

# Variação do Nível médio do Mar na Costa marítima dos Municípios de Rio Grande e de São José do Norte RS

Prof. Dr. Obéde Pereira de Lima <sup>1</sup>  
Dr. Roberval Felipe Pereira de Lima <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG  
Departamento de Geociências - DGEO  
Campus Universitário dos Carreiros  
AV. ITÁLIA, KM 8 – 96201-900 RIO GRANDE RS  
[obede@vetorialnet.com.br](mailto:obede@vetorialnet.com.br)

<sup>2</sup>Servidão Dunas da Joaquina, 68  
Bairro Rio Tavares  
88063-419 Florianópolis SC  
[robervalfepellima@hotmail.com](mailto:robervalfepellima@hotmail.com)

**RESUMO** : Este artigo apresenta um estudo sobre a variação do nível médio do mar - NM na costa marítima dos municípios de Rio Grande e São José do Norte, RS., baseado em dados amostrados horários da maré no canal de acesso ao Porto de Rio Grande, RS, correspondente ao período total de 49 meses, divididos em dois períodos descontínuos, sendo um de 31 meses (01/11/1990 a 30/06/1993) com 23.352 horas e o outro de 18 meses (01/09/2002 a 29/02/2004) com 13.128 horas. A metodologia empregada utilizou os dados amostrados horários da maré coletados por um marégrafo do tipo "Hidrologia" de registro analógico diário – escala 1:20, e no processamento dos dados foi utilizado o programa "ANÁLISE HARMÔNICA", contido no software "PACMARE 2000", desenvolvido e aperfeiçoado pelo Almirante Alberto dos Santos Franco, o qual vem sendo amplamente utilizado pela DHN há muitos anos. O resultado desta pesquisa revela uma subida do nível médio do mar de +77 milímetros ao longo dos 13,17 anos, resultando em uma linha de tendência de subida do NM em 6,4mm por ano, ou 640mm por século.

**PALAVRAS-CHAVE:** Marés; Nível Médio do Mar; Litoral; Geomorfologia litorânea; Movimentos tectônicos.

**ABSTRACT** : This article presents a study about variation of the medium level of sea - NM in marine coast of municipal districts Rio Grande and São José do Norte, RS, based on given hourly samplings of tide in the access channel to docks of Rio Grande, RS, corresponding to total period of 49 months, divided in two discontinuous periods, being one of 31 months (01/11/1990 to 30/06/1993) with 23,352 hours and the another of 18 months (01/09/2002 to 29/02/2004) with 13,128 hours. The applied methodology used the data hourly samplings of tide collected by a tide recorder of type "Hydrology" daily analogical registration - scale 1:20, and in processing of data the program "HARMONIC ANALYSIS" was used, contained in the software "PACMARE 2000", developed and improved by Admiral Alberto of the Santos Franco, which has been used thoroughly by DHN there are many years. The result of this research reveals an ascent of the medium level of the sea of +77 millimeters along the 13.17 years, resulting in a line of tendency of ascent of NM in 6.4mm a year, or 640mm per century.

**Keywords** : Tides; Medium Level of the Sea; Coast; Coastal geomorphology; Tectonic movements.

**AGRADECIMENTOS** : À Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, da Marinha do Brasil, pela cessão dos dados da Estação Maregráfica N° 60.380.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Nível médio do mar

O nível médio do mar, ou simplesmente nível médio – NM, em locais banhados pelo oceano, é uma cota altimétrica resultante da variação da maré em determinado lugar. Esta cota altimétrica é materializada no terreno, nas proximidades do aparelho medidor das alturas contínuas da maré, através de um marco denominado de *Referência de Nível – RN* e definido pela sua posição geográfica (latitude e longitude).

A manutenção desta RN é de grande importância para a realização de todos os projetos e obras de engenharia, localizadas nas áreas da zona costeira, como: instalações de redes de drenagem e de escoamento de águas pluviais em ambientes urbanos; ao navegador marítimo, para a previsão das alturas do espelho da água nas ocasiões em que navega ao longo de canais de acessos aos portos, tanto nas entradas como nas saídas; nas obras de instalações portuárias marítimas; etc.

A **costa** ou **zona costeira**, situada no contato entre a litosfera, a hidrosfera e a atmosfera, constitui um meio privilegiado, onde vivem quase 2/3 da população mundial. Além das atividades tradicionais da pesca e do comércio, o século XX trouxe uma grande pressão sobre o meio costeiro, com a urbanização, a industrialização, o turismo, a aquicultura e a implantação de obras marítimas *offshore* (entende-se como Engenharia *Offshore* a atividade que governa a construção de obras no mar, tanto próximo à costa como em alto mar) (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998).

## 2. O FENÔMENO DA MARÉ

### 2.1. Maré - definições

Segundo Pugh (1987) a primeira distinção importante ao se conceituar *maré* está entre o uso popular desta palavra, ora significando **qualquer mudança do nível do mar** e o seu uso mais específico, ora para significar **só as variações periódicas regulares**. Embora qualquer definição de marés seja um pouco arbitrária, ela tem que enfatizar esta natureza periódica e regular do movimento, se ele é do nível da superfície do mar, das correntes, da pressão atmosférica ou de movimentos tectônicos.

Depois destas considerações iniciais, assim Pugh (op. cit. p.12) define marés:

*“Marés são movimentos periódicos que estão diretamente relacionados em amplitude e fase com uma mesma força geofísica periódica. A força geofísica dominante é uma função da variação do campo gravitacional na superfície da terra, causada pelos movimentos regulares dos sistemas Lua-Terra e Terra-Sol.”*

Para Bigarella (2000) as marés são subidas e descidas periódicas da superfície do mar em função da atração gravitacional da Lua e, em menor grau, do Sol. Referindo-se, portanto, a este fenômeno, completa aquele pesquisador que as marés são essencialmente oscilações de água nas bacias oceânicas, com características determinadas parcialmente pelo tamanho e forma das bacias, e que seus efeitos são mais fortemente verificados em áreas oceânicas rasas e relativamente fechadas.

As forças resultantes da interação gravitacional do sistema Sol, Terra e Lua fornecem as forças geradoras das marés, as quais são compostas por duas componentes, sendo uma horizontal e outra vertical. Franco (1977), efetuando desenvolvimentos algébricos na decomposição destas componentes das forças geradoras de marés chegou à expressão da altura da maré estática:

$$\zeta = \frac{3La^3}{2TD^3} a a \left[ \frac{1}{4} (1 - 3 \sin^2 \phi) \left( \frac{2}{3} - 2 \sin^2 \delta \right) + \frac{1}{2} \sin 2\phi \sin 2\delta \cos t_1 + \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2t_1 \right]$$

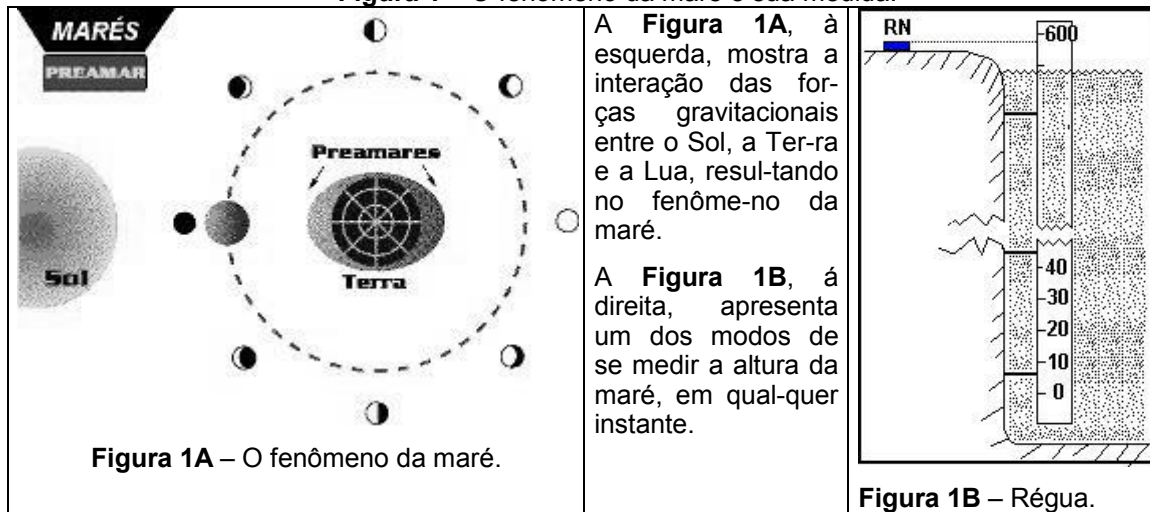
onde se vê nesta fórmula três oscilações distintas: uma de longo período, que varia lentamente com a declinação ( $\delta$ ) da Lua; outra diurna, que varia com  $t_1$ ; e a terceira, semi-diurna, que varia com  $2t_1$ . Desta forma, a oscilação da maré estática tem períodos idênticos àqueles das forças que a geraram.

