

Revista Brasileira de Cartografia (2016) N^o 68/1: 73-90
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS MAREGRÁFICAS CORRELACIONADAS COM OBSERVAÇÕES GNSS NO DATUM VERTICAL BRASILEIRO DE IMBITUBA-SC

*Temporal Series of Tide Gauge Data Correlated with GNSS Observations at
Brazilian Vertical Datum: Imbituba-SC*

**Luciana Maria Da Silva, Sílvio Rogério Correia De Freitas
& Regiane Dalazoana**

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
R. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jardim das Américas - CEP 81531-970 - Curitiba - PR, Brasil
lumasilva15@gmail.com, {regiane, sfreitas}@ufpr.br

Recebido em 19 de Janeiro, 2015/Aceito em 30 de Julho, 2015
Received on January 19, 2015/ Accepted on July 30, 2015

RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma metodologia para distinguir possíveis movimentos da crosta de variações do nível médio do mar, utilizando dados GNSS, modelos de velocidade e dados maregráficos. As observações GNSS foram processadas para obtenção da variação da coordenada vertical ou altimétrica, necessária para identificar os movimentos da crosta. O modelo de velocidade VEMOS 2009 serviu como base comparativa para verificar os resultados obtidos com o processamento GNSS. E os dados maregráficos foram utilizados para avaliar a evolução temporal do nível do mar no Datum Vertical Brasileiro de Imbituba. As análises conduzidas tiveram por base observações contínuas, desde 2007 até 2014, junto ao Datum Vertical Brasileiro de Imbituba. Como base das análises foram usadas estações SIRGAS-CON e modelo de velocidade SIRGAS. Os resultados considerando apenas dados maregráficos mostraram uma elevação no NMM do Porto de Imbituba de 4,13 mm/ano. Considerando a discriminação do movimento vertical da crosta a partir dos resultados obtidos com o processamento GNSS, observou-se que há uma variação do NMM. Os movimentos observados e preditos foram comparados a partir do processamento GNSS e o modelo de velocidades. Conclui-se que existe uma evolução do NMM na região do DVB-I pela determinação da variação temporal resultante de aproximadamente $+ 2,4 \pm 0,2$ mm/ano.

Palavras chaves: DVB-I, Observações GNSS e Maregráficas, Modelo de Velocidade.

ABSTRACT

This paper presents a methodology to distinguish possible crustal movements from variations of the mean sea level, using GNSS data, velocity models and tide gauge data. The GNSS observations were processed in order to obtain the variation for the up coordinate required to identify the crust movements. The velocity model served as a comparative basis to verify the results obtained with the GNSS processing. And the tide gauge data were used to evaluate the temporal evolution of sea level in the Imbituba Brazilian Vertical Datum. The conducted analyzes were based on continuous observations, from 2007 until 2014 at the Imbituba Brazilian Vertical Datum. As a basis for the analyzes it were used

SIRGAS-CON stations and SIRGAS velocity model. The results based only in tide gauge data showed a rise at Imbituba mean sea level (MSL) of 4.13 mm/year. Considering the discrimination of the vertical movement of the crust from the results obtained with the GNSS processing, it was observed that there is variation of MSL. The observed and predicted movements were compared from the GNSS processing and the velocity model. It concludes that there is an evolution of the MSL in the DVB- I region by determining the temporal variation resulting approximately $+ 2,4 \pm 0,2$ mm/year.

Keywords: I-BVD, GNSS and Tide Gauges Observations, Velocity Model.

1. INTRODUÇÃO

A Geodésia moderna provê observações de grandezas associadas com a modelagem da superfície da Terra, assim como de sua rotação e do campo da gravidade externo. Um dos objetos centrais de estudos da Geodésia na atualidade vincula-se diretamente às variações na distribuição das massas no sistema Terra as quais permitem determinações das variações da sua forma e dimensões. O *Global Geodetic Observing System* (GGOS) se constitui na base científica e na infraestrutura geodésica necessária ao acompanhamento das mudanças globais, fornecendo observações com consistência. A análise dos fluxos de massas no Sistema Terra é pressuposto essencial para a realização de Sistemas Geodésicos de Referência, estabelecendo condições para a estruturação de um Sistema de Observação da Terra voltado à determinação das mudanças globais ao nível de 1 cm.

Um dos aspectos mais presentes nas discussões das mudanças globais é o associado à evolução do Nível Médio do Mar (NMM), principalmente ao observado em áreas costeiras em vista dos impactos diretos sobre as áreas que usualmente apresentam a maior concentração de ocupação humana. A evolução do NMM decorre de dois fenômenos distintos: o movimento eustático do NMM relativo ao geocentro que é, em grande parte, associado à expansão térmica dos oceanos (desequilíbrio estérico); e movimentos tectônicos da crosta ao longo da linha de costa, principalmente os movimentos verticais de soergimento ou subsidência crustal, (DA SILVA & DE FREITAS, 2013).

Do ponto de vista geodésico, há que se discutir efetivamente os aspectos geocinemáticos da interação oceano-continente para a definição e realização de um *Datum Vertical* (DV) moderno. A forma efetiva de discriminar movimentos eustáticos e tectônicos é a de monitorar a posição geocêntrica dos marégrafos costeiros (DE

FREITAS *et al.*, 1998). Marégrafos instalados ao longo da linha de costa registram, portanto, os movimentos relativos do nível do mar em relação à crosta, não discriminando os movimentos próprios de cada segmento: movimento da crosta e movimento do NMM.

Segundo Dalazoana *et al.* (2005), o posicionamento com GNSS de uma referência de Nível ligada por nivelamento geométrico com a referência zero de um marégrafo, permite o referenciamento geocêntrico das variações locais da posição de pontos da crosta. Este referenciamento pode ser usado para monitorar variações verticais da posição do marégrafo, sendo fundamental para evitar que movimentos verticais da crosta sejam interpretados como variações do NMM.

É necessário também considerar os movimentos relativos devido ao carregamento periódico diferencial dos efeitos da maré sobre a crosta (FARREL, 1972). A flexão diferencial da crosta provocada pela interação entre as marés terrestres e oceânicas e variações de pressão atmosférica (DE FREITAS, 1993), podem produzir efeitos no posicionamento relativo sobre linhas de bases longas (VANDAM *et al.*, 1994; DE FREITAS *et al.*, 1995).

Nesse sentido, as interações dos continentes com os oceanos e a atmosfera devem ser analisadas em relação à resposta dinâmica da Terra, de modo a permitir a discriminação de movimentos seculares e periódicos e efeitos de carregamentos (LUZ *et al.*, 2002). Vale ressaltar que, os efeitos dos carregamentos diretos (carga direta na crosta) e indiretos (alteração do geopotencial por massas deslocadas), relacionados com este estudo, não serão considerados neste trabalho. Apenas consideram-se todas as observações reduzidas ao sistema livre de marés permanentes.

A partir de observações da maré oceânica e a fixação da posição do marégrafo definida em certa época aliada ao seu acompanhamento ao

longo do tempo, pode-se realizar a determinação dos efeitos seculares. Estes procedimentos permitem a discriminação entre movimentos epirogênicos e crustais e entre movimentos eustáticos e variações do NMM, e demandam o estabelecimento de projetos de grande complexidade, visando à manutenção do referencial altimétrico e sua conexão com a rede altimétrica fundamental (LUZ *et al.*, 2002).

O Datum Vertical Brasileiro de Imbituba (DVB-I) e o Datum Vertical Brasileiro de Santana (DVB-S) foram estabelecidos dentro de um conceito clássico de se utilizar o NMM observado durante certo período como a altitude de referência zero para redes altimétricas nacionais. Muitos países, assim como o Brasil, possuem mais de um DV em vista de impossibilidades físicas de conexão de todos os segmentos de suas redes altimétricas. Mais de uma centena de *Data Verticais* (DVs) são assim definidos e realizados em todo o mundo (DE FREITAS *et al.*, 2002). O DVB-I é referência nacional predominante, onde mais de 90% da Rede Vertical Fundamental do Brasil (RVFB) está a ele referenciada. Sendo assim, buscou-se determinar as taxas de variação do NMM no marégrafo de Imbituba e os movimentos da crosta no local de instalação do marégrafo, analisando-se os dados maregráficos e as variações na sua posição geocêntrica. Estações GNSS de monitoramento contínuo da rede SIRGAS (SIRGAS-CON) foram empregadas como base das análises desenvolvidas ao longo de cerca de sete anos para a região.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A implantação da rede de estações maregráficas ao longo da costa brasileira foi realizada a partir de 1949 pelo *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS). Em 1959, foi então definido e adotado o Datum de Imbituba, através da pro média dos níveis médios do mar anuais, entre 1949 e 1957, no Porto de Imbituba. As médias mensais e anuais da rede maregráfica do IAGS encontram-se armazenadas no *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), sendo que de Imbituba as observações após 1969 ainda não foram recuperadas. As observações existentes são de 1949 a 1969. Segundo Dalazoana e De Freitas (2006) resultados baseados em dados

maregráficos e de nivelamento, mostram uma elevação no NMM no Porto de Imbituba em torno de 2 mm/ano. Estes resultados foram obtidos com a integração das séries temporais armazenadas no banco de dados do PSMSL e dados digitais de 2001 a 2004.

