

EFEITO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS SOBRE O COMPORTAMENTO DO NÍVEL DO MAR NA COSTA CATARINENSE, BRASIL

Argeu VANZ^{1,2}; Luiz H. P. GARBOSSA^{1,3}; Laís G. FERNANDES^{1,2}; Matias BOLL^{1,6};
Robson V. DE SOUZA^{1,4}; Luís F. VIANNA^{1,5}; Guilherme S. RUPP^{1,5}.

RESUMO

O estudo do comportamento do nível do mar é importante para o uso racional da zona costeira em todo o mundo. Aquicultura, navegação, ocupação da linha de costa, erosão, turismo são algumas atividades dependentes desses estudos. O objetivo do trabalho foi estudar a resposta do nível do mar sob o efeito de variáveis meteorológicas, principalmente vento, na costa catarinense. Foram coletados 3 anos de dados ininterruptos de maré no Sul da ilha de Santa Catarina com intervalos de coleta de 15 min. A partir dos dados foram extraídas as constantes harmônicas e foram obtidas as séries temporais de maré astronômica. A diferença da maré astronômica em relação a maré medida foi calculada e foram identificados os eventos com maior magnitude e persistência. As constantes harmônicas mais significativas da maré astronômica para águas rasas no local monitorado são 5 com a maior amplitude igual a 2 cm. Foram identificadas 17 harmônicas de águas profundas com a maior amplitude igual a 19 cm. As componentes de água profunda respondem por mais de 90% da maré astronômica. Os resultados mostram 69%, 25%, 5,4% e 0,4% dos dados se encontram entre um, dois, três e quatro desvios padrões da média das diferenças, respectivamente. O estudo priorizou os dados com valores de 4 desvios padrões. Estes valores correspondem a valores superiores a 51 cm de diferença entre as marés. Para estas condições foram identificados dez eventos de maré meteorológicas positivas e sete negativas. Os eventos tiveram uma duração mínima de uma hora e máxima de 16 horas, com predomínio daqueles com menos de 6 h. Nos eventos de marés meteorológicas positivas predominaram as direções SW, S, SE, velocidades médias variando de 4,3 a 14,2 m.s⁻¹ e nas marés meteorológicas negativas, NW, N, NE e 3,1 a 7,5 m.s⁻¹. Em ambos os eventos a duração dos ventos nas referidas direções foram de 2 a 3 dias.

Palavras-chave: maré meteorológica; nível do mar; Santa Catarina; vento.

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e extensão Rural de Santa Catarina. Rod. Admar Gonzaga, 1347, 88034-901, Florianópolis, SC, fone (48) 3665-5000.

² Oceanólogo, MSc. e-mail: argeuvanz@epagri.sc.gov.br e Oceanógrafa e téc. Meteorologia e-mail: laisfernandes@epagri.sc.gov.br.

³ Eng. Civil, Dr. e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

⁴ Méd. Veterinário, MSc. e-mail: robsonsouza@epagri.sc.gov.br.

⁵ Biólogos, Drs. e-mail: luisvianna@epagri.sc.gov.br e e-mail: rupp@epagri.sc.gov.br.

⁶ Eng. Agrônomo, Dr. e-mail: matias@epagri.sc.gov.br.

1. INTRODUÇÃO

A variação do nível do mar obedece um padrão complexo devido à inter-relação de vários fatores de ordem espacial e temporal, entre estes podemos citar: glacioisostasia, efeitos estéricos, fatores meteorológicos (vento, pressão atmosférica), ondas, correntes marinhas, maré, entre outros.

Para as atividades costeiras de pesca, lazer, navegação e aquicultura, as variáveis de curta duração são aquelas que afetam o nível do mar mais significativamente podendo causar prejuízos quando são ignoradas. Neste contexto as variáveis meteorológicas (vento e pressão atmosférica) e as oceanográficas (maré e correntes) são as mais importantes e estudadas.

No Brasil, nas regiões Sul e Sudeste, vários estudos mostram a variação do nível do mar em resposta a ação de parâmetros atmosféricos e fenômenos meteorológicos.

Silva (1992) verificou que as maiores variações sazonais do nível médio do mar na Ilha Fiscal as ocorre no outono (taxa 1,5 cm/ano) e inverno (taxa 1,3 cm/ano), sugerindo que essa elevação está relacionada a intensificação de maré meteorológica durante o período analisado, bem como temperaturas médias anuais ascendentes da água do mar.

Paiva (1993) correlacionou as variações do nível médio do mar em Arraial do Cabo (RJ), em 1991, com àquelas observadas na Ilha Fiscal (RJ) e os efeitos meteorológicos de vento, pressão atmosférica e com a temperatura da água.

Castro e Lee (1995) analisaram a variação do nível do mar associada a ondas costeiras na plataforma continental entre o Cabo de Santa Marta (SC) e Cabo Frio (RJ), de agosto a novembro de 1978, região Sul/Sudeste do Brasil, os autores verificaram que as perturbações no nível do mar e o regime de ventos propagam-se em direção ao equador, de acordo com o movimento de frentes frias que passam pela a área de estudo. Identificaram que as flutuações do nível do mar nas porções central e norte da região, nas faixas de perturbação do nível do mar de 9 a 12 dias e de 6 a 7 dias, estão melhor correlacionadas com ventos localizados ao Sul e de ocorrência anterior aos ventos locais registrados no momento das medições do nível do mar.

