

VARIABILIDADE DE LONGO TERMO DE COMPONENTES DE MARÉ E DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NA COSTA BRASILEIRA

Joseph Harari¹, Carlos Augusto de Sampaio França² & Ricardo de Camargo³

Joseph Harari¹ Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Cidade Universitária, CEP 05508-900. Tel 55 11 3091 6576. E-mail joharari@usp.br.

Carlos Augusto de Sampaio França² Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Cidade Universitária, CEP 05508-900. Tel 55 11 3091 6584. E-mail cafranca@usp.br.

Ricardo de Camargo³. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Cidade Universitária, CEP 05508-900. Tel 55 11 3091 4683. E-mail ricamarg@model.iag.usp.br.

RESUMO

A recuperação e análise de dados de nível do mar dos portos de Belém, Recife, Santos e Cananéia, Brasil, em escala de tempo decadal, permite determinar variabilidades sazonais, anuais e decadais do nível médio do mar e das componentes de maré, como M_2 e S_2 , as quais são associadas a fenômenos, provavelmente locais, ainda não claramente entendidos e estabelecidos. Por outro lado, os valores das tendências de variações do nível médio (relativo) do mar de longo termo desses portos estão em consonância com as variabilidades até agora registradas em vários portos em todo o mundo; a tendência do nível médio do mar no porto de Cananéia, com cerca de 40 cm / século, pode estar ocorrendo em toda costa brasileira.

Palavras Chaves : Costa Brasileira, Nível Médio Relativo do Mar, Componentes de Maré, Tendências decadais, Belém, Recife, Santos e Cananéia.

ABSTRACT

The recovery and analysis of sea level data from the ports of Belém, Recife, Santos and Cananéia, Brazil, in a decadal time scale, allows the determination of seasonal, annual and decadal variabilities of the mean sea level and of the tidal components, such as M_2 and S_2 , which are associated to phenomena, probably local, not yet clearly understood and established. On the other hand, values of trends of the (relative) mean sea level of these ports agree with the variabilities observed up to now in several ports around the world; the trend of the mean sea level in Cananéia, about 40 cm / century, may be occurring along the entire Brazilian Coast.

Keywords : Brazilian Coast, Relative Mean Sea Level, Tidal Components, Decadal trends,

Belém, Recife, Santos and Cananéia.

INTRODUÇÃO

Medições de nível do mar têm sido regularmente realizadas ao longo da costa brasileira e têm fornecido informações de grande relevância sobre variabilidades de longo período em dois aspectos principais: o nível médio do mar e as ondas de maré (Mesquita, 2003).

O nível médio do mar é calculado através de filtragens matemáticas das séries temporais, de modo a eliminar as oscilações de curto período, tais como as marés diurnas, semidiurnas, terdiurnas, etc... Interesse especial se encontra nas determinações dos níveis médios mensais, sazonais e anuais, os quais, em geral, fornecem importantes indicações sobre variações hidrodinâmicas sazonais e tendências de longo período.

As ondas de maré são extraídas dos registros, através da determinação de suas amplitudes e fases, a partir da análise harmônica das séries temporais de observações com ênfase nas frequências de maré. Nesse caso, há interesse específico nas componentes semidiurnas M_2 e S_2 , correspondentes aos efeitos principais da lua e do sol respectivamente, os quais são predominantes no potencial gerador de maré.

Registros de nível do mar de diversos portos da costa brasileira têm sido regularmente editados, filtrados e analisados, no Instituto Oceanográfico da USP (Mesquita & Harari, 1983; Harari & Camargo, 1995); resultados de interesse serão a seguir apresentados, para dois portos na costa Nordeste / Norte - Recife e Belém (Harari, Camargo & Gordon, 1994) - e dois na costa Sudeste - Cananéia e Santos (Mesquita, Harari & França, 1995; Harari &

Camargo, op. cit.). Os dados de maré de Cananéia são provenientes da Base do Instituto Oceanográfico da USP, os de Santos foram fornecidos pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) e os de Belém e Recife foram cedidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH).

MÉTODOS

As séries temporais horárias de nível do mar em Belém, Recife, Santos e Cananéia foram editadas após plotagem e verificação computacional através da técnica do teste harmônico, desenvolvida por Karunaratne (1980) e Franco (1982). Níveis médios diários, mensais, sazonais e anuais foram calculados com a aplicação de um filtro passa baixas baseado em médias móveis: denotando A_{24} como o valor médio de 24 observações, as séries de observações foram submetidas ao filtro $A_{24}A_{25}A_{25}$, de modo a remover as oscilações de maré (Godin, 1972).

