

COMPATIBILIZAÇÃO DA ORIGEM DAS ALTITUDES DO ASTER COM AS ALTITUDES DO SRTM

ANGÉLICA CIROLINI¹
ALEXANDRE FELIPE BRUCH¹
ROGERS ADEMIR DRUNN PEREIRA^{2,1}
SÍLVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS²

¹Universidade Federal de Pelotas - UFPel

²Universidade Federal do Paraná – UFPR

³Setor de Ciências da Terra

¹acirolini@gmail.com, ¹alexandrefelipebruch@ibest.com.br, ^{2,1}rogers_adp@ufpr.br, ^{2,3}sfreitas@ufpr.br

RESUMO – Nesta pesquisa foi calculado o afastamento entre as origens das componentes verticais dos modelos digitais de elevação ASTER GDEM e SRTM. Na região do Datum Vertical Imbituba (DVI) foram subtraídas grades de altitudes, a partir das quais calculou-se as correções do terreno, que posteriormente foram convertidas em anomalias de altitudes, que refletem os afastamentos entre as superfícies de referência dos dois modelos. Nesta análise, as anomalias de altitude indicaram um contraste relativo entre os modelos que resultou próxima de zero. As correções do terreno no espaço geopotencial obtidas a partir do ASTER GDEM podem ser utilizadas para complementação dos modelos digitais de elevação clássicos sobre o território brasileiro, tais como o SRTM, o qual fornece uma resolução espacial de 3". Esta metodologia pode servir para validação de futuros modelos digitais de elevação no Brasil.

Palavras chave: Correção do Terreno, Modelo Digital de Elevação, ASTER GDEM, SRTM.

ABSTRACT - In this work the offset between the reference surfaces of the ASTER GDEM and SRTM digital elevation models was computed. Anomaly heights were computed from terrain corrections obtained from difference between the grids. These anomaly heights points out the distance between the both systems. In the analysis anomaly heights indicated the relative contrast of models resulting approximate zero values. Terrain correction in the geopotential space is used for improving usual Digital Elevation Models like SRTM 3" by a homogeneous better resolution model overall Brazil region. This methodology can be used to validation future digital elevation models in Brazil.

Key words: Terrain Correction, Digital Elevation Model, ASTER GDEM, SRTM.

1 INTRODUÇÃO

A metodologia para a obtenção de altitudes com significado físico vem sofrendo uma mudança clara de paradigma no Brasil nos últimos 30 anos. Antes, o nivelamento geométrico, dispendioso e demorado era utilizado para propagar altitudes desde um ponto de referência até regiões de interesse. Atualmente, os sinais ativos, principalmente oriundos de radar, vêm substituindo com destaque o nivelamento geométrico para diversas aplicações associadas à modelagem geo-ambiental em vista da melhor cobertura espacial.

Após a constituição de grande parte de sua rede altimétrica, o Brasil, via inúmeros processos de ajustamento, busca uma rede altimétrica unívoca, e com distribuição espacial que possa servir de base para a modelagem das feições topológicas de interesse (e.g. micro-bacias hidrográficas). Mesmo com o recente

reajustamento produzido sobre a rede, hoje, chamada de Rede Altimétrica Fundamental do Brasil (RAFB), necessita de atualização, principalmente devido à falta de observações gravimétricas e a outras dificuldades operacionais. Entre estas cita-se a destruição de grande parte dos seus marcos constituidores e insuficiências em sua distribuição espacial em vista das crescentes necessidades da engenharia.

Visando complementar informações sobre os oceanos, ou onde as informações altimétricas e gravimétricas não existiam de modo adequado, alguns países desenvolveram projetos para a sua inserção em um Sistema Global de Altitudes (SGA) com diversas finalidades, como por exemplo, o conhecimento do comportamento do nível médio dos mares e execução de projetos de Engenharia transnacionais e continentais que envolvessem diferentes Sistemas de Referência para Altitudes (SRAs). Talvez o exemplo de SRA mais

conhecido neste sentido seja o obtido de Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), tal como o EGM2008 (PAVLIS, et al. 2004), gerado a partir de observações de distintas naturezas.