Mesquita (1997) observou que a variação sazonal do nível do mar na região Sudeste do Brasil é da ordem de 30 cm e apresenta pico nos meses de fevereiro, causado por intensa radiação solar e precipitação atmosférica e, máximo do mês de maio. Esta variação é interpretada por Mesquita *et al.* (1995) como causada pela variação estérica, (alteração da água do mar devido as variações de temperatura da água do mar, resultando, em consequência, a variação do nível do mar), do nível do mar devido a ocorrência na região Sudeste de um maior volume de águas mais quentes da Corrente do Brasil.

Kalil (1999) estudou o nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro baseado no comportamento espaço-temporal do nível médio do mar, analisando os dados de séries de nível médio do mar composta de seis estações para o ano de 1996.

Trucolo e Franco (2000) estimaram a contribuição do vento e pressão sobre o nível do mar na região de São Francisco do Sul a partir do modelo proposto por Schwing *et al.* (1988). O modelo foi capaz de reproduzir 56 % da variabilidade de baixa frequência do nível (maré meteorológica) do mar e atribuir aumento do nível mar de 1,9 centímetros após 37 horas com a diminuição 1 mbar na pressão atmosférica e subir 1,6 centímetros após 6 horas de atuação vento do quadrante sul quando ocorre um aumento de 10^2 N/m^2 .

Uaissone (2004) estudou as correlações entre o nível do mar em Piraquara e séries de velocidades de vento, pressão atmosférica e temperatura, obtidas a partir de dados de reanálise do NCEP, e encontrou elevados índices de coerência nas frequências de 21 e 6 dias. Este autor concluiu que o nível médio do mar respondeu melhor às variações atmosféricas registradas em pontos remotos em relação a estação, do que aquelas variações registradas localmente.

Camargo e Campos (2006) identificaram que os processos ciclogénéticos e o avanço de frentes frias estão relacionados às maiores ocorrências positivas de oscilações do nível do mar, assim como intensos anticiclones extratropicais podem ser associados às flutuações negativas. Segundo estes autores, as variações (anômalas) positivas do nível do mar estão relacionadas aos ciclones extratropicais sobre o oceano e anticiclones extratropicais sobre o continente. Por outro lado, os centros de baixa pressão persistentes sobre a terra e centros de alta pressão sobre o oceano aparecem associados com variações anômalas negativas do nível do mar em Santos (SP).

Oliveira (2004) observou que a maré meteorológica é responsável por sobre-elevações e abaixamentos do nível do mar costeiro na região de Paranaguá, identificando variações de até 70 cm entre a preamar observada e a prevista pela DHN. Este autor encontrou relações entre os fenômenos atmosféricos e as respostas do mar a esses fenômenos oriundos de diversos pontos inclusive verificando que eventos remotos têm efeito sobre as marés meteorológicas na região. A resposta do nível do mar às variações do tempo local apresentou melhores resultados para previsões de até 6 horas.

Campos *et al.* (2010) estudando eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do atlântico sul identificaram que os casos de elevações positivas ocorrem com a intensificação, o tamanho e o posicionamento dos cavados sobre o oceano. No inverno e outono observaram que os ventos de sudoeste intensos, paralelos à costa, desempenham um papel preponderante. No verão e primavera com o enfraquecimento dos cavados, perda de vortacidade e diminuição das intensidades dos ventos, os casos de inundação são menos frequentes.

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi estudar a resposta do nível do mar sob o efeito de variáveis meteorológicas na costa catarinense.

O trabalho visa contribuir como parâmetro do comportamento do nível do mar para futuros projetos de infraestrutura que venham a ser implantados na Ilha de Santa Catarina.

3. METODOLOGIA

Os dados de maré foram obtidos a partir de um marégrafo tipo radar instalado junto a entrada da Baía Sul da Ilha de Florianópolis (Figura 1).

O período de dados usados no estudo compreende o intervalo de 01/01/2012 a 31/12/2014, compreendendo um período de três anos de dados de maré ininterruptos. Os dados de vento são provenientes das estações meteorológicas da EPAGRI/Ciram, do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e REDEMET (Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica) localizadas próximas ao ponto de coleta dos dados de maré.

Foram selecionadas as direções do quadrante sul e norte que são as direções responsáveis pelo acúmulo (sobre-elevação) e afastamento (sub-elevação), respectivamente, da água do mar próximo a costa.

Os valores de maré astronômica foram obtidos pelo programa Tide no software Matlab. Com base na maré astronômica fornecida pelo Tide foi possível extrair as diferenças dos valores das marés meteorológica e astronômica e identificar as marés extremas.

