

## TOPOGRAFIA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO LITORAL SUL-SUDESTE BRASILEIRO

ROBERTO TEIXEIRA LUZ<sup>(1)</sup>  
WOLFGANG BOSCH<sup>(2)</sup>  
SÍLVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS<sup>(3)</sup>  
BERNHARD HECK<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Geodésia, Rio de Janeiro, Brasil  
roberto.luz @ ibge.gov.br

<sup>(2)</sup> DGFI, Instituto Alemão de Pesquisas Geodésicas (*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*), München, Alemanha  
bosch @ dgfi.badw.de

<sup>(3)</sup> UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil  
s Freitas @ ufpr.br

<sup>(4)</sup> Univ. de Karlsruhe (*Universität Karlsruhe*), Instituto Geodésico (*Geodätisches Institut, GIK*), Karlsruhe, Alemanha  
heck @ gik.uni-karlsruhe.de

**RESUMO** – A estimativa da topografia do nível médio do mar (TNMM) é uma etapa importante dos estudos associados à modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro. Neste artigo é descrita a avaliação, para o litoral sul-sudeste brasileiro, de uma recente estimativa global da TNMM obtida a partir da filtragem espectral de observações das missões altimétricas Jason-1 e TOPEX/Poseidon (T/P-EM) e das respectivas alturas geoidais extraídas do modelo do geopotencial EIGEN-GL04C. A consistência desta solução global foi analisada nos pontos de cruzamento das trilhas altimétricas (*crossovers*), evidenciando a influência da profundidade na qualidade da estimativa da TNMM. No entorno do Platô de Abrolhos, foram obtidas diferenças médias de +11,6 cm para Jason-1 e -17,7 cm para T/P-EM, contrastando com o valor de -1,6 cm referente às regiões abissais da bacia atlântica tropical, onde o valor médio da TNMM variou de 20 cm a 80 cm. A inconsistência dessas estimativas da TNMM nas áreas de pequena profundidade e em seu entorno indica a necessidade de diminuição da abrangência espacial do filtro espectral aplicado. Isto inviabiliza, por hora, sua utilização na integração dos níveis de referência dos dados de Altimetria por Satélites e das observações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG).

**ABSTRACT** – The sea surface topography (SSTop) estimation is an important step within the studies for the modernization of the Brazilian Geodetic System's vertical component. This paper describes the evaluation, in the southern-southeastern Brazilian coast, of a recent SSTop global estimate given by the spectral filtering of the observations from Jason-1 and TOPEX/Poseidon (T/P-EM) altimetry missions and the respective geoidal heights extracted from EIGEN-GL04C geopotential model. The consistency of this global solution was analysed at the crossover points defined by ascending and descending altimetry tracks, highlighting the influence of the local depth on the SSTop estimation quality. In the vicinities of the Abrolhos Plateau, mean differences ranging from +11,6 cm for Jason-1 to -17,7 cm for T/P-EM were computed, contrasting with the -1,6 cm obtained for the abyssal areas of the tropical Atlantic Basin, where the mean SSTop value itself ranged from 20 cm to 80 cm. The inconsistency of these SSTop estimates in shallow areas and their vicinities indicates the need for a shortening of the spectral filter spatial length, preventing, for the moment, its use for the integration of the reference levels of the observations from the altimetric missions and the Permanent Geodetic Tide Gauge Network (RMPG).

### 1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) – isto é, do *datum* e das altitudes de sua Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) – vem sendo objeto de diversos estudos do IBGE

e da UFPR desde 1995. Inicialmente, estes estudos concentraram-se nos efeitos locais sobre o *Datum Vertical Brasileiro* em Imbituba, DVB-I (FREITAS, LUZ 1995; FREITAS et al. 2002). O estabelecimento do Grupo de Trabalho “*Datum Vertical*” (GT-III) em 1997, no contexto do Projeto SIRGAS (DREWES et al. 2002),

reforçou a importância daqueles estudos. Todavia, uma análise sistemática da situação da RAAP, com ênfase nos efeitos da ausência de cobertura gravimétrica sobre grande parte das Referências de Nível (RRNN) da RAAP, foi iniciada apenas em 2004 (LUZ et al. 2006, 2008).

No caso do Brasil, a abrangência continental da RAAP introduz uma dificuldade adicional, relacionada à avaliação dos procedimentos envolvidos em sua modernização – interpolação de gravidade e estudo do tipo de altitude, dentre outros. Tal dificuldade pode ser minimizada com a integração de observações maregráficas à RAAP – fato que, anteriormente ao SIRGAS, já motivara a concepção e implantação da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) pelo IBGE, a partir de 1997 (LUZ, GUIMARÃES 2003).

Por sua vez, o nível médio do mar (NMM) determinado com observações de marégrafos costeiros deve ser adequadamente corrigido da chamada topografia do NMM (TNMM). Entendida como a separação entre o NMM e o geóide, a TNMM resulta da ação “quase-permanente” de diversos fatores meteorológicos e oceanográficos, com impacto diferenciado em cada ponto da costa (TORGE 2001, p. 78). Em conjunto com a não inclusão de observações gravimétricas nos ajustamentos da RAAP, a TNMM explicaria grande parte das diferenças mostradas na Figura 1.