Franco (1997) conceituando o fenômeno da maré a partir das observações da variação do nível do mar em relação a uma régua graduada instalada em um local de águas tranquilas, e associadas com as observações das posições da Lua no seu movimento diurno em torno da Terra, refere-se à maré como sendo a variação periódica do nível do mar sob a influência de forças astronômicas, de modo que apresenta um máximo aproximadamente a cada 12 horas e 25 minutos – tempo este que corresponde à metade de um dia lunar, e que os mínimos, por sua vez se sucedem a intervalos semelhantes de cerca de 6 horas e 12 minutos após cada preamar. Neste caso diz-se que a maré é semi-diurna. Os máximos são

chamados de preamares (PM) e os mínimos de baixa-mares (BM).

As **Figuras 1A** e **1B** que se seguem, ilustram estes conceitos de maré, preamar e baixa-mar:

**Figura 1 – O fenômeno da maré e sua medida.**



Observando-se atentamente a **Figura 1A** e considerando as posições em que a Lua pode se encontrar em relação à Terra e ao Sol, a altura da maré varia com as fases da Lua e com a distância da Lua e do Sol à Terra.

A observação de marés fornece os valores das alturas da maré em relação a um plano de referência fixo. Se este for o zero hidrográfico, e designada por  $Z_0$  a sua distância ao nível médio, as alturas lidas no marégrafo ou na régua de marés à hora  $t$  obedecem à expressão:

$$y = Z_0 + \sum f H \cos (V_0 + nt + u - g)$$

onde:

$f$  – coeficiente de redução de amplitude;

$V_0$  – argumento astronômico da onda às 0 (zero) horas médias de Greenwich, na origem dos tempos médios;

$nt$  – velocidade horária da onda;

$u$  – correção de longo período da fase.

As constantes harmônicas correspondentes às semi-amplitudes  $H$  e ao atraso de fase  $g$  é que são desconhecidas a priori e variam de local para local.

A análise harmônica das marés é um processo de cálculo que permite determinar as semi-amplitudes  $H$  e os atrasos de fase  $g$  das várias ondas componentes, a partir do conhecimento das alturas de maré observadas  $y$ .

Compreende-se que esta decomposição só seja possível a partir da observação do fenômeno da maré durante um período relativamente longo, porque se baseia na variação relativa das fases das ondas componentes, devido a serem diferentes as suas velocidades angulares  $nt$ .

De acordo com Fernandes (1967) a maré é um fenômeno cósmico que se manifesta em todos os oceanos por uma oscilação rítmica do nível das águas, acompanhada por correntes variáveis, em grandeza e direção. Este fenômeno é, portanto, composto por duas componentes básicas indissociáveis: uma vertical e outra horizontal, sendo que a maré é resultante da força horizontal, denominada de *força de tração*. O assunto é de uma vastidão muito grande. Contudo, neste trabalho ele será tratado de um modo sumário e parcial, tendo como principal finalidade o cálculo das alturas horárias da maré, dentro de uma área litorânea pertencente a um mesmo sistema oceânico e com características climáticas semelhantes.

Mourão (1982) esclarece que a Astronomia fornece os períodos das diversas oscilações das marés por intermédio do conhecimento do movimento da Lua e do Sol, enquanto a Hidrodinâmica analisa a forma arbitrária dos continentes e as irregularidades da profundidade dos oceanos.

Segundo Franco (1997), pode-se atribuir a Laplace (Pierre Simon, Marquês de), astrônomo, matemático e físico francês (Beaumont-em-Auge, Normandia, 1749 – Paris 1827), o crédito por ter estabelecido, em bases sólidas, o estudo moderno das marés. Ele desenvolveu a Teoria da Maré Estática,

de forma a introduzir modificações que possibilitaram prever o fenômeno com razoável precisão, por meio de análise de maré, em um dado porto, e comparando essa análise com a teoria. Foi também Laplace quem começou o estudo dinâmico das marés e quem previu a possibilidade da análise harmônica.

Certamente inspirado por Laplace, o geofísico inglês Sir William Thomson, (Belfast 1824, - Netherhall 1907) mais tarde Lord Kelvin, concebeu e realizou um aparelho mecânico em 1876, o “Tide Predictor”, que totaliza as diversas marés parciais e prevê em alguns instantes o momento e a altura das marés. Um instrumento desse tipo foi utilizado no Observatório Nacional até 1967, para prever a maré. Atualmente, esse trabalho vem sendo desenvolvido pelo Centro de Hidrografia da Marinha – CHM, órgão subordinado a Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, do Comando da Marinha, localizado em Niterói, RJ, com a utilização de computadores (Franco, op. cit.).

## 2.2. Características gerais e terminologia das marés.

Os termos e conceitos sobre as características gerais das marés abaixo referidos foram obtidos de Fernandes (1967) e Franco (1997). Trata-se de termos e conceitos mantidos atuais e, por estas razões, adotados no presente trabalho.

Por maré astronômica, ou simplesmente *maré* designa-se normalmente a oscilação periódica do nível das águas devidas às ações atrativas da Lua e do Sol. À maré sobrepõem-se outras alterações do nível do mar provocadas por influência do vento ou pelas variações de pressão (Fernandes 1967).

A média dos níveis atingidos pela superfície líquida durante o fenômeno da maré denomina-se *nível médio*.

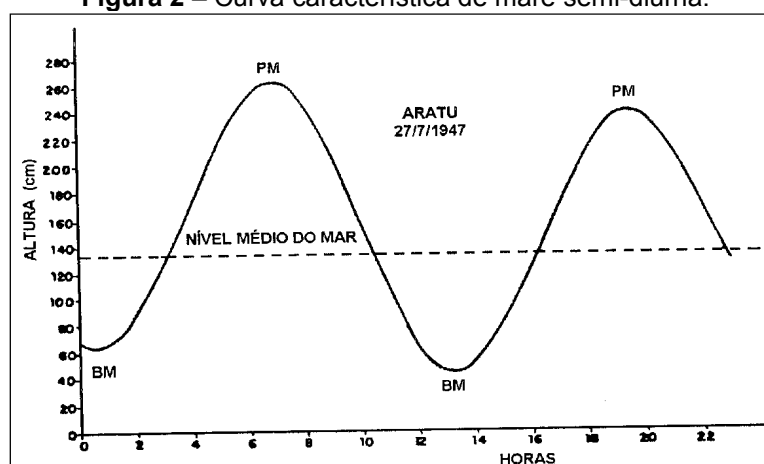
O nível da maré em um determinado ponto sobe durante o *fluxo* ou *enchente* até atingir a altura máxima – *preamar (PM)* – e desce durante o *refluxo* ou *vazante* até atingir a altura mínima – *baixa-mar (BM)*. Nas proximidades das preamares ou das baixa-mares o nível não varia, praticamente, durante um período mais ou menos longo, denominado *estofa da maré*.

Os valores numéricos referentes à batimetria (profundidades) constante em uma carta náutica são referidos a um plano fixo denominado de *nível de redução – (NR) de sondagens* ou *plano do zero hidrográfico*. O nível de redução corresponde à média das baixa-mares de sizígias em uma estação maregráfica.

Na maioria dos locais da Terra há duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, com elevações idênticas em valor absoluto. À maré com estas características designa-se por tipo *semi-diurno* e tem uma curva semelhante a da **Figura 2** seguinte (Fernandes, 1967).

Nas marés semi-diurnas a amplitude varia de dia para dia, desde um máximo, que se dá nas proximidades da fase de Lua nova ou Lua cheia – *marés de águas vivas* ou *de sizígias* – a um valor mínimo, nas proximidades da fase da Lua crescente ou minguante – *marés de águas mortas* ou *de quadraturas*. Nas marés de águas vivas, o intervalo de tempo entre duas preamares (ou baixa-mares) consecutivas é menor do que o intervalo médio, e nas marés de águas mortas é maior do que esse intervalo médio; diz-se então que as marés sofrem um *avanço* ou *retardamento*, respectivamente.

**Figura 2 –** Curva característica de maré semi-diurna.



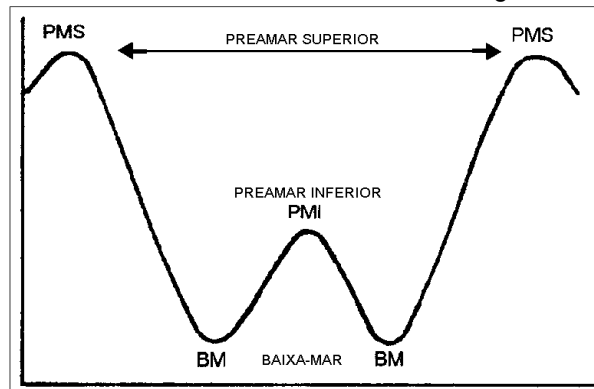
Fonte: Franco (1997).

