

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS - IRN**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E  
RECURSOS HÍDRICOS – MEMARH**

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL MÉDIO DO MAR  
(NMM) EM UBATUBA (SP) A PARTIR DE DADOS  
MAREGRÁFICOS**

**SAMUEL SOARES VALENTIM**

**Itajubá, fevereiro de 2012**

**SAMUEL SOARES VALENTIM**

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL MÉDIO DO MAR  
(NMM) EM UBATUBA (SP) A PARTIR DE DADOS  
MAREGRÁFICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Orientador:** Professor Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes

**Co-Orientador:** Professor Dr. Marcelo Dottori (IOUSP)

ITAJUBÁ, MG

2012

**SAMUEL SOARES VALENTIM**

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL MÉDIO DO MAR  
(NMM) EM UBATUBA (SP) A PARTIR DE DADOS  
MAREGRÁFICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes (UNIFEI)

---

Prof. Dr. Marcelo Dottori (IOUSP-USP)

---

Prof. Dr. Claudio Freitas Neves (COPPE-UFRJ)

---

Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu (UNIFEI)

## DEDICATÓRIA

Ao meu pai e parceiro,  
*Antônio José Martins Valentim,*  
A minha abençoada e doce mãe,  
*Zilá Martins Soares Valentim,*  
e minha amada Vó,  
*Neuza Martins Valentim.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

A meus pais pela educação, valores e todo apoio ao longo da minha formação e vida.

A minha família, e nela cito minha amada Vó Neuza como figura presente e ativa ao longo da minha educação. E ao meu irmão, André, pelo companheirismo.

A minha “segunda” família, ou seja, meus amigos. Aos eternos “ZG’s” (Arthur, Diego, Buco, Rô...). Aos amigos (as) paraenses, maranhenses e mineiros que estão no coração! Ao amigo e irmão boliviano, Jaime Rodriguez, pela sua amizade, cumplicidade e lealdade.

Ao povo brasileiro, que financiou, em grande parte, meus conhecimentos.

A UNIFEI e MEMARH pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento pessoal e acadêmico.

A secretária Magda por toda ajuda e paciência ao longo do mestrado.

Ao Co-Orientador Marcelo Dottori, pela grande contribuição na aquisição e análise dos dados. Sua ajuda foi fundamental para o desenvolvimento da dissertação.

Ao Professor e Orientador Marcos Bernardes, pela sua orientação, paciência, bom astral, e ajuda ao longo desse mestrado.

Ao projeto REDELITORAL, pela oportunidade de participação de um grupo interdisciplinar e pela concessão de bolsa junto a CAPES.

A CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa.

## RESUMO

O presente estudo tem por objetivo geral avaliar a variação do nível médio do mar (NMM) na região costeira de Ubatuba (SP) a partir de dados maregráficos. Dentre os objetivos específicos, destacam-se a estimativa de tendências de variação do nível do mar e do NMM, além da correlação entre os dados de intensidade do vento remoto e a variação do NMM. O período analisado vai de 1/1/1978 a 31/12/2000, a partir de registros maregráficos coletados na base do IOUSP em Ubatuba (SP). A série temporal de nível do mar foi dividida em três períodos: i) 1978-1983; ii) 1987-1993 e 1994-2000, sendo que em 1984 e 1985 não houve dados, enquanto os de 1986 apresentaram anomalias, sendo ambos descartados da análise ora apresentada. Após a análise de tendência do NMM, foram removidas a média e a tendência do conjunto original de dados, de modo que foram preenchidos com zeros os períodos em que havia lacunas. Utilizou-se o filtro de passa-baixa cosseno de Lanczos de 40 horas, em que foram feitas duas filtrações consecutivas, cada uma com 41 pesos, seguida pela posterior aplicação de análise espectral no domínio da frequência. Para os dados de intensidade de vento, foi considerado um ponto de grade do Projeto *Reanalysis*, do modelo global NCEP/NCAR, localizado na região marinha adjacente à área de estudo. Para o cálculo da correlação cruzada, o filtro aplicado aos dados de vento e de NMM teve uma janela de 36 horas, uma vez que os dados de vento são estimados a cada 6 horas. Na análise de correlação cruzada entre os ventos paralelo e perpendicular à costa com o NMM, que contou com a inclusão de graus de liberdade, foram obtidos os respectivos coeficientes de correlação. Os resultados da análise de tendência indicam uma subida do NMM nos períodos de 1977-1983 e de 1987-1993, e para uma descida do NMM para o 3º período (1994-2000). Os resultados indicam que houve a remoção completa das componentes semidiurna e diurna de maré astronômica ao longo dos três períodos. O vento paralelo à costa apresentou um coeficiente de correlação máximo em torno de 0,6, com 99% de confiança estatística. Os resultados de correlação do vento perpendicular e nível não foram significativos. Com isso, conclui-se que o vento paralelo pode afetar o NMM com uma confiança estatística de 99% e que o Transporte de Ekman deve ter um papel importante na modulação do NMM na área da região costeira de Ubatuba (SP).

## ABSTRACT

The main goal of this study is to evaluate the mean sea level (MSL) oscillations in the coastal region of Ubatuba (Sao Paulo state, southeastern Brazil) based on tide gauge data. Other objectives involve estimating sea level and MSL trends and correlating remote wind velocity and its relationship with MSL oscillations. Sea level data were collected from 1/1/1978 to 12/31/2000 at Sao Paulo University Oceanographic Institute station in the city of Ubatuba. MSL series was split into three periods: i) 1978-1983; ii) 1987-1993 and 1994-2000, since that no data was available during 1984 and 1985, whereas 1986 data was corrupted. Thus, these years were discarded of the following results. After MSL trends analysis, average and trends were removed, in order to ensure that missing data were substituted by zeros. A cosine Lanczos low-pass filter of 40 hours was applied to the series in two consecutive filterings, both with 41 weights each, being followed by a spectral analysis on the frequency domain. Wind velocity data were extracted from a grid point of NCEP/NCAR Reanalysis Project. For the cross-correlation analysis, applied to wind velocity and MSL, a 36-hour window was applied, given that wind data are calculated at every 6 hours. For the cross-correlation analysis, between wind velocity and MSL, statistical degrees of freedom were taken into account in order to define the resulting correlation coefficients. Trend analysis indicated a MSL rise for the periods of 1977-1983 and 1987-1993, and MSL decline for the period (1994-2000). Results indicate that semidiurnal and diurnal astronomic tide components were removed from the energy spectrum of the three periods considered. Parallel wind and MSL presented maximum cross-correlation coefficients around 0.6, with a statistical confidence of 99%. On the other hand, cross-correlation coefficients between perpendicular wind and MSL were not significant. Therefore, it is concluded that a wind blowing parallel to the coast may affect MSL with a 99% statistical confidence and that the Ekman Transport may be most likely mechanism which modulates the MSL in the coastal area of Ubatuba.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da área de estudo, do marégrafo e do ponto de grade Reanalysis (NCEP/NCAR). .....	5
<b>Figura 2:</b> Localização da base do IOUSP em Ubatuba, assim como da estação maregráfica. ....	6
<b>Figura 3:</b> Zona de Convergência do Atlântico Sul, bem configurada, em 26 de janeiro de 2004. Imagem Infravermelho Goes-12. ....	8
<b>Figura 4:</b> A plataforma continental sudeste (profundidades em metros). ....	9
<b>Figura 5:</b> Esquema de Maré de Desigualdades Diurnas. ....	10
<b>Figura 6:</b> Principais forçantes meteoceanográficas que influenciam o nível do mar, em termos energéticos, nas várias escalas espaço-temporais. ....	11
<b>Figura 7:</b> Escalas espacial e temporal de fenômenos atmosféricos e oceanográficos. ...	13
<b>Figura 8:</b> Série de 6 anos (1978-1983) de dados horários da estação maregráfica de Ubatuba (SP). Em cinza escuro, a variação dos dados brutos e, em vermelho, as variações do nível após filtragem. ....	16
<b>Figura 9:</b> Forças geradoras das marés. ....	25
<b>Figura 10:</b> Marés de Sизigia e Marés de Quadratura. ....	26
<b>Figura 11:</b> Caso idealizado de centros de alta e baixa pressão (AP e BP) em regiões costeiras, com “empilhamento” de água na costa (Figura 11A) e rebaixamento do nível do mar na costa (Figura 11B). As setas pretas indicam o vento superficial, enquanto as setas vermelhas representam a resultante do transporte de Ekman (hemisfério sul) na superfície (90° do vento) Fonte: Camargo (2011). ....	28
<b>Figura 12:</b> Espiral de Ekman para o Hemisfério Norte. Adaptado de Thurman (1996). 29	
<b>Figura 13:</b> Curva de resposta do filtro de Lanczos. A curva em vermelho representa a curva do filtro após a dupla filtragem (41 pesos). ....	44
<b>Figura 14:</b> Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1978-1983. ....	51
<b>Figura 15:</b> Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1987-1993. ....	52
<b>Figura 16:</b> Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1994-2000. ....	52
<b>Figura 17:</b> Análise de tendência do NMM, utilizando o 2° método, para o 1° período (1978-1983). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear. ....	53
<b>Figura 18:</b> Análise de tendência do NMM, utilizando o 2° método, para o 2° período (1987-1993). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear. ....	54
<b>Figura 19:</b> Análise de tendência do NMM, utilizando o 2° método, para o 3° período (1994-2000). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear. ....	54
<b>Figura 20:</b> Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao primeiro período (1978-1983). ....	57
<b>Figura 21:</b> Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao segundo período (1987-1993). ....	58
<b>Figura 22:</b> Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao terceiro período (1994-2000). ....	59



- Figura 23:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao primeiro período (1978-1983). ..... 59
- Figura 24:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao segundo período (1987 -1993). .... 60
- Figura 25:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao terceiro período (1994-2000)...... 60
- Figura 26:** Coeficientes de correlação (máximo) obtidos através da análise de correlação cruzada entre nível e vento paralelo. A reta possui bolas vermelhas (atraso 0h, em fase) e quadrados pretos (indica atraso -6h, "liderança" do vento sobre o nível). As linhas tracejadas (verde e azul) representam os coeficientes mínimos de correlação para obter 95% e 99% de confiança, respectivamente ..... 62
- Figura 27:** Coeficientes de correlação (máximo) obtidos através da análise de correlação cruzada entre nível e vento perpendicular. A reta contínua (preta) representa os valores de coeficiente máximo do vento perpendicular e o quadrado (vermelho) representa o ano que obteve pelo menos 95% de confiança. As linhas tracejadas (verde e azul) representam os coeficientes mínimos de correlação para obter 95% e 99% de confiança, respectivamente..... 63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Localização (coordenada geográfica) e informações da estação maregráfica de Ubatuba/SP.....	6
<b>Tabela 2:</b> Escala temporal das principais perturbações encontradas em registros de nível do mar e eventuais consequências.....	17
<b>Tabela 3:</b> Projeções de tendência de elevação do NMM em diferentes localidades do Brasil e Global. Os asteriscos (* e **) apenas representam que a análise foi realizada na mesma localidade, mas em períodos distintos.....	21
<b>Tabela 4:</b> Número de marégrafos que existem ou existiram ao longo dos 17 estados costeiros do Brasil.....	22
<b>Tabela 5:</b> 20 estações maregráficas do Estado de São Paulo, sua localização geográfica, e nível médio correspondente a cada período analisado.....	23
<b>Tabela 6:</b> Massas da Terra, da Lua e do Sol e distâncias dos dois corpos celestes a Terra.....	24
<b>Tabela 7:</b> Valores da estatística básica para cada ano da série temporal filtrada.....	38
<b>Tabela 8:</b> Análise dos filtros de passa-baixa mais comumente utilizados na Oceanografia.....	40
<b>Tabela 9:</b> Pesos do filtro cosseno de Lanczos (41 pesos), para a primeira filtragem, calculados para a análise da série temporal dos dados maregráficos.....	42
<b>Tabela 10:</b> Pesos do filtro cosseno de Lanczos (41 pesos), para a segunda filtragem, calculados para a análise da série temporal dos dados maregráficos.....	43
<b>Tabela 11:</b> Alguns trabalhos que utilizaram dados do modelo global do NCEP/NCAR em estudos ao longo da costa brasileira.....	45
<b>Tabela 12:</b> Divisão da série maregráfica em três períodos.....	46
<b>Tabela 13:</b> Alguns trabalhos que utilizaram a análise espectral cruzada em estudos do NMM.....	47
<b>Tabela 14 (a e b):</b> Pesos do filtro Cosseno de Lanczos (3 e 6 pesos), primeira filtragem e segunda filtragem, respectivamente, calculados para a análise de correlação cruzada.....	48
<b>Tabela 15:</b> Coeficientes de correlação de 5% e 1% de níveis de significância para vários graus de liberdade.....	49
<b>Tabela 16:</b> Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1978-1983.....	50
<b>Tabela 17:</b> Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1987-1993.....	50
<b>Tabela 18:</b> Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1994-2000.....	51
<b>Tabela 19:</b> Valores dos coeficientes de regressão linear para cada período analisado.....	53
<b>Tabela 20:</b> Valores dos coeficientes de regressão linear, utilizando o 2º método, para cada período analisado.....	55
<b>Tabela 21:</b> Tabela comparativa entre os dois métodos de análise de tendência.....	55
<b>Tabela 22:</b> Valores de resposta para o filtro de Lanczos, utilizado neste trabalho.....	56
<b>Tabela 23:</b> Coeficientes de correlação (máximo) entre NMM e ventos paralelo e perpendicular para cada ano da série temporal, com seu devido atraso (h).....	62

# ÍNDICE ANALÍTICO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	I
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	II
<b>RESUMO</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	V
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	VII
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1. 1. ASPECTOS GERAIS</b> .....	1
<b>1. 2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>1. 2.1. Objetivo Geral</b> .....	3
<b>1. 2.2. Objetivos Específicos</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	4
<b>2.1. Área de Estudo</b> .....	4
<b>2.1. Descrição Climática</b> .....	7
<b>2.3. O Ambiente Oceanográfico</b> .....	8
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	11
<b>ABORDAGEM FENOMENOLÓGICA</b> .....	11
<b>3.1. Escalas Espaço-Temporais de Fenômenos Meteorológicos e Oceanográficos</b> .....	11
<b>3. 2. Nível do Mar</b> .....	14
<b>3. 3. O Nível Médio do Mar</b> .....	15
<b>3. 3.1. Variação temporal do NMM</b> .....	18
<b>3. 3.2. A Influência dos Fenômenos Atmosféricos sobre o NMM</b> .....	19
<b>3. 3.3. Projeções de tendência de elevação do NMM</b> .....	20
<b>3. 4. Marégrafos na Costa Brasileira</b> .....	21
<b>3. 5. Marés Astronômicas</b> .....	23
<b>3. 6. Marés Meteorológicas e os efeitos de rotação terrestre</b> .....	27
<b>3.7. Climatologia de Frentes Frias</b> .....	30
<b>3.8. Técnicas de Análise de Dados</b> .....	32
<b>3.8.1. Dados Meteorológicos: Reanalysis NCEP/NCAR</b> .....	32
<b>3.8.2. Análise Espectral</b> .....	33

<b>3.8.3. Análise de Fourier</b> .....	36
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	37
<b>METODOLOGIA</b> .....	37
<b>4. 1. Análise de tendência para o NMM</b> .....	37
<b>4. 2. Filtragem Numérica</b> .....	39
<b>4.2.1. Curva de Resposta do Filtro</b> .....	41
<b>4. 3. Dados Meteorológicos</b> .....	44
<b>4.4. Dados Maregráficos</b> .....	45
<b>4. 5. Análise Espectral</b> .....	46
<b>4. 5.1. Atenuação dos Ruídos do Sinal</b> .....	47
<b>4. 6. Correlação Cruzada</b> .....	47
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	50
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	50
<b>5.1. Análise de tendência de variação do NMM</b> .....	50
<b>5.2. Resposta do Filtro Cosseno de Lanczos</b> .....	56
<b>5. 3. Análise Espectral</b> .....	57
<b>5. 4. Correlação Cruzada: NMM X Ventos paralelo e perpendicular à costa</b> .....	61
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	65
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	68
<b>ANEXO A</b> .....	77

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1. 1. ASPECTOS GERAIS

As mudanças climáticas são um dos principais temas não apenas ambientais, mas também sócio-econômicos, da atualidade. A sua compressão requer uma abordagem interdisciplinar, além de diferentes tipos de dados de campo. Comumente, destacam-se temas como o aquecimento global, e suas derivações, ou seja, aumento da temperatura do ar, o derretimento de calotas polares, variabilidade no nível do mar, e alterações na magnitude e intensidade de fenômenos naturais, dentre outros.

Há uma sinergia complexa entre ar-mar que é representada pela interação das forçantes oceanográficas, meteorológicas e antrópicas. Alterações na temperatura da superfície do mar (TSM) geram mudanças nos sistemas meteorológicos de diferentes escalas, como por exemplo, o regime de ventos que são os formadores das ondas, as quais fazem parte da dinâmica praial. Ainda sim, modificações na intensidade, direção e pista de atuação dos ventos podem proporcionar um empilhamento das águas ao longo da costa, aumentando o nível do mar previsto, o que pode causar impactos na zona costeira.

Resultados do quarto relatório de avaliação do IPCC (AR4, 2007) apontam para um aumento da temperatura do ar variando de 1,1° a 6,4°C para o atual século, o que pode resultar numa elevação do nível do mar entre 18 e 59 cm. Esta elevação é variável ao longo do globo, existem regiões com menores e maiores cotas altimétricas, além da influência de fatores dependentes da eustasia, isostasia, meteorológicos e astronômicos. Estudos a respeito da variabilidade do nível do mar tornam-se relevantes diante o risco real que as regiões costeiras sofrem diante suas características e pelo crescimento do adensamento populacional.

O nível médio do mar (NMM), ou o nível do mar observado, 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., que têm

períodos típicos da ordem de algumas horas, até componentes de maior período, como as quinzenais e mensais. Neste trabalho, serão considerados fenômenos de “baixa” frequência todos aqueles com duração superior a 40 horas (e frequência inferior a 0,6 ciclos por dia – cpd).

Apesar de o Brasil possuir uma extensa costa, com 17 estados costeiros, e um enorme potencial de pesquisa científica, existem poucas observações contínuas e de longo período do nível do mar. Há esforços da Marinha do Brasil (ex. DHN), investimentos e interesses de pesquisa de empresas (ex. Petrobras, principalmente), e algumas instituições, com destaque ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). No mais, o que se encontra são interesses isolados em algum registro devido ao processo de licenciamento de um terminal portuário ou empresas locadas nas regiões costeiras. O programa GLOSS-BRASIL que compreende as atividades relacionadas ao monitoramento do NM em águas jurisdicionais brasileiras, é composta por uma rede cooperativa de instituições públicas e privadas, as quais, algumas estão citadas acima, que operam, financiam, mantêm estações de medição do NM e/ou participam de várias atividades referentes aos objetivos desse programa.

Registros de nível do mar em diversos portos da costa brasileira têm sido regularmente editados, filtrados e analisados, no IOUSP desde 1954 (MESQUITA & HARARI, 1983). Recentemente, foi criado o Laboratório de Dados do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LabDados), que é responsável pela aquisição e distribuição dos dados meteorológicos e marinhos coletados nas bases do Instituto em Cananéia e Ubatuba. O LabDados dispõe de séries temporais de temperatura, pressão atmosférica e nível do mar, entre outras variáveis, algumas delas com início de coletas no ano de 1954, porém estes dados ainda estão em processo de validação para em seguida serem disponibilizados, conforme citado em seu site (<http://labdados.io.usp.br/index.html>).

Este estudo é parte do projeto REDELITORAL (<http://www.redelitoral.ita.br/>), o qual visa gerar subsídios para a consolidação e atualização de conhecimentos na área de impactos das mudanças climáticas globais em sistemas costeiros locais, bem como contribuir para uma melhor compreensão dos processos de mitigação e adaptação da sociedade a estas alterações, com ênfase na infra-estrutura instalada em regiões costeiras

do Litoral Norte de São Paulo. O projeto tem caráter inter e transdisciplinar, abrangendo pesquisadores com experiência em Oceanografia Física, Gerenciamento Costeiro, Obras Portuárias, Estrutura e Materiais, Modelagem Ecológica e Espacial e Economia Ambiental (REDELITORAL, 2010).

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo 1, encontram-se os objetivos do presente estudo; no capítulo 2, é feita a descrição da área de estudo; no capítulo 3 é feita a abordagem teórica dos fenômenos físicos que se relacionam às mudanças climáticas, dando ênfase na dinâmica do nível do mar, objeto deste estudo.. No capítulo 4 é descrita a metodologia utilizada: filtragem numérica de séries temporais, dados oceanográficos e meteorológicos; análise espectral (no domínio do tempo e da frequência); análise de correlação cruzada e de tendência. No capítulo 5, são apresentados os resultados e no capítulo 6, as conclusões e recomendações.

## **1. 2. OBJETIVOS**

### **1. 2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a influência de fenômenos meteoceanográficos, de período superior a 40 horas, na variação do nível médio do mar (NMM) na região costeira de Ubatuba (SP), durante o período de 1978 a 2000.

### **1. 2.2. Objetivos Específicos**

- Estimar as tendências de variação temporal do NM e do NMM;
- Avaliar o filtro de passa-baixa de Lanczos de 40 horas na remoção de fenômenos de “alta” frequência, considerados neste estudo como aquelas com frequência superior a 0,6 cpd;
- Aplicar e interpretar uma correlação cruzada entre os dados maregráficos e meteorológicos (intensidade do vento);
- Inferir a influência da intensidade das componentes paralela e perpendicular do vento em relação à costa, na variação do NMM.

## CAPÍTULO 2

### DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo se localiza ao longo do litoral norte do Estado de São Paulo, coberta pelas seguintes coordenadas geográficas, latitudes de 23°26'02" até 23°46'41" S e longitudes de 45°04'16" até 45°24'47" W. O marégrafo, onde foram coletados os dados a serem analisados neste trabalho, está localizado na enseada do Flamengo (km 250), no município de Ubatuba (23°30,0' S e 45°07,3' W). A região de estudo se situa numa área de transição climática entre os sistemas atmosféricos intra e extratropicais, apresentando maior atuação dos sistemas tropicais e grande atividade frontal (MONTEIRO, 1973 e SANT'ANNA NETO, 1990). Este trecho do litoral paulista apresenta-se muito recortado, com presença de *escarpas festonadas*<sup>1</sup> que, em muitos casos, terminam diretamente sobre o oceano. Desenvolvida em sua maior parte num pacote de sedimentos do quaternário, a planície costeira aliada às estruturas da Serra do Mar é dominada por costas altas, intercaladas por pequenas planícies e enseadas, que formam praias de bolso (SANT'ANNA NETO, 1993). Compreendendo os municípios de Ubatuba, Caraguatatuba, Ilhabela e São Sebastião sua área distribui-se em sentido NE-SW comprimida entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico (Figura 1). Tal característica será levada em conta na análise do efeito do vento sobre o NMM, de modo que sejam estimadas as componentes paralela e perpendicular do vento em relação à costa.

O litoral norte de São Paulo vem passando por grandes transformações nas últimas décadas, principalmente devido ao enorme incremento populacional (ex. segunda habitação) e aos investimentos pelas empresas da área energética (ex. Petrobras) e de terminais portuários. Segundo o último censo do IBGE, a população desse trecho do litoral paulista é estimada em 280.000 habitantes (IBGE, 2010), ocupando uma área de 1950 km<sup>2</sup>. O município de Ubatuba apresentou um crescimento

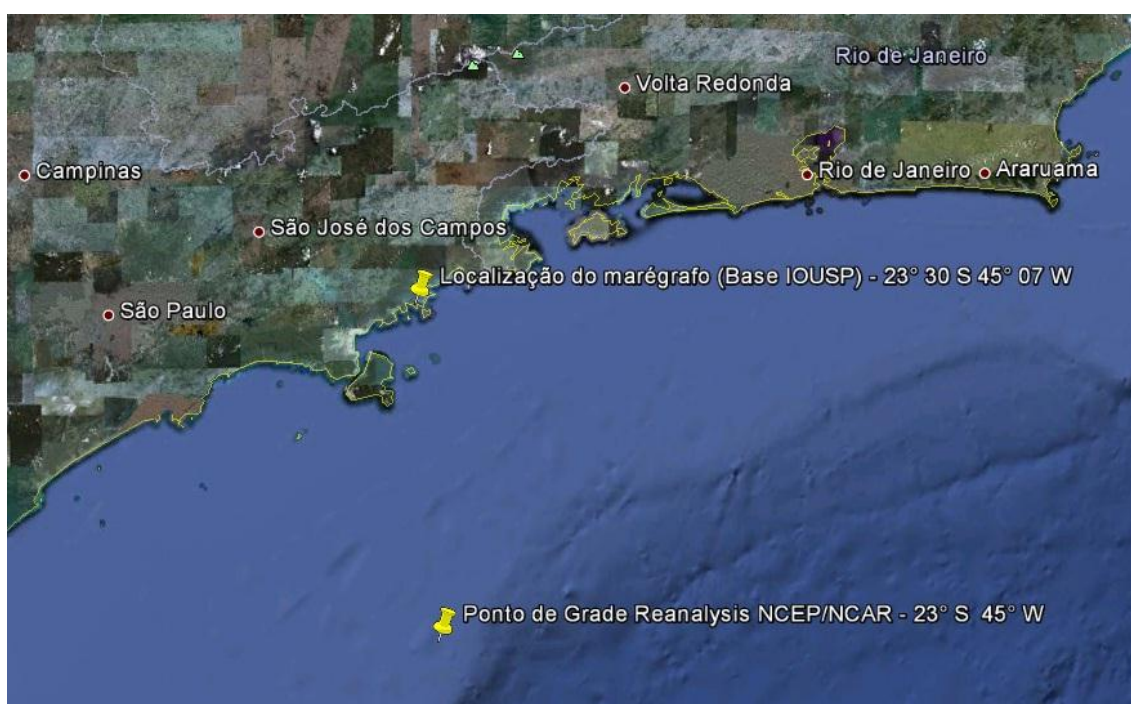
---

<sup>1</sup>*Escarpa Festonada*: Dentre as Unidades de Relevo da Serra do Mar são encontradas as Escarpas Festonadas (IPT, 1981): desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão sub-paralelo e dendrítico, vales fechados.



populacional de 60% segundo resultados comparativos dos últimos 5 censos (1991, 1996, 2000, 2007 e 2010), passando de 47 mil em 1991 para 78 mil habitantes em 2010.

A explosão imobiliária das últimas décadas indica vetores de expansão urbana na região metropolitana da Baixada Santista e no Litoral Norte, e aponta uma crescente demanda de utilização de recursos hídricos e minerais para a construção civil. Portanto, a Zona Costeira paulista convive hoje com dois grandes paradoxos: a preservação e a conservação do meio ambiente e as fortes pressões socioeconômicas para a utilização de seus recursos ambientais (SOUZA, 2001 *apud* BRIGATTI, 2008, 2008, p.26).



**Figura 1:** Localização da área de estudo, do marégrafo e do ponto de grade Reanalysis (NCEP/NCAR).<sup>2</sup>

Fonte: Google Earth (2012).

Os dados de nível do mar utilizados neste estudo foram coletados na estação maregráfica do Instituto Oceanográfico da USP, na cidade de Ubatuba/SP. O marco principal é um pilar de concreto, medindo 3,14 m de altura e com 0,40 m de diâmetro, este assentado em uma base retangular medindo 1,12 m x 0,55 m. O nível da maré é medido a cada hora, no horário local (Figura 2).

<sup>2</sup> Localização do marégrafo: 23° 30' S 45° 07' W; Localização do ponto de grade Reanalysis NCEP/NCAR: 23° S 45° W



**Figura 2:** Localização da base do IOUSP em Ubatuba, assim como da estação maregráfica.

**Tabela 1:** Localização (coordenada geográfica) e informações da estação maregráfica de Ubatuba/SP.

Nome da Estação	Ubatuba -SP
Localização	No trapiche de atracação da Estação de Pesquisa do IOUSP
Organ. Responsável	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IOUSP
Latitude	23° 30,0` S
Longitude	45° 07,3` W
Classificação	Maré de Desigualdades Diurnas
<b>Referências de Nível:</b>	RN principal - dentro das instalações da estação de pesquisa

Fonte: FEMAR (2012).

## 2.1. Descrição Climática

De forma geral, o Estado de São Paulo encontra-se numa área de transição climática, entre os climas tropicais e subtropicais, fato que lhe confere caráter especial, ainda mais quando se associam outros fatores regionais e locais de controle do comportamento dos elementos atmosféricos (BRIGATTI, 2008). Em razão disso, o verão é tipicamente chuvoso, com temperatura elevada que proporcionam precipitações intensas, caracterizando altos índices pluviométricos nessa estação (GUILLAUMON *et al.*, 1989).

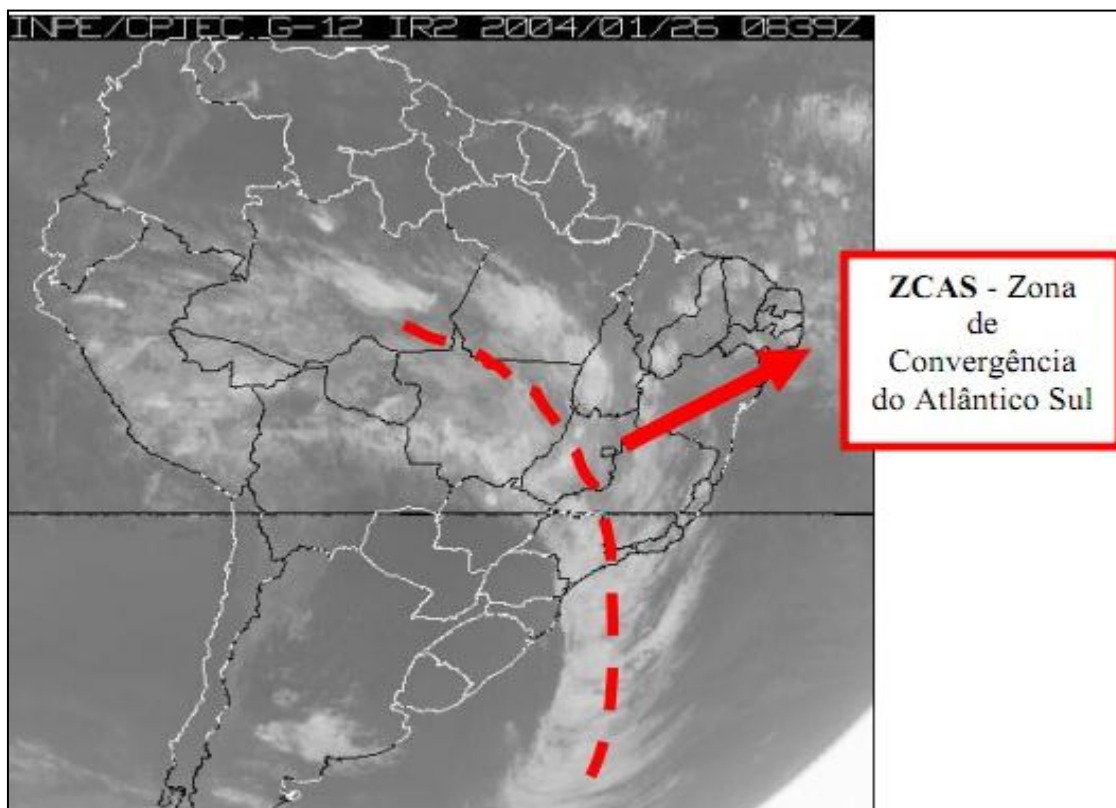
No Estado de São Paulo são predominantes sistemas atmosféricos que atuam nas características climatológicas dessa porção geográfica. A Massa Tropical Atlântica é caracterizada como: sistemas dinâmicos tropicais que se originam sobre a porção oceânica atlântica e atuam durante todo o ano no território paulista, trazendo instabilidade de tempo no inverno. Como são formados sobre a porção oceânica, caracterizam-se como sistemas atmosféricos bastante úmidos que são trazidos à porção continental através de ventos predominantes de leste e nordeste (BRIGATTI, 2008).