A aplicação de referências altimétricas provenientes de um modelo, tal como o EGM2008, pode ser melhorada se usadas as denominadas correções do terreno nele omitidas por valores de anomalias de altitude adquiridos de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de alta resolução oriundos de observações por satélites. Também, diferentes MDEs podem ser associados visando uma simbiose de suas melhores características e então melhoria do produto alcançado com base nos efeitos gravitacionais insertos na correção do terreno que deles pode ser obtida. Dentro de um amplo espectro de aplicações, MDEs derivados de tais associações podem ser aplicados em regiões com carência de informações altimétricas confiáveis. No entanto, é fundamental a discussão dos referenciais envolvidos na adoção de um MDE como modelo de densificação. Ressalte-se que os MGGs podem materializar um SGA e, em geral, os MDEs globais não são compatíveis com os sistemas nacionais, com suas origens distintas tais como as materializadas por níveis médios dos oceanos obtidos de observações marégráficas durante determinados períodos. Assim, neste trabalho propõe-se determinar os afastamentos entre dois MDEs de alta resolução espacial e buscar sua relação relativamente à atual RAFB.

2 METODOLOGIA

O afastamento entre dois data verticais, usualmente, é estimado via o conhecimento do Potencial Perturbador T em cada um dos seus pontos.

Este fato pode ser expresso por (HOFMANN-WELLENHOF; MORITZ, 2005):

$$\begin{aligned} T_1 &= W_1 - U_1 \\ T_2 &= W_2 - U_2 \end{aligned} \quad (01)$$

$$T_2 - T_1 = (W_2 - U_2) - (W_1 - U_1)$$

onde: W é o Geopotencial e U é o esferopotencial, ou potencial da gravidade normal.

Dividindo-se ambos os lados da (01) pela gravidade normal γ , obtém-se exatamente a diferença em anomalia de altitude entre os dois pontos se W estiver sobre a superfície física e U estiver sobre o telúroide. Uma relação entre anomalias de altitude e o Potencial anômalo é conhecida como Equação de Bruns (HOFMANN-WELLENHOF; MORITZ, 2005) e pode ser entendida como o afastamento entre duas superfícies geopotenciais de referência. Esta estimativa é calculada via a transformação das diferenças entre altitudes, de dois pontos homólogos nos MDEs, em uma componente física pela Equação de Correção do Terreno, na sua forma planar (HOFMANN-WELLENHOF; MORITZ, 2005):

$$CT = \frac{1}{2} G \rho \iint_{\sigma} \frac{(H - H_p)^2}{l^3} d\sigma \quad (02)$$

onde: CT é a correção do terreno;

G é a constante da Gravitação Universal;

ρ é Densidade Média da Crosta = 2,67g/cm³;

H é a Altitude do ponto de cálculo;

H_p é a Altitude de cada ponto da vizinhança de do ponto cálculo;

$d\sigma$ é o elemento diferencial de área;

σ é a superfície de toda a Terra;

l é a distância entre o ponto de cálculo e o ponto na sua vizinhança.

Assumiu-se que para distância maiores de 100km a correção do terreno é nula.

Estas correções do terreno podem ser compreendidas como anomalias de Molodenskii e então convertidas em Potencial Anômalo, pela sua equivalente, a Equação de Molodenskii (HOFMANN-WELLENHOF; MORITZ, 2005):

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint_{\sigma} \Delta g \cdot S(\psi) \cdot d\sigma \quad (03)$$

onde: R é o raio da esfera de Bjerhammar;

Δg é a anomalia da gravidade no contexto da teoria de Molodenskii;

$S(\psi)$ é a função de Stokes.

que por sua vez, resultam em anomalias de altitude utilizando-se da Equação de Bruns:

$$\zeta = \frac{T}{\gamma} \quad (04)$$

onde: ζ é a anomalia de altitude;

γ é a gravidade normal.

2.1 Aspectos específicos à RAFB

Para determinar os afastamentos entre distintos sistemas de altitudes, tal como entre a RAFB e um SGA, geraram-se grades regulares de dados na região do marégrafo de Imbituba. Estas grades constituem-se a partir dos MDEs provenientes da Missão *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (JPL, 2012) e do Projeto ASTER GDEM (TACHIKAWA et al., 2011). Foram subtraídas as grades provenientes dos MDEs entre si. Estes resultados denominam-se resíduos de altitudes. Transformam-se os resíduos de altitudes em componentes físicas na forma de informações da gravidade calculando-se as correções do terreno do campo da gravidade com base nos referidos resíduos utilizando-se a (02). A seguir, de posse da grade de informações da gravidade resultante

da etapa anterior e a partir da Integral de Molodenskii (03), calcula-se uma grade de anomalias de altitudes, que representam o afastamento entre os referenciais adotados. Com os afastamentos já estimados entre o SRTM e o Datum Vertical Brasileiro Imbituba (DVB-Imbituba), estima-se o afastamento entre o MDE ASTER GDEM e a origem da RFB.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