Este artigo descreve a avaliação de uma solução global da TNMM, realizada no contexto dos estudos de modernização da componente vertical do SGB e sua preparação para uma futura integração ao Datum Vertical SIRGAS, DVSIRGAS (LUZ 2008).

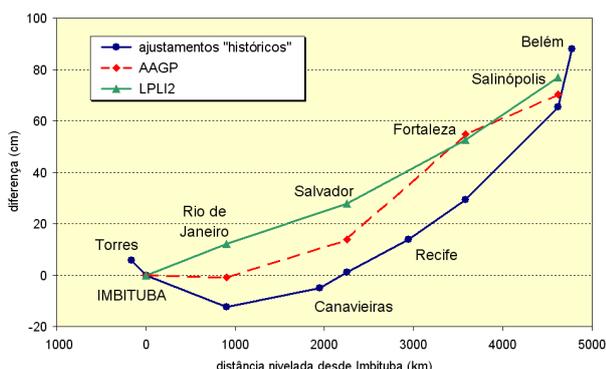


Figura 1 – Diferenças entre altitudes referidas ao Datum de Imbituba e aos NMM locais em alguns marégrafos ao longo da costa brasileira – os três conjuntos de diferenças referem-se aos diversos ajustamentos descritos por Luz et al. (2007a). Fonte: op. cit.

## 2 TNMM E ALTIMETRIA POR SATÉLITES

A superfície dos oceanos estabelece um claro limite ao domínio espacial das atividades humanas. Além disso, ao ocupar mais de 70% da superfície terrestre, oferece a mais abrangente aproximação de uma superfície

equipotencial (VANÍCEK, KRAKIWSKY 1986, p. 105). Isso foi explicitamente reconhecido pelo matemático e geodesta alemão Johann Carl Friedrich Gauss em 1828, ao propor tal “superfície dos oceanos” como materialização geométrica de uma superfície de nível representativa de grande parte da superfície terrestre. Posteriormente, Johann Benedict Listing, assistente e sucessor de Gauss, propôs “chamar aquela superfície matemática da Terra, da qual a superfície oceânica faz parte, de superfície geoidal da Terra, ou geóide” (GRAFAREND 1994, p. 4).

No entanto, a “superfície oceânica” de Gauss e Listing corresponde a oceanos idealizados, homogêneos e em repouso, sujeitos apenas à força da gravidade (e.g., TORGE, 2001, p. 76). As mais claras “perturbações” de tal situação ideal são as variações de alta frequência originadas na ação dos ventos, na atração luni-solar e no deslocamento de massas atmosféricas anômalas – i.e., ondas, marés e “ressacas”, com períodos respectivos de segundos, horas e dias (PUGH 1987, p. 10). Usualmente, considera-se que estes efeitos são eliminados recorrendo-se à média das observações de nível do mar por períodos suficientemente longos.

Mesmo antes do surgimento do conceito de geóide, o NMM assim obtido já era adotado como superfície de referência para as altitudes – e.g., Close et al. (1921, p. 8) mencionam que o “Primeiro Nivelamento Geodésico” da Inglaterra, realizado entre as décadas de 1840 e 1860, teve como datum a média das preamares e baixamares observadas durante dez dias de 1844 em Liverpool. Posteriormente, foi reconhecida “a possibilidade de uma deformação permanente da superfície do mar em relação ao geóide”, mesmo que fossem considerados apenas dados coletados em costa aberta e durante vários anos (id., p. 31-33).

O aumento do conhecimento acerca da dinâmica dos oceanos confirmou essa possibilidade, levando à revisão do pressuposto inicial, i.e., ser desprezível a diferença entre geóide e NMM. Com isso, em vez de se considerar os diversos NMM locais definindo uma única superfície equipotencial, considera-se que, mesmo nas mais longas séries temporais, o NMM ainda apresenta desvios “semi-permanentes” em relação ao geóide – cujas causas incluem, por exemplo, o balanço geostrofico das correntes oceânicas e a diferença de expansão volumétrica com origem térmica (“efeito estérico”) entre as águas tropicais e polares (VANÍCEK, KRAKIWSKY 1986, p. 105). Tais desvios constituem a topografia do NMM (TNMM) – tradução mais adequada para os termos *sea surface topography* (SSTop) e *dynamic ocean topography* (DOT). Em regiões costeiras e de pequena profundidade, também assumem grande importância, como causas da TNMM, as médias de longo prazo do vento e dos efeitos dinâmicos da topografia do fundo do mar.