O litoral paulista é marcado pela Massa Tropical Atlântica que encontra a íngreme escarpa da Serra do Mar. Ao ultrapassar este obstáculo natural, produz aumento da umidade, da nebulosidade e mesmo das precipitações, assim como, determina a queda da temperatura (SANT'ANNA NETO, 2005).

Definida convencionalmente como uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é um fenômeno meteorológico significativo. Estende-se desde o sul da Amazônia até o Oceano Atlântico Subtropical, por alguns milhares de quilômetros, bem caracterizada nos meses de verão.

A ZCAS pode ser caracterizada por seu caráter estacionário por, pelo menos quatro dias, gerando assim, a alteração no regime de chuvas das regiões afetadas (QUADRO, 1994). Observações indicam evidente associação entre períodos de enchentes de verão na região sudeste e veranicos na região sul com a permanência da ZCAS por períodos prolongados sobre a região sudeste, o que torna este fenômeno

influyente no litoral norte de São Paulo diante a ocorrência de longos períodos de chuva, o que pode contribuir para variações locais do nível do mar na região. (Figura 3).



**Figura 3:** Zona de Convergência do Atlântico Sul, bem configurada, em 26 de janeiro de 2004. Imagem Infravermelho Goes-12.

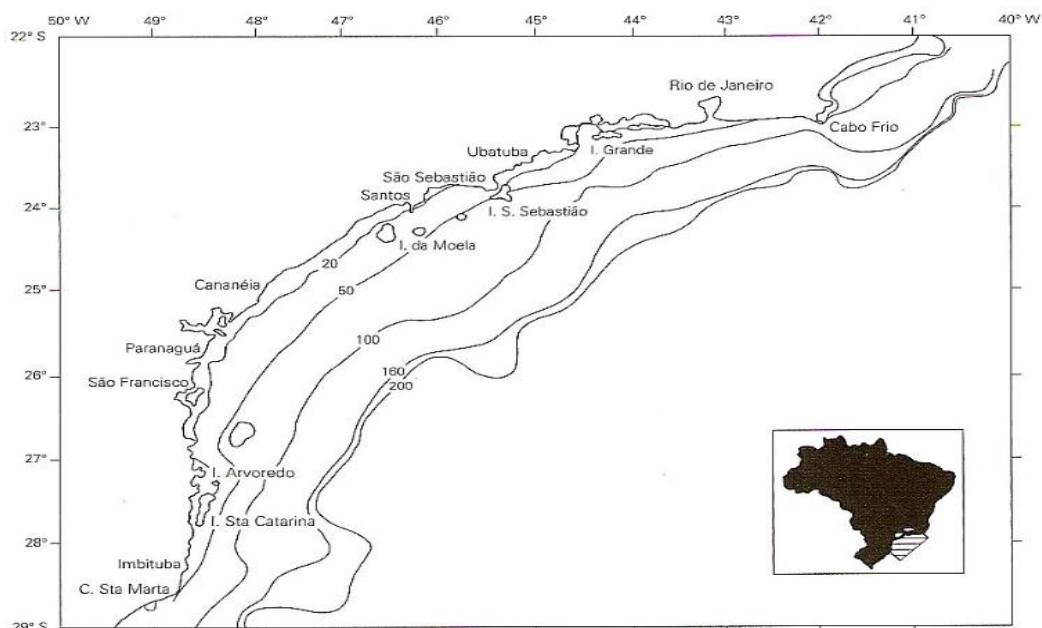
Fonte: CPTEC/INPE(2004).

### 2.3.O Ambiente Oceanográfico

A Plataforma Continental Sudeste (PCSE), aqui definida como a região da plataforma continental atlântica que se estende, ao longo da costa brasileira, desde Cabo Frio, no Rio de Janeiro, até o cabo de Santa Marta, em Santa Catarina (Figura 4), possui características dinâmicas típicas de plataformas continentais de latitudes médias (ROSSI-WONGTSCHOWSKI e MADUREIRA, 2006).

A parte mais larga da PCSE, com aproximadamente 230 km, está localizada em frente a Santos, e as partes mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50 km, Cabo de Santa Marta, com 70 km, e em Ubatuba estima-se cerca de 180 km. Seu comprimento é de aproximadamente 1100 km e, com exceção de algumas poucas ilhas grandes (ex. Ilha de São Sebastião). A topografia da PCSE é suave, com as isóbatas dispendo-se paralelamente à linha da costa. A profundidade da quebra da plataforma

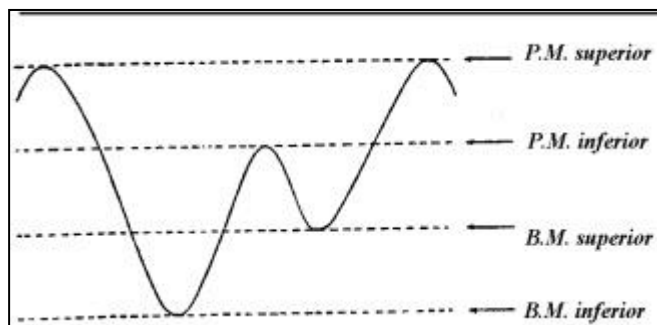
continental varia entre 120 m e 180 m, e a área total da PCSE é de cerca de 150 mil km<sup>2</sup> (ZEMBRUSKI, 1979).



**Figura 4:** A plataforma continental sudeste (profundidades em metros).

Fonte: Castro *et al.* (2006).

A região de estudo é classificada pelo regime de marés do tipo semidiurna com desigualdades diurnas, ou maré de desigualdades diurnas, que apresenta sempre duas preamares (PM) e duas baixa-mares (BM) diariamente, mas com desigualdades análogas às da Figura 5. A dinâmica das marés desempenha importante papel nos episódios de enchentes e inundações na costa, pois a ocorrência de marés de sizígia (relacionadas a fatores astronômicos) pode ser concomitante a episódios de marés meteorológicas, relacionadas e condicionadas pelas passagens frontais (ALVES, 1992), interfere diretamente sobre os valores de vazão dos rios (aumentada pelo acréscimo pluvial) e sobre a penetração das águas salobras nos mangues, estuários e canais fluviais. Os episódios relacionados a estes tipos de eventos são aqueles que provocam os maiores valores de aumento do nível do mar, destruindo construções e acelerando os processos erosivos (SOUZA e SUGUIO, 2003).



**Figura 5:** Esquema de Maré de Desigualdades Diurnas.  
Fonte: Miguens (1996).

De acordo com Brigatti e Sant'Anna Neto (2008), no que tange à ocorrência de enchentes e inundações, o litoral norte paulista apresenta características ímpares, proporcionadas principalmente por seus aspectos físicos e formas de uso do solo. A ocupação de áreas marginais aos rios e suas desembocaduras, aliadas a uma dinâmica atmosférica peculiar e às oscilações das marés, comumente ocasionam sérios prejuízos sociais, ambientais e econômicos. No caso específico dos episódios relacionados a enchentes e inundações muitos aspectos devem ser considerados, quais sejam:

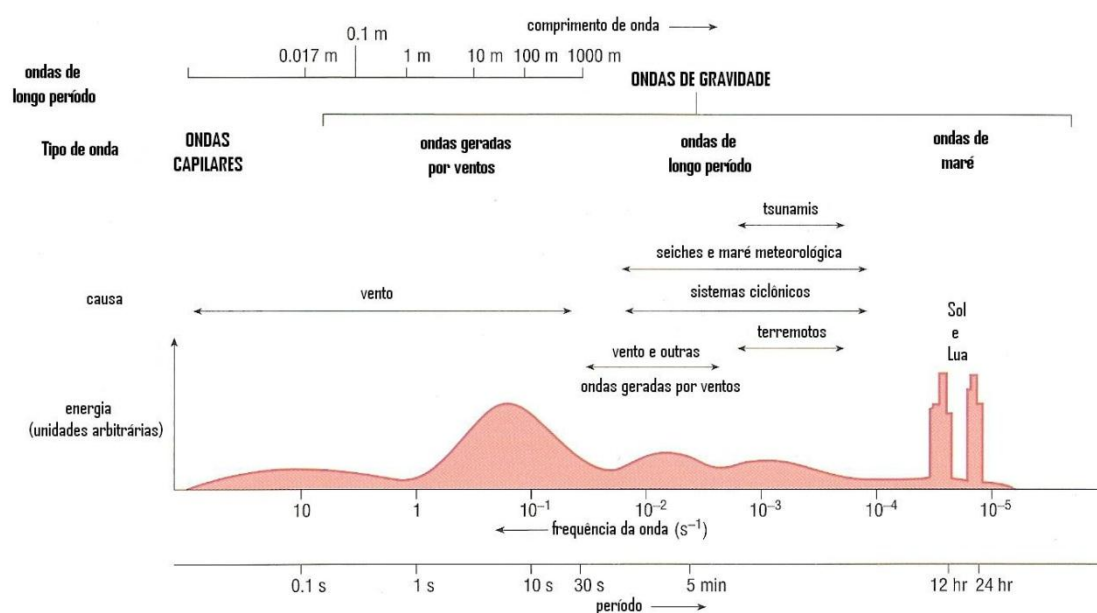
- Os fatores meteorológicos: principalmente os relacionados às passagens de frentes frias pela região e às variações de seus elementos, principalmente os ventos, a pluviosidade e a pressão atmosférica;
- A dinâmica costeira e suas relações com os eventos meteorológicos, correntes e processos deposicionais que influem diretamente na vazão dos rios, além da dinâmica das marés, notadamente os episódios de marés de sizígia;
- O uso do solo e as influências antrópicas, que influenciam a vazão fluvial e a superfície de infiltração de água ao longo da costa.

## CAPÍTULO 3

### ABORDAGEM FENOMENOLÓGICA

#### 3.1. Escalas Espaço-Temporais de Fenômenos Meteorológicos e Oceanográficos

A superfície dos oceanos varia livremente e é dinâmica, devido, por exemplo, às forças de atração gravitacional e centrífuga, resultantes da interação entre Terra, Lua e Sol. Como consequência, têm-se movimentos horizontais, denominados marés astronômicas e correntes de marés. Sabe-se que esta interação pode ser deduzida como movimentos harmônicos compostos, o que torna possível decompor a resposta dos oceanos às forçantes astronômicas em movimentos oscilatórios mais simples. Além da forçante astronômica, as variações horizontais ou verticais do oceano também são geradas por forças de natureza gravitacional, inercial e atmosférica em diferentes escalas de tempo e espaço (MENEZES, 2007).



**Figura 6:** Principais forçantes meteoceanográficas que influenciam o nível do mar, em termos energéticos, nas várias escalas espaço-temporais.  
Fonte: Adaptado de Open University (2000).

Segundo esse mesmo autor, os fenômenos atmosféricos que são capazes de provocar oscilações no nível do mar, com períodos entre três e cinco dias, estão ligados às oscilações no campo de vento e pressão atmosférica. Outras variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, evaporação e precipitação, têm menor

interferência no NMM, exceto em alguns casos particulares, por exemplo, em regiões costeiras confinadas morfológicamente, de baixa profundidade e próximos a ambientes estuarinos.

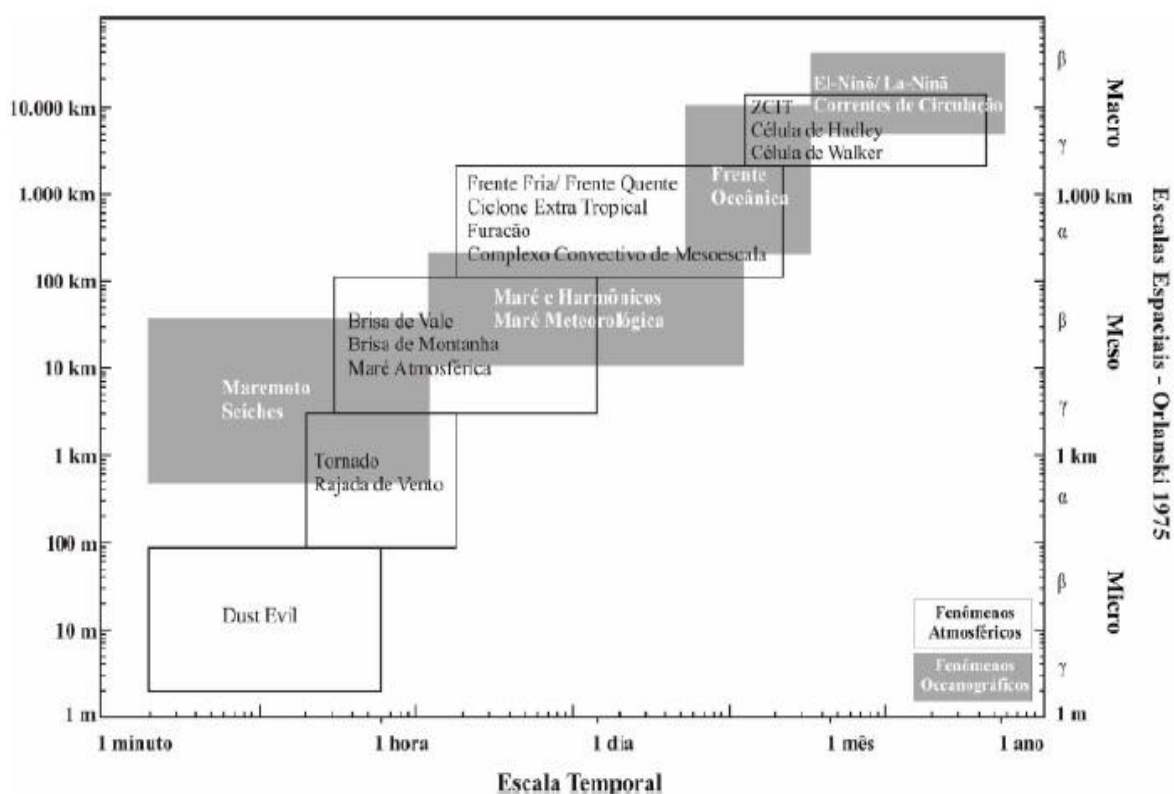
Diferentes forçantes contribuem para a dinâmica das correntes sobre a plataforma continental e com as variações do NM associadas a elas. Em geral, as forçantes para esses movimentos podem ser classificadas em duas categorias: (i) as que atuam diretamente na plataforma continental, como o vento e as variações espaciais e temporais de densidade; e (ii) as que são comunicadas remotamente desde o talude continental através da quebra da plataforma, como as marés, gradientes de pressão e trocas de massa. As escalas temporais e espaciais das forçantes, bem como da resposta das águas da plataforma continental, variam enormemente. Espacialmente, desde microscópicas até centenas de quilômetros e, temporalmente, desde segundos até anos (CASTRO *et al.* 2006).

Além da atração gravitacional e das forçantes dos movimentos, o aquecimento diferenciado nos distintos pontos da Terra pela radiação solar incidente na superfície, resulta em células de circulação atmosférica de macroescala, isto é, da ordem de dezenas de milhares de quilômetros e que variam temporalmente de anos a séculos, cujos modelos conceituais classificam, para cada hemisfério, três células de circulação meridional: a Célula de Hadley localizada na região tropical entre o Equador e 30° de latitude, a Célula de Ferrel localizada entre 30° e 60° de latitude e a Célula Polar. Conforme esse modelo, os ventos provenientes dos cinturões de alta pressão conhecidos como Alísios de sudeste no Hemisfério Sul e Alísios de nordeste no Hemisfério Norte, devem convergir para a zona equatorial. Nas regiões subtropicais predominam os ventos de oeste e nas regiões polares, predominam os ventos de leste. Como resultado deste sistema de circulação atmosférica, surge uma circulação de larga escala na camada superior dos oceanos (MENEZES, 2007).

Para a análise de fenômenos ambientais, torna-se fundamental identificar e analisar as escalas espaciais e temporais em que ocorrem. Assim, podem ser estabelecidas correlações entre fenômenos de natureza distinta. Na figura 7, apresenta-se um esquema para a divisão das escalas dos fenômenos atmosféricos e oceanográficos baseado na classificação proposta por Menezes (2007), como adaptação da classificação de Orlanski (1975). Observa-se a variabilidade espaço-temporal desses fenômenos



desde a microescala atmosférica (escala espacial de 1 a 100 m, e tempo de vida de 1 seg a 2h) até fenômenos que possuem abrangência global, e são observados de maneira quase que permanente como é o caso da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O mesmo pode ser observado nos oceanos, com a possibilidade de distinção entre fenômenos e de classificação dentro de uma mesma terminologia. Entretanto, diante das diferentes características físico-químicas do oceano e da atmosfera, as dimensões dos fenômenos são distintas. Observam-se sobreposições entre as escalas dos fenômenos, porém as dimensões são comuns apenas na escala temporal. Deve-se notar que a mesma nomenclatura foi usada para classificar as escalas oceânicas e atmosféricas. No entanto, os limites da escala espacial e temporal são distintos. Estes fenômenos estão classificados entre meso  $\alpha$  e a macroescala atmosférica, e na mesoescala oceânica, conforme evidenciado na Figura 7.



**Figura 7:** Escalas espacial e temporal de fenômenos atmosféricos e oceanográficos.  
Fonte: Menezes (2007).

### 3. 2. Nível do Mar

“O nível do mar é, das medições do mar, aquela que sintetiza as influências de vários processos oceânicos, incluindo efeitos devidos às correntes marinhas, efeitos devidos ao campo de massa (densidade), efeitos meteorológicos, efeitos devidos ao geopotencial terrestre (geóide, superfície de mesmo valor da aceleração da gravidade), efeitos dos contornos oceânicos, bem como efeitos das forças das marés de natureza astronômica.” (MESQUITA, 1997, cap.4).

O nível do mar é continuamente modificado positiva ou negativamente pela atmosfera. A diferença entre o nível do mar observado e a maré astronômica, prevista para determinado local, quantifica a influência desse tipo de fenômeno sobre a orla continental, sendo definida como maré meteorológica (PUGH, 1987). O nível do mar pode se elevar extraordinariamente causando inundações na costa, quando sistemas meteorológicos (desde brisas, tempestades severas até furacões, tornados e tufões), agindo em águas litorâneas e com a presença de ondas geradas pelo vento, ocorrem durante períodos de máxima variação de maré astronômica - as chamadas marés de sizígia, combinadas ainda com precipitações relativamente intensas sobre o continente. Regiões costeiras com baixa cota altimétrica, de baixa declividade e com alta saturação de água subterrânea, além de grande adensamento populacional, são mais suscetíveis a desastres em decorrência da elevação passageira do nível do mar. Da mesma forma, grandes variações negativas do nível médio do mar são altamente indesejáveis para a navegação de grande porte, nas quais os procedimentos de acesso e atracação ficam mais difíceis e arriscados, por vezes impossibilitando as operações (CAMPOS; CAMARGO; HARARI, 2010).

Pode-se dizer que o NM em determinado local e momento seja a soma entre o NMM, a maré astronômica e oscilações induzidas pela atmosfera. O NMM possui variação consideravelmente lenta, enquanto a maré astronômica é resultado da interação gravitacional do sistema Terra-Lua-Sol, sendo determinada com boa precisão, a partir de métodos como a análise harmônica. As oscilações induzidas pela atmosfera têm caráter dinâmico e bem menos previsível. Esses processos físicos possuem intensidade, escalas espacial e temporal distintas em determinadas regiões (CANDELLA; CANDELLA, 2011).

As mudanças do nível do mar podem ser tanto positivas quanto negativas. No entanto, ressalta-se que geralmente o aumento do nível do mar é sentido através do:

aumento da intensidade e frequência das marés meteorológica<sup>3</sup> (em inglês, *storm surges*) e inundações costeiras, do aumento da salinidade nos rios, baías e aquíferos costeiros resultantes de intrusões salinas, do aumento da erosão costeira, da inundação de regiões costeiras com baixas cotas altimétricas e com infra-estrutura deficiente, perdas de áreas de manguezais e impactos aos ecossistemas costeiros, por exemplo, os recifes de corais (OZCOASTS, 2011).

Os equipamentos utilizados para medição e coleta de dados do nível do mar podem ser réguas de maré (linímetros), marégrafo de flutuador em poço de tranquilização (linígrafo), marégrafo de pressão ou pneumático, marégrafo de grande profundidade (pelágicos ou abissais), marégrafo de reflexão (acústico ou eletromagnético) e via satélite (altímetro) (PUGH, 1987).

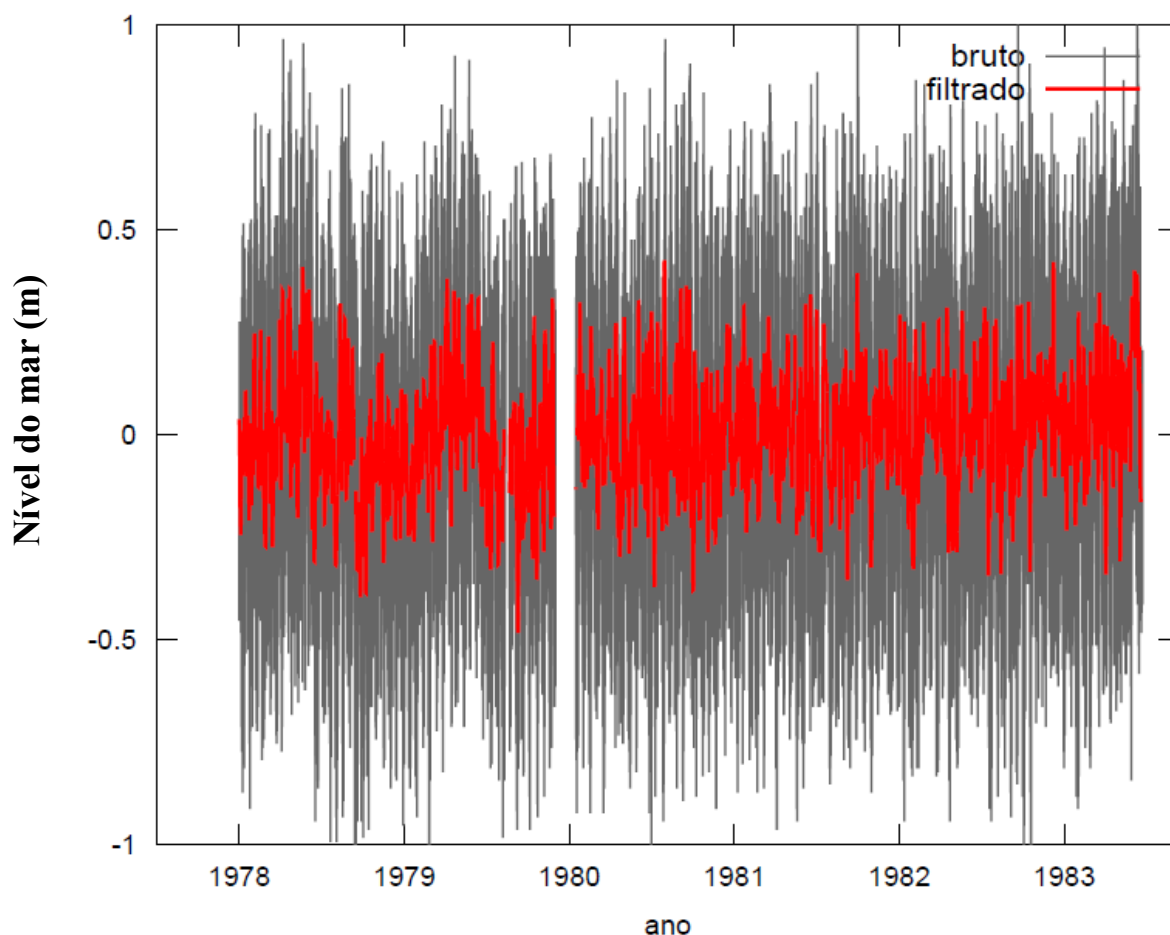
### 3. 3. O Nível Médio do Mar

O NMM é a altitude média (por exemplo: semanal, mensal ou anual) da superfície do mar medida em relação a uma superfície terrestre de referência. O nível médio do mar é, por sua vez, utilizado como ponto de referência a partir do qual são medidas as altitudes dos acidentes topográficos e marcadas as curvas de nível e as altitudes nos mapas e plantas (BRIGATTI, 2008).

Quando se faz referência ao NMM, raramente se questiona o sentido da palavra “média”. Inicialmente, acreditava-se que os oceanos oscilavam (marés) em torno de um valor médio estacionário, mas atualmente já está bem estabelecido o fato de que o nível médio do mar apresenta flutuações em várias escalas de tempo (FRANCO *et. al.*, 2007). Assim, conforme apresentado na figura 8 o nível médio do mar pode ser analisado como um nível médio estático, ou seja, o nível em torno do qual a maré oscila, ou como um nível médio dinâmico (filtrado, em vermelho), que é igual à diferença entre o nível do mar observado (bruto, em cinza) filtradas as perturbações astronômicas, inerciais, de gravidade e meteorológicas de “alta” frequência, consideradas aquelas com períodos inferiores a 2 dias (MENEZES, 2007).

---

<sup>3</sup>A maré meteorológica é uma maré intensa que ocorre durante eventos de instabilidade severa, sendo definida pela elevação do nível do mar acima do nível previsto para a maré astronômica. Ela é resultante da complexa interação de ventos, pressão atmosférica, ondas, topografia local, velocidade da trajetória, proximidade, duração e intensidade da tempestade na costa (CARTER, 1988).



**Figura 8:** Série de 6 anos (1978-1983) de dados horários da estação maregráfica de Ubatuba (SP). Em cinza escuro, a variação dos dados brutos e, em vermelho, as variações do nível após filtragem.

O NMM é uma grandeza sujeita a um significativo número de forçantes, sendo consideradas principalmente: astronômicas, pressão atmosférica, ventos, ondas, deflúvios, precipitações, evaporação, salinidade, temperatura, correntes marítimas, geotectonismo e ação antrópica (KALIL, 1999). A escala temporal das principais perturbações do NMM pode ser visualizada na Tabela 2. Em mesoescala, principalmente em corpos d'água como lagos, baías, estuários e sobre a plataforma continental interna, o NMM é constantemente afetado pela atmosfera.

**Tabela 2:** Escala temporal das principais perturbações encontradas em registros de nível do mar e eventuais consequências.

<b>Escala Temporal</b>	<b>Fenômenos</b>	<b>Consequências</b>
10 <sup>1</sup> a 10 <sup>2</sup> minutos	Oscilações curtas de cunho meteorológico (de “alta” frequência)	Induzem a ressonância em recintos portuários produzindo fortes correntes acarretando em danos a embarcações.
10 <sup>2</sup> a 10 <sup>3</sup> minutos	Oscilações associadas à maré astronômica	Por ser um fenômeno determinístico, dependendo apenas da interação entre Sol, Terra e Lua, acredita-se que este não seja influenciado por mudanças climáticas, a menos que a magnitude do NMM viesse a afetar a propagação da maré nas bacias oceânicas e sobre a plataforma continental.
10 <sup>4</sup> minutos	Oscilações de “baixa” frequência de cunho “maré meteorológica”	Diretamente vinculados a efeitos meteorológicos associados à ocorrência de ressacas
10 <sup>5</sup> minutos	Sazonais e intra- anuais	Influenciados por fatores climáticos
10 <sup>6</sup> minutos ou maior	Variações de longo termo	Influenciados por fatores tectônicos e geológicos

Fonte: Neves e Muehe, 2008.

A maré meteorológica é caracterizada pela elevação ou pelo rebaixamento do NMM e pode persistir por dias. A magnitude das oscilações de NMM na região Sudeste do Brasil é responsável por variações da ordem de 10 a 100cm, pois os sistemas meteorológicos responsáveis por estas oscilações não estão associados a mudanças intensas na velocidade do vento, o seu principal agente. No caso de um furacão, em que os ventos podem superar 300 km.h<sup>-1</sup>, a variação do NMM pode alcançar a da ordem de 1 a 3 m de altura. (MENEZES, 2007).

No Oceano Atlântico Sul, o surgimento de furacões é incomum. Todavia, em março de 2004 foi registrado e analisado o furacão Catarina, considerado um dos mais complexos fenômenos atmosféricos já registrados. A gênese desse sistema meteorológico foi uma combinação rara de índices elevados de TSM (Temperatura da

Superfície do Mar), baixo cisalhamento vertical e forte bloqueio latitudinal (média-alta), que interferiu no fluxo atmosférico leste-oeste. (PEZZA&SIMMONDS, 2005). Realizaram-se observações do estado do mar, como altura das ondas e do avanço do mar. Entretanto, como não se dispunha de um marégrafo, optou-se por monitorar a largura entre o máximo de espraiamento e a base da duna frontal. Antes da chegada do furacão na costa de Santa Catarina, o vento estava em torno de  $40 \text{ km.h}^{-1}$  e o mar apresentava ondas de até 3 m; no momento mais crítico da primeira fase do fenômeno, houve rajadas de vento de  $120 \text{ km.h}^{-1}$  e o mar havia avançado mais de 70 m, ultrapassando as dunas frontais. Até então, os ventos sopravam em quadrante sul, mas após a passagem do “olho” do furacão, os ventos foram provenientes do quadrante norte e alcançaram as maiores velocidades (em torno de  $180 \text{ km.h}^{-1}$ ), e com a inversão da direção dos ventos, o transporte de Ekman causou o rebaixamento do nível do mar, e minimizou os efeitos negativos do significativo avanço do mar. Tendo como base os danos ocorridos, o Catarina foi classificado como sendo um furacão classe 2, de acordo com a escala Saffir-Simpson (MARCELINO *et al.*, 2008).

### 3.3.1. Variação temporal do NMM

De acordo com Brigatti (2008), a variação temporal do nível do mar segue um padrão complexo devido à interrelação de um conjunto vasto de efeitos que podem ser incluídos nos seguintes grandes grupos:

- Fatores dependentes da eustasia, ou seja, do volume da água existente no oceano global, aí se incluindo:
  - Variação da massa de água presente no oceano por captura em massas de gelo ou sua fusão. Este efeito está ligado às glaciações, tendo períodos de recorrência da ordem das dezenas ou mesmo centenas de milhares de anos;
  - Efeitos estéricos resultantes da expansão e contração térmica da água, com periodicidade anual em função das estações do ano, mas com uma componente, muito mais importante e pouco conhecida, ligada à variação global da temperatura dos oceanos;
- Fatores ligados à isostasia, em especial à glacioisostasia, fazendo variar o NMM e ao mesmo tempo alterando a posição dos fundos marinhos e a elevação das costas;

- Fatores meteorológicos ligados ao estado local do tempo e à propagação da agitação marítima a média e longa distâncias;
- O vento, contribuindo para o empilhamento das águas, o que em baías e golfos pode levar a até alguns metros de subida do seu nível em relação ao nível médio (ou descida quando os ventos sopram de terra para o mar ou mesmo quando atuam paralelamente à costa, sob efeito da rotação terrestre);
- A pressão atmosférica, causando uma subida (nas baixas pressões) ou descida (nas altas pressões) do nível da água, que corresponde ao equilíbrio hidrostático da coluna água/atmosfera face às zonas circundantes.
- Fatores astronômicos, com destaque para:
  - A maré, fazendo oscilar periodicamente o nível das águas de acordo com um padrão controlado pela posição relativa do Sol e da Lua e com as condições de ressonância de cada bacia oceânica, em conjunção com fatores meteorológicos, por exemplo, podem gerar maiores volumes de água.
  - Efeitos astronômicos de longo período resultantes das posições relativas da Terra, do Sol e da Lua, sobrepondo à maré oscilações de período mais curto (estas da ordem de 6 h 25 minutos a 24 h e 50 minutos);
- As correntes marinhas, afetando as temperaturas e salinidades, e, através do efeito geostrofico, aumentando localmente a altura das águas;
- Variações de salinidade, afetando a densidade das águas, em resultado da fusão de gelo, aumento ou redução da descarga de rios e variações na precipitação.

### **3. 3.2. A Influência dos Fenômenos Atmosféricos sobre o NMM**

Os principais fenômenos atmosféricos que interferem de maneira significativa sobre o NMM são o vento e a pressão atmosférica. Diante disso, este tópico trata de conceitos físicos relativos à interação do vento e da pressão atmosférica com o NMM.

As possíveis oscilações provocadas no NMM pelas forçantes atmosféricas podem ser provocadas por fenômenos locais ou de efeito remoto. Para a análise da influência do vento sobre o NMM é fundamental avaliar quatro fatores principais: a orientação em relação à costa; a magnitude (grandeza) desse vento; a permanência (tempo) de atuação no meio e a pista (área) de atuação.