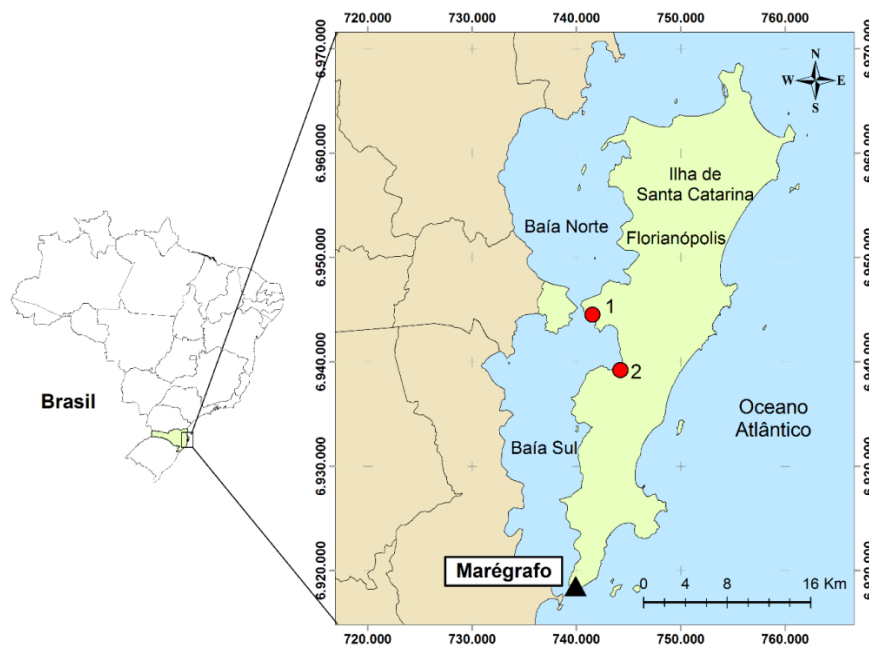


Figura 1 - Localização da Baía de Florianópolis, marégrafo e pontos com registros de sobre-elevação do Mar (alagamentos) 1 – CentroSul, 2 – Rod. Diomício Freitas.

Cálculo do RN

Para o estabelecimento da Referência de Nível (RN) deste projeto foi utilizado um par GPS receptor L1/L2 e um conjunto de mira e nível topográfico com precisão de 1,0 mm/km. A definição da referência de nível foi realizada através da materialização de um marco de referência topográfica localizado na Baía Sul.

A base fixa do GPS, para o pós-processamento, foi mantida em um ponto referência localizado na Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca do Estado de Santa Catarina. Ademais, foi ocupada uma estação geodésica do IBGE (2005M) para permitir os cálculos da altitude ortométrica da RN de interesse.

Para a calibração do marégrafo utilizou-se a referência de nível do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). O SGB é definido a partir da adoção do sistema geodésico de referência (SGR). Este é definido por duas componentes: SGR horizontal (datum planimétrico) e o SGR vertical (datum altimétrico), e a rede de referência, consistindo das estações monumentadas (materializadas), as quais representam a realização física do sistema (Monico, 2000).

A Figura 2 ilustra a relação entre as superfícies usadas em geodésia, onde N é a ondulação geoidal ou altura geoidal, H altitude ortométrica e h altitude geométrica. Em trabalhos cartográficos a quantidade de especial interesse é a altitude ortométrica, a qual é vinculada ao campo gravitacional da Terra. O GPS proporciona a altitude geométrica h (referida ao elipsóide), cuja conversão para ortométrica necessita-se do conhecimento da ondulação do geóide na área de interesse (Monico, 2000).

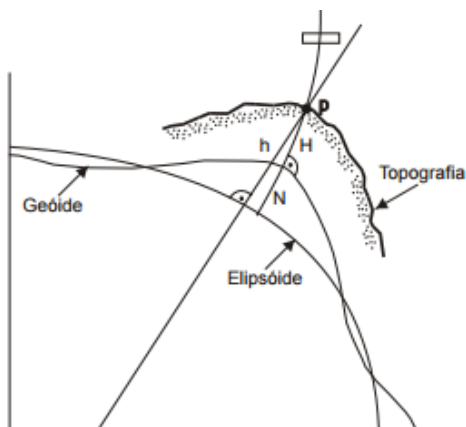


Figura 2 - Relação entre as superfícies usadas na geodésia. Fonte: Nérís (2004).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através da Coordenação de Geodésia (CGED) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP realizaram conjuntamente a atualização do modelo de ondulações geoidais, possibilitando aos usuários de GPS converter as altitudes geométricas (h) em ortométricas (H) com uma melhor confiabilidade. O modelo MAPGEO2010 foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulações Geoidais foi atualizado (www.ibge.gov.br acessado em 10 de novembro de 2012). Através deste sistema, é possível obter a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas refiram-se tanto a SIRGAS2000 quanto a SAD69.

A consistência entre o modelo geoidal MAPGEO2010 e o sistema altimétrico brasileiro derivado do nivelamento geométrico foi obtida pela diferença entre estas duas informações, resultando num erro médio padrão de $\pm 0,32$ m para as áreas mais desenvolvidas do país.

O método relativo consiste em determinar a altitude ortométrica do ponto de interesse (RN-Sul) em relação a uma estação de referência (2005M) de coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas conhecidas.

$$H_I = H_R + (\Delta_h - \Delta_N) \quad (1)$$

Onde:

HI - altitude de interesse;

HR - altitude da estação de referência;

h - diferença de altitude geométrica;

N a diferença da altitude geoidal;

Variáveis determinadas a partir do modelo geoidal – MAPGEO 2010 (Featherstone et al., 1998).

A Tabela 1 apresenta o resultado dos cálculos, pelo método relativo, para obtenção da altitude ortométrica (Equação 1) do ponto de interesse.

Tabela 1 – Posição da RN de interesse (SIRGAS 2000).

| RN | Latitude | Longitude | h | H |
|-------|-------------------|-------------------|----------|----------|
| Ponto | -27° 48' 58,5234" | -48° 33' 49,4660" | 1,7170 m | 1,1152 m |

Após obter o valor da altitude ortométrica, foi possível instalar os marégrafos e relacionar o nível medido pelo equipamento com a RN estabelecida.

Após a calibração do marégrafo tipo radar, o datalogger foi programado para registrar a altura da maré a cada 15 min com pulsos de 24 GHz. Nesse artigo apresentamos os resultados de um período de 3 anos de dados ininterruptos.

