CONTROLE VERTICAL DAS RRNN E DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO NO PORTO DE IMBITUBA

Dalazoana, R. [1]; Luz, R.T. [1,2]; Lima, S.R.S. [1]; Miranda, Fr.A. [1]; Palmeiro, A.S. [1]; Miranda, Fa.A. [1] e Freitas, S.R.C.[1]

1- Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, www.cienciasgeodesicas.ufpr.br - (regiane, robtluz, reginato) @ufpr.br ; (franciely_miranda, ale_palmeiro, fabiani_miranda) @yahoo.com.br; (sfreitas) @ufpr.br
2- Coordenação de Geodésia, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, www.ibge.gov.br

RESUMO – As variações do nível do mar têm sido um tópico de grande discussão e interesse no âmbito da Geodésia quando se trata da conexão de redes clássicas de referência vertical, uso de dados da altimetria satelital e em aspectos relacionados com mudanças climáticas globais. O estudo de variações temporais do nível do mar depende também do conhecimento acerca das deformações da crosta terrestre, em especial dos movimentos verticais e de como estes movimentos afetam as observações maregráficas. A fixação da coordenada geocêntrica de uma estação nas proximidades do marégrafo, de forma que possa ser relacionada ao marégrafo por nivelamento geométrico, permite definir o Nível Médio do Mar num Sistema Geodésico de Referência geocêntrico. Como conseqüência, obtêm-se valores absolutos do nível do mar, e não relativos à estrutura na qual o marégrafo encontra-se fixo. Isto possibilita, também, a determinação do nível do mar no mesmo sistema de referência usado pela altimetria satelital, podendo, com isso, ser diretamente comparado aos valores de nível do mar obtidos por esta técnica. Neste sentido, o Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR realizou uma campanha de levantamentos geodésicos no Porto de Imbituba, Santa Catarina, no período de 9 a 19 de fevereiro de 2005, cujos principais objetivos foram: a aferição dos marégrafos (um marégrafo de bóia e um digital); determinações GPS contínuas na estação SAT-91854, usada para materializar a posição geocêntrica do marégrafo e pertencente à Rede SIRGAS; nivelamento das RRNN localizadas na área do porto; e reconhecimento da região visando futuro levantamento gravimétrico.

ABSTRACT – Sea level variations have been a subject of discussion and interest in Geodesy scope, considering the connection between classical vertical networks, the use of satellite altimetry data and in aspects related to global climate changes. The study of sea level temporal variations depends on the knowledge about crustal deformations, especially the vertical movements, and how these deformations affect the tide gauge measurements. The establishment of the geocentric coordinates of a point in the vicinities of the tide gauge, linked to the tide gauge by spirit levelling, allows the definition of the Mean Sea Level in a Geocentric Reference System. As a consequence, absolute sea level values are obtained, instead of values related to the structure where the tide gauge is fixed. Also, the sea level can be defined in the same reference system used by satellite altimetry and, then, directly compared to the sea levels obtained with this technique. In this way, the Geodetic Instrumentation Laboratory, from UFPR, carried out a geodetic campaign in Imbituba harbor, Santa Catarina State, between 9th and 19th of February 2005. The main goals were: calibration of the tide gauges (a conventional float and a digital tide gauge); continuous GPS survey at SAT-91854 SIRGAS station, used to materialize the tide gauge geocentric position; levelling of the benchmarks in the harbor area; and recognition of the region, looking for future gravimetric surveying.

PALAVRAS CHAVE: Nivelamento Geométrico, Rastreio GPS, Monitoramento Temporal, Marégrafo, Datum Vertical

1 INTRODUÇÃO

As variações no Nível Médio do Mar (NMM) têm sido um tópico de grande discussão e interesse, principalmente no debate relacionado às mudanças climáticas globais, devido ao impacto daquelas variações em regiões costeiras. Porém, o conhecimento das variações também tem importância no contexto da conexão entre diferentes redes verticais e no uso combinado de dados maregráficos com dados oriundos da altimetria satelital.

Nas últimas décadas, as variações do nível do mar têm sido estimadas a partir de observações tomadas em marégrafos. De acordo com Cazenave (1999), estas observações indicam uma elevação do NMM global de cerca de 1,9mm/ano. Aarup (2003) e Woodworth (2003) indicam que o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) em 2001 concluiu que houve uma elevação global do NMM de aproximadamente 10-20cm nos últimos 100 anos, com uma projeção de 50cm em média para os próximos 100 anos. Análises feitas com base em dados de altimetria satelital indicam uma elevação de cerca de 3mm/ano para a última década (1993-2003) (Cazenave et al., 2003; Holgate e Woodworth, 2004), sugerindo uma aceleração na elevação do NMM.