Além desses quatro fatores, a intensidade e a velocidade de propagação dos sistemas meteorológicos transitórios, que são características essencialmente ligadas às condições meteorológicas de mesoescala, também afetam o NMM (MENEZES, 2007).

Segundo Gill e Clarke (1974) foi estabelecido que a variabilidade do NMM, no leste do Pacífico Norte, é impulsionada por ventos ao longo da costa, bem como distúrbios propagados a partir do equador. Tais resultados são baseados na escala temporal de dias e associados a passagens de sistemas frontais. Clarke (1977) analisou a resposta da variabilidade do NM na costa oeste dos EUA, em períodos de poucos dias, através de ondas de plataforma. Bakun e Nelson (1991) discutiram as variações sazonais em ventos vindos de sul ao longo da costa oeste dos EUA e como estes afetam os limites das correntes de leste, estendendo o argumento para períodos longos. Clarke e Lebedev (1999) mostraram que a variabilidade do NM da Califórnia foi bem correlacionada com a variabilidade da tensão do vento equatorial em períodos de até 20 anos e, portanto, associado a eventos de ENSO.

### **3. 3.3. Projeções de tendência de elevação do NMM**

Diversos pesquisadores ao longo do globo têm desenvolvido estudos sobre mudanças climáticas e publicado projeções sobre tendência de elevação da temperatura do ar, e variações do nível do mar global. A Tabela 3 apresenta projeções de tendência (cm/século) para diferentes localidades no Brasil e em nível global. Os resultados apresentados na Tabela 3 servem de referência para a análise de tendência que será realizada nesse estudo. Destaca-se, também, que todas as previsões mostradas nessa tabela sugerem que haverá uma elevação relativa do NMM em relação ao continente.



**Tabela 3:** Projeções de tendência de elevação do NMM em diferentes localidades do Brasil e Global. Os asteriscos (\* e \*\*) apenas representam que a análise foi realizada na mesma localidade, mas em períodos distintos.

Referências	Regiões	Período analisado	Projeções de tendência (cm/séc.)
ALFREDINI (2011)	Cananéia	1955-1992	NMM: +37,5
	Santos *	1944-2007	PM: +23,2; NMM: +36,5; BM: 41,8
	Santos **	1976-2007	PM: +44,9; NMM: +40,8; BM: 75,4
	Ubatuba	1954-2005	NMM: +23,3
	Rio de Janeiro	1963-2009	NMM: +20,0
	Recife	1947-1987	NMM: +52
	Belém	1948-1987	NMM: +34
IPCC (2007)	Global	1961-2003	NMM: +18
NOAA (1997)	Cananéia	1954-2006	NMM: +42

### 3. 4. Marégrafos na Costa Brasileira

O estudo das marés tem sido uma atividade contínua, uma vez que os oceanos estão em constantes mudanças, seja por influência de fatores naturais e/ou antrópicos. Algumas causas das variações, em termos naturais, resultam do movimento de rotação da Terra (duração aproximada de 14 meses); do ciclo nodal da Lua (duração de aproximadamente 19 anos); do ciclo das manchas solares (duração aproximada de 13 anos); dos fenômenos meteorológicos (ventos e pressão atmosférica, em destaque); dinâmica das correntes marinhas, dentre outros fenômenos oceanográficos. Em termos antrópicos, ressaltam-se as significativas emissões de gases de efeito estufa, que intensificam o aquecimento global e proporcionam alterações no clima local, regional e global. Os oceanos possuem uma estreita interrelação com a atmosfera e quaisquer alterações no meio interferem nos parâmetros oceanográficos.

Como forma de auxiliar nos estudos das marés e das consequências das variações do nível médio do mar, foram instaladas cerca de 281 estações maregráficas ao longo da costa brasileira para realizar medições horárias de dados maregráficos. Na Tabela 4, encontram-se os registros (em números) de todas as estações maregráficas que existem ou existiram na costa do nosso país, de acordo com FEMAR (2012).

**Tabela 4:** Número de marégrafos que existem ou existiram ao longo dos 17 estados costeiros do Brasil.

<b>Marégrafos (em números)</b>	<b>ESTADOS</b>
59	Amapá/Pará
24	Maranhão
2	Piauí
12	Ceará
16	Rio Grande do Norte
2	Paraíba
5	Pernambuco
6	Alagoas
8	Sergipe
23	Bahia
11	Espírito Santo
60	Rio de Janeiro
20	São Paulo
11	Paraná
12	Santa Catarina
10	Rio Grande do Sul

Fonte: FEMAR (2012).

Na Tabela 5, estão dispostos os 20 marégrafos instalados no estado de São Paulo, com suas devidas localizações geográficas, assim como o resultado da medição do nível médio (cm) do mar, em cada localidade, para cada período analisado. De maneira geral, os períodos de análise são de poucos meses a no máximo 1 ano de dados.

**Tabela 5:** 20 estações maregráficas do Estado de São Paulo, sua localização geográfica, e nível médio correspondente a cada período analisado.

Estações Maregráficas	Localização Geográfica	Nível Médio (cm) (acima do NR)	Período Analisado
Ubatuba (IGG)	23° 27,5 S 45° 02,5 W	64	01/01/58 a 23/12/58
Ubatuba (IOUSP)	23° 30,0 S 45° 07,3 W	69	1978
Saco do Sombrio	23° 54,1 S 45° 15,0 W	27	23/10/65 a 06/11/65
São Sebastião (Porto)	23° 48,6 S 45° 23,9 W	66	01/12/72 a 01/01/73
Montão de Trigo (Ilha)	23° 51,5 S 45° 46,8 W	73	13/03/91 a 12/04/91
Piaçaguera	23° 52,5 S 46° 22, 6 W	82	24/01/68 a 24/12/68
Ilha Barnabé	23° 55,7 S 46° 19,9 W	74	27/09/74 a 29/11/74
Barnabé	23° 55,7 S 46° 20,2 W	87	04/09/95 a 04/10/95
Santos (Porto)	23° 57,3 S 46° 18,6 W	77	01/01/56 a 23/12/56
Praticagem (Santos)	23° 59,1 S 46° 18,0 W	80	05/09/95 a 07/10/95
Ilha das Palmas	23° 00,5 S 46° 19,6 W	77	28/03/90 a 27/04/90
Ilha da Moela	24° 03,1 S 46° 16,1 W	79	12/07/62 a 12/08/62
Barra do Peruíbe	24° 20,2 S 47° 00,5 W	69	11/09/81 a 12/10/81
Guaraú	24° 22,8 S 46° 59,2 W	80	12/06/82 a 15/07/82
Ponta Paranapuã	24° 24,0 S 47° 00,7 W	50	24/05/65 a 24/06/65
Barra do Icapara	24° 41,3 S 47° 27,9 W	82	24/05/65 a 12/06/65
Iguape	24° 42,0 S 47° 33,0 W	77	22/10/82 a 22/11/82
Cananéia (IOUSP) - mar pequeno	25° 01,0 S 47° 55,1 W	78	01/01/56 a 23/12/56
Cananéia (IOUSP)	25° 01,0 S 47° 55,5 W	71	1978
Bom Abrigo	25° 07, 3 S 47° 52,0 W	69	12/12/61 a 12/01/62

Fonte: FEMAR (2012).

### 3. 5. Marés Astronômicas

A superfície dos oceanos não permanece estacionária devido, principalmente, às forças de atração gravitacional entre Lua, Sol, e Terra. A massa líquida é deslocada horizontalmente, dando origem às marés e as correntes de maré. Ademais, o aquecimento desigual dos diferentes pontos da Terra pelo Sol e os grandes sistemas de vento resultantes dão origem às correntes oceânicas.

A oscilação da maré astronômica é consequência, basicamente, da Lei da Gravitação Universal de Newton. A Lua, devido à sua proximidade, é o corpo celeste que mais influencia a maré, seguindo-se o Sol, por força de sua enorme massa (Tabela 6).

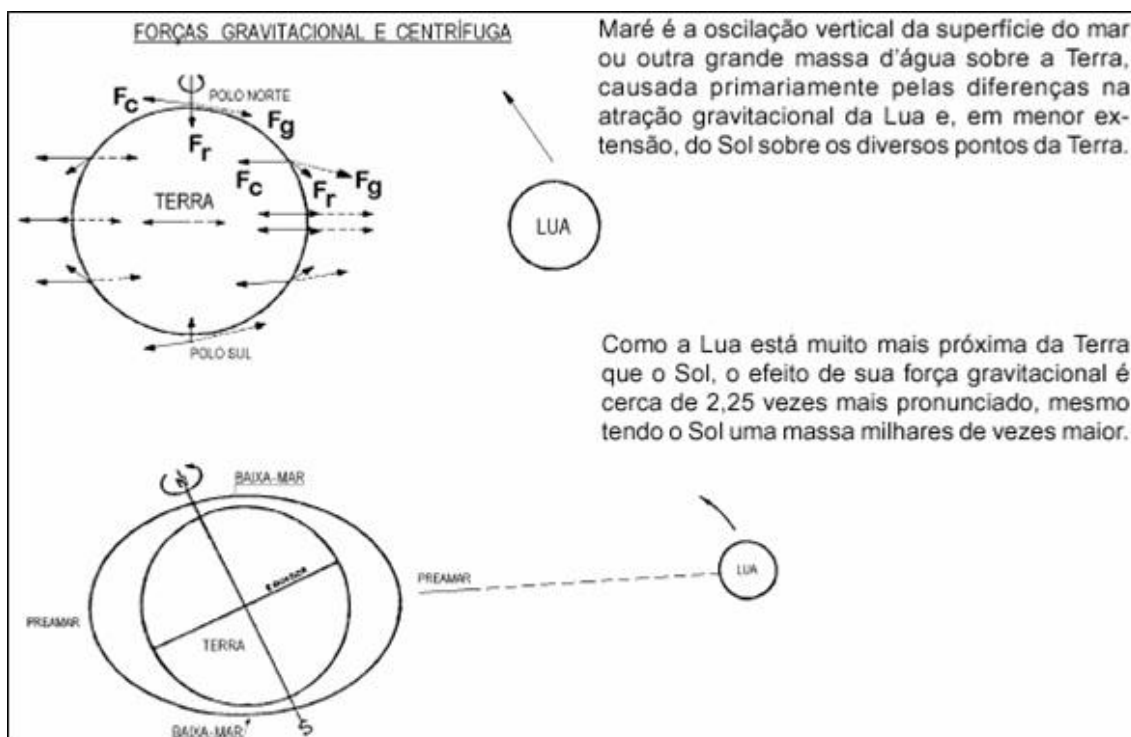
**Tabela 6:** Massas da Terra, da Lua e do Sol e distâncias dos dois corpos celestes a Terra.

LUA	
Massa	$7,35 \times 10^{22}$ kg
Raio Médio	1.738 km
Distância média da Terra	384.400 km
TERRA	
Massa	$5,97 \times 10^{24}$ kg (81, 3 vezes a massa da Lua)
Raio na linha do Equador	6.378 km
Distância média do Sol	149.600.000 km
Distância média do centro da Terra ao centro do Sistema Terra- Lua	23.460 vezes o raio da Terra
SOL	
Massa	$1,99 \times 10^{30}$ kg
Raio	696.000 km

Fonte: Pugh (2004)

A Terra e, especialmente, seus oceanos, são afetados pela atração gravitacional do sistema Terra–Lua e pelas forças centrífugas resultantes de sua revolução em torno de um centro comum (baricentro ou centro de massa do sistema Terra–Lua). A força gravitacional ( $F_g$ ) e a força centrífuga ( $F_c$ ) estão em equilíbrio e, como resultado, ocorrem movimentos de aproximação e afastamento entre Terra e Lua, o que gera diferentes magnitudes nos regimes de marés. (Figura 9). Processo análogo ocorre com o sistema Terra-Sol.

Entretanto, embora o sistema Terra–Lua como um todo esteja em equilíbrio, partículas individuais na Terra não estão. A força centrífuga é a mesma em qualquer lugar, pois todos os pontos na superfície da Terra descrevem o mesmo movimento em torno do centro de massa comum. Estas forças são todas paralelas entre si e paralelas a uma linha unindo o centro da Terra ao centro da Lua. Por outro lado, a força gravitacional não é a mesma em todos os lugares; as partículas mais próximas da Lua sofrem uma força gravitacional maior que aquelas localizadas no lado mais afastado da Terra. Ademais, estas forças não são paralelas, tendo cada uma a direção da linha que une a partícula correspondente ao centro da Lua.



**Figura 9:** Forças geradoras das marés.  
Fonte: Miguens (1996).

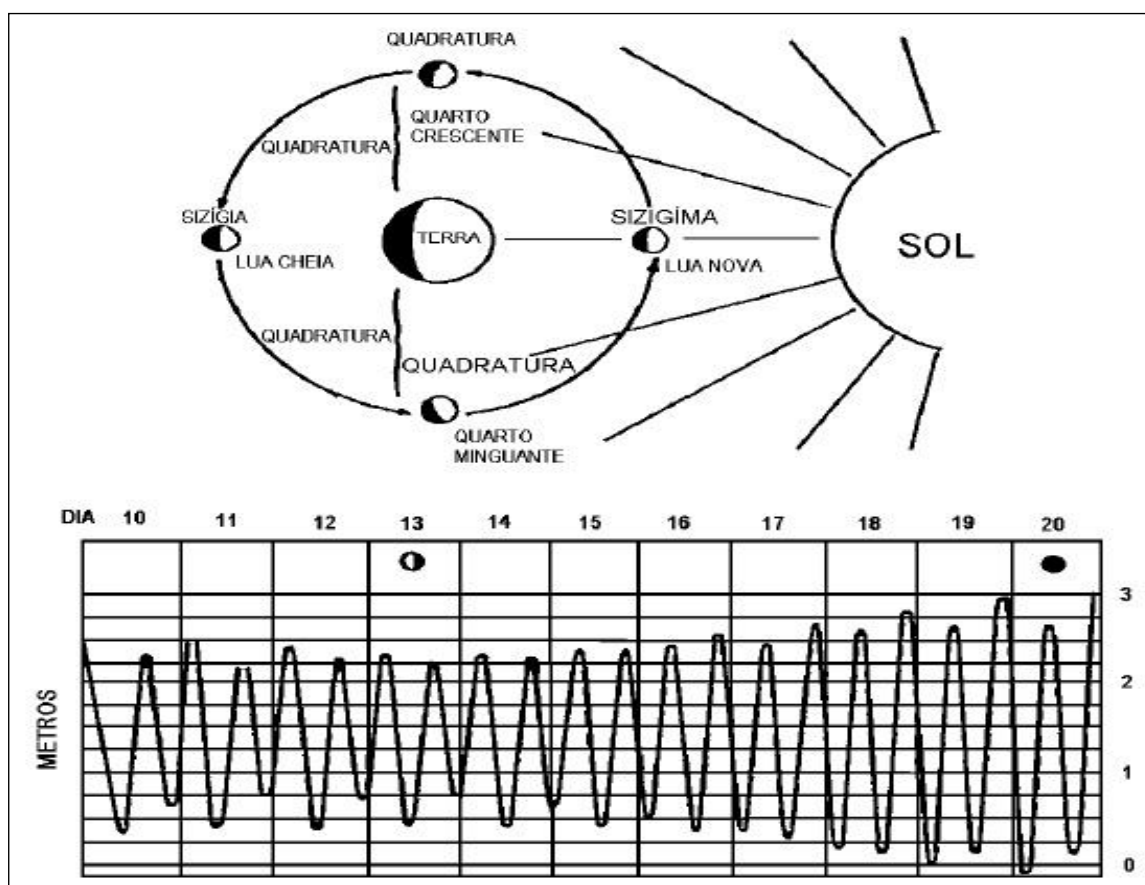
Assim, as resultantes dessas forças ( $F_r$ ), mostradas com ênfase exagerada na Figura 9, levarão a água da superfície a fluir em direção aos pontos da superfície da Terra mais próximo e mais afastado da Lua (ponto sublunar e sua antípoda, respectivamente). Este fluxo causa níveis de água mais altos que o normal nesses pontos e níveis mais baixos que o normal nas áreas de onde o fluxo provém. Embora no ponto mais próximo e mais distante da Lua haja indicação de uma força resultante ( $F_r$ ) para fora, esta é muito fraca, não tendo intensidade suficiente para causar uma maré apreciável. A maré resulta, realmente, das forças quase horizontais que causam o fluxo acima descrito, na direção dos pontos da superfície da Terra mais próximo e mais afastado da Lua. Esta explicação, abreviada e simplificada, ajuda muito a entender o fenômeno das marés astronômicas.

Como a Terra gira cada dia em torno de seu eixo, de Oeste para Leste, completando uma rotação a cada 24 horas (chamado de dia solar), o ponto da superfície da Terra que fica na direção da Lua muda e, teoricamente, cada ponto na Terra apresentaria aproximadamente duas preamares (PM), ou marés altas e duas baixas-mares (BM), ou marés baixas no período de 24 horas. Entretanto, como a Lua gira em torno da Terra no mesmo sentido em que a Terra gira em torno de seu eixo, o tempo que

a Terra leva para efetuar uma rotação completa com relação à Lua é de aproximadamente 24h e 50 minutos, período conhecido como um dia lunar. Ademais, como resultado da inclinação do eixo da Terra, as PM's e as BM's sucessivas não são normalmente de níveis iguais.

As forças de atração gravitacional da Lua e do Sol sobre a Terra se somam duas vezes em cada lunação (intervalo de tempo entre duas conjunções ou oposições da Lua, cujo valor, em dias médios, é 29,53 dias), por ocasião da Lua Nova e da Lua Cheia, produzindo marés de sizígia, com PM's mais altas e BM's mais baixas, ou seja, variações extremas devido aos efeitos astronômicos (Figura 10). E quando há o alinhamento entre o sistema Terra-Lua-Sol obtêm-se as maiores variações de maré.

A formação das marés de quadratura se dá devido ao não alinhamento entre as forças de atração do Sol e da Lua, o que corre duas vezes em cada lunação, por ocasião do quarto crescente e quarto minguante da Lua, o que resulta em preamares mais baixas e baixa-mares mais altas.



**Figura 10:** Marés de Sizígia e Marés de Quadratura.

Fonte: Miguens (1996).

### 3. 6. Marés Meteorológicas e os efeitos de rotação terrestre<sup>4</sup>

Fenômeno comum na costa brasileira, a maré meteorológica é definida como a variação do nível do mar resultante de processos atmosféricos (ex: vento e pressão atmosférica). Com a geração de ondas, devido principalmente a atuação de vento na superfície do mar, pode haver acúmulo de água em direção à costa, intensificando os impactos costeiros. Pugh (1987) define a maré meteorológica como sendo a diferença entre a maré astronômica (prevista) e o nível do mar observado nos ambientes costeiros. Trata-se de um evento meteorológico frequente em diversas regiões litorâneas do globo (PARISE, 2009).

As causas desse fenômeno são, principalmente, as variações da pressão atmosférica e a troca de momentum linear entre o vento e a água, causando assim níveis mais baixos ou mais altos do que os previstos nas tábuas de maré, que levam em consideração apenas o comportamento determinístico e previsível da maré astronômica.

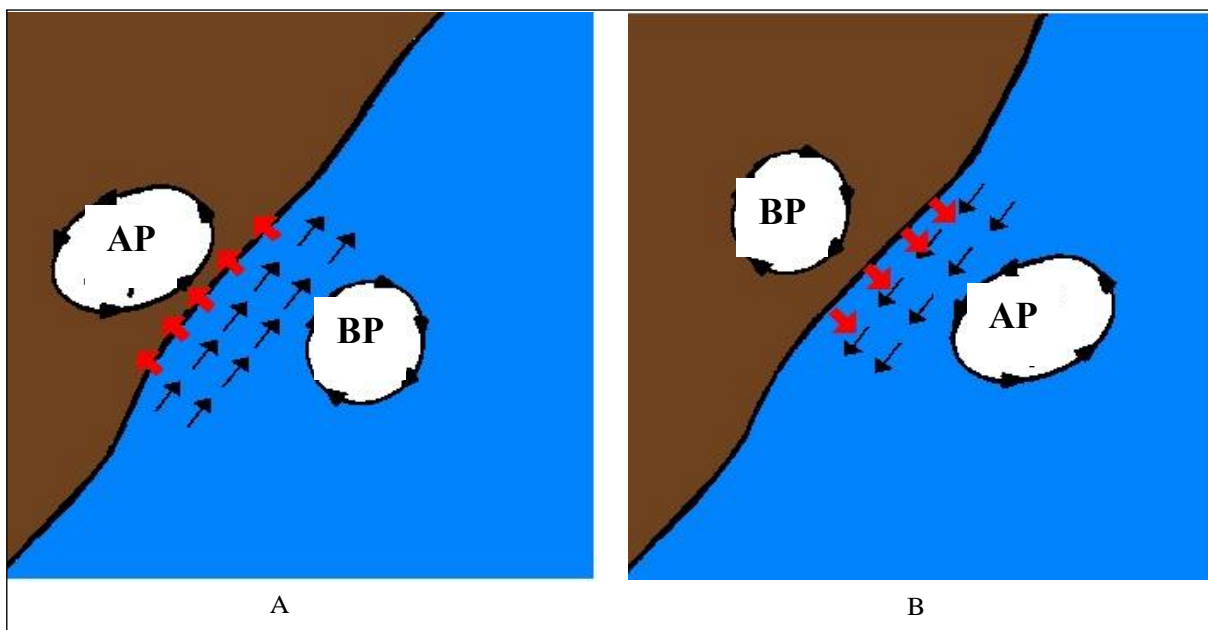
A maré meteorológica possui grande importância devido à sua influência sobre a navegação, pesca processos de erosão costeira, etc. O efeito conhecido como “ressaca” geralmente está acompanhado de uma maré meteorológica intensa em direção à costa, e é caracterizado pelo avanço do mar em áreas normalmente não alcançadas, causando assim danos a propriedades e também provocando inundações. Embora as ondas de superfície possuam um alto poder destrutivo, as inundações associadas às marés meteorológicas podem se manter durante um intervalo de tempo da ordem de algumas horas a alguns dias, aumentando ainda mais os problemas relacionados a esse fenômeno como, por exemplo, o represamento de águas de drenagem continental sobre as planícies costeiras, regiões que abrigam muitas cidades costeiras. Nessa situação, há também ocorrência de tempestades (maior precipitação) que contribuem para o aumento do nível médio dos corpos d’ águas (por exemplo, Baía de Guanabara, com ligação com o oceano) assim como intensificam as inundações.

Para uma situação ideal de um evento de maré meteorológica “positiva”, é necessário que haja um centro de baixa pressão esteja sobre o oceano e o centro de alta

---

<sup>4</sup> Com exceção das citações contidas no texto, este texto foi baseado no documento disponível pelo Grupo de Modelagem Oceânica da Universidade de São Paulo < <http://www.surge.iag.usp.br/> >.

pressão sobre o continente, proporcionando uma pista de vento paralela à costa. No caso de baixa pressão no oceano e alta pressão no continente, o vento gerado é mais comumente dos quadrantes sul e sudoeste, ocasionando a subida do NM, também conhecida por “empilhamento” de água na costa. Em outras palavras, uma maré meteorológica “positiva”. (PARISE, 2011).

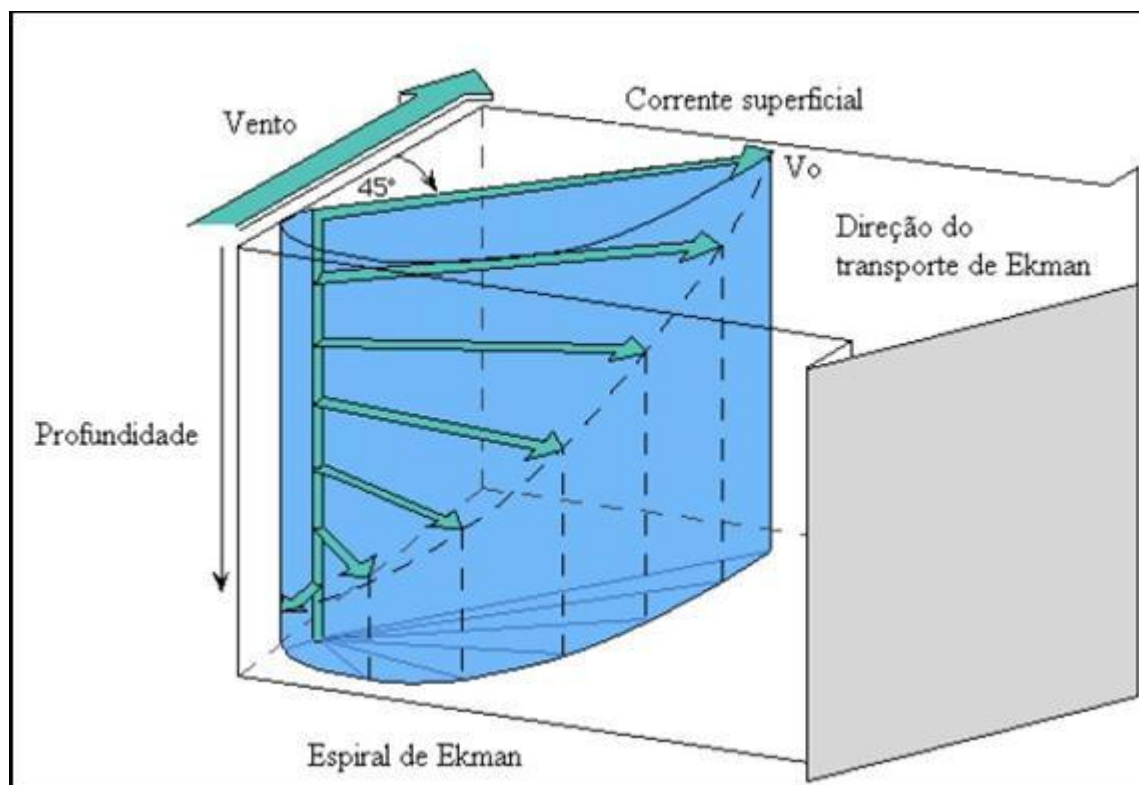


**Figura 11:** Caso idealizado de centros de alta e baixa pressão (AP e BP) em regiões costeiras, com “empilhamento” de água na costa (Figura 11A) e rebaixamento do nível do mar na costa (Figura 11B). As setas pretas indicam o vento superficial, enquanto as setas vermelhas representam a resultante do transporte de Ekman (hemisfério sul) na superfície (90° do vento) Fonte: Camargo (2011).

Na figura 11A, apresenta-se um caso idealizado, no qual os centros de alta pressão (AP) e baixa pressão (BP) estão dispostos de forma adequada para produzir um vento de superfície paralelo à costa (setas pretas). No caso de intensidade e duração suficientes para criar e manter um "empilhamento" de água junto à costa devido ao transporte de água à esquerda do vento (setas vermelhas) serão observados valores de maré mais altos do que os previstos pela tábua de marés, ou seja, situações de inundações persistentes associadas a marés meteorológicas “positivas”. Por outro lado (Figura 11B), marés meteorológicas “negativas” ocorrem quando acontece uma inversão entre as posições dos centros de alta e baixa pressão em relação ao esquema anterior, ou seja, a baixa sobre o continente e a alta sobre o oceano, como esquematizado abaixo. Neste caso, o transporte de água pelo vento será em direção ao



mar aberto, causando níveis mais baixos do que aqueles previstos na tábua de marés, podendo comprometer a navegação em canais de acesso a baías e portos. Isso ocorre devido a um fenômeno conhecido como Transporte de Ekman (Figura 12).



**Figura 12:** Espiral de Ekman para o Hemisfério Norte. Adaptado de Thurman (1996).

Trata-se de uma consequência do fenômeno de rotação da Terra sobre seu próprio eixo quando associado ao escoamento permanente de um fluido na presença de tensões viscosas. O desvio aparente que se observa da ação do vento sobre a superfície do oceano de  $45^\circ$  acaba influenciando camadas sub-superficiais e gerando uma espiral, que causa um transporte residual de água (e de outras substâncias em suspensão na água) transversalmente ao sentido do vento. No Hemisfério Sul, o desvio aparente da água é para a esquerda da tensão aplicada pelo vento (POND e PICKARD, 1986); levando em consideração a variação espacial do vento, notam-se variações no transporte de Ekman, originando assim convergência e divergência horizontal.

Para um trecho costeiro com orientação leste-oeste, como a costa do estado do Rio de Janeiro, ventos de oeste, portanto paralelos à costa causam empilhamento na água ao longo da costa, enquanto os provenientes de leste retiram a água da costa. Já para o estado de São Paulo, de orientação de linha de costa basicamente nordeste-sudoeste, ventos paralelos à costa com componentes de sul-sudoeste causam empilhamento na água ao longo da costa, enquanto os de nordeste retiram a água da costa.

Por outro lado, a componente do vento perpendicular à costa tem uma menor influência sobre as variações do NMM (PICKARD e EMERY, 1982 *apud* UAISSONE, 2004, p.14). Paiva (1993) reforça a teoria de que o litoral sudeste brasileiro é sensível às forçantes atmosféricas com o NM respondendo mais ao vento paralelo à costa porque as variações locais de pressão atmosférica não são tão significativas quanto em locais onde ocorrem tufões e furacões.

### **3.7. Climatologia de Frentes Frias**

As mudanças nas condições meteorológicas da região sudeste do Brasil, geralmente associam-se à passagem, formação ou intensificação dos sistemas frontais, que por sua vez estão associados a variações de temperatura, pressão, umidade e ventos fortes (MORAIS; CASTRO; TUNDISI, 2010).

As frentes frias são superfícies que separam massas de ar com características diferentes, de temperatura e umidade. Atrás da frente fria, o ar é mais frio e relativamente mais seco, enquanto que na frente deste sistema, as temperaturas e umidade do ar são significativamente mais elevadas. Estes sistemas meteorológicos são mais frequentes entre os meses de maio e setembro, período onde as mudanças de tempo são mais significativas. Durante o verão, as frentes frias apresentam trajetórias oceânicas e ocasionalmente atingem a costa da região sudeste e, raramente, podem avançar pelo interior das regiões sudeste, centro-oeste e norte do Brasil (CPTEC/INPE, 2012).

Associados aos distúrbios de grande escala, os sistemas atmosféricos frontais deslocam-se acompanhados de ciclones e anticiclones móveis, modificando os campos de vento, pressão atmosférica e outras forçantes atmosféricas ao longo da sua trajetória (WALLACE & HOBBS, 1977). Na plataforma continental sul-sudeste do Brasil, essas perturbações atmosféricas podem provocar sobre-elevações do NM (STECH &

LORENZZETTI, 1992; CAMARGO & HARARI, 1994; CASTRO & LEE, 1995, INNOCENTINI & CAETANO NETO, 1996; ROCHA *et al.* 2004).

No verão é muito comum observar a presença de canais de umidade (ZCAS) que provocam bastante chuva e nebulosidade. Devido a isso, as temperaturas sofrem declínio e tornam mais amenas (menor presença de radiação solar devido ao aumento da nebulosidade), contudo esta característica não deve ser confundida com a presença de uma frente fria.

Andrade e Cavalcanti (2004) e Andrade (2007) observaram, para a América do Sul, uma diminuição da frequência dos sistemas frontais das latitudes mais altas para as mais baixas. Também notaram alguns padrões e características relevantes no deslocamento dos sistemas frontais, como a intensidade no campo de pressão, intensidade e posição do cavado associado ao sistema, pressão ao nível médio do mar e advecção de vorticidade ou capacidade de rotação. Andrade (2005) analisou a variabilidade interanual do número de frentes frias em três regiões da América do Sul, no período entre 1980-2002, e obteve como resultado para região Sudeste do Brasil que a frequência de sistemas frontais foi de 50 a 60 eventos, na maioria dos anos.

No inverno, os sistemas frontais se sucedem com maior frequência e velocidade de deslocamento, causando nebulosidade principalmente no litoral (LEMOS e CALBETE, 1996). Segundo esses autores, isto ocorre devido à impossibilidade do ar quente e úmido ser renovado durante o curto intervalo entre os sistemas frontais. Dessa forma, a nova frente fria irá encontrar o ar relativamente frio deixado pela precedente.

