

# ESTUDOS DO NMM A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICAS E DE ALTIMETRIA POR SATÉLITES VISANDO A INTEGRAÇÃO DA REDE VERTICAL BRASILEIRA AO SIRGAS

*Mean sea level studies from tide gauge and satellite altimetry time series looking for  
the integration of Brazilian Vertical Network to SIRGAS*

**Regiane Dalazoana**  
**Roberto Teixeira Luz**  
**Sílvio Rogério Correia de Freitas**

**Universidade Federal do Paraná**  
**Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática**  
**Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**  
Centro Politécnico, Jardim das Américas, Caixa Postal: 19011, CEP: 81531-990  
Curitiba – Paraná - Brasil  
Fone: (41) 3361-3485  
regiane@ufpr.br – robluz@ufpr.br – sfreitas@ufpr.br

## RESUMO

Na Geodésia, o monitoramento do nível do mar tem um papel importante na realização de sistemas globais de referência e permite a integração de dados referidos às redes verticais clássicas, onde cada Datum é definido pelo Nível Médio do Mar (NMM), com diferentes períodos de observação, vinculados à uma época específica. A vinculação de cada Datum vertical à época da realização (sendo o nível do mar variável no tempo e espaço), e os erros inerentes às operações de nivelamento, produzem diferenças significativas nas altitudes referidas às diferentes redes verticais, que evidenciam a necessidade do monitoramento do nível do mar. Na maioria das vezes, são necessários esforços para recuperar informações e dados antigos. Neste trabalho, são investigados os principais aspectos relacionados ao Datum Vertical Brasileiro (DVB), sua evolução temporal e a procura de alternativas para determinar esta evolução. Resultados preliminares, baseados em dados de marégrafos e de nivelamento, mostram uma elevação do NMM no Porto de Imbituba em torno de 2 mm/ano, na integração das séries temporais armazenadas no banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) e dados digitais recentes. Esses resultados concordam com as alterações globais do nível do mar. Atualmente, a altimetria por satélites é uma ferramenta eficaz no monitoramento do NMM. Neste artigo são apresentados alguns resultados sobre a comparação de dados da altimetria por satélites e longas séries maregráficas, como as disponíveis para os marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal, cujos coeficientes de correlação entre as séries são superiores a 0,8, visando o desenvolvimento de métodos de análise aplicáveis à região do DVB.

**Palavras chaves:** Datum Vertical, Nível Médio do Mar, Altimetria por Satélites.

## ABSTRACT

In Geodesy, the monitoring of sea level plays an important role in the realization of global reference systems and allows the integration of available data from classical vertical networks, whose Vertical Datum is usually defined by the Mean Sea Level (MSL), with different periods of observation and related to a specific epoch. The fact that each vertical datum is related to a defined epoch (the sea level is variable in space and time) associated with the leveling errors, produces significant differences in heights referred to different vertical nets; that shows the importance of the sea level monitoring. Usually, efforts must be done to recover old information and data. In this work, the main aspects related to the Brazilian Vertical Datum (BVD), its time evolution and the search of alternatives to determine this evolution are presented. Preliminary results, based in tide gauge and leveling data, have shown an increasing of the MSL at Imbituba harbor of about 2 mm/a, in the integration of time series stored at Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) with

recent digital data. This agrees with results of global sea level changes. Nowadays, satellite altimetry is an efficient way to monitor MSL variations. In this paper, are presented some results related with the comparison of satellite altimetry data and longer tide gauge temporal series, as those for Cananéia and Ilha Fiscal tide gauges, whose correlation coefficients are better than 0.8 among the series, in order to establish analysis methods applicable to BVD region.

**Keywords:** Vertical Datum, Mean Sea Level, Satellite Altimetry.

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a Geodésia utiliza dados provenientes do monitoramento do nível do mar num sentido muito mais amplo do que a tradicional realização da referência para as redes verticais clássicas. Exemplos vão desde estudos relacionados com a influência das marés na rotação da Terra até melhorias nos modelos geopotenciais e integração de redes verticais.

O monitoramento temporal do nível do mar também tem despertado grande interesse em outras áreas, principalmente em estudos relacionados com efeitos climáticos e implicações em áreas costeiras. Como exemplos de aplicações podem-se citar: elaboração de tábuas de maré; prevenção de desastres causados por fenômenos climáticos; melhoria na compreensão dos efeitos relacionados com a interação oceano/clima e seus impactos em áreas costeiras, como alargamento e erosão em áreas litorâneas e praias.

Na Geodésia, é evidente a necessidade de definir referências únicas para as redes verticais e horizontais, devido principalmente à difusão dos sistemas globais de posicionamento, como GPS, GLONASS e futuramente o GALILEO. Na América do Sul, a adoção do SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) pela maioria dos países permitiu compatibilizar as redes horizontais clássicas, através da adoção de uma rede de caráter único e compatível com o ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). Porém, as redes verticais continuam incompatíveis e, em alguns casos, as diferenças podem chegar a alguns decímetros (FREITAS et al., 2002b; HERNÁNDEZ et al., 2002).

A integração de alguns tipos de dados em escala regional e global é problemática devido às diferentes referências verticais. É o que ocorre, por exemplo, com anomalias de gravidade, com implicações na determinação de modelos do geopotencial. O Grupo de Trabalho III (GT-III) do Projeto SIRGAS, vem concentrando esforços no sentido de analisar as diferenças entre as redes verticais e buscar uma solução ótima através de um sistema vertical único que atenda ao referenciamento espacial dos dados.

As diferenças de altitude encontradas entre redes verticais de países vizinhos, têm duas causas principais: a primeira relaciona-se com os erros intrínsecos às operações de nivelamento (erros instrumentais, operacionais e principalmente erros causados pela não consideração dos efeitos devidos à gravidade). Há estudos em andamento sobre os efeitos do processo de nivelamento nas diferenças de altitude,

visando aplicar as recomendações do GT-III do Projeto SIRGAS, principalmente para integrar informações de gravidade às linhas niveladas, conectar as redes de nivelamento à Rede SIRGAS, e calcular números geopotenciais. A segunda causa relaciona-se a definição do nível de referência de cada país (geralmente o NMM) e suas variações temporais e espaciais. A realização do Datum vertical através do NMM é representativa somente para o período em que foi determinado. Deste modo, estimativas da evolução temporal e espacial do NMM podem auxiliar no processo de integração de diferentes redes verticais. As variações do NMM resultam de fenômenos com características multidisciplinares, envolvendo muitas áreas como Oceanografia, Geodésia, Geofísica, etc.

É importante salientar que historicamente as variações do NMM têm sido estimadas a partir de dados de mareógrafos, porém nas últimas décadas vários estudos vêm sendo desenvolvidos com base em dados da altimetria por satélites, proporcionando conhecimento em escala regional e global.

## 2. IMPORTÂNCIA DA RECUPERAÇÃO DOS DADOS E DAS INFORMAÇÕES HISTÓRICAS

A maioria dos Data verticais na América do Sul foi definida entre as décadas de 40 e 50, através da observação do nível do mar durante um período de pelo menos nove anos.

A análise dos dados mareográficos é feita a partir de registros gráficos (denominados maregramas) ou registros digitais (maregramas digitalizados ou dados coletados por sensores digitais). São necessárias as informações referentes ao estabelecimento do Datum vertical, além das informações históricas do nível do mar. Com relação ao DVB existem algumas dificuldades na recuperação das informações históricas, principalmente porque o monitoramento do nível do mar em Imbituba ficou a cargo de diferentes instituições ao longo do tempo. Não existiu uma política efetiva para a digitalização, tratamento e armazenamento dos dados durante todo o período de operação da estação maregráfica. Pormenores são apresentados nos itens 3 e 4.

Uma vez recuperadas as séries históricas do nível do mar, é necessário solucionar problemas de interrupções ocasionados pela troca de equipamentos, reposicionamento de sensores, etc. Nas estações mareográficas convencionais, a referência primária das observações é a régua de marés, cujas leituras frequentes permitem corrigir a escala dos dados registrados graficamente. No entanto, a régua de marés

é uma referência inadequada, pois é vulnerável a mudanças de posição. Para evitar que eventuais alterações na posição da régua introduzam tendências ou desvios fictícios nos dados de nível do mar, é necessário realizar periodicamente o nivelamento geométrico da régua. Essa operação transfere, para as RRNN (Referências de Nível) da estação maregráfica, a referência dos dados coletados pelo marégrafo, materializando de forma permanente e inequívoca a superfície de referência. (LUZ et al., 2002).

Outro aspecto importante é que o monitoramento das variações do nível do mar a partir de dados maregráficos pressupõe, em princípio, que as variações absolutas do nível do mar independam de possíveis movimentos verticais da crosta ou da estrutura na qual o marégrafo encontra-se fixado. Isso é possível se for realizado periodicamente o nivelamento das RRNN na área do Datum vertical, e se a posição geocêntrica do marégrafo for determinada e monitorada ao longo do tempo.