Desde 1949 foram realizados diversos nivelamentos nas estações altimétricas que materializam o Datum de Imbituba. Além disso, a Universidade Federal do Paraná (UFPR) realizou campanhas multi-paramétricas na área do Datum, durante as quais foram realizados: posicionamento GPS (*Global Positioning System*), monitoramento da pressão atmosférica, marés terrestres e oceânicas (CORDINI, 1998; LUZ *et al.*, 2002). Depois do estabelecimento do DVB-I não foram realizadas alterações na sua definição, apesar de existirem observações em Imbituba e em outras estações, para períodos bem maiores (LUZ & GUIMARÃES, 2003). Para corrigir os problemas entre os levantamentos geodésicos terrestres e a observação do nível do mar, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) iniciou em 1994 a operação de estações maregráficas com características geodésicas. Em 1999 as autoridades portuárias em Imbituba retomaram a observação convencional do nível do mar, e em 2001 o IBGE instalou equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais para acompanhamento do DVB-I (LUZ *et al.*, 2006).

Dalazoana (2006) realizou um extenso trabalho de vínculo entre níveis de referência no DVB-I, possibilitando a integração de novas observações com sensores modernos aos níveis de referência históricos. Tal estudo foi fundamental, para o desenvolvimento de novas pesquisas. Ferreira (2008) realizou uma estimativa da Topografia do NMM (TNMM) no DVB-I com base no ajuste da superfície média do Sistema Lagunar de Imaruí e no Modelo Global do Geopotencial (MGG) EGM1996 (LEMOINE *et al.*, 1997). Palmeiro (2011) deu sequência aos estudos realizando integração de soluções livres e fixadas do Problema do Valor de Contorno da Geodésia (PVCG) com base em gravimetria terrestre, marinha e derivada da altimetria por satélites bem como MGGs mais atuais, os quais permitiram uma estimativa robusta da TNMM para o vínculo da RVFB a um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG) conforme

pressupostos do GGOS (IHDE *et al.*, 2007).

Há ainda vários aspectos operacionais relacionados ao DVB-I que devem ser considerados. Dentre eles pode-se destacar a busca pela recuperação de séries temporais das observações do nível do mar assim como determinar a evolução temporal da sua posição geocêntrica e a busca de alternativas para obtenção da evolução do NMM desde a definição do Datum, discriminando inclusive possíveis mudanças de tendências (DALAZOANA, 2006; LUZ, 2008). Outros aspectos a serem considerados estão vinculados à instrumentação empregada, como a calibração do marégrafo, por exemplo.

O posicionamento GNSS de uma estação localizada nas proximidades do marégrafo e o seu vínculo com a referência zero do marégrafo via nivelamento geométrico de alta precisão, permite relacionar as observações maregráficas a um referencial geocêntrico compatível com o *International Terrestrial Reference System* (ITRS) e permite também reparar variações do NMM de variações verticais da posição do marégrafo ocasionados por movimentação crustal, tal como o exemplo apresentado para o DVB-I, na Figura 1.

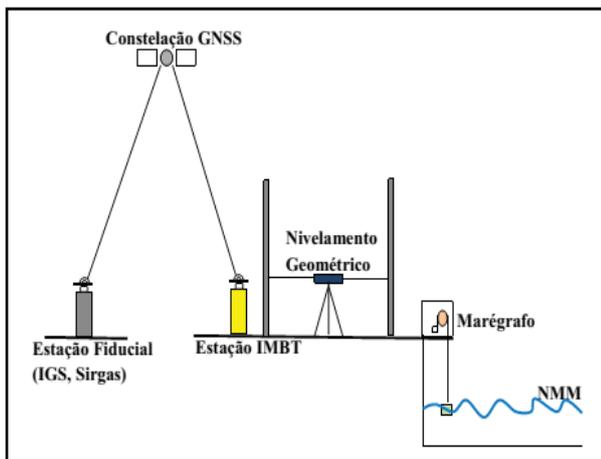


Fig.1 - Monitoramento da posição geocêntrica do marégrafo de Imbituba via observações GNSS e nivelamento geométrico. Fonte: Adaptado de IOC (2002).

O IBGE com a colaboração da Universidade Federal do Paraná (UFPR) há cerca de 17 anos vem realizando o acompanhamento da posição geocêntrica, velocidade, efeitos locais e a discriminação de perturbações (efeitos

meteorológicos) em Imbituba. Inicialmente em campanhas esporádicas na estação IMBI, onde foram realizadas campanhas GPS de no mínimo 10 dias (1997, 2000 e 2005) e desde 2007, de forma contínua na estação IMBT parte do SIRGAS-CON agora com o emprego de receptor GNSS (DE FREITAS, 2007). As campanhas esporádicas foram processadas servindo como estratégia para efetivação de melhores soluções e resolução de ambiguidades, utilização de órbitas precisas, utilização dos parâmetros de calibração das antenas; aplicação de modelos de correção de marés e carga oceânica para as posições e velocidades estimadas (DE FREITAS, 2007). Mais detalhes em relação ao processamento destas campanhas pode ser visto em Costa *et al.* (2012).

Na Figura 2 apresenta-se a localização do DVB-I, onde destaca-se: imagem que define o município de Imbituba e a localização das estações maregráfica e GNSS (a); localização de Imbituba no Estado de Santa Catarina (SC) (b), localização de Santa Catarina no país e no continente (c).

Em Imbituba, nas proximidades do marégrafo, foi materializada em 2007 a estação IMBT do SIRGAS-CON (SAT-91854 do banco de dados do IBGE). Esta estação foi estabelecida como sucessora da estação IMBI, onde foram realizadas campanhas por posicionamento GPS, como comentado anteriormente. Estas duas estações foram conectadas por 17 dias de observações GNSS e adicionalmente por métodos topográficos e de nivelamento de travessia.

Visando identificar possíveis movimentos verticais da crosta na região do Datum, foi realizado um processamento de dados GNSS no *software Leica Geo Office 5.0* desde o mês de novembro de 2007, quando foi implantada a estação IMBT, até novembro de 2013, o qual foi dividido em semanas GPS.

3. SISTEMA VERTICAL DE REFERÊNCIA GLOBAL

Na atualidade, uma das maiores conquistas da Geodésia foi o desenvolvimento de MGGs em harmônicos esféricos com base em novas missões espaciais (Castro *et al.*, 2014). Principalmente, os MGGs com menores erros de comissão em comprimentos de onda mais

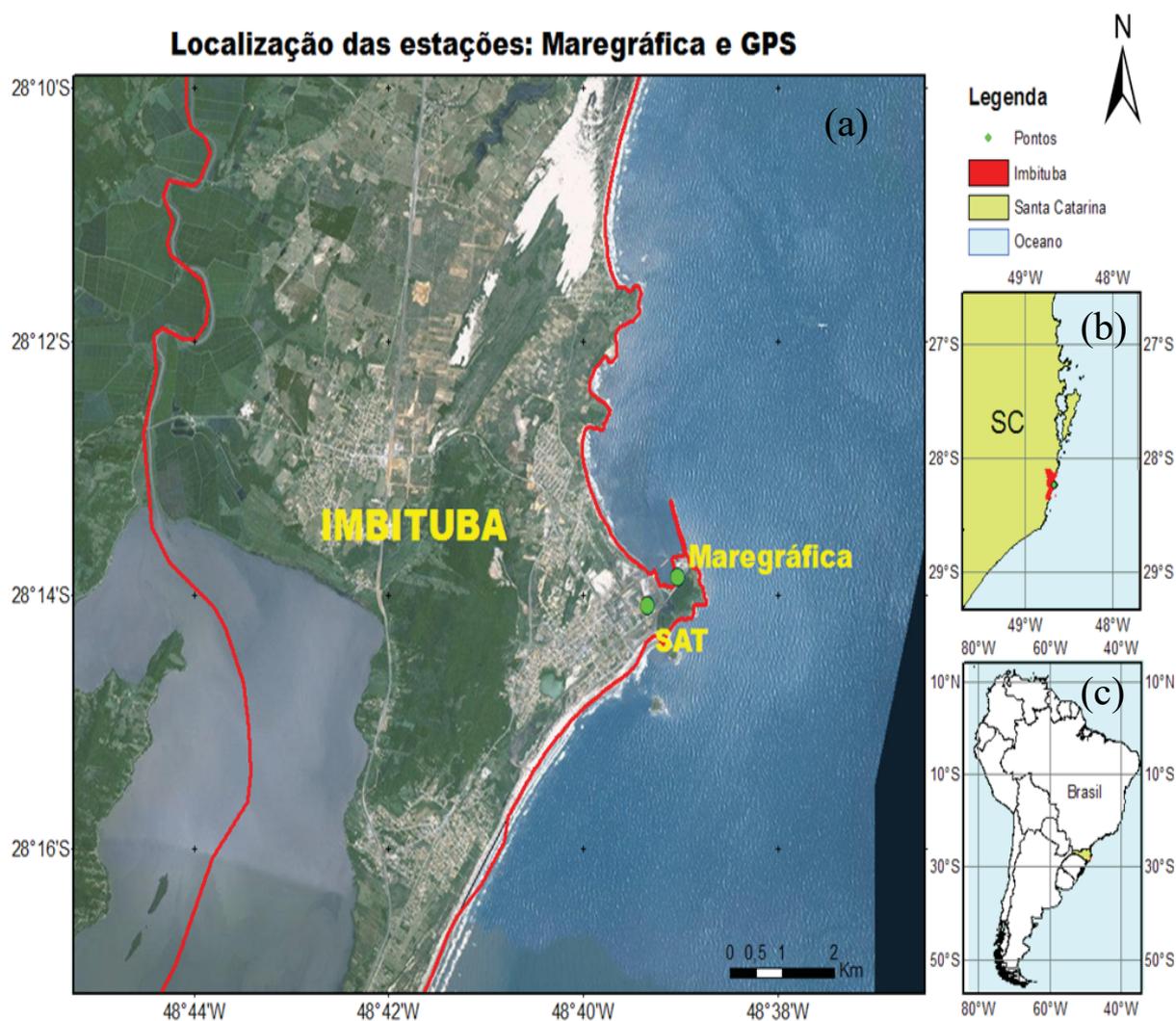


Fig. 2 - Localização do DVBI em SC onde estão instaladas as estações maregráfica e GNSS.

longos são derivados de missões de gravimetria e altimetria por satélites, onde existe grande consistência espacial e inclusive com resolução temporal. Esses modelos podem formar bases de referência global para o já referido SVRG, como pressuposto pelo GGOS.