Porém, existem dois problemas relacionados com o uso de dados provenientes de marégrafos, o primeiro é a pobre distribuição geográfica de marégrafos com longo período de observações. O segundo é o de que o marégrafo mede o nível do mar com relação à estrutura em que se encontra instalado, ou seja, as observações podem estar contaminadas por movimentos da crosta (Cazenave, 1999, Cazenave et al., 2003) ou alterações estruturais locais, que seriam assumidos como variações do nível absoluto do mar. Daí a importância de estabelecer periodicamente a posição tridimensional do marégrafo com respeito a um referencial geocêntrico – com posicionamento GPS, por exemplo. O monitoramento contínuo da posição geocêntrica do marégrafo ou a realização periódica de campanhas de rastreio podem permitir a detecção de possíveis soerguimentos ou subsidências crustais.

Visando realizar o controle vertical das Referências de Nível (RRNN) localizadas na área do Porto de Imbituba, bem como o monitoramento temporal da posição geocêntrica do marégrafo, o Laboratório de Instrumentação Geodésica (LaIG) da UFPR conduziu uma campanha de levantamentos geodésicos, no período de 9 a 19 de fevereiro de 2005. Durante esta campanha foram realizadas as seguintes tarefas: aferição e verificação das condições de operação dos marégrafos (um marégrafo de bóia e um digital); rastreio GPS da estação SIRGAS SAT-91854, usada para materializar a posição geocêntrica do marégrafo; ligação da estação SIRGAS aos marégrafos e às RRNN com nivelamento geométrico; e reconhecimento da região visando futuro levantamento gravimétrico.

2 ÁREA DE ESTUDO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os levantamentos foram realizados na área do Porto de Imbituba (Figura 1), Santa Catarina, localizado a aproximadamente 400km de Curitiba e 80km de Florianópolis. Do monitoramento do nível do mar no porto de Imbituba, entre os anos de 1948 e 1957, foi definido o Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Desde julho de 2001, a Coordenação de Geodésia (CGED) do IBGE opera, em Imbituba, uma estação meteo-maregráfica no âmbito da RMPG, Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (Luz e Guimarães, 2003).

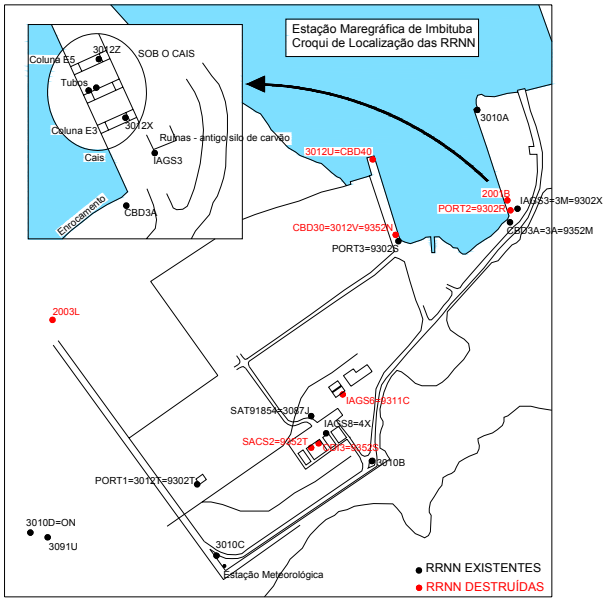

Figura 1. Croqui de localização das RRNN existentes (pontos pretos) e destruídas (pontos vermelhos) na área do Porto de Imbituba.

As operações de nivelamento foram realizadas com equipamento de alta precisão, pertencente ao LaIG, destacando-se o nível ótico Wild N3 com precisão de 0,25mm/km e miras verticais de invar.

Da mesma forma, o rastreio GPS de nove dias contínuos foi desenvolvido com equipamento compatível com a alta precisão requerida. Os equipamentos utilizados no rastreio pertencem ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR, destacando-se o receptor geodésico de dupla freqüência Ashtech Z-XII com antena geodésica e *notebook* para descarga automática dos dados.