De acordo com Uaiassone (2004), as perturbações no nível do mar geradas numa área tendem a viajar para fora da área de geração como uma onda longa e livre, sendo considerada ao longo da plataforma continental como uma onda de águas rasas, com velocidade  $C=(gH)^{1/2}$ , ou seja, a velocidade de propagação (C) é igual a raiz quadrada do produto da aceleração da gravidade pela profundidade (H). Portanto, conclui-se pela fórmula que a velocidade de propagação dessa onda é diretamente proporcional à profundidade local. Assim, quanto mais rasa a região, menor a velocidade de propagação da onda, que tenderá a se desacelerar. O movimento do centro de baixa pressão gera uma onda forçada que pode propiciar a ocorrência de ressonância que, por

sua vez, dá um incremento na amplitude da maré meteorológica, caso a velocidade da frente se aproxime à de ondas longas (Figura 6). Contudo, ondas geradas na plataforma continental podem de certa forma, afetar o nível do mar na costa antes da chegada do sistema frontal.

### **3.8. Técnicas de Análise de Dados**

#### **3.8.1. Dados Meteorológicos: Reanalysis NCEP/NCAR**

A América do Sul é um continente de grande extensão territorial, possuindo diferentes regimes de precipitação, com uma grande variabilidade de climas com diferentes características regionais. Sabendo das dificuldades de se obter séries de dados meteorológicos longas e contínuas para o planeta como um todo, com destaque para o hemisfério sul, diversos centros de previsão do tempo e clima vêm oferecendo produtos de reanálise. A principal vantagem destas séries de reanálise está em se tratar de períodos de dados razoavelmente longos e sem falhas para qualquer ponto do planeta (PINTO; DINIZ; COSTA, 2006).

Dentro da meteorologia moderna, o termo reanálise refere-se aos procedimentos de “interpolação dos dados observados nas estações para pontos de matriz tridimensional com espaçamentos pré-definidos sobre o globo terrestre”, feitos através do uso de um modelo numérico global da atmosfera (UAISSONE, 2004). Além disso, segundo o mesmo autor:

As reanálises são projetos específicos de grandes centros mundiais de meteorologia operacional, nos quais uma determinada versão de um modelo atmosférico global é preparada para a reconstrução de análises num longo período de tempo, permitindo assim o uso confiável das séries temporais produzidas por este procedimento de análise (UAISSONE, A. J. R. 2004, p. 29)

O projeto “Reanalysis” surgiu através da uma cooperação entre o NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction / The National Center for Atmospheric Research*) para produção de registros de análises globais na área meteorológica em apoio às necessidades das comunidades científicas acerca de pesquisas com teor climático. Os registros são provenientes de navios, radiossondas, aviões, satélites, entre

outros dados, encontrados em um sistema de assimilação de dados, mantidos desde 1957. Entre seus objetivos, enquadra-se o módulo de acoplamento ar-mar, em que os fluxos de superfície do modelo atmosférico serão utilizados para assimilação de dados oceanográficos (Kalnay *et al.*, 1996).

Os dados de reanálises do NCEP/NCAR são obtidos através de uma assimilação via modelagem numérica idêntica àquela que é usada no sistema operacional de previsão do NCEP (Kalnay *et al.*, 1996). Outros comentários a respeito da qualidade, vantagens e desvantagens do uso das reanálises do NCEP/NCAR podem ser vistos em Reid *et al.* (2001), Trigo *et al.* (2004) e Wiedenmann *et al.* (2002), dentre outros.

A reanálise de dados globais assimilados na área meteorológica é uma ferramenta valiosa para obtenção de informações sobre mudança climática potencial, condições atmosféricas e padrão de circulação geral. É necessário, entretanto, estabelecer as limitações dos dados para aplicações específicas. Por exemplo, as análises atmosféricas podem produzir distorções ao longo do tempo devido a variações nos dados de entrada, ou um erro humano, ou variações sazonais devido a limitações na capacidade do modelo para simular processos físicos ou dinâmicos (REID *et al.*, 2001).

### **3.8.2. Análise Espectral**

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma variável dispostas sequencialmente no tempo. Normalmente, as séries temporais são analisadas a partir de seus principais movimentos descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias (OLIVEIRA e FAVERO, 2002).

O uso de técnicas de análise de séries temporais tem como objetivo fazer previsões de valores futuros e do passado com intuito de investigar o seu mecanismo gerado. Tais técnicas podem ser utilizadas para descrever o comportamento de uma série por meio da construção de gráficos que permitam verificar a presença de componentes como tendência e sazonalidade. Observa-se que em certas séries históricas há manifestação de algum fenômeno que possa provocar uma mudança de valores ou de variações dos valores dos dados em um determinado instante de tempo. É possível que esta mudança ocorra em consequência de interferência de algum evento conhecido,

denominado intervenção (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Pode-se extrair um grande número de informações de sinais periódicos e aperiódicos no domínio do tempo. Entretanto, para caracterização da informação contida no domínio da frequência é usual realizar uma análise espectral (KUMARESAN, 1993). A versatilidade desse tipo de análise é comprovada pela vasta aplicação nas diversas áreas de conhecimento, sendo alguns exemplos: telefonia móvel, processadores digitais, rádio difusão, processamento de imagens, radares, eletrocardiograma e eletro-encefalograma, registros sísmicos e acústicos, dentre outros (KUMARESAN, 1993). O método de análise desses sinais é classificado em: 1) método não-paramétrico ou análise de Fourier, baseado na Transformada de Fourier; e 2) método paramétrico baseado em modelos pré-determinados, e utilizado em pequenas amostragens do sinal (KUMARESAN, 1993; EMERY e THOMSON, 2001).

A escolha adequada da metodologia a ser aplicada numa análise espectral depende da compreensão do fenômeno físico a ser estudado, da escolha do algoritmo (paramétrico ou não paramétrico) e das questões que se propõe responder (KUMARESAN, 1993). Em geral, o método não paramétrico é o mais utilizado para longas séries temporais, e o presente estudo fez uso do mesmo. No caso de dados geofísicos, métodos de análises de séries temporais não são tão triviais quando comparados aos sinais eletrônicos que, com exceção do ruído, as formas de onda geradas são simples e requerem um tratamento matemático nada sofisticado (FRANCO 1982). A observação das características de um sinal, como dito anteriormente, é relevante para a seleção da melhor estratégia para se estimar os espectros, sendo útil uma classificação *a priori* quanto ao intervalo de tempo em que estão inseridos e sua natureza:

- Sinais de tempo contínuo: é comum empregar o termo analógico para designação de um sinal contínuo no tempo. Para sinais analógicos, o tempo e a amplitude são contínuas;
- Sinal de tempo discreto: sinais definidos para um conjunto enumerável de pontos em um intervalo de tempo. Sinais discretos: o tempo e a amplitude discretas;

- Sinal determinístico: valores são conhecidos ao longo do intervalo de tempo. Ex: maré astronômica;
- Sinal aleatório: incerteza quanto aos valores ao longo do intervalo de tempo. Para descrição, utilizam-se técnicas estatísticas. Ex: maré meteorológica.

O intuito principal de métodos de análise de séries temporais é definir a variabilidade dos dados em termos de funções periódicas dominantes, ou reconhecimento de padrões e a curva de seu espectro. De todos os fenômenos oceanográficos, a maré astronômica é a que exibe o comportamento mais similar a sinais determinísticos de período estacionário, caracterizando-a como um dos movimentos marítimos mais previsíveis. Em contrapartida, ondas de gravidade que são consideradas como sinais periódicos não podem ser classificadas como determinísticas, devido ao caráter aleatório das variáveis que a influenciam, tais como o campo de vento, a transferência de momentum oceano-atmosfera e os contornos dos continentes (EMERY e THOMSON, 2001).

A série temporal pode ser vista como a combinação de componentes periódicas ou quase periódicas que estão sobrepostas à tendência de longo termo e a ruídos (altas frequências aleatórias). Componentes periódicas podem ser representadas como aquelas que tenham amplitudes e fases fixas ou de pequena variação longo do registro. As tendências são variações de longo termo (na ordem de muitos dias) no caso do nível do mar e, por fim, os ruídos representam a porção aleatória do sinal advindos da imprecisão dos equipamentos ao coletar os dados ou simplesmente frequências fora da banda de estudo. Visto que séries temporais reais contêm componentes ruidosas, a resolução do comportamento periódico pode ser mascarada pelo termo aleatório. Assim, faz-se necessária a observação da repetição desses ciclos ao longo do tempo amostrado, mesmo que este seja um processo de característica estacionária. Uma série de valores horários coletados durante o período de um dia não é capaz de descrever por completo o comportamento de um ciclo diário, da mesma forma que séries mensais ao longo de um ano não são suficientes para descrever um ciclo anual (EMERY e THOMSON, 2001 *apud* COSTA, 2010).

### 3.8.3. Análise de Fourier<sup>5</sup>

A série de Fourier envolve a representação de funções periódicas relativamente complexas em termos de funções simples, como seno e cosseno. O objetivo da análise de Fourier é transformar uma função no domínio do tempo para domínio da frequência usando uma técnica de séries de senos e cossenos. A análise de Fourier é uma das formas mais tradicionais para tratamento de sinais e séries temporais (MORETTIN e TOLOI, 2004). Os fundamentos da análise de Fourier foram formalizados em 1807 pelo matemático francês Joseph Fourier (1768-1830), que desenvolveu técnicas para resolução do problema de condução de calor em sólidos. Um dos princípios da análise de Fourier é que qualquer função periódica<sup>6</sup> finita compreendida no intervalo de  $[0, T]$  pode ser reproduzida através do somatório da combinação linear de senos e cossenos, ou séries de Fourier, da forma:

$$y(t) = \overline{y(t)} + \sum_p [A_p \cos(w_p t) + B_p \sin(w_p t)] \text{Equação 01}$$

onde  $\bar{y}$  é o valor médio dos registros,  $A_p$ ,  $B_p$  são constantes (os coeficientes de Fourier), e as frequências angular específicas,  $w_p$ , são múltiplos inteiros ( $p=1,2, \dots$ ) da frequência fundamental,  $w_1 = 2\pi f_1 = 2\pi/T$ , onde  $T$  é o comprimento total da série temporal. Utilizando-se de suficientes componentes de Fourier, cada valor da série pode ser reconstruído com precisão sobre o intervalo principal. Da mesma forma, a contribuição relativa de uma determinada componente faz da variância total da série temporal uma medida importante da frequência específica do sinal observado (EMERY e THOMSON, 2001).

A fundamentação matemática da série e transformada de Fourier encontra-se detalhada em livros de cálculo e estão também demonstradas em trabalhos como de Emery e Thomson (2001); Uaissone (2004) e Costa (2010).

---

<sup>5</sup> Análise de Fourier é uma das formas mais tradicionais para tratamento de sinais e séries temporais. Esta técnica foi criada por Jean Baptiste Joseph Fourier e publicada em 1822 no seu trabalho intitulado *Théorie Analytique de la Chaleur*. Fourier dedicou-se na resolução das equações diferenciais que regem a transferência de calor utilizando uma técnica de séries de senos e cossenos (Série de Fourier) para resolver seus problemas (MORETTIN e TOLOI, 2006).

<sup>6</sup> O início do ciclo é sempre igual ao seu final ( $f(t=0) = f(t=1)$ ), com  $0 < t < 1$ .



## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGIA**

O método de análise dos dados oceanográficos e meteorológicos foi dividido em cinco etapas: a) Pré-processamento, onde os dados adquiridos foram convertidos em formatos adequados para o manuseio no programa Octave; b) Análise de tendência, por dois métodos distintos, onde foi utilizada a divisão da série temporal em três períodos distintos; c) Filtragem das séries temporais para remoção do sinal de “alta” frequência; d) Análise espectral, onde foi feita a verificação da curva de resposta do filtro; e e) Correlação cruzada, com aplicação da correlação cruzada entre os dados de NMM e de intensidade do vento, tanto paralelo como perpendicular à costa.

#### **4. 1. Análise de tendência para o NMM**

Como forma de se estimar a tendência de variação do nível do mar da região costeira de Ubatuba (SP), foram utilizadas ferramentas de estatística básica e dois métodos para servir de comparação para a análise de eventuais tendências nas variações do NMM. No primeiro método, a partir dos dados filtrados, realizou-se o cálculo da média e desvio padrão para cada ano da série temporal (1978-2000, exceção aos anos de 1984 a 1986) (Tabela 7). A partir desse cálculo, considerou-se como BM todos os valores que estivessem abaixo do valor médio, subtraindo-se o desvio padrão (Média (-) Desvio padrão), e analogamente, foram considerados PM todos os dados acima de média somada ao desvio padrão (Média (+) Desvio padrão). Todos os valores entre a BM e PM foram considerados como NM. Como houve ausência de dados no período de 1984 e 1985, e o ano de 1986 apresentou dados anômalos, a série temporal original foi dividida em três períodos: o primeiro de 1978 a 1983, o segundo de 1987 a 1993 e o terceiro, de 1994 a 2000. Ressalta-se que o terceiro período possui o maior número de falhas e/ou ausência de dados, o que pode vir a influenciar negativamente no resultado de tendência.

Para cada período, foram calculadas as respectivas médias de BM, NM e PM, chamadas a partir desta seção de BMm, NMm e PMm, respectivamente. A partir dos valores obtidos foram gerados os gráficos para cada período, e inserido as linhas de regressão linear, assim como a equação de regressão com os devidos valores de BMm, NMm, e PMm. Assim, obteve-se a tendência de variação de NMM para cada período.

O segundo método trata da aplicação do método de regressão linear através de uma rotina criada no software Octave. Neste caso, o cálculo das tendências foi realizado tanto para a série bruta quanto para a filtrada. O método estatístico de regressão linear é bastante utilizado para prever futuros valores a partir de valores passados. O objetivo principal da análise de regressão linear é predizer o valor da variável dependente “y” dado que seja conhecido o valor da variável independente x. A equação de regressão é a fórmula algébrica pela qual se determina “y” (função  $y=ax +b$ ).

**Tabela 7:** Valores da estatística básica para cada ano da série temporal filtrada.

ANOS	MÉDIA ANUAL (cm)	DESVIO PADRÃO (cm)	ANOS	MÉDIA ANUAL (cm)	DESVIO PADRÃO (cm)	ANOS	MÉDIA ANUAL (cm)	DESVIO PADRÃO (cm)
1978	99	15	1987	147	14	1993	146	14
1989	100	15	1988	141	19	1995	147	14
1980	101	15	1989	140	15	1996	141	15
1981	102	13	1990	146	14	1997	140	13
1982	103	14	1991	143	15	1998	140	13
1983	108	15	1992	146	15	1999	141	15
			1993	148	14	2000	142	16

## 4. 2. Filtragem Numérica

Segundo Menezes (2007), um filtro numérico é utilizado em séries temporais com o objetivo de separar no domínio do tempo, ruído ou interferências, para distinguir e/ou separar baixas e altas frequências ou mesmo frequências específicas na série. Na literatura, existem várias definições de filtros com a finalidade comum de permitir a identificação de harmônicos em determinadas faixas do domínio de frequências (UAISSONE, 2004). Distinguem-se três tipos de filtros, sendo classificados quanto à posição das frequências de corte: filtros *passa baixa*, que atenuam oscilações acima da frequência de corte; *passa alta*, que atenuam oscilações abaixo da frequência de corte e os *passa-banda*, que atenuam oscilações fora do intervalo de frequências pré-delimitado.

Marés e movimentos inerciais apresentam-se como “ruído de alta frequência” em medidores de correntes e marégrafos, se o interesse for o estudo da variabilidade de fenômenos de longo período (“baixa” frequência), tal como as oscilações do NMM e a sua resposta à influência das forçantes meteorológicas em escalas mensais, sazonais e anuais. Tais fenômenos fornecem indicações sobre variações hidrodinâmicas sazonais e tendências de longo período (HARARI *et al.*, 2004). Para avaliar a correlação entre as componentes atmosféricas de intensidade do vento e variáveis oceanográficas, é necessário avaliar as perturbações de períodos superiores a três dias, sendo estas os principais agentes causadores de variação do NMM (MENEZES, 2007).

Com o intuito de obter o NMM e reter o sinal subinercial associado ao vento (período de 48 horas), neste trabalho optou-se pelo uso do filtro do tipo passa-baixa cosseno de Lanczos, de maneira a atenuar as componentes astronômicas e inerciais, preservando os sinais de “baixa” frequência (períodos superiores a 40 horas). A técnica de filtragem foi utilizada por Kalil (1999), Uaissone (2004), Oliveira (2004), Costa (2007), Menezes (2007) e Costa (2010), embora nem todos estes autores tenham utilizado o mesmo filtro. Os principais filtros passa-baixa utilizados em oceanografia podem ser vistos na Tabela 8.

**Tabela 8:** Análise dos filtros de passa-baixa mais comumente utilizados na Oceanografia.

Filtros de passa-baixa	Vantagens	Desvantagens
<i>Xo de Doodson &amp; Warburg (1941)</i>	Filtro simples e de fácil implementação. Atenua fortemente as principais constituintes de maré.	Não remove eficazmente as frequências superiores à banda diurna, com resíduos de até 10% (THOMPSON, 1983).
<i>Godin (1972)</i>	Filtro de simples implementação, baseado na aplicação de três médias móveis	Amortece excessivamente oscilações de frequências inferiores à banda diurna (40%)
<i>Cosseno de Lanczos (1979)</i>	Largamente utilizado na Oceanografia	Não amortece a componente diurna, podendo ser ajustado, exigindo uma demanda de maior quantidade de observações.
<i>Thompson (1983)</i>	Atenuação das frequências pré-determinadas por imposição. Permite a otimização de seu desempenho por possibilitar ao usuário a seleção de parâmetros de cálculo.	Certa complexidade na implementação, com maior demanda no processamento dos cálculos. A imposição das frequências selecionadas leva à piora no ajuste da função de resposta.

Fonte: Costa (2010).

Para o tratamento das séries temporais deste estudo, foi usado o filtro passa-baixa cosseno de Lanczos desenvolvido por Lanczos (1956), e indicado como eficiente nos trabalhos de Duchon (1979), Walters e Heston (1982), e Dottori e Castro (2009), dentre outros.

Duchon (1979) demonstrou a simplicidade da utilização do filtro de Lanczos, assim como comparou a resposta do filtro Lanczos com outros tipos de filtros (exs. Hanning e Craddock), e estendeu esta análise para duas dimensões. A simplicidade do cálculo e a resposta adequada do filtro Lanczos o tornam um método de filtragem atraente.

Walters e Heston (1982) descreveram a fundamentação matemática do método do filtro Lanczos, exemplificando através de fórmulas e gráficos a resposta da aplicação deste filtro numa análise de dados.

Dottori e Castro (2009) realizaram um estudo para analisar a resposta dos ventos sinóticos na Plataforma Continental de São Paulo (PCS). Um dos métodos usados no trabalho foi a aplicação do método de Lanczos quadrado a dados de corrente, que foram analisados com filtro de passa baixa para remoção das oscilações de marés e preservação das oscilações sub-inerciais

### 4.2.1. Curva de Resposta do Filtro

A filtragem numérica de uma série temporal pode ser feita a partir da convolução da série original,  $x(t)$ , e a função filtro passa-baixa,  $w(t)$ , transformando a série original em uma série de valores médios  $y(t) \rightarrow \hat{y}(t) = w(t) * x(t)$ , cujos valores discretizados devem ser iguais a  $2N+1$  pesos,  $w(k)$  (MENEZES, 2007).

Foram realizadas duas filtrações consecutivas com o filtro cosseno de Lanczos, com 41 pesos (20 pesos para cada lado da janela mais o peso central) em cada etapa, considerado adequado para análise de dados maregráficos com frequência de amostragem horária. Esses pesos foram calculados pela própria rotina elaborada no software Octave e serviram de subsídio para análise dos dados maregráficos. Para a análise espectral, também foi realizado um processo de alisamento no domínio da frequência.

Para um filtro de  $N$  pesos distintos ( $2N+1$  pesos, em função da simetria), por exemplo, um filtro com 20 pesos ( $2*20+1 = 41$  pesos), tal resposta é calculada pela expressão:

$$R(\Omega) = w_0 + 2 \sum_{k=1}^{k=N} w_k \cos(k\Omega\Delta t) \quad \text{Equação 02}$$

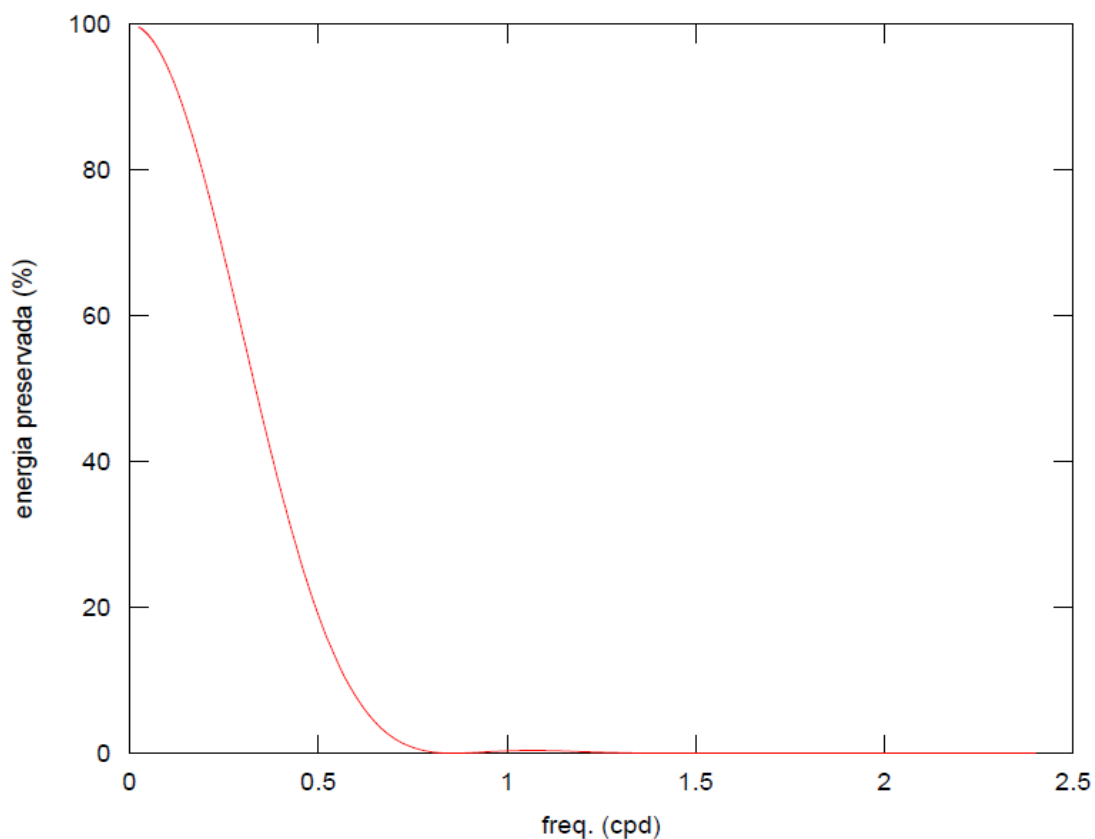
Isto significa que se, na série a ser analisada, estiver presente uma onda com amplitude  $H$  e frequência  $\Omega$ , o sinal filtrado mostrará uma onda de mesma frequência, porém com uma amplitude  $H.R(\Omega)$ . A Figura 13 ilustra a curva de resposta do filtro cosseno de Lanczos após a dupla filtragem, ou seja, duas filtrações consecutivas com 41 pesos cada (linha vermelha). Nos resultados são apresentados os valores da curva de resposta do filtro de Lanczos utilizado neste trabalho. Destaca-se que a aplicação de outros filtros, como o de Thompson, pode gerar uma atenuação menor da energia dos fenômenos de interesse que estejam fora da banda de frequência a ser filtrada, como no caso deste estudo, oscilações da ordem de alguns dias.

**Tabela 9:** Pesos do filtro cosseno de Lanczos (41 pesos), para a primeira filtragem, calculados para a análise da série temporal dos dados maregráficos.

<b>k</b>	<b>w(k)</b>	<b>k</b>	<b>w(k)</b>
1	0,0014670994	22	0,0381903459
2	0,0043925887	23	0,0378538519
3	0,007295000	24	0,0372951965
4	0,0101495159	25	0,0365176881
5	0,0129469705	26	0,0355258794
6	0,0156684471	27	0,0343255907
7	0,0182979750	28	0,0329238657
8	0,020801231	29	0,0313289305
9	0,0232200905	30	0,0295501446
10	0,0254837931	31	0,0275979467
11	0,0275979467	32	0,0254837931
12	0,0295501446	33	0,0232200905
13	0,0313289305	34	0,0208201231
14	0,0329238657	35	0,0182979750
15	0,0343255907	36	0,0156684471
16	0,0355258794	37	0,0129469705
17	0,0365176881	38	0,0101495159
18	0,0372951965	39	0,0072925000
19	0,0378538419	40	0,0043926887
20	0,0381903459	41	0,0014670994
21	0,0383027337 (central)		

**Tabela 10:** Pesos do filtro cosseno de Lanczos (41 pesos), para a segunda filtragem, calculados para a análise da série temporal dos dados maregráficos.

<b>k</b>	<b>w(k)</b>	<b>k</b>	<b>w(k)</b>	<b>k</b>	<b>w(k)</b>	<b>k</b>	<b>w(k)</b>
<b>1</b>	$2,15 \times 10^{-6}$	<b>22</b>	$1,14 \times 10^{-2}$	<b>43</b>	$2,97 \times 10^{-2}$	<b>64</b>	$6,89 \times 10^{-3}$
<b>2</b>	$1,29 \times 10^{-5}$	<b>23</b>	$1,26 \times 10^{-2}$	<b>44</b>	$2,93 \times 10^{-2}$	<b>65</b>	$5,94 \times 10^{-3}$
<b>3</b>	$4,07 \times 10^{-5}$	<b>24</b>	$1,39 \times 10^{-2}$	<b>45</b>	$2,88 \times 10^{-2}$	<b>66</b>	$5,05 \times 10^{-3}$
<b>4</b>	$9,38 \times 10^{-5}$	<b>25</b>	$1,52 \times 10^{-2}$	<b>46</b>	$2,81 \times 10^{-2}$	<b>67</b>	$4,24 \times 10^{-3}$
<b>5</b>	$1,80 \times 10^{-4}$	<b>26</b>	$1,65 \times 10^{-2}$	<b>47</b>	$2,73 \times 10^{-2}$	<b>68</b>	$3,51 \times 10^{-3}$
<b>6</b>	$3,08 \times 10^{-4}$	<b>27</b>	$1,79 \times 10^{-2}$	<b>48</b>	$2,63 \times 10^{-2}$	<b>69</b>	$2,86 \times 10^{-3}$
<b>7</b>	$4,83 \times 10^{-4}$	<b>28</b>	$1,92 \times 10^{-2}$	<b>49</b>	$2,53 \times 10^{-2}$	<b>70</b>	$2,28 \times 10^{-3}$
<b>8</b>	$7,13 \times 10^{-4}$	<b>29</b>	$2,05 \times 10^{-2}$	<b>50</b>	$2,42 \times 10^{-2}$	<b>71</b>	$1,79 \times 10^{-3}$
<b>9</b>	$1,00 \times 10^{-3}$	<b>30</b>	$2,18 \times 10^{-2}$	<b>51</b>	$2,30 \times 10^{-2}$	<b>72</b>	$1,36 \times 10^{-3}$
<b>10</b>	$1,36 \times 10^{-4}$	<b>31</b>	$2,30 \times 10^{-2}$	<b>52</b>	$2,18 \times 10^{-2}$	<b>73</b>	$1,00 \times 10^{-4}$
<b>11</b>	$1,79 \times 10^{-3}$	<b>32</b>	$2,42 \times 10^{-2}$	<b>53</b>	$2,05 \times 10^{-2}$	<b>74</b>	$7,13 \times 10^{-4}$
<b>12</b>	$2,28 \times 10^{-3}$	<b>33</b>	$2,53 \times 10^{-2}$	<b>54</b>	$1,92 \times 10^{-2}$	<b>75</b>	$4,83 \times 10^{-4}$
<b>13</b>	$2,86 \times 10^{-3}$	<b>34</b>	$2,63 \times 10^{-2}$	<b>55</b>	$1,79 \times 10^{-2}$	<b>76</b>	$3,08 \times 10^{-4}$
<b>14</b>	$3,51 \times 10^{-3}$	<b>35</b>	$2,73 \times 10^{-2}$	<b>56</b>	$1,65 \times 10^{-2}$	<b>77</b>	$1,80 \times 10^{-4}$
<b>15</b>	$4,24 \times 10^{-3}$	<b>36</b>	$2,81 \times 10^{-2}$	<b>57</b>	$1,52 \times 10^{-2}$	<b>78</b>	$9,38 \times 10^{-5}$
<b>16</b>	$5,05 \times 10^{-3}$	<b>37</b>	$2,88 \times 10^{-2}$	<b>58</b>	$1,39 \times 10^{-2}$	<b>79</b>	$4,07 \times 10^{-5}$
<b>17</b>	$5,94 \times 10^{-3}$	<b>38</b>	$2,93 \times 10^{-2}$	<b>59</b>	$1,26 \times 10^{-2}$	<b>80</b>	$1,29 \times 10^{-5}$
<b>18</b>	$6,89 \times 10^{-3}$	<b>39</b>	$2,97 \times 10^{-2}$	<b>60</b>	$1,14 \times 10^{-2}$	<b>81</b>	$2,15 \times 10^{-6}$
<b>19</b>	$7,92 \times 10^{-3}$	<b>40</b>	$3,00 \times 10^{-2}$	<b>61</b>	$1,02 \times 10^{-2}$		
<b>20</b>	$9,01 \times 10^{-3}$	<b>41</b>	$3,01 \times 10^{-2}$ <b>(central)</b>	<b>62</b>	$9,01 \times 10^{-3}$		
<b>21</b>	$1,02 \times 10^{-2}$	<b>42</b>	$3,00 \times 10^{-2}$	<b>63</b>	$7,92 \times 10^{-3}$		



**Figura 13:** Curva de resposta do filtro de Lanczos. A curva em vermelho representa a curva do filtro após a dupla filtragem (41 pesos).

### 4. 3. Dados Meteorológicos

Para este estudo, foram utilizados dados de vento zonal (Tx) e vento meridional (Ty) a 10 m acima do nível do mar, do projeto “Reanalysis”, disponível gratuitamente em <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/reanalysis>. A aquisição dos dados foi viabilizada por uma rotina no programa Octave, que possibilitou o acesso aos dados de extensão netcdf (.nc). Alguns trabalhos que utilizaram dados desse modelo global são citados na Tabela 11.

Esses dados de vento são dispostos em uma malha computacional, cuja resolução horizontal para os dados de intensidade do vento é igual a 2,5° de latitude e 2,5° de longitude, disponíveis para os horários sinóticos das 00:00, 06:00, 12:00 e 18:00 GMT (*Greenwich Meridian Time*). Um ponto de grade desta malha mais próximo a região de estudo foi escolhido para avaliação espaço-temporal das séries maregráfica e meteorológica (Figura 1).



**Tabela 11:** Alguns trabalhos que utilizaram dados do modelo global do NCEP/NCAR em estudos ao longo da costa brasileira.

Autor/Ano	Principais contribuições
Uaissone (2004)	Utilizou dados das reanálises do NCEP no estudo da variação do NMM em Piraquara (RJ) influenciado por perturbações atmosféricas em mesoescala na região oceânica sul e sudeste.
Picarelli e Harari (2006)	Utilizaram dados de ventos extraídos do Reanalysis para determinação da contribuição isolada de cada componente da circulação nos sistemas hidrodinâmicos, mais especificamente as marés, os ventos e o campo de temperatura e salinidade.
Oliveira (2004), Oliveira <i>et al.</i> (2007)	Utilizaram dados meteorológicos de reanálise do NCEP/NCAR para analisar as influências remotas dessas variáveis no NM através do uso de redes neurais artificiais para predição da maré meteorológica em Paranaguá (PR).
Menezes (2007)	Fez uso de dados de tensão de vento e pressão atmosférica do modelo global do NCEP/NCAR para verificação da influência remota dos mesmos no NM, comparando-os aos resultados obtidos das plataformas de coleta de dados em terra, numa contribuição metodológica de análise de dados meteorológicos e oceanográficos.
Costa (2010)	Utilizou dados de tensão de vento do NCEP/NCAR do projeto Reanalysis para verificar a influência das tensões do vento na variação do NMM na região costeira de Cananéia (SP).