Em uma visão atual, busca-se um SVRG único em todo o globo (IHDE, 2007) e, em vista disto, muitos aspectos devem ser discutidos relativamente aos DVs ora existentes em todo o mundo, e particularmente no Brasil, em vista dos esforços para a modernização da RVFB descritos em Luz (2008). Um SVRG pressupõe uma superfície equipotencial do campo da gravidade única, de referência para as altitudes em todo o globo, com geopotencial W_0 . A definição mais aceita de geoide na atualidade como referência a um SVRG é a de “Superfície equipotencial quase estática do campo da gravidade melhor ajustada, no sentido do Método dos Mínimos Quadrados

(MMQ), globalmente ao NMM?”. Esta é baseada na definição de Gauss e Listing (LISTING, 1873 apud HECK, 2004), onde se considera que cada elemento ds da superfície S tem geopotencial W_i , e o geoide global tem geopotencial W_0 , como apresentado na equação 1.

$$\int_S (W_0 - W_i)^2 ds = \min \quad (1)$$

A equação 01 é resolvida de forma numérica. Esta definição adquiriu atualidade em vista da altimetria por satélites sobre os oceanos através da qual foram desenvolvidos os denominados *Mean ocean Dynamic Topography models* (MDT) a partir de 1992, principalmente com a missão TOPEX/Poseidon (T/P). Como a superfície do NMM é dinâmica, seu valor médio associado depende do período de avaliação, e apresenta uma topografia (TNMM) que

pode atingir $\pm 2\text{m}$ em relação ao denominado geoide global (FU e CAZENAVE, 2001). Os movimentos eustáticos são efeitos ocasionados predominantemente pelas variações de baixas frequências ou efeitos seculares que podem se estender para períodos além de 10 anos e são causados, em parte, por fenômenos físicos predominantes na distribuição dos efeitos geostróficos decorrentes de ventos, ondas, ressonâncias costeiras além de efeitos estéricos associados a variações da densidade da água do mar. Já, os movimentos verticais da crosta, tais como os ajustes isostáticos glaciais, são aproximadamente lineares, e em geral, não afetam as taxas de variação do NMM (DOUGLAS, 1992). Já os movimentos tectônicos verticais não lineares e de curto prazo e fenômenos como os terremotos, podem afetar os registros e produzir acelerações na variação do nível do mar em regiões delimitadas. Nas últimas décadas, os movimentos eustáticos têm sido estimados a partir de observações associadas ao vínculo do sensor do marégrafo a uma estação GNSS nas proximidades do marégrafo via nivelamento geométrico.

Cazenave (1999), tendo por base observações maregráficas estimou que o NMM global variasse em aproximadamente $1,9\text{ mm/ano} \pm 0,1\text{ mm/ano}$. As primeiras análises realizadas com dados da altimetria por satélites, onde não há influência dos possíveis movimentos da crosta, principalmente das missões T/P e ERS1 e 2, indicaram uma variação de aproximadamente $3,0\text{ mm/ano} \pm 0,1\text{ mm/ano}$ para o período de 1993-2003 (CAZENAVE *et al.*, 2003; HOLGATE, 2004; WOODWORTH, 2004). Estes valores sugerem uma aceleração na elevação do NMM.

Considerando-se uma série mais extensa das missões Topex, Jason-1 e Jason-2 para o período de 1992,96 a 2014,27 obtém-se uma variação de $2,9\text{ mm/ano} \pm 0,4\text{ mm/ano}$ (NOAA, 2014). No entanto, considerando-se apenas o ano de 2013 tem-se, com a utilização dos dados do Jason-2, uma variação de aproximadamente $3,3\text{ mm/ano} \pm 0,3\text{ mm/ano}$ que pode indicar uma aceleração em épocas mais recentes (AVISO, 2014).

A discrepância entre o NMM e o geoide, a TNMM, afeta direta e indiretamente as redes altimétricas com DVs definidos na forma clássica (GERLACH & RUMMEL, 2012). A determinação da TNMM em áreas costeiras é extremamente complexa e, em geral tem sua determinação vinculada à solução do PVCG no DV com diversas abordagens possíveis, conforme apontado por De Freitas *et al.*, (2007). Não pode ser obtida diretamente dos MDTs globais (DALAZOANA, 2006) em vista da perda de resolução destes em áreas costeiras. A recuperação e análise das séries temporais de dados maregráficos e de outras grandezas associadas à dinâmica costeira são alguns dos pressupostos para entender a evolução do NMM em uma região.

Em vista dos aspectos referidos nos parágrafos precedentes, um DV moderno deve ter sua relação espaço-temporal com um SVRG, estabelecendo para isto a fixação da sua posição geocêntrica, solução do PVCG e modelagem de sua evolução temporal. Diante de toda a discussão apresentada anteriormente, no Quadro 1 resume-se a relação dos Sistemas e redes altimétricas fundamentais em uma visão clássica versus uma visão moderna.

Quadro 1: Datum e Sistema de Altitudes em uma Visão Clássica e Moderna

	Clássico	Moderno
Datum	NMM observado entre duas épocas, preconizado que, idealmente maior ou igual a 18 anos. Nível de referência $H=0\text{m}$ ou nível de referência nacional para países não oceânicos	Geopotencial de referência W_i , do qual se conhece sua relação com um geopotencial de referência global W_o vinculado a um SVRG.
Sistema de Altitudes	Altitudes Niveladas associadas com correções teóricas ou reais do campo da gravidade.	-Mapa geoidal/ GNSS (nivelamento) -Nivelamento associado à gravimetria formando sistema de altitude física baseada em números geopotenciais.

4. MONITORAMENTO DO DVB-I

Em geral, os DVs são inconsistentes entre si, pois foram obtidos em épocas distintas e sujeitos a efeitos geostróficos locais associados a variações estéricas e eustáticas distintas. Na América do Sul, a maior parte dos DVs foram definidos a partir de observações do nível do mar. As redes verticais foram estabelecidas considerando que o NMM coincide com o geóide, neste caso com o geóide local, como mostra a Figura 3, onde se observa que h é a altitude elipsoidal do ponto P, H é a altitude ortométrica desse mesmo ponto e N é a altitude geoidal.

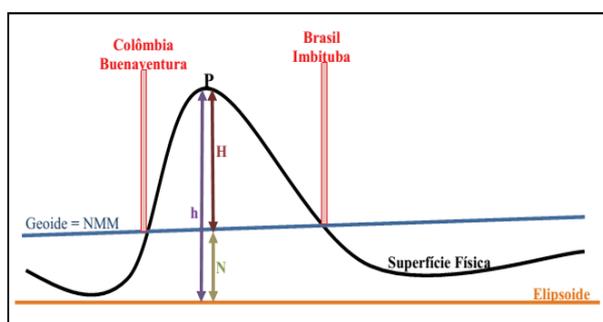


Fig. 3 - Definição dos Data Verticais Clássicos. Fonte: Adaptado de IBGE (1997)

Em particular no DVB-I utilizou-se o mínimo recomendado de 9 anos de observações referentes ao NMM entre as décadas de 40 e 50 (ALENCAR, 1996). Assim como na grande maioria das realizações dos DVs dos outros países, na realização do DVB-I, não se considerou a TNMM, isto devido ao fato de considerar que o NMM na forma clássica é igual ao geóide. Este tipo de desconsideração introduz dificuldades para o estabelecimento de redes geodésicas e integração de redes nacionais em estruturas continentais, porém era a única forma de realização possível na época.

Pormenores desta consideração podem ser vistos em: Hernández *et al.* (2002) e em De Freitas *et al.* (2002). Na atualidade, passou a ser uma preocupação prioritária da comunidade geodésica os efeitos indiretos da TNMM no DV e, por conseguinte em toda a rede a ele vinculada, principalmente no cálculo de anomalias da gravidade e em outras aplicações que exijam reduções gravimétricas dependentes das altitudes (GATTI *et al.*, 2012).

Como cada DV apresenta uma discrepância

relativa a uma superfície equipotencial global, o uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já não pode ser mais aceito, pois o seu W_i é ajustado ao NMM em dada época no passado, mas não coincide com o W_0 devido a TNMM, pois ela é distinta em cada marégrafo. Na Figura 4 apresentam-se os maiores problemas relacionados com a conexão de redes verticais evidenciando que cada DV é referido a uma superfície equipotencial particular (potencial W_i) associada ao NMM no marégrafo em uma determinada época, o qual geralmente não coincide com o geóide global e nem com o NMM atual.

