results it was found that the tides amplitude obtained in Cachoeira Paulista-SP are higher in most of the time that observed in São João do Cariri-PB.

**Keywords:** *dynamics of the atmosphere; atmospheric tides; meteor radar.*

### INTRODUÇÃO

Por se tratar de um sistema fluido, a atmosfera é capaz de suportar uma ampla variedade de movimentos que vão desde vórtices turbulentos de alguns metros a circulações possuindo dimensões da própria Terra. Sua descrição é bastante difícil visto que os movimentos atmosféricos podem redistribuir massa em uma variedade infinita de complexas configurações (SALBY, 1996).

A energia utilizada para alimentar os sistemas atmosféricos é proveniente da conversão da energia oriunda do Sol em energia mecânica (VIANELLO e ALVES, 1991). Em virtude da incidência de radiação solar não ser uniforme em torno do globo, verifica-se um acúmulo desigual de energia em pontos distintos da atmosfera (AHRENS, 2001). Na busca de alcançar um balanço de energia, originam-se na atmosfera uma série de perturbações denominadas de ventos médios, ondas de gravidades, ondas planetárias e marés atmosféricas.

Em particular, as marés atmosféricas são oscilações de escala global com origem associada aos efeitos gravitacionais da Lua e do Sol sobre a Terra (marés lunares) e a ação térmica do Sol

(marés solares). A ação térmica, principal forçante das marés atmosféricas, está ligada a absorção da radiação solar infravermelha pelo vapor de água na troposfera e pela absorção da radiação solar ultravioleta através do ozônio na estratosfera (MONTENEGRO et al., 2009).

Em altitudes elevadas, regiões em torno da mesopausa, as marés atmosféricas produzem importantes efeitos sobre os campos de temperatura, densidade e vento, como também influenciam diretamente na composição da atmosfera terrestre através do transporte vertical de constituintes (TOKUMOTO, 2007).

Assim como qualquer outro movimento oscilatório, uma importante propriedade das marés atmosféricas é o seu período (tempo necessário para uma oscilação completa). O período de oscilação das marés pode ser 24h (marés diurnas), 12h (marés semidiurnas) e 8h (marés terdiurnas). Independente do período e origem, quando acompanha o movimento aparente do Sol em torno da Terra as marés atmosféricas são denominadas de migrantes e quando esse fenômeno não é observado são intituladas de não-migrantes (LIMA, 2004).

A fim de contribuir para o avanço do conhecimento científico e desenvolvimento das geociências, particularmente a associada à dinâmica da atmosfera terrestre, o presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar as amplitudes das marés diurnas meridionais (sentido norte-sul) observadas sobre Cachoeira Paulista-SP e São João do Cariri-PB, durante todo o ano de 2005.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados para a elaboração desse trabalho foram obtidos mediante o uso de dois radares meteorológicos SKiYMET, desenvolvidos pela Genesis Software Pty e MARDOC Inc. Os radares são denominados meteorológicos em virtude da utilização da trilha meteórica como uma ferramenta para a obtenção das informações desejadas. Quando os meteoróides ingressam na atmosfera terrestre sofrem um processo de ablação em consequência do atrito com a atmosfera neutra produzindo uma trilha de elétrons livres conhecidas como trilha meteórica ou traço meteórico.

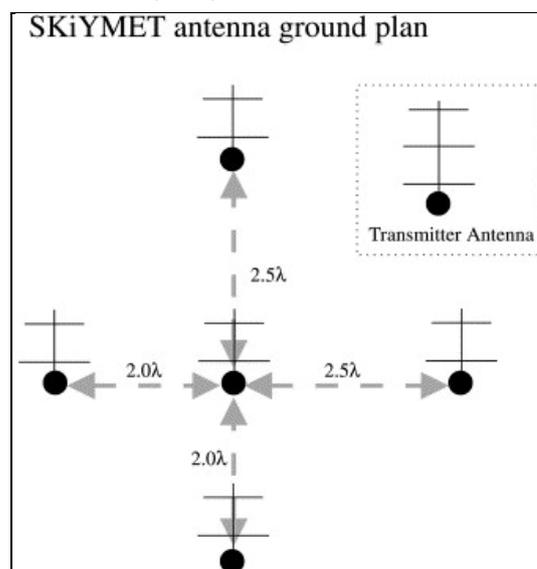
A utilização dos radares meteorológicos torna-se viável devido à atmosfera superior ser atingida diariamente por milhões de partículas sólidas provenientes do meio interplanetário. Essas partículas denominadas de meteoros adentram na atmosfera terrestre com velocidades médias que podem atingir por volta de 70 km/s.