3 PRECISÕES REQUERIDAS

De acordo com IOC (2002), estudos relacionados com o monitoramento absoluto do nível do mar e da área ao redor do marégrafo exigem determinadas precisões nas operações de nivelamento e rastreio GPS. Estas precisões estão indicadas na Tabela 1.

Técnica	Distância / Precisão
Nivelamento local	0 a 1km: < 1mm
Nivelamento em área maior	1 a 10km: < 1cm
Gravidade absoluta em pontos nas proximidades do marégrafo	< 2µGal
GPS em pontos nas proximidades do marégrafo	< 1cm

Tabela 1. Precisões requeridas nos marégrafos
Fonte: adaptado de IOC, 2002

4 AFERIÇÃO DOS MARÉGRAFOS – TESTE VAN DE CASTEELE

O Teste de Van de Casteele é usado para verificar a qualidade de um marégrafo de maneira experimental. O teste se apóia na comparação, durante um ciclo completo de maré, entre leituras realizadas a cada 15min e simultaneamente no marégrafo e em um dispositivo de medida independente, como a régua maregráfica, por exemplo (SHOM, 2004). O IOC (1985) indica que a diferença entre as duas leituras (régua – marégrafo) deve permanecer constante no tempo, para o caso de um marégrafo perfeito. Da análise da plotagem do diagrama com os resultados é possível detectar certas imperfeições e falhas do marégrafo. A Figura 2 indica algumas situações possíveis quando da plotagem do diagrama.

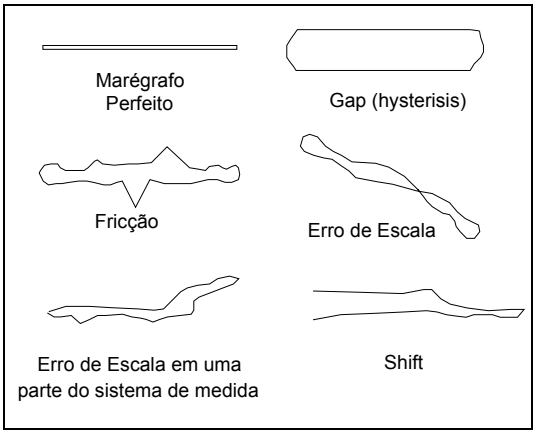

Figura 2. Possíveis características de um marégrafo no Teste de Van de Casteele

Além disso, o Teste de Van de Casteele permite determinar, de forma inequívoca, a relação entre os diferentes referenciais instrumentais ("zeros" da régua e dos marégrafos).

Este teste já foi realizado pelo IBGE em Imbituba em 4 de outubro de 2002 e 30 de junho de 2003, e repetiu-se, por ocasião desta campanha, em 10 de fevereiro de 2005. A Figura 3 mostra os resultados recém obtidos, nos quais é possível observar a boa qualidade dos dados do marégrafo convencional e um problema com o marégrafo digital. Este problema pode estar relacionado com um possível entupimento do tubo de proteção dos sensores, fato este verificado no local.

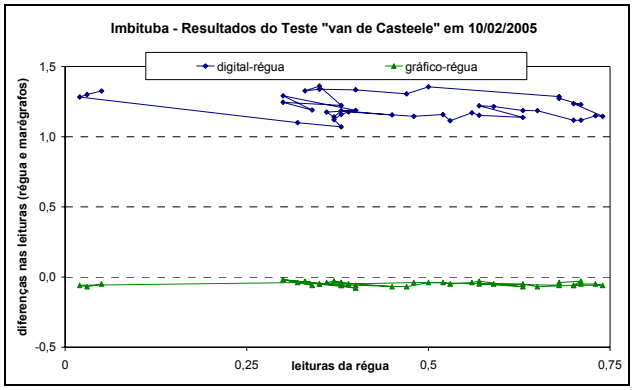

Figura 3. Resultados do Teste de Van de Casteele em fevereiro de 2005

5 CONTROLE VERTICAL DAS RRNN

As altitudes das RRNN localizadas na região do marégrafo definem a referência da rede vertical, proporcionando um possível resgate do Datum Vertical ("referência zero"), materializado pelo NMM numa determinada época. O monitoramento temporal das RRNN na região, através de nivelamento geométrico de precisão, permite a verificação da estabilidade das mesmas.