4. RESULTADOS

Foram obtidos 105.216 registros correspondentes a 3 anos de monitoramento. Destes, 69% = 72.599 (até ± 17 cm), 25% = 26.304 (até ± 34 cm), 5,4% = 5.681 (até ± 51 cm) e 0,4% = 420 (acima de ± 51 cm) medições se encontram, respectivamente, entre um, dois, três e quatro desvios padrões da média das diferenças (-0,4 cm) entre a maré astronômica e maré medida (Figura 3).

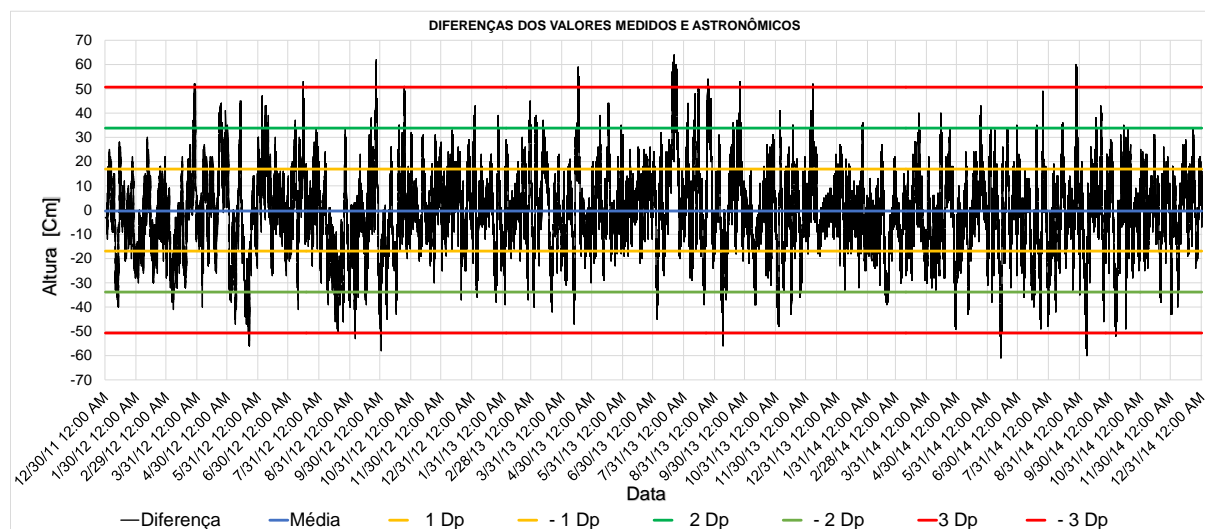


Figura 3 – Diferenças entre as marés medida e astronômica.

Foram selecionados casos representativos de sobre-elevações e sub-elevações do nível do mar. As variáveis meteorológicas e oceanográficas presentes nos 10 casos de sobre-elevação (maré alta) e os 7 de sub-elevação (maré baixa) do nível do mar estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Dados meteorológicos e astronômicos dos casos estudados.

| Datas | Período de vento | Nº de dias | Direção do vento | Média da vel. máx do vento (m/s) | Rajada máx. (m/s) | Duração do vento (h) | Influência da Lua | Estação do ano |
|-----------------------------------|---------------------------|------------|------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| SOBRE-ELEVAÇÃO = MARÉ ALTA | | | | | | | | |
| 28 e 29/03/12 | 27/03 (09h) a 28/03 (05h) | 2 | SW/S/SE | 4,9 | 9,5 | 21 | crescente | outono |
| 15/07/12 | 14/07 (17h) a 15/07 (18h) | 2 | S/SE | 7,3 | 9,1 | 26 | nova | inverno |
| 26/09/12 | 25/09 (05h) a 26/09 (22h) | 2 | SW/S/SE | 8,4 | 12,7 | 43 | crescente | primavera |
| 24/10/12 | 23/10 (18h) a 24/10 (18h) | 2 | SW/S/SE | 11 | 19,2 | 25 | crescente | primavera |
| 16 e 17/04/13 | 16/04 (02h) a 17/04 (23h) | 2 | S/SW | 14,2 | 21,2 | 47 | crescente | outono |
| 19/07/13 | 18/07 (18h) a 19/07 (21h) | 3 | S/SE | 6,8 | 11,6 | 40 | cheia | inverno |
| 24/08/13 | 22/08 (18h) a 24/08 (23h) | 3 | SW/S/SE | 5,3 | 10,1 | 55 | cheia | inverno |
| 25/09/13 | 24/09 (13h) a 25/09 (23h) | 2 | SW/S/SE | 10,3 | 15 | 36 | minguante | primavera |
| 07/12/13 | 06/12 (14h) a 06/12 (19h) | 1 | SE | 4,3 | 5,5 | 6 | crescente | primavera |
| 27 e 28/08/14 | 27/08 (13h) a 28/08 (23h) | 2 | S/SE | 4,7 | 8,6 | 36 | nova | inverno |
| SUB-ELEVAÇÃO = MARÉ BAIXA | | | | | | | | |
| 21/05/12 | 21/05 (14h) a 22/05 (00h) | 3 | NW/N/NE | 3,9 | 6 | 34 | nova | outono |
| 05/09/12 | 04/09 (13h) a 05/09 (23h) | 2 | NW/N/NE | 6,6 | 9,8 | 35 | minguante | inverno |
| 01/10/12 | 30/09 (11h) a 01/10 (11h) | 2 | NW/N/NE | 7,5 | 8,8 | 25 | cheia | primavera |
| 08/09/13 | 06/09 (07h) a 08/09 (23h) | 3 | NW/N/NE | 6 | 12,3 | 67 | nova | inverno |
| 12 e 13/06/14 | 11/06 (05h) a 13/06 (23h) | 3 | NW/N/NE | 5,2 | 10,7 | 69 | cheia | outono |
| 06 e 07/09/14 | 06/09 (08h) a 07/09 (12h) | 2 | NW/N/NE | 5,6 | 11,7 | 29 | cheia | inverno |
| 06/10/14 | 05/10 (02h) a 06/10 (23h) | 2 | NW/N/NE | 6,5 | 10,8 | 47 | cheia | primavera |

