



ANÁLISE COMPARATIVA DE FILTROS PASSA- BAIXA PARA A OBTENÇÃO DE NÍVEIS NÃO ASTRONÔMICOS INFRAMARÉ PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA DA ILHA FISCAL-RJ

*Eduarda Pinto Borba¹
Gregório Luiz Galvão Teixeira²
Alexandre Luiz Coelho³
Fabíola Valéria Barreto Teixeira⁴
Rodrigo de Souza Barreto Mathias⁵ e
Alessandro Mendonça Filippo⁶*

RESUMO

O nível não-astronômico (NnA) é uma componente no nível do mar resultante de forçantes em escalas sazonais, sub-inerciais e outras com períodos de horas até 3 dias. Embora existam diversos métodos para se estimar NnA, os três métodos mais utilizados são aplicados a uma série temporal de nível do mar registrada em 1 ano, e finalmente, comparado. Essa comparação teve como objetivo verificar quais dos métodos se apresenta mais adequado. Os resultados foram analisados por meio de gráficos no domínio do tempo e de variáveis estatísticas para cada série filtrada isoladamente e análises em pares de séries. Pelos resultados, verificou-se que há uma alta similaridade entre aqueles oriundos do filtro de Thompson e da transformada inversa de Fourier, e, portanto, estes obtiveram o mesmo nível de recomendação. Por outro lado, o filtro de Godin resultou em dados com grande dispersão e alta perda de energia.

¹ Graduanda em Oceanografia Física pela UERJ.

² Oceanógrafo Físico e Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES. Doutorando pela UFRJ. Professor do CIAARA.

³ Doutor em Oceanografia Física pela USP. Professor do CIAARA.

⁴ Professor Associado-Meteorologia. Graduada na UFRJ, com mestrado em Ciências Atmosféricas pela COPPE e doutorado em Modelagem Computacional no Laboratório Nacional de Computação Científica.

⁵ Capitão-Tenente (T). Meteorologista e Mestre em Meteorologia pela UFRJ. Professor do Magistério Militar Naval no CIAARA.

⁶ Oceanógrafo. Doutor em Geociências pela UFF. Professor da Faculdade de Oceanografia da UERJ



Palavras-chave: NnA, Filtros Digitais, Análise estatística e Série temporal de nível do mar.

ABSTRACT

The non-astronomical level (NnA) is a component at sea level resulting from forcings at seasonal, sub-inertial and other scales with periods of hours up to 3 days. Although there are several methods to estimate NnA, the three most used methods are applied to a time series of sea level recorded in 1 year, and finally compared. This comparison aimed to verify which of the methods is more suitable. The results were analyzed through time domain graphs and statistical variables for each series filtered separately and analysis in pairs of series. Having the results, it was found that there is a high similarity between the results from the Thompson filter and the inverse Fourier transform, and, therefore, they obtained the same level of recommendation. On the other hand, the Godin filter resulted in data with large dispersion and high energy loss.

Keywords: NnA, Digital Filters, Statistical Analysis and Sea Level Time Series.

1. INTRODUÇÃO

A maré meteorológica corresponde a uma variação do nível médio do mar junto à costa causada por efeitos meteorológicos. Comumente, essa oscilação não-astronômica é comparada com o regime de ventos local e com a variação da pressão atmosférica. A escala de tempo desse fenômeno pode ser relacionada diretamente com os sistemas atmosféricos sinóticos. O período das oscilações do nível não-astronômico (NnA) é de algumas horas a meses (MELO, 2017), o que pode ter tanto valores negativos quanto

positivos. Os fatores meteorológicos, como também topográficos do local vão ditar os valores dessas oscilações.

Uma das maneiras de se obter o nível não-astronômico a partir de dados de nível do mar, registrados por um marégrafo, é subtraindo a maré astronômica prevista dos valores observados. O resultado positivo (sobre-elevação do nível) pode causar inundações e destruição de estruturas. Já o negativo (rebaixamento), pode causar problemas para navegação como, por exemplo, encalhamentos (ALMEIDA et al., 2009).

A zona costeira é influenciada por agentes oceânicos, atmosféricos e continentais, motivo pelo qual, ela é particularmente sensível às mudanças climáticas. O aumento na frequência de frentes frias pode, por consequência, aumentar a ocorrência de oscilações do NnA. Isso pode acarretar, por exemplo, no agravamento de erosão costeira (NEVES; MUEBE, 2008).

No caso de ocorrer a conjunção da maré meteorológica com a ocorrência de ressacas, há maior probabilidade de danos à costa. Pode vir a ocorrer a destruição das estruturas costeiras, inundações urbanas, assoreamento de canais, acidentes de navegação, inundações de píeres e marinas, rompimento da amarra dos barcos, entre outros, o que pode levar a alterações nas zonas costeiras, e grandes prejuízos à população e aos ecossistemas das regiões afetadas.