Em função da ação diferenciada daqueles agentes físicos, a TNMM apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Conseqüentemente, seria necessária a

determinação de um valor específico de TNMM para cada estação maregráfica existente, o que não era possível no contexto da Geodésia clássica. Com isso, tornava-se problemática a definição de um datum vertical com base em múltiplas estações maregráficas. Um exemplo extremo é constituído pelo “datum de altitudes da Austrália” (AHD), estabelecido com informações de 30 estações maregráficas, resultando em uma possível distorção de 1,5 m entre o norte e o sul da rede vertical australiana (FEATHERSTONE 2002).

Tal situação sofreu uma grande mudança com o lançamento dos satélites dedicados especificamente ao monitoramento da superfície oceânica sobre perfis (“trilhas”) nas chamadas missões de altimetria por satélites (Alt-Sat) – o primeiro dos quais foi o franco-americano TOPEX/Poseidon (T/P), em agosto de 1992, com tempo de operação previsto de cinco anos, que se alongaram para 13 anos, até 2005. Seu sucessor, Jason-1, entrou em operação em dezembro de 2001, na mesma configuração orbital que o T/P, com finalidade inicial de calibração (CHAMBERS et al. 2003). Um ano depois, o T/P foi movido para nova órbita, definida de modo a duplicar a cobertura espacial conjunta com Jason-1. Nesta nova configuração, a missão T/P é denominada T/P-EM (*extended mission*). Outras missões altimétricas importantes foram conduzidas com base nas séries de satélites ambientais das agências espaciais europeia (ERS-1, ERS-2 e Envisat) e americana (Geosat e seu sucessor GFO).

A informação básica das missões altimétricas é a distância do centro de massa do satélite até a superfície oceânica instantânea, deduzida da observação do tempo de percurso do pulso de radar, e corrigida de variados fatores instrumentais, atmosféricos, da superfície refletora e de fenômenos geofísicos (CHELTON et al. 2001):

$$R_{corr} = R_{altim} + \sum r_{instrum} + \sum r_{atmosf} + \sum r_{superf} + \sum r_{geof} \quad (1)$$

No contexto dos estudos discutidos neste artigo, cumpre destacar a ainda baixa precisão de algumas correções atmosféricas e geofísicas nas regiões costeiras. A correção de maré oceânica dada por modelos globais e a correção da componente úmida da refração troposférica derivada dos radiômetros embarcados nos satélites altimétricos mostram acentuada degradação nas áreas próximas à costa. Além disso, o pré-processamento padronizado dos pulsos de radar refletidos é calibrado para as características da superfície oceânica em mar aberto, levando a uma crescente rejeição de observações à medida que diminuem a distância à linha de costa e a profundidade local. Conjuntamente, todos esses fatores resultam em uma significativa diferença de qualidade dos resultados de Alt-Sat nas áreas de grande profundidade e nas regiões costeiras e de pequena profundidade. Isso justifica os procedimentos adotados nestes estudos, descritos posteriormente.

De posse da distância corrigida  $R_{corr}$ , obtém-se a altitude  $h_{SMM}$  da superfície média do mar (TAPLEY, KIM 2001) em relação ao elipsóide de referência como:

$$h_{SMM} = h_{sat} - R_{corr} - r_{cruz} \quad (2)$$

a partir da altitude  $h_{sat}$  do satélite em relação ao mesmo elipsóide e da componente radial residual  $r_{cruz}$ . Enquanto  $h_{sat}$  é derivada das informações oriundas dos diversos sistemas de rastreamento dos satélites altimétricos,  $r_{cruz}$  resulta da análise dos cruzamentos (*crossovers*) das trilhas dos diferentes satélites, a fim de compatibilizar as informações dessas múltiplas missões altimétricas (BOSCH, SAVCENKO 2006).

Por fim, a TNMM é obtida com a simples diferença entre a altitude  $h_{SMM}$  e a altura geoidal  $N$ :

$$TNMM = h_{SMM} - N \quad (3)$$

A altura geoidal pode ser extraída de algum dos modelos globais de geopotencial disponíveis. No entanto, a diferença de resolução espacial entre os dados de Alt-Sat e mesmo os mais recentes modelos de geopotencial introduz inconsistências nesse tipo de solução. Além disso, estes modelos ainda apresentam as chamadas “estrias” ou assinaturas orbitais, resultado da ainda deficiente modelagem dos erros orbitais.

A fim de contornar essas dificuldades, Bosch e Savcenko (2007) propuseram uma filtragem espectral unidimensional com abrangência espacial de 250 km, aplicada igualmente às  $h_{SMM}$  ao longo dos perfis altimétricos e às alturas geoidais extraídas do modelo EIGEN-GL04C para os mesmos pontos de  $h_{SMM}$ . A perda de dados nas áreas costeiras devido à grande abrangência espacial do filtro foi evitada mediante a geração de valores sintéticos para  $h_{SMM}$  nas porções terrestres das trilhas de Alt-Sat. Foram utilizadas observações de T/P-EM e Jason-1, no período de setembro de 2002 a outubro de 2005. Após a filtragem de ambos os conjuntos de dados, a TNMM foi estimada em cada ponto de observação de Alt-Sat mediante a diferença (3).