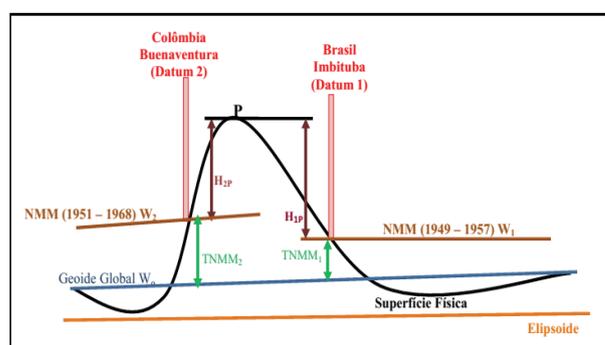


Fig. 4 - Problemas relacionados com a conexão de redes verticais. Fonte: Adaptado de IBGE (1997)

Com a análise da Figura 4 observa-se que se trata da abordagem do sistema moderno, onde o ponto P possui uma altitude nivelada (H_{1P}) com relação ao DV₁ (potencial W_1) e uma altitude nivelada (H_{2P}) com relação ao DV₂ (potencial W_2). A discrepância que há entre o NMM e o W_0 é a TNMM.

A estimativa da TNMM é realizada tendo como valor de referência o W_0 fundamental e buscando determinar a diferença do geopotencial ΔW , ou seja, a diferença de potencial entre o Datum Vertical Local (DVL) de uma Rede Vertical Fundamental (RVF) e o SVRG (Figura 5). Geralmente essas diferenças estão associadas com os efeitos de anomalias locais de massas continentais e oceânicas, e não são resolvidas por modelos globais, influenciando na TNMM que pode ser inferida da relação de Bursă *et al.* (2002):

$$TNMM_i = \frac{\Delta W_i}{\gamma_i} \quad (2)$$

Na equação (2) γ_i é o valor da gravidade normal no elipsoide de nível para a latitude do ponto i e $\Delta W = W_0 - W_i$, por exemplo, calculado para a posição do DVL, referido ao modelo elipsóidico relativamente ao qual é expressa a posição do geóide global. Estas relações estão apresentadas na Figura 5.

Palmeiro *et al.* (2013) trataram de diversas facetas da solução do PVCG nas formas livres e fixadas junto ao DVB-I, mostraram que a associação dos geóides gravimétricos locais com o pretendido geóide global com geopotencial W_0 envolve uma série de problemas associados, onde estes são consequências dos distintos Níveis de Referência (NRs) envolvidos além das resoluções das diversas bases de dados utilizadas, conforme pode ser visto na Figura 6.

Apresentam-se na Tabela 1 as relações dos zeros de referência com os níveis de referência de carácter global (EGM2008), nível de referência geométrico (SGR80/SIRGAS2000) e os NRs locais no DVB-I. Ressalta-se que a existência

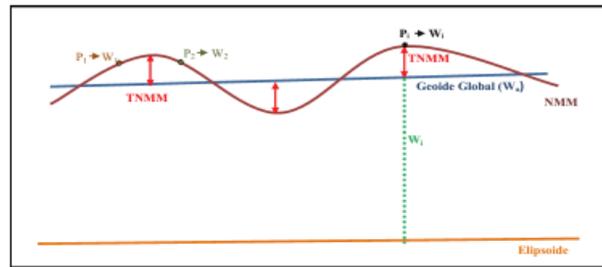


Fig. 5 - Estimativa da TNMM com adoção de um geóide global.

de distintas bases de dados é um problema na conexão da RVFB a um SVRG pelo fato dos dados serem oriundos de fontes, resoluções espaciais e referenciais distintos. A TNMM, do ponto de vista geométrico, pode ser calculada como uma diferença, conhecendo-se apenas a altitude elipsoidal do NMM e a altitude geoidal (N) dada por um MGG ou mapa geoidal. Isto, no entanto, é uma simplificação que não se coaduna com a visão atual da Geodésia, tal como previsto pelas especificações do GGOS. É necessário

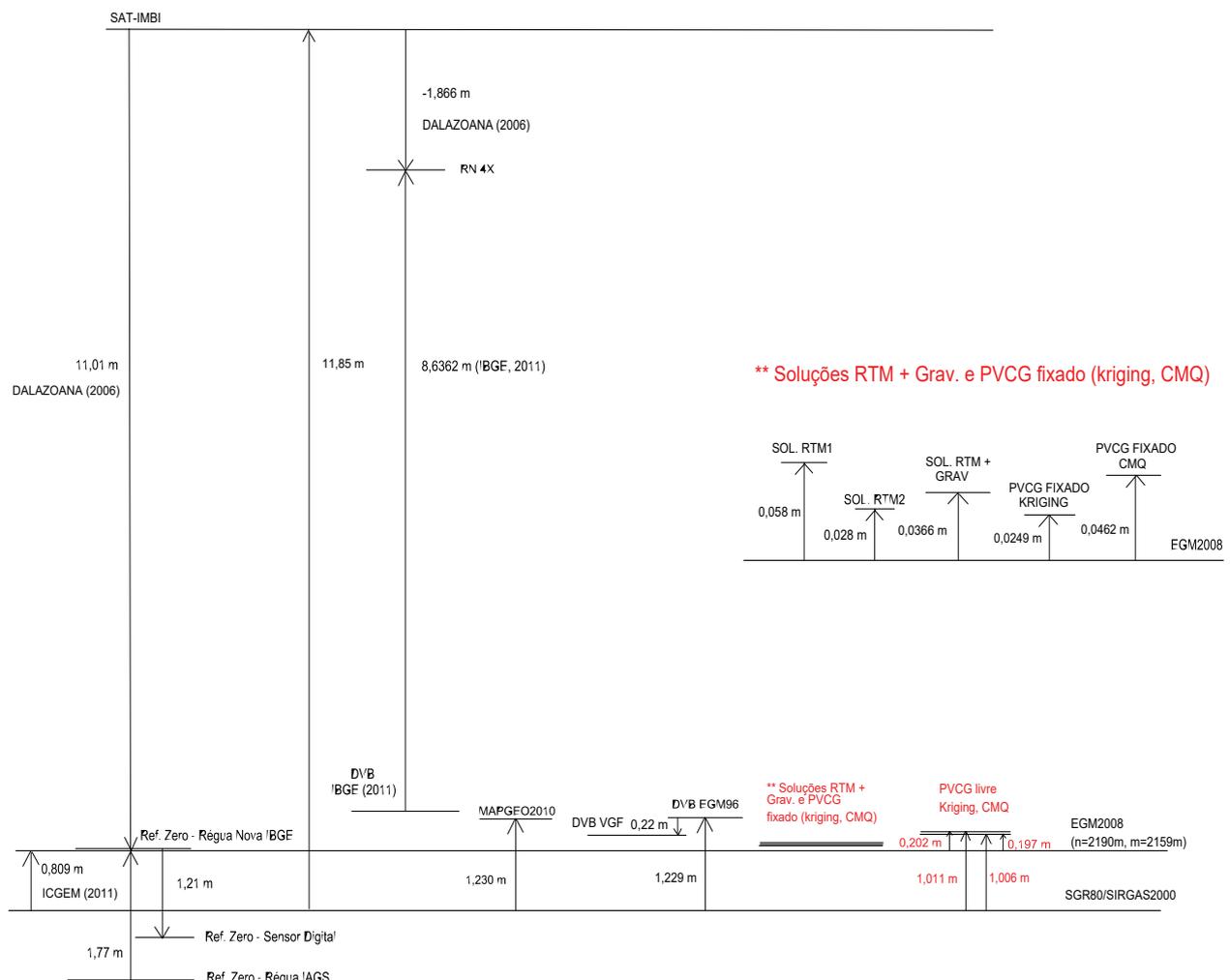


Fig. 6 - Níveis de referência no DVB – I. Fonte: Palmeiro (2011).

considerar efeitos físicos adicionais na região do DV além de considerar aspectos da interação oceano-continente e efeitos geodinâmicos (DE FREITAS *et al.*, 2007).

Tabela 1: Níveis de Referência zero do DVB-I

Referência Zero			
Relação	Régua IAGS (m)	Sensor Digital (m)	Régua Nova IBGE (m)
Régua IAGS	0	-0,566	-1,77
Sensor Digital	0,566	0	-1,21
Régua Nova	1,77	1,21	0
SGR80	0,961	0,401	-0,809
EGM2008	1,77	1,21	0
ICGEM (2011)	1,77	1,21	0
Altura Geoidal do DVB (EGM96)	2,187	1,627	0,417
Altura Geoidal do DVB (VGF* 2008)	1,967	1,407	0,197
MAPGEO (IBGE)	2,188	1,628	0,418

* Vagner Gonçalves Ferreira (2008).

Na atualidade, a TNMM é, em geral, derivada a partir de missões de altimetria por satélites, as quais permitem a determinação do nível do mar com relação ao elipsoide, porém com acentuada perda de resolução em áreas costeiras. A Figura 7 mostra do ponto de vista geométrico, como a estimativa da TNMM pode ser descrita a partir da altitude do NMM (referida ao elipsoide) e da altitude geoidal (N), utilizando dados de altimetria por satélites e observações maregráficas.