Em algumas localidades do globo, como por exemplo, em Copenhague (Dinamarca) e em Doson (Vietnam) existe uma única preamar e uma única baixa-mar por um dia lunar. À maré com estas

características denomina-se do *tipo diurno* (Franco, 1997).

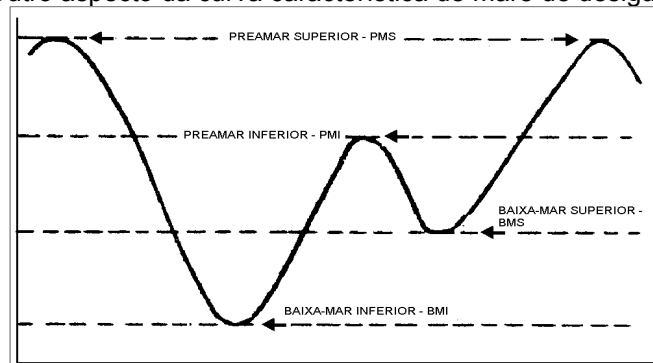
Existe um tipo de maré intermediário, denominado de *tipo misto*, em que, em alguns dias há duas preamares e duas baixa-mares por um dia lunar, e, em outros, apenas uma preamar e uma baixa-mar. Mesmo nas marés semi-diurnas pode haver grandes desigualdades entre as alturas das preamares, ou nas baixa-mares do mesmo dia. Distingui-se então entre a *preamar superior* e a *preamar inferior*, e também entre a *baixa-mar superior* e a *baixa-mar inferior*, conforme a altura da maré é maior ou menor. À diferença de alturas entre as preamares, ou baixa-mares, do mesmo dia lunar chama-se *desigualdade diurna*. As **Figuras 3**, e **4** mostram as curvas características deste tipo de maré (Fernandes, 1967) e (Franco (1997).

**Figura 3** – Curva característica de maré de desigualdade diurna.



Adaptação da FONTE: Franco et al (1997).

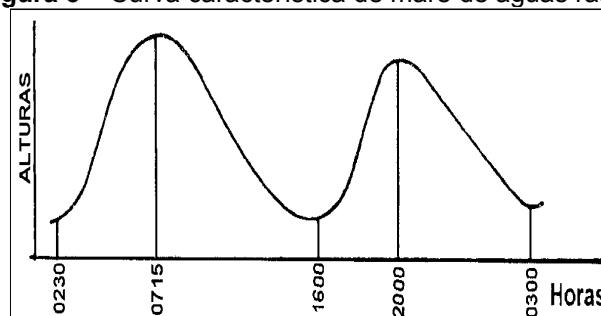
**Figura 4** – Outro aspecto da curva característica de maré de desigualdade diurna.



Adaptação da FONTE: Franco et al (1997).

Segundo Franco (1997), em relação à observação da maré, deve ser mencionado que em estuários, braços de mar e baías extensas, a duração da enchente ou fluxo, é geralmente menor que a duração da vazante ou refluxo. Trata-se de uma modificação causada pela pouca profundidade, e é bastante notável no porto de Macapá, na barra Norte do delta do rio Amazonas, como se vê na **Figura 5**.

**Figura 5** – Curva característica de maré de águas rasas.



Fonte: Franco, 1997.

A identificação e o reconhecimento dos tipos de marés acima descritos têm suas importâncias específicas nas várias áreas de suas utilizações e aplicações.

Segundo Franco, (1997), no Brasil, a DHN adota o critério de Courtier (1938) para classificar a maré e, em função dessa classificação calcular a altura do nível de redução (NR), abaixo do nível médio, somando as amplitudes das componentes harmônicas principais:

$$[ H(O_1) + H(K_1) ] / [ H(M_2) + H(S_2) ] = C$$

O critério pode ser baseado no valor de C. A **Tabela 1** mostra a classificação da maré em função de C.

**Tabela 1** – Cálculo de Classificação de marés e do nível de redução de sondagens.

DESIGUALDADES	CLASSIFICAÇÃO
$0 < C \leq 0,25$	Maré semi-diurna (2 PM e 2 BM por dia)
$0,25 < C \leq 1,5$	Maré semi-diurna com desigualdades diurnas (2 PM e 2 BM desiguais)
$1,5 < C \leq 3$	Maré mista (2 PM e 2 BM ou 1 PM e 1 BM por dia)
$3 < C$	Maré diurna (1 PM e 1 BM por dia)

Fonte: Franco (1997).

### 2.3. O nível médio do mar - NM

Os estudos e pesquisas que conduzem ao estabelecimento do nível médio do mar – NM, em qualquer local, devem ser realizados ao longo de um período de observações horárias de pelo menos de um ano, já que a Terra a cada mês ocupa uma posição diferente em sua trajetória na eclíptica. Um estudo de longo período astronômico desejado envolve observações horárias contínuas durante 18,61 anos Juliano, que corresponde a um ciclo de revolução do nodo ascendente da Lua associado ao período de translação da Terra. Mesmo assim é preciso considerar a influência da maré meteorológica, que deverá ser eliminada pela análise da maré, na determinação dos componentes harmônicos.

As variações sazonais do nível do mar são explicadas pelas influências exercidas por quatro fatores principais:

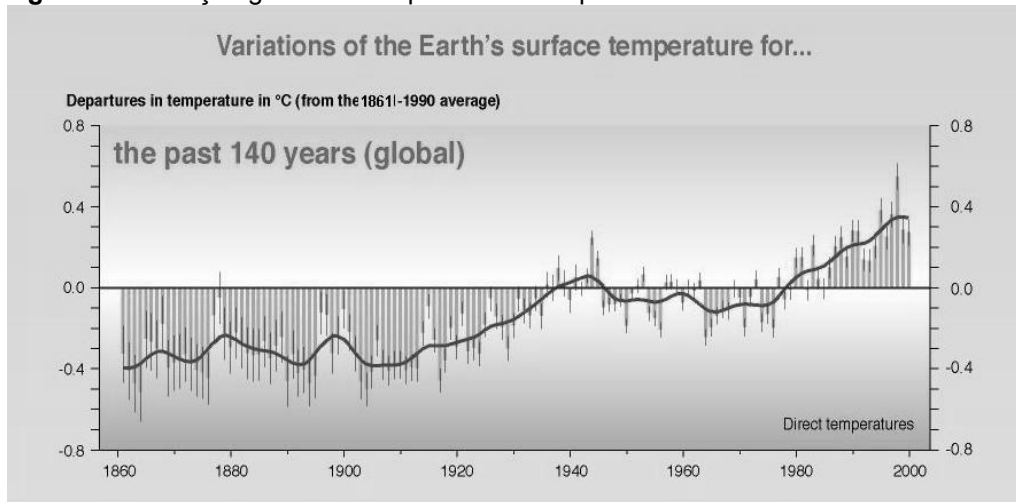
- diminuição da pressão atmosférica local;
- aumento da quantidade de calor contida nos oceanos;
- diminuição da salinidade; e
- aumento na componente dos ventos dirigidos para as terras e na das correntes litorâneas.

Para Guerra (1998), as variações de curta duração temporal (de meses a centenas de anos) com amplitudes da ordem de decímetros resultam de:

- modificações climáticas;
- ajustamentos isostáticos;
- efeitos tectônicos locais;
- variações da pressão atmosférica;
- modificação na circulação oceânica; e
- deformações do geóide por efeitos gravitacionais.

As **Figuras 6 e 7** seguintes, elaboradas pelos pesquisadores do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e publicadas em fevereiro deste ano de 2007, revelam uma preocupação da influência do aquecimento global com a elevação do NM.