Nos eventos de sobre-elevação do mar predominaram as direções SE, SW e S. As velocidades médias dos ventos variaram de 4,3 a 14,2 m.s-1. A média dos valores máximos registrada foi de 12,5 m.s-1 com extremos variando de 5,5 a 21,2 m.s-1. O número de dias que o vento atuou variou de 1 a 3, com predominância de 2 dias. (Tab. 2).

No caso das sub-elevação do mar as direções predominantes dos ventos foram NE, NW e N. As velocidades máximas do vento registradas foram de 6,0 a 12,3 m.s-1, com média de 10,0 m.s-1. As velocidades médias permaneceram entre 3,9 a 7,5 m.s-1. O número de dias que o vento atuou variou de 2 a 3. (Tab. 2).

As maiores amplitudes de mares ocorrem nas fases nova e cheia (marés de sizígias ou vivas) e menores amplitudes ocorrem nas fases minguante e crescentes (maré de quadratura ou mortas). As fases da lua presentes nos eventos de sobre elevação do mar foram 5 crescentes, 2 cheias, 2 novas e 1 minguante. Para os eventos de sub elevação foram: 4 cheias, 2 novas e 1 minguante. Os resultados mostram que as sobre-elevação do mar foi menos influenciado pelas marés de sizígia em relação aos casos de sub-elevação.

O ano de 2012 apresentou o maior número de fenômenos 7, sendo 4 sobre-elevações e 3 sub-elevações, seguido de 2013 com 6, com predomínio das sobre-elevações 5, e apenas uma sub-elevação. Em 2014 as sub-elevações somaram 3 eventos e uma sobre-elevação.

Os eventos ocorreram no inverno, primavera e outono com 7, 6 e 4 casos, respectivamente. Na primavera as sobre-elevações foram o dobro das sub-elevações, no outono e inverno o número de sobre e sub elevações foi praticamente igual.

Foram extraídas as harmônicas da maré astronômica (Tabela 3). As principais componentes harmônicas maré astronômica somam 22, sendo 4 (M2, S2, O1 e SA) as mais representativas. Amplitude fornecida pelas componentes harmônicas de água rasa corresponde a menos de 10% do total.

Tabela 3 - Componentes mais importantes da maré astronômica.

| Componente | Amplit.[cm] | Ø [graus]greenwich | freq | Horas | Dias |
|------------|-------------|--------------------|-----------|----------|--------|
| Q1 | 0,03 | 91,27 | 0,0372185 | 26,87 | 1,12 |
| O1 | 0,11 | 120,1 | 0,0387307 | 25,82 | 1,08 |
| K1 | 0,07 | 184,16 | 0,0417807 | 23,93 | 1,00 |
| P1 | 0,02 | 173,28 | 0,0415526 | 24,07 | 1,00 |
| N2 | 0,04 | 243,42 | 0,0789992 | 12,66 | 0,53 |
| M2 | 0,19 | 163,56 | 0,0805114 | 12,42 | 0,52 |
| S2 | 0,14 | 166,89 | 0,0833333 | 12,00 | 0,50 |
| K2 | 0,04 | 157,38 | 0,0835615 | 11,97 | 0,50 |
| M3 | 0,02 | 316,21 | 0,1207671 | 8,28 | 0,35 |
| MN4 | 0,01 | 222,76 | 0,1595106 | 6,27 | 0,26 |
| M4 | 0,02 | 277,08 | 0,1610228 | 6,21 | 0,26 |
| MS4 | 0,01 | 23,14 | 0,1638447 | 6,10 | 0,25 |
| SA | 0,09 | 106,36 | 0,0001141 | 8.764,24 | 365,18 |
| SSA | 0,05 | 141,29 | 0,0002282 | 4.382,12 | 182,59 |
| MSM | 0,02 | 262,46 | 0,0013098 | 763,48 | 31,81 |
| MM | 0,02 | 86,59 | 0,0015122 | 661,29 | 27,55 |
| MSF | 0,03 | 137,45 | 0,0028219 | 354,37 | 14,77 |
| MF | 0,02 | 222,98 | 0,0030501 | 327,86 | 13,66 |
| 2N2 | 0,01 | 221,78 | 0,0774871 | 12,91 | 0,54 |
| MU2 | 0,02 | 195,66 | 0,0776895 | 12,87 | 0,54 |
| S1 | 0,01 | 8,07 | 0,0416667 | 24,00 | 1,00 |
| MO3 | 0,02 | 130,8 | 0,1192421 | 8,39 | 0,35 |

Em relação as maiores diferenças encontradas, foram selecionados os eventos com no mínimo 6 horas de valores acima 51 cm que corresponde a 4 desvios padrões da série de dados. Foram selecionados 4 casos de sobre-elevações e um de sub-elevação.