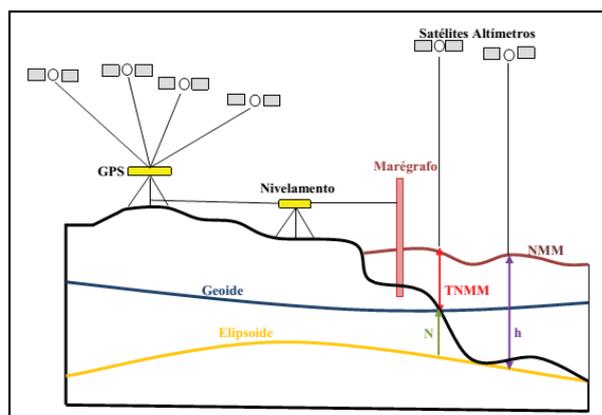


Fig. 7 - Relações da determinação da TNMM via altimetria por satélites e registros maregráficos. Fonte: Adaptado de BOSCH *et al.* (2006)

Segundo De Freitas *et al.* (2007), a relação da TNMM, obtida da altimetria por satélites em áreas oceânicas abertas (ou afastadas da linha de costa), com alguma superfície equipotencial em área costeira, pode ser obtida com sua extensão até a costa com base em modelos considerando efeitos geostróficos. Assim, é necessário o conhecimento de efeitos locais da dinâmica dos oceanos e de componentes anômalas do geopotencial com comprimentos de onda menores que os contidos em MGGs desenvolvidos em harmônicos esféricos.

No Brasil, Dalazoana (2006) considerou os efeitos relativos entre a área amostrada, afastada da costa, com altimetria por satélites, e a superfície equipotencial definida por alguns marégrafos costeiros no Brasil. No referido estudo, obteve a correlação de séries temporais de dados com marégrafos, e a missão T/P para o período de 1992 a 2002. Desta forma, foi possível então estimar a evolução temporal do NMM em áreas costeiras, para a região do DVB-I, com base no período onde existiam observações da altimetria por satélites T/P. Esta foi uma estratégia fundamental para modelar a evolução do NMM e ligar antigas séries temporais do nível mar com o novo marégrafo com sensor instalado em Imbituba no ano de 2001 e parte integrante da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) do IBGE.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para a análise do nível médio do mar com a utilização de dados provenientes da altimetria por satélites, observações maregráficas e GNSS, de forma integrada ou aplicando-se cada técnica separadamente. Wagner *et al.* (1994) utilizaram dados da missão TOPEX/Poseidon associados com análise de maré. Novotny *et al.* (2006) realizaram a combinação de dados de altimetria por satélites com observações maregráficas e um modelo oceanográfico do Mar Báltico. Scharroo e Miller (2006) realizaram a partir de dados altimétricos multi-missão uma análise da mudança global e regional do nível do mar. Beckley *et al.* (2007) fizeram uma reavaliação das tendências globais e regionais do nível médio do mar com base em dados da altimetria por satélites. Larson *et al.* (2012) utilizaram um único receptor geodésico para realizar medições do nível do mar. Löfgren *et al.* (2014) fizeram análise de séries temporais de observações GPS do nível do mar em distintos locais.

5. VELOCIDADES NO DVB-I

Com base nas velocidades das estações é possível atualizar as coordenadas de uma estação da época de referência para qualquer outra, ou conhecendo-se a época de rastreo pode-se determinar as coordenadas para a época de referência. As variações são devidas principalmente aos deslocamentos das placas tectônicas e, de forma secundária e episódica, por deformações locais (DREWES & SÁNCHEZ, 2013). Então para uma melhor estimativa da velocidade, o intervalo de tempo mínimo com dados disponíveis da série temporal GNSS deve ser de aproximadamente 5 anos (IBGE, 1997), permitindo discriminar movimentos episódicos dos seculares.

O cálculo da velocidade de cada estação pode ser realizado a partir de séries temporais, com soluções semanais. Com estas, observa-se a mudança gradual das coordenadas com o decorrer do tempo. Sendo assim, é possível detectar problemas físicos ou estruturais da estação, avaliar os efeitos geodinâmicos locais e determinar a velocidade das estações (SILVA *et al.*, 2010). As estações, quando localizadas próximo ao encontro de duas placas litosféricas apresentam um comportamento temporal mais irregular do que em relação às estações sobre partes estáveis das mesmas, como, por exemplo, as estações brasileiras. Sapucci e Monico (2000) ilustram a necessidade de que nos referenciais geodésicos modernos é necessário que se leve em conta a velocidade das placas que compõem a superfície da Terra.

Segundo Drewes (2004), as coordenadas das estações vinculam-se a um sistema de referência bem definido, e mesmo sabendo que tais estações se movem com o passar do tempo, as suas coordenadas numa dada época são fixas. O SIRGAS2000 utiliza o modelo VELOCITY MOdel of Sirgas (VEMOS) para o cálculo das velocidades de pontos na América do Sul e Caribe (DREWES & HEIDBACH, 2009), o qual tem sido sugerido pelo SIRGAS como o modelo para obter velocidade horizontal num ponto qualquer do continente Sul Americano. Ressalta-se que tal assertiva tem limitações em regiões com intensa atividade tectônica (BAEZ, 2006).

A partir dos argumentos apresentados,

considerando a região do DVB-I, foram utilizados dados das estações SIRGAS-CON da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): UFPR (Curitiba-PR), POAL (Porto Alegre-RS) e SCCH (Chapecó-SC), para estimar a posição da estação IMBT. Aplicou-se o modelo VEMOS e o processamento foi realizado com o software *Leica Geo Office 5.0* utilizando dados GNSS e efemérides precisas (IGS). Estas estações foram utilizadas para determinar as coordenadas da estação IMBT. Sendo realizado um ajustamento a partir de 3 linhas base. Elas foram escolhidas por possuírem dados disponíveis para o período de análise e formarem uma base adequada para posicionamento relativo com praticamente eliminação do efeito da ionosfera por meio da combinação L3. Também para validação dos resultados considerou-se a fixação das ambiguidades além da precisão dos pontos.

Destaca-se que foram desconsiderados os efeitos de maré terrestre e carga oceânica na predição das coordenadas das estações, em virtude do *software* utilizado. Porém vale ressaltar que os efeitos podem chegar até alguns decímetros de magnitude para bases longas (Ray, 2014). As linhas de base consideradas são inferiores a 400 km, dentro da disponibilidade da RBMC. A Tabela 2 apresenta os dados da estação de Imbituba com as coordenadas cartesianas e geodésicas no sistema de referência SIRGAS2000 na época 2000,4. Neste sentido pode-se obter uma propagação linear das coordenadas, utilizando as velocidades, como mostra a equação 3:

$$x_i = x_0 + V(t_i - t_0) \quad (3)$$

Tem-se que: X_i são as coordenadas na época de observação; X_0 são as coordenadas na época de definição do referencial; V é a velocidade da estação; t_0 é a época de definição do referencial; e t_i é a época de observação.

No processamento consideraram-se observações a partir de novembro de 2007 e os anos de 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, com algumas interrupções episódicas como é natural nas séries temporais do SIRGAS-CON. Na Tabela 3 apresentam-se os resultados das velocidades das estações trabalhadas obtidas a partir do aplicativo VEMOS 2009.

Tabela 2: Coordenadas Geocêntricas da Estação de Imbituba (IMBT)

Sirgas 2000 época 2000,4		
Características	Coordenadas Cartesianas	Coordenadas Geodésicas
Cidade - Imbituba	X (m) = 3.714.771,559	$\varphi = -28^{\circ}14'5,4220''$
UF- SC	Y (m) = -4.221.851,099	$\lambda = -48^{\circ}39'20,5970''$
Sigla - IMBT	Z (m) = -2.999.473,942	h = 31,41 m

Fonte: Adaptado de IBGE (2014).

Tabela 3: Velocidades derivadas do Modelo Sirgas VEMOS 2009

Estações	V_{Lat} (m/a)	V_{Long} (m/a)	V_x (m/a)	V_y (m/a)	V_z (m/a)
IMBT	0,0120	-0,0026	0,0018	-0,0060	0,0106
POAL	0,0123	-0,0019	0,0024	-0,0060	0,0106
SCCH	0,0122	-0,0021	0,0017	-0,0057	0,0109
UFPR	0,0120	-0,0029	0,0012	-0,0058	0,0109

Observa-se que na variação da latitude, as estações têm resultados próximos com diferenças de no máximo 0,0003m/a, enquanto que na longitude chegam até no máximo 0,001m/a. Em relação a variação da velocidade das coordenadas X, Y e Z as variações são: 0,0006 m/a; -0,0003 m/a; 0,0003 m/a, respectivamente.