### 3. O DATUM VERTICAL BRASILEIRO

A implantação da Rede Vertical Brasileira através de nivelamento geométrico começou em 1945, em Santa Catarina, época em que o país ainda não tinha um Datum vertical oficial. A conexão da rede de nivelamento com o marégrafo em Torres (Figura 1), em 1946, possibilitou o cálculo de altitudes provisórias para as RRNN implantadas nessa época.

O Datum de Torres teve caráter provisório, uma vez que foi definido com apenas um ano de observações do nível do mar (1919 – 1920), e foi substituído pelo Datum de Imbituba em 1958, que contava com uma série temporal de observações do nível do mar mais longa (ALENCAR, 1990). Desta forma, o DVB foi definido pelas observações do nível do mar entre os anos de 1949 e 1957, no porto de Imbituba em Santa Catarina (Figura 1).

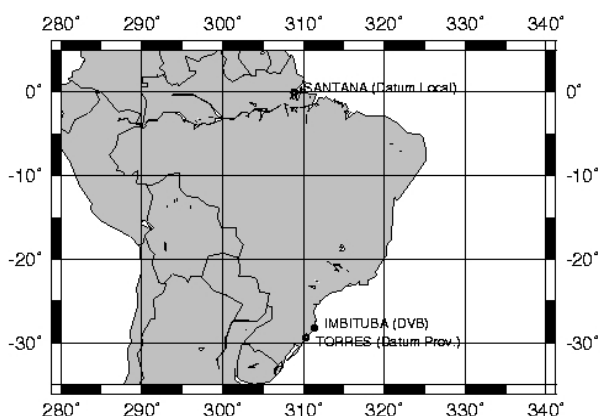


Fig. 1 – Datum vertical brasileiro.

O *Inter American Geodetic Survey* (IAGS) foi responsável pela coleta de dados e manutenção de várias estações maregráficas na costa brasileira entre as décadas de 40 e 60, incluindo Imbituba (SC), Rio de Janeiro (RJ), Canavieiras (BA), Salvador (BA), Recife

(PE), Fortaleza (CE), Salinópolis (PA) e Belém (PA) (ALENCAR, 1990).

A rede de nivelamento localizada ao norte do Rio Amazonas, no Estado do Amapá, não está referenciada ao Datum de Imbituba devido à grande largura do rio. Nesta rede as altitudes estão vinculadas ao Datum local definido no Porto de Santana (Figura 1). Assim, a ligação entre o Datum de Santana e o de Imbituba pode ser considerado um importante campo de estudos relacionados com a conexão de redes verticais. Para a solução deste e outros problemas até mesmo em outras regiões, decorrentes da não unicidade dos Data verticais e das operações de nivelamento, podem contribuir: a integração de dados de altimetria por satélites; a associação de observações gravimétricas; a extensão da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), e um modelo hidrodinâmico regional no caso de Santana.

A RMPG (Figura 2) foi proposta em 1997 visando a transição para o Datum Vertical SIRGAS e a correlação entre o Datum de Imbituba e outras referências altimétricas existentes ao longo da costa brasileira. Equipamentos para registros digitais nas estações de Macaé (RJ) e Imbituba estão em operação desde 2001, mas existem observações convencionais (registros gráficos, sendo digitalizados) desde 1994 para Macaé e desde 1998 para Imbituba (LUZ e GUIMARÃES, 2003). Está planejada para o segundo semestre de 2005, a integração de equipamentos GPS em algumas das estações da RMPG que estão em operação.

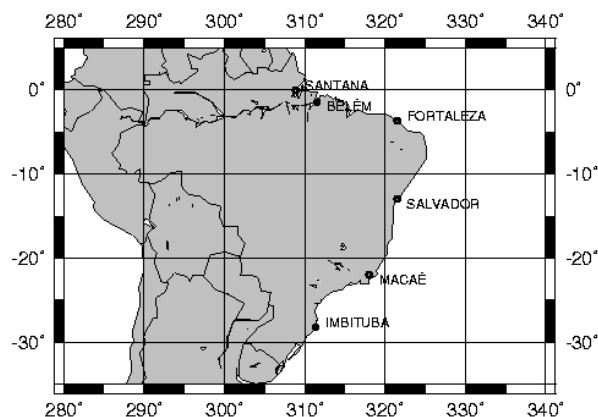


Fig. 2 – Rede maregráfica permanente para geodésia.

### 4. DISPONIBILIDADE DE DADOS DE NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

Durante o período de operação e manutenção da estação Imbituba pelo IAGS, até 1969, os dados eram digitalizados e enviados ao PSMSL. Atualmente, é possível acessar médias mensais e anuais para o período de 1949 a 1969 no banco de dados do PSMSL (Figura 3), porém dados horários não estão disponíveis.

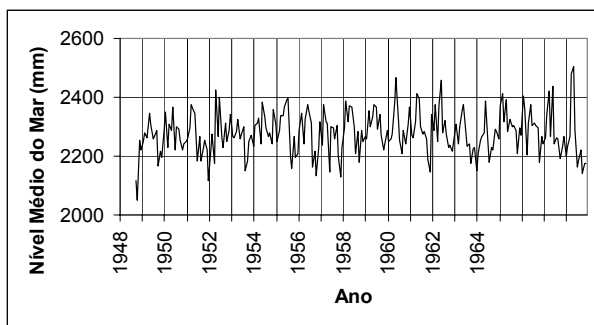


Fig. 3 – Médias mensais em Imbituba – dados do IAGS.

Após 1969, a operação da estação ficou sob responsabilidade das autoridades portuárias brasileiras, e, aparentemente, o envio de dados para o PSMSL foi interrompido. Dados gráficos para este período, até 1986, provavelmente existem mas ainda não foram localizados.

Foram recuperados registros gráficos para o período de 1986 a 1992, cuja digitalização está em andamento no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LaIG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A operação do mareógrafo parece ter sido interrompida de 1992 a 1998. Em 2001, a Coordenação de Geodésia, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), iniciou a digitalização dos registros gráficos e instalou sensores digitais, cuja taxa de coleta é de cinco minutos.

Quanto ao controle vertical das RRNN na região do DVB, existem informações de nivelamento para o período de 1948 a 1971 do *United States Coast and Geodetic Survey* (USCGS) e IAGS. O IBGE realizou operações de nivelamento na região do Datum em 1946, 1980, 1986, 1995 e anualmente desde 2001 (LUZ et al., 2002).

## 5. PROCESSAMENTO E INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS – ESTUDOS PRELIMINARES

Para integração das séries temporais de dados mareográficos do IAGS (médias mensais do banco de dados do PSMSL para o período de 1948 a 1968) e da RMPG (observações derivadas do sensor digital para o período de 2002 a 2004 tomadas a cada cinco minutos), a amostragem temporal das duas séries foi compatibilizada. Assim, as observações do mareógrafo digital em Imbituba foram inicialmente filtradas com um filtro passa-baixa, simétrico e centrado no valor inteiro da hora, visando obter valores horários de nível d'água, usando a expressão (PUGH, 1987):

$$X_F(t) = F_0 X(t) + \sum_{m=1}^{54} F_m [X(t+i) + X(t-i)] \quad (1)$$

Onde  $t$  é o tempo para o qual se deseja calcular o nível d'água, no caso é o valor inteiro da hora;  $X(t)$  é o valor observado no tempo  $t$ ;  $m$  varia de 1 até 54 para observações realizadas a cada 5 minutos;  $F_m$  é o

coeficiente do filtro, indicado na Tabela 1 e na Figura 4; e  $i = 5, 10, 15, 20, \dots, 270$  minutos.

TABELA 1 – COEFICIENTES  $F_m$  INICIAIS E FINAIS DO FILTRO SUGERIDO POR PUGH (1987).

$F_m$	$F_m$
$F_0 = 0.0648148$	...
$F_1 = 0.0643225$	...
$F_2 = 0.0628604$	...
$F_3 = 0.0604728$	...
$F_4 = 0.0572315$	...
$F_5 = 0.0532331$	...
...	$F_{53} = -0.0000077$
...	$F_{54} = 0.0000000$

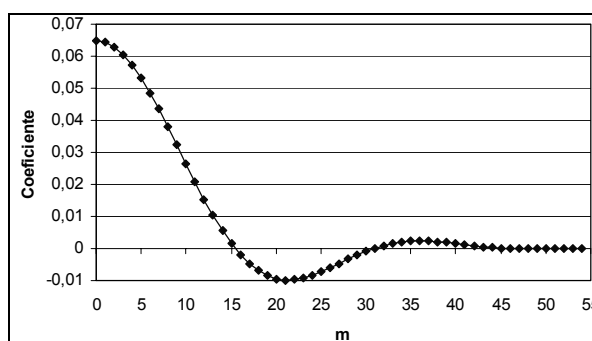


Fig. 4 – Filtro sugerido por PUGH (1987).