As estimativas de TNMM fornecidas por Bosch e Savcenko (op. cit.), assim obtidas, foram então aplicadas ao problema da integração dos resultados da RMPG à RAAP, de acordo com os procedimentos descritos a seguir.

### 3 INTEGRAÇÃO ENTRE RMPG E ALT-SAT

Em geral, a integração de informações de Alt-Sat e marégrafos exige a utilização de métodos de interpolação, em função da localização desfavorável dos marégrafos em relação às trilhas dos satélites altimétricos. Este não é o caso dos estudos aqui relatados, como se observa na Figura 2. Tal situação permitiu fazer uso direto dos perfis de  $h_{SMM}$  ao longo das trilhas, a fim de propagar as estimativas de TNMM obtidas com maior precisão nas

áreas mais afastadas da costa, de maior profundidade. De forma a assegurar a compatibilização dos níveis de referência desses perfis, foram selecionadas trilhas “transversais” situadas inteiramente em águas profundas, igualmente afastadas da costa. A configuração inicial dessas trilhas de referência também é mostrada na Figura 2. Observa-se que, tanto para as trilhas dos marégrafos quanto para as de referência, foram escolhidos ternos de trilhas (Jason-1, T/P-EM, Envisat), como forma de evidenciar eventuais efeitos sistemáticos nos cruzamentos de trilhas de uma mesma missão e nos cruzamentos inter-missões. Ainda que a solução da TNMM de Bosch e Savcenko (op. cit.) não tenha utilizado dados do Envisat, outros procedimentos de obtenção da TNMM, ora em desenvolvimento, consideram dados dessa missão.

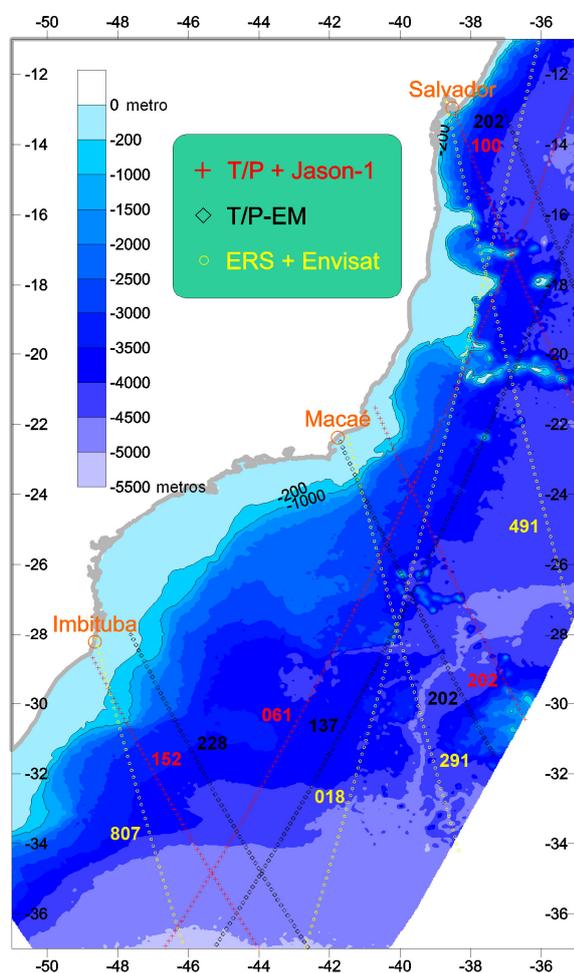


Figura 2 – Estações da RMPG inicialmente selecionadas para estes estudos, e as respectivas trilhas de Alt-Sat: Imbituba (152.Jason-1, 807.Envisat), Macaé (202.T/P-EM, 291.Envisat) e Salvador (100.Jason-1, 491.Envisat) A fim de evitar os efeitos das diferenças entre missões, foram definidos ternos de trilhas, não apenas para os marégrafos mas também para as trilhas (de homogeneização dos níveis) de referência (061.Jason-1, 137.T/P-EM, 018.Envisat).

A inclusão da batimetria na Figura 2 permite apreciar outro aspecto importante no contexto destes estudos – a pequena largura da plataforma continental na região da estação da RMPG em Salvador. Juntamente com a virtual ausência de perturbações do NMM de origem meteorológica nessa estação (Figura 3), aquela característica levou à decisão de fazer de Salvador uma área de testes de integração de dados da RMPG e de Alt-Sat.

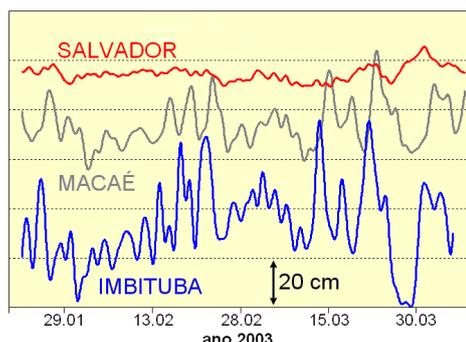


Figura 3 – Níveis médios semanais nas estações da RMPG selecionadas para os estudos, obtidos após a aplicação de um filtro de 168 horas (“passa-baixas”) às observações horárias. A grande variabilidade em Imbituba e Macaé reflete a freqüente ocorrência das chamadas marés meteorológicas, resultantes da passagem de frentes frias (Fonte: LUZ, GUIMARÃES 2003).