Análises de maré de registros anuais foram realizadas através do método harmônico, com o cálculo das amplitudes e fases das componentes de maré e os níveis principais das marés (Franco & Harari, 1987; Franco, 1988).

Finalmente, todos os resultados dos cálculos de nível médio do mar e das análises de maré foram submetidos a análises estatísticas e espectrais, visando determinar suas tendências e oscilações mais importantes (Jenkins & Watts, 1968).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 fornece os resultados dos registros analisados, o número de anos com

observações e as tendências de longo termo do nível médio do mar e das amplitudes e fases das componentes M_2 e S_2 de maré.

	Nº de anos	Nível médio (cm/déc)	Amplitude da M_2 (cm/déc)	Fase da M_2 (°/década)	Amplitude da S_2 (cm/déc)	Fase da S_2 (°/década)
RECIFE (1946-1987)	38	5,432	0,070	2,200	0,090	2,600
BELÉM (1948-1987)	29	3,500	-1,100	0,600	-0,290	1,000
CANANÉIA (1954-1990)	37	4,046	0,470	-0,370	0,531	0,160
SANTOS (1944-1989)	46	1,132	-0,162	0,191	0,130	0,425

Tabela 1 – Tendências decadais do nível médio do mar e das constantes harmônicas das componentes de maré M_2 e S_2 , em Recife, Belém, Cananéia e Santos.

Os aspectos mais interessantes da tabela acima se encontram nos altos valores de elevação do nível médio do mar, principalmente o referente a Recife, que atinge 5,432 cm/década. Por outro lado, essas tendências devem ser cuidadosamente interpretadas, visto que são sobrepostas a oscilações de grande período, como pode ser observado na Figura 1, relativa às variações anuais do nível médio do mar em Recife. Ainda nesse porto, embora as amplitudes das componentes de maré M_2 e S_2 tenham pequenas tendências decadais, suas fases apresentam as variações mais elevadas, com 2,2 e 2,6 °/década. O Porto de Belém também apresenta variações acentuadas do nível médio do mar, com 3,5 cm/década, mas

nesse caso a M_2 e a S_2 possuem tendências significativas das amplitudes, ainda que negativas, com -1,10 e -0,29 cm/década (ver Figura 2, para a M_2).

Dentre os portos analisados na costa sudeste brasileira, o Porto de Cananéia possui a maior variabilidade decadal do nível médio do mar, com uma taxa ligeiramente menor que a de Recife, de 4,046 cm/década; entretanto, os aumentos de amplitude da M_2 e da S_2 são os mais expressivos, com 0,470 e 0,531 cm/década, respectivamente. Por outro lado, o Porto de Santos sofre uma acentuada influência de atividade humana, através de freqüentes dragagens, de modo que as tendências acima calculadas não refletem fenômenos essencialmente naturais; de fato, dentre os portos analisados, é o que apresenta a menor taxa de elevação do nível médio do mar, com apenas 1,132 cm/década; nesse porto, as taxas de aumento de amplitude das componentes de maré são também pequenas. Para efeito de comparação com os Portos da Costa Norte / Nordeste, e para novamente demonstrar a existência de significativas oscilações nos valores calculados, as Figuras 3 e 4 apresentam os valores anuais do nível médio do mar em Cananéia e da amplitude da M_2 em Santos.

Grande esforço tem sido realizado no sentido de interpretar as variabilidades mostradas e correlacioná-las com outras variáveis geofísicas, como por exemplo, a temperatura da atmosfera na superfície (Mesquita, Harari & França, 1995a; Mesquita, Harari & França, 1996). De fato, se considera a elevação da temperatura da atmosfera, decorrente do efeito estufa, como o agente primário, o qual gera derretimento de gelo nas calotas polares e aumento do volume da água do mar, com a conseqüente elevação do nível relativo do mar em latitudes tropicais e subtropicais; essa variação da coluna d'água, por sua vez, afeta a propagação das ondas de maré, produzindo variações de amplitude e de fase das

componentes. Em consequência disso, se têm outros efeitos importantes, como por exemplo, alterações na rotação da Terra, com correspondentes variações na duração do dia.