O IOC (2002) sugere a existência de, no mínimo, cinco RRNN num raio ideal de 100m, ou de, no máximo, 1km de distância do marégrafo, para a verificação da estabilidade na área ao redor do Datum. É claro que a área do porto pode apresentar movimentos verticais com relação a uma região mais ampla, porém isto só pode ser avaliado com nivelamento geométrico de grande escala (mas neste caso deve-se considerar os erros intrínsecos à operação de nivelamento) ou levantamento GPS.

5.1 Trabalhos já realizados na área do porto de Imbituba

Existem informações de nivelamentos realizados de 1948, quando o USCGS (*United States Coast and Geodetic Survey*) divulgou os primeiros resultados referentes ao nivelamento de alguns pontos na região do DVB (Datum Vertical Brasileiro), até o ano de 1971. Estes nivelamentos foram realizados tanto pelo USCGS quanto pelo IAGS (*Inter American Geodetic Survey*). O IBGE realizou operações de nivelamento na região do

Datum em 1946 (antes da instalação do marégrafo), 1980, 1986, 1995, e anualmente a partir de 2001, quando foi instalado o marégrafo digital. É importante salientar que, em 2002, foi instalada uma segunda régua de marés junto ao marégrafo (Luz et al., 2002). Outro aspecto importante é o de que muitas das RRNN materializadas na época de definição do Datum foram destruídas, devido ao desenvolvimento e modernização do porto ao longo do tempo.

5.2 Metodologia adotada na campanha de 2005

Nesta campanha, procurou-se renivelar seções já niveladas em campanhas passadas, de forma a facilitar o estudo referente à estabilidade das RRNN. Durante a realização do nivelamento geométrico foram seguidas as especificações usuais para nivelamentos de precisão, de forma a evitar ou minimizar erros e efeitos sistemáticos (índice, curvatura, refração etc).

5.3 Resumo dos resultados

As Figuras 4, 5 e 6 indicam alguns dos desníveis obtidos a partir do ano de 1995 em nivelamentos realizados dentro da área do porto. Da análise destes e de resultados mais antigos não se verifica alterações significativas nas posições verticais das RRNN apesar de não existir grande repetibilidade na ocupação de RRNN em nivelamentos consecutivos.

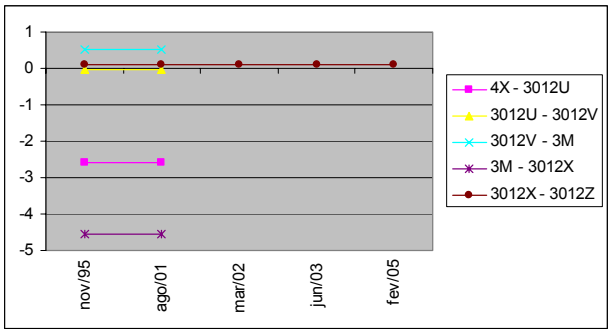

Figura 4. Desníveis verificados na área do porto - a

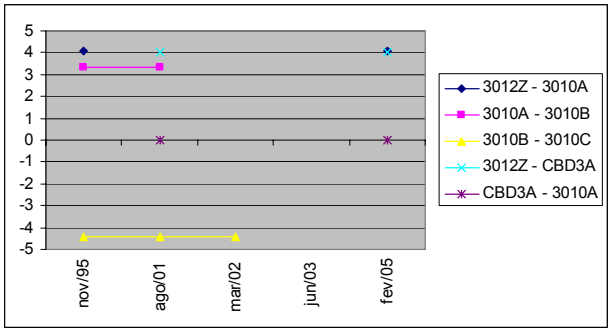

Figura 5. Desníveis verificados na área do porto - b

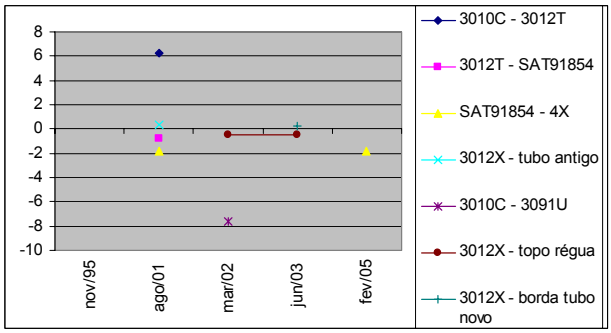

Figura 6. Desníveis verificados na área do porto - c

6 CONTROLE DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO

Os movimentos verticais da crosta podem representar um sinal importante nos registros maregráficos, mas seu monitoramento só se tornou possível com o desenvolvimento das modernas técnicas de posicionamento geodésico. Como indicado anteriormente, o monitoramento é necessário para remover as variações verticais da posição do marégrafo das variações do NMM, de forma a obter variações absolutas do NMM ou variações do NMM relacionadas com efeitos climáticos (IOC, 2002).