Na Tabela 4 mostram-se os resultados obtidos para a estação IMBT, em diferentes épocas, aplicando as velocidades obtidas do modelo VEMOS 2009 que foram inseridas na equação (03). Para comparação apresenta-se a

estimativa das coordenadas a partir dos pós-processamentos dos dados GNSS utilizando as efemérides precisas na Tabela 5. Ressalta-se que foi realizado o cálculo da velocidade com base em soluções semanais para observação das modificações graduais. Visando simplificar as análises adotou-se em cada ano um bloco de 5 semanas para as análises comparativas, e utilizou-se como base a terceira semana de cada bloco (e.g. época 2007,87 para o primeiro bloco de cinco semanas) e assim para os demais anos como visto nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Coordenadas obtidas utilizando o Modelo de Velocidade VEMOS 2009

Época	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)	Z (m)
2007,87	-28°14'5,4190''	-48°39'20,5976''	3.714.771,572	-4.221.851,144	-2.999.473,863
2008,87	-28°14'5,4186''	-48°39'20,5977''	3.714.771,574	-4.221.851,150	-2.999.473,852
2009,87	-28°14'5,4182''	-48°39'20,5978''	3.714.771,576	-4.221.851,156	-2.999.473,842
2010,87	-28°14'5,4178''	-48°39'20,5979''	3.714.771,578	-4.221.851,162	-2.999.473,005
2011,87	-28°14'5,4154''	-48°39'20,5980''	3.714.771,580	-4.221.851,168	-2.999.474,820
2012,87	-28°14'5,4170''	-48°39'20,5981''	3.714.771,581	-4.221.851,174	-2.999.473,810
2013,87	28°14'5,4166''	-48°39'20,5982''	3.714.771,583	-4.221.851,180	-2.999.473,800

Tabela 5 - Coordenadas estimadas no processamento GNSS

Época	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)	Z (m)
2007,87	-28°14'5,4215''	-48°39'20,5956''	3.714.771,553	-4.221.851,037	-2.999.473,923
2008,87	-28°14'5,4223''	-48°39'20,5961''	3.714.771,556	-4.221.851,059	-2.999.473,934
2009,87	-28°14'5,4215''	-48°39'20,5963''	3.714.771,560	-4.221.851,071	-2.999.473,936
2010,87	-28°14'5,4222''	-48°39'20,5966''	3.714.771,563	-4.221.851,088	-2.999.473,945
2011,87	-28°14'5,4252''	-48°39'20,5970''	3.714.771,448	-4.221.851,462	-2.999.474,162
2012,87	-28°14'5,4222''	-48°39'20,5967''	3.714.771,539	-4.221.851,063	-2.999.473,926
2013,87	-28°14'5,4220''	-48°39'20,5965''	3.714.771,525	-4.221.851,040	-2.999.473,907

Na Figura 8 (a) e (b) apresentam-se os gráficos para uma melhor visualização das diferenças das coordenadas cartesianas e geodésicas, obtidas com a aplicação do VEMOS 2009 e estimadas no processamento GNSS. Na Tabela 6 apresenta-se a análise estatística da precisão da estação IMBT obtida pelo processamento das observações GNSS.

Observou-se que para todas as estações, soluções ao longo de 5 semanas variaram apenas no centésimo do segundo de arco na latitude e no milésimo do segundo de arco na longitude.

Observa-se na Figura 8(a) que o processamento GNSS resultou em coordenadas cartesianas semelhantes às obtidas com a aplicação do VEMOS, apresentando uma maior diferença apenas para a época 2011,87. Já as coordenadas geodésicas apresentadas na Figura 8 (b) obtidas nos dois métodos não apresentam uma diferença perceptível.

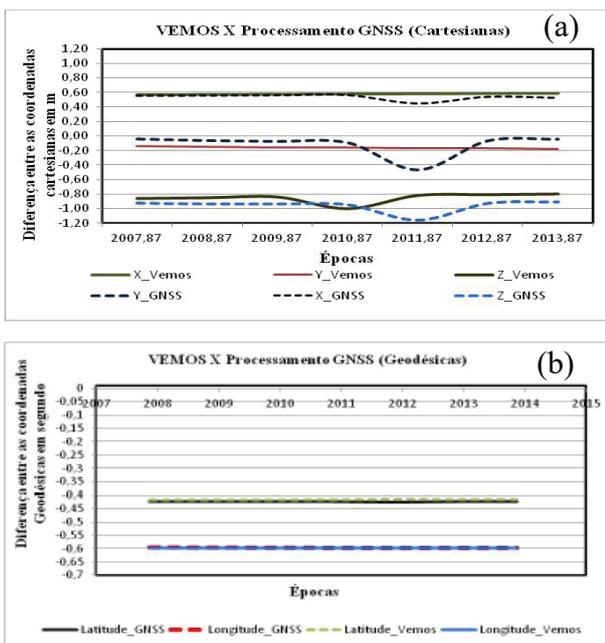


Fig. 8 - (a) Diferenças das coordenadas cartesianas, (b) Diferença das Coordenadas Geodésicas.

Tabela 6: Qualidade do Posicionamento (m) a partir de dados GNSS

Precisão do ponto	Metros	Linha de Base	Data
Média	0,0005	-	-
Mínimo	0,0001	UFPR	15/11/2010
Máximo	0,0214	SCCH	19/11/2013

Após a estimativa de coordenadas pelo processamento GNSS em diferentes épocas para a estação IMBT, foram estimadas as velocidades para esta estação com base nestas coordenadas como mostra a Tabela 7. Na tabela 7 também apresentam-se as velocidades obtidas a partir do modelo VEMOS 2009.

Tabela 7: Velocidades estimadas e derivadas para a estação IMBT

Velocidades Estimadas do processamento		Velocidades Derivadas do VEMOS	
V_{up} (m/a)	-0,0002	V_{up} (m/a)	-
V_{Lat} (m/a)	0,0115	V_{Lat} (m/a)	0,0120
V_{Long} (m/a)	-0,0017	V_{Long} (m/a)	-0,0026
V_x (m/a)	0,0021	V_x (m/a)	0,0018
V_y (m/a)	-0,0074	V_y (m/a)	-0,0060
V_z (m/a)	0,0114	V_z (m/a)	0,0106

Analizando as velocidades derivadas do modelo VEMOS e as estimadas pelo processamento GNSS verifica-se que ambas são similares. Dalazoana *et al.* (2007) ao realizar um trabalho utilizando o *software* Bernese 5.0 para a determinação das velocidades e realizar a comparação com as velocidades obtidas no VEMOS para a estação IMBI obteve valores de velocidades similares aos encontrados com a presente análise sobre período muito mais longo.

6. POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO DVB-I

Para realização da análise do comportamento da coordenada vertical ou altimétrica utilizou-se a Média Móvel Simples (MMS), como mostra a equação (4).

$$MMS = \frac{\sum_{i=1}^n V_n}{n} \quad (4)$$

Da equação (4), tem-se que: n é o número de períodos (anos) e V o valor numérico da coordenada vertical. Utilizou-se esta média por ser bastante útil quando se deseja determinar o comportamento da variável retratada na série temporal, pois ela atua como um filtro linear o qual converte uma série temporal ruidosa em outra suave por uma operação linear. A partir desta base de dados obteve-se a variação da altitude elipsóidica anual de Imbituba com uma MMS de 3 períodos. A avaliação da série

anual original foi realizada com base no Erro Médio Quadrático (EMQ) em relação aos dados suavizados, ou seja, foram retirados os ruídos, representados pelas oscilações mais fortes, tornando mais simples entender o comportamento da coordenada vertical.

Na Figura 9 observa-se a série original e a série com aplicação da MMS para análise da velocidade vertical da crosta local. Os aspectos levantados são os utilizados para a distinção de movimentos verticais e de variações do NMM junto ao DVB-I.

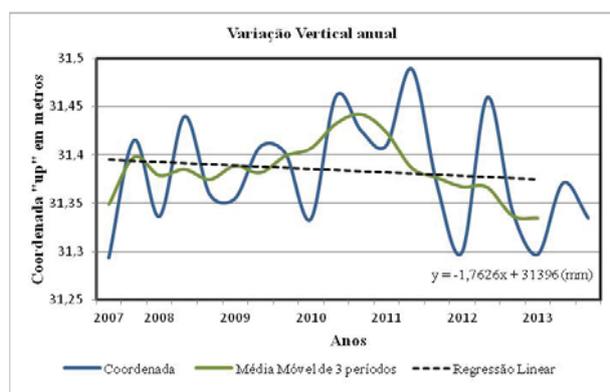


Fig. 9 - Variação da coordenada vertical anual de Imbituba obtida pelo processamento de dados GNSS

A partir da Figura 9 observa-se que a velocidade vertical local da crosta tem uma taxa de variação de -1,76 mm/ano. De Freitas *et al.* (2007) utilizando dados de GPS obtiveram uma taxa de variação de -1,6 mm/ano, semelhante ao encontrado neste trabalho utilizando dados GNSS. Os resultados encontrados neste trabalho serão utilizados para estimativa da evolução temporal real do NMM local.

7. VARIAÇÃO DO NMM NO DVB-I

O monitoramento diário e permanente do Nível do Mar assim como do movimento da crosta com apoio da RMPG e RBMC respectivamente, possibilita a determinação da variação atual do NMM. As observações recentes indicam uma variação na taxa de aceleração do NMM, dependente do período considerado.

A determinação da taxa média global da variabilidade do nível do mar a longo prazo é complicada devido ao pequeno número de mareógrafos para registros, além de que sua maior concentração ocorre no hemisfério

norte (HOUSTON e DEAN, 2011). Apesar da altimetria por satélites fornecer uma série temporal de dados mais curta (cerca de 22 anos até o presente) quando comparada com a série temporal de dados provenientes de mareógrafos (existem séries de mais de 150 anos de observações), mesmo assim é uma técnica promissora para a detecção de variações no NMM porque o faz de forma independente de movimentos crustais e com grande cobertura espacial.