A Figura 4 mostra a variação temporal dos perfis da TNMM ao longo das trilhas selecionadas para a configuração inicial dos estudos. A grande amplitude, provavelmente reflexo da variabilidade sazonal da TNMM, foi intencionalmente mantida nos gráficos, a fim de permitir a apreciação geral do fenômeno.

A crescente variabilidade da TNMM ao sul da latitude 30° S, comum às duas trilhas de referência, é interpretada como reflexo da área central da Corrente do Brasil, interceptada por ambas as trilhas. Entretanto, entre 25° S e 15° S, as trilhas paralelas mostram um comportamento totalmente oposto – a trilha 061.Jason-1 tem um mínimo de 0,50 m ~ 0,65 m em torno de 19° S/ 20° S, onde a trilha 137.T/P-EM apresenta um máximo de 0,90 m ~ 1,05 m. Uma eventual causa dessa inconsistência poderia ser a cadeia submarina existente entre 19° S e 21° S (Figura 2).

Tal inconsistência tornaria inviável a pretendida homogeneização das trilhas dos marégrafos (“descendentes”) a partir das trilhas de referência (“ascendentes”). Para uma correta avaliação desse problema, foram extraídas e analisadas as séries temporais de TNMM, “ascendentes” e “descendentes”, nesses cruzamentos. A Figura 5 mostra exemplos dessas séries temporais, para as trilhas de Imbituba e Salvador, confirmando a maior variabilidade das séries temporais

referentes aos cruzamentos em torno de 36° S e a inconsistência entre os resultados obtidos das trilhas ascendentes e descendentes de Salvador – para o cruzamento com a trilha 061.Jason-1, a TNMM tem valor “descendente” de  $74,5 \text{ cm} \pm 7,9 \text{ cm}$  e “ascendente” de  $57,8 \text{ cm} \pm 11,8 \text{ cm}$ , enquanto esses valores são  $75,6 \text{ cm} \pm 3,1 \text{ cm}$  e  $93,1 \text{ cm} \pm 18,6 \text{ cm}$  no cruzamento com a trilha 137.T/P-EM.

Confirmada a ocorrência de inconsistências, foi interrompida a utilização das estimativas da TNMM para correção dos NMM nas estações da RMPG, procedendo-se então a uma completa revisão dos resultados de TNMM para todas as trilhas de Alt-Sat na área de trabalho.

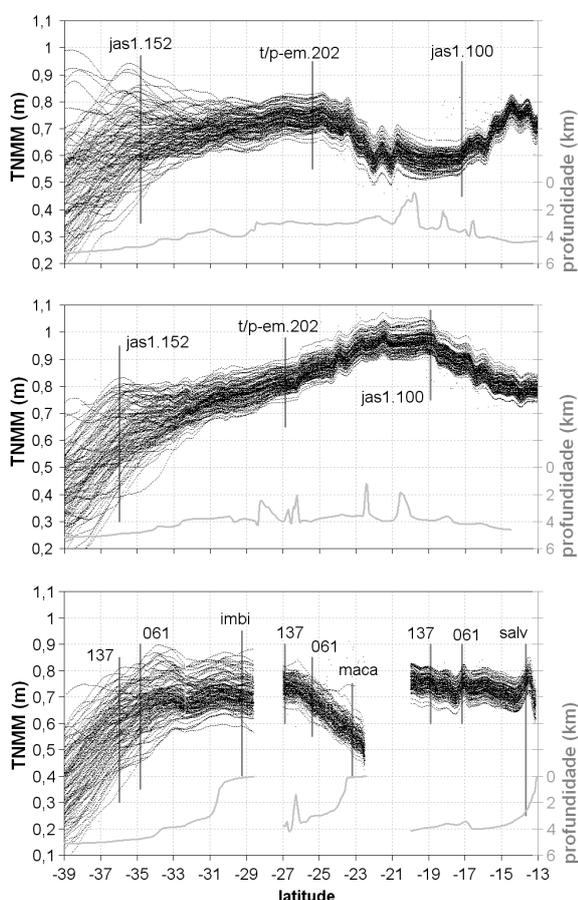


Figura 4 – Profundidades (cinza) e estimativas da TNMM (preto) ao longo das trilhas ascendentes – 061.Jason-1 (sup.) e 137.T/P-EM (centro) – e descendentes (inf., 152.Jason-1, 202.T/P-EM e 100.Jason-1). As linhas verticais indicam os cruzamentos entre elas, e também os pontos mais próximos das estações maregráficas.