CONCLUSÕES

Concluindo, as observações do nível do mar em períodos longos, da ordem de décadas, juntamente com cuidadosas edições, filtragens e análises das correspondentes séries temporais, indicam que as componentes M_2 e S_2 possuem significativas variações de amplitude e fase em portos da costa brasileira e que o nível médio relativo do mar pode estar variando ao longo de toda a costa à razão de 40 cm/ século. Estes resultados podem resultar em importantes informações geofísicas e indicações de variações globais significativas na atualidade.

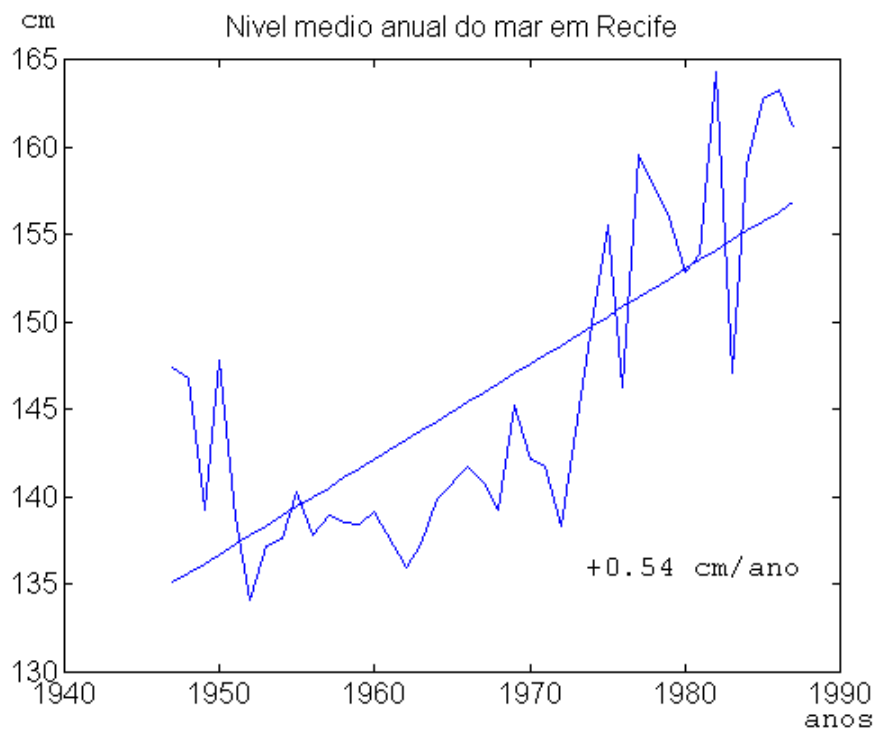


Figura 1 - Nível médio anual do mar em Recife.