A integração de técnicas tais como altimetria por satélite e dados de mareógrafos podem ser empregadas no monitoramento das variações e da evolução do NMM desde que acompanhados do monitoramento de deslocamentos da crosta. Tal é a possibilidade advinda da utilização de séries temporais de dados de altimetria, de maregrafia e GNSS. Assim, é possibilitada a detecção de movimentos de crosta necessários para obtenção de variações absolutas do NMM. Estes são certamente pressupostos para a modelagem do DVB-I de forma a evitar que movimentos verticais de crosta sejam interpretados como variações do NMM.

Para a análise da evolução do NMM relativo de Imbituba utilizou-se 597.254 observações maregráficas, tomadas a cada 5 minutos onde se aplicou um filtro para obtenção de observações horárias. Na Tabela 8 apresentam-se as características das observações do mareógrafo do DVB-I do período de novembro de 2006 a agosto de 2014, onde se aplicou MM de 12 períodos.

As observações maregráficas em Imbituba são realizadas com um mareógrafo mecânico (diário) e um digital. A estação maregráfica de Imbituba conta com sensores de pressão Druck/GE 1880 controlados por *dataloggers Squiter A1000*, que coletam e registram informações de nível d'água com intervalo de 5 minutos (IBGE, 2013).

Tabela 8: Característica das observações diárias de novembro de 2006 a agosto de 2014 do NMM relativo em Imbituba

Observações	Metros	Data
Média	1,855	-
Mínima	0,04	17/03/2011
Máxima	3,22	19/10/2012

Na Figura 10 observa-se a série original e a série com a aplicação da MM para análise da evolução do NMM mensal. Os aspectos levantados são os utilizados para a distinção de movimentos verticais e de variações relativas do NMM junto ao DVB - I. Após aplicação da MM pode-se obter a tendência sem influência de sazonalidade, conforme possibilitado pelas equações:

$$\bar{h} = \frac{n * \sum_{i=1}^n (t_i * y_i) - \sum_{i=1}^n t_i * \sum_{i=1}^n y_i}{n * \sum_{i=1}^n (t_i^2) - \sum_{i=1}^n (t_i)^2} \quad (5)$$

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) - \bar{h} * \sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (6)$$

Das equações acima, tem-se que y_i é o valor das observações da variável registrada, t_i é o período associado a y_i e n é o número de períodos da série. Com estas equações pode-se projetar nos próximos anos a evolução do NMM relativo, considerando-se a tendência encontrada. Nas equações (5) e (6) tem-se \bar{h} o coeficiente angular da reta e \bar{r} o coeficiente linear, onde a tendência é dada por: $T = \bar{h} * t + \bar{r}$. Logo T é a tendência e t é o tempo.

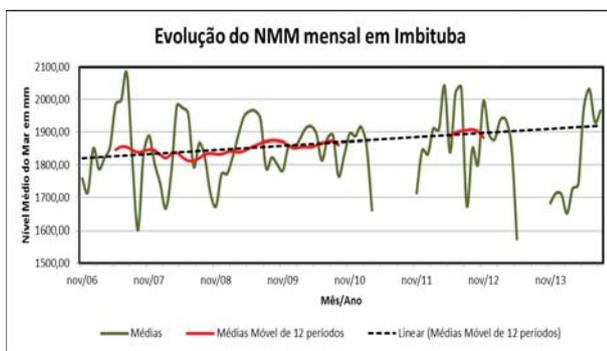


Fig. 10 - Evolução do NMM mensal em Imbituba

A Figura 10 apresenta a evolução do NMM mensal em Imbituba onde se observa que do período de dezembro de 2010 a outubro de 2011 há uma descontinuidade de observações de dados no marégrafo, sendo assim, não se pode afirmar se houve um decréscimo ou acréscimo na variação da taxa do NMM. O mesmo fato aconteceu de junho de 2013 a outubro de 2013. Constata-se que possivelmente houve uma mudança da referência zero do sensor do marégrafo. Na análise anual na Figura 10 a variação do NMM relativo é de 4,13 mm/ano

e a velocidade vertical da crosta na Figura 9 é de -1,76 mm/ano, logo a variação do NMM em relação ao centro de massa da Terra local é de $2,4 \pm 0,2$ mm/ano. Estes resultados apresentam-se dentro do intervalo dos resultados de elevação global do T/P, Jason 1 e Jason 2 para o período de 1992 a 2014 que indicam uma elevação global de $2,9 \pm 0,4$ mm/ano (NOAA, 2014) e os 2mm/ano obtidos com apoio na integração de observações maregráficas e altimetria por satélites obtidos por Dalazoana e De Freitas (2006).

8. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados baseados apenas em dados maregráficos mostram uma elevação no NMM do Porto de Imbituba de 4,13 mm/ano. Levando em consideração a discriminação do movimento vertical da crosta, observa-se que a variação do NMM (de forma absoluta) é de $2,4 \pm 0,2$ mm/ano.

A partir das médias móveis pode-se obter a tendência das variáveis ao longo do tempo de uma forma mais evidente, de forma que se pode avaliar tendências ou projeções com maior segurança.

Ficou evidenciada a evolução do NMM na região do DVB-I pela determinação da variação temporal da posição geocêntrica do marégrafo associada com a análise dos dados maregráficos.

Alguns aspectos podem ainda ser considerados na região do DVB-I, destacando-se a obtenção de séries temporais mais longas com a incorporação de séries mais antigas, além das utilizadas nesse trabalho. Certamente, a velocidade vertical da crosta determinada neste estudo é fundamental para tal incorporação. Outro aspecto a ser considerado como futura adição ao presente estudo de evolução temporal do DVB - I é o da integração das séries temporais, aqui trabalhadas, com dados da altimetria por satélites, Modelos Globais do Geopotencial e Modelos da Topografia Dinâmica do NMM, além da utilização de um software científico para o processamento dos dados GNSS que possibilite a correção de carga oceânica, uso de modelos troposféricos, entre outras melhorias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J. C. M. Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem. **Conferência Nacional de Geociências**, IBGE, Rio de Janeiro,

1968. 22 p.

AVISO. Disponível em: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/oceanindicatorsproducts/actualitesindicateurs-des-oceansniveau-moyen-desmersindexhtml.html>. Acessado em 30/09/2014 às 15:24

BÁEZ SOTO, J. C. **Monitoramento das Deformações da Rede de Referência do SIRGAS em área com Atividade Tectônica**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2006.124 p.

BECKLEY, B. D.; LEMOINE, F. G.; LUTHCKE, S. B.; RAY, R. D.; ZELENSKY, N. P. A reassessment of global and regional mean sea level trends from TOPEX and Jason-1 altimetry based on revised reference frame and orbits. **Geophysical Research Letters**. Vol. 34. L14608. p. 1-5, julho, 2007. doi: 10.1029/2007GL030002

BOSCH, W.; FENOGLIO-MARC, L.; WÖPPELMAN, G.; MARCOS, M.; NOVOTNY, K.; SAVCENKO, R.; KARPYTCHEV, M.; NICOLLE, A.; BECKER, M.; LIEBSCH, G. Coastal Sea Surface Topography - a Synthesis of Altimetry, Gravity, and Tide Gauges. **In: AVISO Newsletter**. No 11, CNES, 2006.

BURSĂ, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; RADEJ, K.; VATRT, V.; VOJTISKOVA, M.; SIMEK, J. World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. **In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). Vertical Reference Systems. IAG Symposia 124, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer, Berlin**. P. 291-296, 2002.

CASTRO, H. M.; CORDERO, A. C.; DEFREITAS, S. R. C. Study of the Chilean Vertical Network through Global Geopotential Models and the CNES CLS 2011 Global Mean Sea Surface. **Boletim de Ciências Geodésicas**. V. 20, nº 2, P.300-316, 2014.

CAZENAVE, A. Les Variations Actuelles du Niveau Moyen de la Mer. **Earth & Planetary Sciences**, nº 329, 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 Symposia 126: Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography. Hwang, C., Shum, C.K., Li, J. (eds) vol. 126, Springer, Berlin, p. 23-31, 2003.

CORDINI, J. **Aspectos Geodinâmicos no Datum da Rede Altimétrica do SGB**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 1998.183 p.

COSTA, S. M. A.; DA SILVA, A. L.; LIMA, M. A. A.; DE MOURA JÚNIOR, N. J. Centro de Análise Sirgas – IBGE: Novas Estratégias de Processamento e Combinação, e a Influência da Mudança do Referencial Global nos Resultados Sirgas. **Boletim de Ciências Geodésicas: Artigos**. Vol. 18, nº 1, p. 63-85, jan-mar, 2012.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C. Estudos do NMM a partir de Séries Temporais Maregráficas e de Altimetria por Satélites visando a Integração da Rede Vertical Brasileira ao SIRGAS. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 57/02, 2005.

DALAZOANA, R. **Estudos dirigidos à análise temporal do Datum Vertical Brasileiro**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2006.188 p.

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. Estudos Dirigidos à Análise Temporal do Datum Vertical Brasileiro. **Boletim de Ciências Geodésicas: Resumos**. Vol. 12, nº 1, p. 173-174, jan-jun, 2006.

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C.; BAEZ, J. C.; LUZ, R. T. Brazilian Vertical Datum Monitoring - Vertical Land Movements and Sea Level Variations. **In: International Association of Geodesy Symposia: Dynamic Planet**. Volume 130, Cap. 12, P.71-74, 2007

DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C. Os Efeitos Dinâmicos e a Evolução Temporal do Datum Vertical Brasileiro de Imbituba. **In: Reunion Sirgas 2013, Cidade de Panamá**. Resumo, 2013.