Costa (2010) utilizou quatro pontos de grade do NCEP/NCAR para avaliação espaço-temporal das séries maregráfica e meteorológica, e concluiu que os pontos mais próximos à costa podem ter sido “contaminados” pela resolução do modelo global, que provavelmente não distingue – na discretização espacial utilizada, a influência do continente e da proximidade das condições de retorno. Nesse estudo, assim como em Uaissone (2004) e Menezes (2007), evidenciou-se que as maiores energias e respectivas coerências entre o NMM e intensidade do vento foram observadas quando usados os pontos de grade mais distantes (remotos) da costa na área de interesse.

#### 4.4. Dados Maregráficos

Foi realizada uma análise crítica dos dados adquiridos nessa estação, a fim de se identificar problemas que usualmente ocorrem nos dados maregráficos, como por exemplo: operação inadequada ou mau funcionamento do marégrafo, falta de padronização do equipamento e equívoco na etapa de digitalização do maregrama (DOTTORI, 2011, comunicação pessoal). Identificou-se a ausência completa de dados

no período de 1984-1985, a qual foi explicada pela falta de matéria prima (tinta e papel) necessária para registro das informações. O ano de 1986 apresentou dados anômalos, assim como o ano de 1977, que apresentou inúmeras falhas. Diante disso esses dois anos foram suprimidos das análises deste estudo. Ressalta-se também que houve um salto da ordem de 39 cm nos valores NMM entre os anos de 1983 e 1987 (Tabela 7). Especula-se que o nível de referência localizado na base do IOUSP em Ubatuba possa ter sido alterado, o que teria causado essa subida artificial do NMM. Entretanto, não foi possível obter informações oficiais que confirmem a razão para essa descontinuidade, uma vez que uma variação dessa magnitude não seria natural.

Para fins de aplicação das técnicas de filtragem, de análise espectral e, foram removidas, da série original, a média e a tendência dos dados maregráficos de todo o período. Posteriormente, para os períodos sem dados, por exemplo, devido a falhas amostrais ou de registro, a série foi preenchida com zeros. Desta forma, evitou-se a criação artificial de fenômenos de “baixa” frequência na série maregráfica a ser filtrada. Ressalta-se que a remoção da média e tendência, além da inclusão de zeros nas falhas, foi utilizada apenas para a análise espectral.

#### 4. 5. Análise Espectral

A série maregráfica foi dividida em três períodos: o primeiro de 6 anos (1978 - 1983), antes do período sem dados (1984-1986) e outros dois períodos de mesma duração, ou seja 7 anos, sendo de 1987-1993 e 1994-2000 (Tabela 12).

**Tabela 12:** Divisão da série maregráfica em três períodos.

<b>Período</b>	<b>Anos amostrados</b>
<b>1</b>	1978-1983
<b>2</b>	1987-1993
<b>3</b>	1994-2000

#### 4. 5.1. Atenuação dos Ruídos do Sinal

O uso de séries temporais longas, isto é, da ordem de vários anos - conforme esta em estudo, tem o propósito de capturar o máximo de ciclos de “baixa” frequência. Entretanto, ao se estimar o espectro, torna-se difícil a separação da contribuição de cada uma das frequências envolvidas (COSTA, 2010). Os espectros que serão mostrados nos resultados ilustram a banda de frequências de interesse, já que nenhuma frequência específica teve um significativo destaque, além da demonstração da atenuação das frequências de oscilações diurnas e semidiurnas.

#### 4. 6. Correlação Cruzada

A análise espectral cruzada é um método bastante utilizado para aferir o grau de relação entre dois sistemas físicos, e permite investigar até que ponto há correlação entre os processos e se têm interferências entre eles (CASTRO, 2007). Para maior fundamentação a respeito desta análise, recomendam-se alguns trabalhos que utilizaram análise espectral cruzada em estudos de NMM (Tabela 13).

**Tabela 13:** Alguns trabalhos que utilizaram a análise espectral cruzada em estudos do NMM.

Autor/Ano	Contribuições
<b>Uaisson (2004)</b>	Fez uso de dados das reanálises do NCEP no estudo do NMM em Piraquara (RJ) influenciado por perturbações atmosféricas em mesoescala na região oceânica sul e sudeste.
<b>Oliveira (2004); Oliveira et al. (2007)</b>	Fez uso do espectro cruzado entre a maré meteorológica e as séries de superfície e reanálise do NCEP/NCAR para analisar as influências remotas dessas variáveis no nível do mar através do uso de redes neurais artificiais para predição da maré meteorológica em Paranaguá (PR).
<b>Menezes (2007)</b>	Analisou os espectros cruzados de NMM com as componentes zonal (Tx) e meridional (Ty) da tensão do vento e a pressão atmosférica (ao NM), de maneira a verificar a influência remota dessas forçantes no NM.
<b>Costa (2010)</b>	Utilizou os espectros cruzados para avaliar a influência relativa da tensão do vento remoto na variação do NMM na região costeira de Cananéia (SP), com interesse na determinação das variações de longo termo do NMM frente a efeitos astronômicos.

Para aplicação da análise de correlação cruzada neste estudo, foram utilizados dados de velocidade do vento do NCEP/NCAR e dados maregráficos coletados pelo IOUSP, para o mesmo período (1978-2000), com exceção dos anos de 1984 a 1986. A série temporal de nível do mar foi reamostrada com dados de 6 em 6 horas, com a finalidade de deixar compatíveis as duas séries temporais. Em seguida, aplicou-se o filtro de Lanczos 36 horas devido à frequência amostral dos dados de vento (6 em 6 horas). Uma vez que a orientação da costa na área de estudo é basicamente NE-SW, estimou-se o vento paralelo e perpendicular à costa a partir do rotacionamento dos dados de vento em  $50^\circ$ , em relação ao norte geográfico. Os 20 anos de dados, tanto meteorológicos quanto oceanográficos, foram então analisados anualmente. Assim, os resultados maregráficos, usados na correlação cruzada, referem-se ao NMM anual.

Na Tabela 14, encontram-se os pesos do filtro após a primeira e segunda filtragem para análise da correlação cruzada. No anexo A, encontram-se os gráficos referentes aos pesos das filtragens.

**Tabela 14:** Pesos do filtro Cosseno de Lanczos (3 e 6 pesos), primeira filtragem e segunda filtragem, respectivamente, calculados para a análise de correlação cruzada.

<b>w</b>	<b>w(k)</b>
<b>1</b>	0,049515566
<b>2</b>	0,138739533
<b>3</b>	0,200484434
<b>4</b>	<b>0,222520934 (central)</b>
<b>5</b>	0,200484434
<b>6</b>	0,138739533
<b>7</b>	0,049515566

**Tabela 14 (continuação):** Pesos do filtro Cosseno de Lanczos (3 e 6 pesos), primeira filtragem e segunda filtragem, respectivamente, calculados para a análise de correlação cruzada.

w	w(k)	w	w(k)
1	0,002451791	8	0,158593733
2	0,013739533	9	0,12179311
3	0,039102858	10	0,077666733
4	0,077666733	11	0,039102858
5	0,12179311	12	0,013739533
6	0,158593733	13	0,002451791
7	<b>0,173304481 (central)</b>		

De modo a reforçar a aplicação da análise de correlação cruzada com uma abordagem estatística, foram calculados os graus de liberdade para se avaliar em que nível de significância se encontram os resultados. Na Tabela 15, são apresentados os coeficientes mínimos de correlação, que permitiram a estimativa do grau de confiabilidade na correlação entre ambos os processos físicos, ou seja, NMM e velocidade do vento paralelo e perpendicular à costa.

**Tabela 15:** Coeficientes de correlação de 5% e 1% de níveis de significância para vários graus de liberdade.

Graus de Liberdade	5%	1%	Graus de Liberdade	5%	1%
1	0.997	1.000	24	0.388	0.496
2	0.950	0.990	25	0.381	0.487
3	0.878	0.959	26	0.374	0.478
4	0.811	0.917	27	0.367	0.470
5	0.754	0.874	28	0.361	0.463
6	0.707	0.834	29	0.355	0.456
7	0.666	0.798	30	0.349	0.449
8	0.632	0.765	35	0.325	0.418
9	0.602	0.735	40	0.304	0.393
10	0.576	0.708	45	0.288	0.372
11	0.553	0.684	50	0.273	0.354
12	0.532	0.661	60	0.250	0.325
13	0.514	0.641	70	0.232	0.302
14	0.497	0.623	80	0.217	0.283
15	0.482	0.606	90	0.205	0.267
16	0.468	0.590	100	0.195	0.254
17	0.456	0.576	125	0.174	0.228
18	0.444	0.561	150	0.159	0.208
19	0.433	0.549	200	0.138	0.181
20	0.423	0.537	300	0.113	0.148
21	0.413	0.526	400	0.098	0.128
22	0.404	0.515	500	0.088	0.115
23	0.396	0.505	1000	0.062	0.081

Fonte: Emery e Thomson, 2001.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1. Análise de tendência de variação do NMM

Confirme descrito na seção 4.1, para análise de tendência do NMM, foram utilizados dois métodos. A seguir, as Tabelas 16 a 18 e Figuras 14 a 16 ilustram os resultados obtidos com o 1º método.

#### 1º método (Média + e – Desvio Padrão)

**Tabela 16:** Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1978-1983.

Anos	PMm	NMm	BMm
1978	124	98	77
1979	125	100	77
1980	124	100	80
1981	121	102	82
1982	124	104	81
1983	130	108	85
	<b>PM Média 1977 - 1983</b>	<b>NM Média 1977 - 1983</b>	<b>BM Média 1977 - 1983</b>
	125	102	80

Segundo apresentado na Tabela 5, na subseção 3.4, o NMm calculado para o ano de 1978 em Ubatuba (IOUSP/SP) foi de 69 cm, segundo FEMAR (2012), enquanto que após aplicação do 1º método deste estudo para esse ano, o NMM calculado foi de 98 cm (Tabela16).

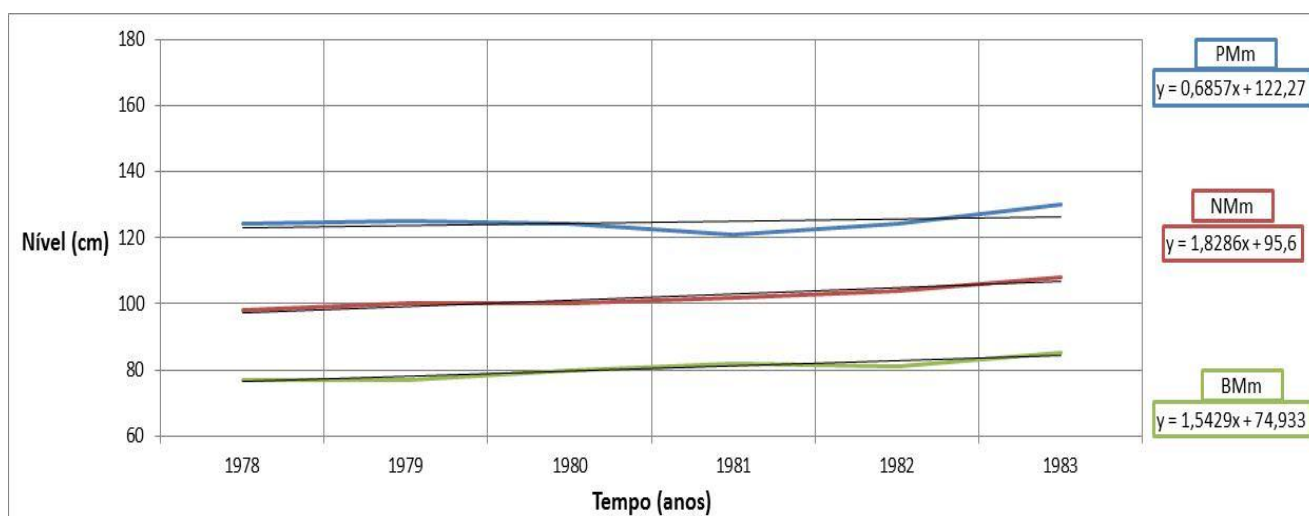
**Tabela 17:** Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1987-1993.

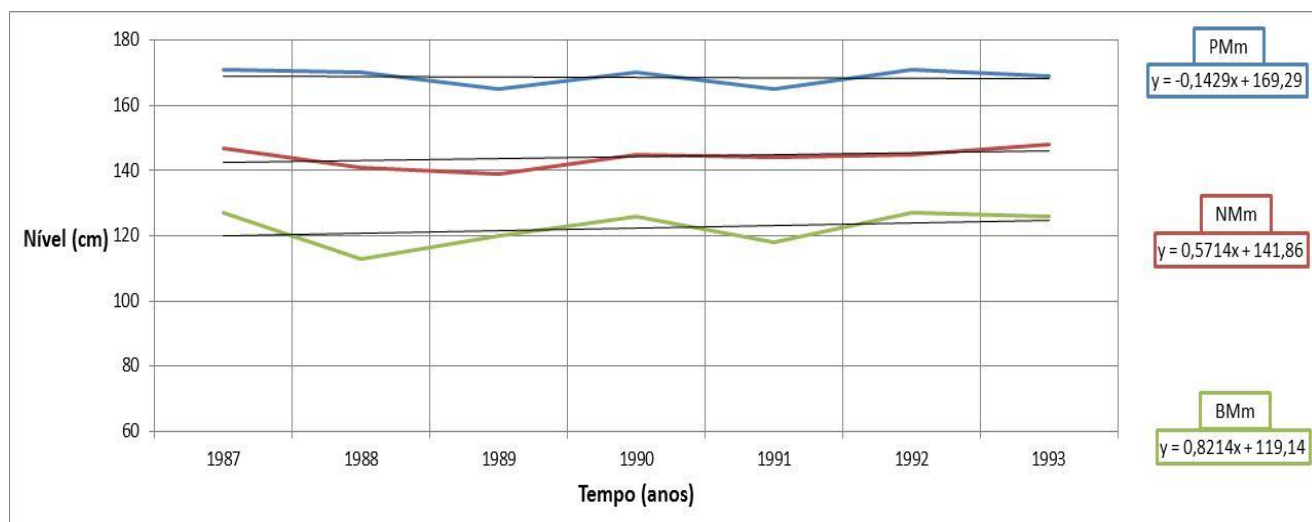
Anos	PMm	NMm	BMm
1987	171	147	127
1988	170	141	113
1989	165	139	120
1990	170	145	126
1991	165	144	118
1992	171	145	127
1993	169	148	126
	<b>PM Média 1977 - 1983</b>	<b>NM Média 1977 - 1983</b>	<b>BM Média 1977 - 1983</b>
	169	171	122

**Tabela 18:** Valores anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1994-2000.

Anos	PMm	NMm	BMm
1994	169	145	126
1995	169	147	127
1996	165	141	118
1997	161	140	120
1998	161	140	121
1999	168	141	118
2000	161	145	118
	<b>PM Média 1994- 2000</b>	<b>NM Média 1994-2000</b>	<b>BM Média 1994- 2000</b>
	165	143	121

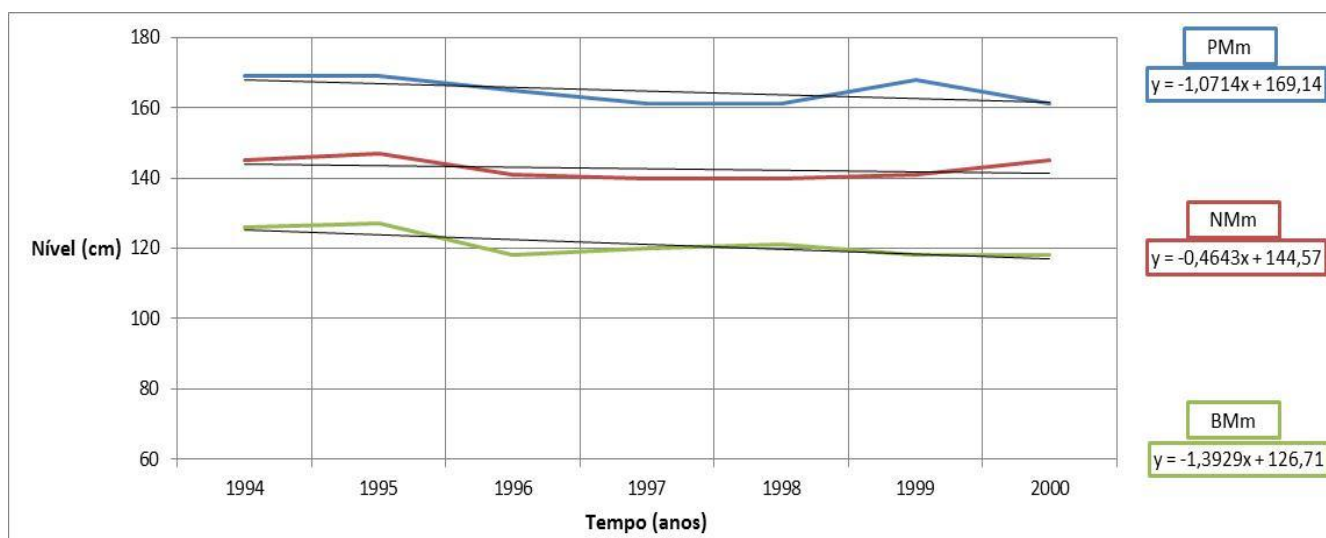
As tabelas acima exemplificam a separação da série temporal em três períodos, com os respectivos valores de PMm, NMm e BMm anuais. Encontram-se também os valores médios de PM, NM e BM para cada período. A seguir, são apresentadas as figuras com a análise de tendência, utilizando-se regressão linear, para cada período.

**Figura 14:** Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1978-1983.



**Figura 15:** Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1987-1993.

Nota-se, nas figuras 14 e 15, que houve uma redução da tendência de aumento do NM do primeiro para o segundo período. Enquanto no primeiro período, a tendência média de aumento foi em torno de 1,83 cm/ano, no segundo período esta tendência foi de 0,57 cm/ano. No primeiro período, a PMm foi a que subiu mais lentamente em relação a BMm e NMm.



**Figura 16:** Análise de tendência das médias anuais de BMm, NMm e PMm (todos em cm) para o período 1994-2000.

O 3º período (1994-2000), conforme ilustrado pela Figura 16, apresentou um rebaixamento generalizado do NMm, em torno de - 0,47 cm/ano, diferentemente dos períodos anteriores. Em síntese, a análise de tendência do NMm no primeiro período



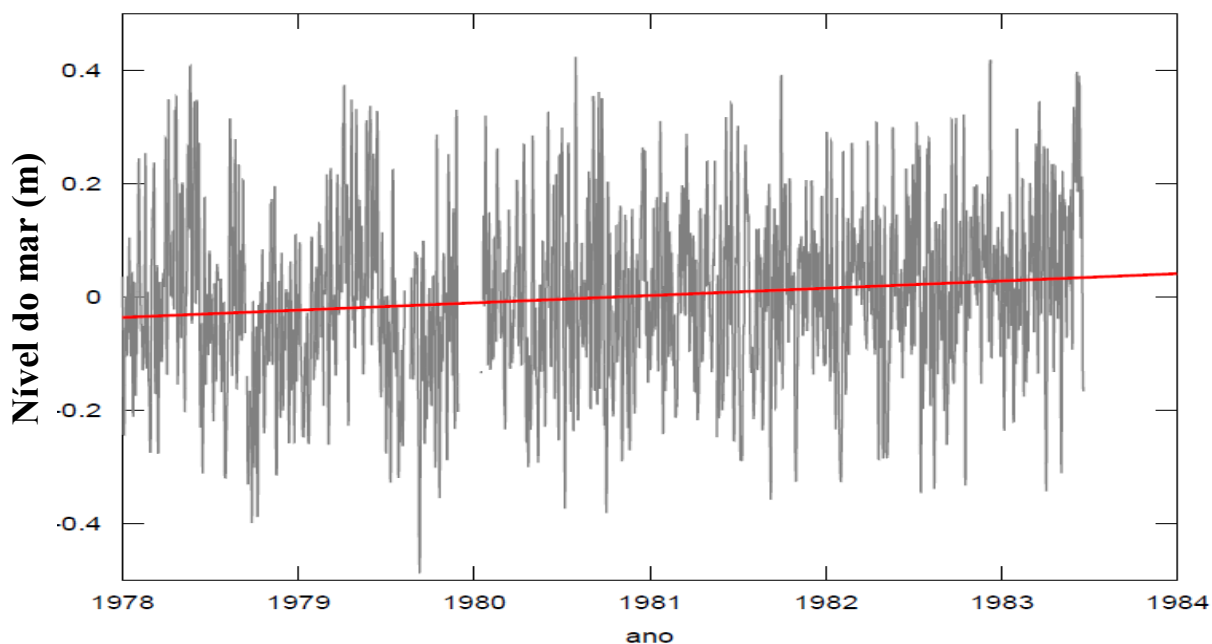
indicou variações de subida do NMm, seguido de um período de desaceleração dessa subida. Por fim, entre 1994 e 2000, observou-se uma tendência de descida do NMm. Destaca-se que as variações temporais entre PMm, NMm e BMm não são constantes, de modo, que as regiões intermareais, ou seja, aquelas sujeitas a inundações regulares entre a baixamar e a preamar, também variam com o tempo (Tabela 19).

**Tabela 19:** Valores dos coeficientes de regressão linear para cada período analisado.

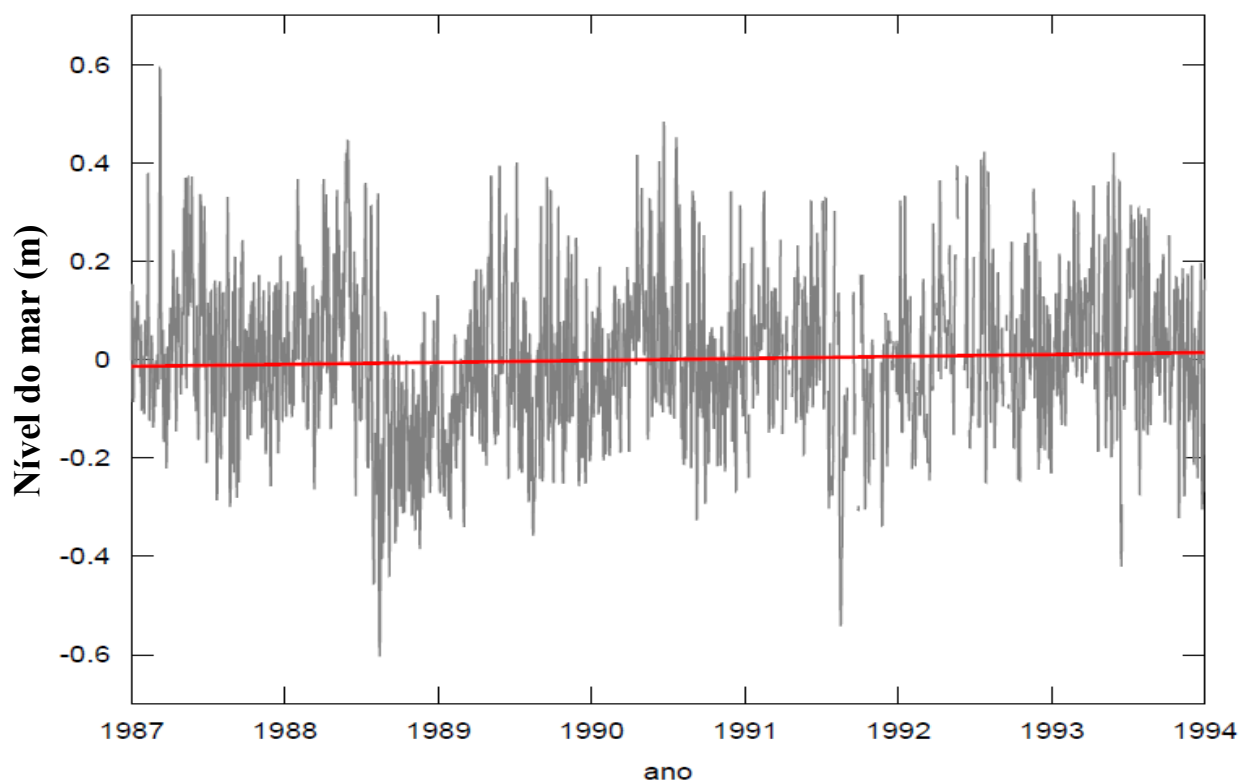
Período (anos)	BMm (cm/ano)	NMm (cm/ano)	PMm (cm/ano)
1978-1983	1,5	1,83	0,69
1987-1993	0,82	0,57	-0,14
1994-2000	-1,39	-0,46	-1,07

## 2º método

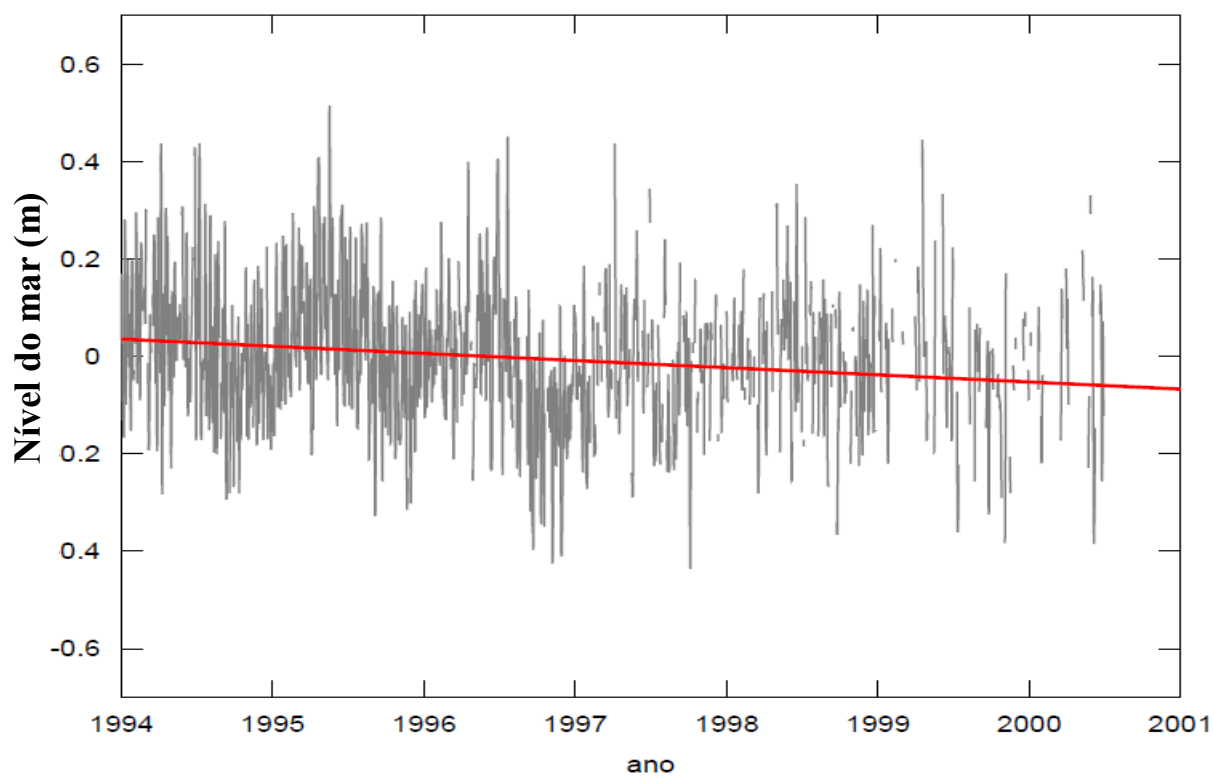
Para o 2º método, são apresentados os gráficos de variação de tendência para cada período nas figuras 17 a 19.



**Figura 17:** Análise de tendência do NMM, utilizando o 2º método, para o 1º período (1978-1983). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear.



**Figura 18:** Análise de tendência do NMM, utilizando o 2º método, para o 2º período (1987-1993). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear.



**Figura 19:** Análise de tendência do NMM, utilizando o 2º método, para o 3º período (1994-2000). A linha cinza escura apresenta os dados filtrados e a linha em vermelho, a reta de regressão linear.

**Tabela 20:** Valores dos coeficientes de regressão linear, utilizando o 2º método, para cada período analisado.

Período (Anos)	NM filtrado (cm/ano)	NM bruto (cm/ano)
1977-1983	1,3	1,3
1987-1993	0,4	0,4
1994-2000	-1,5	-1

O 2º método apresenta resultados de tendência do nível do mar tanto para os dados brutos (NM não filtrado) quanto para os dados filtrados (NMM), porém ressalta-se que os gráficos ilustram apenas os dados filtrados. Ambos os resultados apresentaram os mesmos valores, com exceção dos valores encontrados no 3º período. Esse comportamento talvez se explique pela maior quantidade de períodos sem dados maregráficos entre os anos de 1994 e 2000, diferentemente dos anos anteriores, o que pode ter amplificado as estimativas entre a série bruta e a filtrada. Em comparação com o 1º método, os resultados do primeiro período também indicaram variações de subida do nível relativo do mar em relação ao marégrafo, seguido de um período de desaceleração dessa subida e no terceiro período, estimou-se uma também tendência de redução do nível relativo do mar, em torno de -1,5 cm/ano (Tabela 20).

**Tabela 21:** Tabela comparativa entre os dois métodos de análise de tendência.

Período (Anos)	1º método			2º método	
	BMm (cm/ano)	NMm (cm/ano)	PMm (cm/ano)	NM (filtrado) (cm/ano)	NM (bruto) (cm/ano)
1978-1983	1,54	1,83	0,69	1,3	1,3
1987-1993	0,82	0,57	-0,14	0,4	0,4
1994-2000	-1,39	-0,46	-1,07	-1,5	-1

Nota-se na Tabela 21 que em ambos os métodos há uma variação de subida do nível relativo do mar no 1º período (1977-1983), seguido de um período de desaceleração dessa subida no 2º período (1987-1993). Por fim, no 3º período (1994-2000), estima-se uma tendência de descida do nível relativo do mar. Entretanto, cabe destacar que a concordância entre os resultados obtidos para NM pelos diferentes métodos se restringe ao aspecto qualitativo, uma vez que pelo 1º método, a estimativa de subida foi de 0,65 cm/ano, enquanto pelo segundo método, foi de 0,07 cm/ano. Se considerada a estimativa para o nível do mar a partir dos dados brutos, obteve-se uma

tendência de subida de aproximadamente 0,23 cm/ano, resultado que idêntico ao obtido por Alfredini (2011), a partir de dados maregráficos do IGG em Ubatuba.