A figura 4 mostra o comportamento da maré astronômica e da maré medida. Os gráficos referem-se a valores onde a diferença permaneceu constantes com o mínimo de 6 horas acima de 51 cm (4 desvios padrões). Observa-se que a diferença entres as marés é próximo de 60 cm para as sobre-elevações e – 60 cm na sub-elevação.

Nos eventos de sobre-elevação (eventos 1, 2, 3, 5), observa-se que a direção do vento variou mas predominaram as direções do quadrante sul. As velocidades também variaram, entretanto, predominaram os valores entre 1 a 2 m.s-1. No evento 3 (sobre-elevação) e no evento 4 (sub-elevação) as velocidades ficaram próximas a 2 m.s-1 e entre 5 e 6 m.s-1, respectivamente, por vários dias.

Os eventos tiveram uma duração mínima de uma hora e máxima de 16 horas, com predomínio daqueles com menos de 6 horas (Tabela 4).

Cabe ressaltar que para cada hora há quatro medições e assim os eventos escolhidos para análise, no mínimo, tiveram 24 medições com valores acima de 51 cm, eliminando assim, casos esporádicos e poucos representativos.

Sistemas de baixa pressão e alta pressão atmosférica afetam o nível do mar. No evento de sublevação (evento 4) um sistema de alta pressão (1038 hPa), no oceano com centro localizado a 2.200 Km de Florianópolis atuava fortemente. Nos eventos de sobre-elevações predominavam os centros de baixa pressão na costa e passagem de frentes frias e ciclones pela região do estudo. Ademais a posição relativa e o deslocamento dos centros produzem ventos de quadrante norte responsáveis pela sub-elevação e sul que resultaram na sobre-elevações.

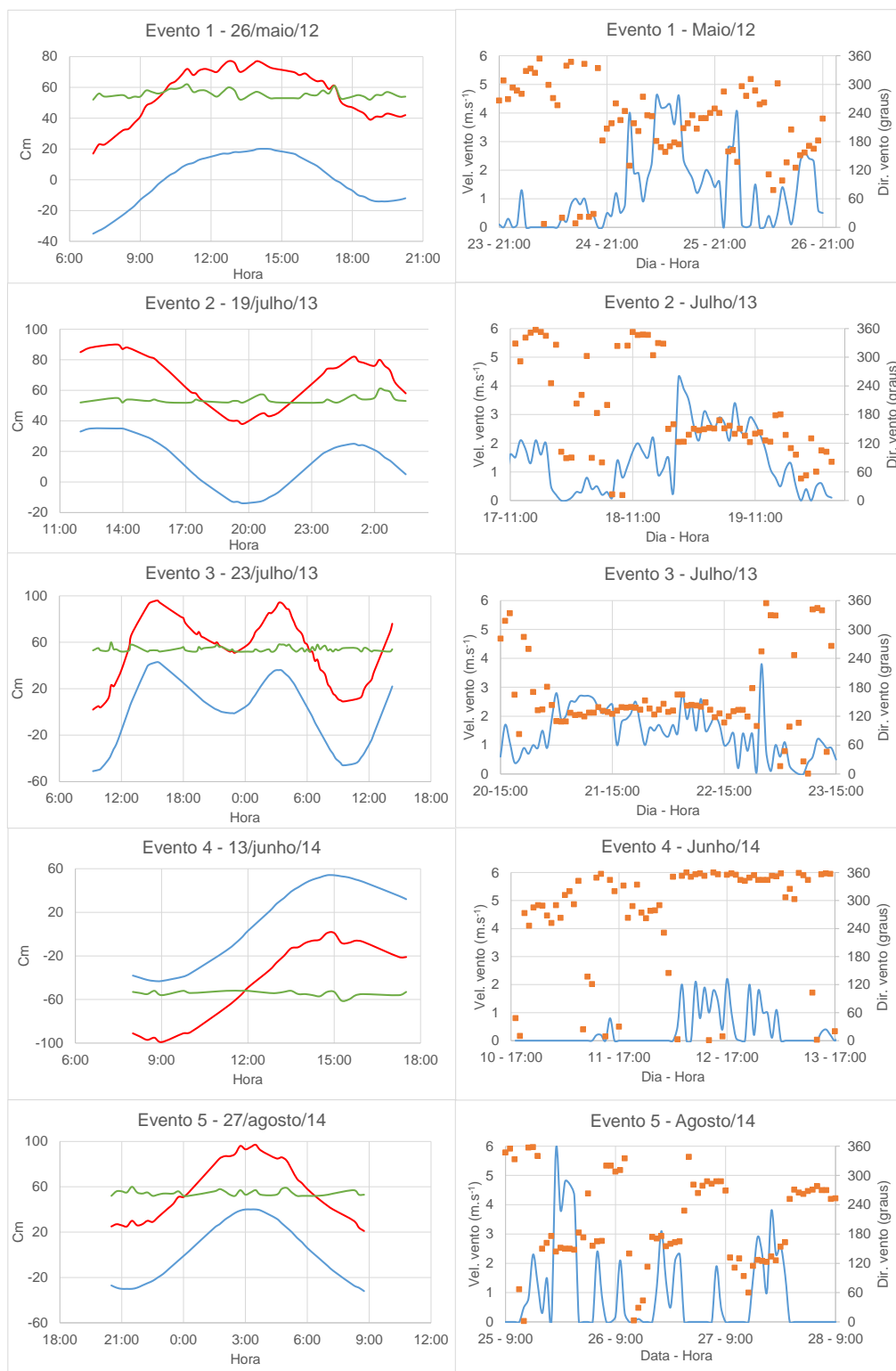


Figura 4 – Eventos de sobre-elevação (eventos 1, 2, 3, 5) e sub-elevação (evento 4) e as respectivas características do vento: gráficos a esquerda - linha azul: maré astronômica; linha vermelha: maré medida; e linha verde: diferença. Gráficos a direita – linha azul: direção do vento; ponto vermelho: velocidade do vento.