A aplicação mais importante do GPS no contexto deste trabalho é a fixação e o monitoramento temporal da posição geocêntrica do marégrafo, que pode ser definida num sistema como o ITRS (*International Terrestrial Reference System*). Com a fixação da posição, o NMM pode ser definido num Sistema Geodésico de Referência (SGR) geocêntrico.

A posição geocêntrica do marégrafo também é necessária para que o nível do mar observado pelo marégrafo possa ser definido no mesmo SGR utilizado pela altimetria satelital. Com isso é possível relacionar as séries temporais de nível do mar obtidas com o marégrafo com as séries de dados provenientes da altimetria satelital, proporcionando, entre outros, a calibração absoluta dos altímetros e a comparação direta entre as duas séries temporais de dados.

6.1 Trabalhos já realizados na área do porto de Imbituba

A Universidade Federal do Paraná realizou duas campanhas multi-paramétricas na área do Datum, em 1997 e em 2000. Para a realização das campanhas, foi construída, nas proximidades do marégrafo, a estação SAT-91854 (distante cerca de 450m). Sua posição geocêntrica foi determinada em ambas as campanhas; a Tabela 2 mostra os resultados obtidos nas campanhas e o resultado final da campanha SIRGAS 2000. As coordenadas da campanha de 1997 referem-se ao ITRF94 época 1997,4; as da campanha de 2000 referem-se ao

ITRF97 época 2000,4, e as da campanha SIRGAS 2000 ao ITRF2000 época 2000,4.

Coordenada	Campanha 1997
ϕ	-28° 14' 11,8103"
λ	-48° 39' 21,8809"
h (m)	11,7525
Coordenada	Campanha 2000
ϕ	-28° 14' 11,8094"
λ	-48° 39' 21,8822"
h (m)	11,7457
Coordenada	SIRGAS 2000
ϕ	-28° 14' 11,8080"
λ	-48° 39' 21,8825"
h (m)	11,8500

Tabela 2. Coordenadas geodésicas geocêntricas da estação SAT-91854
Fonte: adaptado de Freitas et al., 2001; IBGE, 2003

Da Tabela 2, a diferença de aproximadamente dez centímetros na altitude elipsoidal do ponto SAT da campanha SIRGAS 2000 com relação aos outros dois resultados não é explicada pelas diferentes realizações do ITRF. Como os dois primeiros resultados foram obtidos a partir de um processamento com relação a uma estação base e o terceiro a partir de um processamento em rede, uma causa para a diferença na coordenada altitude é a existência de um possível erro na coordenada adotada para a estação base.

A conexão da estação SAT-91854 com o marégrafo é feita por nivelamento geométrico. Na Figura 7 apresenta-se um esquema de como é feita esta conexão.

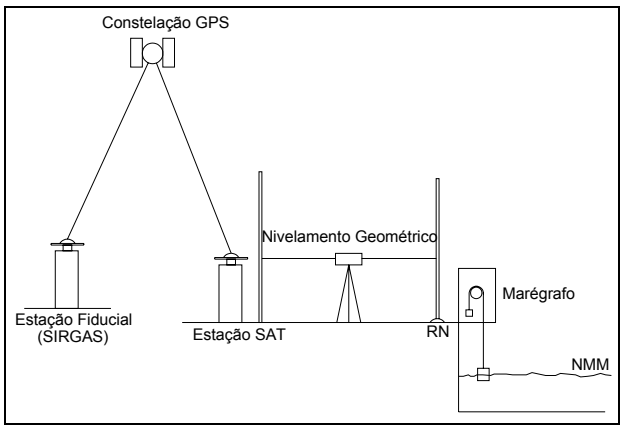

Figura 7. Esquema de monitoramento do marégrafo.
Fonte: adaptado de IOC, 2002.

Segundo Woodworth (1997), a precisão necessária na determinação da taxa de variação dos movimentos verticais visando o desenvolvimento de estudos relacionados com o Nível do Mar é de 1 a 2mm/ano em intervalos de 5 anos e 0,3 a 0,5mm/ano em intervalos de poucas décadas. É claro que existe uma série de aspectos relacionados com a precisão e a repetibilidade das coordenadas, no caso da realização de diferentes campanhas, tais como: equipamentos utilizados; metodologia e *softwares* empregados no processamento; receptores permanentes ou realização de várias campanhas, sistema de referência, entre outros.