## 5.2. Resposta do Filtro Cosseno de Lanczos

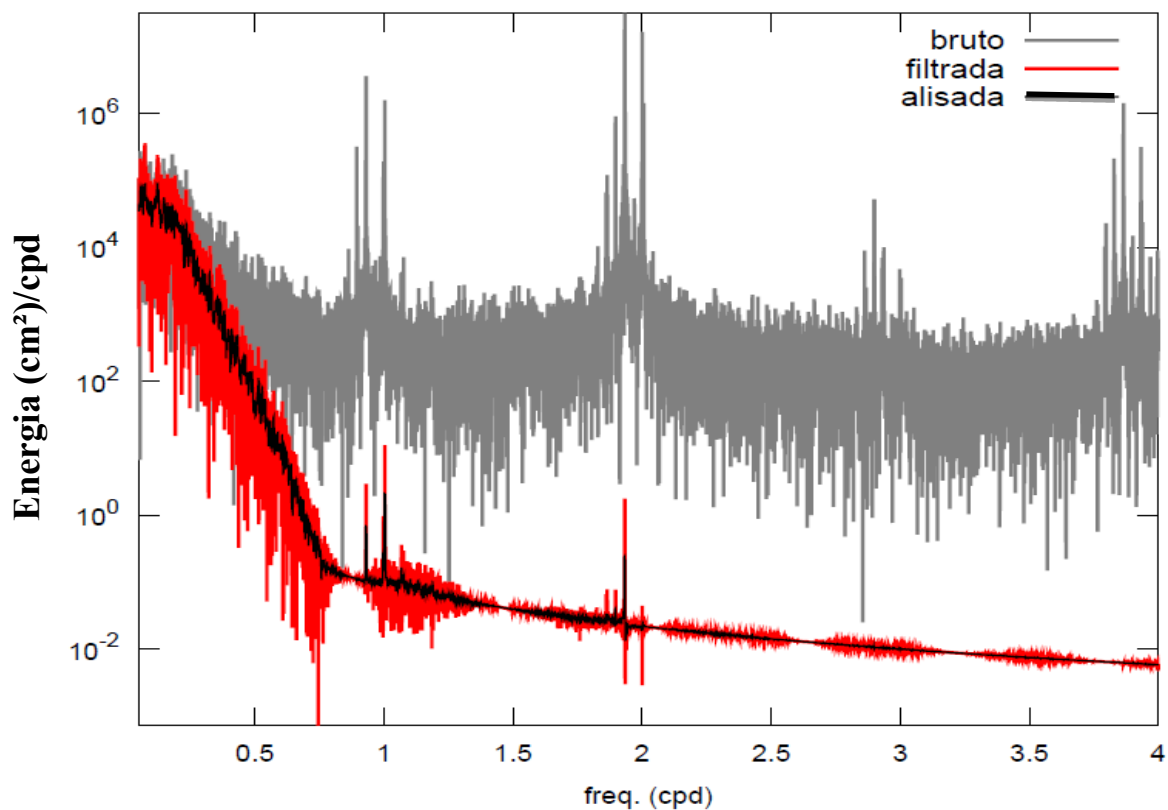
Observa-se na Tabela 22 e Figura 13 que, nos fenômenos com períodos de 12 h a 24 h (na faixa de frequências de 2 a 1 cpd), após a segunda etapa filtragem (41 pesos), houve atenuação integral da energia dessas frequências, quando comparado ao sinal original. Já para os fenômenos com período entre 3 a 20 dias (ou seja, frequências de 0,333 cpd a 0,05 cpd), as atenuações energéticas variaram, respectivamente, de 47% a 1,4%, o que demonstra que, quanto menor a frequência de interesse em relação à frequência de corte, menor é a atenuação do sinal, e assim, a utilidade do filtro aplicado. Uma aplicação do filtro de Thompson, realizada com 241 pesos, aos dados maregráficos em questão, mostrou que a atenuação das oscilações com períodos de até 8 dias foi inferior à atenuação do filtro de Lanczos, o que pode caracterizar uma vantagem do filtro de Thompson nessa faixa de frequências. Os resultados da aplicação do filtro de Thompson não são ilustrados neste trabalho.

**Tabela 22:** Valores de resposta para o filtro de Lanczos, utilizado neste trabalho.

Período (dias)	Período (horas)	Frequência (cpd)	Sinal preservado 1ª filtragem	Sinal preservado 2ª filtragem	Atenuação energética percentual após as duas filtrações
0,5	12	2	0,6%	0,0%	100,0%
1	24	1	-5,7%	0,0%	100,0%
2	48	0,5	46,71%	21,83%	78,2%
2,5	60	0,4	62,73%	39,35%	60,7%
3	72	0,3333	72,84%	53,05%	47,0%
4	96	0,25	83,96%	70,49%	29,5%
4,5	108	222	87,16%	75,97%	24,0%
5	120	0,2	89,50%	80,10%	19,9%
5,5	132	0,1818	91,26%	83,29%	16,7%
6	144	0,16666	92,62%	85,78%	14,2%
6,5	156	0,1538	93,68%	87,77%	12,2%
7	168	0,1428	94,53%	89,37%	10,6%
7,5	180	0,1333	95,23%	90,68%	9,3%
8	192	0,125	95,79%	91,77%	8,2%
8,5	204	0,117	96,27%	92,68%	7,3%
9	216	0,111	96,66%	93,45%	6,6%
9,5	228	0,105	97,00%	94,10%	5,9%
10	240	0,1	97,29%	94,66%	5,3%
12	288	0,08333	98,11%	96,26%	3,7%
15	360	0,0666	98,79%	97,59%	2,4%
20	480	0,05	99,31%	98,64%	1,4%

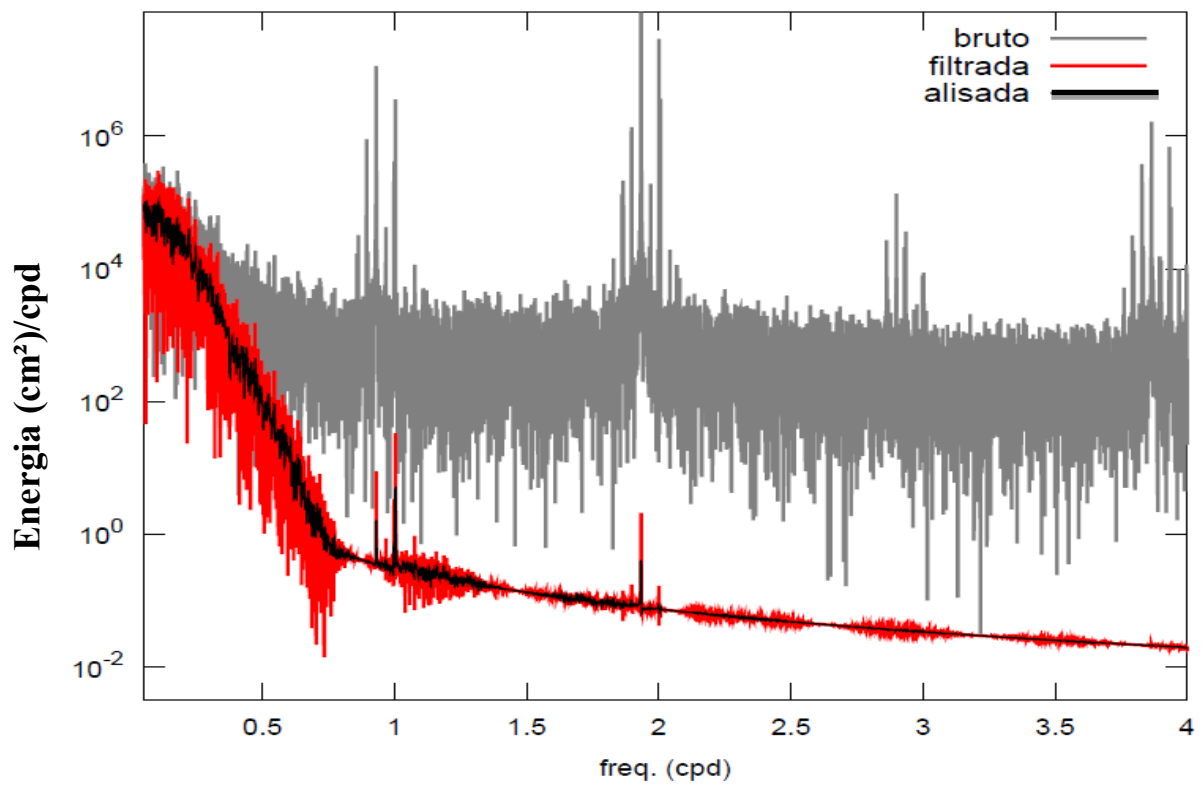
### 5.3. Análise Espectral

. A seguir, as figuras 20a 22 ilustram a eficiência do filtro utilizado na eliminação das frequências inerciais e aquelas associadas às marés astronômicas.

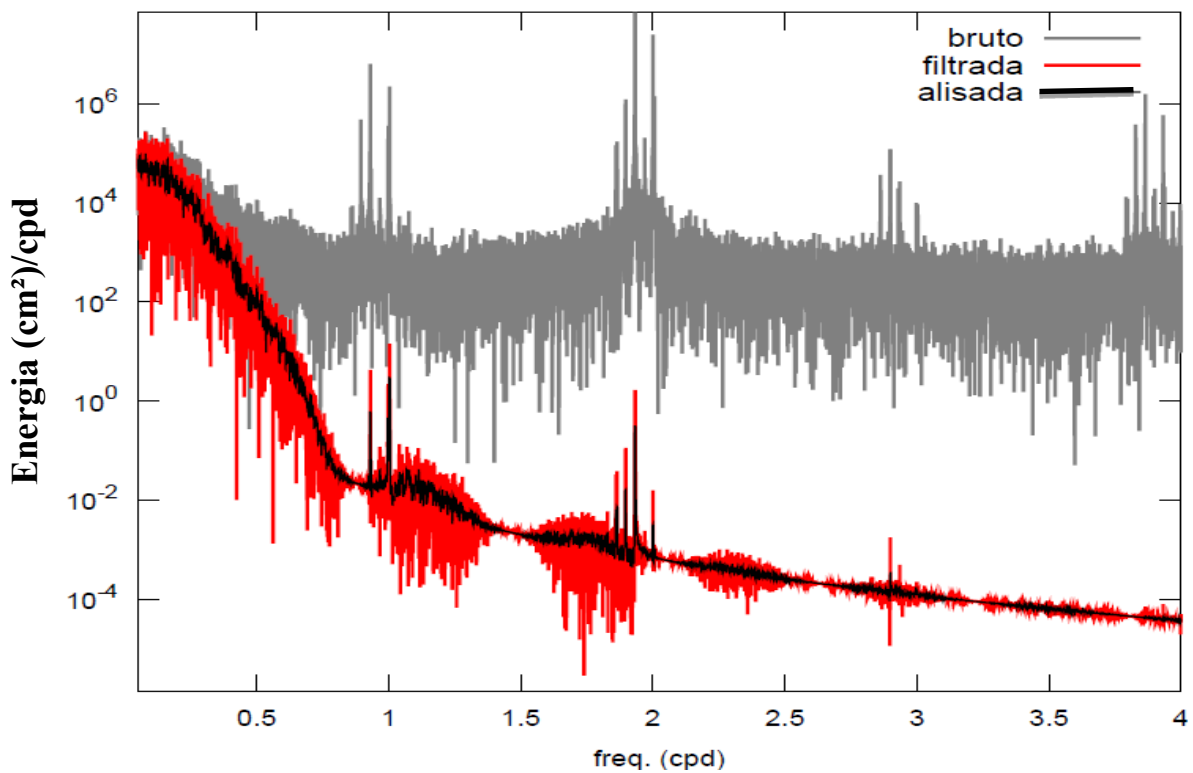


**Figura 20:** Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao primeiro período (1978-1983).

A figura 14 apresenta o espectro de NMM referente ao primeiro período (1978-1983), o qual evidencia a atenuação significativa da energia nas frequências das principais componentes de maré astronômica, como a semidiurna e diurna (2 e 1 cpd, respectivamente).

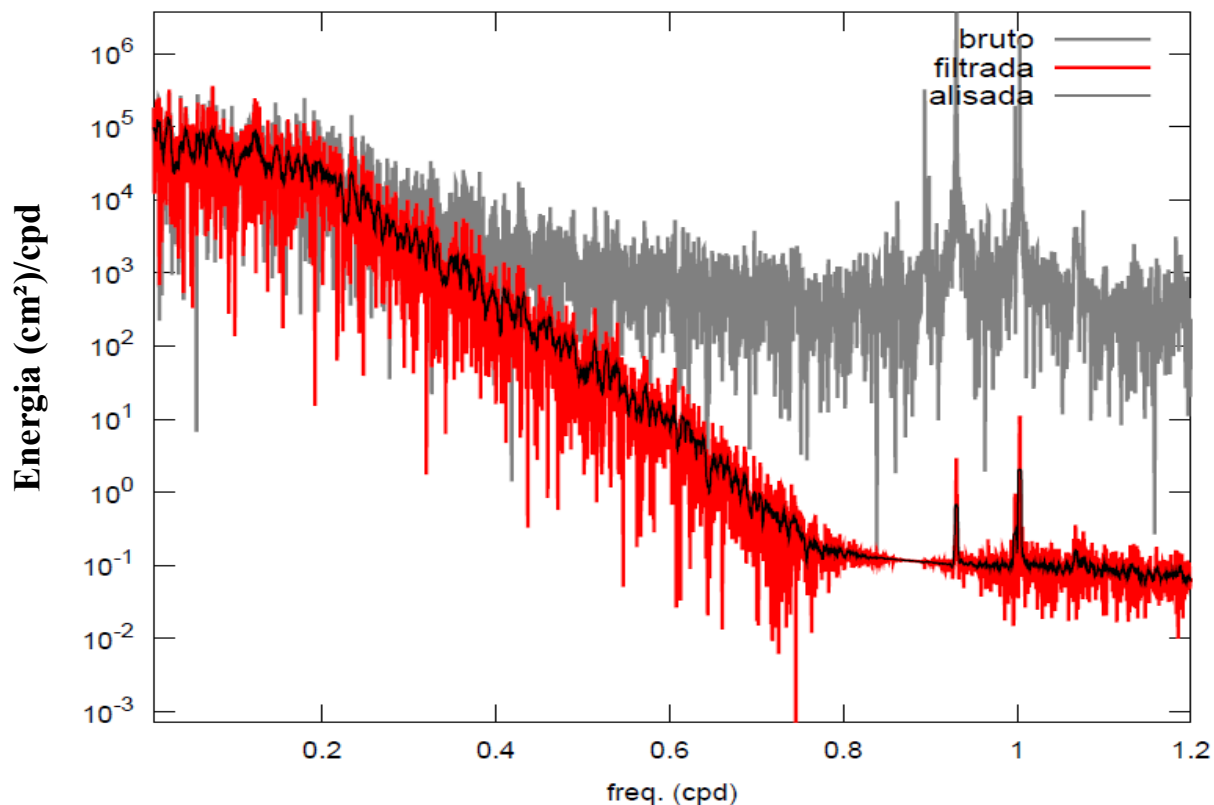


**Figura 21:** Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao segundo período (1987-1993).

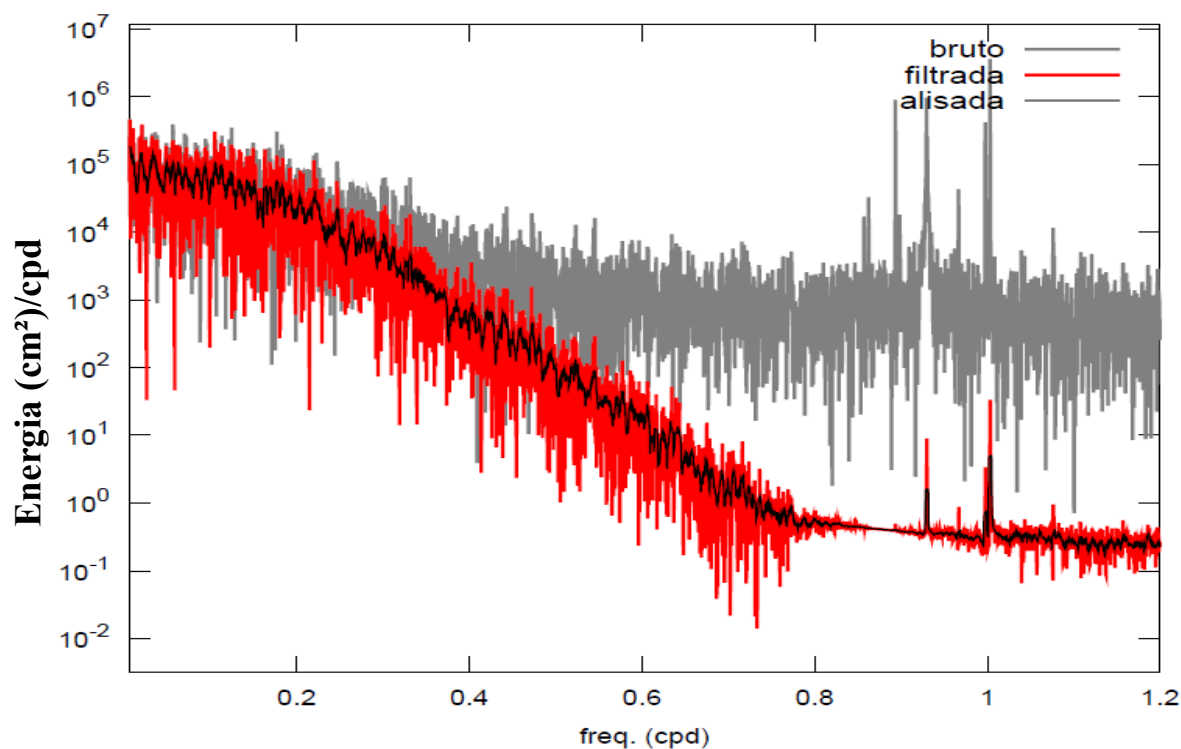


**Figura 22:** Espectro energético das séries maregráficas bruta (linha cinza), filtrada (linha vermelha) e alisada no domínio do tempo (linha preta) referente ao terceiro período (1994-2000).

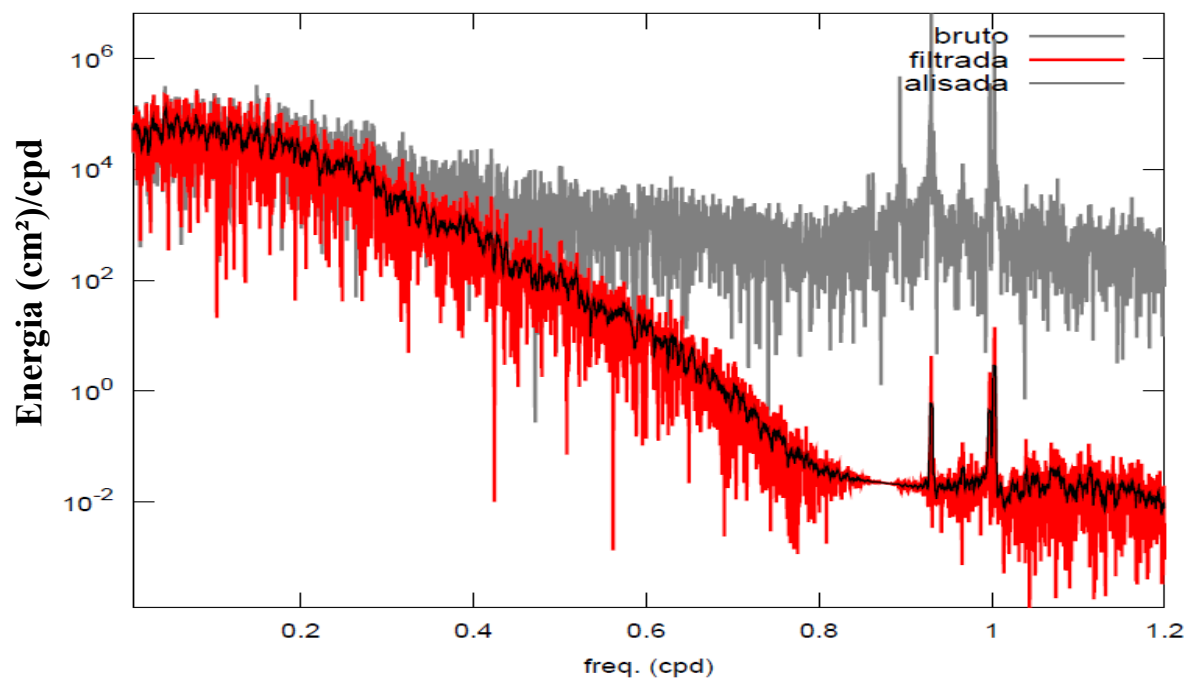
Assim como na Figura 14, nota-se nas Figuras 15 e 16 uma atenuação significativa das frequências de marés astronômicas (1 e 2 cpd). Esses resultados evidenciam o importante papel das duas filtragens realizadas na série temporal, que cumpriu com o objetivo de eliminação das frequências de marés astronômicas. Contudo, o objetivo da filtragem e do estudo, além da atenuação integral das frequências de marés diurna e semidiurna, é destacar as frequências com período superior a 40 horas, ou seja, frequências inferiores a 0,6 cpd, consideradas como “baixas” frequências. As Figuras 23 a 25, referentes também aos três períodos supracitados acima, destacam as “baixas” frequências de interesse neste estudo.



**Figura 23:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd. A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao primeiro período (1978-1983).



**Figura 24:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd. A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao segundo período (1987 -1993).



**Figura 25:** Espectro energético delimitado entre 0 a 1,2 cpd, elaborado para destacar o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd. A série bruta está representada pela cor cinza escura, a série filtrada está em vermelho e o alisamento no domínio do tempo está em cor preta. Este espectro refere-se ao terceiro período (1994-2000).



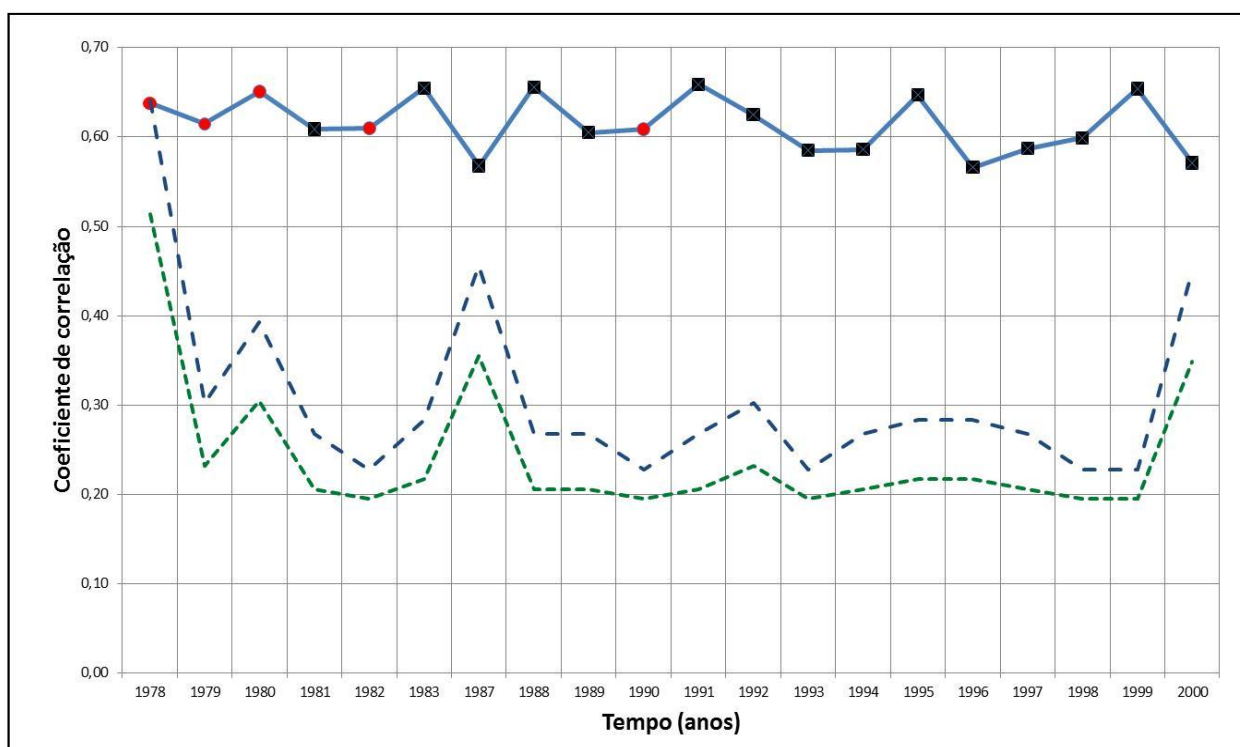
As Figuras 23 a 25 mostram a distribuição das frequências entre 0 a 1,2 cpd, e nossa análise destaca o conteúdo energético das frequências inferiores a 0,6 cpd. Como não há nenhuma frequência individual com maior destaque, e sim uma banda de “baixas” frequências, ressalta-se que entre 0,6 cpd (40 horas) a 0,4 cpd (60 horas), o conteúdo energético varia entre  $10^1$  a  $10^3$  cm<sup>2</sup>. Entre 0,2 cpd (120 horas) e 0,4 cpd (60 horas), o conteúdo está variando entre  $10^3$  a  $10^5$  cm<sup>2</sup> e de 0,2 (120 horas) e 0,05 (480 horas), o conteúdo energético fica concentrado na ordem de  $10^5$  cm<sup>2</sup>. Este resultado demonstra que há um aumento do conteúdo energético entre 40 horas e 20 dias, e que na faixa de frequências com período de 3 a 8 dias (0,333 a 0,125 cpd), referente a maior atuação de ventos, ocorrência de frentes frias e marés meteorológicas, o conteúdo energético situa-se na faixa de  $10^4$  a  $10^5$  cm<sup>2</sup>.

#### **5. 4. Correlação Cruzada: NMM X Ventos paralelo e perpendicular à costa**

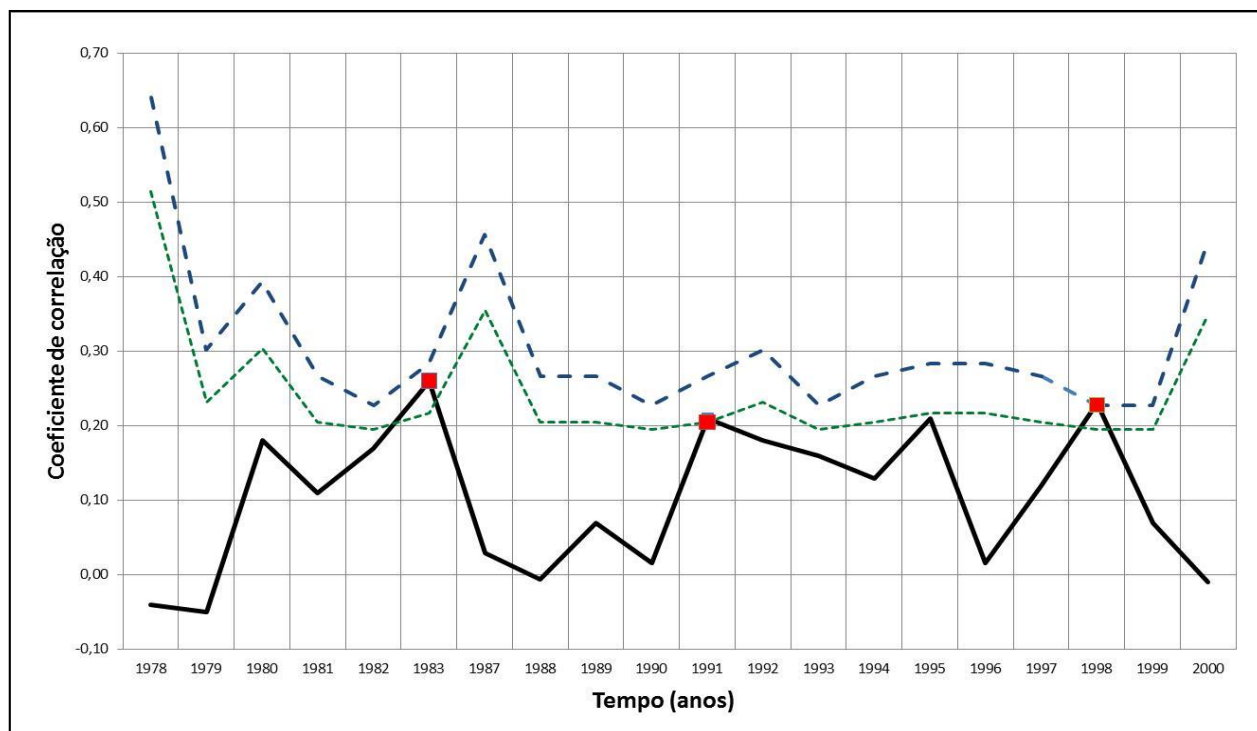
Para análise de correlação cruzada, entre o NMM e o vento, implementou-se no Octave um filtro cosseno de Lanczos 36 horas, aplicado tanto nas séries temporais de NMM, como nas de intensidade do vento paralelo e perpendicular à costa. Na Tabela 23, são apresentados os coeficientes de correlação máximo com seu devido atraso (h) para cada vento (paralelo e perpendicular) em todos os anos. Ressalta-se que um atraso (em horas) significa que, se a fase é negativa (sinal negativo, exemplo: -6 h), indica “liderança” do vento sobre o NMM; quando o resultado é nulo (0 h), vento e nível do mar estão em fase; e se a fase é positiva (sinal positivo, exemplo: 24 h), indica “liderança” do nível sobre o vento. Os resultados obtidos indicam que não há uma correlação significativa entre NMM e o vento perpendicular, enquanto observou-se, uma significativa correlação entre o NMM e o vento paralelo (Tabela 23).

**Tabela 23:** Coeficientes de correlação (máximo) entre NMM e ventos paralelo e perpendicular para cada ano da série temporal, com seu devido atraso (h).

Anos	Vento Paralelo		Vento perpendicular	
	Coeficiente de Correlação (máx.)	Atraso (h)	Coeficiente de Correlação (máx.)	Atraso (h)
1978	0,638	0	-0,04	24
1979	0,615	0	-0,05	30
1980	0,651	-6	0,18	30
1981	0,609	0	0,11	30
1982	0,61	-6	0,17	30
1983	0,655	-6	0,26	24
1987	0,568	-6	0,03	12
1988	0,656	-6	-0,006	24
1989	0,605	0	0,07	24
1990	0,609	-6	0,016	30
1991	0,659	-6	0,21	18
1992	0,625	-6	0,18	24
1993	0,585	-6	0,16	30
1994	0,586	-6	0,13	18
1995	0,647	-6	0,21	6
1996	0,566	-6	0,016	24
1997	0,587	-6	0,12	24
1998	0,599	-6	0,23	24
1999	0,654	-6	0,07	30
2000	0,571	-6	-0,01	30



**Figura 26:** Coeficientes de correlação (máximo) obtidos através da análise de correlação cruzada entre nível e vento paralelo. A reta possui bolas vermelhas (atraso 0h, em fase) e quadrados pretos (indica atraso -6h, "liderança" do vento sobre o nível). As linhas tracejadas (verde e azul) representam os coeficientes mínimos de correlação para obter 95% e 99% de confiança, respectivamente



**Figura 27:** Coeficientes de correlação (máximo) obtidos através da análise de correlação cruzada entre nível e vento perpendicular. A reta contínua (preta) representa os valores de coeficiente máximo do vento perpendicular e o quadrado (vermelho) representa o ano que obteve pelo menos 95% de confiança. As linhas tracejadas (verde e azul) representam os coeficientes mínimos de correlação para obter 95% e 99% de confiança, respectivamente.

A Tabela 15 apresenta os coeficientes mínimos de correlação e seus devidos níveis de significância (1% e 5%, respectivamente). Pelos resultados apresentados na Tabela 23, na Figura 26, e no anexo A, que em todos os anos analisados, foram obtidos níveis de confiança acima de 95% para a correlação cruzada entre o NMM e o vento paralelo à costa. Com isso, esses resultados apresentam um elevado nível de confiabilidade estatística, o que indica que o NMM e o vento paralelo à costa são inter-relacionados, ainda que nessa análise não se possa concluir se há relação de causalidade entre esses processos. Levanta-se a hipótese do Transporte de Ekman ser o agente físico causador dessa correlação cruzada estatisticamente robusta. Ao longo dos 20 anos de dados utilizados para análise de correlação cruzada, nota-se que em apenas 5 anos o nível e o vento paralelo encontravam-se em fase. Nos 16 anos restantes, os resultados indicam um atraso de -6h, que corresponde a “liderança” e/ou influência do vento paralelo à costa sobre o NMM. Portanto, pode-se concluir que há uma significativa correlação entre o vento paralelo e o nível ao longo da região de estudo.

Já para a correlação cruzada entre o NMM e o vento perpendicular à costa, ao longo dos 20 anos de dados, em apenas três anos (1983, 1991, e 1998) foi obtido um coeficiente de correlação com grau de confiança de pelo menos 95%. Com isso, considera-se que não há uma significativa correlação entre o vento perpendicular e o nível ao longo da região de estudo.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo de verificação e escolha dos dados maregráficos adquiridos no LabDados para utilização nesse estudo identificou falhas e/ou ausências de dados devido à falta de matéria prima para coleta das informações, e possível alteração do nível de referência na base do IOUSP, o que influenciou na qualidade dos dados, resultando em uma metodologia adaptativa para aplicação das análises da série temporal. Um problema significativo é a ausência do controle geodésico do marégrafo, o que interfere diretamente na confiança dos dados.