Tabela 4. Número de eventos e respectivos tempo de duração em horas.

| Duração Mínima (horas) | Nº Eventos |
|------------------------|------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 8 |
| 3 a 5 | 6 |
| 6 | 5 |
| 7 | 4 |
| 8, 9 | 3 |
| 10, 11 | 2 |
| 12 a 16 | 1 |

5. DISCUSSÃO

O estudo mostrou que as sobre-elevações e sub-elevações do nível do mar são comuns na costa catarinense. As variáveis atmosféricas contribuem significativamente para que ocorram as oscilações. As oscilações mais expressivas resultam, principalmente da atuação dos ventos do quadrante Sul e Norte que sob a ação de Coriolis acumulam e afastam, respectivamente, a água da costa. Estudo realizado por Lima e Cirano (2012) indicam que a passagem de sistemas frontais pode causar o empilhamento de água na costa e a combinação dos efeitos de um centro de baixa pressão sobre o mar e um centro de alta pressão sobre o continente gera uma pista de ventos de quadrante sul sobre o oceano, os quais no Hemisfério Sul, empilham água na costa devido ao transporte de Ekman.

O presente estudo mostra que os eventos de sub-elevação estão associados a ventos do quadrante norte (Tabela 2). As estações do ano que registraram os eventos de sobre-elevação e sub-elevação foram outono, inverno e primavera. Casarin (1983) encontrou mais eventos negativos na primavera e explica que isso se deve ao fato que nos meses de agosto e setembro é comum a ocorrência de sistemas de bloqueio sobre o Oceano Atlântico Sul que geram ventos de nordeste sobre o litoral, associados a cavados sobre o continente proporcionando queda do nível do mar.

Nas sobre-elevações, tanto em relação as estações do ano e a direção do vento, os resultados mostram semelhanças aos encontrados por Campos et al. (2010). No presente estudo foram identificados 10 eventos de sobre-elevação, sendo 8 ocorridos nas estações inverno e primavera, 4 eventos para cada estação. Nas sub-elevações, 7 casos, há um certo equilíbrio entre as três estações, com um caso a mais no inverno, sendo primavera e outono com dois eventos cada (Tabela 2). Campos et al. (2010) estudaram a influência atmosférica sobre o oceano para eventos extremos de maré meteorológica na costa sudeste brasileira para o período de 1951 a 1990. Verificaram que o outono e inverno apresentam a maior ocorrência de extremos positivos (40,2 % e 30,8 % respectivamente), enquanto a primavera e o inverno foram as estações com maior número de extremos negativos (47,2 % e 32,3 % respectivamente) e que as mais importantes sobre-elevações do nível do mar ocorrem com a evolução e persistência de sistemas de baixa pressão sobre o oceano, com ventos de sudoeste acima de 8 m.s⁻¹, associado ao anticiclone posicionado sobre o continente.

Diferenças expressiva entre marés astronômicas, também foram observadas por outros estudos. Enquanto no presente estudo as maiores diferenças chegaram a 64 cm em outros, os valores chegaram a 70 cm (Oliveira, 2004). Oliveira (2004) observou que para o Porto de Paranaguá (PR), sobre-elevações e abaixamentos do nível do mar de até 70 cm entre a preamar observada e a prevista pela DHN. Em sua análise o padrão de resposta do nível do mar às variações do tempo local, os melhores resultados obtidos foram para as previsões de até 6 horas. Cabe ressaltar que o Porto de Paranaguá se situa a norte (\cong 250 Km) do ponto do presente estudo e que a amplitude da maré no Brasil cresce do Sul para o Norte.

Para o mesmo local do presente estudo, Prudêncio (2003) encontrou 40 cm de aumento no nível médio do mar. Segundo esse autor, a elevação do nível médio do mar, na porção sul, apresenta valores maiores do que na desembocadura norte da Baía. Esses resultados sugerem uma elevação devido ao efeito do vento remoto, ou seja, de caráter sinótico, atuante na plataforma continental sul.

Dos quadros eventos de sobre-elevação os eventos 2 e 3 devido as proximidades de suas datas podem ser considerados o mesmo evento. Foram classificados separados por uma questão metodológica quando se adotou para estudo, eventos com 6 horas continua com diferença acima de 51 cm. Ocorreu que em determinado momento que essa diferença foi menor e por isso foi classificado como outro evento. Logo, todas as variáveis que estão envolvidas na produção de um, podem ser assumidas como as mesmas a para o outro.

A duração de evento com 16 horas chama atenção porque mascara a maré prevista e devem ser estudados e considerados em projetos de gerenciamento, ocupação, construção de infraestrutura na zona costeira. A maior diferença registrada foi de 64 cm que pode ser expressiva quando comparada a região que é classificada como sendo de micro-maré, valores inferiores a 1 m (Davies, 1964).