Um radar (abreviação de Radio Detection and Ranging) constitui-se em equipamento que utiliza as ondas eletromagnéticas para identificar a distância, altitude, direção e velocidade de alvos em movimento ou fixo. Nesse trabalho o "alvo" é a trilha meteórica que se encontra imersa nos ventos médios. Portanto, a partir desse estudo são obtidas importantes informações acerca da dinâmica da alta atmosfera.

Os radares SKiYMET operam em uma frequência de transmissão de 35,24 MHz e em uma taxa de 2144 pulsos por segundo. Seu sistema de antenas é formado por uma antena transmissora Yagi de três elementos e por cinco antenas receptoras Yagi de dois elementos. Como mostra a Figura-1 as antenas estão dispostas no solo em forma de cruz assimétrica, de modo que os dois pares de antenas receptoras das extremidades distam  $2\lambda$  e  $2,5\lambda$  da antena central ( $\lambda$  é uma letra grega que representa nesse caso comprimento de onda). Essa configuração interferométrica possibilita a cobertura de todo o céu acima do horizonte e é capaz de detectar mais de 3000 meteoros por dia.

Os radares utilizados nesse trabalho estão instalados em Cachoeira Paulista-SP (22,7°S; 45°W) e São João do Cariri-PB (7,4°S; 35°W). Ambos os equipamentos têm como objetivo fornecer informações que possam ser utilizadas para compreender a dinâmica diária das marés atmosféricas diurnas, observadas nas altitudes de 81, 84, 87, 90, 93, 96 e 99 km. O presente trabalho faz uso de dados obtidos ao longo de todo o ano de 2005.

**Figura 1.** Disposição das antenas transmissoras e receptoras do radar meteorológico SKiYMET. Fonte: HOCKING et al. (2001)