Observa-se que, para realizar a filtragem, são utilizadas 54 observações antes e 54 observações posteriores à observação realizada nos valores inteiros da hora. Com isso, o filtro estende-se de  $(t-4,5$  horas) a  $(t+4,5$  horas). Como exemplo, apresenta-se um esquema para o cálculo do valor de nível d'água para as 12:00 horas. Neste caso, a expressão (1) toma a forma:

$$X_F(12:00) = F_0 X(12:00) + F_1 [X(12:05) + X(11:55)] + F_2 [X(12:10) + X(11:50)] + F_3 [X(12:15) + X(11:45)] + \dots$$

Posteriormente, os valores horários do nível d'água ( $X_F(t)$ ) foram filtrados através do filtro de convolução de 119 pontos, centrado ao meio-dia, para obtenção dos valores diários do nível d'água. As médias mensais do nível do mar foram obtidas pela média aritmética dos valores diários.

Como as duas séries de medidas foram obtidas por diferentes equipamentos, elas possuem diferenças relacionadas com a referência das leituras. A própria série derivada do sensor digital possui uma discrepância causada pelo reposicionamento do sensor que ocorreu em Março de 2002 (Figura 5).

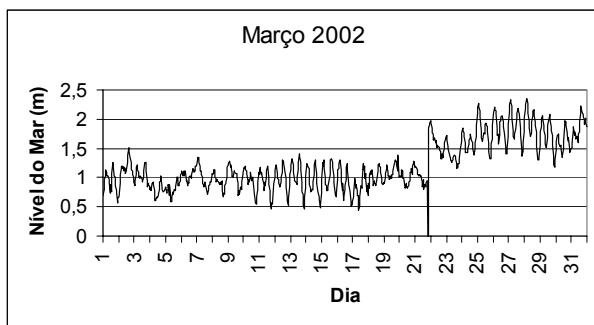


Fig. 5 – Efeito do reposicionamento do sensor.

Após compatibilizar a amostragem das duas séries (IAGS e RMPG), foi necessário estimar as diferenças entre a referência das mesmas, ou seja, estimar o “zero” ao qual cada série está vinculada (Figura 6). Foram utilizados dados do teste de Van de Castele (SHOM, 2004) para estimar as diferenças na referência zero do sensor digital, da régua maregráfica e do sensor analógico existentes atualmente em Imbituba, e dados de nivelamento em diferentes anos para estimar a diferença entre a referência zero do sensor digital e a referência dos dados do IAGS.

O teste de Van de Castele possibilita a verificação experimental da qualidade de um marégrafo. Baseia-se na comparação de leituras realizadas a cada quinze minutos de forma simultânea no marégrafo e na régua maregráfica, durante um ciclo completo de maré. Para um marégrafo perfeito, a diferença entre as leituras na régua e no marégrafo deve permanecer constante no tempo (IOC, 1985). Além disso, o teste de Van de Castele permite determinar a relação entre os referenciais instrumentais (“zeros” da régua e dos marégrafos) (DALAZOANA et al., 2005).

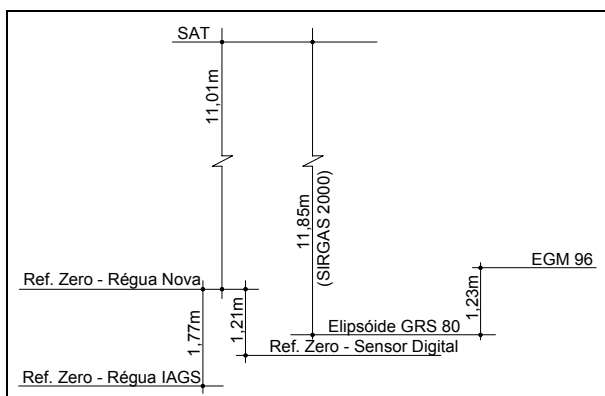


Fig. 6 – Os zeros de referência em Imbituba. SAT é o ponto GPS principal no porto.

Os dados de nivelamento foram utilizados para estabelecer a posição vertical dos diferentes sensores com relação a uma RN em particular, uma vez que o marégrafo que gerou a série temporal do IAGS não está mais em operação, mas é conhecido o desnível entre a referência zero deste marégrafo e algumas RRNN existentes nas proximidades. Dificuldades encontradas decorrem da destruição de RRNN e de diferentes configurações de nivelamento ao longo dos anos pois

nem sempre as mesmas RRNN eram ocupadas em nivelamentos consecutivos (LUZ et al., 2002).

Os resultados iniciais da integração das duas séries (IAGS e RMPG), mostrados na Figura 7, indicam uma elevação em torno de 2 mm/ano no NMM local. Porém, se apenas os dados do IAGS forem analisados a elevação é de 1,1 mm/ano (DALAZOANA et al., 2004a). Os resultados mostrados na Figura 7 corrigem a integração preliminar das duas séries, apresentada por LUZ e GUIMARÃES (2003).

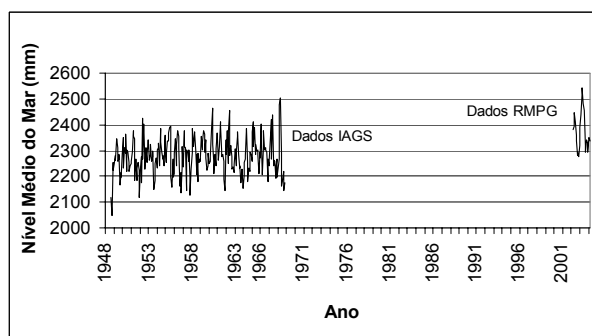


Fig. 7 – Médias mensais do nível do mar em Imbituba.

Os resultados obtidos em Imbituba estão em concordância com as informações globais de elevação do nível do mar. CAZENAVE (1999), obteve variações do nível do mar, usando dados de marégrafos, de aproximadamente 1,9 mm/ano. Já análises baseadas em dados do satélite TOPEX/Poseidon (T/P) para o período de 1993 a 2003 indicaram uma elevação de  $2,99 \pm 0,1$  mm/ano (CAZENAVE et al., 2003).

Existem dois aspectos importantes que devem ser considerados nos estudos em Imbituba: o problema do longo período com dados a serem recuperados (Figura 7), que será parcialmente solucionado com a digitalização dos maregramas referentes ao período de 1986 a 1992, apesar de ser uma tarefa demorada; e o caráter relativo dos resultados preliminares apresentados anteriormente uma vez que não foram consideradas possíveis variações verticais na posição do marégrafo. Estas últimas podem ser estimadas com a realização do monitoramento periódico da posição geocêntrica do marégrafo.

Vale a pena ressaltar que a recuperação e integração das séries temporais de dados do nível do mar em Imbituba são processos em desenvolvimento que necessitam de melhorias e podem ser auxiliados com o uso de dados da altimetria por satélites.

## 6. POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO DATUM VERTICAL

O posicionamento por GPS de uma estação localizada nas proximidades do marégrafo, e a realização do nivelamento geométrico entre esta estação e o marégrafo permitem vincular as observações maregráficas a um sistema geodésico de referência geocêntrico compatível com o *International Terrestrial Reference System* (ITRS), como ilustra a Figura 8. O

monitoramento periódico da posição geocêntrica da estação possibilita estimar eventuais movimentos verticais da crosta e evitar que os mesmos sejam interpretados como variações do nível do mar.

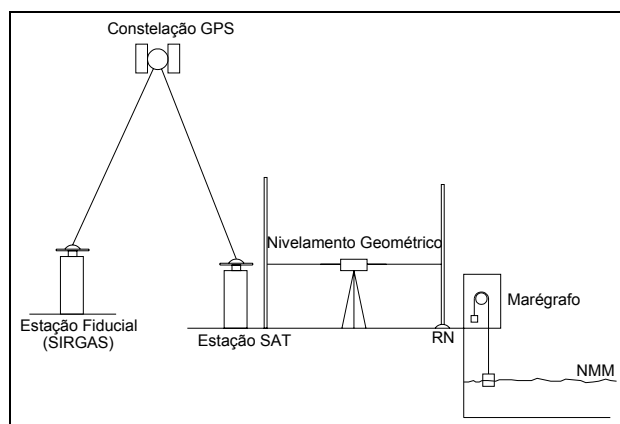


Fig. 8 – Esquema de monitoramento do marégrafo.  
Fonte: adaptado de IOC, 2002.