A importância do conhecimento das oscilações periódicas do nível médio do mar e dos parâmetros meteorológicos torna-se fundamental para a segurança da navegação, e para evitar impactos diretos nos aspectos logísticos, bem como esforços adicionais em obras costeiras. É de extrema importância a evolução das adaptações costeiras de acordo com as novas condições oceanográficas e meteorológicas.

A banda de interesse deste trabalho é a banda do NnA, que segundo Melo (2017),



é composta de 3 sub-bandas, sendo a Sazonal, a Meteorologia e a de Tempestade, em períodos decrescentes.

Além da obtenção do NnA estraves da subtração da maré prevista, é possível retirar de maneira significativa a maré astronômica por meio de filtros digitais para se obter as oscilações não-astronômicas com frequências inframaré, ou seja, períodos maiores que a maré. Estas oscilações serão o foco deste trabalho.

Nesta pesquisa, foram usados três métodos de filtragens diferentes, que apresentam cortes distintos de separação desta banda. A aplicação do filtro passa-baixa (FPB) ajuda a retirar as componentes de alta frequência dos níveis do mar, que aqui serão considerados como ruídos na série.

Tais comparações são para analisar o filtro mais adequado para a extração da banda não astronômica. Os três métodos utilizados foram o Filtro do Godin (Franco, 2009; Thompson, 1983), Thompson (Thompson, 1983) e a Transformada Inversa de Fourier (Thomson & Emery, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Comparar quali-quantitativamente os três métodos de filtragem por meio de parâmetros estatísticos, a fim de se obter o filtro mais adequado para a extração do NnA de uma série temporal de nível do mar observada na Estação Maregráfica da Ilha Fiscal (EMIF).

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos objetivos específicos, a saber:

- Conduzir uma revisão bibliográfica sobre os métodos de filtragem;
- Analisar a integridade dos dados de nível do mar da EMIF;

- Implementar e/ou aplicar os 3 filtros passa-baixa;

- Analisar graficamente os resultados dos filtros;

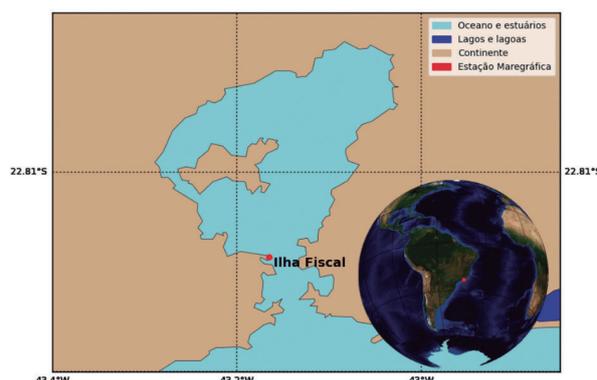
- Comparar quantitativamente os resultados através de variáveis estatísticas descritivas e soluções gráficas.

- Caracterizar o NnA da EMIF no período analisado.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de trabalho

A EMIF se encontra no Sistema Estuarino da Baía de Guanabara.



3.2 Dados

Como já citado anteriormente, as elevações do nível de mar foram obtidas na EMIF, localizada na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. A estação em questão é dotada de um marégrafo de radar. Os dados de alturas do nível do mar observados abrangem todo ano de 2016.

Esses dados foram adquiridos através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos do Centro de Hidrografia da Marinha (BNDO/CHM) e possuem uma taxa de amostragem horária, resultando em 8784 elementos de altura. O espectro de energia desses dados está presente na Figura 1 abaixo, na qual, é

possível observar nitidamente as bandas astronômicas com frequências a partir de aproximadamente 1 ciclo por dia (cpd).

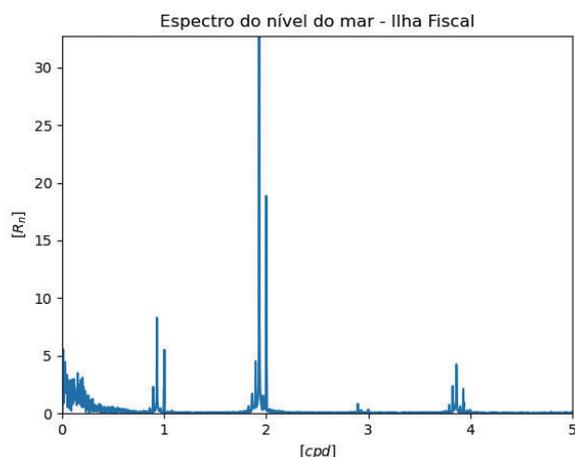


Figura 1 - Conjunto composto por manequim, macacão e colete salva vidas rastreável pelo equipamento Globalstar's SmartOne Solar

3.3 Estatística

O conjunto de dados da série foi utilizado para avaliar estatisticamente a relação entre cada método.

