

COMPARAÇÃO DOS PROGRAMAS TC2DFTPL E TCFOUR NO CÁLCULO DA CORREÇÃO DE TERRENO PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Gabriela Pasetto Falavigna¹, Sérgio Florêncio de Souza²

¹ Engenharia Cartográfica, UFRGS, Porto Alegre/RS – gabi_falavigna@hotmail.com

² Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), UFRGS, Porto Alegre/RS – sergio.florencio@ufrgs.br



INTRODUÇÃO

O efeito gravitacional das massas topográficas localizadas acima do geóide, necessita ser considerado em várias aplicações da Geodésia Física como, por exemplo, no cálculo das anomalias da gravidade (anomalia *free-air*, de Bouguer, isostática) e das ondulações do geóide (Matos, 2005).

A anomalia *free-air* é obtida através da aplicação da correção *free-air*, que considera a variação da gravidade entre a superfície física e a superfície do geóide, utilizando a altitude do ponto e desconsiderando a massa entre essas superfícies. A anomalia de Bouguer é obtida a partir da correção Bouguer, que remove o efeito das massas entre a estação e o geóide, assumindo que o espaço entre as superfícies física e do geóide seja preenchido uniformemente com massa, no caso de uma estação situada acima do geóide e uniformemente vazio, se estiver abaixo do geóide. A anomalia isostática leva em conta a correção topo-isostática, a qual também considera a heterogeneidade de massa abaixo do geóide, entendida como massa de compensação da topografia acima do geóide (Jamur et. al., 2010).

A determinação do geóide através de dados gravimétricos envolve a solução do Problema do Valor do Contorno da Geodésia (PVCG), o qual pressupõe duas condições (Heiskanen; Moritz, 1967; Gemael, 1999, *apud* Matos, 2005): as medidas gravimétricas devem ser feitas sobre a superfície geoidal; e não devem existir massas externas ao geóide.

A primeira condição é satisfeita através da correção *free-air*, que reduz o valor observado da gravidade ao geóide; e a segunda, pode ser atendida através do método de condensação de Helmert (Lambert, 1930, *apud* Matos, 2005), por meio do qual as massas topográficas são removidas e subsequentemente recolocadas no interior do geóide, considerando as massas externas com uma densidade específica.

A correção de terreno (CT) é uma das reduções aplicadas à aceleração da gravidade. Com a aplicação da correção de terreno nas anomalias gravimétricas, as massas externas ao geóide são verticalmente comprimidas sob a superfície do geóide, alterando o potencial gravitacional da Terra. Atualmente, o cálculo dessa correção, tem sido possível, de forma sistemática, com a utilização de modelos digitais de elevação do terreno (MDTs) locais ou globais (Jamur et. al., 2010), pois as elevações são fornecidas em grades de diferentes tamanhos que proporcionam o uso dos modelos topográficos de massa linear e de prismas retangulares, através do uso da FFT (*Fast Fourier Transform*) na fórmula da correção de terreno.

A área de estudo para a realização desse trabalho situa-se na porção sul do Brasil e corresponde ao Estado do Rio Grande do Sul (RS). O RS abrange uma área total de 281.730,223 km² (IBGE Estados, 2013) e está compreendido entre as latitudes 33°43'S e 27°05'S e as longitudes 49°42'W e 57°40'W.

Para esse trabalho, utilizaram-se os programas TC2DFTPL e TCFour, juntamente com os dados provenientes dos MDTs do SRTM e do ASTER GDEM para o cálculo da correção de terreno a ser aplicada nas observações gravimétricas do Estado do Rio Grande do Sul.