#### 4 AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DA TNMM

A análise das séries temporais de TNMM, extraídas das trilhas ascendentes e descendentes nos respectivos pontos de cruzamento, foi aplicada a todas as

trilhas de Alt-Sat ao sul de 11° S. Isso resultou na definição de uma rede de 134 pontos cobrindo todo o litoral sul-sudeste brasileiro, cujos resultados são discutidos a seguir.

A Figura 6 apresenta os desvios-padrão das diferenças de TNMM entre trilhas ascendentes e descendentes, nos pontos de cruzamento. Duas características devem ser destacadas: a pronunciada variabilidade a partir de 36° S; e a aparente influência da plataforma de Abrolhos no aumento da variabilidade das diferenças de TNMM no seu entorno. Esta mesma região parece concentrar os valores mais altos das diferenças médias, como se observa na Figura 7. Uma possível interpretação para tal comportamento vincula-se ao raio de 250 km do filtro espectral utilizado no cálculo das estimativas de TNMM. De fato, os cruzamentos situados a uma distância maior, em relação às isóbatas indicadas, mostram rápido retorno às condições “normais”.

A Figura 8 mostra a TNMM na região de trabalho, obtida após a promediação das séries temporais em cada cruzamento de trilhas – ou seja, ignorando-se as inconsistências mencionadas anteriormente. Ainda assim, observa-se a forte correlação entre esses valores “médios” da TNMM e as diferenças entre os valores dados separadamente pelas séries temporais “ascendentes” e “descendentes” (Figura 7).

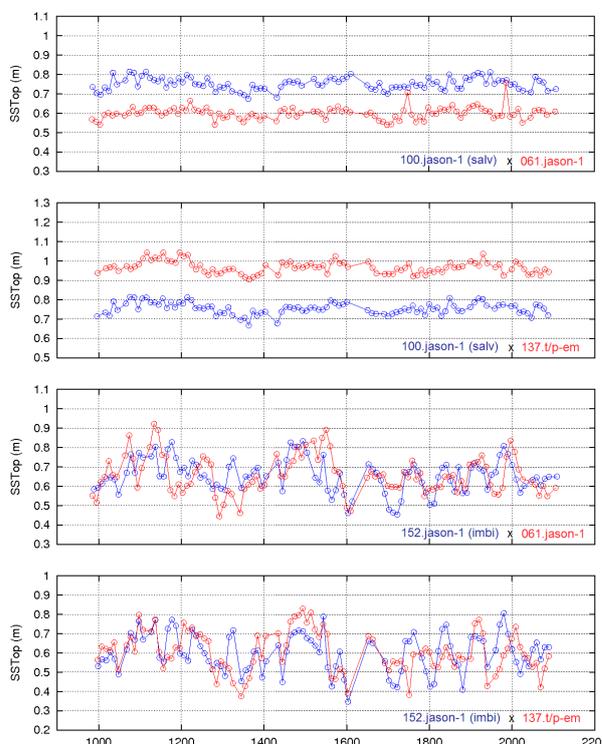


Figura 5 – Séries temporais de TNMM nos cruzamentos das trilhas de Salvador e Imbituba (azul) com as trilhas de referência (vermelho), entre setembro de 2002 (dia juliano 1000) e outubro de 2005 (dia juliano 2100). Os aparentes erros não puderam ser eliminados via critério  $3\sigma$ .

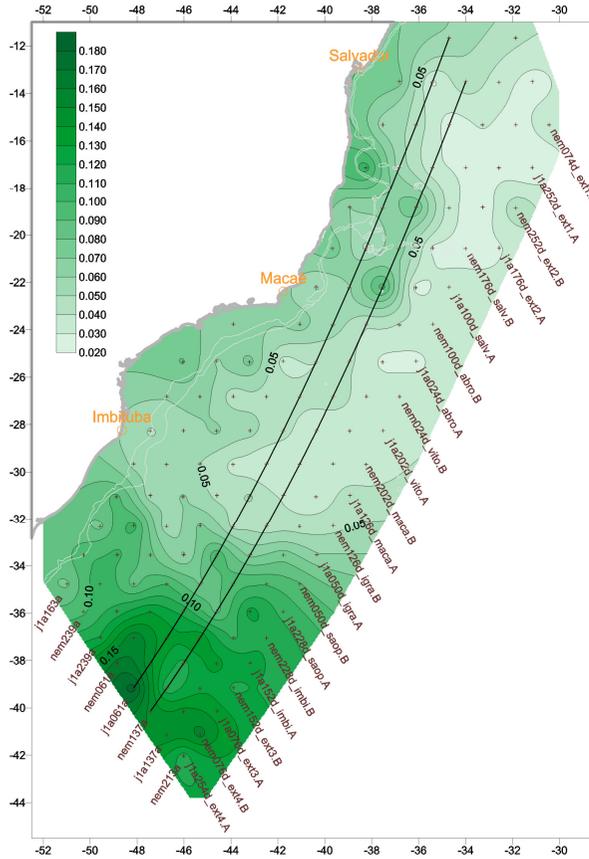


Figura 6 – Desvios-padrão (m) das diferenças entre as séries temporais “ascendentes” e “descendentes” de TNMM nos cruzamentos das respectivas trilhas. São também mostradas as isóbatas de 200 m e 1000 m e as trilhas de referência preliminares.