Uma vez monitoradas variações crustais e do nível do mar, é possível estimar as variações absolutas do NMM. Neste sentido, pode-se citar como exemplos: o projeto EVAMARIA no Atlântico Norte que tem como um de seus objetivos, a separação entre variações do nível do mar (a partir de dados de marégrafos) e movimentos verticais da crosta usando GPS (BOSCH et al., 2002; HÄFELE et al., 2002); e o projeto argentino SIRVEMAS - *Sistema de Referencia Vertical en Argentina por Mareógrafos y Altimetria Satelital*, que visa determinar alterações do nível do mar com marégrafos, GPS e altimetria por satélites além de estimar a Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) (NATALI et al., 2002).

Nas proximidades do marégrafo de Imbituba, foi materializada uma estação, denominada SAT-91854, sobre a qual já foram realizadas quatro campanhas de posicionamento GPS (uma em 1997, uma em 2000 e duas em 2005), que podem auxiliar na discriminação de movimentos verticais locais e, com isso, na estimativa de variações absolutas do NMM. As campanhas GPS foram realizadas pela UFPR, sendo que a de 2000 foi realizada no contexto do projeto SIRGAS, em uma parceria da UFPR com o IBGE.

Desde 1997, estas duas instituições vêm realizando campanhas multi-paramétricas no DVB e em outros marégrafos, coletando dados GPS, dados meteorológicos e dados de marés oceânicas e terrestres. Os objetivos destas campanhas são: a determinação da posição geocêntrica do marégrafo; a verificação de possíveis efeitos locais; e a definição de estratégias para estimar variações temporais do NMM e conectar diferentes marégrafos. Alguns resultados podem ser encontrados em FREITAS et al. (1999), FREITAS et al. (2001) e FREITAS et al. (2002a).

A estação GPS em Imbituba faz parte da Rede SIRGAS 2000 e possui as seguintes coordenadas SIRGAS2000 (ITRF2000, época 2000,4 convertidas ao GRS80):

Latitude: -28° 14' 11,8080"  
Longitude: -48° 39' 21,8825"  
h= 11,850m.

O conhecimento da posição geocêntrica do marégrafo possibilita, também, que o nível do mar seja relacionado ao mesmo sistema de referência utilizado pela altimetria por satélites, proporcionando a calibração absoluta dos altímetros e a comparação direta entre as séries temporais de dados mareográficos e dados provenientes dos sensores altímetros.

## 7. ALGUNS CONCEITOS RELACIONADOS À ALTIMETRIA POR SATÉLITES

A altimetria por satélites é uma técnica de sensoriamento remoto com importantes aplicações na Geodésia, Oceanografia e áreas correlatas. Tem sido uma ferramenta eficaz no monitoramento da superfície do mar, e mais recentemente no monitoramento de lagos, rios, camadas de gelo e até mesmo da superfície terrestre (BOSCH, 2005).

A seguir, apresenta-se, de forma sucinta, o princípio de medida da altimetria por satélites. Abordagens mais detalhadas podem ser encontradas em CHELTON et al. (2001) e SEEBER (2003), entre outros.

O radar emite um sinal na frequência das microondas e recebe o sinal após ser refletido pela superfície do mar. A altitude ( $R_S$ ) do satélite sobre a superfície instantânea do mar pode ser estimada a partir do tempo de percurso do sinal emitido pelo radar ( $\Delta t$ ) (CHELTON et al., 2001; SEEBER, 2003):

$$R_S = c \frac{\Delta t}{2} \quad (2)$$

Onde  $c$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo. Uma vez que a órbita do satélite é conhecida, a altitude do satélite sobre um elipsóide de referência ( $h_S$ ) também é conhecida (Figura 9), pode-se então determinar a altitude da superfície instantânea do mar em relação ao elipsóide de referência ( $h_{NIM}$ ), pela expressão:

$$h_{NIM} = h_S - R_S \quad (3)$$

Tanto  $h_S$  quanto  $R_S$  contêm erros; logo a conversão das medidas do altímetro em altitudes da superfície do mar (SSH do inglês *Sea Surface Heights*) requer uma série de correções, como por exemplo: influências instrumentais e atmosféricas, correções das órbitas dos satélites altímetros, entre outras (SEEBER, 2003).

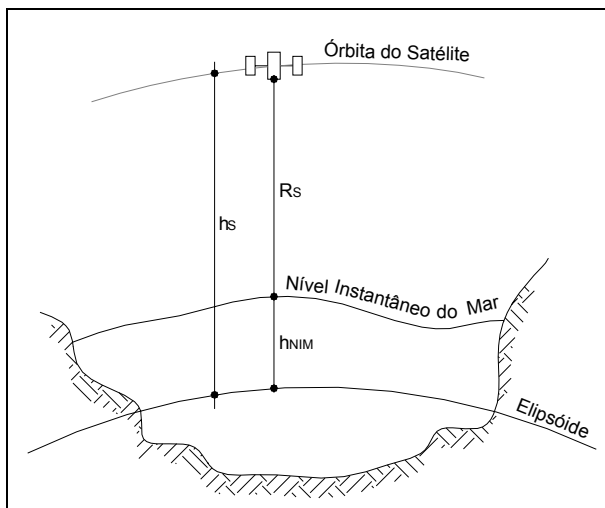


Fig. 9 – Princípio simplificado da altimetria por satélites. Fonte: adaptado de SEEBER, 2003.

A distância ( $R$ ) entre o satélite e o NMM é expressa por (CHELTON et al., 2001):

$$R = R_S - \sum_j \Delta R_j \quad (4)$$

Onde o somatório envolve as diversas correções necessárias. Logo, a altitude da superfície do mar em relação ao elipsóide de referência (SSH) é obtida por (Figura 10):

$$SSH = h_S - R \quad (5)$$

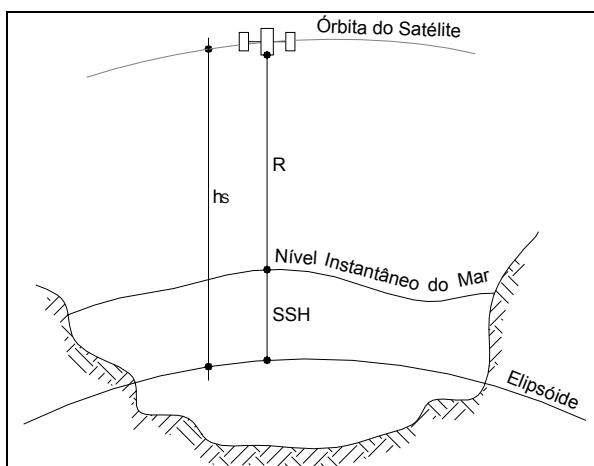


Fig. 10 – Estimativa da SSH.

Para este estudo, foram utilizados dados da SSH derivados da missão T/P em sua configuração orbital original, cujo período é de aproximadamente 10 anos, de setembro de 1992 a agosto de 2002 (ciclos 1 a 364). Depois disso, o satélite T/P continuou operando, mas foi remanejado para ocupar uma órbita complementar à de seu sucessor, o satélite Jason-1. Os dados provenientes do satélite T/P foram escolhidos para utilização neste estudo por ser uma das mais duradouras missões de altimetria por satélites, sofrer um

contínuo processo de calibração e fornecer dados de alta precisão, com ruído instrumental de 2cm (SEEBER, 2003).

## 8. POTENCIALIDADES DA INTEGRAÇÃO DE DADOS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

A combinação de dados derivados da altimetria por satélites e de marégrafos permite atenuar os problemas associados à baixa resolução espacial das observações maregráficas e à baixa resolução temporal das observações altimétricas, pois as séries temporais dos marégrafos são mais longas e possuem maior frequência de observações, enquanto as mensurações dos satélites altímetros têm melhor cobertura espacial. Tal integração melhora o conhecimento das variações do nível do mar em escalas regional e global; possibilita a recuperação de informação sobre variações do nível do mar em marégrafos com dados descontínuos; permite a estimativa das diferenças entre Data verticais e o geóide; e ainda permite verificar a estabilidade dos radares altímetros a longo período.

A recuperação e análise das séries temporais de dados maregráficos permite entender a evolução do NMM da região. Devido ao longo período de dados ainda indisponíveis para Imbituba, é relevante analisar dados de marégrafos com longas séries temporais, para verificar variações do nível do mar na costa brasileira, e comparar estas séries com dados da altimetria por satélites. Resultados assim obtidos podem indicar a possível metodologia a ser adotada para Imbituba. Neste sentido, existem dois marégrafos na costa brasileira que são de especial interesse devido a longa série temporal que possuem: Cananéia (SP) e Ilha Fiscal (RJ).

A estação maregráfica de Cananéia é mantida pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) e está ativa desde 1954. É possível acessar os registros horários do nível do mar, bem como dados diários e mensais, para o período de fevereiro de 1954 até dezembro de 2004, no banco de dados do UHSLC (*University of Hawaii Sea Level Center*) através do seguinte endereço eletrônico: <<http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhsllc/rqdsstc.html>>. Para CALDWELL (2002), esta estação é de boa qualidade apesar de localizar-se num estuário. Mesmo sendo periodicamente afetada por fluxo de água doce, de menor densidade que as águas oceânicas, os sinais oceânicos são preservados para as frequências mais importantes das marés oceânicas. Também são preservados os sinais relacionados com as variações do nível do mar de longo período. Cananéia possui um dos melhores registros disponíveis no Brasil, como mostram as médias mensais disponíveis (Figura 11).