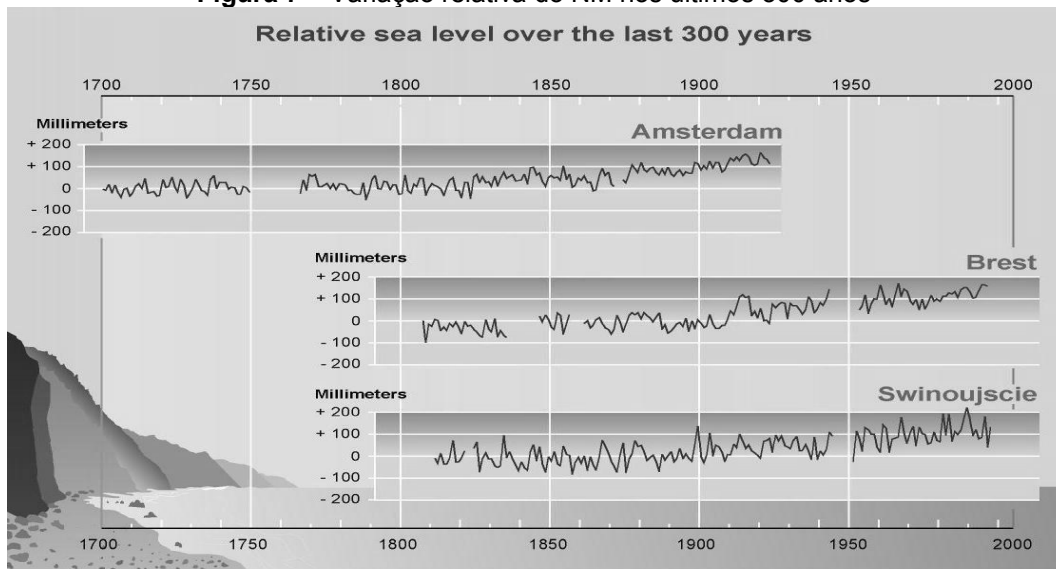
Observa-se na **Figura 6** que a elevação da temperatura global nos últimos 140 anos teve uma subida contínua de aproximadamente 0,8 °C. Por coincidência, ou não, o início desta elevação de temperatura começa logo após o início da Revolução Industrial.

**Figura 6 –** Variação global da temperatura na superfície da Terra nos últimos 140 anos

Adaptação da Fonte: IPCC (2007)

Paralelamente às pesquisas a respeito do aquecimento global nos últimos 140 anos, os cientistas também pesquisaram sobre a elevação contínua do NM nos últimos 300 anos, resultando no gráfico da **Figura 7**. Este gráfico mostra que em Amsterdam o NM permaneceu estável entre os anos de 1700 a 1820 e, a partir deste último ano até 1925 nota-se uma linha de tendência contínua, atingindo uma elevação de 150mm em um espaço de tempo de 105 anos.

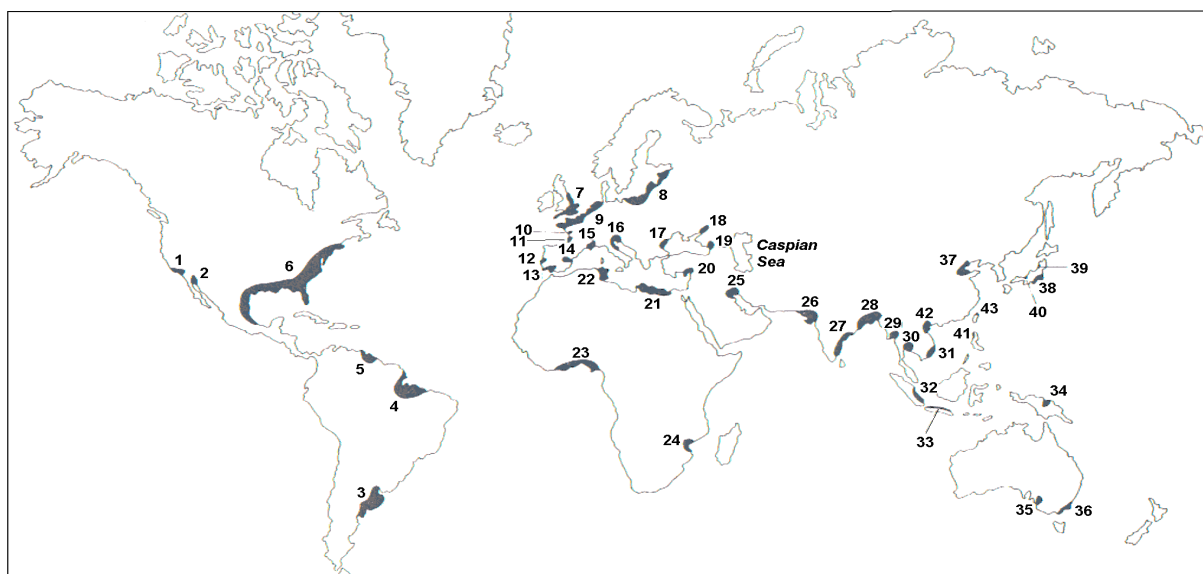
Já em Brest e Swinoujscie observam-se, também, que até 1820 o NM manteve-se estável e que de 1820 até 1998 o NM teve uma elevação contínua de 170mm em 178 anos.

**Figura 7 –** Variação relativa do NM nos últimos 300 anos

Adaptação da Fonte: IPCC (2007)

Destas considerações, e de outras pesquisas semelhantes praticadas no mundo inteiro, é inegável a constatação de que o nível médio do mar está se elevando na maior parte do globo terrestre.

Em muitas costas marítimas e oceânicas do mundo, o nível do mar tem mudado por causa de movimentos tectônicos, para cima ou para baixo, nas zonas litorâneas. A **Figura 8** apresenta um mapa planisférico do mundo, onde estão assinalados os locais de ocorrências de movimentos tectônicos epirogenéticos negativos recentes (Bird, 1993, p.4).

**Figura 8 - Submersão do litoral em décadas recentes.**

**Fonte:** Bird (1993, p.4).

**Legenda do mapa:** 1, área de Long Beach, ao sul da Califórnia; 2, delta do Rio Columbia, na cabeceira do Golfo da Califórnia; 3, Golfo do Prata, Argentina; 4, delta do Amazonas; 5, delta do Orinoco; 6, golfo e costa Atlântica do México e Estados Unidos; 7, Inglaterra meridional e oriental; 8, o meridional Báltico da Estônia para a Polônia; 9, norte da Alemanha, Países Baixos, Bélgica e norte da França; 10, estuário do Loire, França ocidental; 11, Vendée, França ocidental; 12, região de Lisboa, Portugal; 13, delta do Guadalquivir, Espanha; 14, delta de Ebro, Espanha; 15, delta de Rhône, França; 16, do norte Adriático, de Rimini para Veneza e Grado; 17, delta do Danúbio, Romênia; 18, Mar oriental de Azov; 19, Poti Swamp, costa Georgiana do Mar Negro; 20, sudeste da Turquia; 21, delta do Nilo para a Líbia; 22, nordeste da Tunísia; 23, costa da Nigéria, especialmente o delta do Níger; 24, delta do Zambezi; 25, delta do Tigres-Eufrates; 26, Rann de Kutch; 27, sudeste da Índia; 28, delta do Ganges-Brahmaputra; 29, delta do Irrawaddy; 30, região litoral de Bangkok; 31, delta do Mekong; 32, Sumatra oriental; 33, costa deltaica do norte de Java; 34, delta do Sepik; 35, região de Porto Adelaide; 36, região de Comer Inlet; 37, delta do Hwang-ho; 38, entrada da Baía de Tóquio; 39, Niigata, Japão; 40, Maizuru, Japão; 41, Manila; 42, delta do Rio Vermelho, Vietnã do Norte; 43, norte de Taiwan. (Bird, 1993, p.5).

#### 2.4. Variações do nível do mar no litoral brasileiro.

De acordo com Muehe (1991), pelas curvas de variações relativas do nível do mar estabelecidas para o litoral do Brasil entre Salvador (BA) e Santa Catarina, sumarizadas por Suguio et al (1985), verifica-se que o mesmo ultrapassou por duas vezes e em vários metros o nível atual e apresenta tendência de decréscimo deste nível a partir dos últimos 2.600 anos. Em contraposição, a interpretação de registros maregráficos de curta duração (20 anos) comparados com os dados de séries de muito longa duração (centenas e milhares de anos), para várias localidades do litoral brasileiro (Pirazzoli, 1986) aponta elevação, principalmente para as cidades de Canavieiras, Salvador e Recife.

Acrescenta Muehe (1991) que, por falta de dados maregráficos confiáveis de longa duração, não há consenso sobre a ocorrência ou não de elevação do nível do mar no litoral brasileiro. Mas aumenta o número de pesquisadores que, baseados em observações isoladas, se inclinam em favor dessa possibilidade, como por exemplo, Mesquita & Harari (1983), Mesquita & Leite (1985), Silva & Neves (1991) e Silva (1992), analisando registros maregráficos das décadas de 60 a 80, verificaram elevação do nível relativo do mar em Cananéia e Baía de Guanabara, da ordem de 1 cm/ano; taxa quase 70% maior do que a tendência secular mundial. A mesma tendência foi registrada para Recife por Harari & Camargo (1993), que analisaram o período de 1946 a 1988. Tomazelli & Wilcock (1989), partindo de evidências geomorfológicas, chegaram a estabelecer o esboço de uma curva de nível do mar para o litoral do Rio Grande do Sul, mostrando uma tendência de elevação, iniciando o processo de retrogradação.