OBJETIVO

Comparação do desempenho dos programas TC2DFTPL e TCFour para verificar se há diferenças significativas entre eles no cálculo da correção de terreno para o Estado do Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

O programa em FORTRAN77, chamado TC2DFTPL, desenvolvido por Sideris (1985) e Li e Sideris (1994), calcula a correção de terreno via 2D-FFT (Matos, 2005). Três arquivos de saída são produzidos pelo programa: o primeiro é a correção de terreno a ser aplicada nos dados gravimétricos considerando o modelo topográfico como tendo a massa concentrada num prisma; o segundo é a correção de terreno a ser aplicada nos dados gravimétricos considerando o modelo topográfico de massa linear e o terceiro arquivo faz uma média entre os dois arquivos de saída anteriores. Nesse trabalho, considerou-se o modelo topográfico como tendo a massa concentrada num prisma.

O TCFour é um programa da IAG (*International Geoid School*) e faz parte do conjunto GRAVSOF (Forsberg, 2009, *apud* Jamur e Freitas, 2012). Esse programa utiliza duas grades de modelos digitais de elevação com resoluções diferentes para o cálculo da correção de terreno. A primeira grade, chamada de grade detalhada ou de alta resolução, é a que recupera a maior parte do efeito do terreno sobre a grandeza do campo da gravidade devido à proximidade do ponto de cálculo, e é considerada até um raio R_p . A segunda grade é a chamada grade de referência, a qual funciona como um filtro passa alta (Jamur e Freitas, 2012). O programa TCFour também calcula a correção de terreno via FFT e gera um arquivo de saída. Nesse trabalho, as grades de maior resolução utilizadas foram de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km extraídas dos MDTs do SRTM (com resolução espacial de 90 m) e do ASTER (com resolução espacial de 30 m), utilizando um $R_0 = 999$ km. A resolução das grades de referência utilizadas foi de 20 km, também extraídas dos MDTs do SRTM e do ASTER.

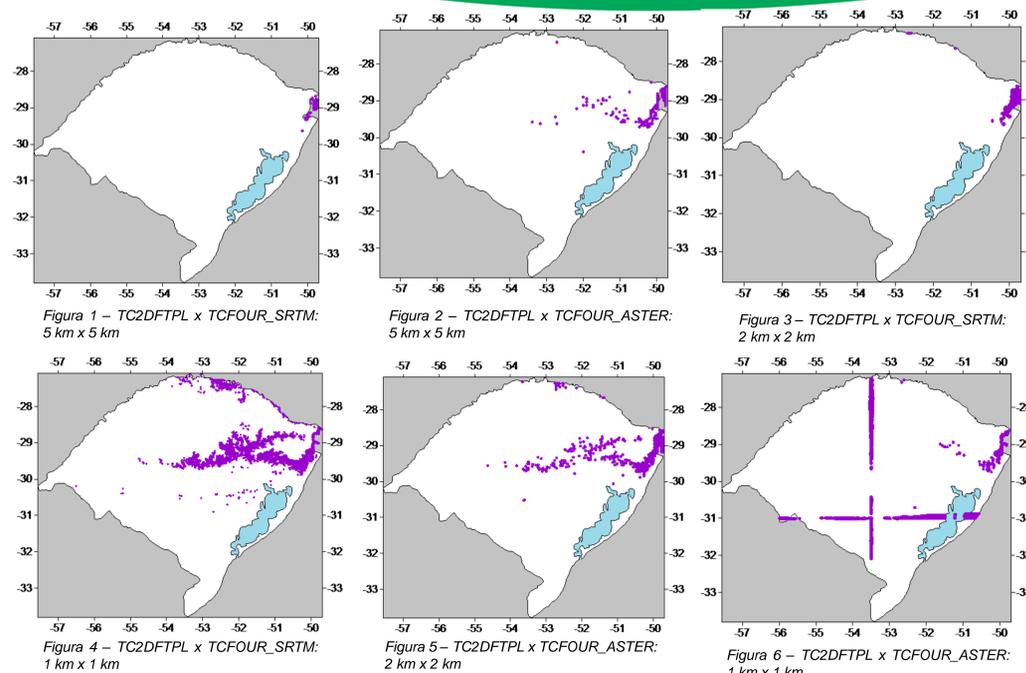
Nos programas TC2DFTPL e TCFour foram calculadas as correções de terreno utilizando os MDTs do SRTM (1ª etapa) e do ASTER (2ª etapa) nas resoluções de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km. Na 1ª etapa, para o cálculo da CT no programa TC2DFTPL, foi necessário dividir a área do RS apenas para o modelo na resolução de 1 km, assim a área do RS foi dividida em quatro partes. Já para o cálculo da CT no programa TCFour não foi necessário dividir a área do RS em nenhum dos modelos. Na 2ª etapa, para o cálculo da CT no programa TC2DFTPL foi necessário dividir a área do RS para os modelos nas resoluções de 2 km e 1 km, assim a área do RS foi dividida, respectivamente, em duas e nove partes. Já para o cálculo da CT no programa TCFour foi necessário dividir a área do RS apenas para o modelo de 1 km, assim a área do RS foi dividida em quatro partes.