Para análise de tendência do NM, foram aplicados dois métodos distintos na série temporal dividida (1978 a 1983; 1987 a 1993 e 1994 a 2000), sendo o primeiro método obtendo-se tendências médias anuais de BM, NM e PM, chamados de BMm, NMm e PMm, respectivamente, por meio de estatística básica para os dados brutos. O segundo método foi baseado em regressão linear do nível do mar, tanto para os dados brutos (NM), incluindo a maré astronômica, como para os filtrados (NMM). Esses resultados são apresentados na Tabela 21. No primeiro método, as tendências médias de BMm, NMm e PMm – já considerando os 3 períodos, foram de 0,32 cm/ano, 0,65 cm/ano e -0,17 cm/ano (isto é, descida do PMm), respectivamente. No segundo método, a tendência média de subida de NMM – também para os três períodos – foi de 0,07 cm/ano, enquanto para o NM (dados brutos), estimou-se uma tendência de subida do NM da ordem de 0,23 cm/ano, taxa similar à obtida por Alfredini (2011), a partir de dados do IGG em Ubatuba para o período de 1954 a 2005 (Tabela 3). A comparação entre os métodos aplicados neste trabalho indica que houve concordância qualitativa entre os resultados obtidos para NMM, uma vez que em ambos os métodos, para o primeiro período (1978-1983), houve uma tendência de subida dos valores médios de BMm, NMm e PMm, seguida de uma tendência de desaceleração no segundo período (1987-1993) e uma tendência de descida dessas propriedades no terceiro período de análise. Já do ponto de vista quantitativo, houve discrepâncias. Pelo 1º método, a estimativa de subida foi de 0,65 cm/ano, enquanto pelo segundo método, foi de 0,07 cm/ano, o que demonstra a necessidade de cautela e bom senso na interpretação de resultados de variação do nível do mar.

Quanto ao processo de tratamento dos dados maregráficos, para a análise espectral, foi usado o método de inclusão de zeros nas falhas após a remoção da média e da tendência. Este método não altera a variabilidade da série e mantém os dados originais, além de não criar uma energia artificial.

Diante dos bons resultados obtidos por Lanczos (1956), e aos resultados descritos em Duchon (1979), Walters e Heston (1982), e Dottori e Castro (2009), dentre outros, foi usado o filtro de passa baixa cosseno de Lanczos de 40 horas, com duas filtragens consecutivas de 41 pesos cada, para remoção das componentes de maré, notadamente a diurna, já reconhecida como uma oscilação em que o filtro de Lanczos não é tão eficiente quanto em outras frequências. Para a correlação cruzada entre dados meteorológicos (vento) e dados oceanográficos (NM), foi utilizado o filtro de passa baixa cosseno de Lanczos com uma janela de 36 horas (7 e 13 pesos), diante a disposição em 6 em 6 horas dos dados. Foi inserido no método de correlação cruzada o cálculo de graus de liberdade para dar confiabilidade estatística.

A aplicação do filtro cosseno de Lanczos após as duas filtragens consecutivas, apresentou valores de resposta para as frequências de marés diurna e semidiurna (1 e 2 cpd) e para as frequências de interesse (inferior a 0,6 cpd). Conforme exposto na Tabela 22, houve uma atenuação de aproximadamente 100% das frequências de marés diurna e semidiurna. A partir da frequência do sinal subinercial do vento (0,5 cpd) até a frequência com período de 20 dias (0,05 cpd) nota-se uma diminuição da atenuação do sinal. Como o interesse principal é destacar os valores de resposta na faixa de 48 horas a 8 dias (0,5 a 0,125 cpd), há uma atenuação de 21,83% a 91, 77%, respectivamente. Esse resultado mostra que o filtro utilizado tem maior capacidade de preservação do sinal a partir de 7 dias (89 %).

A análise espectral foi feita para cada período supracitado acima e mostrou comportamentos similares para cada período, Observou uma significativa atenuação das frequências de marés diurna e semidiurna (1 e 2 cpd). Na faixa de “baixas” frequências, foram obtidos diferentes níveis de conteúdo energético. Como a faixa de interesse é de frequências inferiores a 0,6 cpd, encontrou-se uma variação do conteúdo energético da ordem de  $10^2$  a  $10^5$  cm<sup>2</sup>. As frequências com períodos de 48 horas (0,5 cpd, sinal

subinercial do vento) e 480 horas (0,05 cpd) se destacaram, com variações de conteúdo energético da ordem de  $10^3$  a  $10^5$  cm<sup>2</sup>. Não há nenhuma frequência individual em destaque e sim uma banda de “baixas” frequências.

A análise de correlação cruzada mostrou comportamentos distintos para os ventos paralelo e perpendicular à costa. Através dos coeficientes de correlação máximo e dos graus de liberdade obtidos após o método de correlação, foi possível concluir que há uma significativa correlação entre vento paralelo à costa e NMM com uma confiança estatística de pelo menos 99%. Em contrapartida, não houve uma significativa correlação entre o vento perpendicular à costa e o NMM. (Tabela 23 e Figura 26).

Com relação às recomendações, sugere-se maior controle de qualidade dos dados, principalmente através do monitoramento geodésico. Além disso, recomenda-se modernização do marégrafo e do treinamento e/ou atualização dos técnicos responsáveis, no sentido de dar maior confiabilidade nos dados.

Para a filtragem, o filtro de cosseno de Lanczos com as duas filtragens, atendeu os objetivos do estudo, com a atenuação significativa das frequências de marés diurna e semidiurna, e na preservação do sinal das “baixas” frequências de interesse. Contudo, testes realizados com filtro de Thompson (1983), em comparação com o filtro cosseno de Lanczos, mostrou que o primeiro filtro tem maior capacidade de preservação dos sinais de “baixas” frequências de interesse neste estudo. Com isso, torna-se importante considerar a eficiência do filtro de Thompson (1983) para realização de trabalhos futuros.

Para os dados de vento, recomenda-se prioritariamente a instalação de uma rede de medição de parâmetros meteoceanográficos nas regiões costeira e oceânica adjacentes à área de estudo, assim como utilização de outros pontos de grade do modelo global, principalmente pontos remotos à costa, para fins comparativos. Por fim, recomenda-se também a inclusão de dados de pressão atmosférica para fins de controle de baixas pressões (por ex., ciclones com força de furacão).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J. C. M.; **Datum altimétrico brasileiro**. Cadernos de Geociências, IBGE, 5: 69-73, Rio de Janeiro, 1990. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/canal\\_artigos/a1990\\_1.php](http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/a1990_1.php)>. Acesso em: 10/01/2011

ALFREDINI, P. 2011. **“O que dizem os dados hidrodinâmicos no Litoral Norte sobre os riscos naturais das mudanças climáticas em curso?”**. Disponível em:<<http://www.redelitoral.ita.br/4workshop/trabap.asp>>. Acessado em 01/12/2011.

ALVES, M. A.; **Correntes de maré e inerciais na plataforma continental ao largo de Ubatuba (SP)**. 1992. Dissertação (Mestrado) Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ANDRADE, K.; CAVALCANTI, I. F. A.; **Climatologia dos sistemas frontais e padrões do comportamento para o verão na América do Sul**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. Anais...Fortaleza: SBMET, 2004. 1 CD-ROM.

ANDRADE, K. M.; Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2005. 185 p. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12>>. Acessado em 10/01/2012.

ANDRADE, K.; **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2007**. 187 f. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

BAKUN, A., NELSON, C. S.; **The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions**, J. Phys. Oceanogr., 21, 1815–1834, doi:10.1175/1520-0485021<1815:TSCOWS>2.0.CO;2.1991.

BRIGATTI, N.; **Variação do nível do mar associada aos tipos de tempo na geração de episódios no município de Ubatuba/SP**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, UNESP, Presidente Prudente, 2008.

BRIGATTI, N.; SANT'ANNA NETO, J. L.; **Dinâmica climática e variações do nível do mar na geração de enchentes, inundações e ressacas no litoral norte paulista**. Formação (Presidente Prudente), v. 15, p. 25-36, 2008.

CAMARGO, R.; HARARI, J.; **Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície**. Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo, 42 (1/2), p. 19-34, 1994.

CAMARGO, R. 2011.;**Maré Meteorológica**. Grupo de Modelagem Oceânica (DCA/IGA/USP). Disponível online em:<<http://www.surge.iag.usp.br/>>. Acessado em: 10/01/2011.



CAMPOS, R. M.; CAMARGO, R.; HARARI, J.; **Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no Sudoeste do Atlântico Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 25, p. 175-184, 2010.

CANDELLA, R. N.; CANDELLA, M. V. Oscilações em frequências inframaré do nível do mar na baía da Guanabara, RJ. In: IX Simpósio sobre Ondas, Maré, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite –IX OMAR-SAT., 2011, Arraial do Cabo.

CARLSSON, M.; **Mean sea-level topography in the Baltic Sea determined by oceanographic methods.** Marine Geodesy, 21, 203–217.

CARMO, R.L.; SILVA, C. A. M. da.; **População em zonas costeiras e mudanças climáticas: redistribuição espacial e riscos.** In: HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR.. (Org.). População e Mudança Climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. 1 ed. Campinas: Núcleo de Estudos de População; UNFPA, 2009, v. 1, p. 137-158.-p1.

CARTER, R.W.G. 1988. **Coastal Environments.** An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press, London, 617p.

CASTRO, B. M.; LEE, T.; Wind-forced Sea Level Variability on the Southeast Brazilian Shelf. **Journal of Geophysical Research**, 100: 16045-16056. 1995.

CASTRO, A. C.; **Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e o Oceano Atlântico Sul adjacente utilizando a análise de ondeleta, no período de 1982 a 2005.** São Paulo. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, 2007. 91 p.

CASTRO, B. M. ; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; Estrutura termohalina e circulação na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSIWONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. S. P. (Org.). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil.** São Paulo: EDUSP, São Paulo, 2006.472p. ISBN: 85-314-09948-9.

CLARKE, A. J.; **Observational and numerical evidence for wind-forced coastally trapped long waves,** J. Phys. Oceanogr., 7, 231–247, doi:10.1175/1520-0485(1977)007<0231:OANEFW>2.0.CO;2, 1977.

CLARKE, A. J., LEBEDEV, A.; **Remotely driven decadal and longer changes in the coastal Pacific waters of the Americas,** J. Phys. Oceanogr., 29, 828–835, doi:10.1175/1520-0485(1999)029<0828:RDDALC>2.0.CO;2, 1999.

CONTI, J. B. **Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região leste/nordeste paulista.** São Paulo, IGEOG/USP, 1975. (Série teses e monografias, 18).

COSTA, M. C. 2007. **Análise do nível médio do mar utilizando filtro de passa-baixa**

**de Thompson e de Lanczos aplicados à região costeira de Cananéia (SP).** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 48 pp.

COSTA, M. C.; **Influência das tensões do vento na variação do nível médio do mar na região costeira de Cananéia (SP): filtragem numérica e análise espectral.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) .Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010. 179p.

DOTTORI, M. ;CASTRO, B. M.;**The response of the Sao Paulo Continental Shelf, Brazil, to synoptic winds.**Ocean Dynamics **JCR**, v. 59, p. 603-614, 2009.

DUCHON, C. E.: Lanczos filtering in one and two dimensions. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, p. 1016-1022, 1979.

DUFEK, A. S.2009.; O que é uma frente fria?. **Nova Escola**, Grupo abril, 2009. Disponível em: <<http://revistaescola.abril.com.br/geografia/fundamentos/frente-fria-480885.shtml?page=all/>> . Acesso em: 10 maio 2011.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E.; **Data analysis methods in Physical Oceanography.** Amsterdam: Elsevier Science BV, 2001. 636p. ISBN 0-444-50757-4. 2001.

FEDOROVA, N; CARVALHO, M. H.;**Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño.** Parte II: Zonas frontais. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 15, n. 2, p. 57-72, 2000.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR (FEMAR). 2012. **Estações maregráficas.** Disponível em:< <http://www.femar.com.br/#>>. Acessado em 04/01/2012.

FRANCO, A. S.; **Análise espectral contínua e discreta.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1982. 194 p.

FRANCO, A. S., KJERFVE, B., NEVES, C. F.; **Análise de Registros de Maré Extremamente Longos.** Pesquisa Naval, 2007.

GILL, A. E., CLARKE, A.; **Wind-induced upwelling, coastal currents and sea-level changes,** Deep Sea Res., 21, 325–345; 1974.

GLOOS-BRASIL. 2012. Disponível em:<<http://goosbrasil.org/gloss/instituicoes.html>>. Acessado em 05/01/2012.

GUILLAUMON, JR, MARCONDES, M.A.P., NEGREIROS, O.C., MOTA, I.S., EMMERICH, W., BARBOSA, A.F., BRANCO, I.H.D.C., CAMARA, J.J.C., OSTIN, I S., PEREIRA, R.T.L., SCORVO FILHO, J.D., SHIMOMICHI, P.Y., SILVA DA, M. N. J.E. **Plano de manejo do Parque Estadual da Ilha Anchieta.** IF-Série Registros, São Paulo, (1):1-103p., 1989.

HARARI, J. & CAMARGO, R.; “Tides and mean sea level variabilities in Santos (SP),1944 to 1989” - **Relatório Interno do Instituto Oceanográfico da USP**, nº 36, 15 p., 1995.

HARARI, J; FRANÇA, C. A. S.; CAMARGO, R.; **Variabilidade de longo termo de componentes de maré e do nível médio do mar na costa Brasileira**. Afro-America Gloss News Edição 11(1), 2004.

INNOCENTINI, V.; CAETANO NETO, E.; A case study of the 9 August 1998 South Atlantic storm: Numerical simulations of the wave activity. **Weather and Forecasting**, 11: 78-88. 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#populacao](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao)>. Acessado em 25/08/2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2011. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – RBMC**. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)>. Acessado em 10/01/2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Frente Fria (Glossário)**. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/glossario/glossario.html#F>>. Acessado em 15/03/2011

IPCC, 2010: **Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 227.

IPT (São Paulo, SP).; **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Mapa. Escala 1/ 1000.000.

JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH, D; The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. In: **Bulletin of the American Meteorological Society**. p. 437-471, 1996.

KALIL, A. F. F.; **Contribuições ao estudo do nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999. 108p.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH, D.; The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project In: **Bulletin of the American Meteorological Society**. Mar. 1996.

KAYANO, M. T.; OLIVEIRA, C. P. Diferenças associadas à oscilação decenal do Pacífico nas relações interanuais de precipitação na América do Sul e temperatura da superfície do mar. In: IX Encuentro Hispano-luso de Meteorología y XII Congreso

Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia, 2008, Zaragoza. **XXX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española**, 2008.

KUMARESAN, R.; Spectral Analysis. In: MIRTA, S. K.; KAISER, J. F. (Org). **Handbook for digital signal processing**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 1143 – 1237 p. ISBN 0-471-61995-7.

LANCZOS, C.; **Applied Analysis**. Prentice-Hall, 539 p., 1956

LEMOES, C. F.; CALBETE, N. O.; **Sistemas Frontais que atuaram no Brasil de 1987 a 1995**. Net, 1996. Climanálise especial, edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE-CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/14.html>>. Acessado em 15/03/2001.

LISITZIN, E.; **Sea Level changes**. Elsevier Oceanography Series, 8. Elsevier, Amsterdam. 286 p., 1974.

MANTUA, N.J., S.R. HARE, Y. Z., WALLACE, J. M., and FRANCIS, R. C.; A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 78, pp 1069- 1079.1997.

MARCELINO, E. V.; RUDORFF, F. M. ;GOERL, R. F.;HAAS, R.; **Observações "in loco" realizada durante a passagem do furacão Catarina**. Caminhos da Geografia (UFU Online), v. 9, p. 37-56, 2008.

MARENGO, J.; **Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARTINELLI, M.; « **Clima do Estado de São Paulo** », *Confins* [Online] , 8 | 2010 , posto online em 14 Março 2010, Consultado o 17 Fevereiro 2011. URL : <http://confins.revues.org/6348>

MENEZES, D. C; **Contribuições metodológicas para a análise de flutuações atmosféricas e oceanográficas de baixa frequência na costa do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. 136p.

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.; **Marés, circulação e nível do mar na costa sudeste do Brasil**. Documento preparado à Fundespa (Fundação de estudo e pesquisa aquáticas). Dezembro de 1997. Disponível em: <[www.mares.io.usp.br](http://www.mares.io.usp.br)>. Acesso em: 18/12/2010.

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

MIGUENS, A.P.; Navegação: a ciência e a arte. Volume I – Navegação costeira, estimada em águas restritas – “Marés e Correntes de Maré; Correntes Oceânicas”. DHN, 1996.

MONTEIRO, C.A. de F.; **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: Estudo em forma de Atlas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1973.

MORAIS, M. A. de; CASTRO, W. A. C. de TUNDISI, J. G.; Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. *Rev. bras. meteorol.* [online]. 2010, vol.25, n.2, pp. 205-217. ISSN 0102-7786.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C.; 2004. **Análise de series temporais**. SP. Projeto Fisher.

NEVES, C. F.; MUEHE, D.; Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação a Mudanças do Clima: a zona costeira. In: \_\_\_\_. **Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação**, Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 27, 2008. p. 217-29. (Série Parcerias Estratégicas). ISSN 1413-9375.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Mean Sea Level Trend: Cananeia (874-051), Brasil**. 1997. Disponível em: <<http://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/residual.shtml?stnid=874-051>>. Acessado em 10/01/2012.

OLIVEIRA, M. A.; FAVERO, L.P.L.; **Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para séries de tempos e redes neurais**. São Paulo. EDUSP. 2002.

OLIVEIRA, M. M. F.; **Redes neurais artificiais na predição da maré meteorológica em Paranaguá-PR**. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Instituto Luiz Coimbra e Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. 160p.

OLIVEIRA, M.M. F.; EBECKEN, N. F. F.; SANTOS, I. A.; NEVES, C. F.; CALOBA, L. P.; OLIVEIRA, J. L. F.; Modelagem da maré meteorológica utilizando redes neurais artificiais: uma aplicação para a Baía de Paranaguá –PR, parte 2: dados meteorológicos de Reanálise do NCEP/NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 53-62, 2007.

OPEN UNIVERSITY. 2000.; **Waves, tides and shallow-water processes**, 2 ed. Editora Butterworth, London, 227 p.

ORLANSKI, I.; “A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes”. *Bulletion of American Meteorological Society*, v.56, pp. 527-530., 1975.

OZCOASTS, **Australian Online Coastal Information**.; Disponível em: <[http://www.ozcoasts.org.au/indicators/sea\\_level\\_rise.jsp](http://www.ozcoasts.org.au/indicators/sea_level_rise.jsp)> Acesso em: 15/01/2011.

PAIVA, A. M., 1993, **Estudo das variações do nível médio do mar em Arraial do**

Cabo, RJ, Relatório de Pesquisa, FAPERJ-COPPE/UFRJ.

PARISE, C. K.; **Maré Meteorológica**. Disponível em: <<http://www.praia.log.furg.br/MareMeteorologica/MareMeteorologica.html>>. Acesso em: 10/10/2011.

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I.; The first South Atlantic hurricane: unprecedented blocking, low shear and climate change. **Geophysical Researcher Letters**, v.32, L15712, 5p., 2005.

PICARELLI, S. S. ; HARARI, J.; **Análise da Variabilidade do nível do mar na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo através de modelagem numérica (efeitos de maré, ventos e do campo de densidade)**. São Paulo: Afro-America Gloss News, Global Sea Level Observing System (GLOSS), vol. 10 (1), 2006.

PICKARD, G. L.; **Oceanografia física descritiva**. Universidade de Columbia Britânica. 180 pp., 1974.

PINTO, L. I. C. ; DINIZ, L. M. F. ; COSTA, M. H.; Comparação entre os campos de precipitação de reanálise do CPTEC e NCEP/NCAR para a América do Sul. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **A Meteorologia a Serviço da Sociedade**. Florianópolis: SBMET, 2006.

POND, S., PICKARD G. L.,; “**Introductory Dynamical Oceanography**”, 2nd edition. Pergamon, 1986.

PUGH, D. T.; **Tides, Surges and Mean Sea Level**. Great Britain: John Wiley & Sons, 1987, 472 p.

PUGH, D.; Changing sea levels. **Effects of tides, weather and climate**. Cambridge University Press: New York, 2004.

QUADRO, M. F. L.; **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 94f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos.

REDELITORAL. 2010. Disponível em: <<http://www.redelitoral.ita.br/index.php/-inicial>>. Acesso em: 15/07/2010.

REID, P. A.; JONES, P. D.; BROWN, O.; GOODESS, C. M.; DAVIES, T.D. **Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationships with surface climate by direct comparisons with station based data**. Climate Research, 17, 247-261, 2001.

ROCHA, R. P.; SUGAHARA, S.; SILVEIRA, R. B.; Sea waves generated by extratropical cyclones in the South Atlantic Ocean: hindcast and validation against altimeter data. **Weather and Forecasting**, 19: 398-410. 2004.

ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. (Org.); MADUREIRA, L. S. P. (Org.). **O Ambiente Oceanográfico da plataforma continental e do talude na Região Sudeste-**

**Sul do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. v. 01. 466 p.

SANT'ANNA NETO, J. L.; **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SANT'ANNA NETO, J. L.; Tipologia dos sistemas naturais costeiros do Estado de São Paulo. **Revista de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 47-86, 1993.

SANT'ANNA NETO, J. L.; Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudança, variabilidade e ritmo climático. **Terra Livre**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 51-63, 2003.

SANT'ANNA NETO, J. L.; **Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro**. Revista Brasileira de Climatologia, Rio de Janeiro, v. 1, p. 43-60, 2005.

SETZER, J.; **Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo**. São Paulo: CIBPU, 1966.

SILVA, G. N.; **Variação de longo período do nível do mar: causas, consequências e metodologia de análise**. Tese de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1992

SOUZA, C. R. G.; Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. In: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 70 (2). p. 353 – 366, 1998.

SOUZA, C. R. G. e SUGUIO, K.; The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state for coastal management. In: **Journal of Coastal Research**, special issue nº 35, pg. 530-547. Proceeding of the Brazilian sandy beaches: Morphodynamics, ecology, uses, hazards and management, 2003.

STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; The response of the South Brazil Bright to the Passage of Wintertime Cold Fronts. **Journal of Geophysical Research**, 97, C6, 9507-9520. 1992.

STURGES, W.; DOUGLAS, B. C.; Wind effects on estimates of sea level rise, **J. Geophys. Res.**, 116, C06008, doi:10.1029/2010JC006492.2011.

TAVARES, R.; SANT'ANNA NETO, J. L. e SANTORO, J.; Chuvas e escorregamentos no Litoral Norte Paulista entre 1988 e 2001. In: **Anais do Encontro de Geógrafos Brasileiros**. João Pessoa: AGB-DER, 2002.

THOMPSON, R. O. R. Y. 1983.; **Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies**. *American Meteorological Society*, Australia. 1077-1083 pp.

THURMAN, H. V.; *Essentials of Oceanography*, 5<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall, Inc., 1996. Disponível em: [http://www-pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/dynamis\\_ekman/index.html](http://www-pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/dynamis_ekman/index.html). Acesso em: 1 out 2011.

TRIGO, R. M.; TRIGO, I.; DaCamara; C. C. **Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR Reanalyses**. *Climate Dynamics*, 23 (1), 17-28, 2004

UAISSONE, A. J. R.; **Influência das forçantes atmosféricas em mesoescala sobre o nível médio do mar em Piraquara, RJ**. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. 150p.

VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E.; **Geodesy: the concepts**. North- Holland, Amsterdam, 697 p., 1986.

WALTERS, R. A., HESTON, C.; 1982. Removing tidal-period variations from time-series data using low-pass digital filter. *J Phys. Oceanogr.* 12:112–115.

ZEMBRUSKI, S. G.; **“Geomorfologia da Margem Continental Sul Brasileira e das Bacias Oceânicas”**. In: CHAVES, H.A.F. (Ed.). *Geomorfologia da Margem Continental Sul Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes*. Rio de Janeiro, 1979.

WIEDENMANN, J. M., LUPO, A. R., MOKHOV, I. I., TIKHONOVA, E. A. 2002.; The Climatology of Blocking Anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block Intensity as a Diagnostic. *Journal of Climate*. 15:23, 3459-3473. Online publication date: 1-Dec-2002.

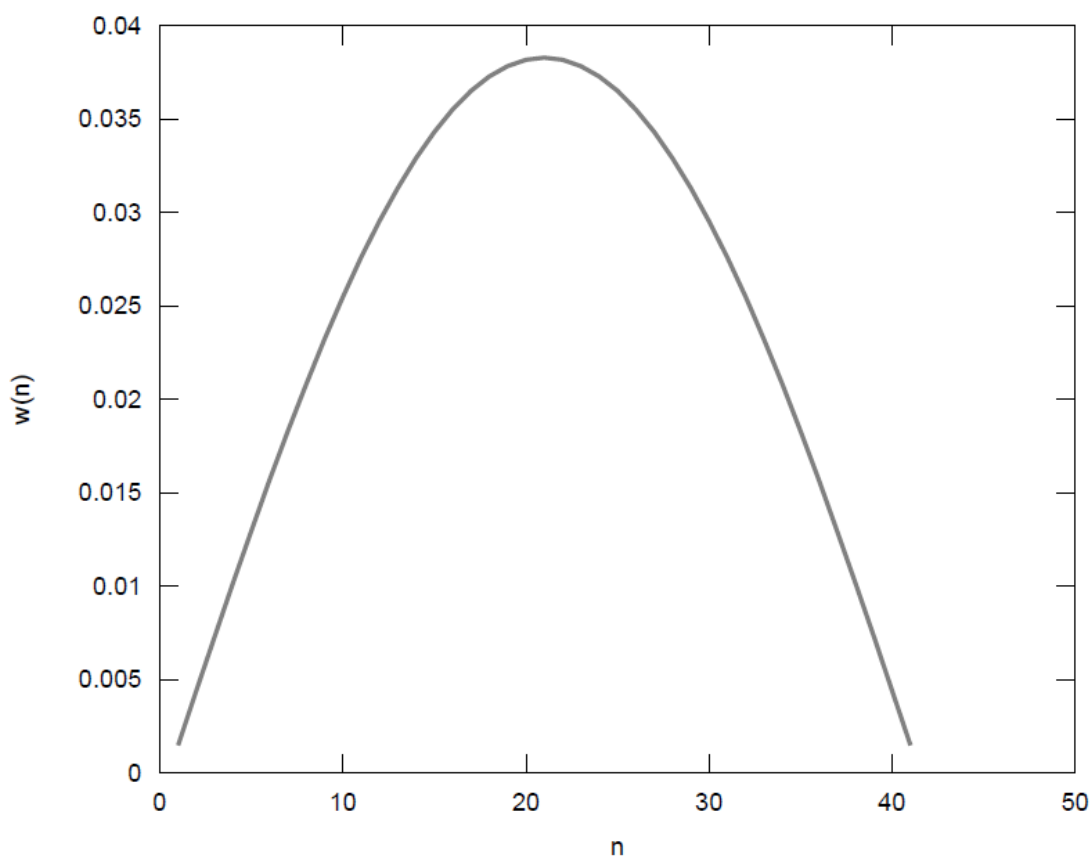
WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V.; **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. Academic Press, Inc, London, 467pp. 1977.



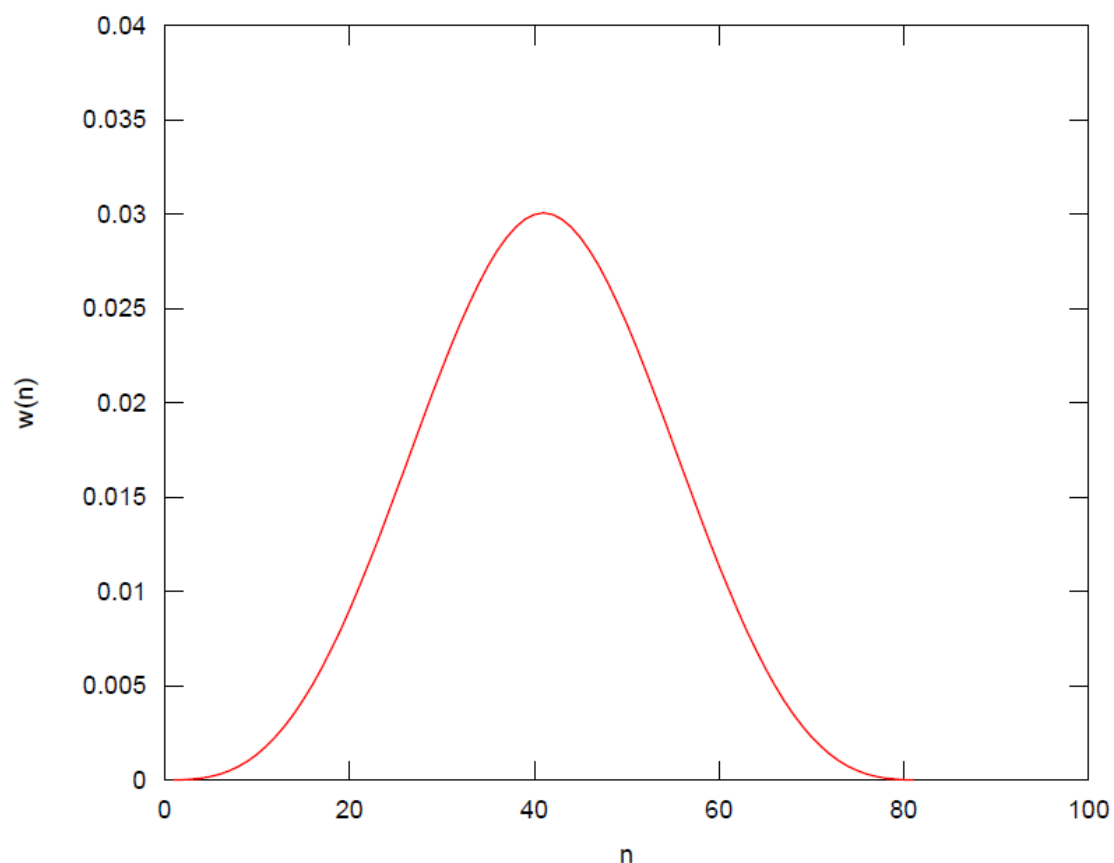
## ANEXO A

### Curva de Simetria dos Pesos: dados maregráficos e correlação cruzada

Existem duas importantes propriedades dos filtros passa baixa, que se referem: 1) os pesos devem simétricos em relação ao valor central ( $w_0$ ) e 2) a soma dos pesos deve ser igual a 1. A primeira propriedade está relacionada à preservação da fase do sinal (ou seja, evitar distorções e assimetria das ondas filtradas) e a segunda propriedade está relacionada à amplificação do sinal, que deve ser igual a 1,0 para as frequências contidas na faixa de interesse (passa-baixa, passa-alta ou passa-banda). As tabelas 9 e 10 no item 4.2.1 apresentam a relação dos pesos para cada filtragem (20 pesos, primeira filtragem e 40 pesos, segunda filtragem) e abaixo as figuras A e W correspondentes aos pesos.