Segundo Muehe e Neves (1995), dados sobre o nível do mar são normalmente obtidos com propósitos de navegação marítima, tanto pela Marinha do Brasil quanto pelos Administradores dos Portos

brasileiros. A maioria dos dados disponíveis é de pequena série de tempo e apresenta enormes lacunas. Para basear um estudo de tendência do nível do mar em análise global, os registros de longa duração que excedem 50 anos são poucos. Tais registros estão começando a ficar disponíveis no Brasil.

Assim, pelos estudos realizados por Muehe e Neves, (op. cit.), apresenta-se abaixo os resultados de algumas pesquisas realizadas por estudiosos do assunto:

Pirazolli (1986), apresentou a tendência do nível do mar para seis (6) localidades da costa brasileira, baseada em um período de vinte (20) anos, constante na **Tabela 2**.

**Tabela 2 – Tendências do nível do mar no litoral brasileiro**

LOCAL	TENDÊNCIA CALCULADA (por século)	OBSERVAÇÕES
IMBITUBA (SC)	+55 mm	
CANAVIEIRAS (BA)	+310 mm	
SALVADOR (BA)	+160 mm	
RECIFE (PE)	+370 mm	(1)
FORTALEZA (CE)	(-)	(2)
BELÉM (PA)	(-)	(2)

**FONTE:** Pirazolli, 1986.

OBSERVAÇÕES: (1) Harari e Camargo (1994) utilizando dados de um período de 36 anos calcularam uma tendência de +560 mm por século.

(2) Foi notada uma tendência negativa, embora não tenha mostrado os valores.

Aubrey et al (1988), analisaram dados de 28 estações na América do Sul e Caribe. Eles concluíram que as tendências do nível médio do mar estão correlacionadas com a evidência geológica de movimentos verticais da costa Atlântica do continente. Na **Tabela 3** são mostradas algumas das estações analisadas.

**Tabela 3 - Tendências do nível do mar no litoral brasileiro (1968 – 1988).**

LOCAL	TENDÊNCIA CALCULADA (por século)	OBSERVAÇÕES
IMBITUBA (SC)	+70 mm	
RIO DE JANEIRO (RJ)	+350 mm	
CANAVIEIRAS (BA)	+410 mm	
SALVADOR (BA)	+270 mm	
RECIFE (PE)	-0,20 mm	(1)
FORTALEZA (CE)	-340 mm	
BELÉM (PA)	+0,30 mm	

**FONTE:** Aubrey et al, 1988.

OBSERVAÇÕES: (1) Harari e Camargo (1994) utilizando dados de um período de 36 anos calcularam uma tendência de +560 mm por século.

Segundo Muehe e Neves (1995), a discrepância de resultados entre Aubrey et al (1988) e Pirazolli (1986), particularmente no Recife onde as tendências mostram sinais opostos está intrigando, desde que eles usaram o mesmo banco de dados. Entretanto, Harari e Camargo (1994) utilizaram um período de 36 anos (1946 a 1988) e encontraram uma tendência de +5,6 mm por ano.

Franco et al (2001), desenvolveram uma pesquisa que trata da análise de séries extremamente longas e que contém um estudo sobre o comportamento do nível médio do mar em três (3) estações maregráficas: Charleston, nos Estados Unidos, Santos (SP) e Cananéia (SP) no Brasil. As observações de alturas horárias cobriram 78 anos em Charleston, 19 em Santos e 38 em Cananéia. Os três (3) gráficos das **Figuras 9, 10 e 11**, nessa ordem, representam os valores anuais do nível médio e as retas de regressão que mostram, nitidamente, a subida do nível médio durante os períodos observados.

Afirmam Franco et al (2001) que por estes gráficos apresentados fica bastante claro que o nível médio do mar tem subido nesses locais e, além disso, ele descreve nos três casos um acentuado zig-zag aleatório em torno da reta de regressão, acrescentando que muitas vezes o nível médio afasta-se mais de

dez (10) centímetros da referida reta.

As taxas de variação secular nos três (3) casos são:

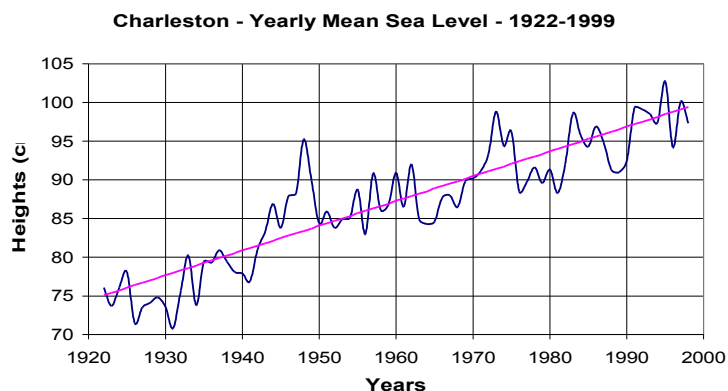
Charleston (EUA): trinta e dois (32) centímetros por século;

Santos (SP): trinta e sete (37) centímetros por século; e

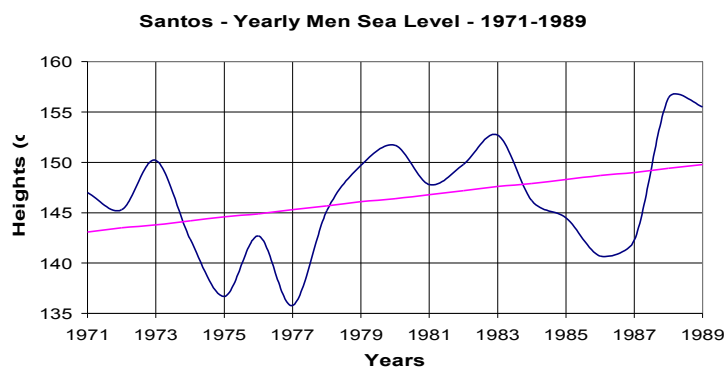
Cananéia (SP): trinta e oito (38) centímetros por século.

Nesta oportunidade é conveniente observar que, o “*acentuado zig-zag aleatório*” em torno da *reta de regressão* representativa da tendência do nível médio do mar, demonstrado por Franco et al (op. cit.), conforme os gráficos vistos na página anterior, constitui-se em fator de elevada importância na avaliação da exatidão e precisão da localização geodésica do NM.

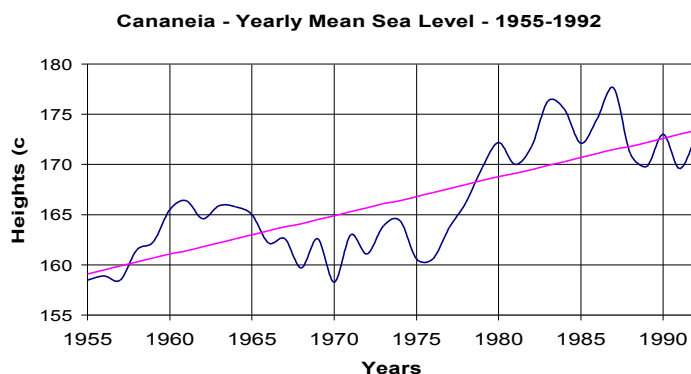
**Figura 9 – Gráfico da tendência do NMM em Charleston (EUA).**