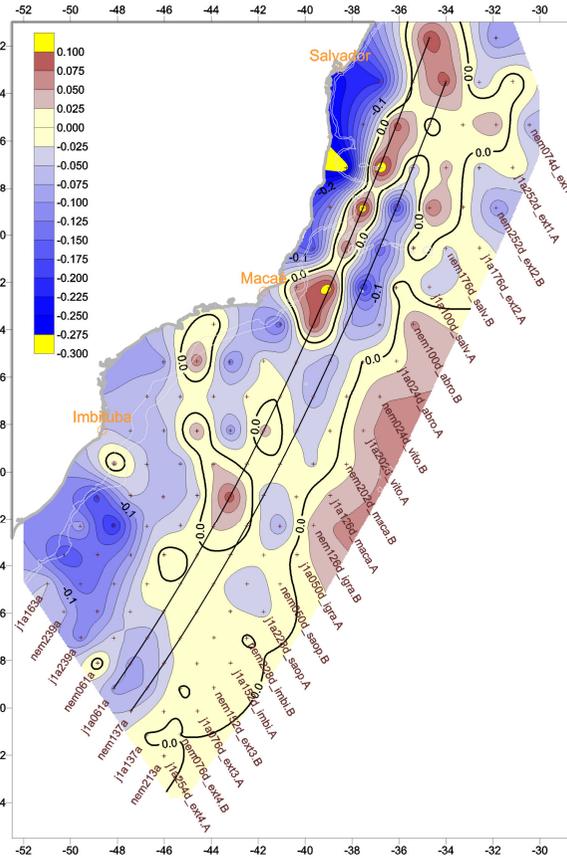


Figura 7 – Médias (m) das diferenças entre as séries temporais “ascendentes” e “descendentes” de TNMM nos cruzamentos das respectivas trilhas. São também mostradas as isóbatas de 200 m e 1000 m e as trilhas de referência preliminares.

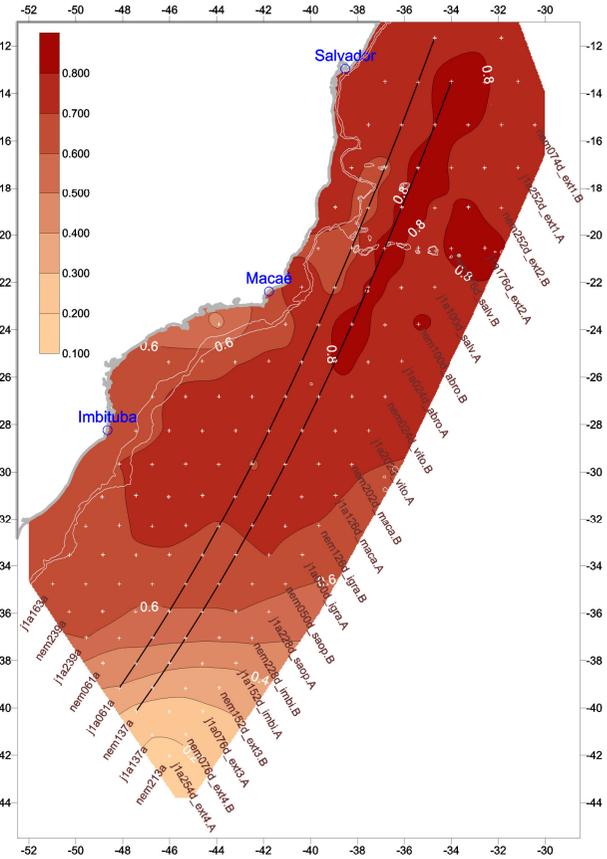


Figura 8 – Valores médios (m) da TNMM, considerando tanto as séries temporais “ascendentes” como as “descendentes”, nos cruzamentos das respectivas trilhas. São também mostradas as isóbatas de 200 m e 1000 m e as trilhas de referência preliminares.

## 5 CONCLUSÕES

Os problemas presentes nas observações de Alt-Sat nas trilhas sobre águas rasas parecem ter afetado as estimativas da TNMM nas demais trilhas em seu entorno, mesmo aquelas sobre águas profundas, em função da extensão espacial do filtro utilizado para a compatibilização entre Alt-Sat e modelo geoidal. Em decorrência, ainda não foi possível realizar a compatibilização, a partir das trilhas em águas profundas, dos níveis de referência das observações ao longo das trilhas que conectam as estações da RMPG. Tal compatibilização é essencial para a utilização dos dados da RMPG na avaliação dos procedimentos de modernização das altitudes e do *datum* vertical do SGB.