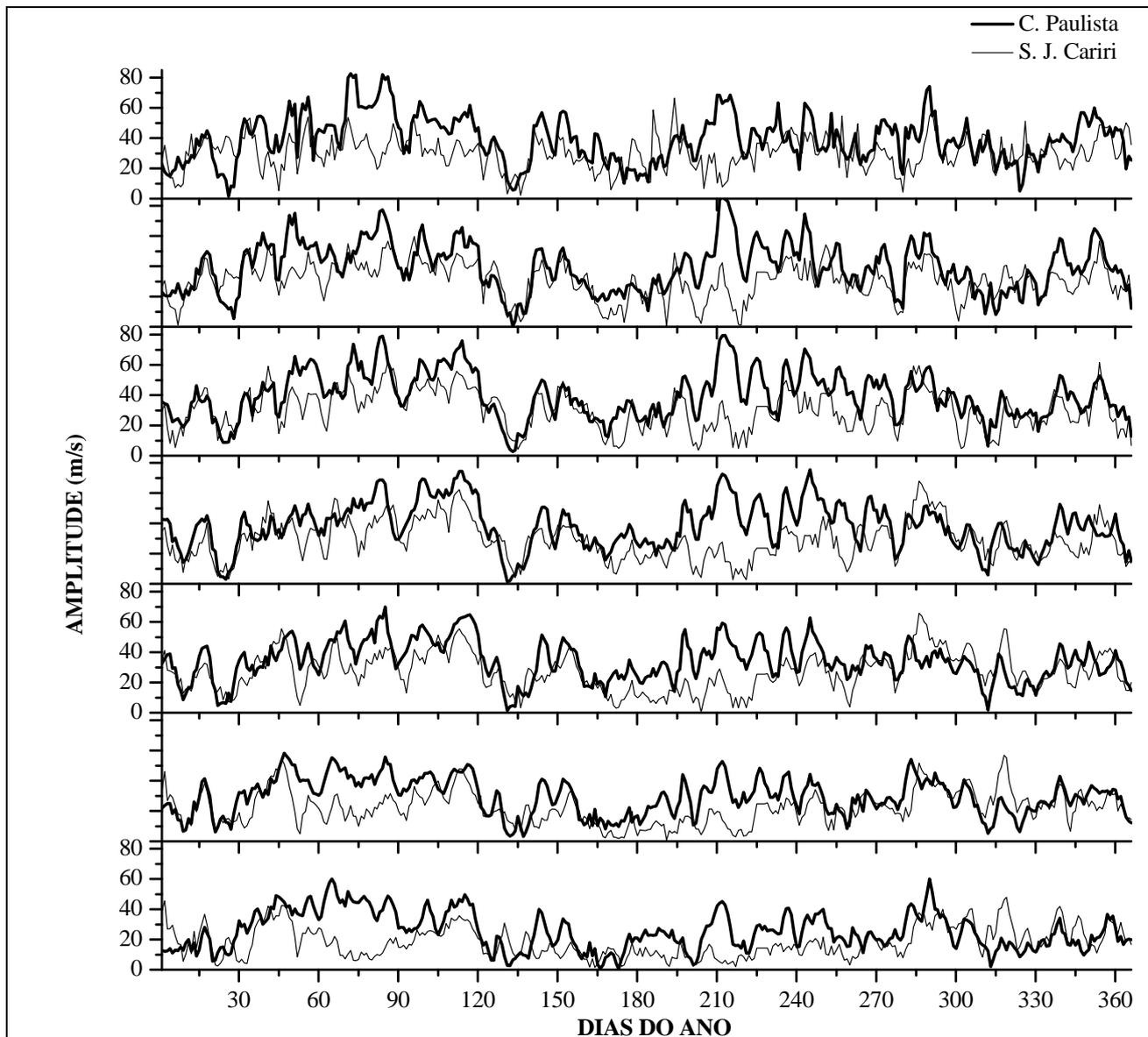


## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos pelos radares SKiYMET permitiram verificar as variações temporais e verticais das amplitudes das marés atmosféricas diurnas oriundas das altitudes de 81, 84, 87, 90, 93, 96 e 99 km. A Figura-2 mostra para essas altitudes o comportamento diário das marés diurnas meridionais observadas sobre Cachoeira Paulista-SP e São João do Cariri-PB durante todo o ano de 2005.

Ao comparar as magnitudes das marés meridionais obtidas nas duas localidades, constata-se que na maior parte do ano os valores oriundos de Cachoeira Paulista são ligeiramente maiores que os provenientes de São João do Cariri. Porém, como ocorre nas três primeiras altitudes em torno do dia 318, em determinados períodos a magnitude das marés oriundas de São João do Cariri são superiores as de Cachoeira Paulista.

**Figura 2.** Amplitudes da componente meridional da maré diurna observadas em São João do Cariri-PB (linha fina) e Cachoeira Paulista-SP (linha grossa), durante todo o ano de 2005.



A partir do comportamento diário das marés diurnas meridionais expostas na Figura-2 e sabendo-se que a latitude de Cachoeira Paulista é superior a de São João do Cariri cerca de 15 graus, pode-se supor que as amplitudes das marés atmosféricas tornam-se mais elevadas à medida que há um aumento da latitude. Borges (2010) observou o mesmo comportamento ao analisar uma maior amostra de dados proveniente de demais anos, porém, não é possível determinar com exatidão as causas desse fenômeno visto que poucas pesquisas foram realizadas pela

comunidade científica a respeito dessa variável, elevados custos de equipamentos e manutenção, principalmente envolvendo duas localidades. Portanto, estudos dessa natureza devem ser conduzidos a fim de verificar se a relação existente entre a latitude e as amplitudes das marés atmosféricas é observada em situações similares à desse trabalho.