A partir dos dados disponibilizados para o ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009) em Serviço da Associação Internacional de Geodésia (ICGEM, 2012), que na América do Sul é constituído na sua totalidade pelo modelo digital de elevação oriundo da missão SRTM, e do modelo digital ASTER, constituíram-se duas grades que serão trabalhadas nos limites geográficos a seguir (Figuras 1 e 2):

$$\begin{aligned} -28^\circ < \varphi < -26,5^\circ \\ -50,5^\circ < \lambda < -48,5 \end{aligned} \quad (05)$$

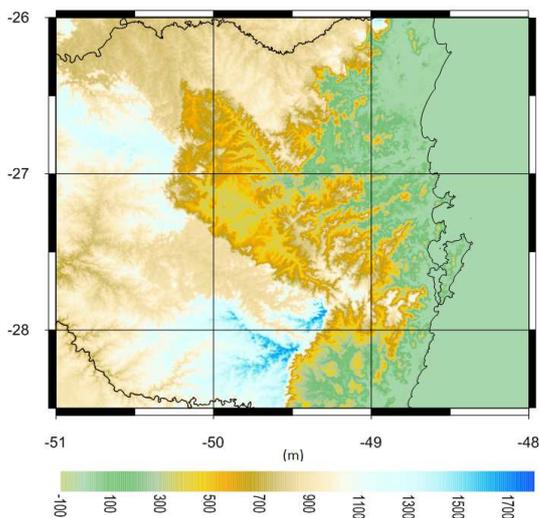


Figura 1 – Dados ASTER GDEM para a região de estudos.

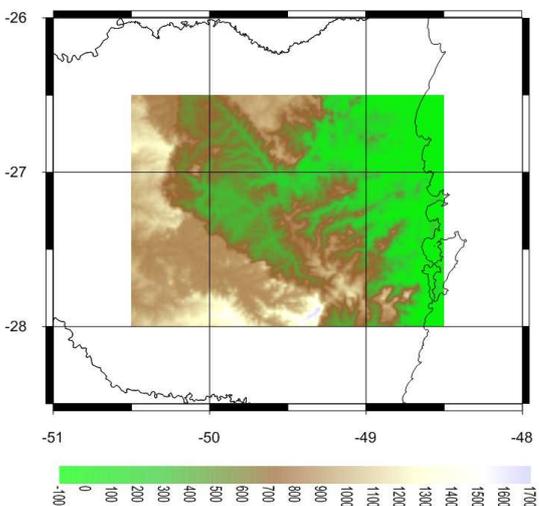


Figura 2 – Dados SRTM para a região de estudos.

Como os dados SRTM se encontram em uma resolução espacial disponível inicialmente de 3" reamostrou-se os dados ASTER para que a resolução espacial entre as grades fosse compatível.

Reamostrou-se os dados ASTER em virtude da sua melhor resolução espacial. Com a reamostragem dos dados ASTER obteve-se o mesmo modelo com resolução espacial inferior para a compatibilização com o SRTM. Optou-se por esta estratégia porque cada nova célula do ASTER, com resolução inferior, é uma célula representativa de todas as outras células com o mesmo limite geográfico que cada uma das células reamostradas.

A operação contrária, qual seja, reamostrar dados do SRTM para compatibilização com ASTER não é possível dentro do contexto da frequência Nyquist, ou seja, não é possível a interpolação de células intermediárias entre dois pontos onde não há informação.

Também passaram a ser utilizados como referência os limites horizontais disponibilizados pelo SRTM.

O resultado obtido da subtração matricial dos dois produtos acima é dado pela Figura 3, a seguir:

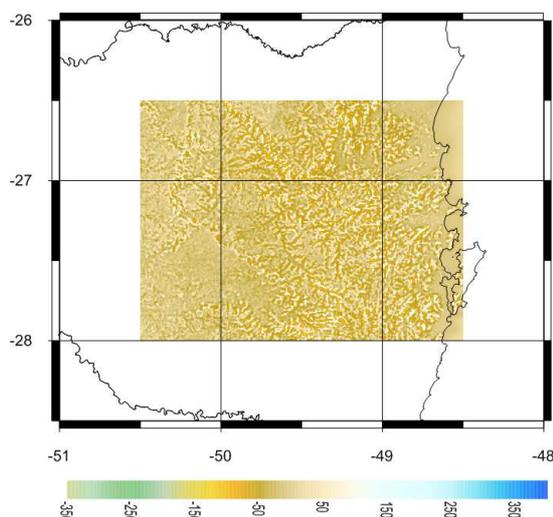


Figura 3 – Subtração entre grades: ASTER menos SRTM.