O recentemente divulgado modelo EGM-2008, de maior resolução, pode ser uma alternativa para o aprimoramento das estimativas da TNMM, em função da eventual possibilidade de redução da amplitude espacial do filtro necessário à homogeneização espectral entre os dados de Alt-Sat e as respectivas alturas geoidais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos 140.084/2004-5, 303.942/2005-3 e 479.838/2006-2) e à CAPES/DAAD (PROBRAL 228/06), pelo suporte financeiro; ao IBGE, pela licença de doutoramento concedida a RTL; ao Instituto Alemão de Pesquisas Geodésicas (DGFI), pela cessão dos dados utilizados no trabalho; e ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe (GIK/UniKA, Alemanha), bem como ao DGFI, pelo suporte científico.

## REFERÊNCIAS

BOSCH, W.; SAVCENKO, R. **Satellite Altimetry: Multi-Mission Cross Calibration**. IAG Series, v. 130 (Dynamic Planet), p. 51-56, Berlin: Springer, 2006.

BOSCH, W.; SAVCENKO, R. **Estimating the sea surface topography – profile approach with error examination**. In: "Earth, Our Changing Planet" – IUGG XXIV General Assembly, 2007, Perugia, Italy. Proceedings... Perugia: USMA, 2007. p. 14. Disponível em: < <http://www.iugg2007perugia.it/webbook/pdf/JG.pdf> >, acesso: 10/02/2008.

CHAMBERS, D. P.; HAYES, S. A.; RIES, J. C.; URBAN, T. J. **New TOPEX sea state bias models and their effect on global mean sea level**. Journal of Geophysical Research, v. 108, n. C10, 3305, doi:10.1029/2003JC001839, 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*. San Diego: Academic Press, 2001. p. 1-131. xii, 463 p.

CLOSE, C. F.; JOLLY, H. L. P.; WOLFF, A. J. **The Second Geodetic Levelling of England and Wales, 1912-1921**. Ordnance Survey, 1921. Disponível em: <<http://www.deformedweb.co.uk/trigs/data/2GLMain.htm>>, acesso: 04/02/2008.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. **Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System**. IAG Series, v. 124 (Vertical Reference Systems), p. 297-301, Berlin: Springer, 2002.

FEATHERSTONE, W. E. **Prospects for the Australian Height Datum and Geoid Model**. IAG Series, v. 125 (Vistas for Geodesy in the New Millennium), p. 96-101, Berlin: Springer, 2002. Disponível em: <<http://www.cage.curtin.edu.au/~geogrp/pubs.html>>, acesso: 28/10/2005.

FREITAS, S. R. C.; LUZ, R. T. **Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações**. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 4., 1995, Rio de Janeiro. Resumos Expandidos... Rio de Janeiro: SBGf, 1995, p. 135-138. v. 1.

FREITAS, S. R. C.; SCHWAB, S. H. S.; MARONE, E.; PIRES, A. O.; DALAZOANA, R. **Local Effects in the Brazilian Vertical Datum**. IAG Series, v. 125 (Vistas for Geodesy in the New Millennium), p. 102-107, Berlin: Springer, 2002.

GRAFAREND, E. W. **What is a Geoid?** In: VANÍČEK, P.; CHRISTOU, N. T. (Ed.). *Geoid and Its Geophysical Interpretations*. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 3-32. xvi, 343 p.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. **Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE**. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG), 3., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2003. CD-ROM. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default\\_artigos.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtml)>, acesso: 14/11/2006.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; BAEZ, J. C.; PALMEIRO, A. S. **Tests on Integrating Gravity and Leveling to Realize SIRGAS Vertical Reference System in Brazil**. IAG Series, v. 130 (Dynamic Planet), p. 646-652, Berlin: Springer, 2006.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; PINHEIRO, R. R.; GOLDANI, D.; SANTOS, C. C. C.; DI MAIO PEREIRA, N. R.; SUBIZA PIÑA, W. H. **Avaliação das realizações da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG), 5., 2007, Presidente Prudente. Anais... Presidente Prudente: UNESP, 2007a. CD-ROM.

LUZ, R. T. **Estratégias para Modernização da Componente Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua Integração ao SIRGAS.** 2008. xxi, 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG/UFPR, Curitiba.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; HECK, B.; BOSCH, W. **Challenges and First Results towards the Realization of a Consistent Height System in Brazil.** Aceito para publicação na série IAG Symposia, v. 134 (Geodetic Reference Frames), Berlin: Springer, 2008.

PUGH, D. T. **Tides, Surges and Mean Sea-Level.** Chichester: John Wiley, 1987. xiv, 472 p. Disponível em: < <http://www.pol.ac.uk/psmsl/training/books.html> >, acesso: 17/12/2007.

TORGE, W. **Geodesy.** 3. compl. rev. and ext. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2001. xv, 416 p.

VANÍČEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: the Concepts.** 2. ed., 6. print. Amsterdam: Elsevier, 1986. xv, 697 p.