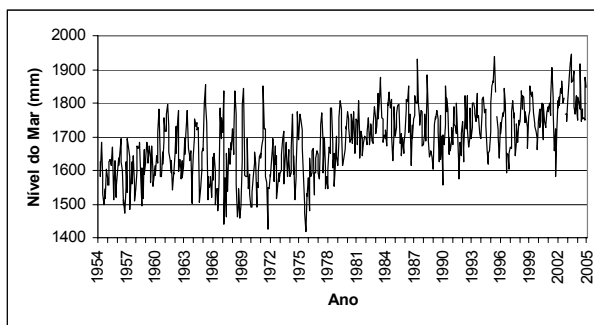


Fig. 11 – Médias mensais do marégrafo em Cananéia.

A estação maregráfica de Ilha Fiscal é mantida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, e encontra-se ativa desde 1963. Também é possível acessar dados horários, diários e mensais do nível do mar para o período de fevereiro de 1963 até dezembro de 2004, no banco de dados do UHSLC. A Figura 12 mostra as médias mensais disponíveis nesse marégrafo.

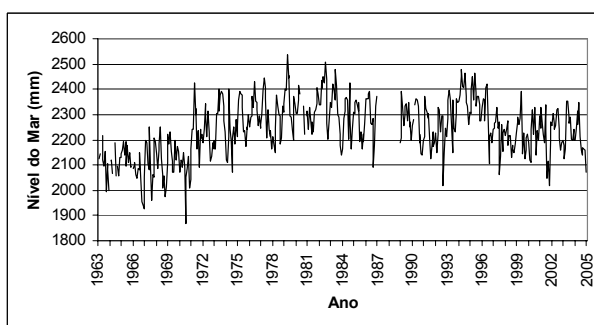


Fig. 12 – Médias mensais do marégrafo em Ilha Fiscal.

Como pode ser visualizado nas Figuras 11 e 12, as estações de Cananéia e Ilha Fiscal possuem dados no período da missão T/P (de 1992 a 2002, antes do reposicionamento do satélite). Na época de realização destes estudos, estavam disponíveis os dados de Ilha Fiscal referentes a todo o período da missão T/P, de Cananéia, estavam disponíveis os dados referentes ao período de janeiro de 1992 a dezembro de 2000.

Tanto Cananéia quanto Ilha Fiscal, encontram-se favoravelmente localizadas com relação à trajetória do satélite T/P (Figura 13). Nesta figura, cada linha representa a projeção da órbita do satélite na superfície da Terra, indicando onde o satélite realiza as observações. Neste artigo, estas linhas são denominadas trilhas, como uma tradução do termo *ground-track* usualmente empregado nos trabalhos em inglês.

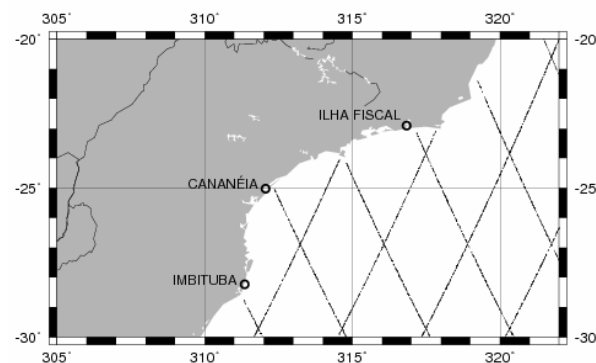


Fig. 13 – Distribuição das trilhas originais do satélite T/P na região de interesse.

Há diferentes métodos para comparar, verificar e validar observações da altimetria por satélites, usando dados do nível do mar obtidos por marégrafos. Essas abordagens baseiam-se no monitoramento da série temporal do nível do mar em um ou mais marégrafos, e as correspondentes altitudes da superfície do mar obtidas pelo altímetro. A comparação das séries temporais do marégrafo e do satélite altímetro envolve três problemas principais:

a) as observações não se referem aos mesmos instantes. As séries temporais do marégrafo podem ter uma amostragem horária, diária, mensal, dependente dos dados disponíveis. Já o satélite T/P realiza observações do mesmo local a cada 9,9156 dias. Logo, faz-se necessário realizar a filtragem ou reamostragem de uma das séries visando compatibilizá-las;

b) as observações não têm o mesmo sistema de referência vertical. Com isso, é possível realizar uma comparação apenas relativa entre as duas séries. A comparação absoluta só é possível se a posição geocêntrica do marégrafo for conhecida;

c) normalmente, os marégrafos não situam-se exatamente nas trilhas dos satélites altímetros. Com isso, a variabilidade espacial da superfície do mar entre o local das duas observações (marégrafo x altímetro) deve ser considerada (LIEBSCH et al., 2002).

Para comparar relativamente as séries temporais dos marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal (com amostragem horária) e os dados provenientes do satélite T/P (com amostragem de aproximadamente 10 dias), foram utilizados valores de SSH do banco de dados do DGFI (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*). Nesse banco de dados, cada valor de SSH derivado da altimetria por satélites está relacionado a uma pequena célula definida ao longo da trilha do satélite (Figura 14). Cada célula possui comprimento suficiente para que tenha ao menos um valor de SSH para cada ciclo, permitindo a realização de estudos de séries temporais da SSH em cada célula.

A Figura 14-a, mostra a distribuição dos dados de SSH para uma célula localizada nas proximidades da costa brasileira; cada ponto indica um valor de SSH obtido naquela célula durante o período da missão T/P. A célula possui aproximadamente 7km de comprimento



e as observações encontram-se ao longo da trilha com uma dispersão de  $\pm 1$ km. A Figura 14-b mostra a localização espacial desta célula em particular.

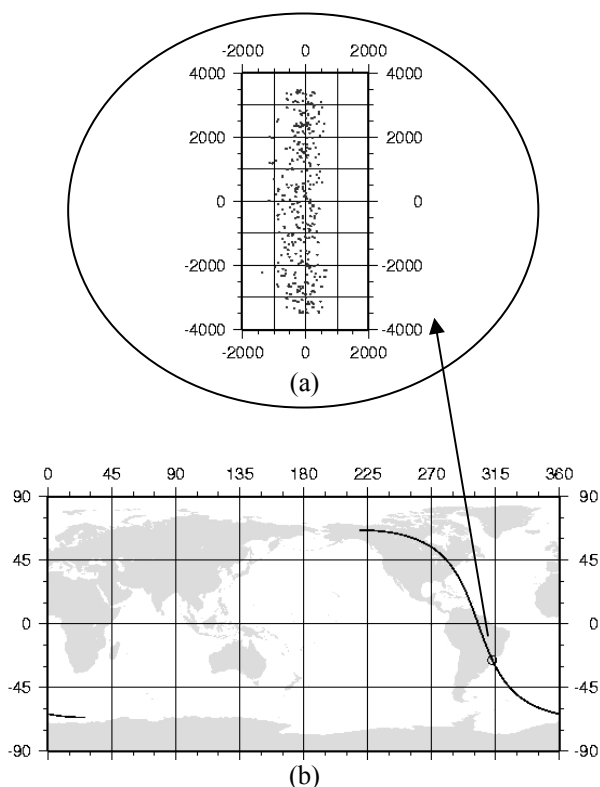


Fig. 14 – Distribuição dos dados de SSH na célula (a), e localização da célula na trilha (b).

Os valores de SSH fora do intervalo  $SSH_M \pm 3\sigma$  foram eliminados (sendo  $SSH_M$  a média da SSH para o período analisado e  $\sigma$  o desvio padrão da média). Além disso, como os dados dos marégrafos têm amostragem horária e não foram corrigidos do efeito do barômetro inverso, as correções para as marés oceânicas e barômetro inverso foram removidas dos dados da altimetria por satélites. Portanto, assume-se que tanto o marégrafo quanto o altímetro estão observando o mesmo sinal oceanográfico.

Como as séries temporais do nível do mar, observadas em Cananéia e Ilha Fiscal (Figuras 15 e 16) têm amostragem horária, estas foram re-amostradas para os mesmos instantes de tempo das observações do altímetro por interpolação cúbica. Os resultados da interpolação dos dados dos marégrafos para os mesmos instantes de observação do satélite altímetro estão indicados nas Figuras 17 e 18. Amostragens horárias são de interesse para comparar o nível do mar “instantâneo” observado pelo marégrafo e pelo altímetro.