No Município de Florianópolis, as sobre elevações atingem as praias do Sul da Ilha, a Rod. Diomício Freitas, via de acesso ao Aeroporto Internacional Hercílio Luz e o estacionamento do centro de eventos CentroSul próximo as Pontes de acesso a Capital, entre outros, causando congestionamentos, transtornos aos moradores, expositores e turistas (Figuras 1 e 5). O CentroSul é uma área de aterro e o ponto que alaga da Rod. Diomício Freitas corta uma área de mangue. Os mangues são ecossistemas costeiros comumente alagados nas preamares. Este é um exemplo dos efeitos da sobre-elevação do nível do mar e não corresponde aos casos aqui estudados. A data do fenômeno de 13/03/2013 é referente a 3 desvios padrões. Logo, esses locais tiveram eventos com níveis de água maiores, dando uma dimensão dos transtornos que a rodovia ofereceu aos usuários quando ocorreram tais eventos. Essa situação reforça a importância de se monitorar as variáveis oceanográficas para o gerenciamento costeiro. Nos referidos locais é possível afirmar que foram feitos poucos estudos oceanográficos para a construção dessas obras.

Embora haja um decréscimo de 2012 para 2014 no número de eventos de sobre-elevação e sub-elevação não é possível afirmar uma tendência de médio a longo prazo devido ao número reduzido de anos abordado no presente estudo.

Além da direção do vento, as fases da lua desempenham um papel importante nos eventos. Esperava-se que os eventos coincidisse com as fases nova ou cheia, que compreendem as maiores amplitudes de marés (marés de sizígias ou vivas). Isso aconteceu somente para as sub-elevações. Entretanto, para as sobre-elevações as fases minguante e crescente apareceram em número maior que as fases nova e cheia. Porém, observa-se que a

velocidade média do vento, nas sobre-elevações para as fases crescente e minguante foi maior, o que explica a ocorrência dos fenômenos nessas fases.



Figura 5 - Alagamento na Rod. Diomício Freitas no dia 13/03/2013, Florianópolis, SC.

(Foto: Laís Fernandes)

6. CONCLUSÕES

As sobre-elevações e sub-elevações do nível do mar são frequentes na área de estudo. Dos 105.216 registros analisados 69% deles apresentam uma variação de ± 17 cm, 25% até ± 34 cm, 5,4% até ± 51 cm e 0,4% acima de ± 51 cm em relação a média, -0,4 cm.

As sobre-elevações são produzidas pelos ventos do quadrante sul e as sub-elevações pelos ventos do quadrante norte.

Os eventos acima de 51 cm tiveram entre 1 e 16 horas de duração. Sendo que foi a maior diferença foi de 64 cm, considerada expressiva quando comparada a região que é classificada como sendo de micro-maré, valores inferiores a 1 m.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, o qual apoiou o projeto de pesquisa CNPq/CT-Hidro/MPA processo nº 561506/2010 que viabilizou a geração das informações aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Truccolo, E. C., Franco, D. (2000). Characterization and Prediction of the Meteorological Tides at São Francisco do Sul, SC. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2752-2757.

Schwing, F. B., Oey, L. Y., Blanton, J. O. (1988). Evidence for nonlocal forcing along the southeastern United States during a transitional wind regime. Journal of Geophysical Research, 93 (C7), 8221-8228.

- Camargo, R., Campos, R. M. (2006). Composites of sea level pressure and surface winds in the Western South Atlantic related to storm surge activity in Santos, Brazil. In.: ICSHMO, 8., Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: INPE p. 3-5.
- Oliveira, M. M. F. de. (2004). Redes Neurais Artificiais na Predição da Maré Meteorológica em Paranaguá – PR. 2004. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, G. N. (1992). Variação de longo período do nível do mar: causas, consequências e metodologia de análise. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- Mesquita A. R., Harari J., França C. A. S. (1995). Interannual variability of tides and sea level at Cananéia, Brazil, from 1955 to 1990. Publicação especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. SP.
- Mesquita, A. R. (1997). Marés, Circulação e Nível do Mar na Costa Sudeste do Brasil. São Paulo: IOUSP/FUNDESPA.
- Monico, J. F. G. (2000). Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicação. Edição I. São Paulo, Editora UNESP.
- Néris, F. L. (2004). Análise da qualidade geométrica de diferentes bases cartográficas para o cadastro técnico multifinalitário urbano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Paiva, A. M. (1993). Estudo das variações do nível médio do mar em Arraial do Cabo, RJ. Relatório de Pesquisa. FAPERJ-COPPE/UFRJ. E-11/150.766/92. Rio de Janeiro.
- Uaisson, A. R. J. (2004). Influência das forçantes atmosféricas em mesoescala sobre o nível médio do mar em Piraquara, RJ. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- Kalil, A. F. D. (1999). Contribuições ao estudo do nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- Castro, B. M., Lee, T. N., (1995). "Wind-forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf", *Journal of Geophysical Research*, 100 (C8), 16.045-16.056.
- Davies, J. L., (1964). A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphology*, 8, Mortensen Sonderheft.
- Campos, R. M, Camargo, R., Harari, J. (2010). 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*, 25(2): 175 - 184.
- Casarin, D. P. (1983). Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos.
- Lima, M. O., Cirano, M. (2012). Comportamento da Maré Meteorológica com Foco no Papel das Frentes Frias no Litoral Brasileiro. Anais do V Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio de Janeiro. Publicado em CD sem paginação.
- Prudêncio, R. S. (2003). Estudo numérico da circulação induzida pela maré na Baía de Florianópolis. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.
- Featherstone, W. E.; Dentith, M. C., Kirby, J. F. (1998). Strategies for the accurated determination of orthometric heights from GPS. *Survey Review* 34, 278-296.