6.2 Metodologia adotada na campanha de 2005

A coleta dos dados GPS foi realizada com um receptor geodésico de dupla freqüência, modelo Ashtech Z-XII. A antena foi posicionada sobre o pilar denominado SAT-91854, que possui um dispositivo de centragem forçada que garante a reocupação do mesmo ponto em diferentes campanhas. Os dados foram coletados continuamente a uma taxa de 15s com máscara de elevação de 5º e eram descarregados automaticamente em um microcomputador optando-se pela criação de arquivos diários.

Os dados da campanha serão processados com o software Bernese e a princípio pretende-se utilizar como estação base a estação PARA localizada em Curitiba, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e à Rede de Referência SIRGAS.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento contínuo da posição geocêntrica do marégrafo pode auxiliar na discriminação entre movimentos verticais da crosta (movimentos epirogênicos) e alterações do NMM (movimentos eustáticos), ou uma combinação dos dois. Porém é necessário enfatizar que os dados ainda não são suficientes para se ter resultados mais conclusivos, pois são necessários vários anos de dados GPS antes de se ter uma estimativa realista da taxa de variação vertical da posição do marégrafo. Porém as atividades constituem-se como início para estudos futuros.

A solução ideal para o monitoramento da posição geocêntrica do marégrafo é a adoção de um receptor GPS geodésico operando continuamente na estação. Porém, devido às indisponibilidades de alocação permanente de um receptor para esta finalidade, optou-se pela realização de campanhas periódicas. Pretende-se, com a campanha de 2005, solucionar a já mencionada dúvida referente à altitude elipsoidal da estação SAT-91854.

8 REFERÊNCIAS

Aarup, T. GLOSS – The Global Sea Level Observing System. http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint (accessed 6 Jan. 2003).

Cazenave, A. Les Variations Actuelles du Niveau Moyen de la Mer. **Earth & Planetary Sciences**, Elsevier

Science Ltda, n. 329, p. 457-469, 1999. Disponível em: <sciencedirect.com>.

Cazenave, A.; Do Minh, K. e Gennero, M.C. Present-day sea level rise: from satellite and in situ observations to physical causes. In: HWANG, C.; SHUM, C. K.; LI, J. (Ed.). **Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography**. IAG Symposium 126, Wuhan, China. Berlim: Springer-Verlag, 2003. p. 23-31.

Freitas, S. R. C. de; Medina, A. S.; Pires, A. O. e 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. Volume I. Curitiba, 2001. p. 15-32.

Holgate, S. J. e Woodworth, P. L. Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s. **Geophys. Res. Lett**. 31(7), L07305, 2004.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Coordenadas SIRGAS 2000**. http://www.ibge.gov.br/ home/ geografia/ geodesico/ sirgas/ resultados_2000.htm (accessed 4 jun. 2003).

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 p.

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 p.

Luz, R. T.; Freitas, S. R. C. de e Dalazoana, R. Seguimiento del Datum Altimétrico Imbituba a través de las Redes Altimétricas y Mareográficas del Sistema Geodésico Brasilero. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DA TERRA, 7., 2002a, Santiago, Chile. **Anais**... Santiago: 21 a 25 de outubro de 2002. No prelo.

Luz, R. T.; Guimarães, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CD-ROM), Curitiba. 2003.

SHOM. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. **Test de Van de Casteele**. http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/vdc.html (accessed 24 mar. 2004).

Woodworth, P. L., 1997. Introduction to the workshop on methods for monitoring sea level: GPS and tide gauge benchmark monitoring, GPS altimeter calibration. In: **Workshop on Methods for Monitoring Sea Level**, Proceedings. pp. 3-10.

Woodworth, P. L. **Monitoring and Predicting Long Term Global Sea and Level Level Changes**. http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint (accessed 6 jan. 2003).

9 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Processo 550830/2002-2) e à CAPES pelo apoio financeiro ao projeto e bolsas a estudantes vinculados. À Companhia Docas de Imbituba, que apoiou a execução das atividades na área do porto e disponibilizou o espaço físico para a instalação dos equipamentos. Ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da Universidade Federal do Paraná, pelo empréstimo do receptor GPS.