

**Universidade de São Paulo  
Instituto Oceanográfico  
MAPTOLAB - Laboratório de Marés  
e Processos Temporais Oceânicos  
<http://www.mares.io.usp.br>**



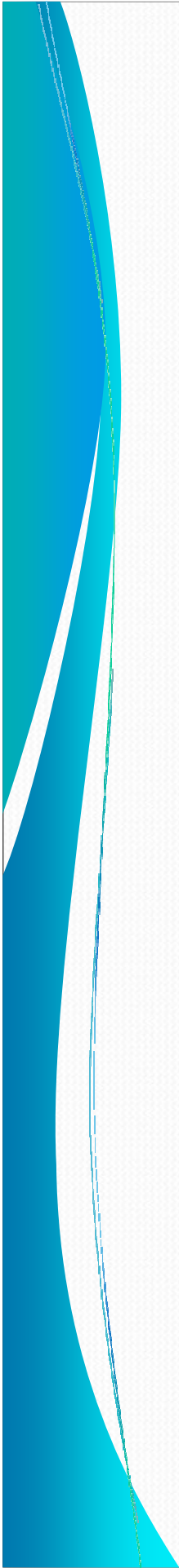
# **ANÁLISE DE EXTREMOS DO NÍVEL DO MAR DE CANANEIA, HONOLULU, ATLANTIC CITY, BALBOA, VIGO E SAN FRANCISCO**

**Afrânio Rubens de Mesquita;  
Cristiano de Salles Almeida;  
André Ribeiro Lopes da Silva;  
Mauro Sznclwar**

# INTRODUÇÃO

Foram analisados os dados de medições das séries horárias originais de nível do mar e da maré meteorológica (ressaca) e seus períodos de recorrência nos portos de Cananeia (50 anos), Honolulu (102 anos), Atlantic City (98 anos), Balboa (92 anos), Vigo (48 anos) e San Francisco (101 anos). Os dados horários desta apresentação foram obtidos no site da Universidade de Honolulu. Hawaii. Estados Unidos.

Os resultados da teoria de extremos exposta em Coles (2001), examinados nos dados acima, revelaram aspectos intrigantes relativos ao Nível Médio do Mar de Cananeia.



# MATERIAL E MÉTODOS



Foram submetidas à análise dados horários de todas as séries (Cananeia, Honolulu, etc.) produzindo com o software PACMARE (Franco , 2009) as seguintes séries:

- 1) série de valores extremos de mínimos de nível do mar de cada ano;
- 2) série de máximos de cada ano;
- 3) série de valores anuais do nível médio do mar;
- 4) série dos valores anuais dos desvios padrões do nível do mar;
- 5) séries dos valores extremos mínimos da maré meteorológica;

- 
- 6) série dos valores extremos de máximos da maré meteorológica;
  - 7) valores médios extremos da maré meteorológica;
  - 8) valores dos desvios padrões da distribuição da série de maré meteorológica;
  - 9) valores extremos mínimos da distribuição conjunta de maré prevista e maré meteorológica. Pugh & Vassie (1979).
  - 10) valores extremos máximos da distribuição conjunta.



## **Observações :**

**1 - a série residual, (meteorológica) é obtida pela subtração da série original de dados horários de nível do mar, da série prevista (astronômica), de dados horários de nível do mar de cada ano e de cada porto.**

**2 - foram produzidos os histogramas dos valores extremos das séries do nível do mar (originais) e das séries meteorológicas de cada ano e cada porto.**

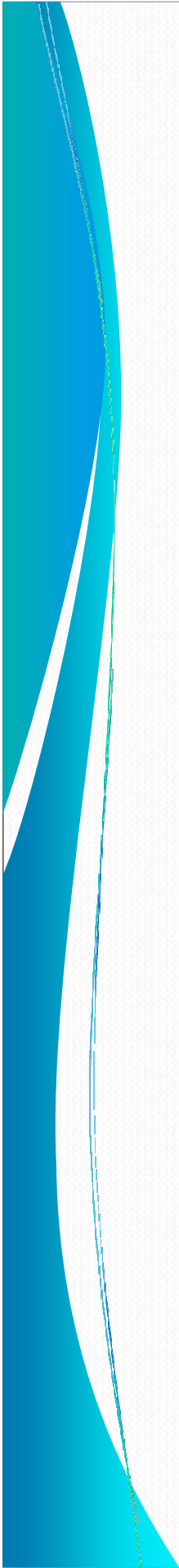
**3 - foram produzidos histogramas conjuntos das séries residuais (meteorológicas) e das séries previstas (astronômicas) de nível do mar de cada ano, para cada porto, (Franco et al 2009).**