**Figura 10 – Gráfico da tendência do NMM em Santos (SP).**



**Figura 11 – Gráfico da tendência do NMM em Cananéia (SP).**

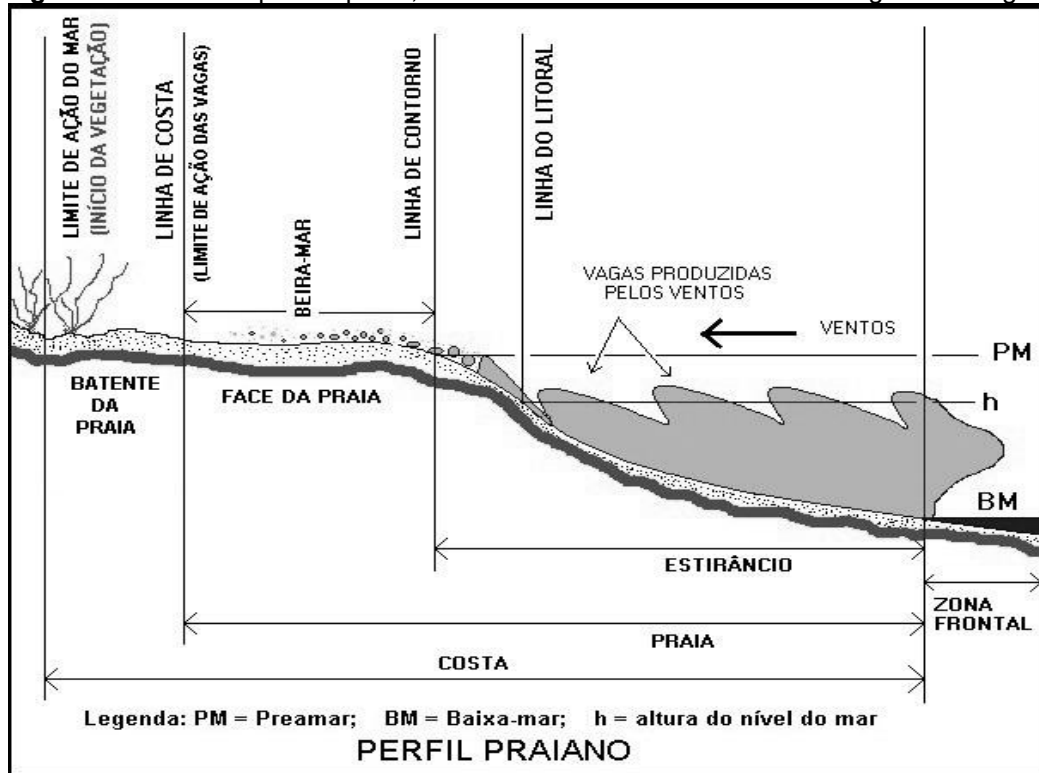


**Fonte:** Franco et al (2001).

### 3. NOMENCLATURA DESCRITIVA DAS FEIÇÕES COSTEIRAS

Freire (1971), diante da necessidade de firmar uma terminologia das feições costeiras propôs a adoção das denominações cujos significados caracterizam, com o possível rigor, as várias partes constituintes das praias e as linhas que as limitam.

**Figura 12** – Perfil de prisma praial, mostrando a nomenclatura descritiva geomorfológica



A **Figura 12**, elaborada com base nas definições de Freire (1971) e de Guerra (1998), além de outros estudiosos do tema, apresenta a nomenclatura de alguns elementos da geomorfologia litorânea, tendo em vista o escopo deste trabalho.

Guerra (1998), baseando-se na nomenclatura da morfologia litorânea utilizada pelos pesquisadores de língua inglesa, comenta que não há no idioma português termos que lhes correspondam diretamente e que se torna necessário propor uma nomenclatura apropriada, de modo que correspondam aos mesmos conceitos. Muehe (1991) tem as mesmas preocupações quanto à correspondência dos termos referentes às feições deposicionais e de hidráulica costeira, procurando sempre escrever a palavra inglesa correspondente a cada termo técnico usado.

**Linha de costa** – Limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha, no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou qualquer outra feição que marque o início da área continental (Suguió, 1992; Ângulo, 1994). A linha de costa pode avançar em direção ao mar, através da formação de depósitos sedimentares, em um processo denominado de *progradação da linha de costa*. Também, ela pode avançar em sentido contrário, sobre o continente, através da remoção do material que constitui a linha de costa, em um processo chamado de *recuo da linha de costa*, popularmente denominado de *erosão costeira* ou *marinha*.

**Linha de contorno** – Limite até onde se estende a ação efetiva da maré. É um caso particular da linha do litoral, correspondente à situação de preamar.

**Linha do litoral** (*shoreline*) – É, estritamente, a linha que demarca o contato entre as águas e as terras, variando com os movimentos das marés entre os limites do estirâncio.

**Costa** – Conjunto de formas componentes da paisagem que estabelece a área de contato de terra com o mar. Zona de largura variável em função da oscilação das marés e das características geomorfológicas locais, que se estende para o interior do continente a partir da linha do litoral e sobre a qual se faz sentir, de algum modo, a ação do mar. Observe-se, ainda, que a costa abrange o batente da praia, a face da praia (ou beira-mar; pós-praia = *backshore*) e o estirâncio.

**Estirâncio** (*foreshore*) – Zona compreendida entre a linha de contorno e o limite extremo da baixa-mar ou, o que é a mesma coisa, faixa compreendida entre os batentes extremos da baixa-mar e da preamar.

**Praia** – Faixa de material detrítico não consolidado, normalmente areias, que se estende do limite inferior da baixa-mar até o limite onde se sente a ação direta das vagas.

**Batente da praia** – Faixa quase horizontal da praia, que vai do limite da ação direta das vagas até o limite em que se faz sentir, de algum modo, a ação do mar.

**Zona frontal** (ante-praia = *offshore*) – Zona do fundo do mar, adjacente ao estirâncio, na qual se faz sentir, de algum modo, a ação morfológica do mar.

**Beira-mar** – Também conhecida como *face da praia*, é a faixa situada entre a linha de contorno e o limite da ação direta das vagas, ou, ainda, a faixa situada entre o batente extremo da preamar e o limite da ação direta das vagas.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Coleta dos dados amostrados horários da maré em Rio Grande, RS

A observação do fenômeno da maré é indispensável, pois embora obedeça às leis físicas perfeitamente estabelecidas, varia com as condições locais, de forma tão complexa que é ainda hoje irrealizável a dedução teórica das suas características exatas. As marés têm determinados ciclos de seqüência, cujo período é extremamente longo. Por isso, o conhecimento do fenômeno local exige o estabelecimento de estações fundamentais de marés, onde se fazem observações contínuas, durante longos períodos de tempo. De modo geral, as características das marés só ficam conhecidas por observações anuais, e até para o estudo do nível médio, por observações durante um período mínimo de 18,66 anos Juliano, conforme já visto.

### 4.2. Medidas de marés

O modo mais simples de se medir a altura da maré em um dado instante, pode ser feito utilizando-se uma régua graduada (régua de maré), instalada verticalmente em relação à massa líquida que se vai medir (ver **Figura 1B**), de modo que o zero (0) da régua fique sempre encoberto pelo espelho d'água na maré mais baixa. Naturalmente a instalação da régua de maré deve ser em local abrigado da ação das ondas e dos ventos, para que a superfície da água que se encontra em contato com a régua seja sem agitação e a mais tranqüila possível. O mapa de localização da área de estudo, visto na **Figura 13**, mostra onde se encontra instalada a régua da Estação Maregráfica nº 60.380.

Encontram-se cadastradas no BNDO/DHN as seguintes estações maregráficas referentes à costa marítima do Rio Grande do Sul, nas quais constam entre parêntesis os números de dias de observações horárias contínuas:

60.310 Torres, Lat.: 29° 20',8 S e Long.: 049° 43',5 W – (32 dias);

60.320 Tramandaí, Lat.: 29° 56',0 S e Long.: 050° 07',5 – W (358 dias);

60.330 Solidão, Lat.: 31° 46',0 S e Long.: 050° 28',2 W – (07 dias);

60.340 Pelotas, Lat.: 31° 46',0 S e Long.: 052° 20',0 W – (32 dias); e

60.360 Sarita, Lat.: 32° 37',8 S e Long.: 052° 25',7 W – (15 dias).

Referente ao canal de acesso ao Porto de Rio Grande, RS, destacam-se as seguintes estações maregráficas cadastradas no BNDO/DHN, com seus respectivos números de dias de observações horárias contínuas entre parêntesis:

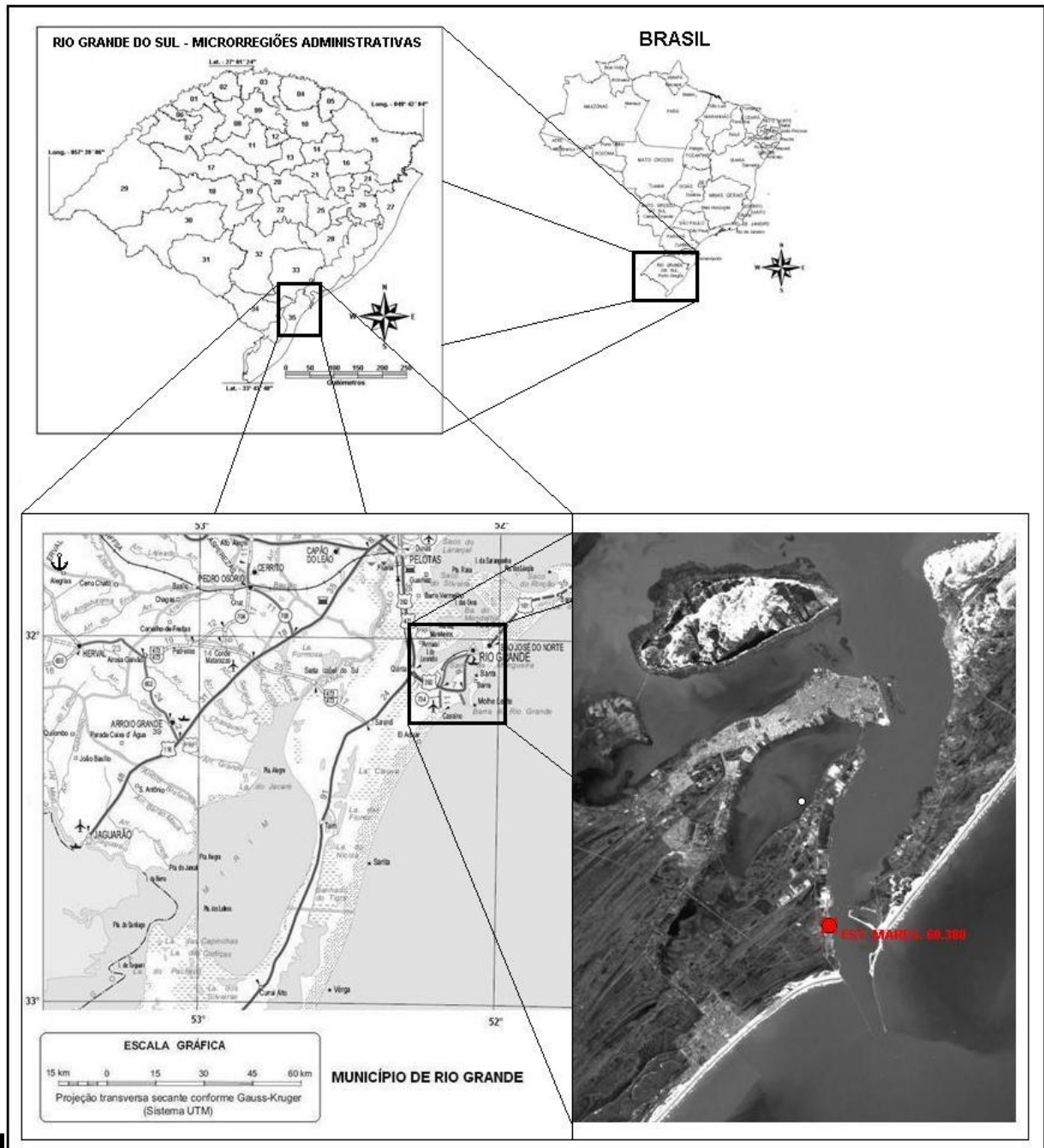
Nº 60.341 ASD (DEPREC), Lat.: 32° 02',0 S e Long.: 052° 04',6 W – (213 dias);

Nº 60.370 Porto de Rio Grande, Lat.: 32° 08',3 S e Long.: 052° 06',2 W – (356 dias);

Nº 60.380 Cais da Praticagem, Lat.: 32° 08',3 S e Long.: 052° 06',2 W – (973 dias);

Nº 60.380 Cais da Praticagem, Lat.: 32° 08',3 S e Long.: 052° 06',2 W – (547 dias).

**Figura 13 - Localização do município de Rio Grande e da área marítima de estudo  
MUNICÍPIO DE RIO GRANDE, RS - ZONA URBANA E ÁREA MARÍTIMA**



No presente estudo foram utilizados os dados da Estação Maregráfica do Nº 60.380 Cais da Praticagem do Rio Grande, localizada no canal de acesso ao Porto de Rio Grande, cedidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos – BNDO da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, por ser a estação que oferece uma massa de dados correspondente a um período que, embora não contínuo, possibilita uma avaliação mais precisa e exata do NM do que as demais citadas.

A Estação Maregráfica nº 60.380 encontra-se localizada no canal de acesso Porto de Rio Grande, precisamente no cais da Praticagem, na posição geográfica definida pelas seguintes coordenadas esféricas: latitude  $32^{\circ} 08',3$  S; e longitude  $052^{\circ} 06',2$  W; **Datum** WGS-84. Neste local encontra-se instalado um marégrafo do tipo "Hidrologia" de registro analógico diário – escala 1:20. O nível de cota zero deste marégrafo é coincidente com o zero de uma régua de madeira padrão DHN, medindo 3 metros de comprimento, graduada de 5 em 5 centímetros e numerada de 10 em 10 cm, pintada nas cores preto e branco, fixada no píer junto à casa do marégrafo.

A régua de marés encontra-se vinculada às seguintes Referências de Nível – RNs:

- **RN-INSP 39 - Altitude=372,0cm:** RN padrão PORTOBRAS fixada na parede frontal da fábrica de pescados *Leal Santos*, próximo ao portão de entrada;
- **RN-1 - Altitude=312,1cm:** Referência de nível padrão DHN, puncionada, ao lado esquerdo do portão de acesso ao cais, ao lado da torre de observação. A RN está instalada abaixo do nível do piso, em uma caixa de concreto construída pela Praticagem para preservar a RN, pelo fato de terem sido realizadas obras no complexo; e
- **RN-2 - Altitude=120,1cm:** Referência de nível padrão DHN, não puncionada, posicionada junto ao muro, próxima ao hidrômetro, após o terceiro portão que dá acesso ao prédio da Praticagem. (IMPLANTADA EM 04/08/2000).

#### 4.3. Processamento dos dados amostrados horários da maré em Rio Grande

No processamento dos dados amostrados horários da maré foi utilizado o programa “ANÁLISE HARMÔNICA”, contido no software “PACMARE 2000”, desenvolvido em 1ª Edição em 1981, 2ª Edição em 1888, e aperfeiçoado por Franco em 1997, o qual vem sendo amplamente utilizado pela DHN há muitos anos.

As massas de dados amostrados da Estação Maregráfica Nº 60.380 processadas, com seus respectivos períodos, forneceram os seguintes resultados:

- ⇒ Período dos Dados Amostrados (em centímetros): **de 01/11/1990 a 30/06/1993**; Totalizando 973 dias, correspondentes a 23.352 horas;
- ⇒ **Altura Máxima: 200cm; Altura Mínima: 14cm. Nível Médio: 104,4cm.**
- ⇒ Período dos Dados Amostrados (em centímetros): **de 01/09/2002 a 29/02/2004**; Totalizando 547 dias, correspondentes a 13.128 horas;
- ⇒ **Altura Máxima: 193cm; Altura Mínima: 30cm. Nível Médio: 112,1cm.**

O Nível Médio dos dados amostrados neste período de 31 meses (nov/90 a jun/93) =104,4cm, comparado com o Nível Médio dos dados amostrados de 18 meses (set/02 a fev/04) =112,1cm, apresenta uma diferença de +77 milímetros ao longo de 13,17 anos; resultando em uma linha de **tendência** de subida do NM em **6,4mm por ano**, ou **640mm/século**.

Além do cálculo do NM, aplicável na costa marítima do Rio Grande do Sul, o programa forneceu, também, uma análise harmônica dos dados de marés, efetuada no domínio da frequência, como exposto em Franco, 1988. Os resultados, dados em amplitudes (H cm) e atrasos de fase (G, K e GW graus) são, de fato, muito precisos, como tem mostrado uma longa experiência de quase três décadas. Esta análise harmônica contém, ainda, os *ESPECTROS DE AMPLITUDES RESIDUAIS*, com um grau de confiabilidade de 95% de rejeição de pequenas componentes, assim como listou 79 *COMPONENTES HARMÔNICOS*, que podem ser utilizados nos cálculos de previsão e retrovisão das alturas da maré no local em estudo.

Aplicando-se o critério acima referido na determinação do tipo de maré predominante nesta localidade de Rio Grande, RS, com base nas amplitudes de suas correspondentes componentes harmônicas calculadas:  $H(O_1)=11,44\text{cm}$ ,  $H(K_1)=4,39\text{cm}$ ,  $H(M_2)=2,81\text{cm}$  e  $H(S_2)=4,03\text{cm}$ , resulta em um valor para  $C=2,31$ . Logo a maré é do tipo *mista*, como se pode ver pelo maregrama correspondente a um dia dentro do período estudado, demonstrado na **Figura 14**.