3.3.1 Desvio padrão

O desvio padrão é calculado com base na população inteira dada como argumentos. O desvio padrão é uma medida do grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio.

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde, \bar{x} é a média de amostra MÉDIA (núm1, núm2,...) e n é o tamanho da amostra.

3.3.2 Correlação de Pearson

O uso do coeficiente de correlação determina a relação entre duas propriedades. Nesse trabalho, correlacionamos os métodos entre si, em função da

covariância, de dois em dois, para avaliar se há uma relação linear entre os níveis não-astronômicos.

A equação para o coeficiente de correlação é:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Onde, \bar{x} e \bar{y} são as médias de amostra MÉDIA (matriz1) e MÉDIA (matriz2).

3.3.3 Dispersão

O gráfico de dispersão, nesse trabalho, foi usado para ilustrar a relação entre os dados do nível não-astronômico entre os métodos.

3.4 Filtros digitais

3.4.1 Filtro Godin (fg)

Ao invés de fazer de hora em hora, normalmente, é usada a versão na qual, os dados horários são suavizados uma vez usando a média móvel de 25 pontos (25hr) e duas vezes usando a média móvel de 24 pontos (24hr), filtrando aproximadamente 73hr de alturas horárias. Os dados extremos da série são excluídos, aproximadamente, 35 pontos (35hr). Porém, esse filtro não remove toda a energia do período das marés, uma vez que engloba uma faixa de frequência de curto período (diurno) (Franco, 2009; Thompson, 1983;).

3.4.2 Filtro Thompson (ft)

Nesse filtro, o resultado é baseado na frequência inferior e na frequência superior desejadas, preservando as baixas frequências, e nas frequências de Fourier, ou seja, filtragem no domínio do tempo, mas utilizando as frequências. São usados alguns parâmetros como: período maior, período



menor, intervalo de aquisição e número de pesos (Thompson, 1983).

3.4.3 Filtro Transformada Inversa de Fourier (Ftif)

O terceiro método empregado para a manutenção dos dados da banda não-astronômica foi o uso da transformada inversa de Fourier. Por meio das frequências de Fourier, foram definidas as bandas com base na literatura (Melo, 2017; Pugh, 1987), na qual, apenas componentes de maré de longo período foram escolhidas para reconstituir. Logo, foram retiradas todas as bandas acima de 0,852cpd. Esse método, como visto, usa apenas um valor de período (Thomson & Emery, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado da estatística realizada neste trabalho é por meio de gráficos de dispersão e tabelas. Devido ao processo de filtragem, o período concomitante de comparação dos dados foi de 22/01/2016 08:00P até 10/12/16 15:00P.

Como podemos observar, os gráficos de dispersão abaixo são responsáveis por medir a conformidade, mostrando os filtros que estão em maior conformidade. Analisando a figura 2 e sabendo que o coeficiente de determinação varia de 0 até 1, concluímos que são os dados de Fourier e de Thompson que mostram uma relação mais linear.

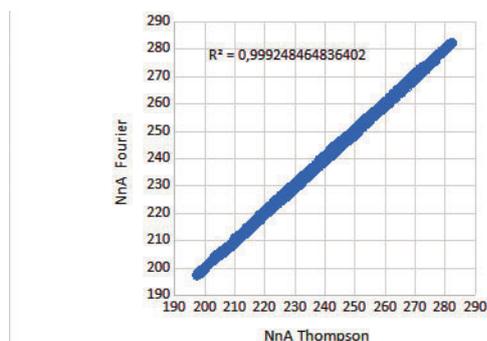


Figura 2 - dispersão conjunta de dois níveis não-astronômicos obtidos pelos métodos de Fourier e Thompson

Numa análise gráfica de distribuição, temos a dispersão conjunta de dois níveis não-astronômico obtidos por pares de métodos. Esses gráficos mostram quanto linearmente um gráfico pode explicar o outro. Os gráficos dos métodos de Fourier e de Thompson quando analisados conjuntamente com Godin, mostram uma dispersão muito grande.