4 - foram produzidas a **Matriz de Extremos para cada porto (Cananeia, Vigo, etc.)**, contendo os valores extremos de variáveis (das séries anuais), definidas a partir dos respectivos histogramas.

5 - foram produzidos **os histogramas de todas as séries de extremos** mostradas nas colunas da Matriz de Extremos, de forma a estimar visualmente as **caudas de cada ano e porto**.

6 - foram feitas **análises espectrais de todas as séries de extremos** contidas na Matriz de Extremos, de forma estimar e testar segundo Fisher (1929) (amplitudes e frequências) a ocorrência de **periodicidades decadais e intradecadais de cada porto**.



# RESULTADOS

# HISTOGRAMA DOS VALORES EXTREMOS

Foram produzidos histogramas dos extremos de cada coluna, (de cada série de valores extremos), como mostrado na Figura ao lado para o porto de Cananeia, que tem 50 anos de dados horários.

Tabelas similares foram preparadas, contendo os valores extremos para os portos de Balboa, Honolulu, Atlantic City, Vigo e de San Francisco.

A forma das caudas (Frèchet à esquerda; Weibull à direita e Gumble caudas simétricas) de histogramas similares, como a mostrada na Figura foram obtidas para cada série de cada porto deste estudo.

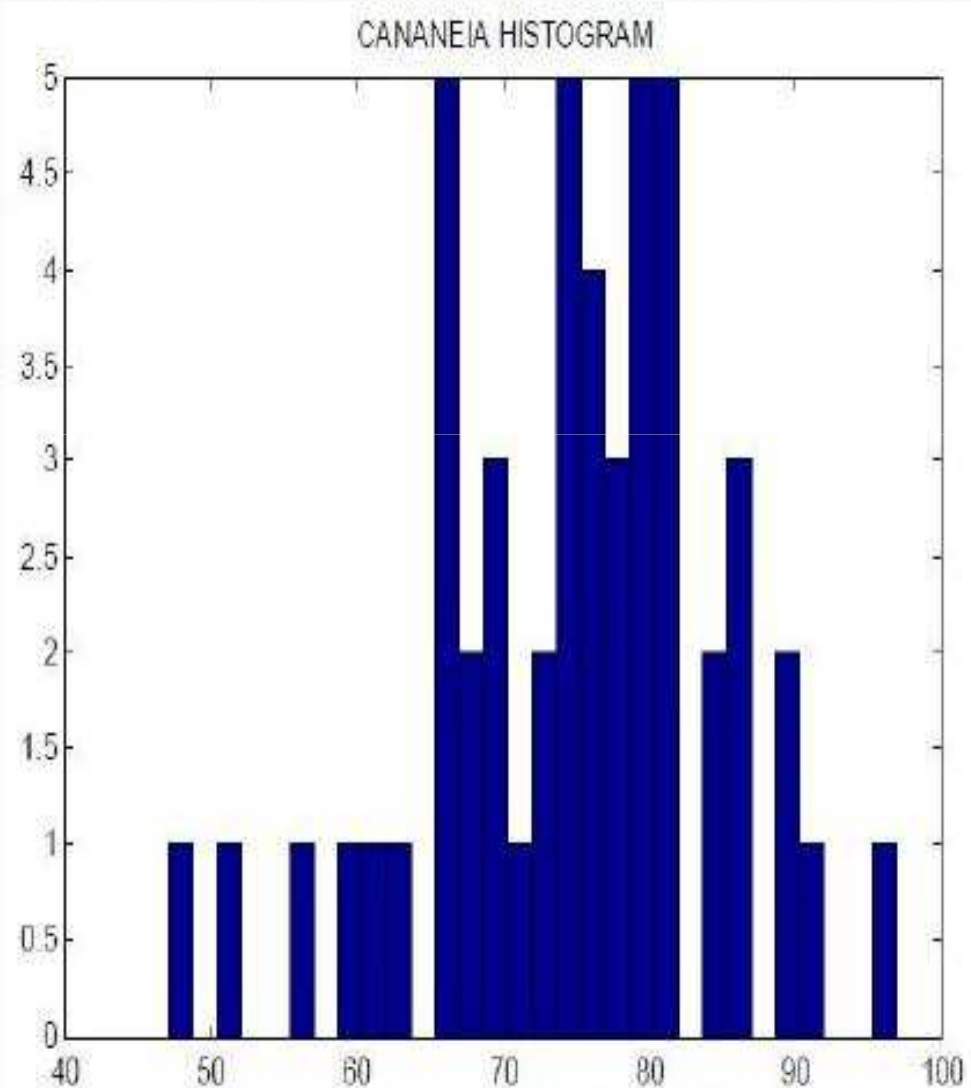
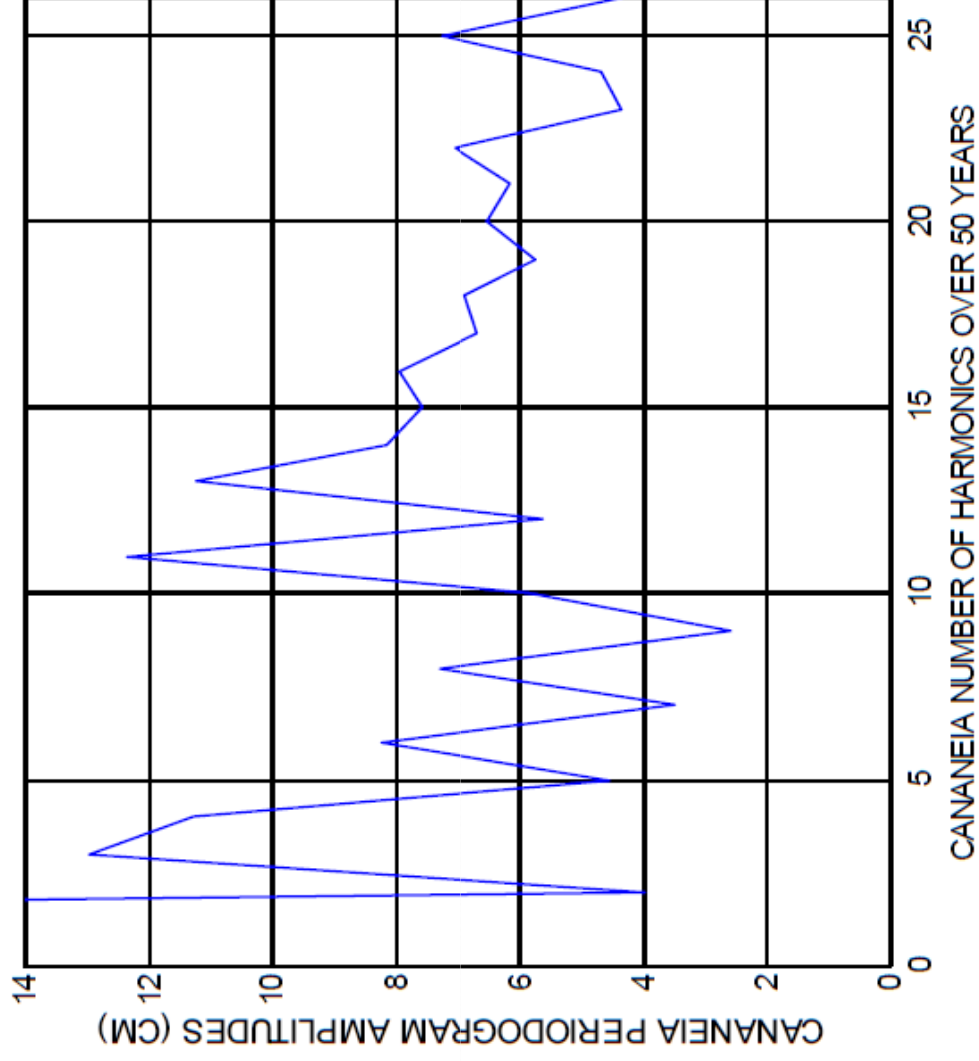