DREWES, H. Procesamiento de información GPS com relación a marcos de referencia de épocas diferentes. **In: SIRGAS Workshop, Aguascalientes: México. Dezembro, 2004**.

- Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol08/11_Drewes_Velocidades.pdf
- DREWES, H.; HEIDBACH, O.. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). **IAG Scientific Assembly “Geodesy for Planet Earth”**. Buenos Aires, Argentina. **August 31 to September 4, 2009**. IAG Symposia Series, 2009.
- DREWES, H.; SÁNCHEZ, L. Modelado de deformaciones sísmicas en el mantenimiento de marcos geodésicos de referencia. **In: Reunión SIRGAS, Ciudad de Panamá, Panamá, 24-26 de octubre de 2013**. Disponível em: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol18/36_Drewes_Sanchez_2013_Modelado_deformaciones_sismicas.pdf.
- DE FREITAS, S. R. C. **Marés gravimétricas: Implicações para a placa Sul-Americana**. PhD. Thesis, IAG/University of São Paulo, 1993, 264 p.
- DE FREITAS, S. R. C.; MANTOVANI, M. S. M.; MELCHIOR, P.; SHUKOWSKY, W. Some implications of the gravity tides in the South American plate. **In: Earth Tides, ed. H. Hsu, Science Press, New York, p. 387-393, 1995**.
- DE FREITAS, S. R. C.; CORDINI, J.; KRUEGER, C. P.; SANTOS, M. C. The Geocentric position of the Brazilian Vertical Datum. **International Symposium on Marine Positioning: “United Nations Year of the Oceans”**. Florida Institute of Technology Melbourne, FL, USA. P. 230-240, 1998.
- DE FREITAS, S. R. C.; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. Associated Problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them. **In: IAG Symposia, Vol. 124: Vertical Reference Systems; , In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.)**. Springer, Berlin. p. 318-323, 2002.
- DE FREITAS, S. R. C. Estratégias para uma nova definição do Datum Vertical Brasileiro e realização da Rede Vertical Brasileira visando suas integrações com o SIRGAS. **In anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP, p. 440-446, 2007**.
- DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; HECK, R.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S. Refining Brazilian Vertical Datum by integrating satellite altimeter data and local geopotential anomalous component. **In: IUGG/ XXIV, 2007**.
- DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; FERREIRA, V. G. The spatial age and the new paradigms in Geodesy: implications for surveying and mapping in Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia, 64/6: 845-861, 2012**.
- DOUGLAS, B.C. Global sea level acceleration. **Journal of Geophysical Research. 97(C8), P. 12699–12706, 1992**.
- FARREL, W.E. Deformation of the Earth by surface loads. **In: Reviews of Geophysics and Space Physics, N°. 10, p. 761-797, 1972**.
- FERREIRA, V. G. **Análise da Componente Anômala do Geopotencial no Datum Vertical Brasileiro com Base no Sistema Lagunar de Imarui, SC**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2008.116 p.
- FU, L., CAZENAVE, A. Satellite Altimetry and Earth Sciences – A handbook of techniques and applications. **In: International Geophysics Series, v. 69. USA, 2001**.
- GATTI, A.; REGUZZONI, M.; VENUTI, G. The height datum problem and the role of satellite gravity models. **Journal Geodesy: Springer-Verlag. DOI 10.1007/s00190-012-0574-3, 2012**.
- GERLACH, C; RUMMEL, R. Global height system unification with GOCE: a simulation study on the indirect bias term in the GBVP approach. **Journal of Geodesy (Online First™)**. DOI 10.1007/s00190-012-0579-y, 14th July 2012.
- HECK, B. Problems in definition of Vertical Reference Frames. **In: Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy**. Springer. IAG Series, vol. 127. p. 164-173.2004.
- 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, p. 324-327/2002, .
- HOLGATE, J.R. AND WOODWORTH, P.L. Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990's. **In: Geophysical Research Letters**, vol. 31, p. 1-4, 2004.
- HOUSTON, J. R.; DEAN, R. G. Sea-Level Acceleration Based on U.S. Tide Gauges and Extensions of Previous Global-Gauge Analyses. **In: Journal of Coastal Research**. Vol. 27, N^o. 3, P. 409-417, 2011.
- IBGE: **SIRGAS - Relatório Final: Grupos de Trabalho I e II**. Brasil, 1997.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório de Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2001-2012. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/RMPG/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2013_GRRV.pdf. Acesso em 10 de agosto de 2015.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estações no sistema de referência SIRGAS na época 2000,4 homologadas pelo IBGE**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.php, 2014. Acesso 10 de maio de 2014.
- IHDE J., AMOS M., HECK B., KERSLEY B., SCHÖNE T., SÁNCHEZ, L.; DREWES H., 2007, **Conventions for the definitions and realization of a conventional vertical reference system (CVRS)**, URL: http://whs.dgfi.badw.de/fileadmin/user_upload/CVRS_conventions_final_20070629.pdf.
- 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.
- LARSON, K. M. LÖFGREN, J. S.; HAAS, R. Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. **In: SciVerse ScienceDirect: Advances in Space Research**. Vol. 51, p. 1301-1310, 2013.
- LEMOINE, F. G.; SMITH, D. E.; KUNZ, L.; SMITH, R.; PAVLIS, E.C.; PAVLIS, N.K.; KLOSKO, S. M.; CHINN, D. S.; TORRENCE, M. H.; WILLIAMSON, C. M.; COX, C. M.; RACHLIN, K. E.; WANG, Y. M.; KENYON, S. C.; SALMAN, R. TRIMMER, R.; RAPP, R. H.; NEREN, R. S. The development of the NASA – GSFC and the NIMA Joint Geopotential Model EGM 96. **In: NASA/TP**. Vol.117. P. 461-469, 1997.
- LÖFGREN, J. S.; HAAS, R. SCHERNECK, H. Sea level time series and ocean tide analysis from multipath signals at five GPS sites in different parts of the world. **Journal of Geodynamics**. Vol. 80, p. 66-80, 2014.
- LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro. **In: VII Congresso Internacional de Ciências de la Tierra. Santiago-Chile**. Outubro:2002.
- LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. **In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba- PR. Maio:2003.
- LUZ, R. T.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; MIRANDA, F. A.; PALMEIRO, A. S.; JAMUR, K. P. Possibilidades de Integração de dados Gravimétricos à Rede Altimétrica Do SGB para Cálculo de Altitudes Sirgas no Brasil. **In: I SIMGEO**, 2006.
- LUZ, R. T. **Estratégias para Modernização da Componente Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua Integração ao SIRGAS**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2008. 233 p.
- NOAA. **Medições de Altimetria por satélite pela NOAA das tendências do Nível do Mar: 1992-2014**. Disponível em: http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/SeaLevelRise/slr/map_txj1j2_spectrum.png. Acessado em 14 de maio de 2014.
- NOVOTNY, K.; LIEBSCH, G.; LEHMANN, A.; DIETRICH, R. **Combining Satellite Altimetry, Tide Gauge Observations and an Oceanographic Model to Derive the Baltic Sea Mean Sea Surface Topography**. EESA CNES,

15 years of progress in Radar Altimetry. Venice, 2006. Disponível em: <http://earth.esa.int/cgi-bin/confalt15yd918.html?abstract=412> e http://www.researchgate.net/publication/233200099_Variability_of_Sea_Surface_Heights_in_the_Baltic_Sea_An_Intercomparison_of_Observations_and_Model_Simulations

PALMEIRO, A. S **Análise do Vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes com Base em Soluções Fixadas e Livres do PVCG**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, 2011. 159 p.

PALMEIRO, A. S.; DE FREITAS, S. R. C.; DALAZONA, R. Análise do vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 65/6: 1097-1111, 2013.

RAY, R. D. Ocean Tide Loading model. In: **IGSMail-5167**, disponível em <<http://igsceb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2005/msg00089.html>>, Acesso em 12 abril 2014.

SAPUCCI, L.F.; MONICO, J. F. G. Transformação de Helmert Generalizada no posicionamento de alta precisão: Fundamentação teórica e exemplificações. **Revista Brasileira de Geofísica**, Vol. 18. P.161-172, 2000.

SCHARROO, R.; MILLER, L. **Global and Regional Sea Level Change from Multi-Satellite Altimeter Data**. P. 1-6. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/260274297_Global_and_Regional_Sea_Level_Change_from_Multi-Satellite_Altimeter_Data

SILVA, A. L.; COSTA, S. M. A.; VAZ, J. A. Deslocamento das Estações SIRGAS-CON em Função do Terremoto ocorrido no Chile – Uma Abordagem do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife – PE**. Julho, 2010

VANDAM, T.M.; BLEWITT, G. & HEFLIN, M.B. Atmospheric pressure loading effects on Global Positioning System. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 99, Nº. B12, p. 23939-23950, 1994.

WAGNER, C. A.; TAI, C. K.; KUHN, J. M. Temporal variability of global Topex/Poseidon altimetry: tide and annual signals? **Bulletin Geodesique**. Vol. 69, p. 244-251, 1995.

WOODWORTH, P. L. **Monitoring and Predicting Long Term Global Sea and Level Level Changes**. 2004. Disponível em: <http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint>. Acesso em: 10 de maio de 2014.