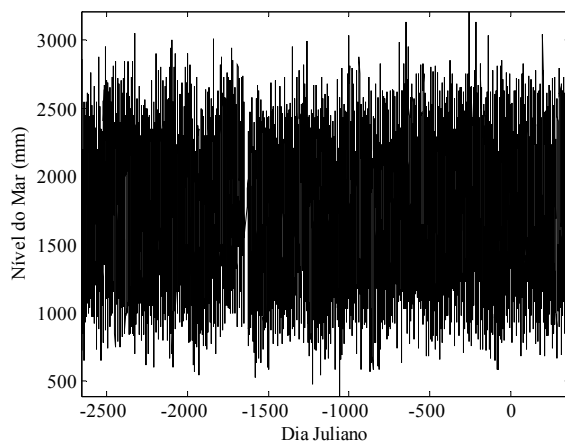


Fig. 15 – Série horária em Cananéia  
Nota: o Dia Juliano 0 corresponde neste trabalho às 12:00 horas de 1/1/2000.

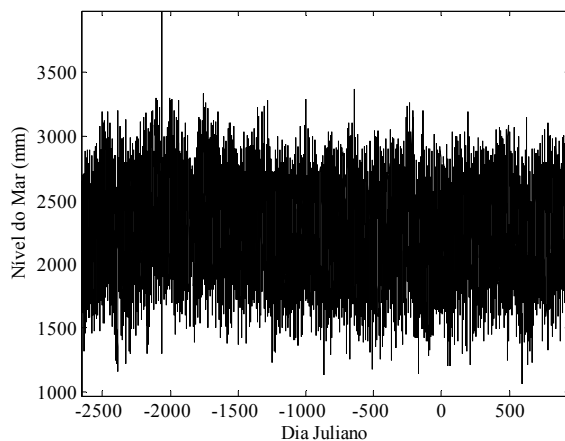


Fig. 16 – Série horária em Ilha Fiscal.

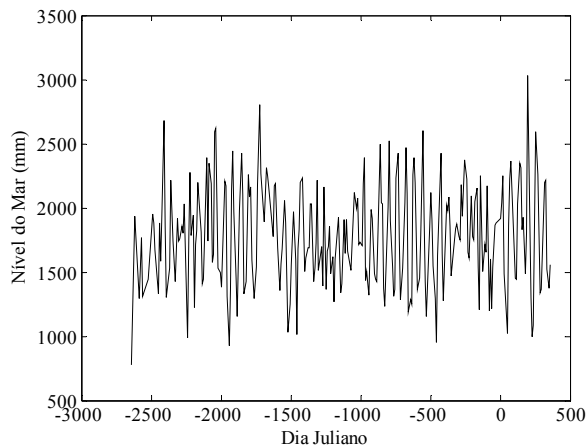


Fig. 17 – Série interpolada em Cananéia.

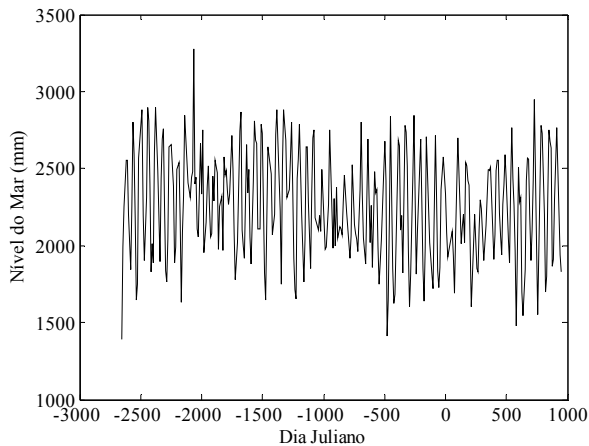


Fig. 18 – Série interpolada em Ilha Fiscal.

A comparação dos dados maregráficos e das séries de SSH foi realizada considerando a trilha mais próxima de cada marégrafo. Além disso, a comparação foi feita para cada célula localizada ao longo da trilha de interesse, usando as 71 células mais próximas de cada marégrafo. Ou seja, foi gerada uma série temporal de SSH para cada uma das 71 células e esta série foi comparada com a série temporal derivada das observações nos marégrafos, interpoladas para os instantes de observação da SSH pelo altímetro.

As Figuras 19, 20, 21 e 22 mostram os resultados da comparação para o marégrafo de Cananéia. A célula mais próxima da costa (cerca de 28km) é a de número 427. A Figura 19 mostra o coeficiente de correlação entre as duas séries temporais para cada célula. A Figura 20 ilustra a diferença média entre as séries para cada célula, e a Figura 21 o respectivo desvio padrão. Já a Figura 22 mostra a quantidade de dados de SSH disponível para cada célula. É interessante notar que os melhores resultados referem-se à célula 432, situada a aproximadamente 53km da costa. Ressalta-se que as diferenças são altas uma vez que a comparação é relativa, ou seja, as duas séries possuem zeros de referência diferentes.

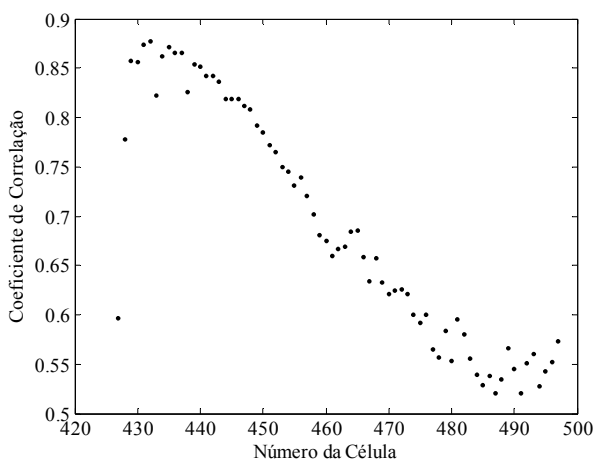


Fig. 19 – Coeficiente de correlação entre as séries temporais de dados maregráficos e de dados da altimetria por satélite para Cananéia.

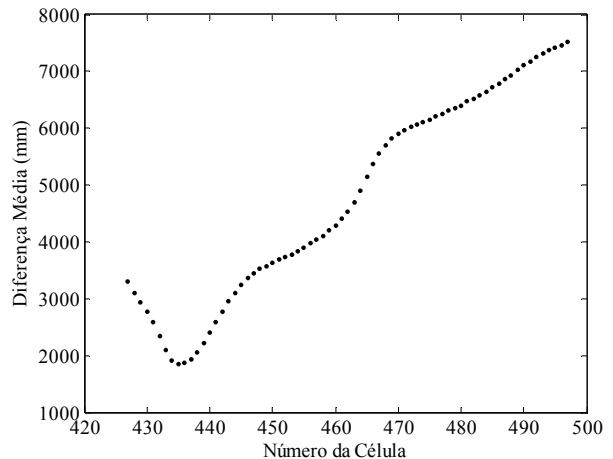


Fig. 20 – Diferença média entre as duas séries temporais para Cananéia.

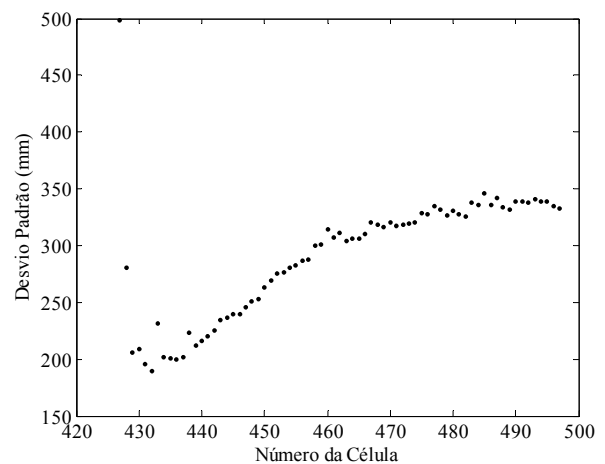


Fig. 21 – Desvio padrão da diferença média entre as duas séries temporais para Cananéia.

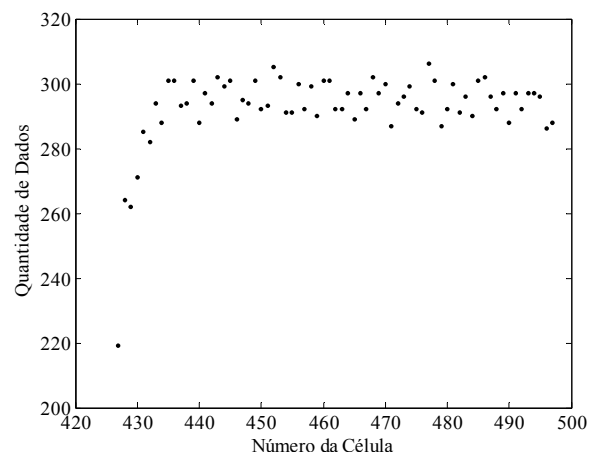


Fig. 22 – Quantidade de dados de SSH disponível em cada célula para Cananéia.