Notou-se que o programa TCFour apresenta efeito de borda para a área de estudo (Figura 6) e para as subdivisões necessárias da área de estudo, ao contrário do programa TC2DFTPL que não apresentou efeito de borda em nenhuma situação. Para efeito de comparação entre as escalas de variação da CT, calculadas pelos dois programas, o efeito de borda foi desconsiderado. Assim, excluíram-se as partes da área de estudo afetadas pelo efeito de borda (limites inferior e superior da área de estudo); porém, não foi possível excluir as partes afetadas pelo efeito de borda que encontravam-se nas bordas das subdivisões da área de estudo.

Após, comparou-se a CT calculada pelo programa TC2DFTPL utilizando os MDTs do SRTM nas resoluções de 5 km, 2 km e 1 km com a CT calculada por esse programa utilizando o MDT na resolução de 10 km. Fez-se o mesmo para as CTs calculadas pelo programa TCFour. Após, comparou-se a CT calculada por ambos os programas utilizando os MDTs do SRTM nas resoluções de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km. A comparação das CTs calculadas utilizando os MDTs gerados a partir dos dados ASTER foi feita da mesma forma. Assim, as comparações citadas anteriormente foram realizadas novamente, mas agora com os dados provenientes do ASTER.

RESULTADOS

As correções de terreno calculadas pelos dois programas, utilizando os dados do SRTM e do ASTER, para o modelo de 10 km são iguais, pois não foi identificada nenhuma diferença maior do que 1 (um) mgal. Utilizando os dados do SRTM, notou-se que as CTs calculadas pelos dois programas para o modelo de 5 km são iguais, onde as diferenças aparecem em pequenas quantidades e concentram-se no limite nordeste do Estado (Figura 1). No entanto, as diferenças entre as CTs calculadas por ambos os programas com os dados do ASTER para o modelo de 5 km aparecem em maiores quantidades, concentrando-se na região da Serra (Figura 2). Verificou-se que as diferenças entre os modelos de 2 km e 1 km, utilizando tanto os dados do SRTM quanto do ASTER, aparecem em maiores quantidades e concentram-se na região da Serra (Figuras 3, 4, 5 e 6). Na Figura 6 visualiza-se o efeito de borda nas subdivisões feitas na área de estudo para o modelo de 1 km.



CONCLUSÕES

As escalas de variação da correção de terreno calculadas pelos programas TC2DFTPL e TCFour, utilizando os dados do SRTM e do ASTER podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1 – Escalas de variação da correção de terreno (CT)

Programa	Resolução do MDT (km)	Escala de variação da CT (mgal)	
		Dados SRTM	Dados ASTER
TC2DFTPL	10	0 a 7,0	0 a 6,4
	5	0 a 11,0	0 a 10,5
	2	0 a 20,0	0 a 13,4
	1	0 a 14,8	0 a 13,7
TCFOUR	10	0 a 3,2	0 a 3,5
	5	0 a 6,5	0 a 6,0
	2	0 a 12,4	0 a 13,8
	1	0 a 17,5	0 a 11,7