FIG 1 - BINS OF MINIMA EXTREMES OF PREDICTED SEA LEVELS

# CANANEIA PERIODOGRAM OF MINIMUM METEOROLOGICAL EXTREMES



# CAUDAS DOS HISTOGRAMAS

| Porto       | 1st   | 2d    | 3d    | 4th | 5th  | 6th   | 7th | 8th   | 9th   | 10th  |
|-------------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-----|-------|-------|-------|
| Balboa      | right | left  | right | mix | left | right | mix | right | left  | right |
| Cananeaia   | left  | left  | right | mix | left | right | mix | right | left  | right |
| S Francisco | right | right | right | mix | left | right | mix | right | left  | right |
| Honolulu    | left  | left  | left  | mix | left | right | mix | right | left  | right |
| AtlanCity   | left  | left  | right | mix | left | right | mix | right | left  | right |
| Vigo        | right | right | right | mix | left | right | mix | right | right | left  |

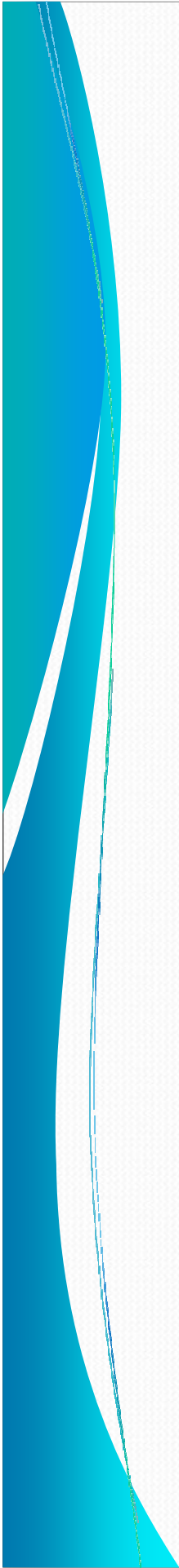
Vê-se que na quinta, sexta, sétima e oitava colunas, para os valores mínimos, máximos, média e desvio padrão dos extremos das séries residuais (meteorológicas), as caudas tem direções, à esquerda, ou à direita em todos os portos e portanto, estão de acordo com a Teoria (COLES, 2001).

Resultado similar é obtido para a distribuição conjunta dos dados de mínimos e de máximos extremos de previsão do nível do mar e de resíduo (meteorológico), nona e décima colunas, com exceção de Vigo, mostrados na nona e decima colunas.

A tabela ao lado mostra a direção das caudas dos histogramas segundo Coles (2001), construídos à partir dos dados dos portos de Balboa (Panama), Cananeaia (Brasil), San Francisco (EUA), Honolulu (Est Unidos), Atlantic City (Est Unidos) e Vigo (Espanha).

As caudas dos valores de NMM extremos mínimos e máximos da Primeira e Segunda colunas, não parecem se repetir para todos os portos. A terceira coluna, que corresponde aos valores de níveis médios do mar, apenas Honolulu tem cauda à esquerda (Fréchet).

A quarta coluna mostra que os valores do desvio padrão do nível do mar de todos os portos não tem caudas definidas, exibindo uma espécie de mistura de todas as caudas, sendo provavelmente distribuições de Gumble .



# RESULTADOS E DISCUSSÃO



Foi feita a análise espectral dos valores extremos mencionados (Séries 1,2,3,...,10) dos portos de Cananeia, Honolulu, San Francisco, Balboa, Atlantic City e Vigo. Os resultados dos espectros obtidos (amplitudes e frequências) foram submetidos ao teste de estatístico de Fisher (1929) para sua aceitação.

Na figura, são mostradas as amplitudes e frequências correspondentes ao “espectro” da série de valores mínimos de pressão atmosférica de Cananeia. Os valores da frequência, em abscissa, são indicados como “Número do Harmônico”. Sabendo-se que a série de nível do mar de Cananeia tem 50 anos, pode-se calcular a frequência de cada harmônico. Para isso é necessário notar que o harmônico fundamental tem a frequência de  $1/50$  ciclos/ano e que os números 3 e 4 da Figura, por exemplo, correspondem às frequências  $3 \times 1/50$  e  $4 \times 1/50$  ciclos por ano, que correspondem aos períodos  $50/3$  anos e  $50/4$  anos, portanto períodos decadais entre 16 e 12 anos, e assim por diante.