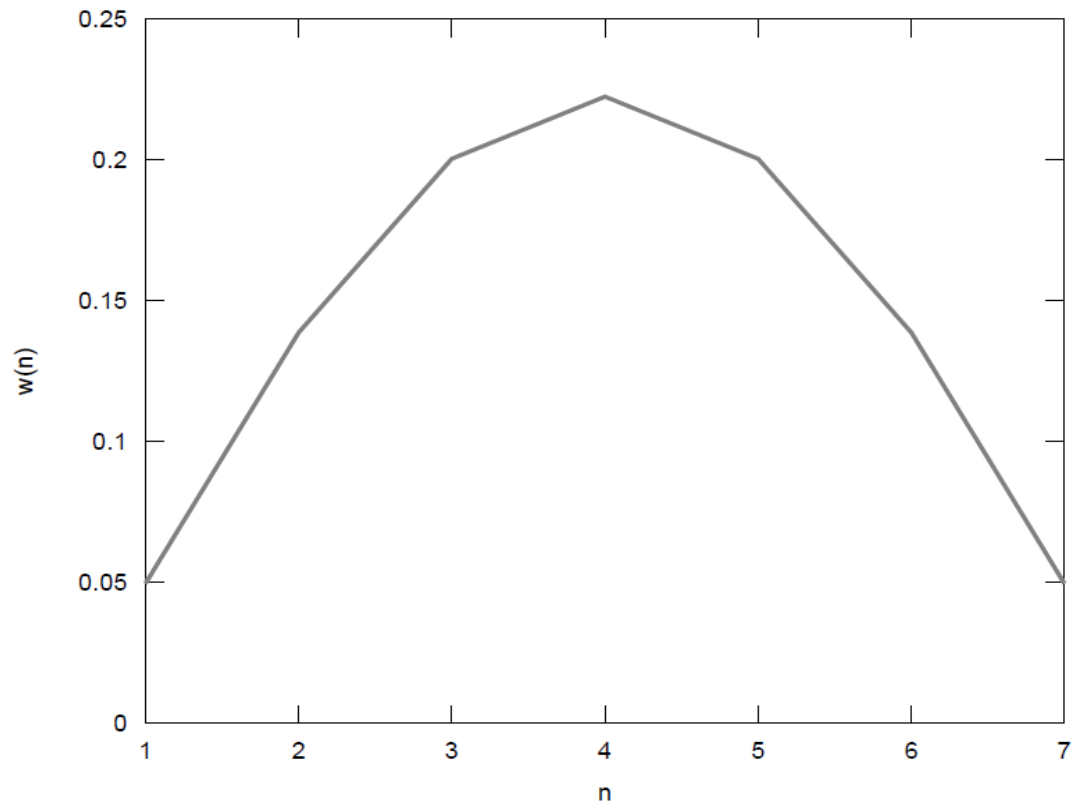


**Figura A:** Curva de simetria referente aos pesos (20) da primeira filtragem.

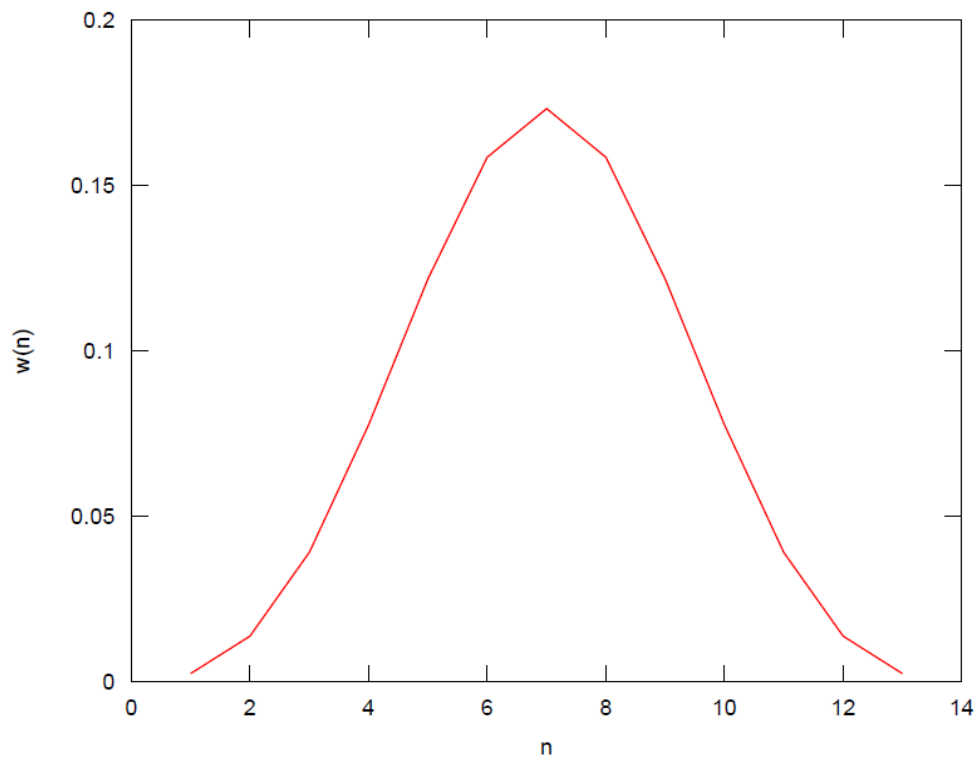


**Figura B:** Curva de simetria referente aos pesos (40) da segunda filtragem.

Na tabela 14, encontra-se a relação dos pesos da primeira filtragem (3 pesos) e da segunda filtragem (6 pesos) utilizados na análise de correlação cruzada (Filtro de Lanczos 36 horas), e abaixo estão as curvas de simetria correspondente (Figuras C e D).



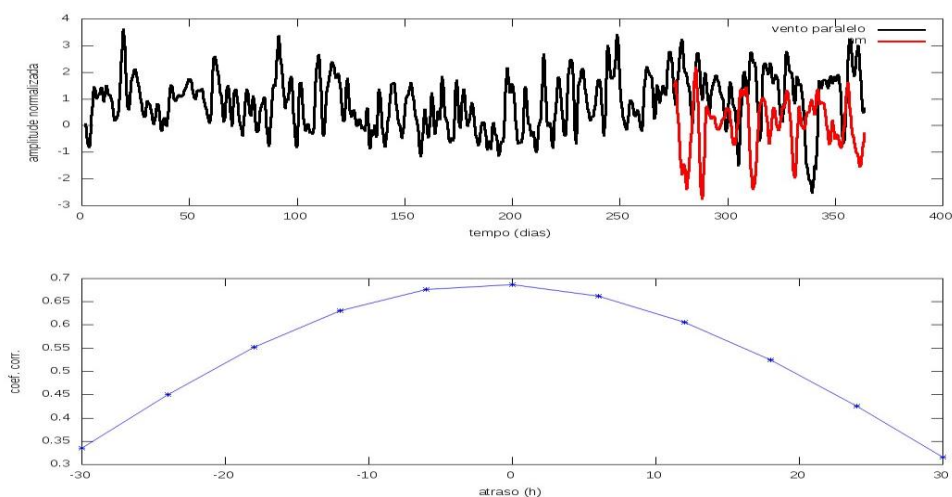
**Figura C:** Curva de simetria referente aos pesos (3) da primeira filtragem.



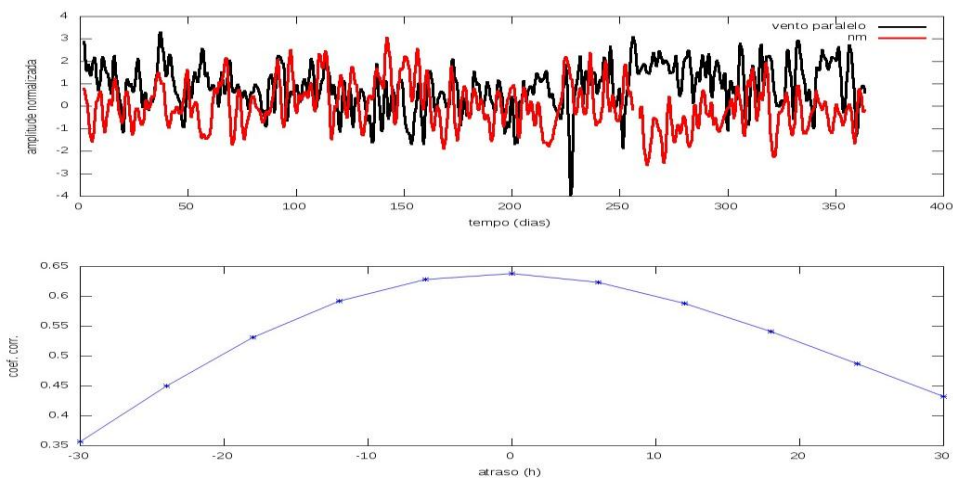
**Figura D:** Curva de simetria referente aos pesos (6) da segunda filtragem.

### Correlação Cruzada: NMM X Vento paralelo

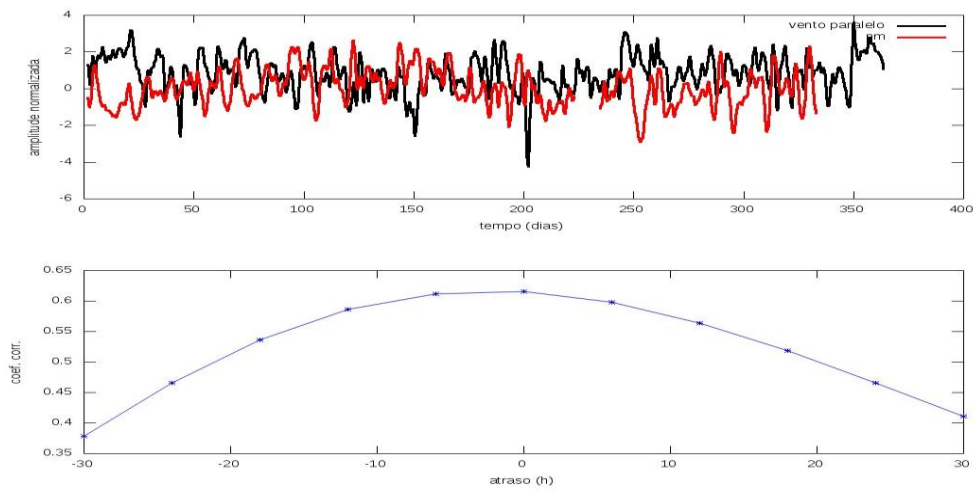
Para fins de comprovação, a seguir são apresentadas todas as figuras correspondentes a cada ano da série temporal em que foi efetuada correlação cruzada.



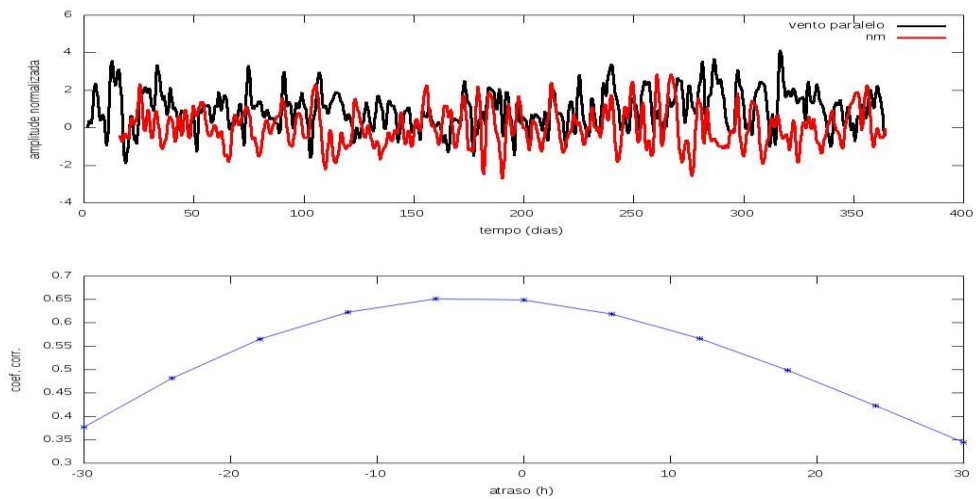
**Figura E:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1977.



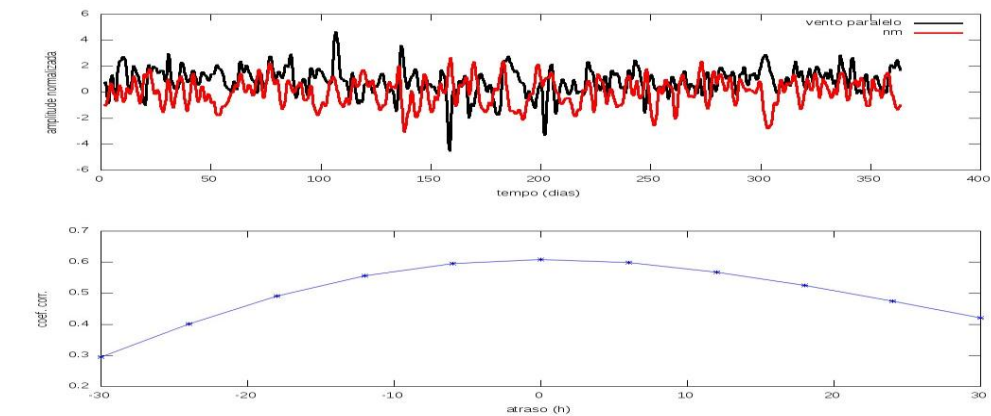
**Figura F:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1978.



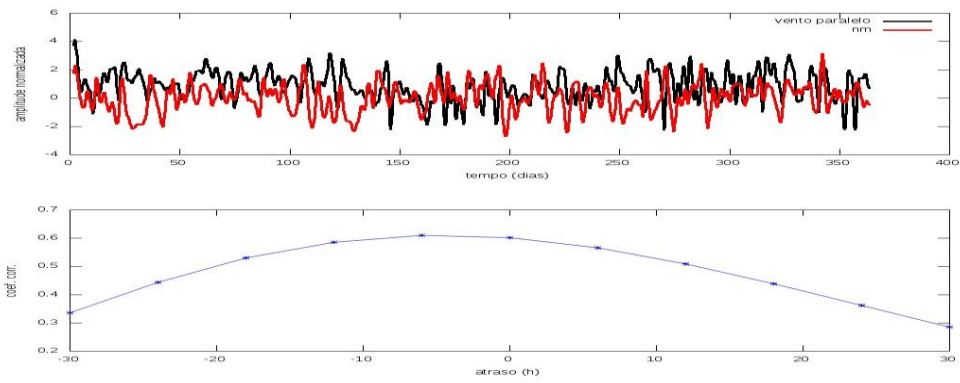
**Figura G:**Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1979.



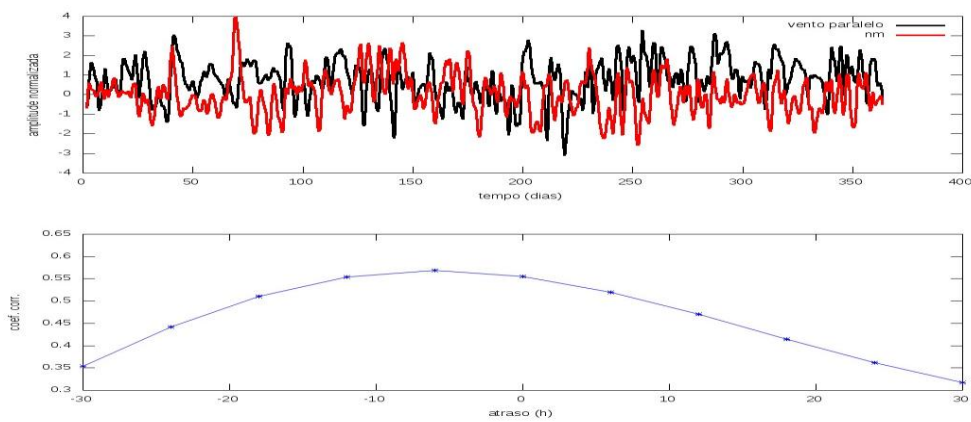
**Figura H :**Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1980.



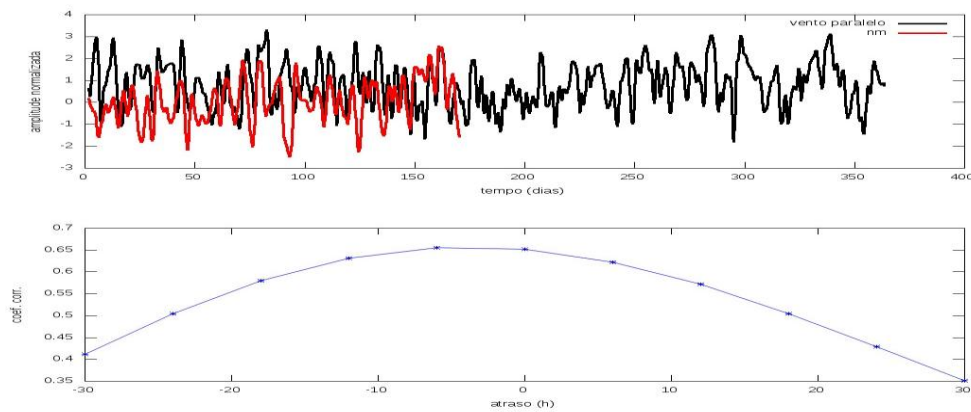
**Figural:**Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1981.



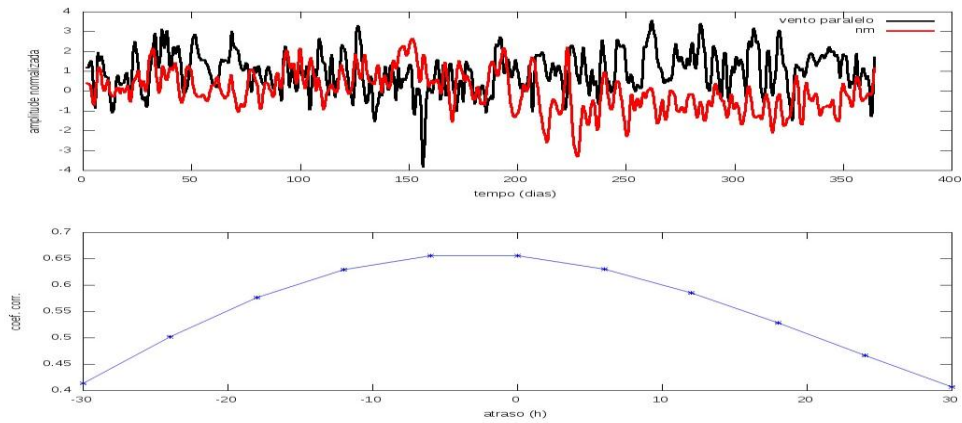
**Figura J :**Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1982.



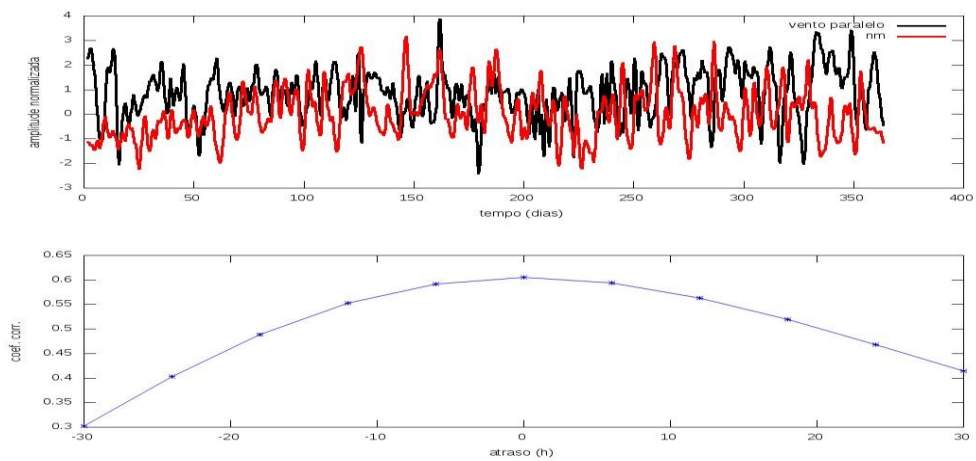
**Figura K:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1983.



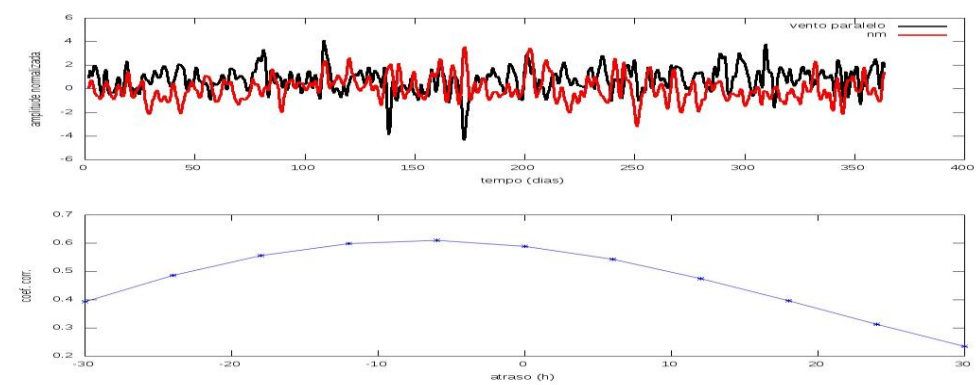
**Figura L:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1987.



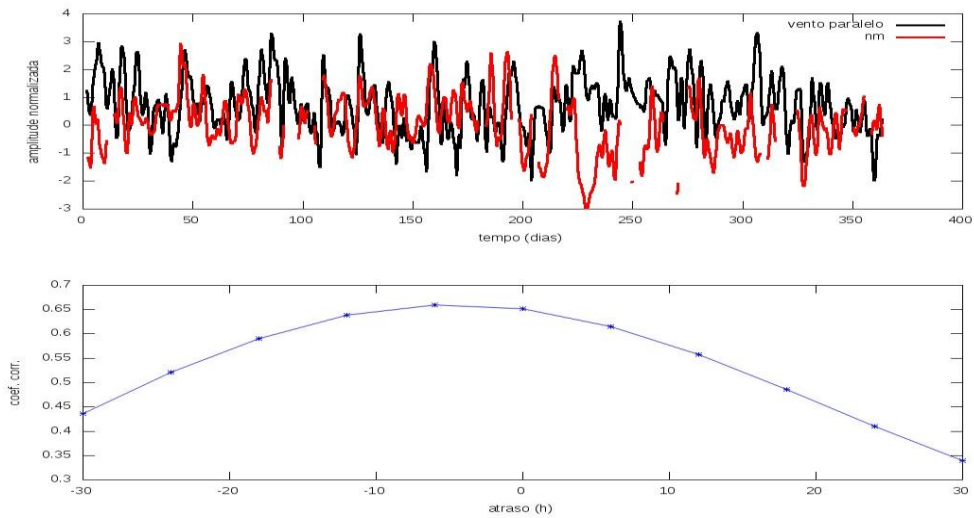
**Figura M:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1988.



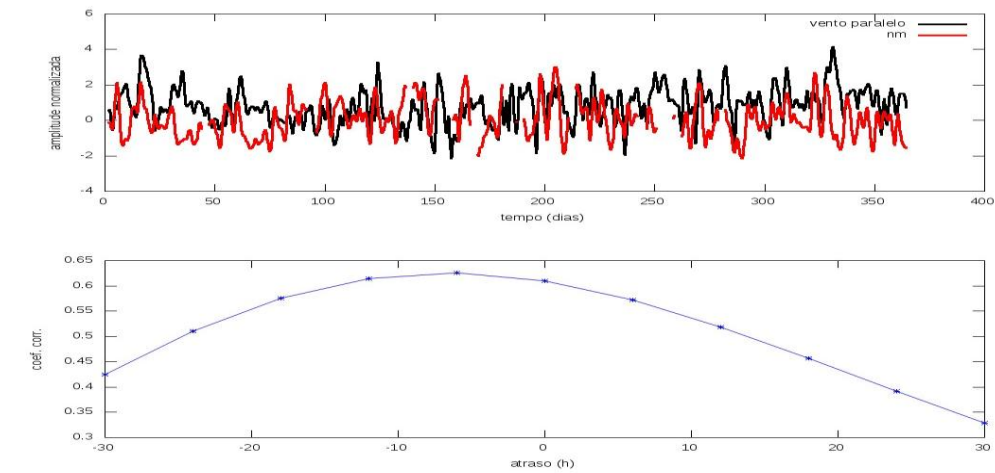
**Figura N:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1989.



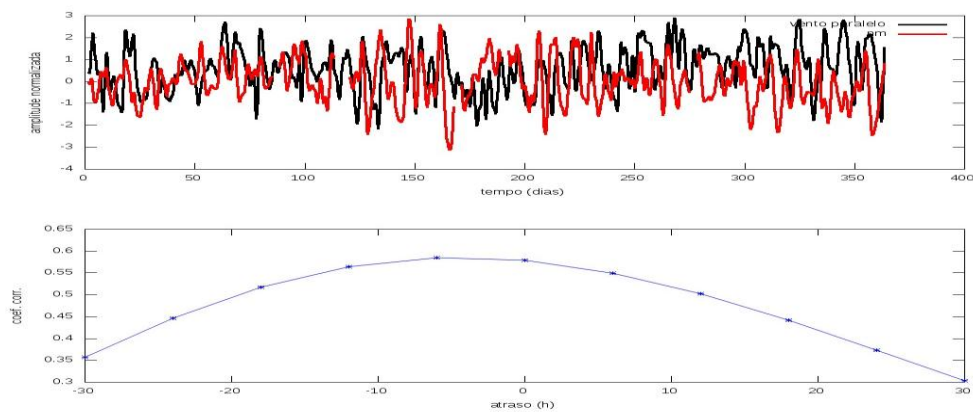
**Figura O:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1990.



**Figura P:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1991.

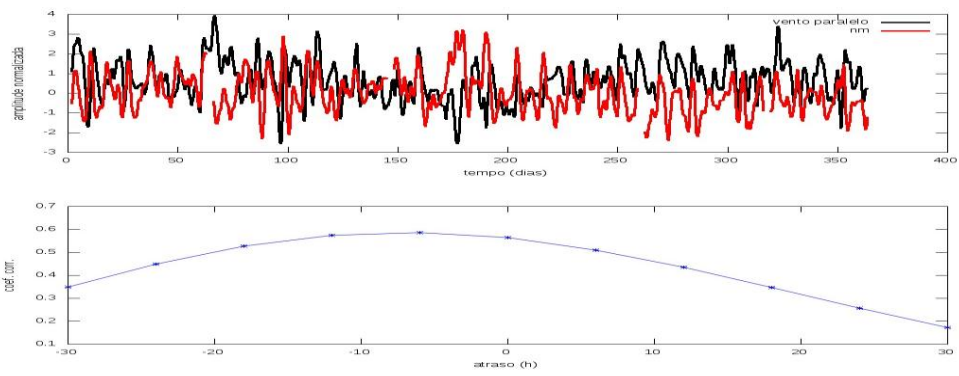


**Figura Q:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1992.

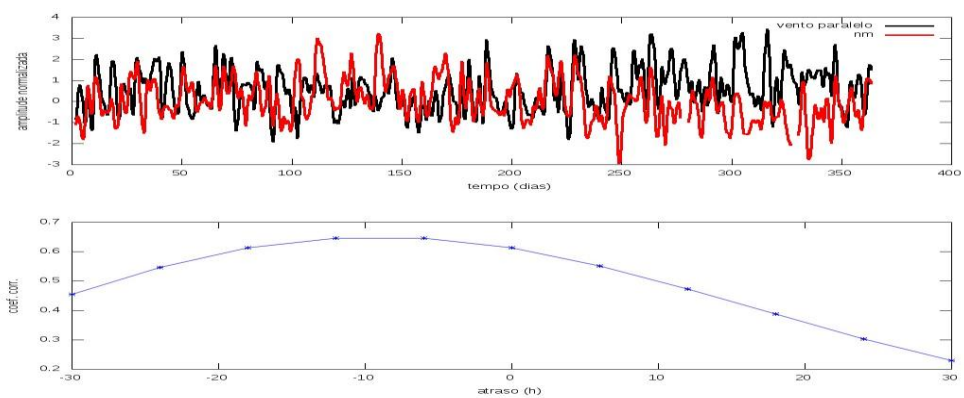


**Figura R:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1993.

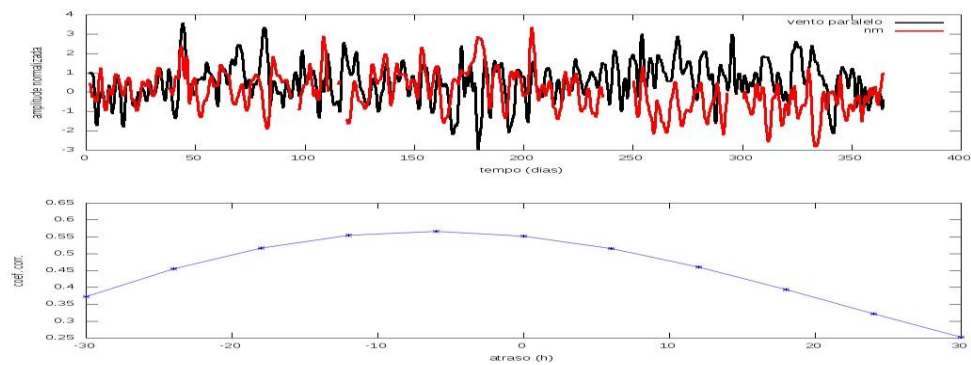




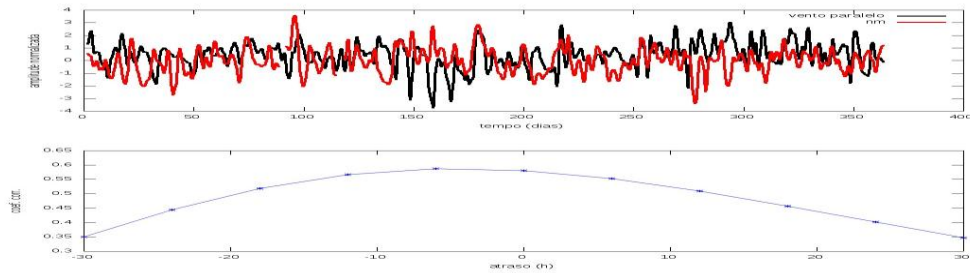
**Figura S:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1994.



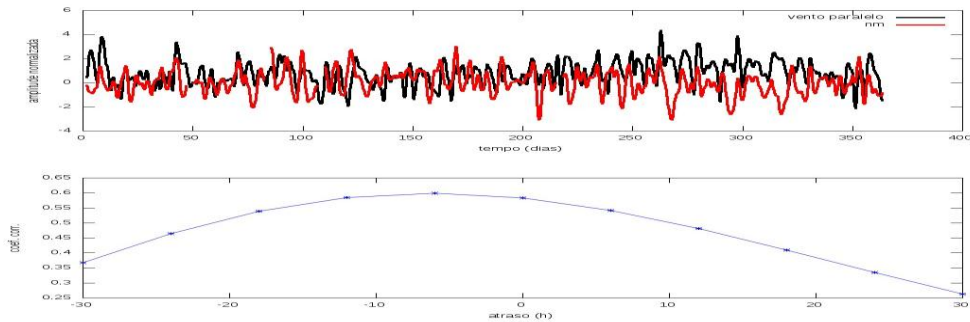
**Figura T:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1995.



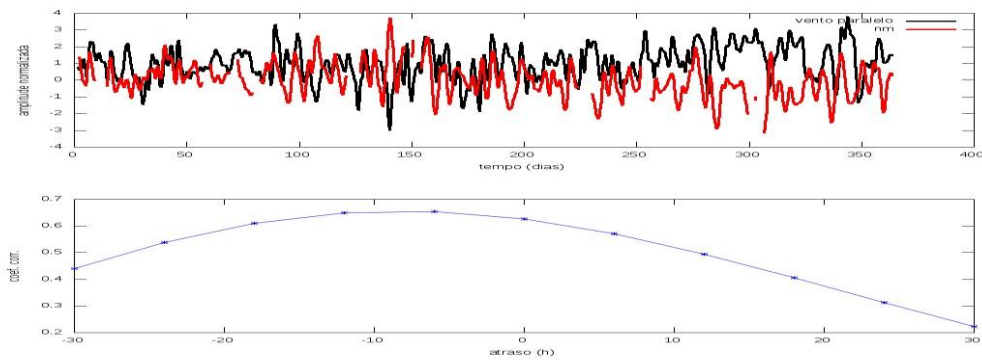
**Figura U:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1996.



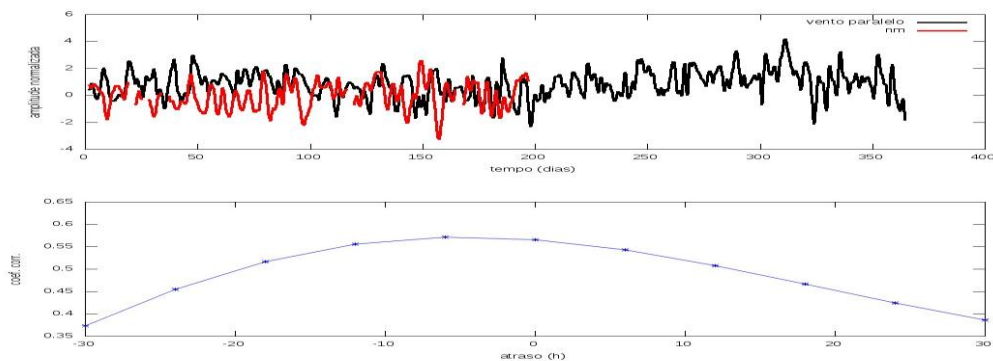
**Figura V:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1997.



**Figura W:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1998.



**Figura X:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 1999.



**Figura Y:** Correlação cruzada entre vento paralelo e nível referente ao ano de 2000.