Para o marégrafo de Ilha Fiscal, foram obtidos resultados análogos aos de Cananéia (Figuras 23, 24, 25 e 26). Neste caso, a célula mais próxima da costa (cerca de 48km) é a de número 395. Os melhores resultados obtidos para Ilha Fiscal referem-se à célula 398, situada aproximadamente a 67km da costa. Tanto os desvios padrões como a quantidade de dados, mostram-se

melhores que em Cananéia, o que pode indicar que as observações maregráficas em Ilha Fiscal refletem melhor as condições de mar aberto onde são realizadas as observações do altímetro; e que a localização geográfica da estação Cananéia exerce influência sobre os resultados.

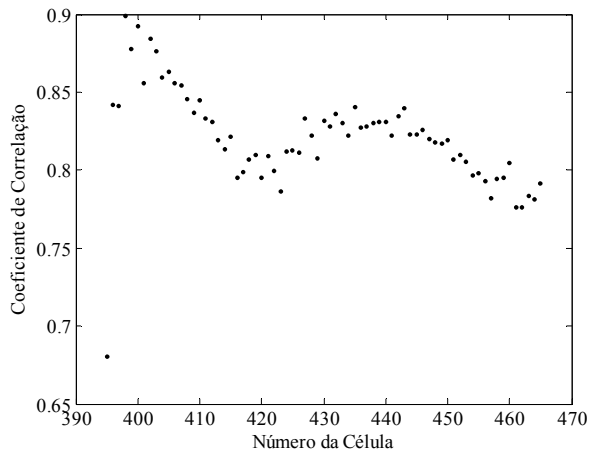


Fig. 23 – Coeficiente de correlação entre as séries temporais de dados maregráficos e de dados da altimetria por satélite para Ilha Fiscal.

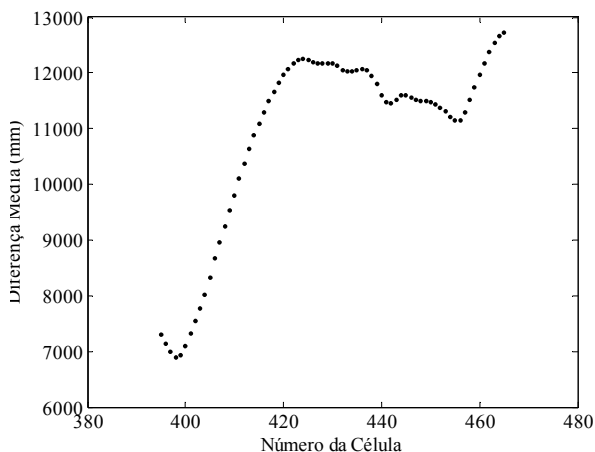


Fig. 24 – Diferença média entre as duas séries temporais para Ilha Fiscal.

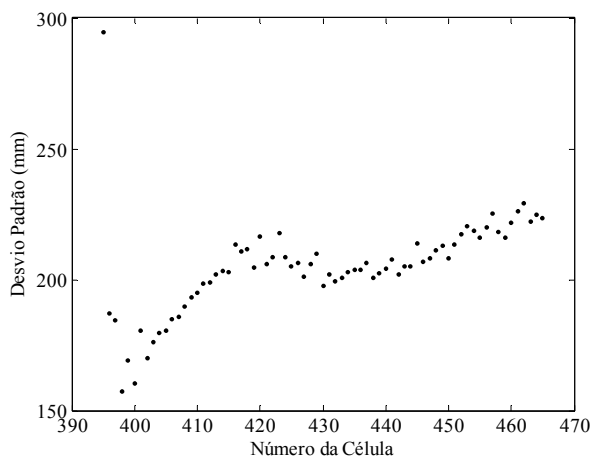


Fig. 25 – Desvio padrão da diferença média entre as duas séries temporais para Ilha Fiscal.

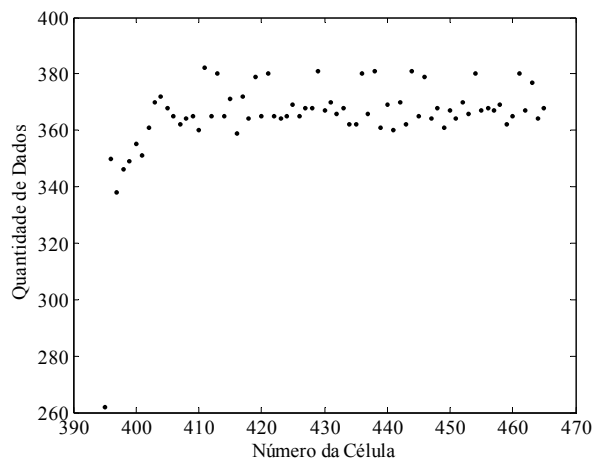


Fig. 26 – Quantidade de dados de SSH disponível em cada célula para Ilha Fiscal.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para as células onde a comparação das séries apresentou os melhores resultados. As Figuras 27 e 28 mostram as séries temporais para estas células.

TABELA 2 – RESULTADOS DA COMPARAÇÃO.

Estação	Cananéia	Ilha Fiscal
Célula	432	398
Coeficiente de correlação	0,88	0,90
Diferença média	2341 mm	6887 mm
Desvio padrão	189,6 mm	157,0 mm
Quantidade de dados	282	346

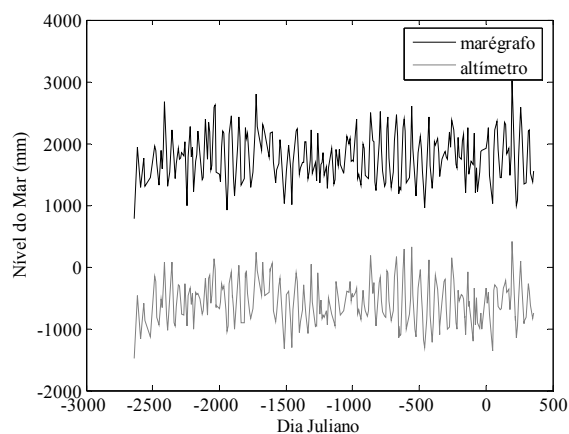


Fig. 27 – Séries temporais para a célula 432 – Cananéia.

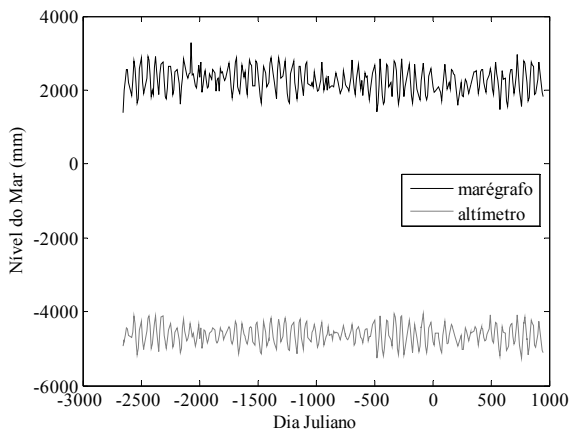


Fig. 28 – Séries temporais para a célula 398 – Ilha Fiscal.

Estudos vêm sendo realizados para aplicar uma correção diferencial de maré aos dados da altimetria por satélites, considerando componentes com frequências maiores (*shallow water tides*). Resultados preliminares mostraram uma melhoria no coeficiente de correlação e no desvio padrão das diferenças entre as séries temporais (DALAZOANA et al., 2004b).

## 9. A BUSCA POR UM DATUM VERTICAL UNIFICADO

A estimativa da Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) é um aspecto a ser considerado no processo de integração das redes verticais na América do Sul. Assim, o monitoramento do nível do mar é importante, uma vez que o Datum vertical de cada país foi estabelecido em uma época particular como mencionado anteriormente. A estimativa da TNMM necessita do conhecimento de um modelo geoidal global, que pode ser obtido a partir de um modelo geopotencial, como o EGM96 ou modelos aprimorados com os resultados das missões espaciais específicas para a determinação do campo da gravidade da Terra, como CHAMP e GRACE e no futuro GOCE; e com a gravimetria terrestre e aérea. A grande vantagem em utilizar os resultados destas missões é eles dependerem dos referenciais verticais clássicos.

Outra possibilidade é a determinação de anomalias locais do geopotencial ou a melhoria do modelo geopotencial na região de estudo. Com este propósito, existem planos para densificar o rastreamento GPS e gravimetria na região do DVB, associados com o uso de dados de topografia e de gravimetria provenientes das missões satelitais.

## 10. CONCLUSÕES

No Datum vertical em Imbituba, ainda existem alguns problemas a serem resolvidos para integrar as séries antigas e novas, devido a longos períodos de descontinuidade e registros a serem digitalizados. O reposicionamento do sensor digital deve ser levado em consideração. É necessária também uma análise dos

registros de nivelamento na região, devido a inconsistências na altitude de algumas RRNN.