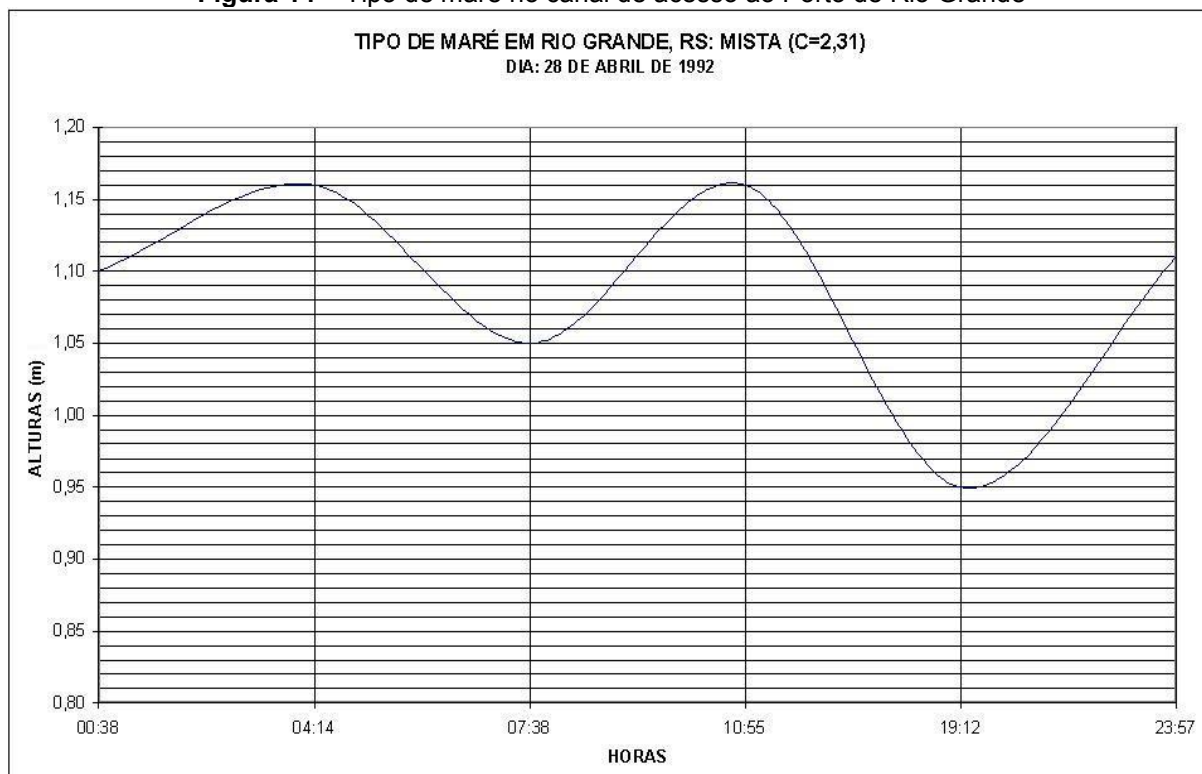
## 5. CONCLUSÃO

Considerando que o município de Rio Grande fica localizado na microrregião Litoral Lagunar do Estado do Rio Grande do Sul, banhado ao norte pela Laguna dos Patos, a leste pelo oceano Atlântico, e ao sul pela Lagoa Mirim, na Planície Costeira onde as atividades humanas nas áreas urbanas e rurais são realizadas em terrenos cujas altitudes são em média de um (1) a seis (6) metros, uma subida contínua do nível do mar na ordem de 64cm por século leva alguma preocupação imediata de inundação nas partes do território onde as altitudes são as mais baixas. Isto sem considerar a dinâmica das ondas oceânicas, associadas às premares mais elevadas e ao empilhamento das águas costeiras no litoral do Rio Grande do Sul, decorrentes de fenômenos meteorológicos ocasionados por depressões extra-tropicais e ciclones tropicais, como os que têm ocorrido nos últimos anos na área do Oceano Atlântico Sul.

*Se a preocupação com a subida contínua do NM é alarmante em nível global, ela deve ser considerada catastrófica para as localidades situadas atualmente em cota de altitude no nível médio do*

mar e próximo a ele. É preciso que sejam adotadas providências em curto e médio prazo, para evitar que os danos decorrentes deste fenômeno climático global sejam amenizados e/ou controlados.

**Figura 14 – Tipo de maré no canal de acesso ao Porto de Rio Grande**



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÂNGULO, R. J. *Problemas na terminologia de ambientes e sub-ambientes litorâneos clásticos dominados por ondas*. IN: Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. Anais. São Paulo, 1994.
- AUBREY, D. G.; EMERY, K. O.; AND UCHUPI, E., 1988. *Changing coastal levels of South America and the Caribbean region from tide gauge records*. Tectonophysics, 154, 269 – 284.
- BIGARELLA, João José. *Temas de Geologia Marinha*. In: Cadernos Geográficos. Publicação do Departamento de Geociências – CFH/UFSC, Florianópolis: Imprensa Universitária, Número 3, dez, 2000.
- BIRD, Eric C. F. *Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments*. New York: John Wiley & Sons, 1993. NY 10158-0012, USA, ISBN 0-471-93807-6.
- COURTIER, A. *Marées*. Service Hydrographique de la Marine. Paris, 1938.
- FERNANDES, J. A. Barahona, 1967. *Manual de Hidrografia*. Ministério da Marinha/Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- FRANCO, A. S.; KJERFVE, Björn; e NEVES, C. F. *The analyse of extremely long tidal series*. IV Seminário sobre Ondas, Marés e Engenharia Oceânica – IV OMAR, Arraial do Cabo, 23-26 out/2001. Marinha do Brasil, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM, Brasil.
- FRANCO, A. S.; TAVARES Jr. W.; & CORDARO, P. *A new algorithm of harmonic tidal prediction*. Proceedings XVI Congress of the International Association for Hydraulics Research. São Paulo, 1975.
- FRANCO, A.S. & ROCK, H. J., 1972. *The fast Fourier transform and its application to tidal oscillation*. Bol. Inst. Oceanográfico, São Paulo.
- FRANCO, Alberto dos Santos. *Marés: fundamentos, análise e previsão*. Ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, 1997. viii, 268p: il.

- \_\_\_\_\_. **TIDES: Fundamentals, Analysis and Prediction**. 1ª ed. 1981; 2ª ed. 1988. Fundação Centro-Tecnológico de Hidráulica – FCTH da Universidade de São Paulo.
- FREIRE, José Lisboa. **ELEMENTOS DE MORFOLOGIA LITORÂNEA**. Diretoria de Hidrografia e Navegação/Ministério da Marinha, Rio de Janeiro, 1971.
- GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Batista da. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1998.
- HARARI, J. & CAMARGO, R. **Tides and mean sea level in Recife (PE) – 8° 3.3' S 34° 51.9' W – 1946 to 1988**. Boletim do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1993.
- INFANTI Jr., Nelson; e FORNASARI FILHO, Nilton. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Sérgio Nertan Alves de Brito (Ed.). **Geologia de Engenharia 9**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152. ISBN 85-7270-002-1.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. **Climate change 1995. The science of climate change. Changes in sea level. Chapter 7, 359 – 406**. In: J. T. Houghton et al., (eds.). Contribution of WG1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Great Britain, Cambridge University Press, 672p.
- MESQUITA, A. R. & HARARI, J. **Tides and gauges of Ubatuba and Cananéia**. Relatório do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1983.
- MESQUITA, A. R. & LEITE, J. B. A. **Sobre a variabilidade do nível médio do mar na costa sudeste do Brasil**. In: I Encontro Regional de Geofísica, São José dos Campos, São Paulo, 1985.
- MESQUITA, Afrânio Rubens de. **Marés, Circulação e Nível do Mar na Costa Sudeste do Brasil**. Documento preparado para a Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas – FUNDESPA, pelo Laboratório de Marés – MAPTOLAB, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IOUSP, dezembro/1997. Disponível na INTERNET em: <<http://www.io.usp.br/dof/labs.html>>. Acessado em 03/08/2000, às 11:18.
- MESQUITA, Afrânio Rubens de. **Sea level variations along the brazilian coast: a short review**. In **Anais: Symposium on Sandy Beaches**. Itajaí, SC, Brasil, 03-06/sep/2000. Itajaí, Ed. UNIVALE, 2000.
- MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **DA TERRA ÀS GALÁXIAS. Uma Introdução à Astrofísica**. 3ed. ver. amp. Editora Vozes, Petrópolis, 1982.
- MUEHE, D. and NEVES, C. F., 1995. **The implications of sea-level rise on the Brazilian coast: A preliminary assessment**. Journal of Coastal Research, Special Issue Nº. 14, 54 – 78. Fort Lauderdale (Florida). ISSN 0749-0208.
- MUEHE, Dieter. **Geomorfologia Costeira**. In: Antonio Christofolletti. **Geomorfologia**. 2.ed., 4 reimp. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. p. 253-308.
- PIRAZOLLI, P. A., 1986. **Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records**. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 1, p. 1-26. Fort Lauderdale (Florida). ISSN 0749-0208.
- PUGH, D. T., 1987. **Tides, surges, and mean sea level**. Bath Press, Avon, Great Britain, ISBN 0 471 91505 X.
- SILVA, G. N. **Variação do nível médio do mar: causas, conseqüências e metodologia de análise**. Dissertação de Mestrado em Ciências (M.Sc.). Programa de Engenharia Oceânica/COPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1992, 93p.
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo, T. A. Queiroz, 1992.
- TOMAZELLI, L. J. & WILWOCK, J. A. **Processos erosivos atuais da costa do Rio Grande do Sul, Brasil: Evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível do mar**. In: II Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA). Anais, Rio de Janeiro, 1989.