Verifica-se também que de modo geral as amplitudes das marés meridionais crescem em ambas as localidades com o aumento da altitude. Esse resultado indica que há uma maior

disponibilidade energética em níveis mais elevados da atmosfera, propiciando movimentos mais acentuados que os oriundos de baixas altitudes (ANDREWS, 2010). Em Cachoeira Paulista esse fenômeno pode ser observado com clareza ao analisar a variação vertical das amplitudes das marés em torno do dia 210, e em São João do Cariri por volta do dia 195.

Em geral, pode-se dizer que nas regiões de estudo as amplitudes das marés diurnas meridionais apresentam variações sazonais com os maiores valores sendo verificados entre os meses de fevereiro-abril e entre agosto-outubro. Durante esses meses a magnitude da maré meridional chega a ultrapassar valores da ordem de 80m/s. De acordo com McLandress et al. (1996), em ambos os hemisférios as marés diurnas possuem máximas amplitudes nos meses em torno dos equinócios e mínimas nos solstícios.

As interações marés-ondas de gravidade e marés-ondas planetárias além da deposição de momentum devido à quebra de ondas atmosféricas foram apontadas como um mecanismo que causa a variação semi-anual das marés atmosféricas (McLANDRESS, 2002).

Nas duas localidades observa-se que as amplitudes das marés decaem abruptamente durante o mês de maio. Não é possível determinar com exatidão a natureza desse fenômeno em virtude das poucas informações disponíveis, entretanto acredita-se que essas variações de curto prazo são provenientes da interação das marés com outros distúrbios existentes na atmosfera (ondas planetárias, ondas de gravidades, etc.).

## CONCLUSÃO

Mediante a análise do comportamento diário das marés diurnas meridionais observadas sobre Cachoeira Paulista-SP e São João do Cariri-PB, conclui-se que as amplitudes apresentam variações sazonais em que os máximos ocorrem entre os meses de fevereiro-abril e entre os meses de agosto-outubro. Constatou-se também que na maior parte do tempo os valores provenientes de Cachoeira Paulista são superiores aos verificados sobre São João do Cariri, indicando uma suposta relação entre a latitude e as amplitudes das marés.

Variações de curto prazo (dia-a-dia, semanal) estão presentes em ambas as regiões em consequência das interações entre as marés e outros fenômenos presentes na atmosfera. Exemplo desse fenômeno foi o decaimento das amplitudes das marés nas duas localidades durante o mês de maio.

## REFERÊNCIAS

- AHRENS, C. D. **Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere**. 3 ed. New York: Brooks Cole, 2001. 463 p.
- ANDREWS, D. G. **An Introduction to Atmospheric Physics**. 2 ed. New York: Cambridge University Press, 2010. 249 p.
- BORGES, F. B. **Variações nas marés atmosféricas e nos ventos meteóricos observados em São João do Cariri-PB e em Cachoeira Paulista-SP**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.
- HOCKING, W. K.; FULLER, B.; VANDEPEER, B. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 63, p. 155-169, 2001.
- LIMA, L. M. **Observações de ondas planetárias na região da mesopausa equatorial e de baixas latitudes do hemisfério sul**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- McLANDRESS, C. The seasonal variation of the propagating diurnal tide in the mesosphere and lower thermosphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 59, p. 907-922, 2002.
- McLANDRESS, C.; SHEPHERD, G. G.; SOLHEIM, B. H. Satellite observations of thermospheric tides: Results from the Wind Imaging Interferometer on UARS. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n.2, p. 4093-4114, 1996.
- MONTENEGRO, S. O.; BURITI, R. A.; MEDEIROS, A. F.; LIMA, L. M. Estrutura das marés atmosféricas na região meteórica sobre o Cariri paraibano. **Physicae**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2009.
- SALBY, M. L. **Fundamentals of Atmospheric Physics**. Boulder: Academic Press, 1996. 627 p.
- TOKUMOTO, A. S. **Variabilidade de maré diurna na região de 80-100 km de altitude sobre Cachoeira Paulista (22,7 S; 45 O)**. 2007. 163 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2007.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.