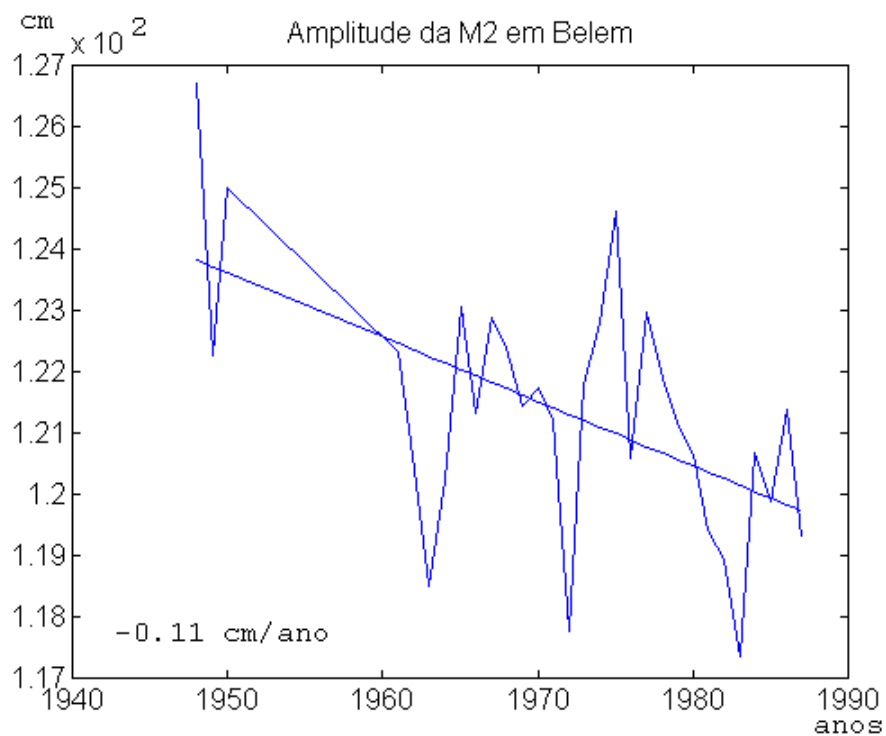


Figura 2 - Valores de amplitude da M_2 em Belém, a partir de análises de registros anuais.

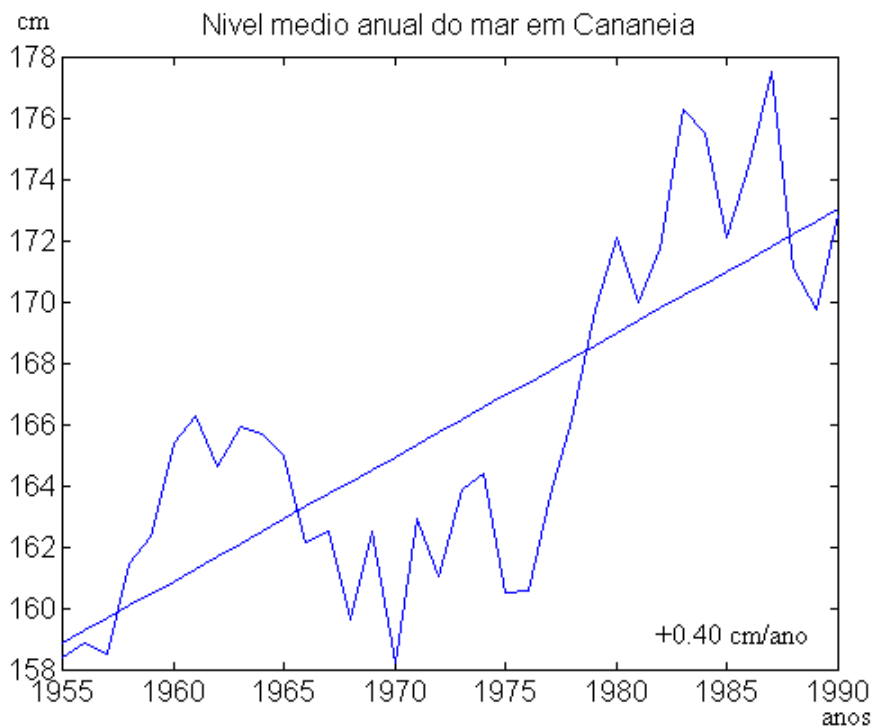


Figura 3 - Nível médio anual do mar em Cananéia.