A cauda da distribuição de níveis extremos do Nível do Mar do porto de Cananeia, Honolulu e Atlantic City é à esquerda da média da distribuição (Fréchet), enquanto as caudas similares dos portos de Balboa, San Francisco e de Vigo são à direita (Weibull), como se vê abaixo:

Cauda das distribuições dos valores mínimos extremos do Nível do Mar dos portos de :

| • | Porto         | Cauda        | Distribuição |
|---|---------------|--------------|--------------|
| • | Balboa        | - à direita  | - Weibull    |
| • | Cananeia      | - à esquerda | - Fréchet    |
| • | San Francisco | - à direita  | - Weibull    |
| • | Honolulu      | -à esquerda  | - Fréchet.   |
| • | Atlantic City | - à esquerda | - Fréchet.   |
| • | Vigo          | - à direita  | - Weibull    |

As caudas dos valores extremos de máximos e do Nível Médio desses locais também não satisfazem a teoria de extremos, Coles ( 2001 ) . Entretanto, a teoria é satisfeita pelos extremos (máximos e mínimos) meteorológicos (ressacas) de todos esses locais, inclusive Cananeia.

# CONCLUSÕES

1 - Os valores mínimos e máximos dos extremos do nível astronômico previsto e os extremos (originais) do nível médio do mar de Cananeia, bem como os de todos os portos analisados, tem caudas variáveis, ora seguindo as de Fréchet e ora as de Weibull. Esse fato parece estar relacionado com a determinação inadequada das constantes harmônicas. Franco & Rock (1971). Isso também é visível nos valores extremos dos desvios padrões do nível do mar e é difícil ter-se certeza de que tenham, seja um tipo misto de cauda (Gumbel), de Fréchet ou de Weibull.

2 - A distribuição conjunta dos extremos mar e os meteorológicos, tanto os máximos, quanto os mínimos de Cananeia, não tiveram picos espectrais aprovados pelo Teste de Fisher, assim como a distribuição do desvio padrão dos valores extremos da série residual. No entanto, os valores extremos dos outros portos (San Francisco, Balboa,...etc) tiveram amplitudes de picos espectrais da distribuição conjunta, que passaram no Teste de Fisher, indicando a ocorrência de periodicidades decadais e intra decadais em todos os seus valores extremos. O fato pode ser indicativo de que a série de nível do mar de Cananeia sofre efeitos meteorológicos de maior monta, comparada com as demais séries analisadas.



3 - Para um período de retorno de 200 anos a série de Cananeia, mostrou um nível de retorno de valores (médios) de extremos máximos no valor de 260 cm e de valores (médios) de extremos mínimos de 75 cm, em relação ao nível médio do mar, que atualmente é cerca de 180 cm.

Levando-se em conta que nesse período o Nível do Mar deverá aumentar cerca de 40 cm a cada ano, a previsão é a de que em futuro próximo, a cidade de Cananeia poderá ser submetida a uma invasão do mar bastante preocupante.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag . London Limited. 208p.

Fisher, R, A. (1929). Tests of Significance in Harmonic Analysis.Proc. Roy. Soc.,ser.A. 125:54-59.

Franco, A. dos Santos & Rock, N. J. (1971). The fast Fourier Transform and its Application to Tidal Oscillations. Bolm Inst. oceanogr., S. Paulo, 20(1):455-199.

Franco, A. dos S. (2009). Programas de Análise e Previsão de Marés. PacMare. Marés Fundamentos, Análise e Previsão com contribuição de João Bosco Alvarenga.2d Edição Niterói,Rio de Janeiro.DHN.344 p.

Pugh, D. & Vassie, I.(1979). Extreme Sea Levels from Tide Gauge & Surge Probability . Proc 16th Coastal Engineering Computation. Hamburg , 1978, Vol 1 pp 911-930.



OBRIGADO!!!

ORA! ORA!