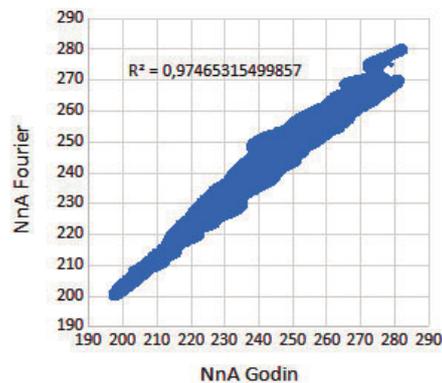


Figura 3 - dispersão conjunta de dois níveis não-astronômico obtidos pelos métodos de Fourier e Godin

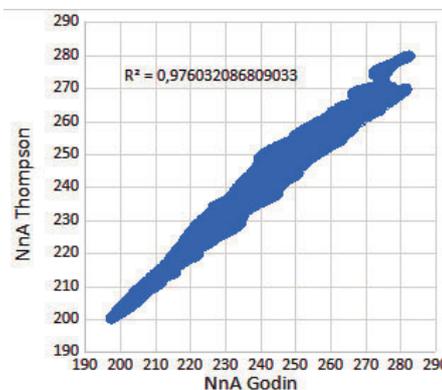


Figura 4 - dispersão conjunta de dois níveis não-astronômico obtidos pelos métodos de Fourier e Godin

O filtro de Godin, por ser uma aproximação, como proposto por Franco (2009), pode resultar numa filtragem menos eficaz, a qual resulta em dados com variabilidades diferentes, fazendo com que a variabilidade do Nna de Godin se apresente menor do que a de Fourier e de Thompson.

Portanto, observa-se um maior coeficiente de determinação no gráfico de dispersão do NnA de Fourier e Thompson, com



uma menor dispersão dos dados entorno do eixo principal. Mostrando, com isso, uma maior conformidade entre os dados e a melhor explicação mútua deles.

Quando calculada a correlação entre os dados da série dos três métodos, foi possível analisar que os de Thompson e Fourier estão mais próximos em relação a Godin, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 1. Tabela de resultados das equações analíticas para cada um dos eixos com valores de comprimento dos eixos, períodos calculados e o empilhamento de água.

Correlações	Valores
Fourier x Thompson	0.999624162
Fourier x Godin	0.987245
Godin x Thompson	0.987943

A tabela 2 contém os valores de desvio padrão, nos quais, podemos observar que o filtro de Godin apresenta o desvio padrão menor, mas no gráfico de dispersão, o espalhamento dos dados é maior, além de ter um coeficiente de determinação menor.

O desvio padrão dos filtros de Fourier e Thompson apresenta uma coerência muito visível, visto que a diferença entre o desvio padrão está na segunda casa depois da vírgula. Logo, mostra a grande proximidade em relação ao desvio dos dados.

Tabela 2. Tabela de resultados das equações analíticas para cada um dos eixos com valores de comprimento dos eixos, períodos calculados e o empilhamento de água.

Métodos	Desvio Padrão
Fourier x Thompson	14.36488
Godin	13.14434
Thompson	14.35418

O gráfico abaixo mostra a conformidade entre os dados, porém a filtragem de Godin retirou muita energia dessa banda, a

partir da qual, se observa menores amplitudes. Entretanto, observa-se que os filtros de Fourier e de Thompson estão bem casados. É possível analisar uma maior amplitude ocorrendo entre a hora 6851 e 6841 de, aproximadamente, 80cm.

O nível médio das séries obtidas foi de 236,89 cm. O maior valor do NnA foi de aproximadamente 281cm e ocorreu entre a hora 6851 e 6841. Já o menor valor da série foi de, aproximadamente, 198cm e ocorreu na hora 6841, aproximadamente.



5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo o teste de métodos de filtragem para a obtenção do NnA. A partir das análises gráficas e estatísticas, verificou-se que as filtragens obtidas por FT e FTIF resultaram em valores desvios dos dados próximos com uma alta correlação, que pode ser provada pela Correlação de Pearson e pelo coeficiente de determinação do gráfico de dispersão. Por outro lado, a utilização do FT resultou em uma significativa redução de energia da banda não astronômica e uma grande dispersão dos dados comparativamente com os NnA obtidos pelo FT e FTIF. Isso pode estar relacionado com o método de implementação. Dessa maneira, sugere-se ambos FT e FTIF como métodos de filtragem adequados para se obter o NnA de períodos superiores aos períodos principais da maré.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PUGH, D. (1987) Tides, Surges and Mean Sea-Level. John Wiley, London.

ALMEIDA, A. et al. Análise das Marés Meteorológicas em Leixões. 6as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, n. Outubro, 2009.

THOMPSON, R.O.R.Y. Low-Pass Filters to Suppress Inertial and Tidal Frequencies. Journal of Physical Oceanography, 1077- 1083, 1983.

MELO F^o, E. Maré Meteorológica na Costa Brasileira, Tese Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande, 328 p, Abril 2017.

THOMSON, R.E., and EMERY, W.J. Data Analysis Methods In Physical Oceanography. Elsevier. 3^o edition. Oxford, 2014.

NEVES, C.; MUEBE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. [s.l: s.n.].

FRANCO, A. A., Marés: Fundamentos, Análise e Previsão. DHN, 2^o edição. Niterói, 2009.