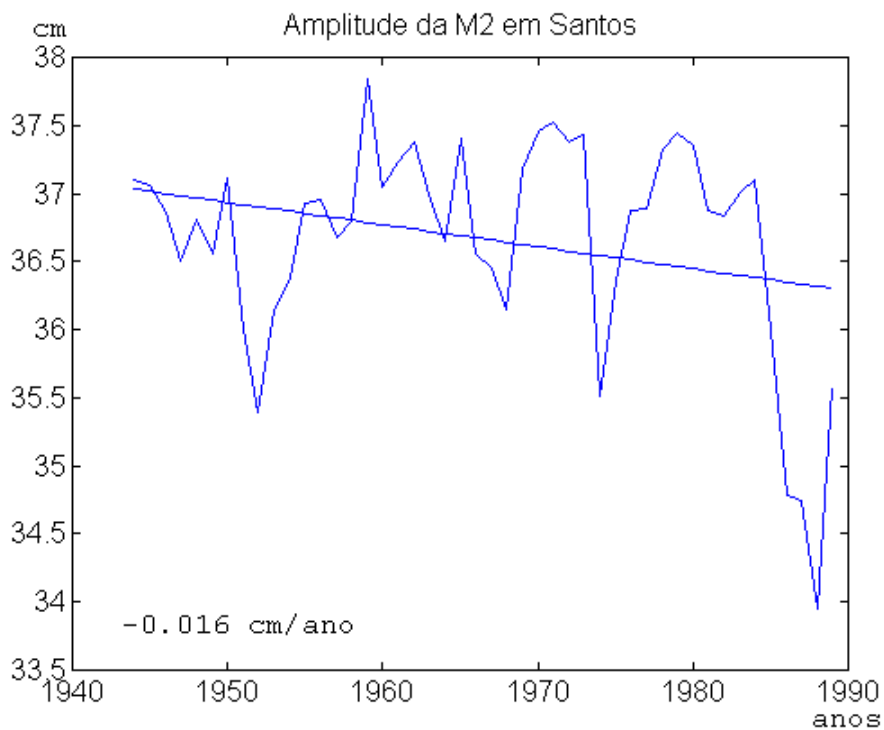


Figura 4 - Valores de amplitude da M_2 em Santos, a partir de análises de registros anuais.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo auxílio concedido para a contratação de técnico necessário à realização da

digitalização dos registros em papel de nível relativo do mar dos portos de Belém, Recife e Santos, o que tornou possível esta contribuição.

REFERÊNCIAS

Franco, A. S. - 1982 - "Au sujet de la méthode de vérification des hauteurs horaires de marée de Karunaratne" - *Révue Hydrographique Internationale*, Mônaco, LIX (1), p. 151-155.

Franco, A. S. - 1988 - "Tides - fundamentals, analysis and prediction" - 2nd. Ed, FCTH, S. Paulo, 249 p.

Franco, A. S. & Harari, J. - 1987 - "Computer programs for tidal data checking, correction, analysis and prediction by the harmonic method" - *Rel. int. Inst. oceanogr. Univ.S.Paulo*, 16, p. 1-65.

Godin, G. - 1972 - "The analysis of tides" - Liverpool University Press, 246 p.

Harari, J. & Camargo, R. - 1995 - "Tides and mean sea level variabilities in Santos (SP), 1944 to 1989" - *Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da USP*, n° 36, 15 p.

Harari, J. & Camargo, R. & Gordon, M. - 1994 - "On tides and mean sea level of Recife (8° 3.3' S 34° 51.9' W) and Belém (1° 26.2' S 48° 29.6' W)" - artigo publicado no *Afro-America Gloss News*, Revista do Global Sea Level Observing System (GLOSS), patrocinada pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), vol. 1 (2), p. 9 - 12.

Jenkins, G. M. & Watts, D. G. - 1968 - "Spectral analysis and its applications" - Holden-

Day, San Francisco, USA, 525 p.

Karunaratne, D. A. - 1980 - "An improved method for smoothing and interpolating hourly sea level data" - International Hydrographic Review, vol 57 (1), p. 145-158.

MESQUITA, A. R. – 2003 – “Sea level variations along the Brazilian coast: a short review” - Journal of Coastal Research, SI 35, p. 21-31.

Mesquita, A. R. & Harari, J. - 1983 - “Tides and tide gauges of Cananéia and Ubatuba - Brazil (lat. 24°)” - Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da USP, nº 11, 14 p.

Mesquita, A. R. & Harari, J. & França, C. A. S. - 1995 - “Interannual variability of tides and sea level at Cananéia, Brazil, from 1955 to 1990” - Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, nº 11, p. 11 - 20.

Mesquita, A. R. & Harari, J. & França, C. A. S. - 1995a - “Sea level variations in the Southern Brazilian coast: interdecadal scales” - artigo publicado no Afro - America Gloss News, Revista do Global Sea Level Observing System (GLOSS), patrocinada pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), vol 2 (1), p. 6 - 7.

Mesquita, A. R. & Harari, J. & França, C. A. S. - 1996 - “Global Change in the South Atlantic: Decadal and Intradecadal Scales” - Anais da Academia Brasileira de Ciências, vol. 68 (Supl. 1), p. 109 - 115.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Joseph Harari é Físico pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo e Professor Associado no Departamento de Oceanografia Física do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, onde é especializado na resolução numérica das equações hidrodinâmicas e análise de Marés.

Carlos Augusto de Sampaio França é Físico pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo e Doutor em Oceanografia Física no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, onde exerce as funções de Físico. É especializado no tratamento e análise de medições altimétricas do mar e solução das equações hidrodinâmicas no Atlântico Equatorial e Sul.

Ricardo de Camargo é Físico pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo e Doutor em Ciências Atmosféricas pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. É especializado na solução numérica das equações hidrodinâmicas da interface ar-mar.