Existem alguns problemas relacionados com a integração de dados maregráficos e de altimetria, decorrentes dos seguintes aspectos:

- a) a trilha dos satélites geralmente não coincide com a localização dos marégrafos;
- b) as séries temporais não possuem a mesma amostragem temporal, com isso os dados referem-se a diferentes instantes;
- c) os dados da altimetria por satélites perdem resolução nas proximidades da costa devido às perturbações decorrentes da pequena profundidade, e à interferência do terreno no sinal de retorno. Este problema tem implicações nos resultados apresentados no item 8, pois as células mais próximas da costa possuem coeficientes de correlação mais baixos, desvios padrões maiores, e menor quantidade de observações.

Há possibilidades desses problemas serem reduzidos com os seguintes procedimentos:

- o reprocessamento dos dados em áreas determinadas, visando a eliminação dos efeitos costeiros (*re-tracking* dos dados de altimetria nas áreas próximas da costa);
- o uso de dados de diferentes missões; considerando assim a variabilidade na região e não apenas ao longo da trilha;
- a consideração das variações temporais e espaciais da superfície do mar entre o marégrafo e o ponto das mensurações do altímetro, ou seja, extrapolar os dados de altimetria até a costa, o que não foi feito neste estudo.

O posicionamento geocêntrico do marégrafo possibilita a comparação absoluta entre as duas séries temporais. Além disso, o monitoramento periódico da posição geocêntrica do marégrafo permite separar variações crustais das variações do nível do mar aparentes e reais.

É importante enfatizar a alta correlação entre as séries partindo de dados maregráficos com amostragem horária, mesmo sem extrapolar os dados de altimetria até a costa. Este é um indício da possibilidade de uso conjunto de dados da altimetria por satélites e dados de marégrafos, podendo auxiliar nos estudos em Imbituba, onde períodos da série de dados ainda não estão disponíveis em meio digital ou não existem.

São necessários estudos para estimar a tendência de variação do nível do mar considerando os dados da altimetria por satélites e os dados dos marégrafos. Convém salientar que os resultados dependem: da amostragem e do período usado na estimativa; das correções aplicadas aos dados da altimetria por satélites e aos dados maregráficos; da desvinculação dos dados maregráficos de eventuais movimentos verticais da crosta.

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Wolfgang Bosch e ao Ing. Roman Savcenko, pelo auxílio no processamento dos dados de altimetria por satélites, e disponibilização do banco de dados do DGFI. Ao DAAD, pelo auxílio financeiro para estadia na Alemanha. À CAPES e CNPq, pelo apoio financeiro. Ao IBGE, pela disponibilização dos dados da estação maregráfica de Imbituba.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J.C.M. Datum Altimétrico Brasileiro. **Cadernos de Geociências**, no 5, p. 69-73, 1990.

BOSCH, W.; DREWES, H.; HÄFELE, P.; KANIUTH, K.; KANIUTH, R.; KUHN, M.; STUBER, K.; TREMEL, H. The EVAMARIA Project: Identification and Verification of Sea Level Anomalies in the North Atlantic. In: **IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems**. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds) vol 124, Springer Verlag, pp. 238-243, 2002.

BOSCH, W. **Satellite Altimetry**. Curso ministrado na Universidade Federal do Paraná. Maio, 2005.

CALDWELL, P. **IOC/GLOSS Technical Visit to the Brazilian Naval Directorate of Hydrography and Navigation**. Final Report. October, 2002. Disponível em: <[ftp://ilikai.soest.hawaii.edu/caldwell\\_pub/sealev/brazil/report/FinalDHNvisit.doc](ftp://ilikai.soest.hawaii.edu/caldwell_pub/sealev/brazil/report/FinalDHNvisit.doc)>.

CAZENAVE, A. Les Variations Actuelles du Niveau Moyen de la Mer. **Earth & Planetary Sciences**, no 329, Elsevier Science Ltda, p. 457-469, 1999.

CAZENAVE, A.; DO MINH, K.; GENNERO, M.C. Present-day Sea Level Rise: From Satellite and in situ Observations to Physical Causes. In: **IAG Symposium 126: Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography**. Hwang, C., Shum, C.K., Li, J. (eds) vol 126, Springer Verlag, pp. 23-31, 2003.

CHELTON, D. B.; RIES, J. C.; HAINES, B. J.; FU, L. L.; CALLAHAN, P. S. Satellite Altimetry. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, 2001. pp. 1-131.

DALAZOANA, R.; LUZ, R.T.; FREITAS, S.R.C. de; SOTO, J.C.B. First Studies to Estimate Temporal Variations of the Sea Level at the Brazilian Vertical Datum. In: GGSM 2004 – Gravity, Geoid and Space Missions, Porto, Portugal, August 30<sup>th</sup> – September 3<sup>rd</sup>, 2004. **Anais**. 2004a.

DALAZOANA, R.; BOSCH, W.; SAVCENKO, R. **Comparing Sea Level Time Series from Altimetry and Brazilian Tide Gauges**. In: Workshop 2004 der Forschungsgruppe Satellitengeodäsie, Höllenstein, Wetzell, Alemanha, Outubro 27-29, 2004b.

DALAZOANA, R.; LUZ, R.T.; LIMA, S.R.S.; MIRANDA, Fr.A.; PALMEIRO, A.S.; MIRANDA, Fa.A.; FREITAS, S.R.C. de. Controle Vertical das RRNN e da Posição Geocêntrica do Marégrafo no Porto de Imbituba. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná, 16 a 20 de maio, 2005. **Anais**. 2005.

FREITAS, S.R.C. de; CORDINI, J.; MARONE, E.; SCHWAB, S.H.S. Vínculo da Rede Altimétrica Brasileira à Rede SIRGAS. In: **International Geoid Service – Bulletin no 9 - Special Issue for South America**. pp. 31-46, 1999.

FREITAS, S.R.C. de; MEDINA, A.S.; PIRES, A.O.; LUZ, R.T. Considerações e Experimentos para a Conexão das Redes Altimétricas da América do Sul. In: **Série em Ciências Geodésicas - 30 Anos da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil**. vol 1, pp. 15-32, 2001.

FREITAS, S.R.C. de; SCHWAB, S.H.S.; MARONE, E.; PIRES, A.O.; DALAZOANA, R. Local Effects in the Brazilian Vertical Datum. In: **IAG Symposium 125: Vistas for Geodesy in the New Millennium**. Adám, J., Schwarz, K.P. (eds) vol 125, Springer Verlag, pp. 102-107, 2002a.

FREITAS, S.R.C. de; MEDINA, A.S.; LIMA, S.R.S. de. Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them. In: **IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems**. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds) vol 124, Springer Verlag, pp. 318-323, 2002b.

HÄFELE, P.; HUBER, S.; KANIUTH, K. Vertical Crustal Movements of Tide Gauge Sites Around the North Atlantic Ocean. In: **IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems**. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds) vol 124, Springer Verlag, pp. 244-248, 2002.

HERNÁNDEZ, J.N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R.T.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colômbia. In: **IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems**. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds) vol 124, Springer Verlag, pp. 324-327, 2002.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. Volume I – Basic Procedures. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides No. 14, UNESCO, 1985. 75 pp.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides No. 14, UNESCO, 2002. 49 pp.

LIEBSCH, G.; NOVOTNY, K.; DIETRICH, R.; SHUM, C. K. Comparison of Multimission Altimetric

Sea-Surface Heights with Tide Gauge Observations in the Southern Baltic Sea. **Marine Geodesy**, v. 25, pp. 213-234, 2002.

LUZ, R.T.; FREITAS, S.R.C. de; DALAZOANA, R. Acompanhamento do Datum Altimétrico Imbituba através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro. In: VII Congresso Internacional de Ciências da Terra, Santiago, Chile, October 21-25, 2002. **Anais** (não publicados). 2002. Disponível em <[www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default\\_artigos.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm)>.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná, 6 a 9 de maio, 2003. **Anais em CD-ROM**. 2003. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default\\_artigos.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm)>. Acesso: 6 junho 2004.

NATALI, M.; BRUNINI, C.; KANIUTH, K.; DREWES, H. Monitoring Tide Gauge Benchmarks in Argentina by GPS. In: **IAG Symposium 124: Vertical Reference Systems**. Drewes, H., Dodson, A.H., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (eds) vol 124, Springer Verlag, pp. 255-258, 2002.

PUGH, D.T. **Tides, Surges and Mean Sea Level**. John Wiley & Sons, 1987, 472 pp.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. 2. ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 pp.

SHOM, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. **Test de Van de Casteele**. Disponível em <[http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_oceano/maree/vdc.html](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/vdc.html)>. Acesso: 24 março 2004.

Recebido em 09 de dezembro de 2004 - Aceito em 31 de agosto de 2005.