Analisando o Quadro 1 nota-se que existe uma relação direta proporcional entre a resolução do modelo digital de terreno utilizado no cálculo da correção de terreno e o valor da correção a ser aplicada nos dados gravimétricos: à medida que a resolução do MDT utilizado aumenta, a CT a ser aplicada nos dados gravimétricos também aumenta. No entanto, isso não ocorre quando se faz necessário dividir a área de estudo (ver Quadro 2) para que se torne possível o cálculo da correção de terreno pelos programas. Assim, concluiu-se que, nos casos em que seja necessário subdividir a área de estudo, o valor da correção de terreno calculada sofrerá suavizações (principalmente as correções calculadas pelo programa TC2DFTPL, como pode ser verificado através do Quadro 1).

A escala de variação da CT para o MDT com resolução de 1 km do ASTER, calculado pelo programa TCFour, apresenta seus valores comprometidos devido à presença do efeito de borda nas subdivisões da área de estudo. No Quadro 2 é possível verificar para quais resoluções de MDTs foi necessário compartimentar a área de estudo.

Quadro 2 – Necessidade de compartimento da área de estudo para o cálculo da CT pelos programas.

Programa	Resolução do MDT (km)	Divisão da área de estudo	
		SRTM	ASTER
TC2DFTPL	10	Não	Não
	5	Não	Não
	2	Não	Sim
	1	Sim	Sim
TCFOUR	10	Não	Não
	5	Não	Não
	2	Não	Não
	1	Não	Sim

Ao final das avaliações pode-se concluir que os programas TC2DFTPL e TCFour, para o cálculo da correção de terreno, são iguais e que ocorrem suavizações nos valores das CTs calculadas a partir do uso de MDTs com resolução de 5 km, pois para resoluções maiores (2 km e 1 km) ambos os programas não detectam a melhora do MDT. Isso é considerado um problema quando o objetivo for determinar geóides locais. No entanto, aconselha-se a utilização do programa TC2DFTPL para o cálculo da correção de terreno. Isso é devido ao programa TC2DFTPL não apresentar efeito de borda, ao contrário do programa TCFour.

Porém, a sua utilização não é indicada quando a área em estudo é muito extensa e for necessário compartimentar a área, pois, como pode ser verificado nos Quadros 1 e 2, as subdivisões da área de estudo ocasionaram suavizações nos valores da CT calculada por esse programa. Concluiu-se também que a incompatibilidade das escalas de variação da CT dos modelos derivados do SRTM e do ASTER, com resoluções de 2 km e 1 km, se deve à necessidade de subdividir a área de estudo para essas resoluções e também às diferenças altimétricas entre os dois MDTs, diferenças essas, que são mais evidentes nas regiões de maiores altitudes, como é o caso da região da Serra do RS.

REFERÊNCIAS

- IBGE Estados. 2013. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rs>>. Acesso em 08/11/2013.
- Jamur, K. P.; Pereira, R. A. D.; de Freitas, S. R. C.; Miranda, F. D. A.; Ferreira, V. G. 2010. Avaliação da correção gravimétrica do terreno obtida de modelos digitais de elevação associados ao SGB e ao EGM2008. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, p. 001-005.
- Jamur, K. P.; de Freitas, S. R. C. 2012. Estudo de alternativas para combinar altimetria e gravimetria por satélites para uso em regiões de baixa cobertura gravimétrica convencional. III Simpósio Brasileiro de Geomática, p. 280-295.
- Li, Y. C.; Sideris, M. G. 1994. Improved gravimetric terrain corrections. Geophysical Journal International, v. 119, p. 740-752.
- Matos, A. C. O. C. 2005. Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul. São Paulo, 355p. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Sideris, M. G. 1985. A fast fourier transform method of computing terrain corrections. Manuscripta Geodaetica, v. 10, p. 66-73.