Aplicando-se (02) à grade da Figura 3, obteve-se um outlier de 5000 mGal entre $-27^\circ 45' < \varphi < -27^\circ 51'$ e $-49^\circ 23'00,16'' < \lambda < -49^\circ 19'00,7''$, cuja razão ainda é desconhecida, representado a seguir na Figura 4.

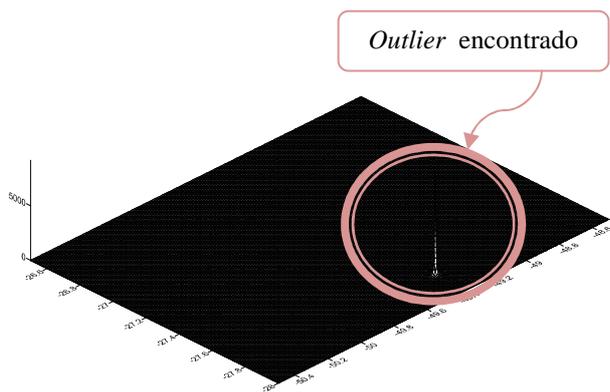


Figura 4 – Outlier obtido da correção do Terreno a partir da grade de diferenças ASTER - SRTM.

Inicialmente buscou-se superar esta dificuldade aplicando um filtro passa baixa com parâmetro 20 mGal. Ainda restaram resíduos inexplicáveis nas proximidades da região apresentada no parágrafo anterior. Então aplicou-se um filtro 3σ , o resultado obtido foi o que segue, na Figura 5.

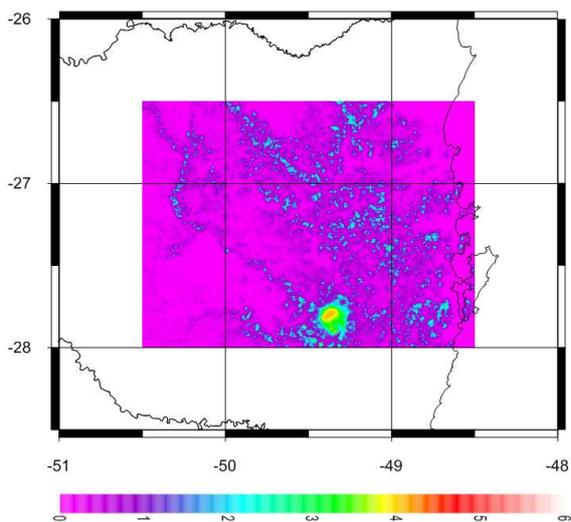


Figura 4 – Correções do terreno para diferenças ASTER-SRTM após filtragem 3σ .

Então procedeu-se à integração de Molodenskii (03) da grade representada na Figura 4:

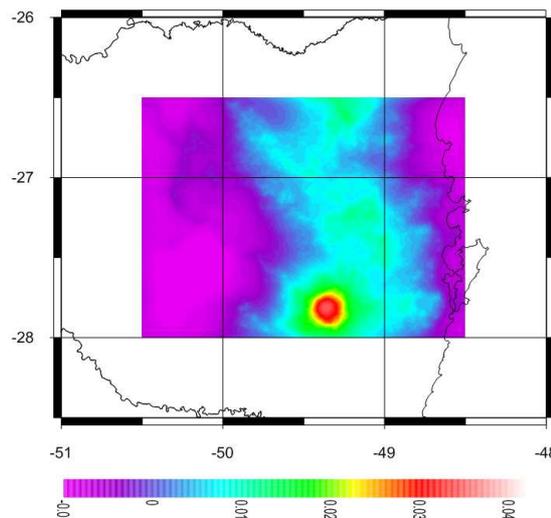


Figura 5 – Anomalias de Altitude calculadas para diferenças ASTER-SRTM representadas na Figura 4.

A grade resultante tem as seguintes características:

Tabela 1 – Estatística da grade representada na Figura 5.

Média (m)	$-1.06 \cdot 10^{-006}$
Máximo (m)	0.116
Mínimo (m)	-0.042
Desvio Padrão (m)	0.029

4 SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Neste trabalho efetuou-se a diferença entre grades de dois modelos digitais de elevação: o SRTM e o ASTER GDEM. Com esta diferença, obtiveram-se correções do Terreno que foram transformadas em anomalias de altitude pela Equação de Molodenskii. Estas anomalias de altitude representam o afastamento entre as origens dos sistemas de referência utilizados pelo SRTM e o ASTER GDEM. Estatísticas usuais destes resultados são apresentadas na Tabela 1 e, em conjunto com o trabalho de Ferreira et al. (2008), podem ser utilizados para estabelecer o afastamento vertical da origem do ASTER em relação ao Datum Vertical Imbituba (DVB-I) e assim obter uma densificação para os trabalhos de engenharia. Como ASTER GDEM apresenta resolução espacial da ordem do segundo de arco, é vantajosa a utilização deste modelo relativamente ao nivelamento geométrico se as aplicações forem aquelas de densificação propostas acima.

Da média apresentada na Tabela 1, em torno de zero, pode-se dizer que o ASTER GDEM é totalmente compatível com o EGM2008. Se for conhecido o afastamento entre o EGM2008 e a superfície de referência utilizada pelo Datum Vertical Imbituba (DVB-I), então este mesmo afastamento pode ser aplicado para a compatibilização do ASTER GDEM com o DVB-I, pelo menos na região apresentada. Cabe destaque que o Sistema de Referência adotado pelo ASTER GDEM é o

EGM96 (conforme ASTER, 2012), o que reforça os resultados obtidos na Figura 4.

Preferiu-se o tratamento no domínio da gravidade porque as anomalias de altitude refletem os médios comprimentos de onda associados aos Modelos Globais do Geopotencial. Os curtos comprimentos de onda do Geopotencial, refletidos pelo tratamento no domínio das altitudes, representam menos de 1 por cento do efeito total sobre os sistemas de referência (vide por exemplo, SCHWARZ, 1984).

Deve-se, no entanto, ter o cuidado de não tomar como referência as informações apresentadas na região do outlier apresentado pelo Figura 4. Entende-se que este outlier pode ter ocorrido provavelmente devido à diferença pontual de um conjunto de observações ou SRTM ou ASTER, ou dificuldades na reamostragem dos dados SRTM, ou ainda precisão nas componentes horizontais do ASTER, da ordem de 0,5" de arco, conforme Tachikawa et al. (2012). Aquela região não deve ser levada em conta e representa boa parte dos efeitos que representam o máximo apresentado na Tabela 1. É provável que resolvendo-se este outlier, as diferenças entre as grades sejam ainda menores.

REFERÊNCIAS

AMANTE, C.; EAKINS, B.W. **ETOPO1 arc-minute global relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis**. Boulder: National Geophysical Data Center, 2009.

ASTER. **Outline of ASTER GDEM**. Disponível em: <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html>>. Acesso em 21/05/2012.

FERREIRA, V.G.; JAMUR, K.P.; DE FREITAS, S.R.C. **Avaliação do Earth Gravity Model 2008 (EGM2008) para a região do Datum Vertical Brasileiro**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 8-11 de Setembro de 2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. **Physical Geodesy**. Bad Vöslay: Springer, 2005.

ICGEM. **Calculation Service**. International Center for Global Earth Models. Disponível em <<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>>. Acesso em 21/05/2012.

JPL. **Shuttle Radar Topography Mission - The Mission to Map the World**. Jet Propulsion Laboratory, disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em 21/05/2012.

PAVLIS, N. K.; HOLMES, S.A.; KENYON, S.C.; SCHMIDT, D.; TRIMMER, R. **A Preliminary Gravitational Model to Degree 2160**. Disponível em <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/new_egm/papers.html>. Acesso em 21/05/2012.

SCHWARZ, K. P. **Proceedings of the International Summer School on Local Gravity Field Approximation**. Beijing, Aug. 21-Sept. 4, 1984

TACHIKAWA, T; HATO, M.; KAKU, M.; IWASAKI, A. **The characteristics of ASTER GDEM version 2**. Disponível em < http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/IGARSS2011_Proceedings_GDEM2.pdf>. Acesso em 18/05/2012.